

Prezentacja dla wykładowców
architektury i budownictwa

Rozdział 07A:

**Zastosowania konstrukcyjne
prętów zbrojeniowych ze stali
nierdzewnej**

stainlesssteelrebar.org

Niewłaściwy dobór materiału
może prowadzić do poważnych
problemów





Korozja wężła autostradowego Turcota w Montrealu^{1,2}

- Kluczowy węzeł autostradowy między Decarie (północ-południe) i Ville Marie (wschód-zachód) wybudowany w 1966.
- Ponad 300 000 samochodów dziennie.
- Zbudowany z żelbetonu, obecnie intensywnie skorodowany przez sól drogową.

Będzie musiał być wymieniony

- Pomimo stałego nadzoru i napraw, część elementów będzie musiała być usunięta lub częściowo zastąpiona.
 - ✓ Szacowany koszt do tej pory to 3 miliardy CAN \$.
 - ✓ Ponadto należy wydać 254 miliony CAN \$ w celu zapewnienia bezpieczeństwa, aż do jego wymiany w 2018 roku.
- Czas życia konstrukcji będzie przewidziany tylko na 50 lat!

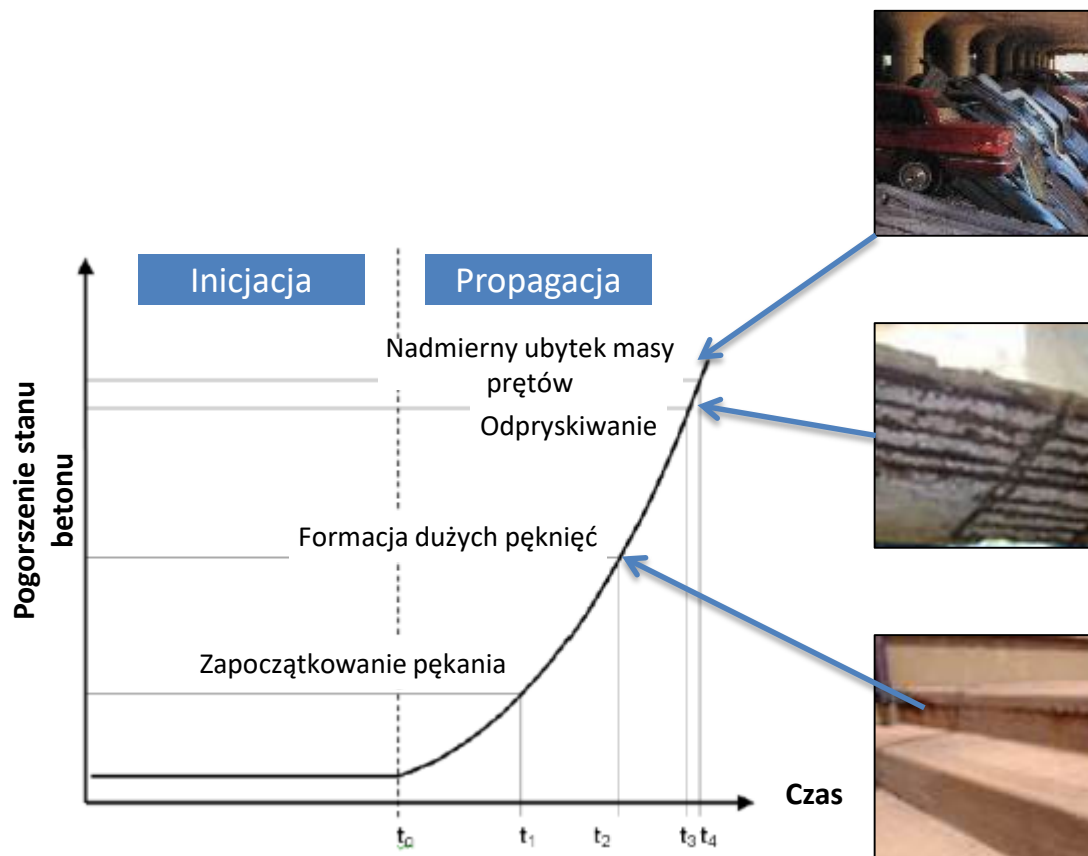


Jak beton zbrojony może zostać
zniszczony przez korozję

Dyfuzja korozyjnych jonów (zwykle chlorków) do betonu:

Etapy³:

1. Gdy jony korozyjne dotrą do prętów zbrojeniowych ze stali czarnej (t_0), rozpoczyna się korozja
2. Produkty korozji, które zajmują większą objętość niż stal wywierają nacisk w kierunku zewnętrznym
3. Następuje pękanie betonu (t_1), co stwarza łatwy dostęp do dalszego wnikania chlorków
4. Otulina betonowa pęka (odpryskuje) (t_3), co odsłania pręty zbrojenia
5. Jeżeli niekontrolowana korozja trwa do momentu, gdy pręty zbrojenia nie mogą już przenosić występujących naprężeń rozciągających dochodzi do zawalenia się konstrukcji (t_4)



Pęknięcia w betonie przyspieszają korozję

Beton często wykazuje pęknięcia, przez które do stali szybko docierają jony korozyjne.

W tabeli podano niektóre przyczyny powstawania pęknięć (lit. 4).

Należy pamiętać, że pęknięcia nie powstają natychmiast oraz występują w ukrytych przestrzeniach, gdzie nie mogą być naprawione.

Typ pęknięcia	Postać pęknięć	Główna przyczyna	Czas do wystąpienia
Plastyczne osiadanie	Powyżej i wzdłuż stalowego zbrojenia	Osiadanie wokół prętów zbrojeniowych; nadmiar wody w mieszance	10 minut do trzech godzin
Skurcz plastyczny	Ukośnie i losowo	Nadmierne początkowe parowanie	30 minut do sześciu godzin
Rozszerzanie i kurczenie pod wpływem ciepła	Poprzecznie (np. w poprzek nawierzchni)	Nadmierne wydzielanie ciepła lub gradient temperatury	Jeden dzień do dwóch lub trzech tygodni
Skurcz podczas wysychania	Poprzecznie lub wzorzyście	Nadmiar wody w mieszance; niewłaściwe umiejscowienie połączeń; połączenia zbyt rozstawione	Od tygodnia do miesięcy
Zamrażanie i rozmrażanie	Równoległe do powierzchni betonu	Nieodpowiednie napowietrzenie; nietrwale gruboziarniste kruszywo	Po jednej lub kilku zimach
Korozja zbrojenia	Powyżej zbrojenia	Niedostateczna pokrywa betonowa; wnikanie wilgoci lub chlorków	Ponad dwa lata
Reakcja zasadowego kruszywa	Wzorzyście; równoległe do połączeń lub krawędzi	Reaktywne kruszywo oraz wilgoć	Typowo po pięciu latach, ale może wystąpić o wiele szybciej pod wpływem wysoce reaktywnego kruszywa
Atak siarczanów	Wzorzyście	Zewnętrzne lub wewnętrzne siarczany promujące tworzenie ettringitu	Od roku do pięciu lat

Obecnie ważniejsze obiekty
inżynierii lądowej muszą trwać
ponad 100 lat

Most Haynes Inlet Slough, Oregon, USA 2004^{7,8}

Niezwykły most z przęsłami łukowo-przegubowymi, gdzie konstrukcja pomostu wzmocniana jest 400 tonami prętów zbrojeniowych ze stali nierdzewnej.

Oczekuje się, że 230 metrowa konstrukcja nad Haynes Inlet Slough będzie trwać 120 lat bez konieczności konserwacji.

Pomimo, że koszt stali nierdzewnej jest dużo wyższy niż średni koszt stali czarnej to koszty cyklu życia mostu zostaną znacznie zmniejszone przez użycie stali nierdzewnej.





Most Hong Kong- Zhuhai- Macau⁹

(budowę rozpoczęto w 2009 a ma być zakończona w 2018)

Prestiżowe przedsięwzięcie budowy mostu między Hong Kong-Zhuhai-Makau jest jednym z największych na świecie projektów mostów. Wymagany czas eksploatacji bez konserwacji wynosi 120 lat. Z tego względu do zbrojenia konstrukcji w jej krytycznych obszarach, głównie strefach ciągłego spryskiwania przez wodę, zastosowano pręty zbrojeniowe ze stali nierdzewnej. Ostatecznie do budowy mostu zostanie użytych 15 tysięcy ton stali nierdzewnej.



Most Broadmeadow, Dublin, Irlandia (2003)¹⁰

Nowa konstrukcja zbudowana na ujściu rzeki przy użyciu 105 ton zbrojenia ze stali nierdzewnej w kolumnach i barierach.

Naprawa wału morskiego Bayonne, Francja

Wał morski wybudowano w 1960 r.
w celu ochrony wejścia do portu.

Konstrukcja od strony oceanu jest
wyższa i zabezpieczona przez 40
tonowe bloki, które muszą być
wymienione z powodu zniszczenia
przez sztorm.

Konstrukcja od strony rzeki jest
szeroka na 7 m i umożliwia ciężkim
dźwigom przenoszenie bloków.

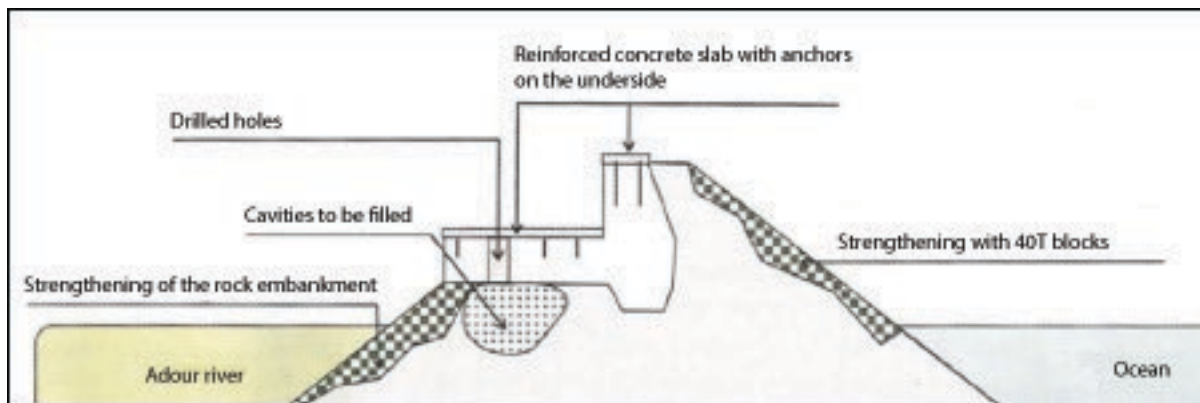


Widok z lotu ptaka

Pęknięcia na pomoście i ścianach wymagały naprawy



Przekrój przez konstrukcję falochronu



Naprawa wału morskiego Bayonne, Francja

Pomost i falochron zostały
wzmocnione przez stal
nierdzewną typu lean
duplex (EN 1.4362)¹¹

Falochron w trakcie naprawy



Początek 2014, sztorm w zatoce





Most: Stonecutters Bridge w Hong Kongu^{12,13}

Drugi na świecie pod względem długości most podwieszany z głównym przęsłem długości 1018 m. Kolumny mostu mają wysokość 298 m i są zbrojone prętami ze stali nierdzewnej o masie 1600 ton w obszarze przęsła oraz nierdzewnym zbrojeniem o masie 2800 ton w podstawie mostu.



Mast Belt Parkway, Brooklyn, USA (2004)¹⁴

Konstrukcja mostu i bariery ochronne zostały wzmocnione zbrojeniem ze stali nierdzewnej typu duplex 2205 dla zapewnienia długoterminowej (100 lat) trwałości i odporności korozyjnej na oddziaływanie środowiska morskiego i soli drogowej.

Kiedy należy brać pod uwagę zastosowanie prętów zbrojeniowych ze stali nierdzewnej¹⁵⁻²⁰:

W środowisku korozyjnym:

- Woda morską, zwłaszcza w gorącym klimacie
 - Mosty
 - Mola
 - Doki
 - Kotwy słupów oświetleniowych, balustrady,....
 - Falochrony
 -
- Sól drogowa
 - Mosty
 - Wiadukty drogowe i węzły drogowe
 - Parkingi kryte
- Zbiorniki uzdatniania wody ściekowej
- Instalacje odsalania wody
- Konstrukcje o bardzo długim okresie eksploatacji
 - Naprawa konstrukcji zabytkowych
 - Miejsca składowania odpadów jądrowych
- W nieznanym środowiskach, w których
 - niemożliwa jest okresowa inspekcja
 - naprawy są praktycznie niemożliwe lub bardzo kosztowne

Porównanie prętów zbrojeniowych ze stali nierdzewnej z innymi rozwiązaniami ¹⁵⁻²⁰

	Zalety	Wady
Powłoki epoksydowe	Niskie koszty początkowe	<ul style="list-style-type: none"> Brak możliwości gięcia bez powstawania pęknięć Podczas instalacji wymagana ostrożna obsługa, aby nie uszkodzić
Galwanizacja	Niskie koszty początkowe	<ul style="list-style-type: none"> Brak możliwości gięcia bez powstawania pęknięć Powłoki Zn korodują szybciej niż żelazo, gdy cynk skoroduje nie są już efektywne
Polimery wzmacniane włóknami	Niskie koszty początkowe	<ul style="list-style-type: none"> Brak możliwości gięcia bez powstawania pęknięć Brak odporności na wysoką temperaturę i słaba uderzalność w zimnym klimacie Niższa sztywność niż stali Nie nadają się do recyklingu
STAL NIERDZEWNA	Koszty cyklu życia produktu: <ul style="list-style-type: none"> Projektowanie tak jak dla stali czarnych Zbrojenia mieszane ze stali węglowej i nierdzewnej dobrze współpracują Łatwa instalacja, niewrażliwe na słabą jakość wykonania Brak konserwacji Czas użytkowania bez ograniczeń Umożliwia zastosowanie cieńszej warstwy betonu Lepsza odporność pożarowa W 100% nadają się do recyklingu 	<ul style="list-style-type: none"> Wyższe koszty początkowe, ale nie więcej jak kilka %, jeżeli <ul style="list-style-type: none"> ✓ stale nierdzewne są zastosowane w obszarach krytycznych lub, ✓ zastosuje się gatunki typu lean duplex

Porównanie prętów zbrojeniowych ze stali nierdzewnej z innymi rozwiązaniami ¹⁵⁻²⁰

	Zalety	Wady
Ochrona katodowa	Niskie koszty początkowe? Często stosowana w celu naprawczym	<ul style="list-style-type: none">Wymaga starannego projektowania dla zapewnienia ogólnej ochronyWymaga starannego montażu dla zachowania odpowiednich styków elektrycznychWymaga stałego źródła prądu (musi być monitorowana i konserwowana) lub anody poświęceniowej - wymaga kontroli i wymiany
Membrany / uszczelnienia	Niskie koszty początkowe?	<ul style="list-style-type: none">Wymagają starannego montażu (pęcherze powietrza)Nie mogą być instalowane przy każdej pogodzieZ czasem użytkowania tracą własnościOgraniczone zastosowanie do powierzchni poziomych

Źródła

1. <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201111/25/01-4471833-echangeur-turcot-254-millions-pour-lentretien-avant-la-demolition.php>
2. <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/336978/echangeur-turcot-quebec-confirme-le-mauvais-etat-des-structures>
3. https://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref07_The_use_of_predictive_models_in_specifying_selective_use_of_stainless_steel_reinforcement.pdf
4. <https://www.holcim.com.au/products-and-services/tools-faqs-and-resources/do-it-yourself-diy/cracks-in-concrete> visual inspection of concrete
5. <https://www.nickelinstitute.org/policy/nickel-life-cycle-management/life-cycle-assessments/> (Progreso Pier)
6. https://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref08_Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf
7. <https://www.roadsbridges.com/willing-bend-0> (Oregon)
8. <http://structurae.net/structures/data/index.cfm?id=s0011506> (Oregon)
9. <http://www.aeonline.ae/major-hong-kong-stainless-steel-rebar-contract-signed-by-arminox-middle-east-42317/news.html> (HK Macau)
10. <http://www.engineersireland.ie/EngineersIreland/media/SiteMedia/groups/Divisions/civil/Broadmeadow-Estuary-Bridge-Integration-of-Design-and-Construction.pdf?ext=.pdf> (Broadmeadow)
11. Courtesy Ugitech SA
12. http://www.arup.com/Projects/Stonecutters_Bridge.aspx (stonecutters'bridge)
13. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters_Bridge_Towers.pdf (stonecutters'bridge)
14. http://www.cif.org/noms/2008/24_-_Ocean_Parkway_Belt_Bridge.pdf (belt parkway bridge)
15. Béton Armé d'inox: Le Choix de la durée (in French) <https://www.infociments.fr/ponts-et-passerelles/les-armatures-inox-la-solution-pour-des-ouvrages-durables>
16. Armaduras de Acero Inoxidable (in Spanish) <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59armadurasaceroinoxidable.pdf>
17. www.ukcares.com/downloads/guides/PART7.pdf
18. https://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref19_Case_study_of_progreso_pier.pdf
19. <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrapp%20405.pdf> (general)
20. http://americanarminox.com/Purdue_University_Report_-_Stainless_Steel_Life_Cycle_Costing.pdf (advantages of using ss rebar)
21. <http://www.stainlessteelrebar.org>

Odniesienia dotyczące połączeń galwanicznych

NEW!

1. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore, M. P. Pedferri and P. Pedferri, "Effects of Galvanic Coupling between Carbon Steel and Stainless Steel Reinforcement in Concrete", International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998, Orlando, Florida.
2. A. Knudsen, EM. Jensen, O. Klinghoffer and T. Skovsgaard, "Cost-Effective Enhancement of Durability of Concrete Structures by Intelligent use of Stainless Steel Reinforcement", International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998, Orlando, Florida.
3. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore and M. P. Pedferri, "Effect of Chemical Composition on Corrosion Behaviour of Stainless Steel in Chloride Contamination and Carbonated Concrete", Properties and Performances, Proceedings of 3rd European Congress Stainless Steel '99, 1999, Vol .3, Chia Laguna, AIM
4. O. Klinghoffer, T. Frolund, B. Kofoed, A. Knudsen, EM. Jensen and T. Skovsgaard, "Practical and Economic Aspects of Application of Austenitic Stainless Steel, AISI 316, as Reinforcement in Concrete", Corrosion of Reinforcement in Concrete: Corrosion Mechanisms and Corrosion Protection, 2000, Mietz, J., Polder, R. and Elsener, B., Eds, London
5. Knudsen and T. Skovsgaard, "Stainless Steel Reinforcement", Concrete Engineering, 2001, Vol. 5 (3), p. 59.
6. L. Bertolini and P. Pedferri, "Laboratory and Field Experience on the Use of Stainless Steel to Improve Durability of Reinforced Concrete", Corrosion Review, 2002, Vol. 20, p. 129
7. [S. Qian, D. Qu & G. Coates](#) Galvanic Coupling Between Carbon Steel and Stainless Steel Reinforcements [Canadian Metallurgical Quarterly](#) Volume 45, 2006 - [Issue 4](#) Pages 475-483 Published online: 18 Jul 2013
8. J.T. Pérez-Quiroz, J. Teran, M.J. Herrera, M. Martinez, J. Genesca : "Assessment of stainless steel reinforcement for concrete structures rehabilitation" J. of Constructional Steel research (2008) doi:10.1016/j.jcsr.2008.07.024
9. Juliana Lopes Cardoso / Adriana de Araujo / Mayara Stecanella Pacheco / Jose Luis Serra Ribeiro / Zehbour Panossian "stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure" (2018) <https://store.nace.org/stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure> Product Number: 51318-11312-SG
10. <http://stainlesssteelrebar.org/>

Prezentacja dla wykładowców
architektury i budownictwa

Rozdział 07B

**Zastosowania konstrukcyjne
wyrobów płaskich ze stali
nierdzewnych**

Konstrukcyjne stale nierdzewne

Projektowanie ze stali nierdzewnych

Barbara Rossi, Maarten Fortan
Civil engineering department, KU
Leuven, Belgia

Na bazie prezentacji przygotowanej przez Nancy Baddoo
Steel Construction Institute, Ascot, UK



Plan prezentacji

- Przykłady zastosowań konstrukcyjnych
- Charakterystyka własności mechanicznych
- Projektowanie zgodne z Eurokodem 3
- Metody alternatywne
- Ugięcia
- Informacje dodatkowe
- Źródła danych dla inżynierów



Część 1

Przykłady zastosowań
konstrukcyjnych



Stacja w Sint Pieters, Gendawa (BE)

Architekt: Wefirna

Biuro projektów: THV Van Laere-Braekel Aero



Szkoła
wojskowa w
Brukseli

Architekci:
AR.TE

Biuro
projektów:
Tractebel
Development





Wielki Łuk Braterstwa, Paryż
Architekt: Johan Otto von
Spreckelsen
Biuro projektów: Paul Andreu





Willa ze stali nierdzewnej (FIN)

La Lentille de Saint-Lazare, Paryż, (F)

Architekci: Arte
Charpentiers &
Associés

Biuro projektów:
Mitsu Edwards



Stacja w Porto (P)



Siedziba Torno Internazionale S.P.A.

Mediolan, (IT), EN 1.4404

Architekci : Dante O. BENINI & Partners Architects



Zdjęcie: Toni Nicolino / Nicola Giacomini

Konstrukcja ze
stali nierdzewnej
w elektrowni
atomowej



Zdjęcie: Stainless Structurals LLC

Elementy podporowe
ze stali nierdzewnej w
elewacji budynku ,
Tampa, (USA)



Zdjęcie: TriPyramid Structures, Inc.

Belki ze stali nierdzewnej (dwuteowniki), Zakłady oczyszczania wody z Tamizy, (UK)



Zdjęcie: Interserve

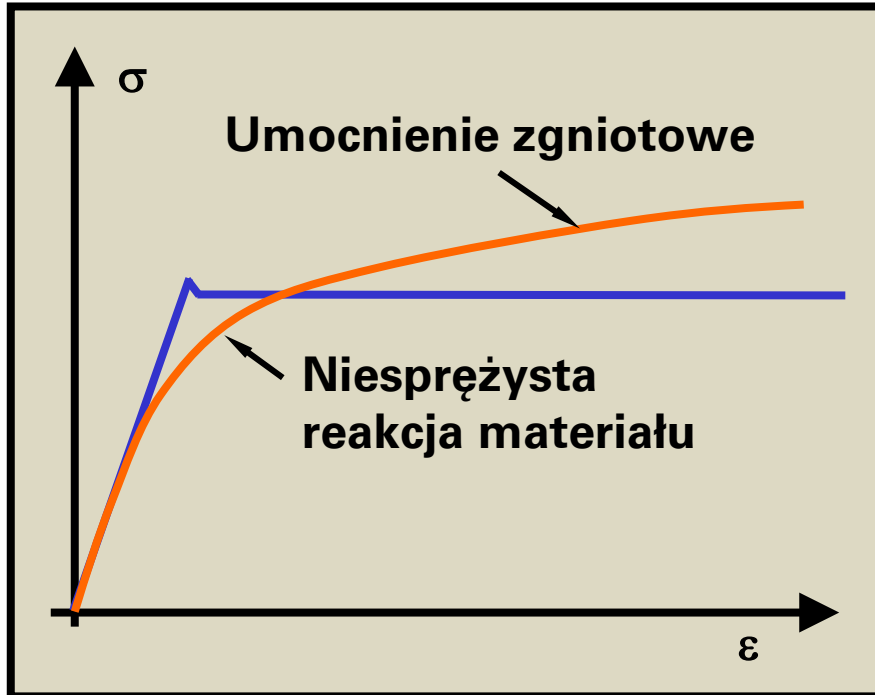


Część 2

Charakterystyka własności
mechanicznych

Charakterystyka naprężenie-odkształcenie: Stal czarna w porównaniu do nierdzewnej

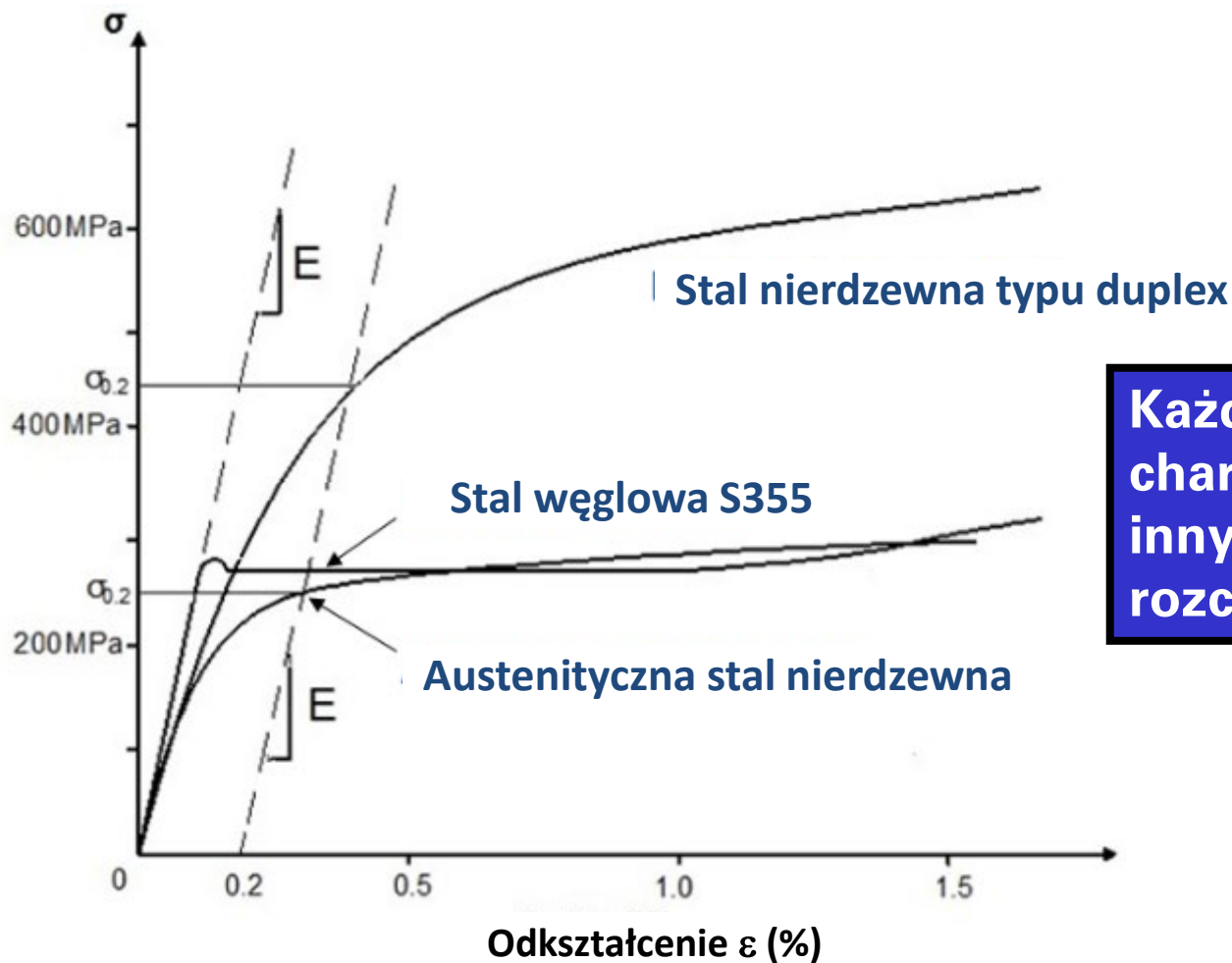
Kluczowa różnica między stalą węglową a nierdzewną zawiera się w charakterystyce krzywej naprężenie-odkształcenie.



Wyraźnie określona granica plastyczności, występuje plastyczne płynięcie stali - „półka plastyczna”

Odkształcenie plastyczne pojawia się stopniowo, występuje wysoki stopień umocnienia zgniotem.

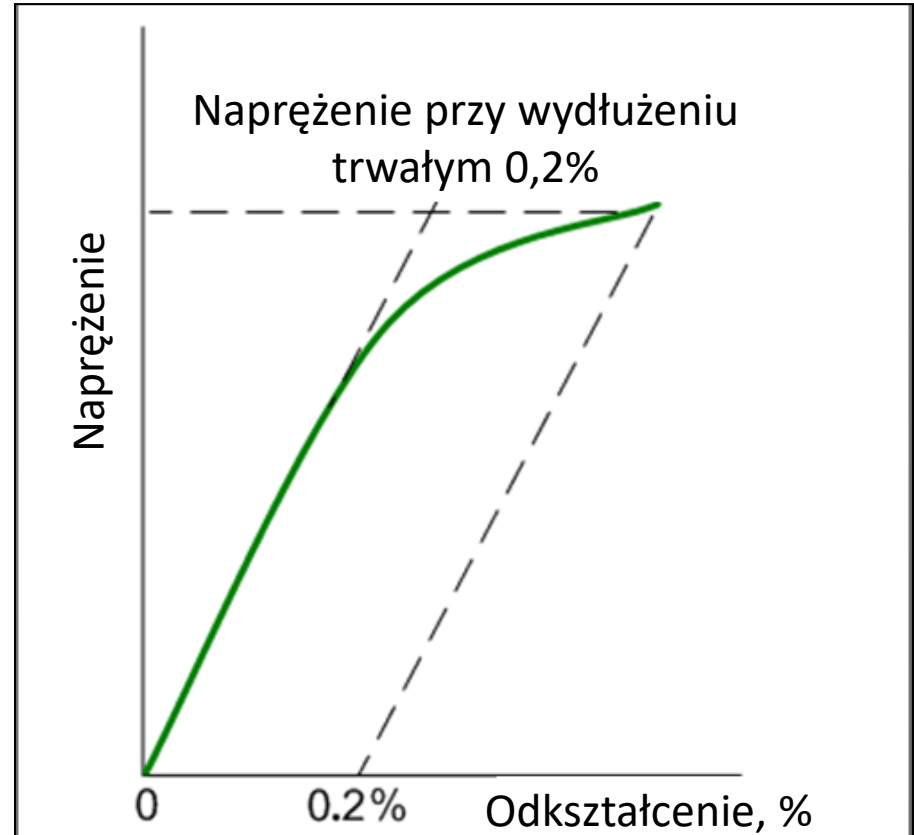
Charakterystyka naprężenie-odkształcenie – zakres małego odkształcenia



Każda grupa stali charakteryzuje się innym wykresem rozciągania.

Co to jest granica plastyczności?

f_y = naprężenie przy
wydłużeniu trwałym
równym 0,2% ($R_{p0,2}$)



Wytrzymałość obliczeniowa stali nierdzewnych

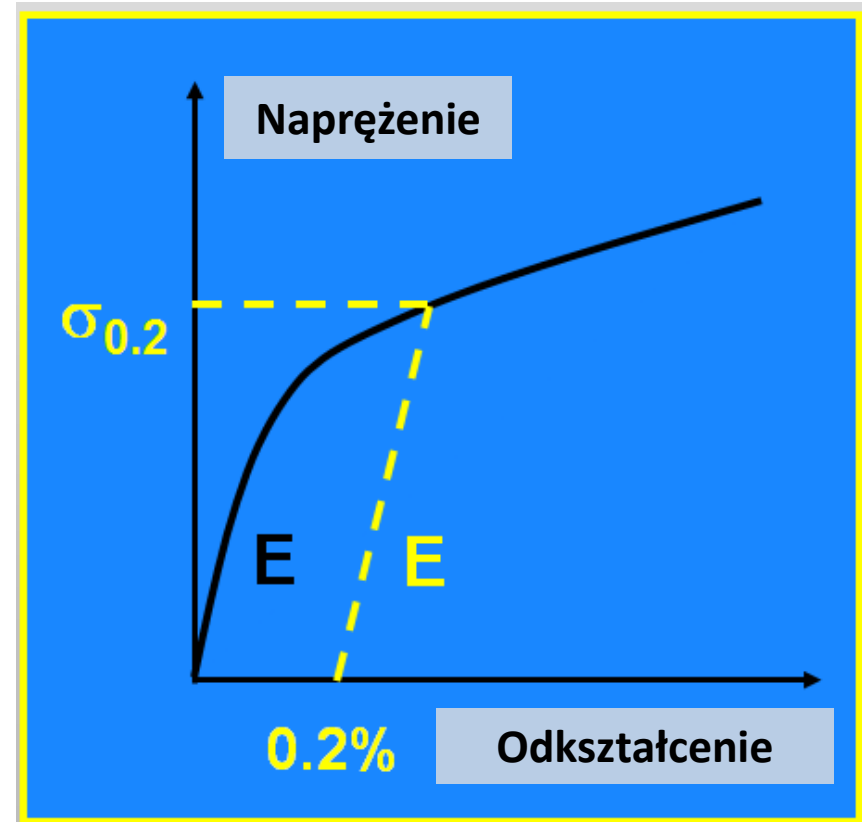
Minimalna wartość umownej granicy plastyczności przy wydłużeniu trwałym 0,2% podawana w normach EN 10088-4 i 5

Stale

austenityczne: $f_y = 220-350$ MPa

duplex: $f_y = 400-480$ MPa

Moduł Younga, $E=200\ 000$ MPa
do $220\ 000$ MPa



Wytrzymałość obliczeniowa stali nierdzewnych

Gatunek	Umowna granica plastyczności (N/mm ²) Rp0.2%	Wytrzymałość na rozciąganie Rm (N/mm ²)	Moduł Younga (N/mm ²)	Wydłużenie do zerwania (%)
1.4301 (304)	210	520	200000	45
1.4401 (316)	220	520	200000	40



Umocnienie zgniotem

(umocnienie w wyniku obróbki plastycznej na zimno)

- Zwiększona wytrzymałość przez odkształcenie plastyczne
- Spowodowane obróbką plastyczną na zimno, zarówno podczas operacji kształtowania stali w trakcie produkcji (w hucie) lub kolejnych etapów przetwarzania

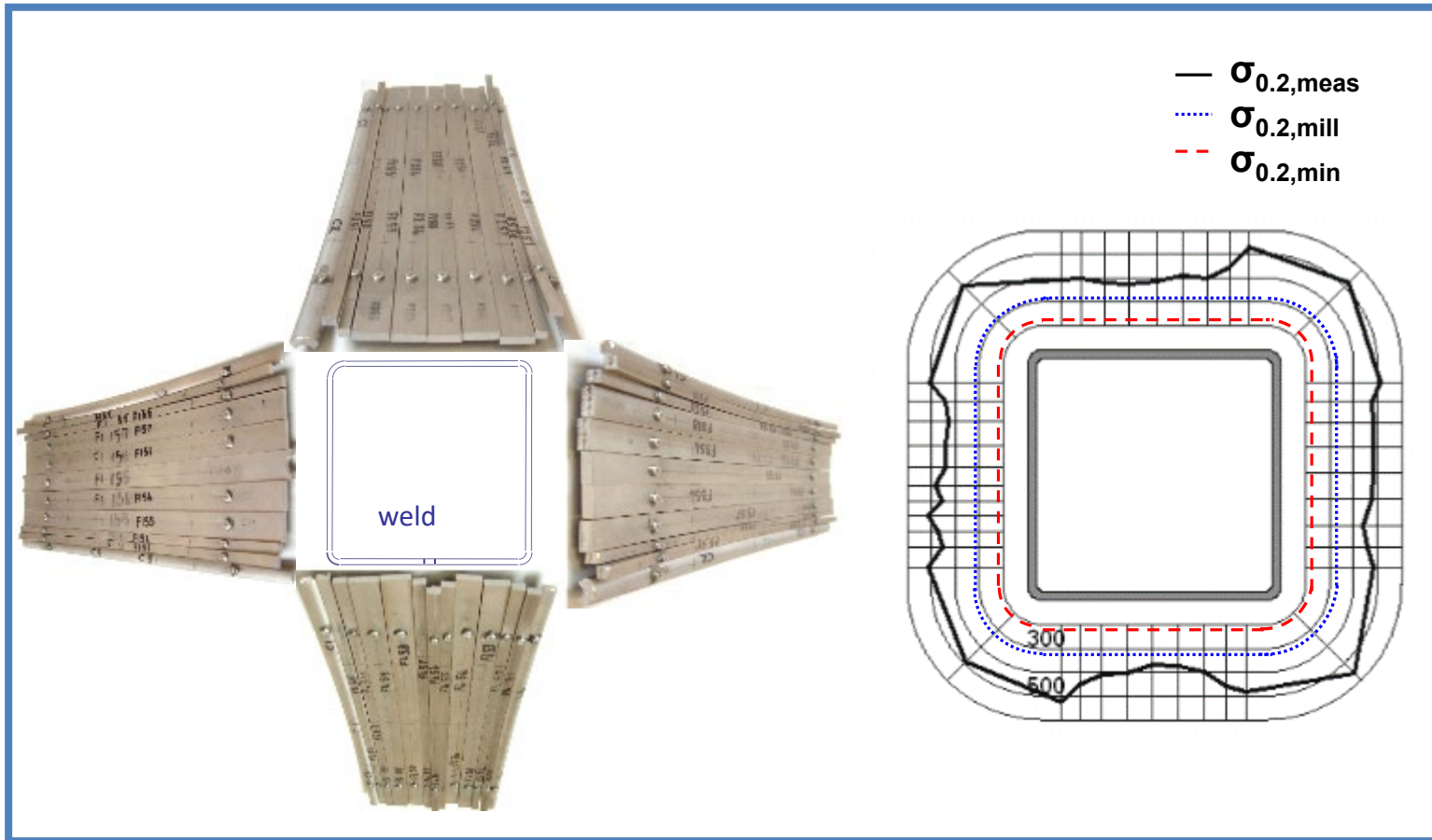
Podczas wytwarzania kształtowników zamkniętych o przekroju prostokątnym, w narożnikach kształtowanego na zimno profilu, umowna granica plastyczności $R_{p0,2}$ wzrasta o ok. 50%



Umocnienie zgniotem

(umocnienie w wyniku obróbki plastycznej na zimno)

- Zwiększenie wytrzymałości podczas kształtowania

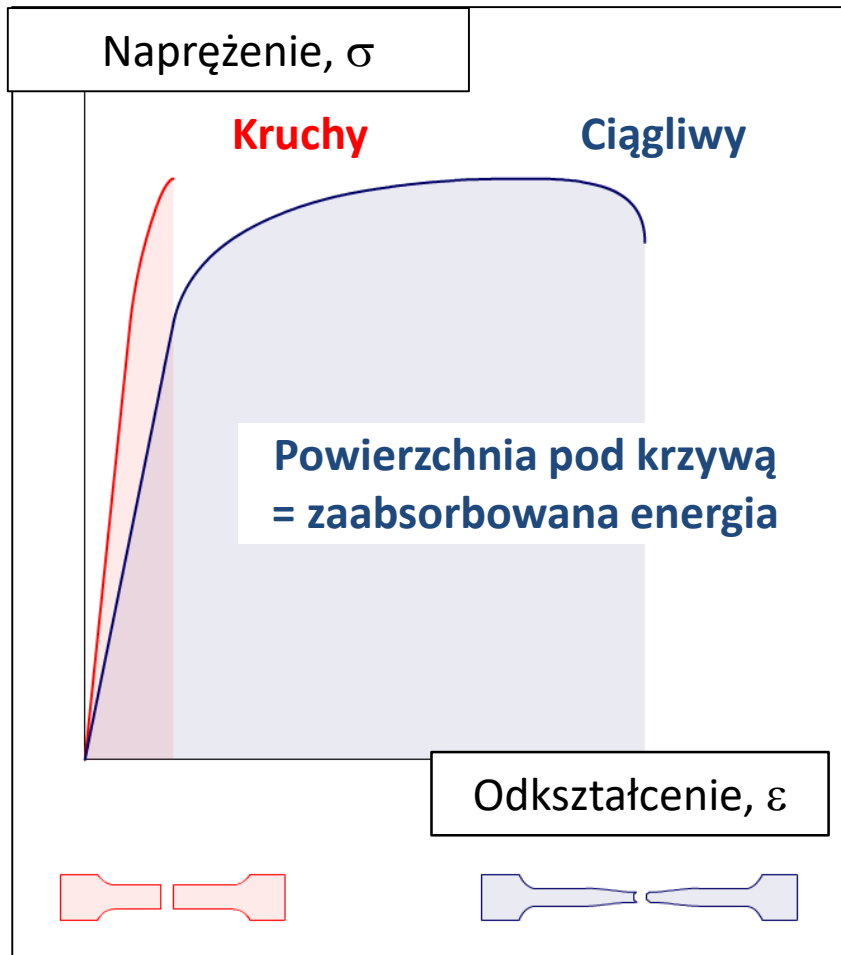




Umocnienie zgniotem – nie zawsze przydatne

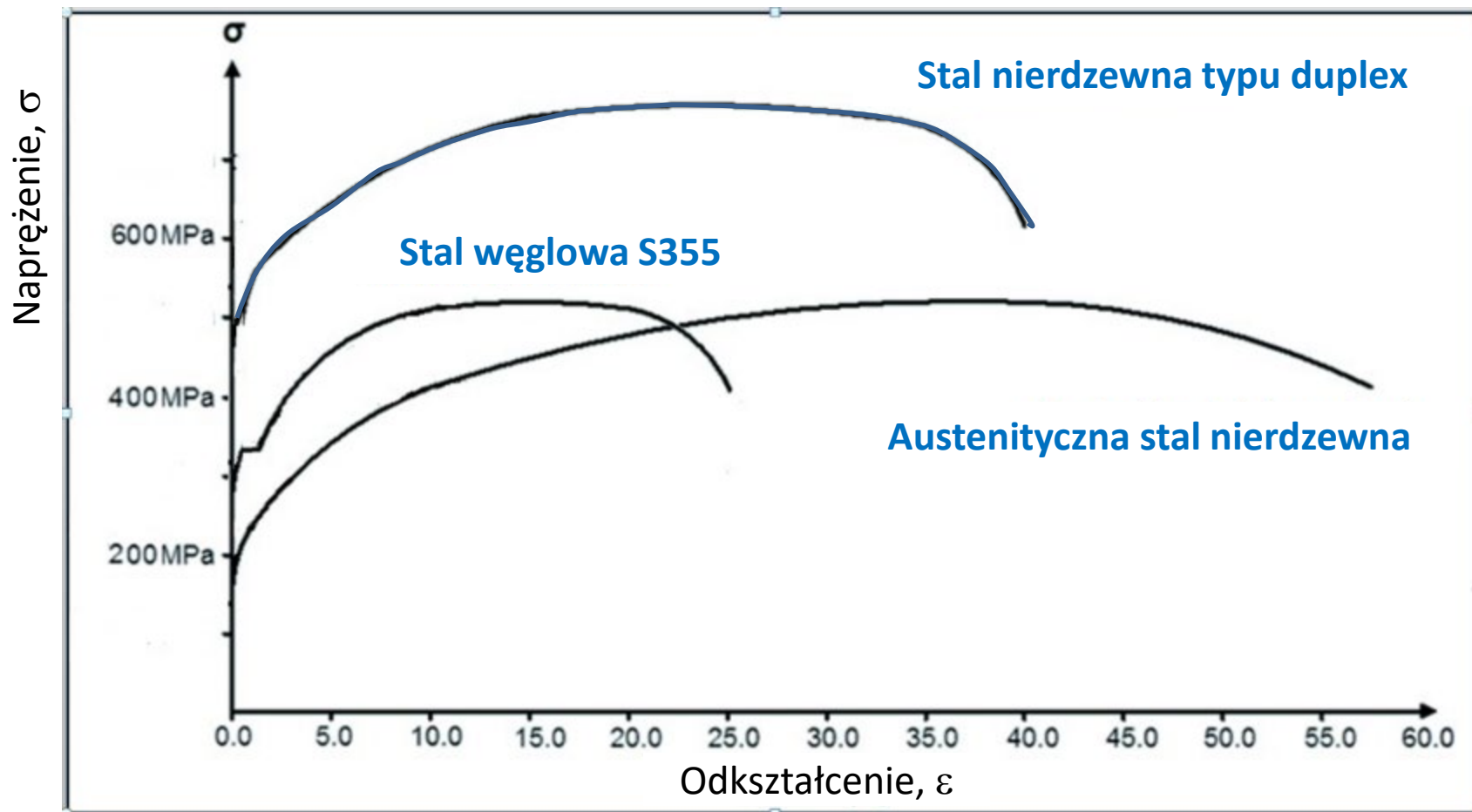
- Sprzęt do przetwarzania jest cięższy i o większej mocy
- Wymagane są większe siły
- Ograniczona plastyczność (jakkolwiek początkowa plastyczność jest wysoka zwłaszcza stali austenitycznych)
- Mogą powstać niepożądane naprężenia szczątkowe

Plastyczność i udarność



- **Plastyczność** – zdolność do rozciągania bez naruszenia spójności (rozerwania)
- **Udarność** – zdolność do absorpcji energii i plastycznego odkształcenia bez pęknięcia

Charakterystyka naprężenie-odkształcenie – zakres dużego odkształcenia



Konstrukcje odporne na uderzenie/wybuch



Pachotek bezpieczeństwa



Odporne na wybuch ściany o przekroju trapezowym są stosowane do nadwodnych części konstrukcji platform wiertniczych



Charakterystyka naprężenie- odkształcenie

Nieliniowa zależność.....prowadzi do:

- różnych maksymalnie dopuszczalnych stosunków szerokości do grubości przekrojów dla lokalnej utraty stateczności,
- różnych zjawisk niestateczności elementów pod wpływem ściskania i zginania,
- większego ugięcia



Wpływ na stateczność

- **Niska smukłość**

słupy uzyskują/przekraczają naprężenia krytyczne,
⇒ **korzyść** płynąca z występującego umocnienia
zgniotem

stale nierdzewne wykazują własności przynajmniej
tak dobre jak stale czarne

- **Wysoka smukłość**

niska wytrzymałość osiowa, niskie naprężenia,
a w zakresie liniowym stale nierdzewne zachowują
się podobnie do stali węglowych, zapewniając
jednakowe naprężenia geometryczne i szczątkowe

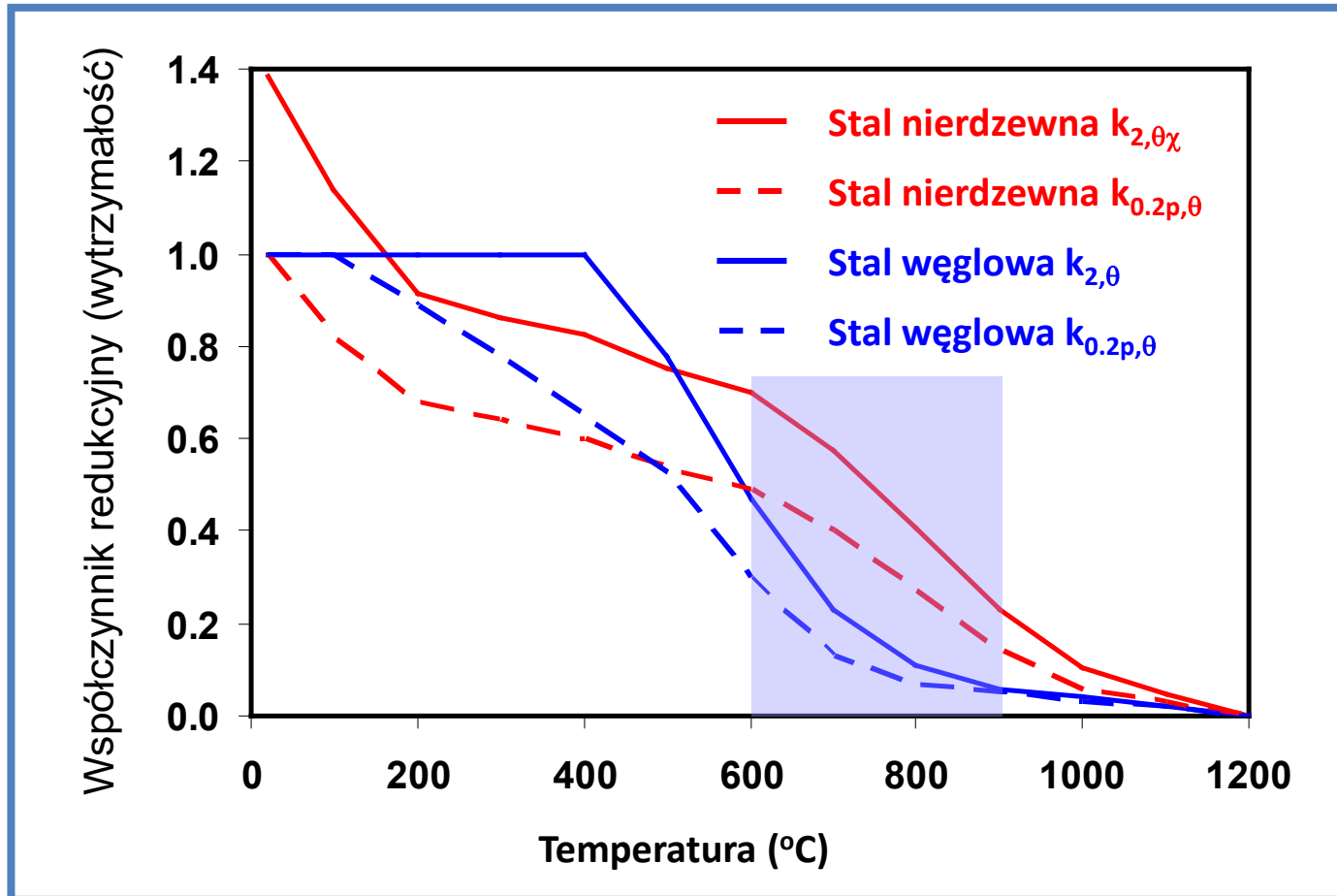
Wpływ na stateczność

- **Pośrednia smukłość**

średnie naprężenia w słupie mieszczą się między granicą proporcjonalności a odkształceniem trwałym 0,2%,

słup ze stali nierdzewnej jest słabszy niż słup ze stali czarnej

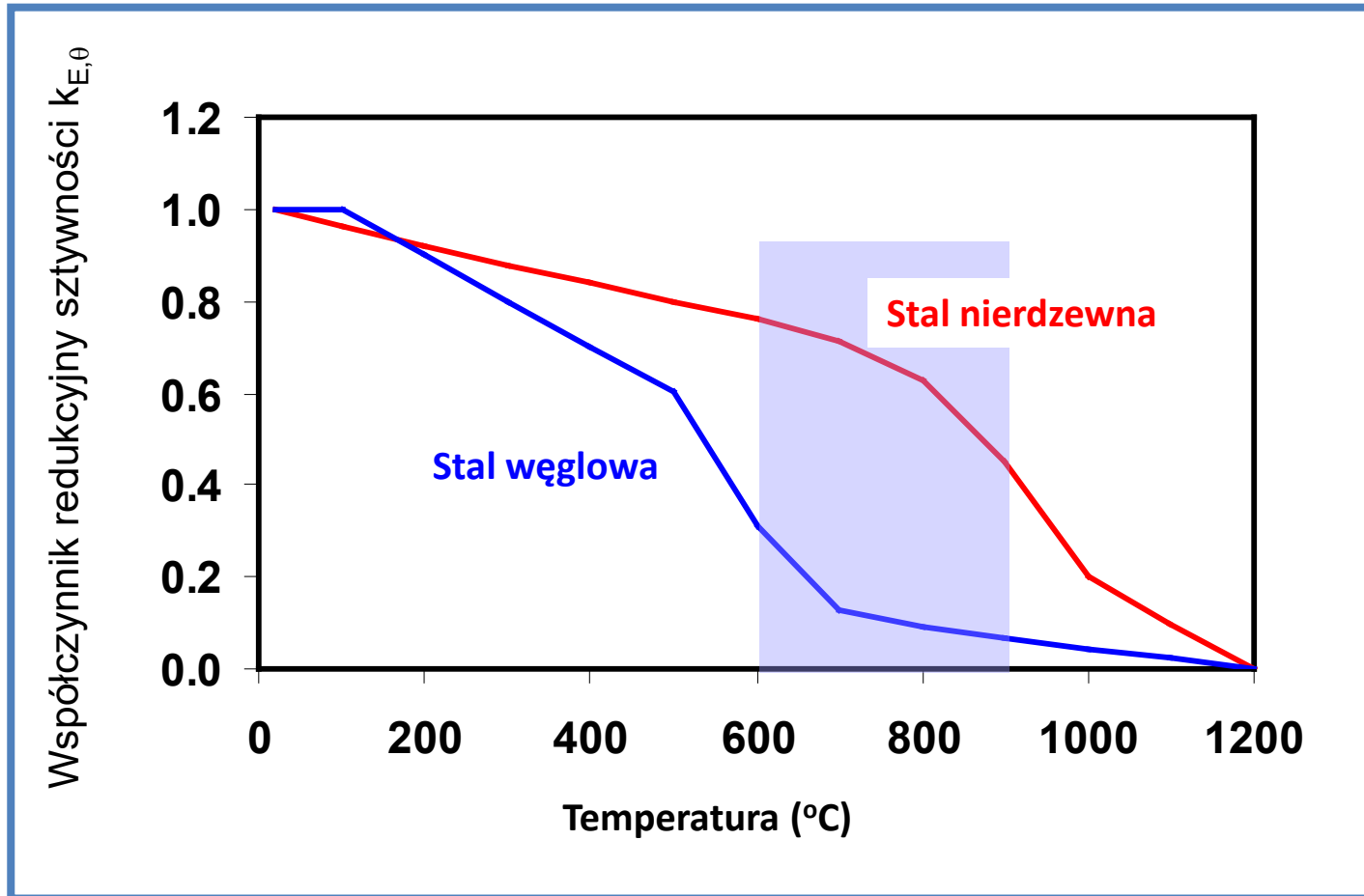
Własności w wysokiej temperaturze



$k_{0.2p,\theta}$ = współczynnik redukcji wytrzymałości przy $R_{p0,2\%}$

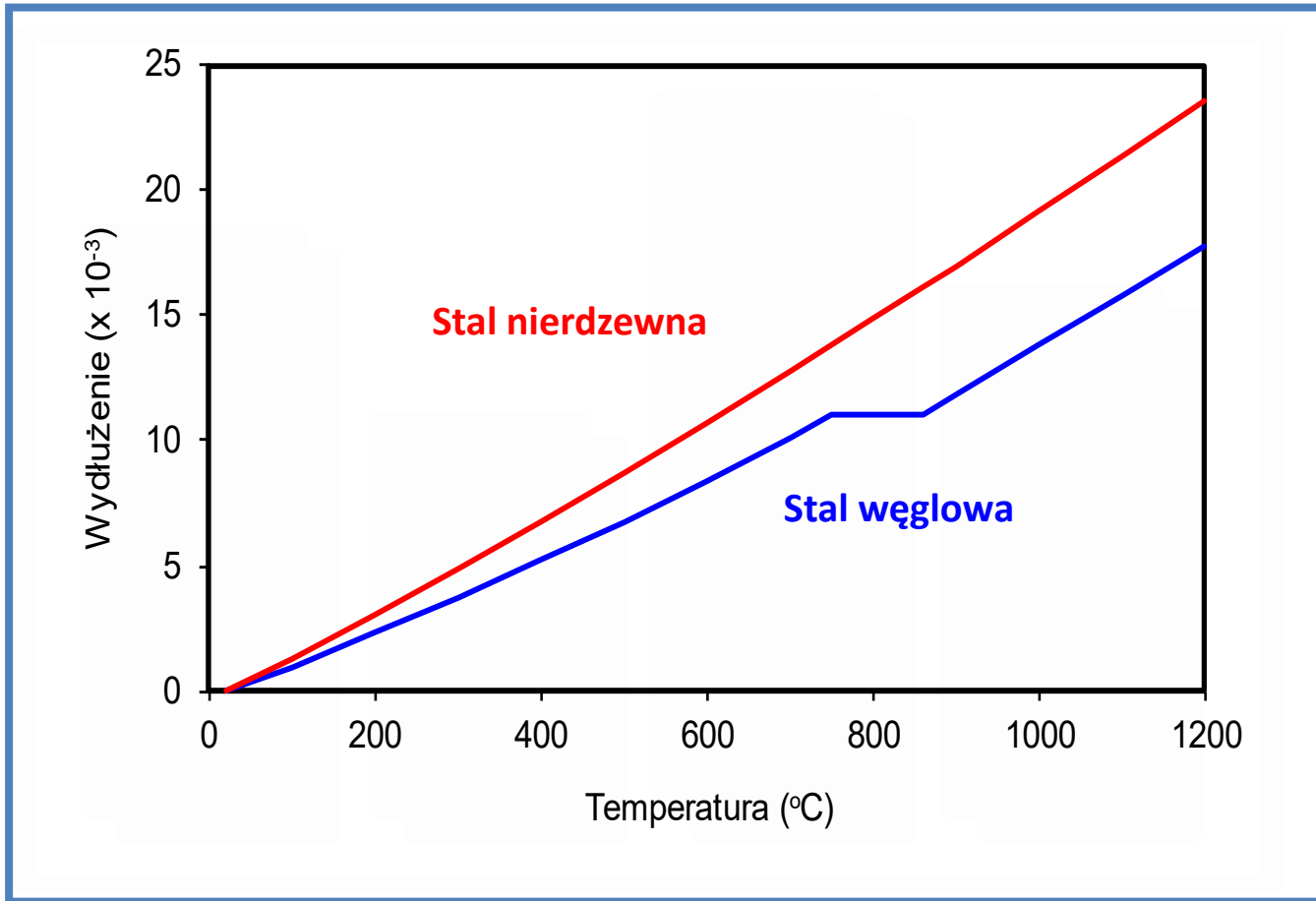
$k_{2,\theta}$ = współczynnik redukcji wytrzymałości przy odkształceniu trwałym 2%

Własności w wysokiej temperaturze



Współczynnik redukcyjny sztywności

Własności w wysokiej temperaturze



Rozszerzalność cieplna

Część 3

Projektowanie zgodne z Eurokodem 3



Projektowanie elementów ze stali nierdzewnej

- Postępować zgodnie z podstawowymi zasadami dla stali czarnych
- Stosować te same zasady jak dla stali czarnych dla elementów naprężonych i belek utwierdzonych
- Pewne różnice w klasyfikacji przekrojów, lokalnej niestateczności i krzywych wyboczenia, zwichrzenia elementów są stosowane z powodu:
 - nieliniowej krzywej naprężenie-odkształcenie
 - występującego umocnienia zgniotem
 - różnych poziomów naprężeń szczytkowych



Międzynarodowe normy projektowe

Jakie normy projektowe są dostępne dla konstrukcji ze stali nierdzewnych?



Klub jachtowy na wyspie Hamilton, Australia

EN 1990

Bezpieczeństwo konstrukcji, użytkowość i trwałość

EN 1991

Oddziaływania na konstrukcje

EN 1992

EN 1993

EN 1994

EN 1995

EN 1996

EN 1999

Projektowanie i szczególne wymagania

EN 1997

Projektowanie geotechniczne

EN 1998

Projektowanie sejsmiczne

Powiązania między Eurokodami

Eurokody są zintegrowanym zestawem przepisów projektowania konstrukcji opisującym wszystkie powszechne materiały konstrukcyjne



Eurokod 3: Część 1 (EN 1993-1)

EN 1993-1-1 Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.

EN 1993-1-2 Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.

EN 1993-1-3 Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.

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

EN 1993-1-5 Blachownice.

EN 1993-1-6 Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych.

EN 1993-1-7 Konstrukcje płytowe.

EN 1993-1-8 Projektowanie węzłów.

EN 1993-1-9 Zmęczenie.

EN 1993-1-10 Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową.

EN 1993-1-11 Konstrukcje ciągnowe.

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

Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1.4 Reguły uzupełniające dla stali nierdzewnych

BRITISH STANDARD

BS EN
1993-1-4:2006

Eurocode 3 — Design of steel structures —

**Part 1-4: General rules —
Supplementary rules for stainless steels**

Projektowanie konstrukcji stalowych.
Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze
stali nierdzewnych (2006)

- Zmieniają i uzupełniają w razie potrzeby reguły stosowane dla stali węglowych podawane w innych częściach Eurokodu 3
- Stosowane dla budynków, mostów, zbiorników itd.

The European Standard EN 1993-1-4:2006 has the status of a
British Standard

ICS 91.040.01; 91.080.10

BSi
British Standards

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW



Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1.4 Reguły uzupełniające dla stali nierdzewnych

Typy elementów

- Walcowane na gorąco i spawane
- Walcowane na zimno
- Pręty

Gatunki

	EC3-1-4	Kolejna aktualizacja
Ferrytyczne	3	3
Austenityczne	16	16
Duplex	2	6

Zakres

- Elementy i połączenia
- Warunki pożarowe (*przez odniesienie do EN 1993-1-2*)
- Zmęczenie (*przez odniesienie do EN 1993-1-9*)



Inne normy projektowe

- **Japonia** – dwie normy: jedna dla elementów ze stali nierdzewnych walcowanych na zimno, druga dla elementów spawanych
- **Południowa Afryka, Australia, Nowa Zelandia** – normy dla walcowanych na zimno elementów ze stali nierdzewnych
- **Chiny** – norma w trakcie opracowania
- **USA** – specyfikacja ASCE dla walcowanych na zimno elementów i AISC Design Guide dla walcowanych na gorąco i spawanych konstrukcji ze stali nierdzewnych

Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1.4 Reguły uzupełniające dla stali nierdzewnych

Następne slajdy przedstawiają podsumowanie zasad projektowych dla stali nierdzewnych podanych w EN 1993-1-4 i główne różnice w stosunku do stali czarnych.



Słupy odporne na wybuch w zadaszeniu przed wejściem,
Seven World Trade Centre, Nowy Jork



Klasyfikacja przekrojów i lokalna utrata stateczności w EN 1993-1-4

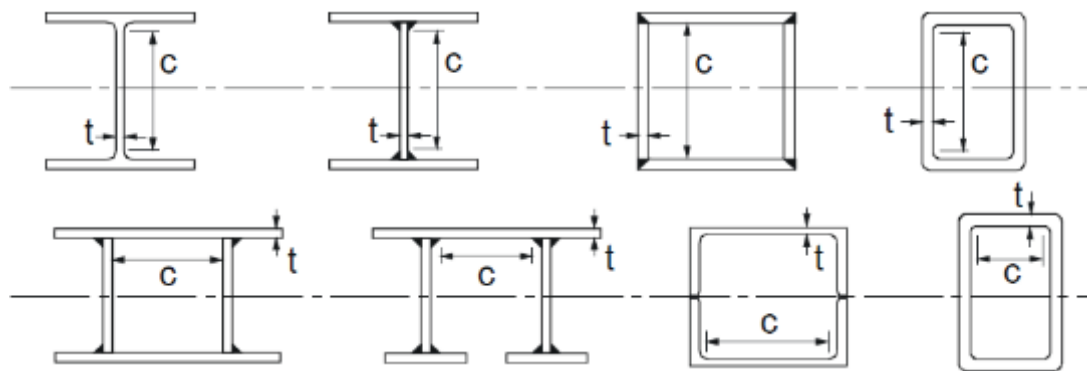
- Niższe niż dla stali czarnych maksymalne stosunki szerokości do grubości przekrojów
- Nieznacznie inna zależność do obliczenia szerokości współpracującej przekrojów

Pomimo to.....

Kolejna wersja EN 1993-1-4 będzie zawierać mniej konserwatywne maksymalne stosunki wymiarowe przekrojów i zależności na szerokości współpracujące przekrojów.

Klasyfikacja przekrojów i lokalna utrata stateczności w EN 1993-1-4

■ Wewnętrzne części ściskane

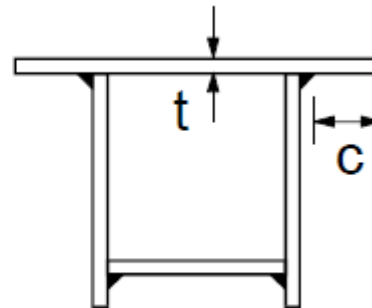
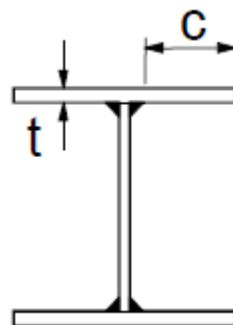


$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

Klasa	EC3-1-1: Stal węglowa		EC3-1-4: Stal nierdzewna		EC3-1-4: Kolejna aktualizacja	
	Część zginana	Część ściskana	Część zginana	Część ściskana	Część zginana	Część ściskana
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	$c/t \leq 56\varepsilon$	$c/t \leq 25,7\varepsilon$	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	$c/t \leq 58,2\varepsilon$	$c/t \leq 26,7\varepsilon$	$c/t \leq 76\varepsilon$	$c/t \leq 35\varepsilon$
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	$c/t \leq 74,8\varepsilon$	$c/t \leq 30,7\varepsilon$	$c/t \leq 90\varepsilon$	$c/t \leq 37\varepsilon$

Klasyfikacja przekrojów i lokalna utrata stateczności w EN 1993-1-4

■ Zewnętrzne części ściskane



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

	EC3-1-1: Stal węglowa	EC3-1-4: Stal nierdzewna		EC3-1-4: Kolejna aktualizacja
Class	Część ściskana	Spawane	Profilowane na zimno	Część ściskana
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq 9\varepsilon$
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq 9,4\varepsilon$	$c/t \leq 10,4\varepsilon$	$c/t \leq 10\varepsilon$
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 11\varepsilon$	$c/t \leq 11,9\varepsilon$	$c/t \leq 14\varepsilon$

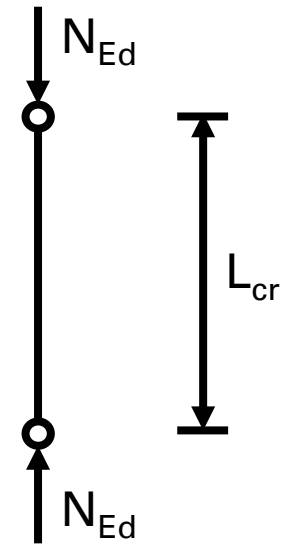
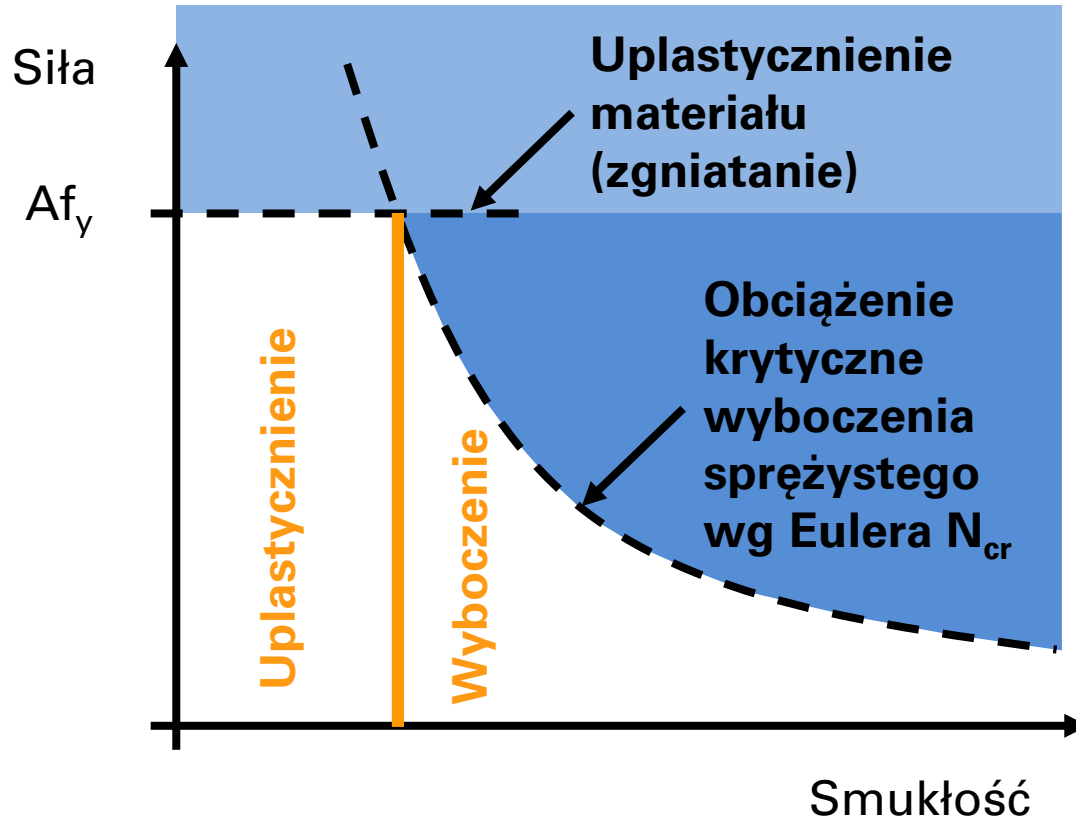


Projektowanie elementów naprężonych, słupów i belek

- Generalnie stosować te same zasady jak dla stali węglowych
- Stosować inne krzywe dla wyboczenia słupów i belek niestężonych (zwichrzenie)
- Upewnić się, że przyjęto właściwą wartość f_y dla danego gatunku (wartości minimalne podane w normach EN 10088-4 i -5)

“Idealne” zachowanie się słupa

Dwie granice: uplastycznienie i wyboczenie:



Wyboczenie słupa

(elementy ściskane o stałym przekroju)

Odporność na wyboczenie elementu ściskanego

$N_{b,Rd}$:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

W przypadku przekrojów klasy 1, 2 i 3

Współczynnik niestateczności

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

W przypadku klasy 4

Wyboczenie słupa

(elementy ściskane o stałym przekroju)

Smukłość względna: $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}}$$

w przypadku przekrojów klasy 1, 2 i 3

$$= \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$
w przypadku przekrojów klasy 4

N_{cr} siła krytyczna odpowiadająca postaci wyboczenia sprężystego, wyznaczona na podstawie cech geometrycznych przekroju brutto

Wyboczenie słupa

(elementy ściskane o stałym przekroju)

Współczynnik niestateczności: χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0,5}} \leq 1$$

$$\phi = 0,5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \lambda_0) + \bar{\lambda}^2)$$

Parametr imperfekcji

Długość „półki plastycznej”

Wyboczenie giętnie kolumny

- Wybór krzywej wyboczenia zależy od kształtu przekroju, sposobu wytwarzania i osi bezwładności

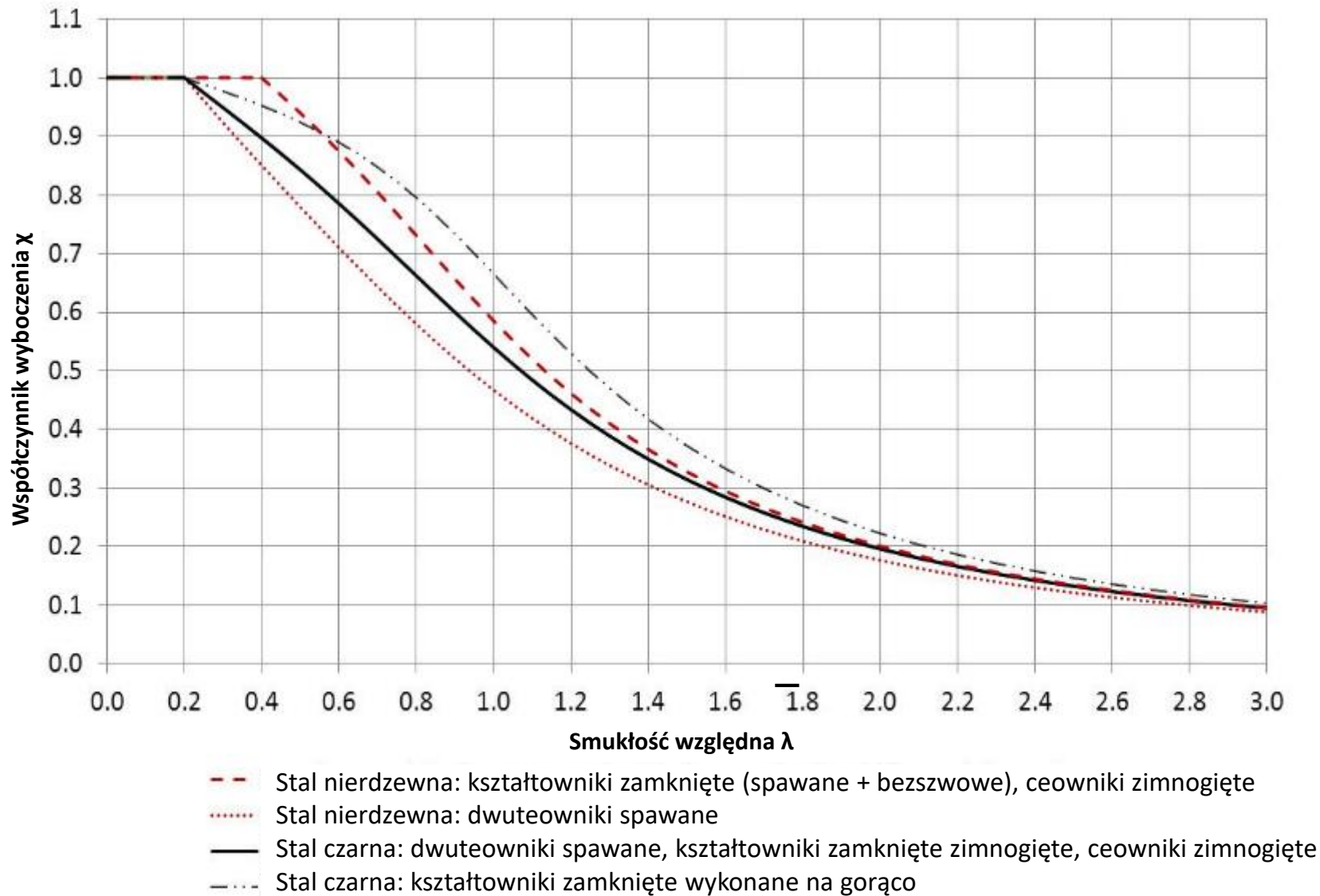
Tablica 5.3: Wartości α i $\bar{\lambda}_0$ dla krzywych wyboczenia giętnego, skrętnego i giętno-skrętnego

Postać wyboczenia	Rodzaj elementu	α	$\bar{\lambda}_0$
Giętnie	Kształtowniki otwarte profilowane na zimno	0,49	0,40
	Kształtowniki rurowe (spawane i bez szwu)	0,49	0,40
	Kształtowniki otwarte spawane [wyboczenie względem osi większej bezwładności N_2]	0,49	0,20
	Kształtowniki otwarte spawane [wyboczenie względem osi mniejszej bezwładności N_2]	0,76	0,20
Skrętne i giętno-skrętne	Wszystkie	0,34	0,20

Źródło: EN 1993-1-4



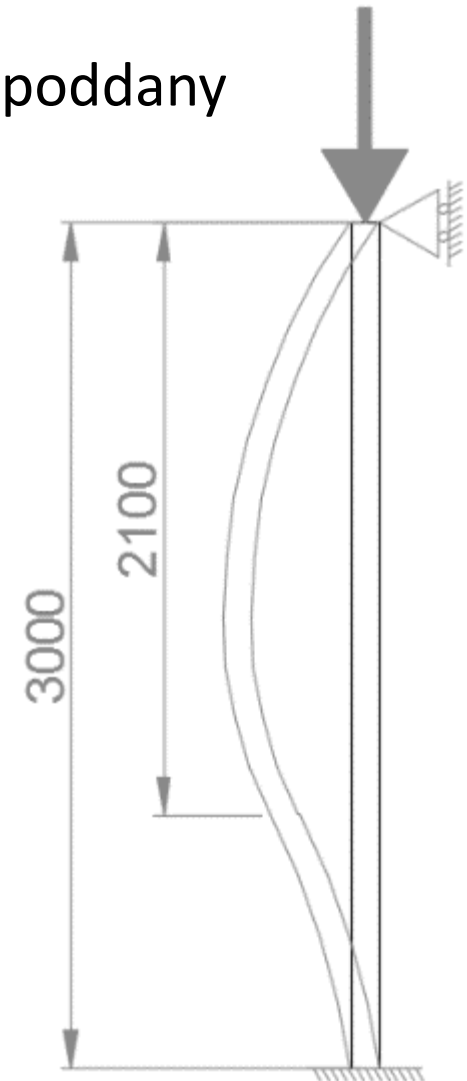
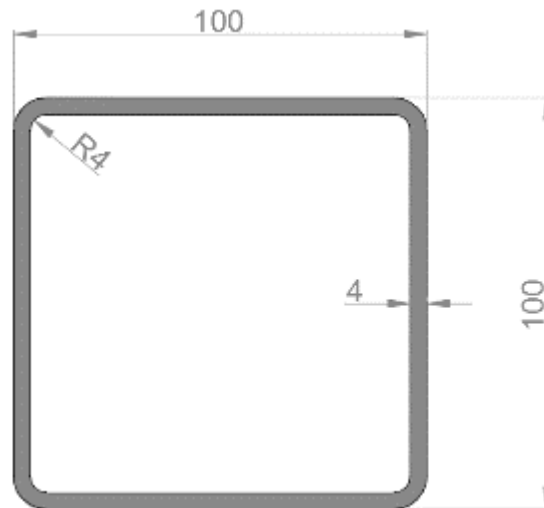
Krzywe wyboczenia giętnego w Eurokod 3



Eurokod 3 Wyboczenie giętkie – przykład

- Profilowany na zimno przekrój kwadratowy poddany osiowemu ścisnaniu

	Stal węglowa	Austenityczna stal nierdzewna
Materiał	S235	EN 1.4301
f_y [N/mm ²]	235	230
E [N/mm ²]	210000	200000



Eurokod 3 Wyboczenie giętkie – przykład

EC 3-1-1: stal czarna S235

- Klasyfikacja

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

- wszystkie części wewnętrzne

$$c/t = 21 < 33 = 33\varepsilon$$

klasa 1

Przekrój = klasa 1

EC 3-1-4: Austenityczna nierdzewna

- Klasyfikacja

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,99$$

- wszystkie części wewnętrzne

$$c/t = 21 < 25,35 = 25,7\varepsilon$$

klasa 1

Przekrój = klasa 1

Eurokod 3 Wyboczenie giętkie – przykład

	EC 3-1-1: stal węglowa S355	EC 3-1-4: Stal nierdzewna duplex
A [mm ²]	1495	1495
f_y [N/mm ²]	235	230
γ_{M0} [-]	1	1,1
$N_{c,Rd}$ [kN]	351	313
L_{cr} [mm]	2100	2100
λ_1 [-]	93,9	92,6
$\bar{\lambda}$ [-]	0,575	0,583
α [-]	0,49	0,49
$\bar{\lambda}_0$ [-]	0,2	0,4
ϕ [-]	0,76	0,71
χ [-]	0,80	0,89
γ_{M1} [-]	1	1,1
$N_{b,Rd}$ [kN]	281	277

Eurokod 3 Wyboczenie giętkie – przykład

■ Porównanie

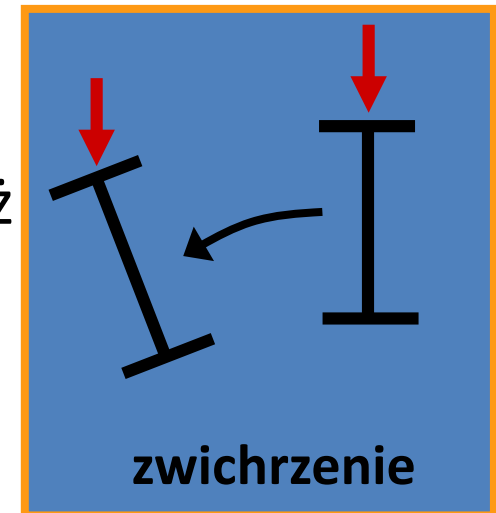
	EC 3-1-1: stal czarna S235	EC 3-1-4: Austenityczna stal nierdzewna
f_y [N/mm ²]	235	230
γ_{M0} [-]	1,0	1,1
γ_{M1} [-]	1,0	1,1
$M_{c,Rd}$ przekroju	351	313
Odporność na zwichrzenie $M_{b,Rd}$	281	277

- W podanym przykładzie, stal węglowa i nierdzewna wykazują zbliżoną nośność na wyboczenie giętkie.

Odporność na zwichrzenie

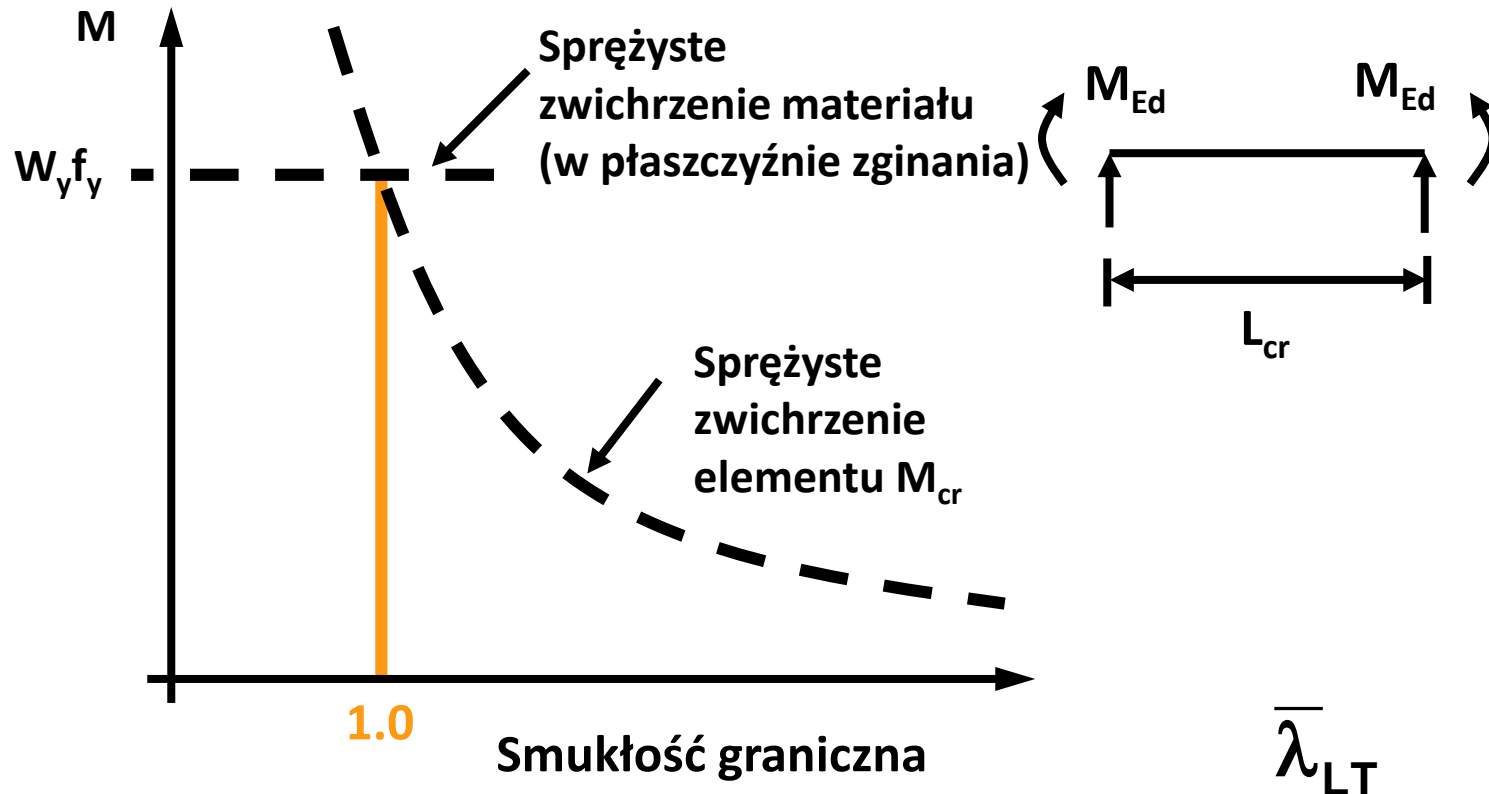
- Możliwość zwichrzenia może być zdyskontowana w następujących przypadkach:

- gdy zginanie odbywa się tylko wzdłuż osi słabszej bezwładności
- dla kształtowników zamkniętych o przekroju okrągłym i kwadratowym oraz prętów o przekroju okrągłym i kwadratowym
- dla belek bocznie utwierdzonych na całej długości za pomocą właściwych sposobów
- gdy parametr smukłości granicznej $\bar{\lambda}_{LT}$ jest niższy od 0,4



Odporność na zwichrzenie

- Założenie podczas projektowania dla odporności na zwierzchnie jest analogiczne jak dla wybozczenia kolumny.



Odporność na zwichrzenie

- Odporność na zwichrzenie $M_{b,Rd}$ niestężonych belek (lub odcinków belek) oblicza się następująco:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Współczynnik niestateczności dla zwichrzenia

Odporność na zwichrzenie

- Krzywa zwichrzenia przedstawia zależność:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{but } \chi_{LT} \leq 1.0$$

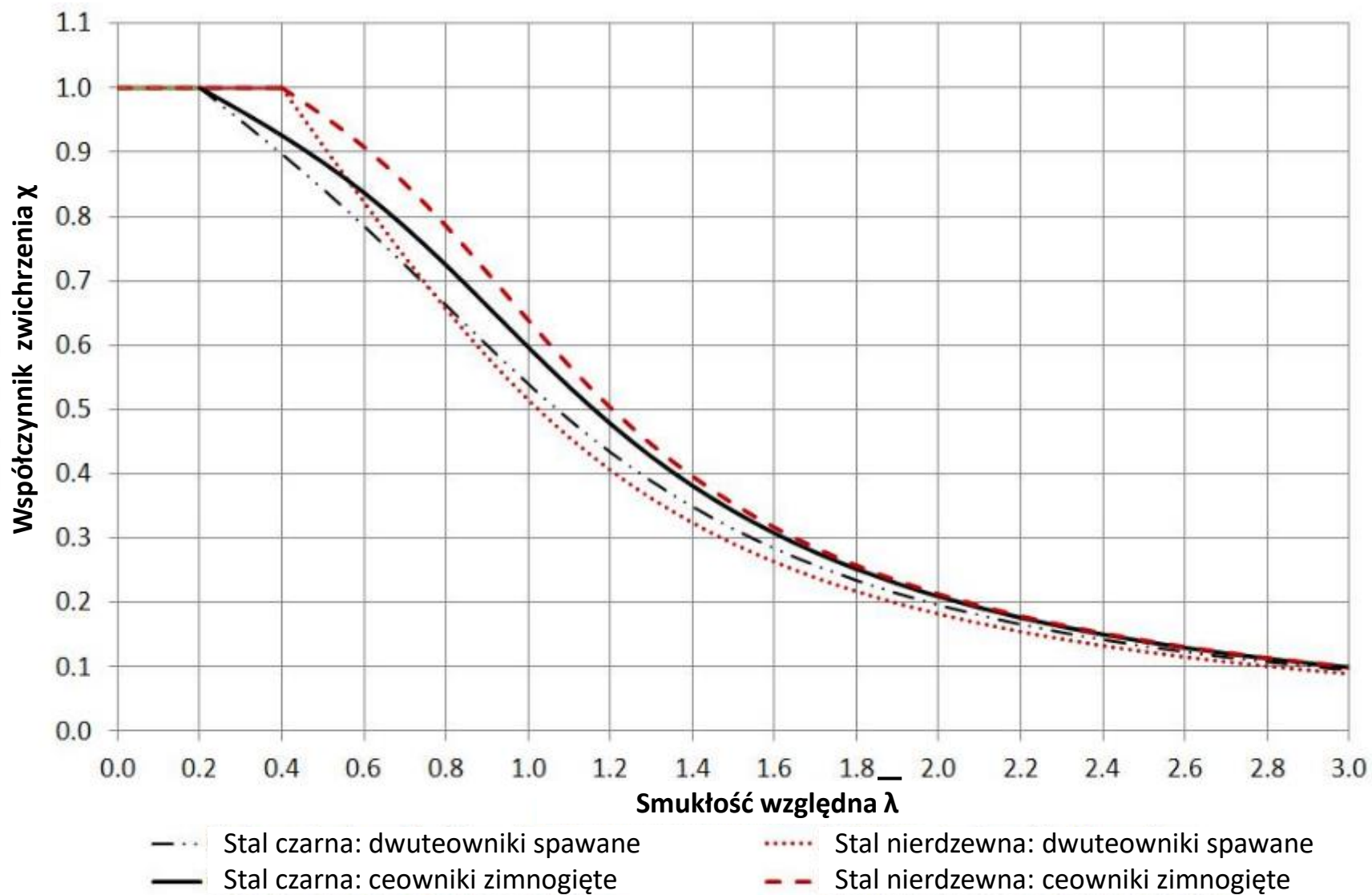
$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Długość „półki
plastycznej”

Parametr imperfekcji



Krzywe zwichrzenia w Eurokode 3



Smukłość względna

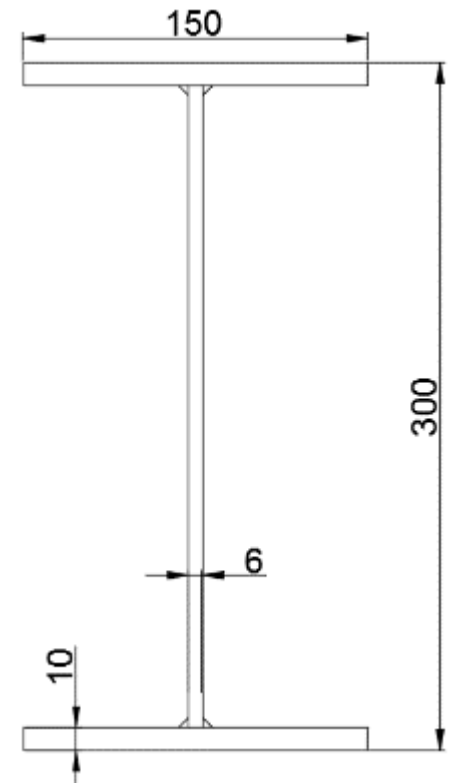
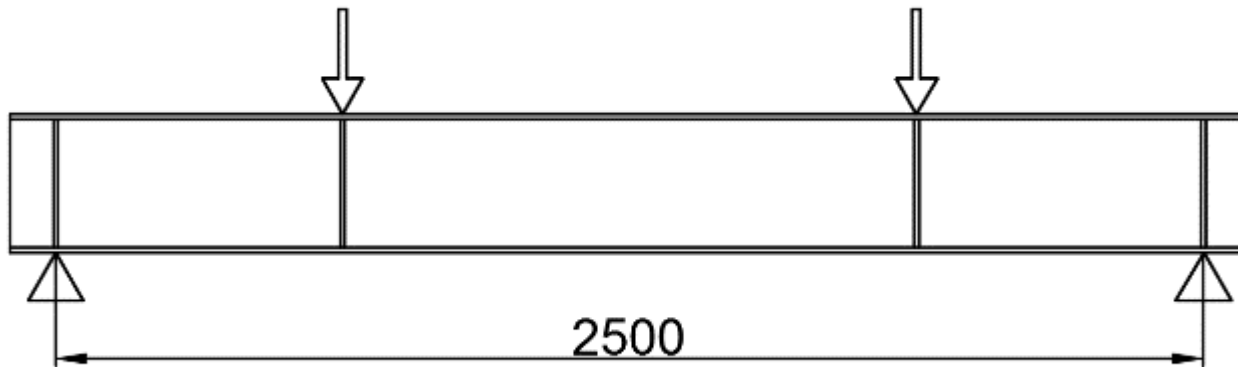
- Smukłość przy zwichrzeniu :

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

- Krzywe zwichrzenia jak dla ściskania (z wyjątkiem krzywej a_0)
- W_y zależy od klasyfikacji przekroju
- M_{cr} moment krytyczny przy zwichrzeniu sprężystym

Eurokod 3 Smukłość przy zwichrzeniu – przykład

- Dwuteownik poddany zginaniu



	Stal węglowa	Stal nierdzewna duplex
Material	S355	EN 1.4162
f_y [N/mm ²]	355	450
E [N/mm ²]	210000	200000

Eurokod 3 Smukłość przy zwichrzeniu – przykład

EC 3-1-1: S355

■ Klasyfikacja

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

– Stopka

$$c/t = 6,78 < 7,3 = 9\varepsilon$$

klasa 1

– Środek

$$c/t = 45,3 < 58,3 = 72\varepsilon$$

klasa 1

Przekrój = klasa 1

EC 3-1-4: Duplex

■ Klasyfikacja

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,71$$

– Stopka

$$c/t = 6,78 < 7,76 = 11\varepsilon$$

klasa 3

– Środek

$$c/t = 45,3 < 58,3 = 72\varepsilon$$

klasa 3

Przekrój = klasa 3

Eurokod 3 Smukłość przy zwichrzeniu – przykład

EC 3-1-1: S355

- nośność

- Klasa 1

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 196 \text{ kNm}$$

EC 3-1-4: Duplex

- nośność

- Klasa 3

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 202 \text{ kNm}$$

Aktualizacja EC 3-1-4:

- Klasyfikacja: bliższa stali węglowej

- Przekrój = klasa 2

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 226 \text{ kNm}$$

Eurokod 3 Smukłość przy zwichrzeniu – przykład

Sprężysty moment krytyczny:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{k_z}{k_\omega} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]} - C_2 z_g \right\}$$

	EC 3-1-1: S355	EC 3-1-4: duplex
C_1 [-]	1,04	1,04
C_2 [-]	0,42	0,42
k_z [-]	1	1
k_ω [-]	1	1
z_g [mm]	160	160
I_z [mm ⁴]	$5,6 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$
I_T [mm ⁴]	$1,2 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$
I_ω [mm ⁶]	$1,2 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{11}$
E [MPa]	210000	200000
G [MPa]	81000	77000
M_{cr} [kNm]	215	205

Eurokod 3 Smukłość przy zwichrzeniu - przykład

Odporność na zwichrzenie

	EC 3-1-1: stal czarna S355	EC 3-1-4: stal nierdzewna duplex	EC 3-1-4: Aktualizacja
W_y [mm ³]	5,5.10⁵	4,9.10⁵	5,5.10⁵
f_y [N/mm ²]	355	450	450
M_{cr} [kNm]	215	205	205
$\bar{\lambda}_{LT}$ [-]	0,96	1,04	1,10
α_{LT} [-]	0,49	0,76	0,76
$\bar{\lambda}_{LT,0}$ [-]	0,2	0,4	0,4
ϕ_{LT} [-]	1,14	1,29	1,37
χ_{LT} [-]	0,57	0,49	0,46
γ_{M1} [-]	1,0	1,1	1,1
$M_{b,Rd}$ [kNm]	111	99	103

Eurokod 3 Smukłość przy zwichrzeniu – przykład

■ Porównanie

	EC 3-1-1: stal czarna S355	EC 3-1-4: stal nierdzewna duplex	EC 3-1-4: przyszła aktualizacja
f_y [N/mm ²]	355	450	450
γ_{M0} [-]	1,0	1,1	1,1
γ_{M1} [-]	1,0	1,1	1,1
$M_{c,Rd}$ przekroju	196	202	226
Nośność na zwichrzenie $M_{b,Rd}$	110	98	102

- W podanym przykładzie stal czarna i nierdzewna wykazują zbliżoną odporność na zwichrzenie.
- Jakkolwiek: Ostatnie badania i publikacje naukowe wskazują, że podane wartości powinny być bardziej dostosowane do warunków rzeczywistych
⇒ są zbyt konserwatywne.

Część 4

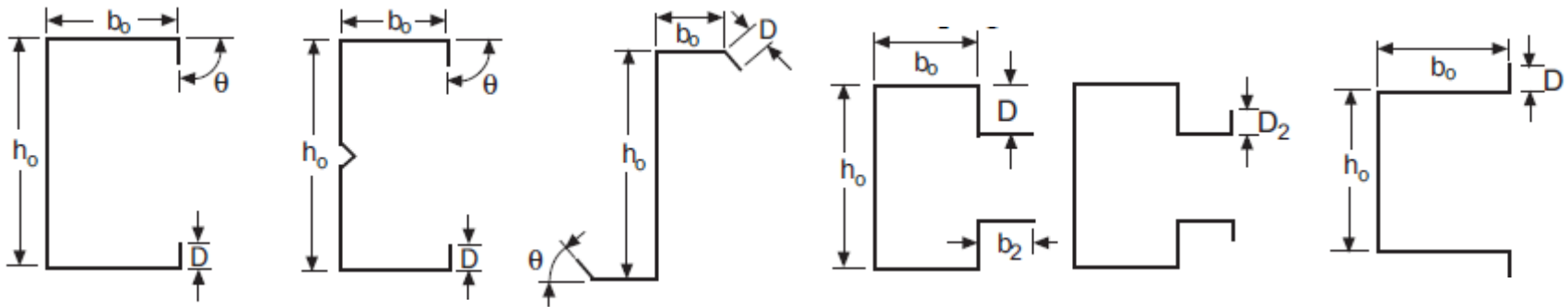
Metody alternatywne

Metody alternatywne

- Metoda (DSM) Direct strength method
 - Część przepisów amerykańskich
 - Dla profili cienkościennych
- Metoda (CSM) Continuous strength method
 - Uwzględnia pozytywne oddziaływania umocnienia zgniotowego
- Metoda elementów skończonych

Metoda DSM (Direct strength method)

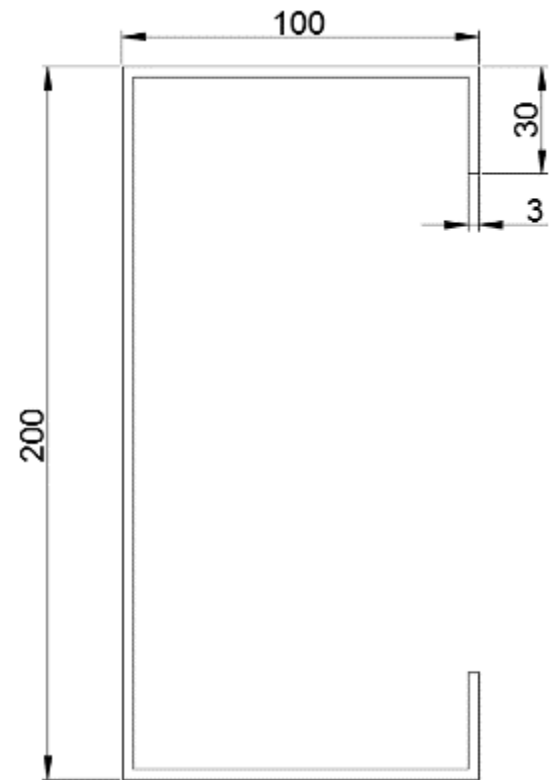
- AISI Załącznik 1
- Bardzo prosta i oczywista metoda
- Stosowana dla przekrojów cienkościennych



- Wymaga „analizy wyboczenia sprężystego”
 - Metoda teoretyczna opisana w literaturze
 - Metoda pasm skończonych (na przykład CUFSM)
- Więcej informacji na: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/>

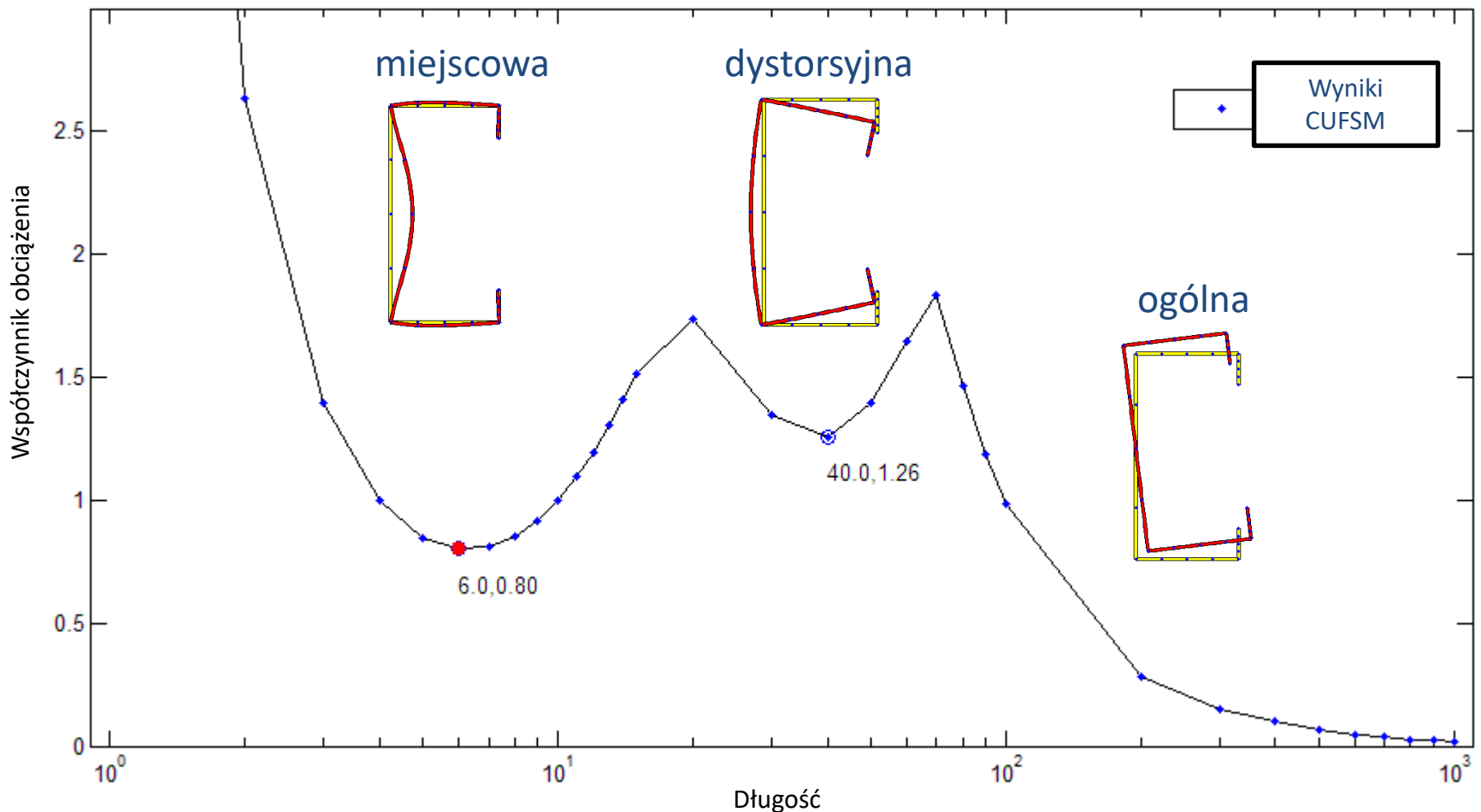
Metoda DSM (Direct strength method) – przykład

- Ceownik półzamknięty poddany ścisnaniu
- Ferrytyczna stal nierdzewna
 - Wysokość kolumny:
 - EN 1.4003
 - $f_y = 280 \text{ N/mm}^2$
 - $f_u = 450 \text{ N/mm}^2$
 - $E = 220000 \text{ N/mm}^2$



Metoda DSM (Direct strength method) – przykład

- Pierwszy krok: określenie wyboczenia sprężystego – postaci niestateczności



Metoda DSM (Direct strength method)

– przykład

- Wyniki analizy = obciążenie wyboczenia sprężystego
 - W przykładzie współczynnik obciążenia dla wyboczenia sprężystego wynosi:
 - miejscowo: 0,80
 - dystorsyjnie: 1,26
 - ogólnie: 0,28
- Drugi krok: obliczenie wytrzymałości nominalnej dla
 - Wyboczenia miejscowego \Rightarrow jedno równanie
 - Wyboczenia dystorsyjnego \Rightarrow jedno równanie
 - Wyboczenia ogólnego \Rightarrow jedno równanie

Metoda DSM (Direct strength method) – przykład

- Nominalna wytrzymałość wyboczenia ogólnego P_{ne}

- $\lambda_c = \sqrt{P_y/P_{cre}} = 1,88$

- $P_y = Af_y = 376 \text{ kN}$

- $P_{cre} = 0,28 * 376 = 107 \text{ kN}$

For $\lambda_c \leq 1,5$ $P_{ne} = (0,658^{\lambda_c^2})P_y$

For $\lambda_c > 1,5$ $P_{ne} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right)P_y$

- $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

Metoda DSM (Direct strength method) – przykład

- Nominalna wytrzymałość wyboczenia miejscowego P_{nl}

$$- \lambda_l = \sqrt{P_{ne}/P_{crl}} = 0,56$$

$$- P_{crl} = 0,80 * 376 = 302 \text{ kN}$$

$$\text{For } \lambda_l \leq 0,776$$

$$P_{nl} = P_{ne}$$

$$\text{For } \lambda_l > 0,776$$

$$P_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} P_{ne}$$

- $P_{nl} = 93,81 \text{ kN}$

Metoda DSM (Direct strength method)

– przykład

- Nominalna wytrzymałość wyboczenia dystorsyjnego P_{nd}

- $\lambda_d = \sqrt{P_y / P_{crd}} = 0,89$

- $P_{crd} = 1,26 * 376 = 473 \text{ kN}$

For $\lambda_d \leq 0,561$

$$P_{nd} = P_y$$

For $\lambda_d > 0,561$

$$P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y$$

- $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$

Metoda DSM (Direct strength method) – przykład

- Trzeci krok : wytrzymałość osiowa stanowi „jedynie” minimum wytrzymałości nominalnej
 - Miejscowej: $P_{nl} = 93,81 \text{ kN}$
 - Dystorsyjnej: $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$
 - Ogólnej: $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

$$\Rightarrow P_n = 93,81 \text{ kN}$$

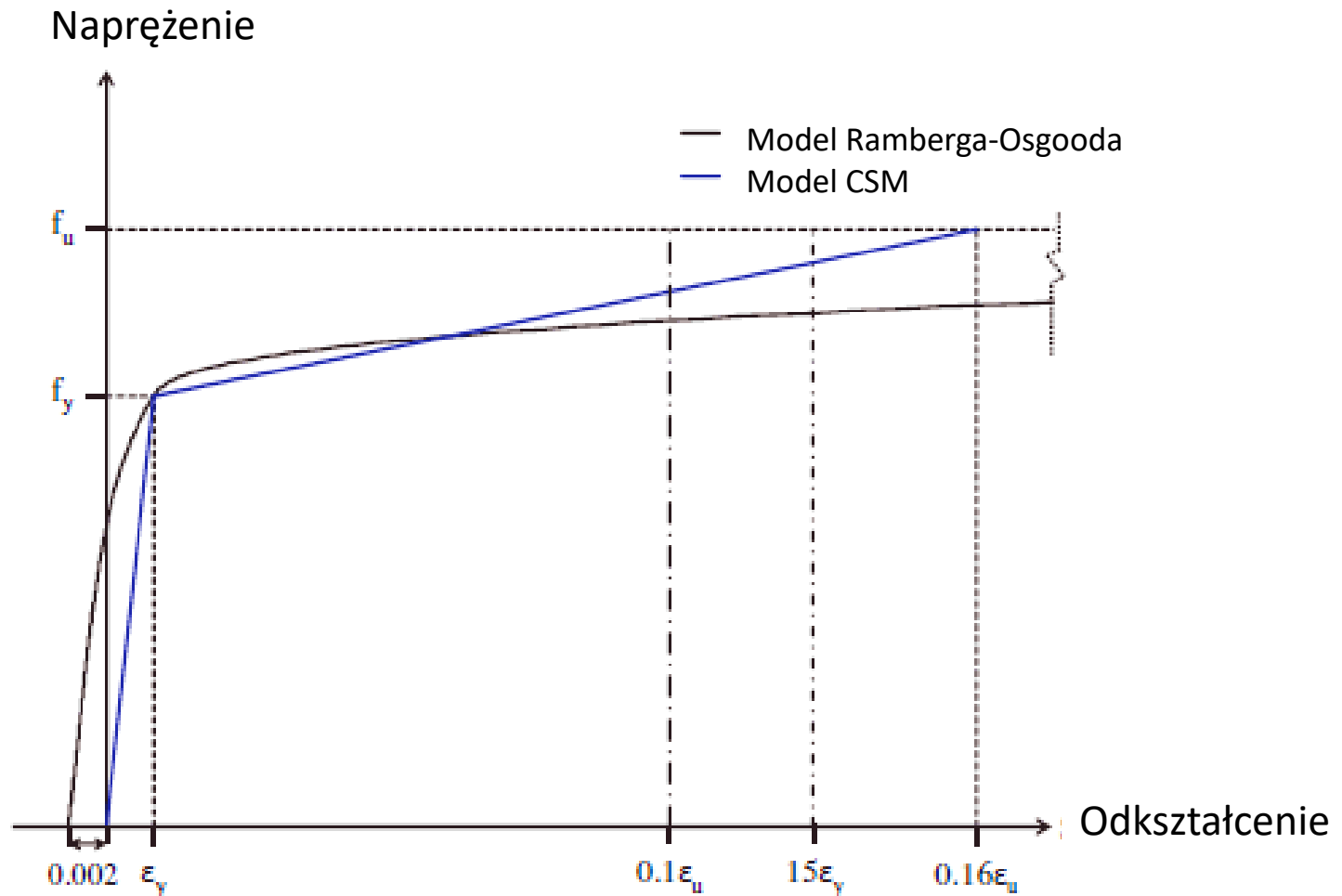
Metoda CSM (Continuous strength method)

- Charakterystyka materiałowa stali nierdzewnej:
 - Nieliniowy model materiałowy
 - Umocnienie zgniotem
 - Konwencjonalne metody projektowania nie są w stanie wykorzystać pełnego potencjału charakterystyki przekrojów

Metoda *Continuous strength method (CSM)* stosuje model materiałowy uwzględniający umocnienie zgniotem

Metoda CSM (Continuous strength method)

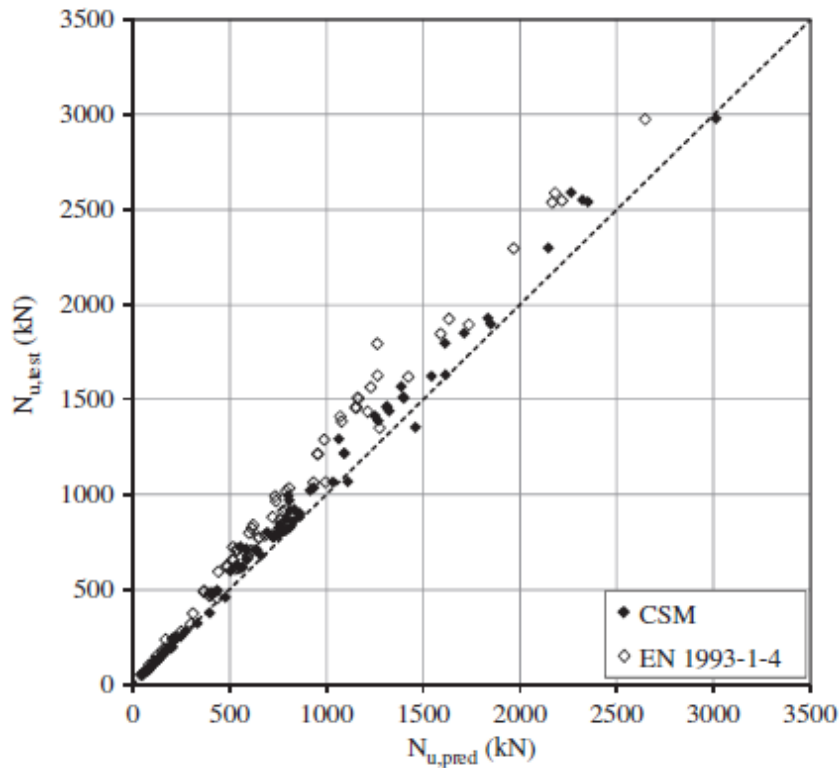
- Model materiałowy rozpatrywany w metodzie CSM



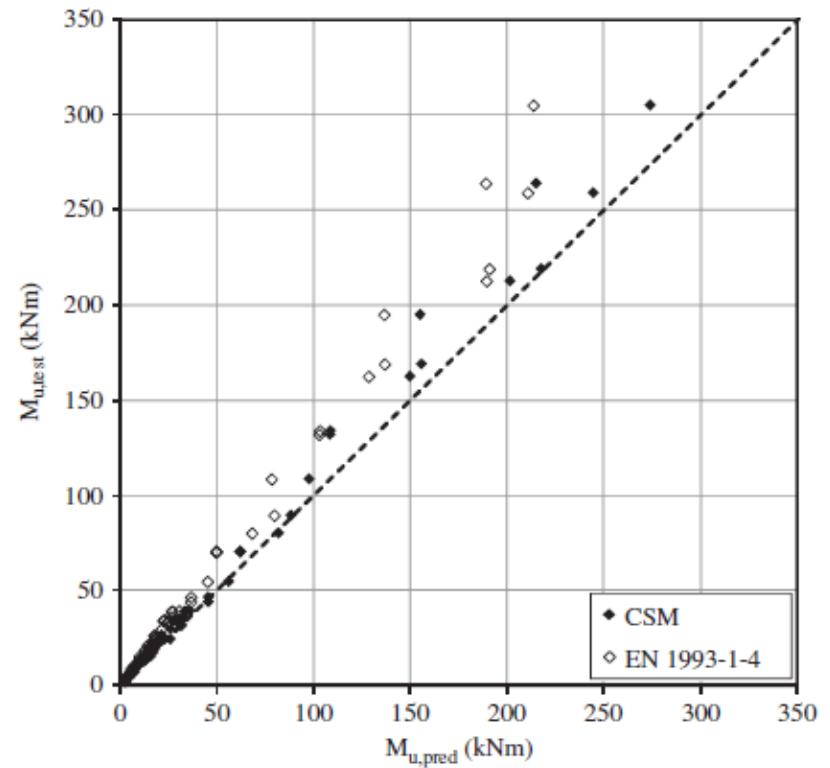
Metoda CSM (Continuous strength method)

Porównanie metod EC3 i CSM – obliczenia i wyniki badań:

Ściskanie



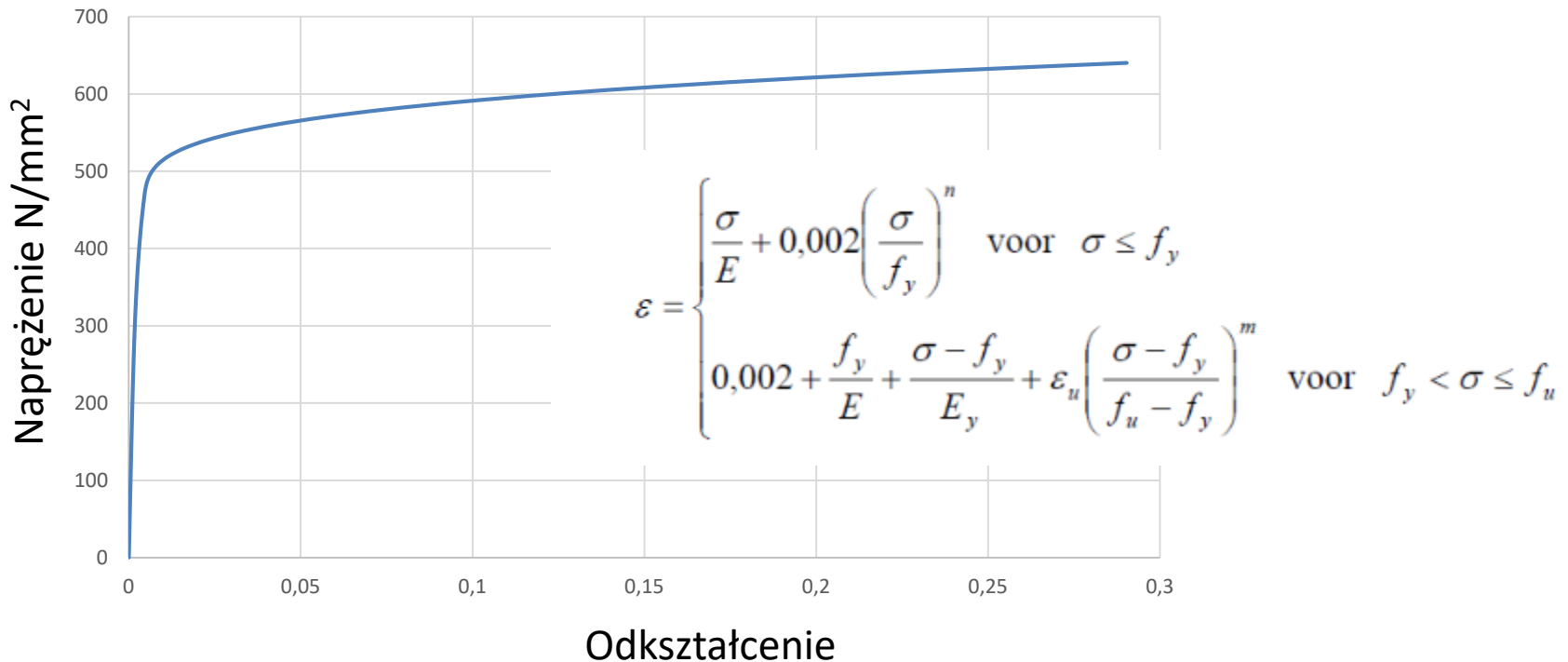
Zginanie



Metoda CSM bardziej dokładnie oddaje zachowania przekroju

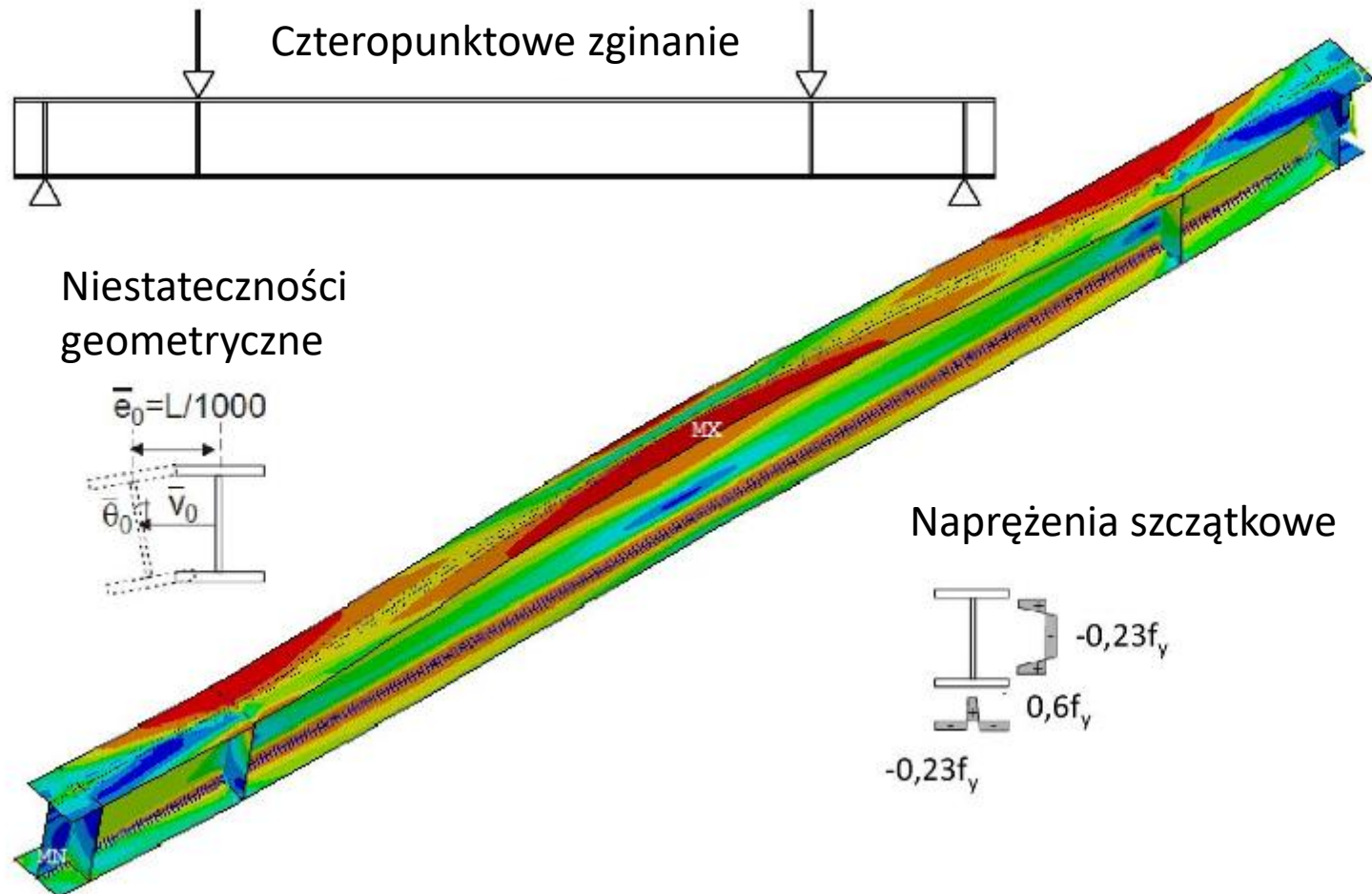
Metoda elementów skończonych

- Charakterystyczną krzywą naprężenie-odkształcenie materiału można dokładnie modelować (np. zgodnie z modelem materiałowym Ramberga-Osgooda lub z zastosowaniem wyników badań wyznaczonych dla próbek wytrzymałościowych)



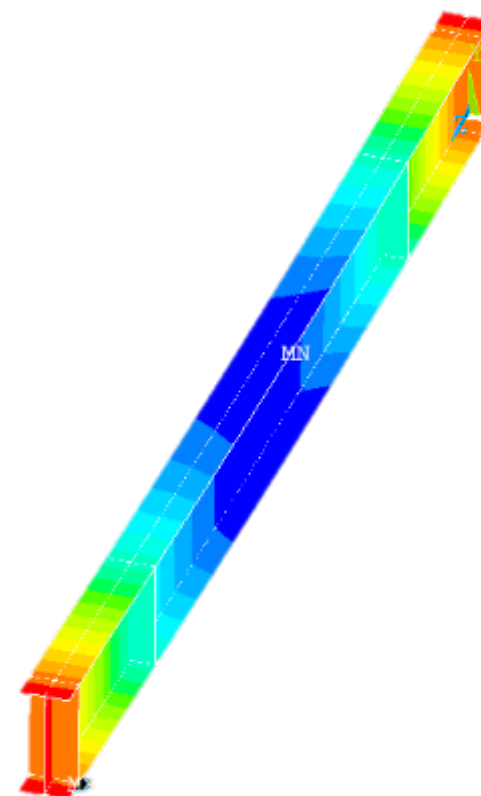
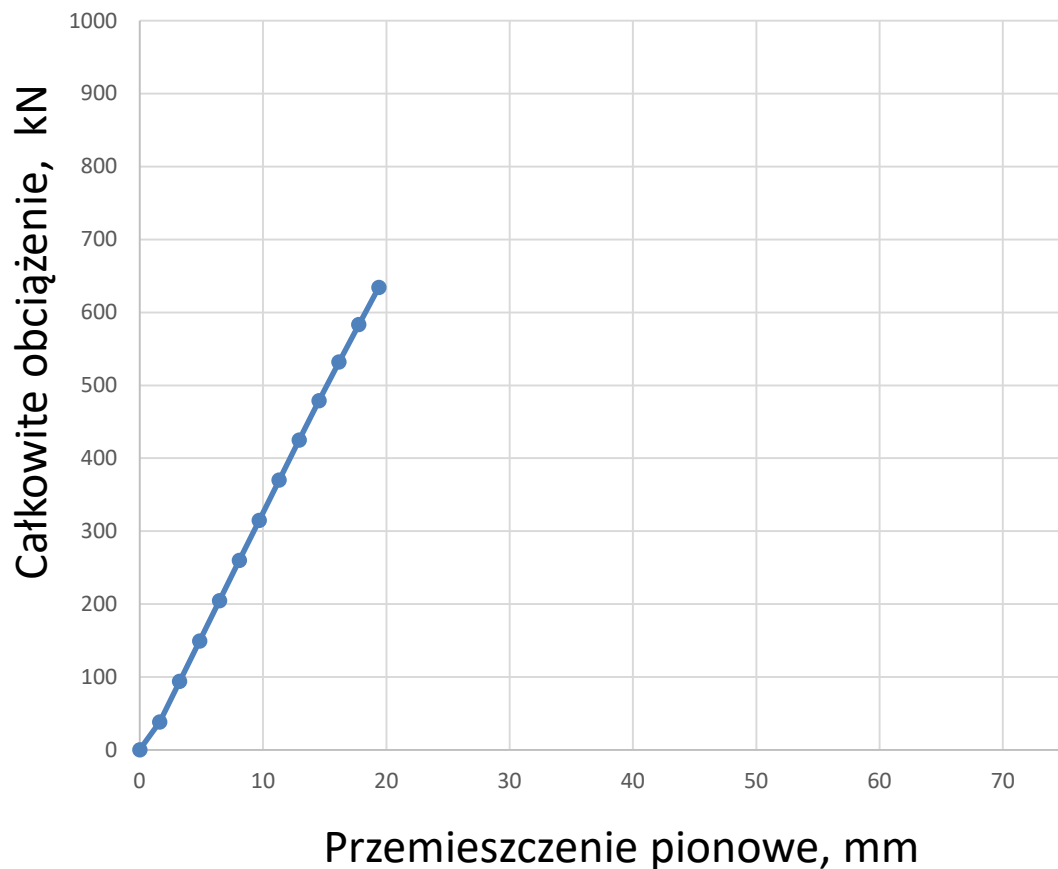
Metoda elementów skończonych

- Dwuteownik poddany zginaniu ulega zwichrzeniu: można modelować wszystkie występujące zjawiska niestateczności



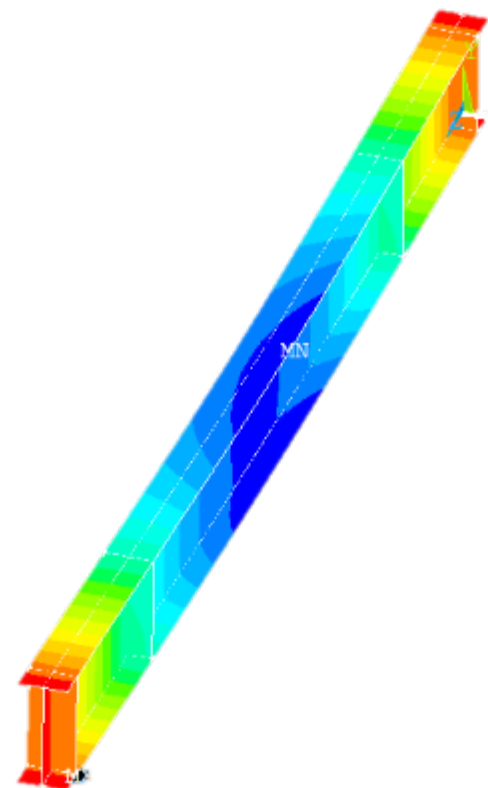
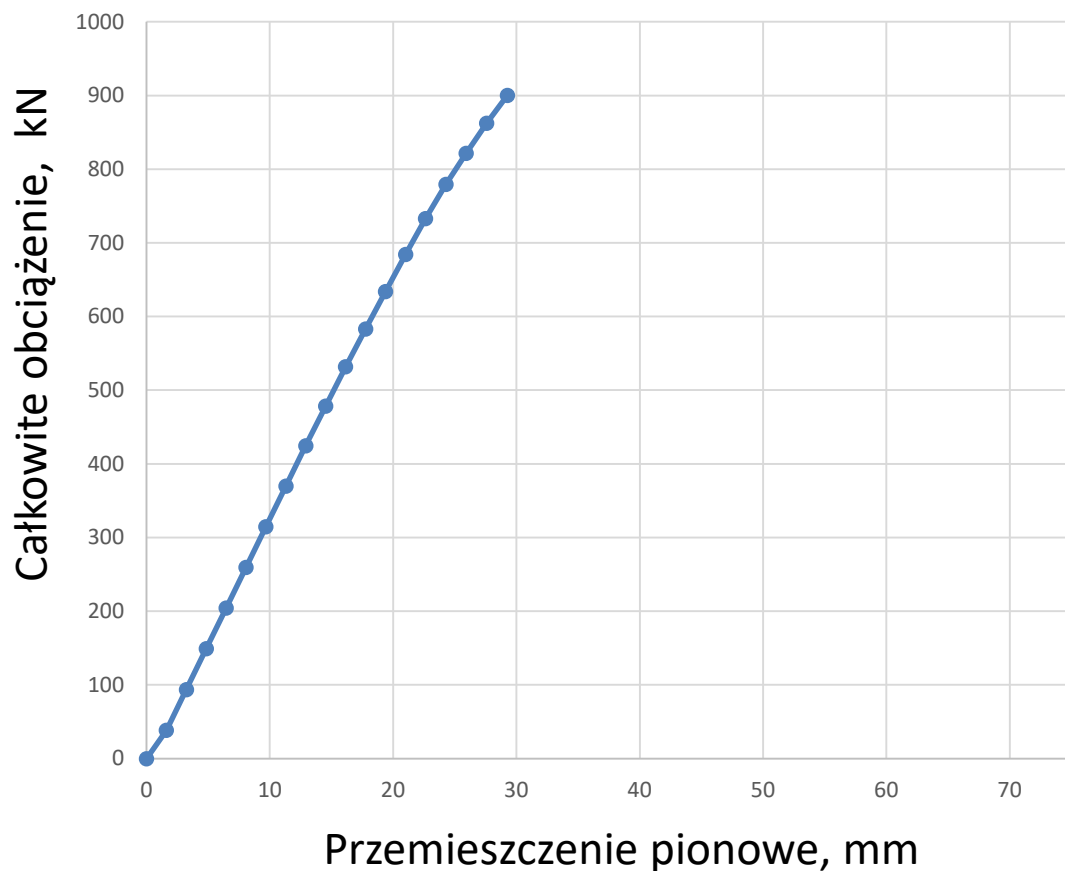
Metoda elementów skończonych

- Można obliczyć krzywą obciążenie-ugięcie
 - Zachowanie sprężyste i pierwsze uplastycznienie



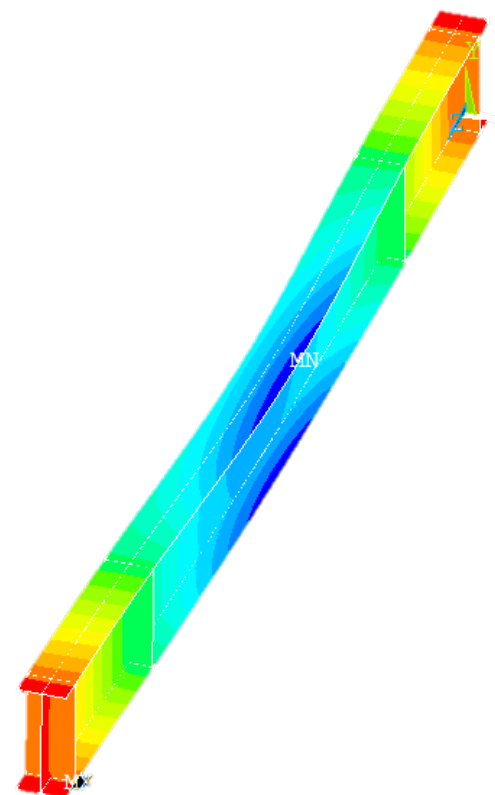
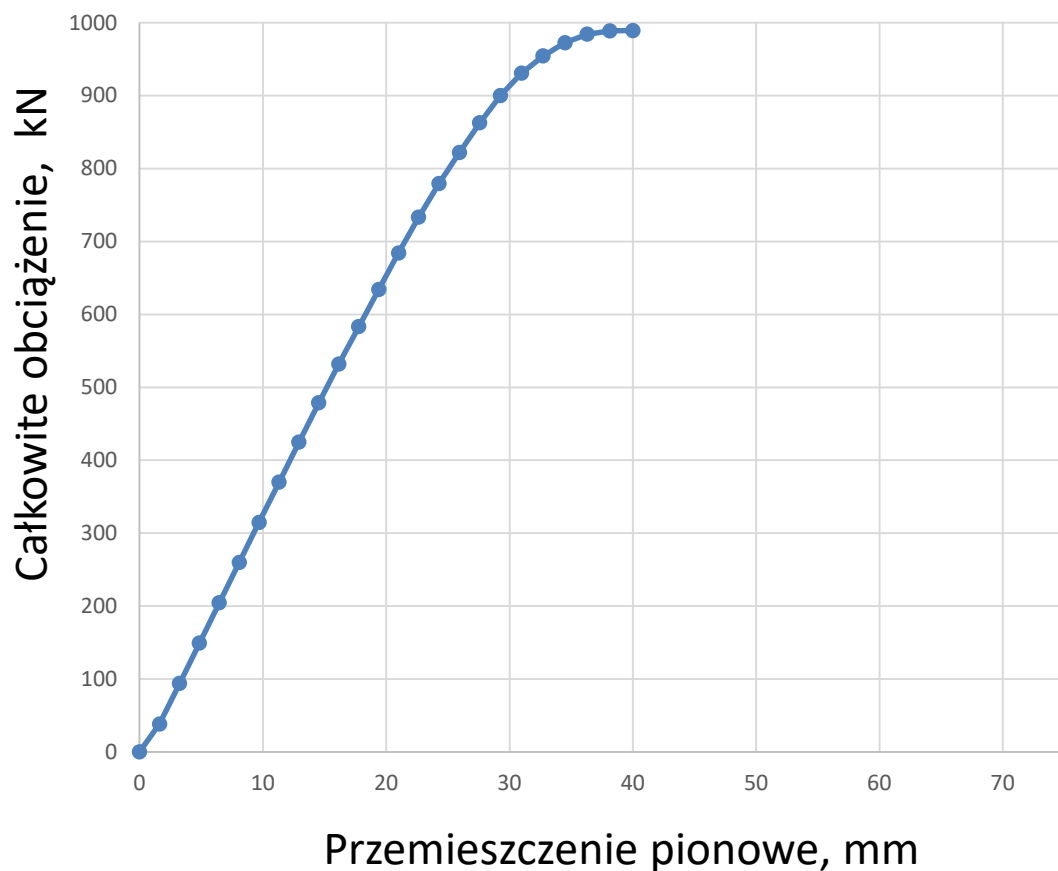
Metoda elementów skończonych

- Wyniki: zjawisko niestateczności \Rightarrow zwichrzenie



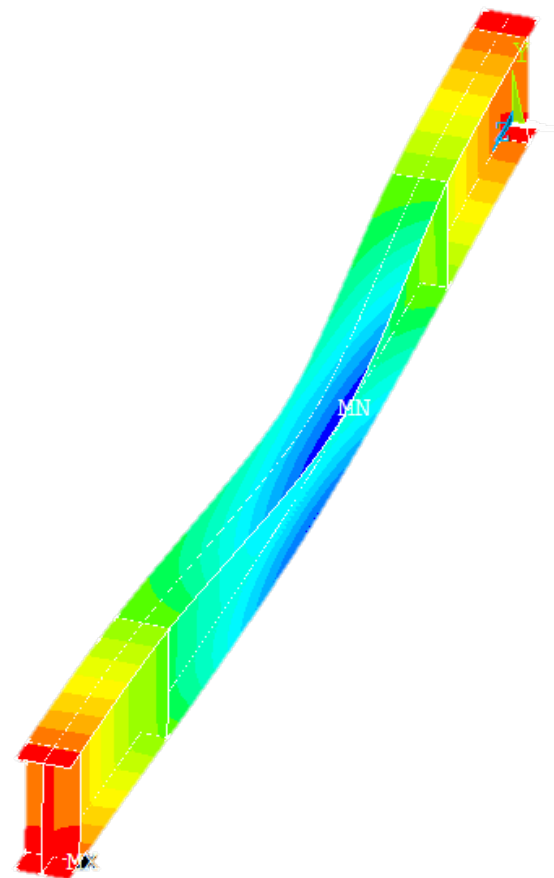
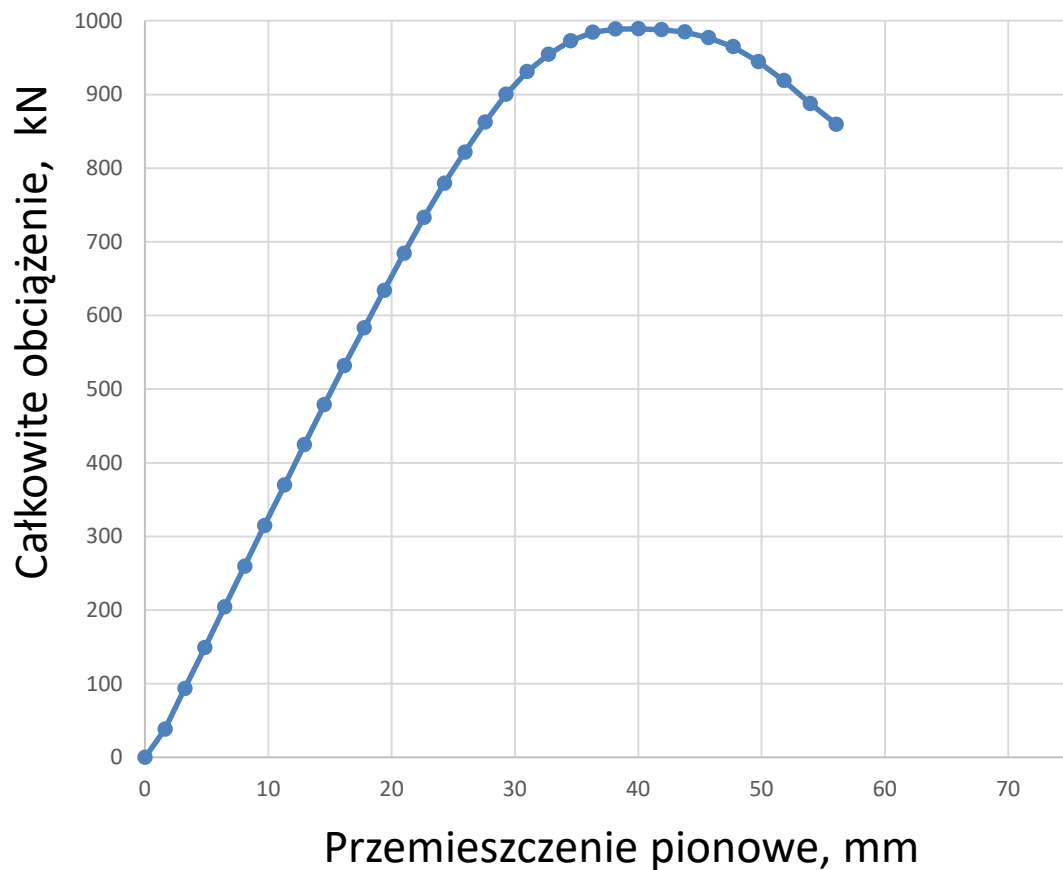
Metoda elementów skończonych

- Wyniki: zjawisko niestateczności \Rightarrow zwichrzenie



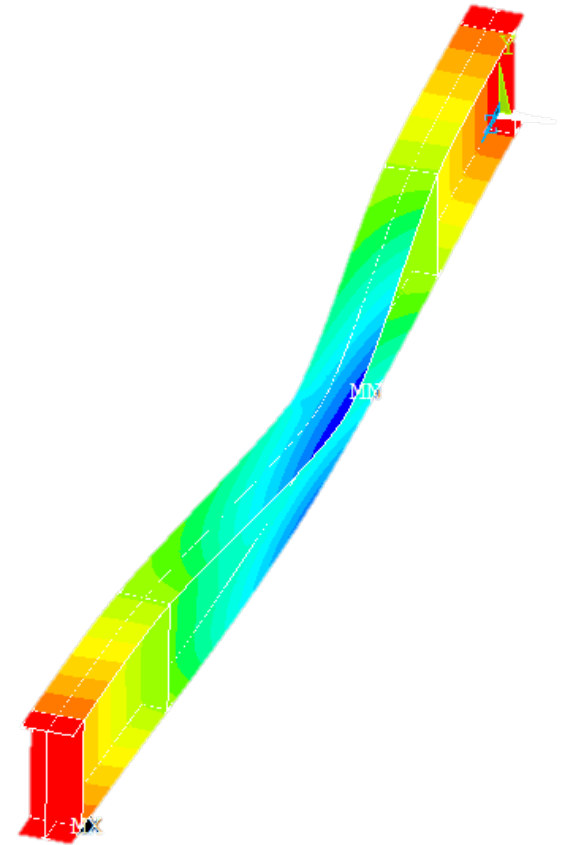
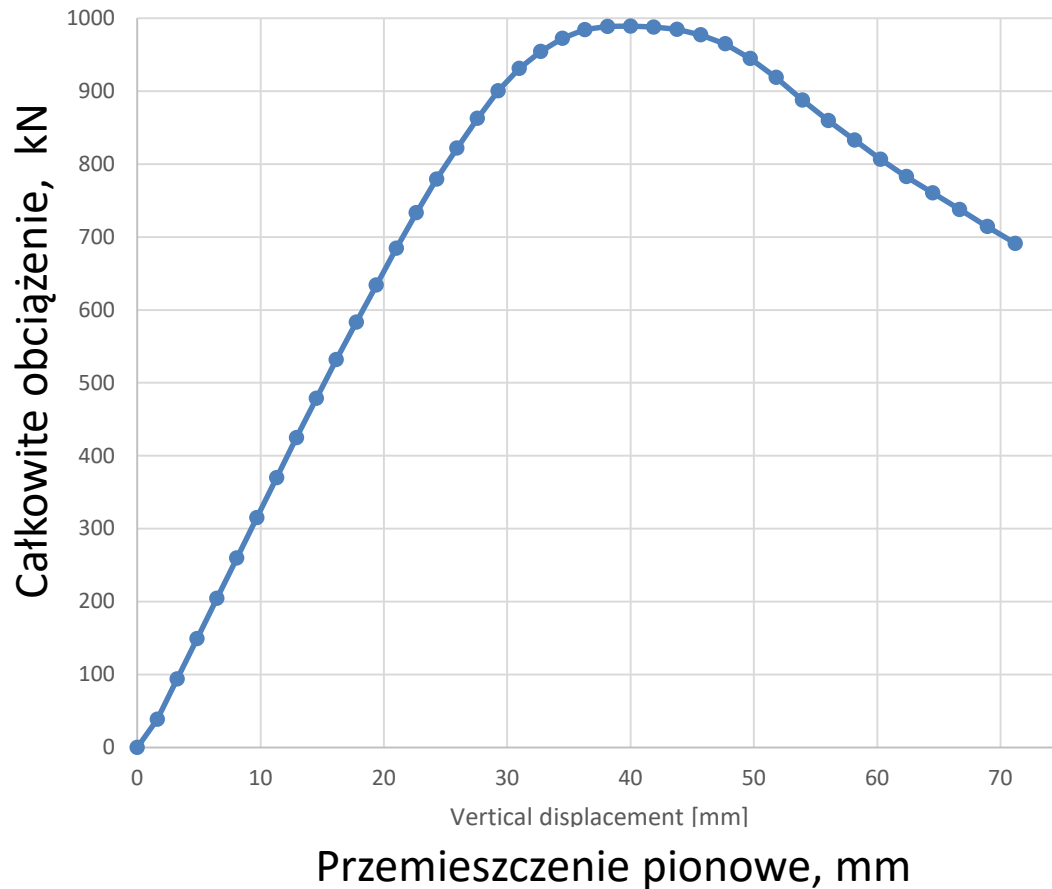
Metoda elementów skończonych

- Wyniki: zachowanie po zwichrzeniu



Metoda elementów skończonych

- Wyniki: zachowanie po zwichrzeniu



Część 5

Ugięcia



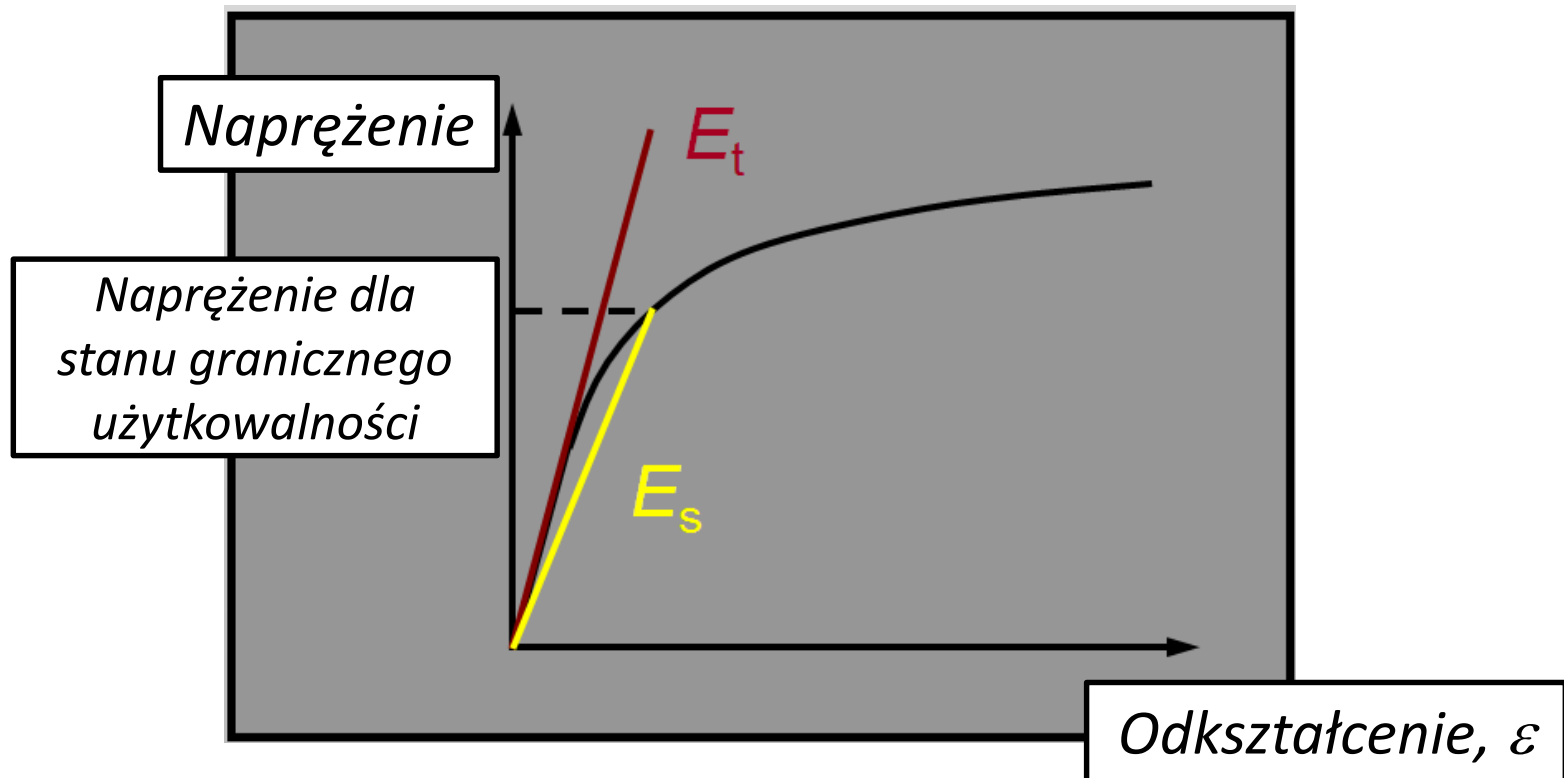
Ugięcia

- Nieliniowa charakterystyka krzywej naprężenie-odkształcenie oznacza, że sztywność stali nierdzewnej \downarrow gdy naprężenia \uparrow
- Ugięcia są niewiele większe w stalach nierdzewnych w porównaniu do stali węglowych
- Określając stany graniczne użytkowości dla naprężeń w elementach, stosować sieczny moduł sprężystości



Ugięcia

Sieczny moduł sprężystości E_s dla naprężeń w elemencie przy wyznaczaniu stanów granicznych użytkowalności





Ugięcia

Sieczny moduł sprężystości E_S wyznaczony zgodnie z modelem Ramberga-Osgooda:

$$E_S = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{f} \left(\frac{f}{f_y} \right)^n}$$

f - naprężenia w stanie użytkowalności

n - (wykładnik) – stała materiałowa

Ugięcia w belce z austenitycznej stali nierdzewnej

Poziom naprężenia f / f_y	Sieczny moduł sprężystości, E_s N/mm ²	% ugięcia ↑
0,25	200 000	0
0,5	192 000	4
0,7	158 000	27

f = naprężenia w stanie użytkowości

Część 6

Informacje dodatkowe



Oddziaływanie obciążeń sejsmicznych

- Wysoka plastyczność (austenityczne stale nierdzewne) + wytrzymanie większej liczby cykli obciążenia
→ większa histereza rozpraszania energii pod wpływem obciążeń cyklicznych
- Silne umocnienie zgniotem
→ wzmacnia powstawanie dużych i odkształcalnych stref plastycznych
- Większy wpływ szybkości odkształcania –
→ wyższa wytrzymałość przy dużej szybkości odkształcania

Projektowanie połączeń śrubowych

- Wytrzymałość i odporność korozyjna śrub i łączonego materiału powinny być zbliżone
- Do łączenia elementów ze stali nierdzewnej należy stosować śruby ze stali nierdzewnej, co zapobiega korozji galwanicznej (bimetalicznej)
- Śruby ze stali nierdzewnej można również stosować do łączenia elementów ze stali galwanizowanej i aluminium

Projektowanie połączeń śrubowych

- Dla stali nierdzewnych można generalnie zastosować zasady obowiązujące dla śrub ze stali czarnych w zakresie otworów przejściowych (przy rozciąganiu, ścinaniu)
- Ze względu na konieczność ograniczenia odkształcenia wynikającego z wysokiej plastyczność stali nierdzewnych stosuje się specjalne wymagania dla obliczeń wytrzymałości na docisk

$$f_{u,red} = 0,5f_y + 0,6f_u \leq f_u$$



Śruby sprężone

Przydatne w konstrukcjach mostów, wież, masztów itd., gdy:

- połączenie podlega wibracjom,
 - należy wyeliminować spoślizg między elementami,
 - występujące siły często zmieniają wartości od dodatnich do ujemnych
-
- Brak zasad projektowych dla śrub sprężonych ze stali nierdzewnej
 - Zawsze należy wykonać stosowne badania



Projektowanie połączeń spawanych

- Dla stali nierdzewnych można stosować zasady projektowe obowiązujące dla stali czarnych
- Należy stosować odpowiednie dla gatunku stali nierdzewnej materiały dodatkowe
- Stale nierdzewne można spawać ze stalami węglowymi, ale wymagane jest odpowiednie przygotowanie połączenia

Wytrzymałość zmęczeniowa

- Wytrzymałość zmęczeniowa połączeń spawanych jest zależna od geometrii spoiny
- Pod tym względem stale nierdzewne austenityczne i duplex są co najmniej tak dobre jak stal węglowa
- Należy stosować zasady obowiązujące dla stali czarnych

Część 7

Zasoby dla inżynierów



Zasoby dla inżynierów

- Centrum informacji online
- Studia przypadków
- Wytyczne projektowe
- Przykłady projektowe
- Oprogramowanie



STAINLESS STEEL P O R T A L

www.steel-stainless.org



100
YEARS
OF
STAINLESS
STEEL

A CENTURY OF INNOVATION

From small beginnings a hundred years ago, stainless steel has grown to be an integral part of our lives. Utilised primarily for its corrosion resistance, stainless steel is also found in applications where strength, innovation and aesthetics are important.

[VIEW WEBSITE](#)



ONLINE INFORMATION
CENTRE FOR STAINLESS
STEEL IN CONSTRUCTION

[VIEW WEBSITE](#)



DESIGN MANUAL FOR
STRUCTURAL STAINLESS
STEEL

[VIEW PUBLICATION](#)



STRUCTURAL STAINLESS
STEEL CASE STUDIES

[VIEW CASE STUDIES](#)



Stainless in Construction Information Centre

www.stainlessconstruction.com

ONLINE INFORMATION CENTRE FOR
STAINLESS STEEL IN CONSTRUCTION


SPECIFICATION CODES & STANDARDS DESIGN FABRICATION & INSTALLATION CASE STUDIES RESEARCH

Stainless steel at your fingertips...

This website will lead you to essential technical information about the use of stainless steel in construction.

Featured Resource:
Thames Gateway Water Treatment

Enter search query



12 studiów przypadków różnych konstrukcji

www.steel-stainless.org/CaseStudies



Structural Stainless Steel Case Study 01

Stonecutters Bridge Towers

Stonecutters Bridge, Hong Kong, is a cable stayed structure with a total length of 1596 m and a main span of 1018 m. The bridge crosses the Rambler Channel and is the main entrance to the busy Kwai Chung Container Port. It is visible from many parts of Hong Kong Island and Kowloon. The most striking features of the bridge are the twin tapered mono towers at each end supporting the 50 m wide deck. These tapered towers rise to 295 m above sea level; the lower sections are reinforced concrete while the upper 115 m are composite sections with an outer stainless steel skin and a reinforced concrete core.

Material Selection




Figure 1: General view of Stonecutters Bridge

The design life of the bridge is 120 years. A highly durable material was required for the upper sections of the bridge towers because of the harsh marine and polluted environment. Additionally, post-construction maintenance on the towers will be extremely difficult, due to the live traffic beneath. Stainless steel was chosen for the skin of the composite section of the upper tower because of its durability and also its attractive appearance. Carbon steel would have required protective coatings that would have needed reapplying after an estimated 20-30 years.




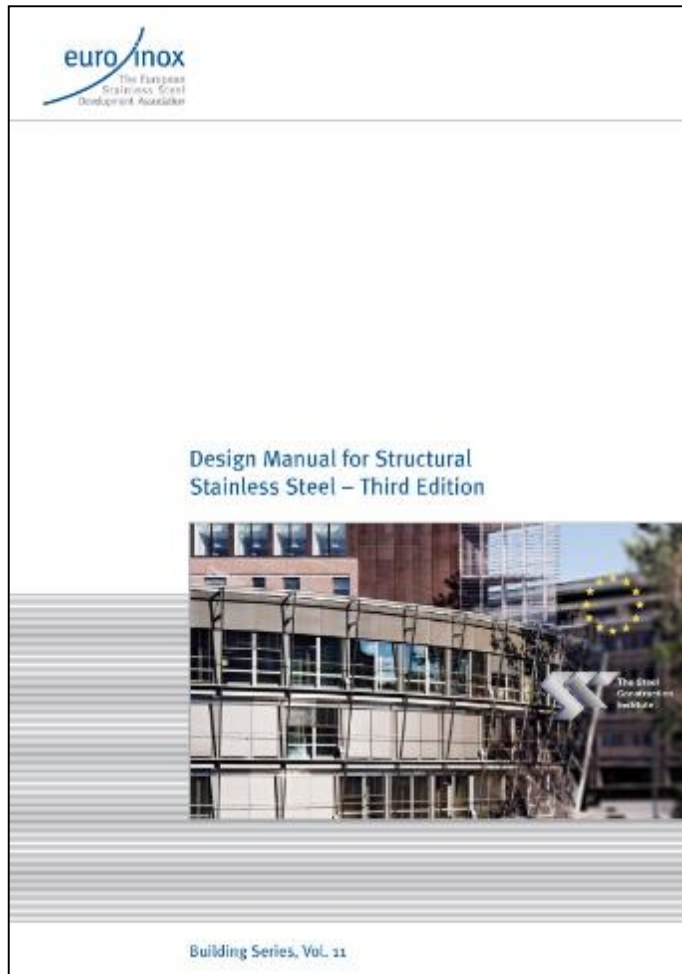
Figure 2: Mono tower and stay cables

Standard non-austenitic austenitic steel grades were initially considered but discounted because of their relatively low design strength (220 N/mm²) and uncertainty regarding corrosion performance, given the roughness of the coated surface finish. Higher alloyed austenitics with better corrosion resistance, e.g. 1.4539 (N08904) and 1.4439 (S31726), were not considered in detail as they would not have met the requirements for cost, availability and strength. Duplex Steel 1.4462 (S32205) was chosen as it has high strength (462 N/mm²) with good corrosion resistance and tolerance of surface finish.

Structural Stainless Steel Case Study 01 Page 1



Wytyczne do projektowania zgodnie z Eurokodami



www.steel-stainless.org/designmanual

- Wytyczne
- Objasnienia
- Przyklady projektowe

Oprogramowanie do projektowania dostepne online:

www.steel-stainless.org/software



Podsumowanie

- Zachowanie konstrukcji:
podobne do konstrukcji ze stali czarnych z pewnymi różnicami wynikającymi z nieliniowej zależności krzywej naprężenie-odkształcenie
- Opracowano szczególne reguły projektowe
- Źródła informacji (wytyczne projektowe, studia przypadków, przykłady praktyczne, oprogramowanie) są łatwo dostępne!

Źródła

- EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-1: General rules and rules for buildings. 2005
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. 2006
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. Modifications 2015
- AISI Standard. North American specification Appendix 1: Design of Cold-Formed Steel Structural Members Using the Direct Strength Method. 2007
- B.W. Schafer. Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008) 766-778
- S.Afshan, L. Gardner. The continuous strength method for structural stainless steel design. Thin-Walled Structures 68 (2013) 42-49



Dziękuję za uwagę