

Prezentacja dla wykładowców architektury i budownictwa

Rozdział 03

Dlaczego stale nierdzewne?

Wprowadzenie

Podstawowe materiały stosowane
w architekturze, budownictwie i konstrukcjach

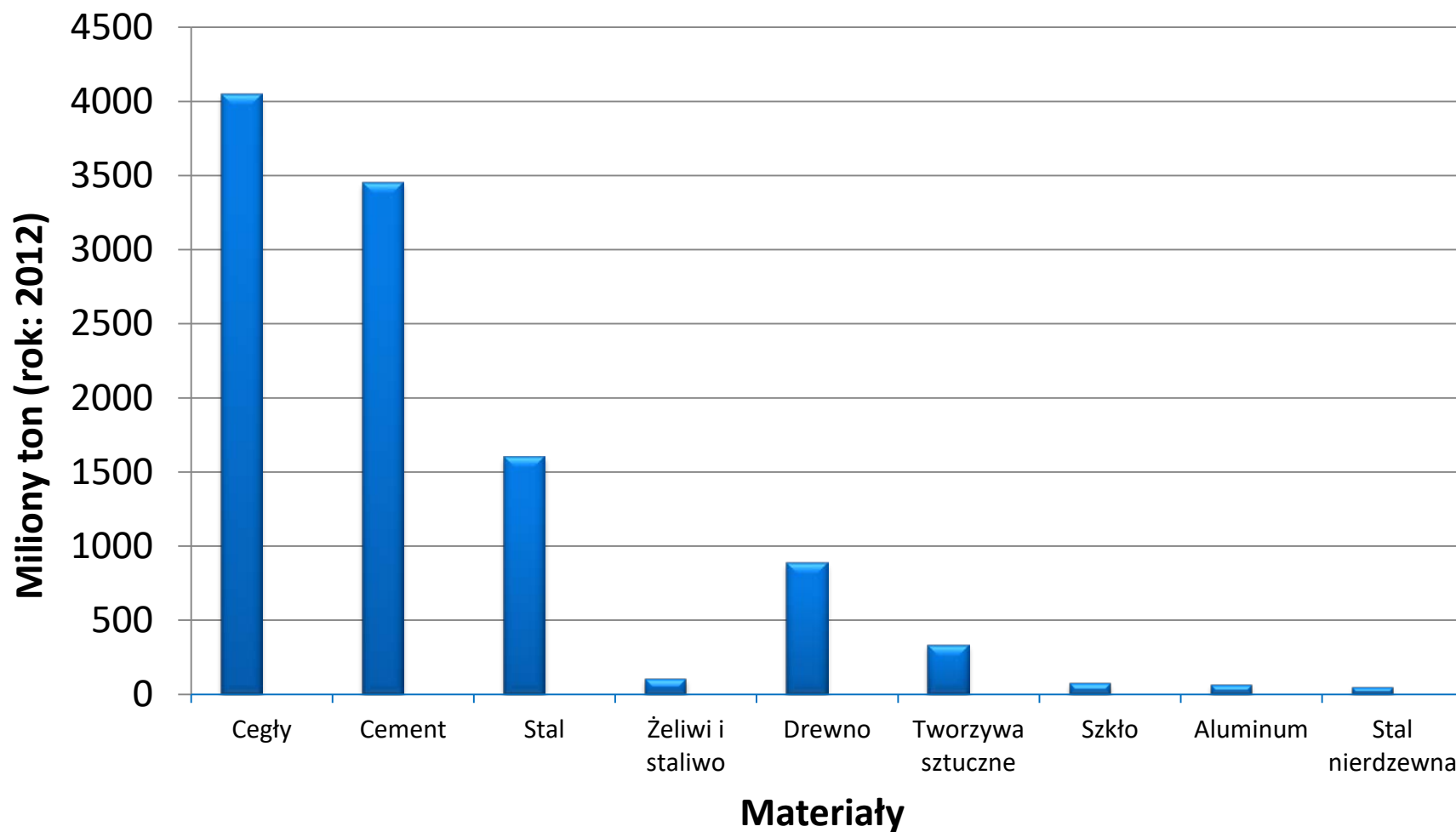
Zużycie głównych materiałów budowlanych

Materiały	Światowa produkcja 2016*	Średnia gęstość	Uwagi
Ziemia ubita	bd.		Był używany głównie w tradycyjnych afrykańskich domach. Niektóre odnowione wzbudzają zainteresowanie z uwagi na ich właściwości środowiskowe
Cegły ²	4050	2,0	Prawdopodobny rok: 2016 Z czego 87% w Azji
Cement ³	3452	2,4**	(dla wielkości produkcji betonu pomnożyć 3-4 razy) ** gęstość cementu (Dane za 2015 r.)
Stal ^{4a}	1604	7,8	Produkcja stali surowej w 2016 r. 14% znajduje zastosowanie w infrastrukturze – połowa jako pręty 42% znajduje zastosowanie w budownictwie kubaturowym ¹²
Żeliwo i staliwo ^{4b}	104	7,8	Dane za 2016 r.
Drewno ⁵	887	0,5	Wyłącznie panele drewniane (dane za 2016 r.) Z wyłączeniem papierówki (ok. 656) Z wyłączeniem drewna energetycznego (1860) oraz innych produktów pochodzących z drewna
Tworzywa sztuczne ⁶	335	1,1	Niektóre naturalne polimery: celuloza, kauczuk, jedwab, chityna Dane za 2016 r.
Szkło ⁷	73	2,6	Wyłącznie szkło płaskie (80% całego rynku szkła). Pozostałe znaczące rynki: motoryzacja, energetyka słoneczna
Aluminium ⁸	63	2,7	(Produkcja aluminium pierwotnego w 2017 r.) 24% znajduje zastosowanie w budownictwie ¹⁰
Stal nierdzewna ⁹	48	7,8	Dane za 2017 r. 17% znajduje zastosowanie w budownictwie ¹¹

bd.: brak danych

* w milionach ton

Zużycie głównych materiałów budowlanych – wykres



Moduł Younga (E) różnych materiałów¹² (sztywność)

Materiał	Moduł Younga E (GPa)
Stale (czarne)	~210
Stale nierdzewne	~210
Stopy miedzi	~130
Stopy tytanu	~100
Stopy aluminium	~70
Beton	~40
Drewno	~10
Tworzywa sztuczne	~4

Stal nierdzewna
jest tak sztywna
jak stal czarna

odkształcenie $\Delta L/L$

naprężenie F/A

Moduł Younga

$$E = \frac{\text{odkształcenie}}{\text{naprężenie}} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

Wskaźnik wytrzymałości do wagi¹³ materiałów metalowych stosowanych w architekturze

Stale nierdzewne zapewniają
wskaźnik wytrzymałości do
wagi porównywalny do stali
i stopów aluminium

Materiał	Granica plastyczności (R _{p0,2})/gęstość	Granica plastyczności, MPa	Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	Gęstość (Kg/dm ³)	Wydłużenie, min., %
Stal nierdzewna 304 lub 316, stan przesycony	26	205	515	7,8	35
Stal nierdzewna 304 lub 316, stan umocniony CP 350	45	350	-	7,8	-
Stal nierdzewna 304 lub 316, stan umocniony CP 500	62	480	-	7,8	-
Stal nierdzewna duplex 2205	64	500	700/950	7,8	20
Stal nierdzewna 630, stan po umacnianiu wydzieleniowym	103	800	950/1150	7,8	10
Stal węglowa, walcowana na gorąco	30	234	317	7,8	35
Stal konstrukcyjna (blachy i pręty)	32	250	400/550	7,8	23
Stal typu HSLA	49	380	460	7,8	25
Stal 4140, stal po hartowaniu i odpuszczaniu	96	750	930/1080	7,8	12
Stop aluminium 3003- H14	37	145	150	2,7	40
Stop aluminium 3105- H14	38	150	170	2,7	5
Stop aluminium 5005- H16	44	170	180	2,7	5
Stop aluminium 6061- T6	71	275	310	2,7	12
Stop aluminium 6063- T5	37	145	185	2,7	12
Miedź	23	195	250	8,3	30

Uprozczone porównanie różnych materiałów inżynierskich¹⁴

Własności		Stale nierdzewne			Miedź	Aluminium	Stal węglowa	Tworzywa sztuczne
		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
Fizyczne	Gęstość	-	-	-	--	+	-	++
	Rozszerzalność liniowa	++	0	0	0	-	+	--
	Przewodność elektryczna	--	-	-	+++	++	0	---
	Ferromagnetyczność	TAK	NIE	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE
Mechaniczne	Sztywność (moduł Younga)	+++	+++	+++	+	-	+++	---
	Wytrzymałość	+	++	++	0	-	+ / ++	--
	Wydłużenie	+	+++	+++	+++	++	0	-- / ++ +
Inne	Podatność na przetwarzanie	++	++	++	+	0	++	-
	Odporność na wysoką temperaturę	++	++	+++	0	-	+	---
	Odporność na niską temperaturę	-	+++	+++	+	0	-	-
	Odporność korozyjna	+++	+++	++++	++	+	--	+

Legenda: + Zaleta - Wada (względem innych materiałów)

Stal nierdzewna wciąż pozostaje
« młodym » materiałem

Na przestrzeni wieków pojawiły się nowe materiały

Stal nierdzewna jest jednym z najnowszych*

Materiały	Zakres czasowy	
Ziemia ubita		Stosowana od początków ludzkości!
Drewno ¹⁵		Stosowane od początków ludzkości!
Cegły ¹⁵	7500 BC 4500 BC	Wypalane cegły/`ceramika
Stal ¹⁵	4000 BC 1858	Powstają kuźnie Proces Bessemera
Szkło ¹⁵	3500 BC 100 BC 1950	Pierwsze wytwarzanie szkła Bezbarwne szkło Proces Pilkingtona (płaskie szkło)
Aluminium ¹⁵	1825 1886	Oersted odkrywa aluminium Proces Halla-Héroutla
Beton zbrojony ¹⁵	1850 1885	Sam cement jest o wiele starszy Proces w piecu obrotowym
Tworzywa sztuczne ¹⁵	1846 1907 1939	Celuloid Bakelit Nylon
Stal nierdzewna ²	1912-1913 1954 1955	Wczesne stopy stali Proces AOD Taśmy walcowane na gorąco

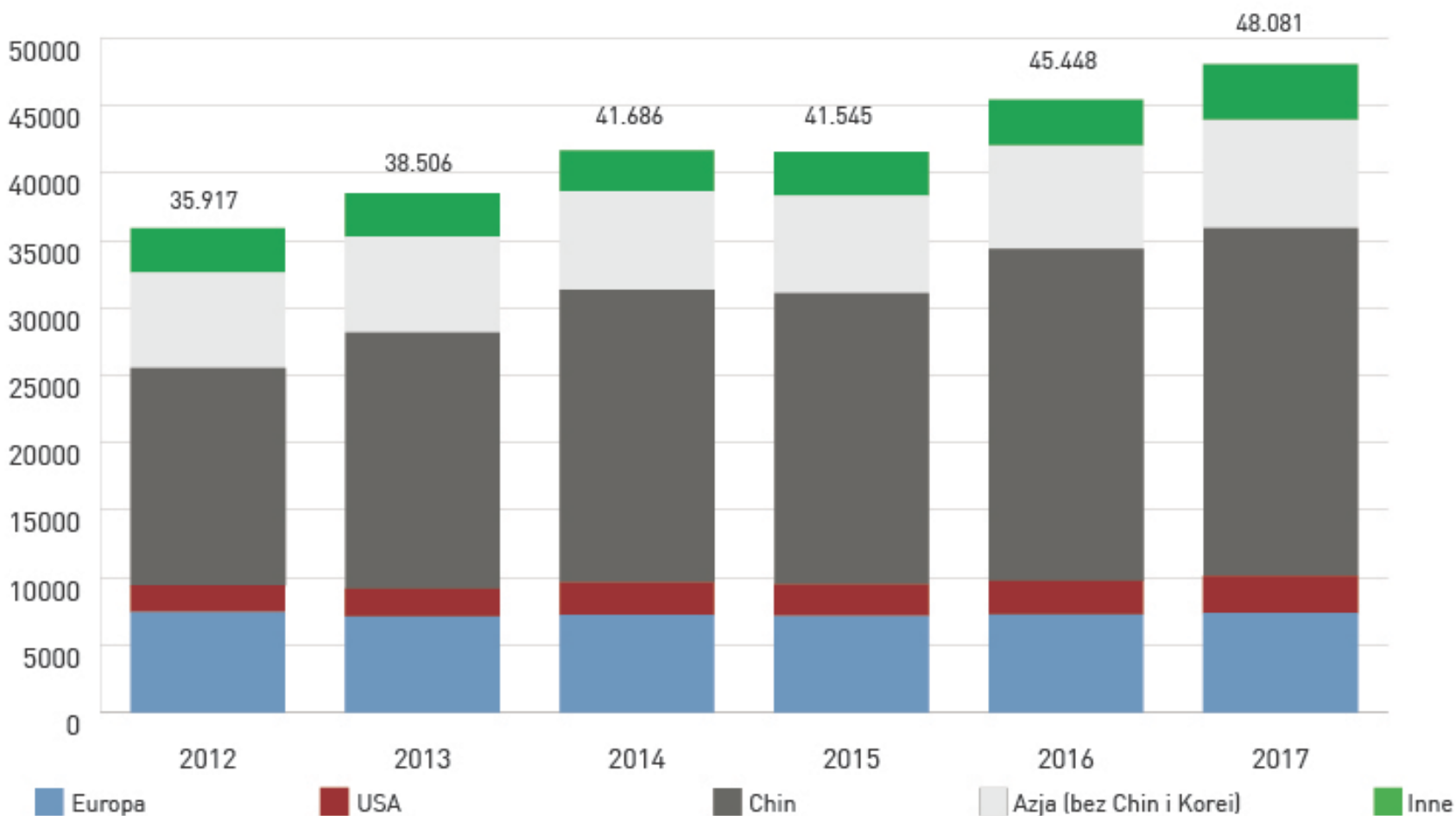
* Istnieje oczywiście wiele nowszych materiałów, ale stosowanych w mniejszym ilościach

Produkcja stali nierdzewnej w rozbiu na regiony świata²

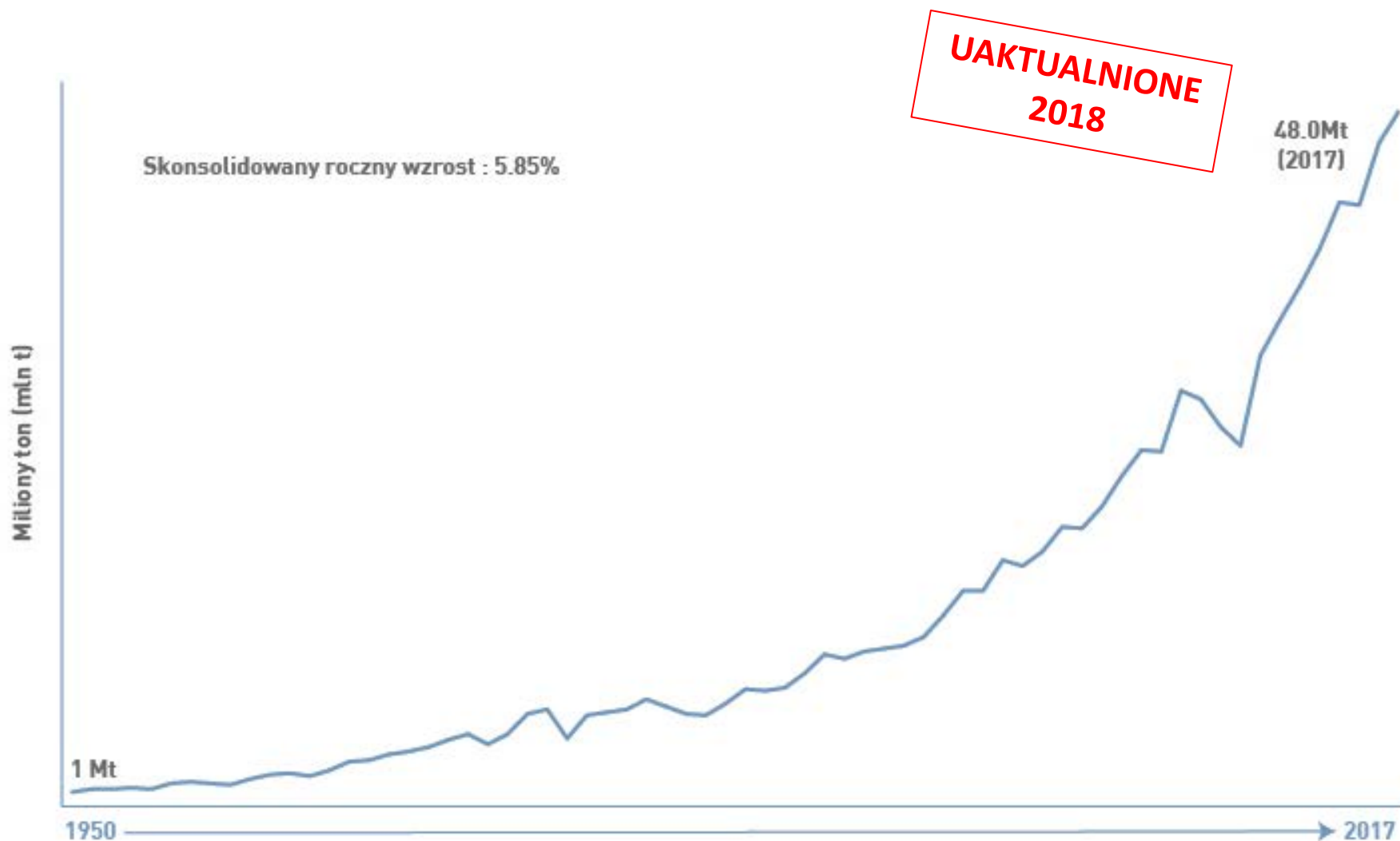
Zapotrzebowanie
na stal wciąż
wzrasta

UAKTUALNIONE
2018

Produkcja stali nierdzewnych (slaby/równowartość w sztabkach) w podziale na region w tys. ton.



Skonsolidowany roczny wzrost światowej produkcji stali nierdzewnych (mln ton) ²²



Dlaczego stal nierdzewna?

Ze względu na wyjątkowy zestaw własności

- 1. Odporność korozyjna** (porównaj rozdział 5)
 - we wszystkich środowiskach: od tropikalnego do polarnego, morskiego lub pustynnego, zanieczyszczonego lub nie...
 - Samoczynnie naprawiają się, w przeciwieństwo do powłok
- 2. Wieczna trwałość** przy niewielkiej lub całkowitym braku konserwacji
- 3. Szeroki zakres własności mechanicznych** w zależności od wybranej grupy stali nierdzewnych (Cr-Ni austenitycznych, Cr-Mn austenitycznych, Cr ferrytycznych, Duplex, Cr-C martenzytycznych), obecnie uwzględnianych przez główne przepisy budowlane. Dodatkowo bardzo dobra odporność ogniowa (porównaj rozdział 4 i 6)
- 4. Estetyczność**: Szeroki zakres dostępnych wykończeń powierzchni i kolorów (porównaj rozdział 8). Dodatkowo odporność na niszczenie w obszarach publicznych
- 5. Łatwe przetwarzanie/łączenie** (porównaj rozdział 9)
- 6. Przyjazność dla środowiska naturalnego**: (porównaj rozdział 11)
 - umożliwiają długie użytkowanie bez lub z niewielką konserwacją,
 - w 100% nadają się do recyklingu (i ponad 85% podlega recyklingowi) po zakończeniu cyklu życia, przetwarzane są w stale nierdzewne bez straty dla własności materiału
- 7. Bezpieczeństwo i higieniczność**: obojętne chemicznie, łatwe w czyszczeniu i dezynfekcji
- 8. Szczególne własności**: magnetyczne/niemagnetyczne,

Jakie są ograniczenia w stosowaniu stali nierdzewnej. Cena

Stale nierdzewne są drogie. Czy to prawda?

Odpowiedź: **Tak** i **Nie**

Tak: jeżeli początkowe koszty materiału mają znaczenie (głównie z powodu ograniczonych funduszy), ale niewłaściwy dobór materiału może być kosztowny:

- stale nierdzewne zwykle stanowią niewielką część danego projektu
- przedwczesne naprawy i konserwacja mogą wygenerować ogromne koszty pośrednie

Nie:

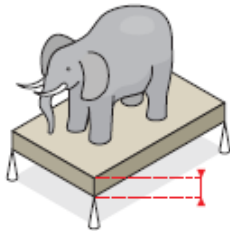
- jeżeli rozpatrzy się całkowite koszty cyklu życia («realne» koszty), np. do kosztów budynku wliczy się koszty konserwacji i koszty recyklingu materiałów*,
- projekt jest zoptymalizowany: cienkie blachy, profilowane w złożone kształty mogą dać wytrzymałe, sztywne konstrukcje zużywające mniej materiału.

* w najlepszym interesie właściciela jest zawsze dokonanie wyboru w oparciu o analizę kosztów LCC

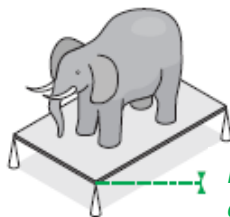
Stal nierdzewna (i inne metale) zużywają mniej materiału¹⁶

ZROBIĆ WIĘCEJ ZA MNIEJ

Z powodu wysokiej wytrzymałości, metale mogą przenosić duże obciążenia przy mniejszej ilości materiału lub być wzmocnieniem dla innych materiałów.



materiał niemetalowy

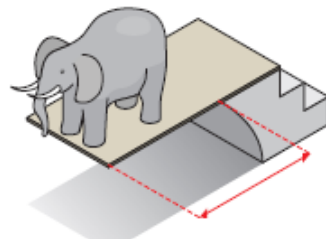


metal

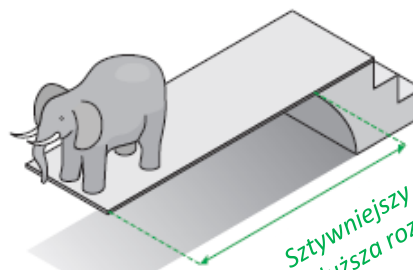
Mniej materiału = ograniczona grubość

WOLNOŚĆ DLA PROJEKTANTÓW

Dzięki sztywności, metale mogą mieć większą rozpiętość dając większą swobodę projektantom.



materiał niemetalowy



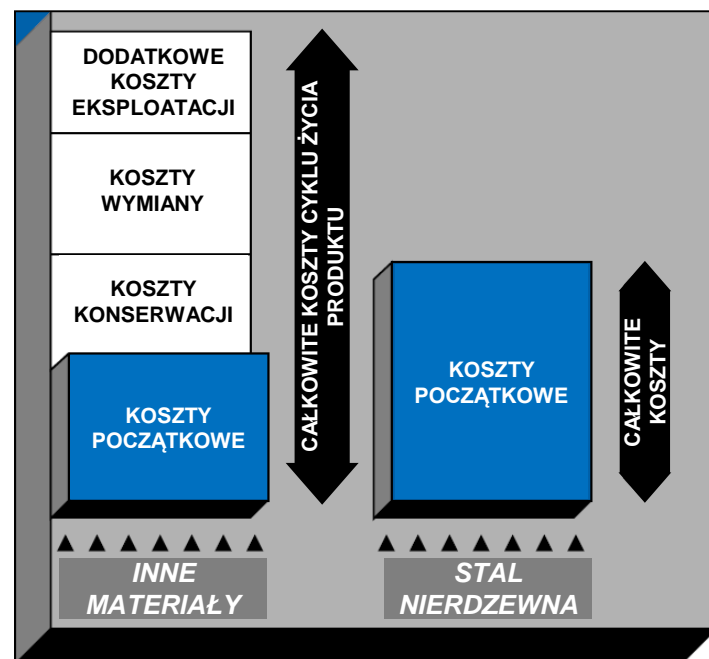
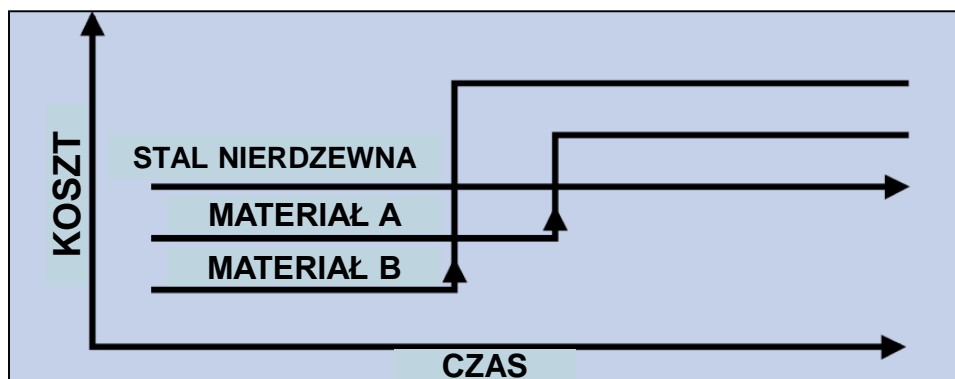
metal

Sztywniejszy materiał = dłuższa rozpiętość

Porównanie powszechnie stosowanych blach: cienkiej 0,4 mm i grubej 0,6 mm ze stali nierdzewnej.
Waga: odpowiednio tylko 3,12 kg i 4,68 kg na m²!





Dlaczego stal nierdzewna nie jest droga, jeżeli uwzględnisię całkowite koszty cyklu życia produktu

Koszty konstrukcji wytworzonej z innych materiałów znacząco wzrastają z upływem czasu, podczas gdy koszty konstrukcji ze stali nierdzewnych pozostają stałe.



Koszty korozji tylko w USA przekraczają 276 Miliardów \$ ¹⁷

Porównanie kosztów cyklu życia dla dwóch starych konstrukcji^{18,19}

Konstrukcja	Rok budowy	Materiał	Wysokość	Konserwacja
Wieża Eiffla – Paryż *  	1889	Kute żelazo	324 m	Co 7 lat. Każdy cykl malowania trwa około 15 miesięcy. Maluje 25 osób, zużywa się od 50 do 60 ton farby, 1500 pędzli, 5000 tarcz szlifierskich i 1500 zestawów odzieży ochronnej.
Budynek Chryslera (dach i wejście) – Nowy Jork  	1930 (dach 1929)	Austenity- czna stal nierdzewna (gatunek: 302)	319 m	Dwukrotnie w 1951, 1961. Skład mieszaniny użytej do czyszczenia w 1961 jest nieznany. W 1995 do czyszczenia zastosowano obróbkę ścierną, odtłuszczenie i łagodny środek czyszczący.

* Wieżę Eiffla wybudowano przed tym jak wymyślono stale nierdzewne.... i miała być konstrukcją tymczasową, ale mieszkańcy ją pokochali!

Przykład

Porównanie konserwacji dwóch dobrze znanych mostów^{20,21}

- Golden Gate Bridge w San Francisco
- Stonecutter's Bridge w Hong Kongu

Na kolejnych dwóch slajdach

Most Golden Gate (1937), San Francisco

<- Konserwacja



“Grupa **13 ślusarzy** i **3 mistrzów ślusarskich** wraz z **28 malarzami**, **5 pomocnikami malarzy** oraz **kierownikiem zespołu malarzy** walczą z wiatrem, morskim powietrzem oraz mgłą, często zawieszeni wysoko nad mostem, aby naprawić korodującą stal. Ślusarze wymieniają skorodowane fragmenty stali i nity na wysokowytrzymałe śruby oraz wytwarzają małe półfabrykaty do naprawy mostu, a także asystują malarzy w pracach na wysokości. Ślusarze usuwają także fragmenty belek i płyt stalowych mostu, aby zapewnić malarzom dostęp do wewnętrznych części kolumn i pomostów konstrukcji. Malarze przygotowują wszystkie powierzchnie mostu i przemalowują wszystkie skorodowane obszary.”²⁰

Most Stonecutters (2009), Hong Kong

<- Konserwacja



Szczegóły projektu: 1596 m długości, 3 pasmowy most podwieszany o długości przęsła 1018 m.
Materiał: Stal nierdzewna EN1.4462 (Duplex), blachy o umownej granicy plastyczności 450 MPa zastosowane do budowy pylonów wznoszących się od wysokości +175 m do wierzchołka (+295 m) oraz ich poszycia zewnętrznego.

Dlaczego stal nierdzewna zamiast stali węglowej: zaprojektowany na 120 lat do pracy w gorącym i zanieczyszczonym środowisku wody morskiej. Zaprojektowany jako niewymagający konserwacji. ²¹

Ważniejsze źródła

1. <http://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>
(b) [http://wiki.answers.com/Q/What is the weight of a red clay brick in Kilograms](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms)
3. <http://www.cembureau.eu/about-cement/key-facts-figures>
(a) <https://www.worldsteel.org/> (b) www.globalcastingmagazine.com
4. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
5. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
6. <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php>
7. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
8. [http://worldstainless.org/statistics/crude steel production](http://worldstainless.org/statistics/crude_steel_production)
9. <http://www.withbotheyesopen.com/>
10. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
11. <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
12. http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel_14057a_.pdf
13. <http://www.aperam.com/>
14. [Wikipedia](#)
15. <http://www.nickelinstitute.org/en/MediaCentre/Publications/MetalsforBuildings.aspx>

Ważniejsze źródła (cd.)

17. <http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>
18. a) <https://www.tou Eiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building b)
[http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture_11023 .pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture_11023.pdf)
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. <http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/NickelUseInSociety/Architecture/Construction%20Case%20Studies/CS-1%20Stonecutters%20Bridge%20HK%20low%20res.aspx>
22. http://www.worldstainless.org/statistics/publications_and_papers

Dziękuję za uwagę