



With support from the
Research Fund for Coal
and Steel of the European
Community

ZAPROSZENIE NA SEMINARIUM

„INSAPTRANS - Zastosowanie stali odpornych na korozję
w transporcie samochodowym”.

Seminarium INSAPTRANS będzie poświęcone tematowi wykorzystania stali nierdzewnych w autobusach i w wagonach metra.

Stale odporne na korozję mają do zaoferowania innowacyjne rozwiązania dla transportu publicznego. Ich mechaniczne właściwości pomagają projektantom zredukować ciężar, polepszyć odporność na zderzenia oraz podnieść bezpieczeństwo pożarowe. Stale odporne na korozję łączą w sobie odporność na korozję z łatwością przeprowadzania napraw. Co ważne, mogą być zaskakująco atrakcyjne kosztowo. Innowacyjne rozwiązania w budowie busów oraz w projektowaniu i produkcji wagonów metra oraz innych pojazdów torowych były analizowane w prowadzonych ostatnio projektach badawczych. Ich wyniki będą prezentowane w dużym gronie ekspertów z branży podczas serii seminariów, które odbędą się jesienią 2008 roku w wielu miejscach w Europie.

**W Polsce seminarium INSAPTRANS odbędzie się dnia 7 października 2008,
w Warszawie, w biurcu Oxford Tower przy ul. Chałubińskiego 8.**

INSAPTRANS jest projektem wspieranym przez Unię Europejską z Funduszu Badawczego dla Węgla i Stali (RFCS). W projekt zaangażowane są następujące firmy i organizacje: Acerinox (Hiszpania), ArcelorMittal Stainless Belgium (Belgia), Centro Sviluppo Materiali (Włochy), Euro Inox (Belgia), OCAS (Belgia), Outokumpu (Finlandia) i VTT we współpracy z Helsińskim Uniwersytetem Technologii (Finlandia).

Organizatorem wydarzenia jest Polska Unia Dystrybutorów Stali, a jego partnerem i sponsorem jest firma Outokumpu, będąca „opiekunem” wydarzenia w tej części Europy.

Program seminarium:

- 10.30-10.45 Otwarcie – Andrzej Ciepiela (PUDS)
- 10.45-11.10 Projekt INSAPTRANS - poradnik - Mika Sirén (VTT)
- 11.10-12.00 Lekkie konstrukcje pojazdów transportu publicznego ze stali nierdzewnej - Mika Sirén (VTT)
- 12.00-12.25 Przerwa kawowa
- 12.25-13.35 Dobór materiału - Tero Taulavuori (Outokumpu)
- 13.35-14.05 Gatunek Duplex - Paweł Chamczyk (Outokumpu)
- 14.05-14.45 Panel dyskusyjny

Więcej informacji dostępnych na stronach www.puds.pl oraz www.stalnierdzewne.pl

Organizator:

Sponsor:

Patroni medialni:



Dobór materiału – Polepszenie własności stali nierdzewnych

Warszawa, Polska
7 października, 2008

Tero Taulavuori

Tornio Research Centre, Outokumpu Tornio Works

Prezentacja przygotowana przez Grupę Roboczą
projektu INSAPTRANS finansowanego przez RFCS



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

INSAPTRANS

Dobór materiału – Polepszenie własności stali nierdzewnych

- Stale nierdzewne o obniżonym stężeniu niklu
 - Nikiel jako pierwiastek stopowy w stalach nierdzewnych
 - Austenityczne gatunki CrMn
 - Gatunki ferrytyczne
 - Gatunki Duplex
- Stale nierdzewne umacniane odkształceniowo
 - Własności mechaniczne stali nierdzewnej
 - Umocnienie odkształceniowe stali nierdzewnej
- Oddziaływania w cyklu życia produktu dla transportu ciężkiego



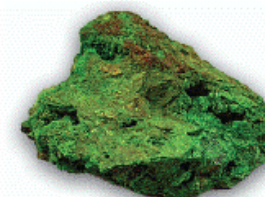
Dobór materiału – Polepszenie własności stali nierdzewnych

- **Stale nierdzewne o obniżonym stężeniu niklu**
 - Nikiel jako pierwiastek stopowy w stalach nierdzewnych
 - Austenityczne gatunki CrMn
 - Gatunki ferrytyczne
 - Gatunki Duplex
- Stale nierdzewne umacniane odkształceniowo
 - Własności mechaniczne stali nierdzewnej
 - Umocnienie odkształceniowe stali nierdzewnej
- Oddziaływania w cyklu życia produktu dla transportu ciężkiego



Wpływ na własności stali nierdzewnych

- Kluczowym pierwiastkiem w odporności korozyjnej jest chrom.
- Obecność Ni zapewnia ciągłość stali nierdzewnej (przez stabilizację struktury austenitycznej).
- Ni wspomaga w zapobieganiu propagacji zjawisk korozji miejscowej (i na przykład korozji szczelinowej).

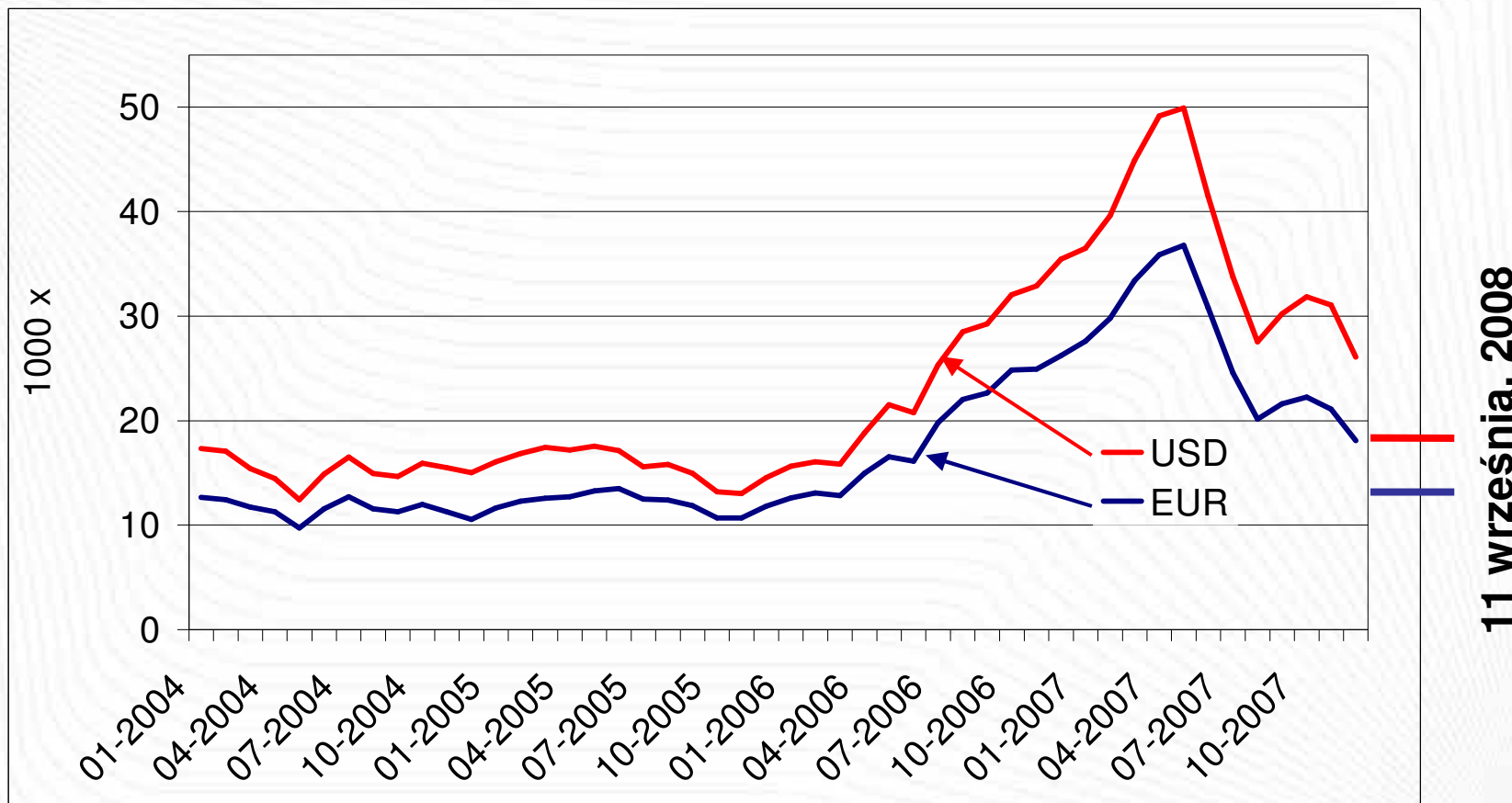


Wpływ na cenę stali nierdzewnej

- Austenityczne stale nierdzewne (takie jak AISI 304 zawierają $> 8\%Ni$)
 - Wzrost globalnego zapotrzebowania na stal nierdzewną oraz paliwa - wzrost cen niklu?
 - Notowania na LME (*Londyńska Giełda Metali*), cena Ni waha się (kwestia ta nie dotyczy na przykład chromu)
- **Rosnące zainteresowanie stalami o niskim stężeniu (lub bez) niklu**

Nikiel jako pierwiastek stopowy

5



Cena Niklu w obecnych walutach. Korekcja inflacji na bazie indeksu (CPI) Indeks cen towarów i usług konsumpcyjnych w USA (14,2 %) i w EU (5,1 %). Źródło: Taulavuori i inni, European Stainless Steel Conference, 2008.

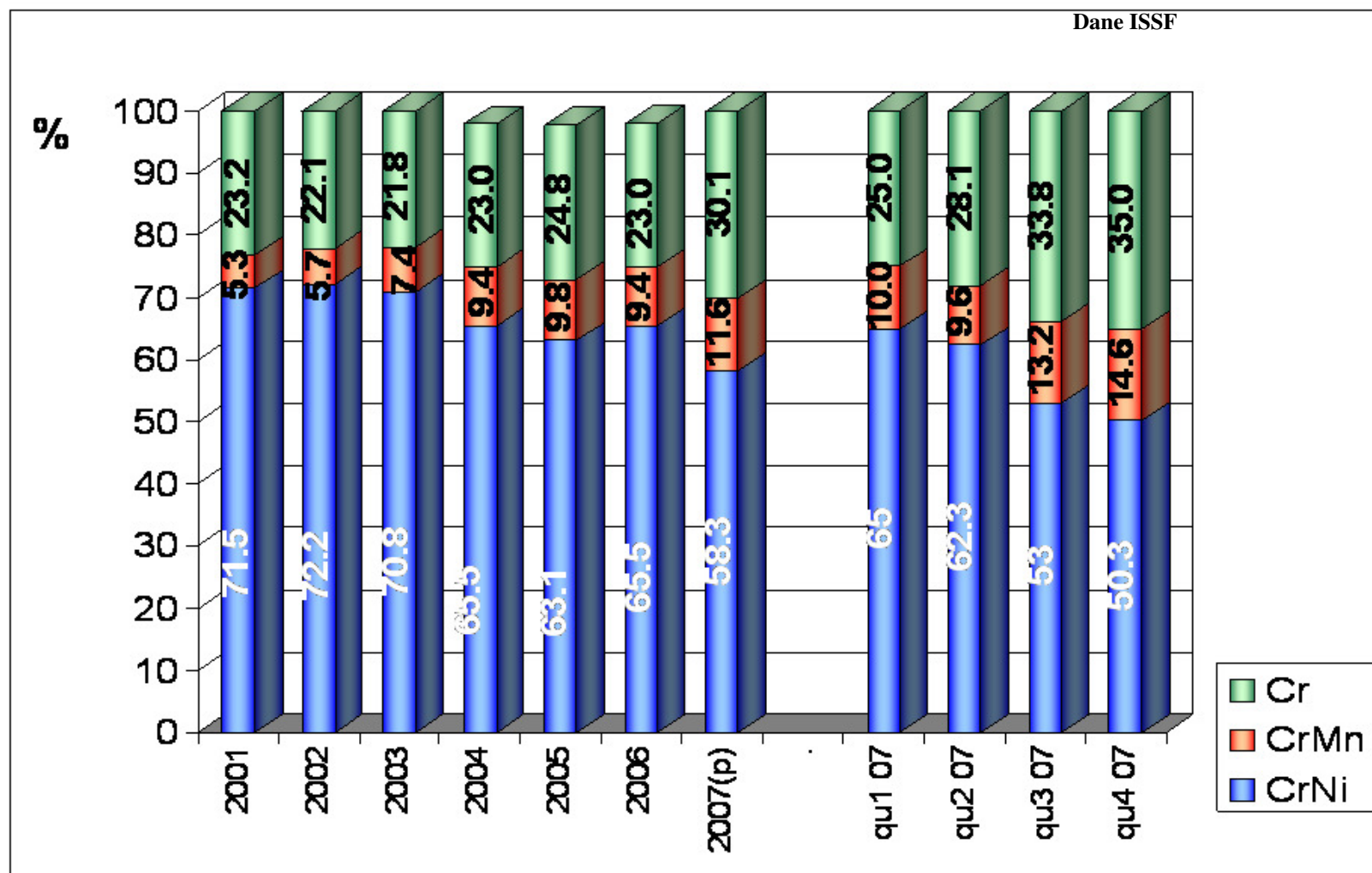
Oszacowanie relatywnego udział poszczególnych « typów » stali nierdzewnych

- Typy o niskim stężeniu (lub braku) niklu wykazują większą stabilność cenową w porównaniu do tradycyjnych stali serii-300.
- Udział austenitycznych Cr-Ni stali (“serii-300”) zmniejszył się w ostatnich kilku latach, lecz są ona nadal główną grupą spośród wszystkich typów stali nierdzewnych.
- Udział stali Cr-Mn (“serii-200”) wzrósł, głównie w Azji
- Udział stali ferrytycznych („serii-400”) wzrósł także, głównie w Japonii i Europie.



Nikiel jako pierwiastek stopowy

7



Źródło: ISSF

Cr-Mn stale nierdzewne (serii-200)

8

- Gatunki te nie są „wolne od niklu”
- Nie ma pojedynczego gatunku, „który byłby odpowiednikiem wszystkim” (takiego jak 304)

	Węgiel	Chrom	Nikiel	Mangan	Miedź	Azot
201	< 0,15	16 - 18	3,5 - 5,5	5,5 - 7,5		< 0,25
201L	< 0,03	16 - 17,5	4,0 - 5,0	6,4 - 7,5		0,10 - 0,25
S20161	< 0,15	15 - 18	4 - 6	4 - 6		0,08 - 0,20
202	< 0,15	17 - 19	4 - 6	7,5 - 10		< 0,25
203	< 0,08	16 - 18	5 - 6	5 - 6,5	1,75 - 2,25	
204L	< 0,03	15 - 17	1,5 - 3	7 - 9		0,15 - 0,3
Nie znormalizowany	0,06	15	4	7	1,6	0,05
Nie znormalizowany	< 0,12	14 - 15,5	0,4 - 0,6	9 - 10,5	< 2	< 0,18
Nie znormalizowany	0,08	14,5	2	9,5	1,8	0,15
304	< 0,08	18 - 20	8 - 10,5	< 2		< 0,10

Czy tradycyjne stale serii-200 są odpowiednikiem stali serii-300?

Nie, ze względu na:

- Własności mechaniczne
- Odporność korozyjną

Własności mechaniczne Cr-Mn stali austenitycznych

- Granica plastyczności ($R_{p0.2\%}$) gatunków np. 201, 202 wyższa o około 100 MPa (w porównaniu do 304) wymaga zastosowania narzędzi o większej mocy nacisku, aby otrzymać podobne rezultaty.
- Wyższe stężenie węgla może mieć korzystny wpływ na polepszenie umocnienia odkształceniowego (omówione później)
- Niższe stężenie Ni wpływa na obniżenie stabilności struktury austenitycznej: wrażliwość na opóźnione pękanie (po głębokim tłoczeniu) np. tradycyjnego gatunku serii-200 - AISI 201.
- Ostatnio, jako wynik prac grupy roboczej Euro Inox rozwinięto nowy gatunek stali Cr-Mn o polepszonej zdolności do odkształcenia plastycznego:

EN 1.4618 - X9CrMnNiCu17-8-5-2

Źródło: ArcelorMittal Stainless Europe



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

INSAPTRANS

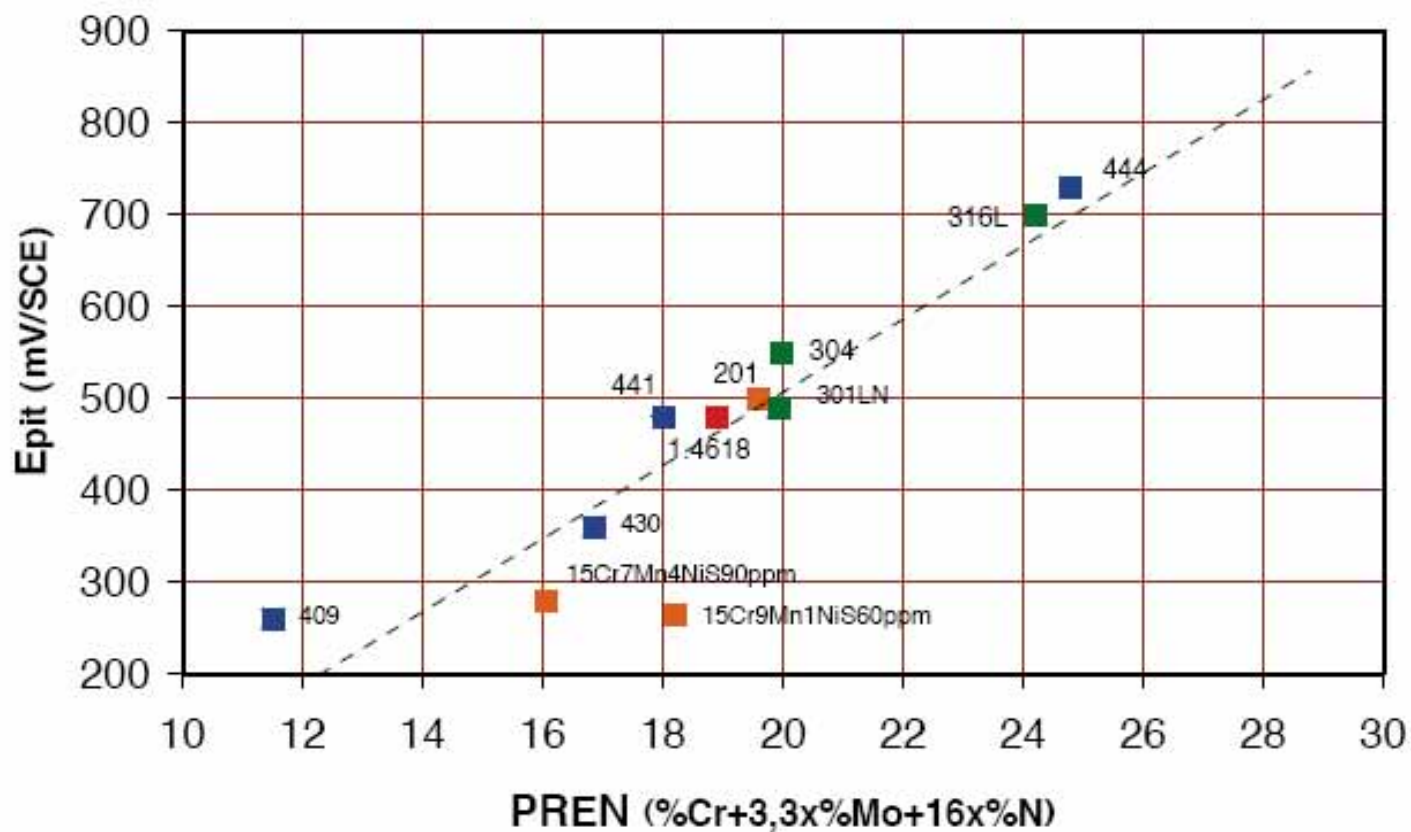
Odporność korozyjna

- Niższe stężenie Cr wpływa na obniżenie odporności np. na korozję wżerową.
- Stale serii-200 mogą zawierać wyższe stężenie siarki, które negatywnie wpływa na odporność korozyjną.
- Chropowatość powierzchni stali serii-200 może być wyższa w porównaniu do chropowatości stali serii-300 o podobnym zakresie grubości oraz może wpływać na zwiększoną potrzebę polerowania i czyszczenia dla uzyskania jednakowej jakości powierzchni.
- Dobór odpowiedniego gatunku stali serii-200 musi być dokładnie wyważony pod względem korozyjności środowiska pracy.



Odporność korozyjna

- Potencjał tworzenia się wżerów, pomarańczowe punkty = stale serii-200.



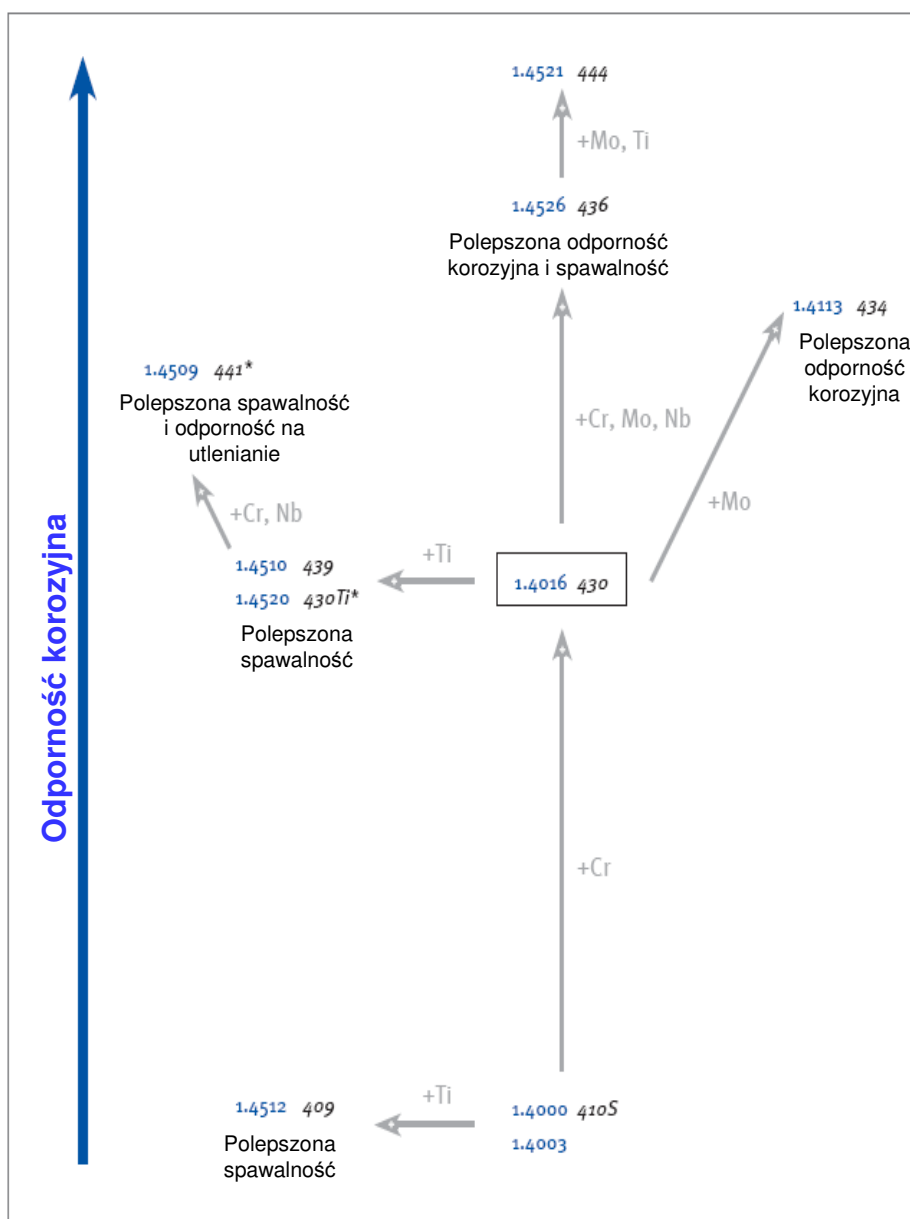
Ferrytyczne stale nierdzewne

Ogólne własności

- Stabilność cenowa z powodu braku niklu
- Magnetyczne
- Problemy podczas wytwarzania elementów o małych grubościach – niższa temperatura kruchości

Obszerne opracowanie

- Broszura ISSF “The ferritic solution” w >10 językach



Źródło: Euro Inox

INSAPTRANS

Zalety ferrytycznych stali nierdzewnych

- Niska rozszerzalność cieplna, niższa niż stali austenitycznych.
- Wysoka przewodność cieplna, przewodzą ciepło bardziej równomiernie niż stale austenityczne.
- Łatwiejsze w cięciu i obróbce niż stale austenityczne, co sprawia, że wymagają maszyn o niższej mocy i zużycie narzędzi jest mniejsze.
- Znacznie mniej skłonne do sprężynowania podczas formowania na zimno niż stale austenityczne.
- Inne własności:
 - Stale ferrytyczne stabilizowane niobem posiadają doskonałą żarowytrzymałość (odporność na pełzanie).
 - Doskonała odporność na utlenianie wysokotemperaturowe (mniej podatne na osadzanie się kamienia kotłowego niż stale austenityczne).
 - Stale ferrytyczne w odróżnieniu od austenitycznych nie są podatne na naprężeniowe pękanie korozyjne.



Najnowsze przykłady zastosowań w transporcie publicznym

Autobusy

- Rama nadwozia zbudowana z kształtowników z ferrytycznej stali nierdzewnej gatunku 1.4003/410.
- Poszycie (blacha i/lub szkło) są klejone do ramy nadwozia.
- Taka koncepcja konstrukcji wydłużyła czas eksploatacji pojazdów i ograniczyła ich wagę.



Źródło: Centro Inox



Źródło: Thyssenkrupp Stainless

Wagony metra

- Firmowe wagony wymagają często odpowiedniego malowania a niskostopowy gatunek stali ferrytycznej 1.4003/410 idealnie nadaje się do takich konstrukcji.



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

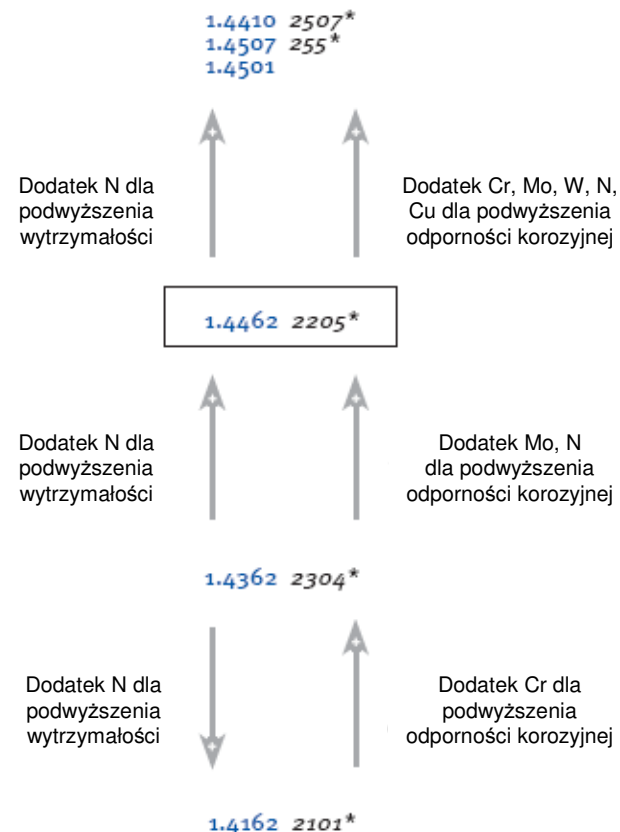
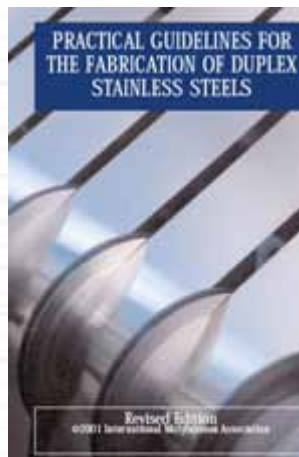
Stale nierdzewne typu Duplex

Własności

- Niskie stężenie Ni/stabilność ceny
- Wysoka wytrzymałość
- Doskonała odporność korozyjna
- Możliwości w zmniejszeniu wagi elementów oraz kosztów
- Odporne na zużycie

Więcej informacji

- IMoA
(wytyczne podczas wytwarzania)



Odporność korozyjna

Źródło: Euro Inox

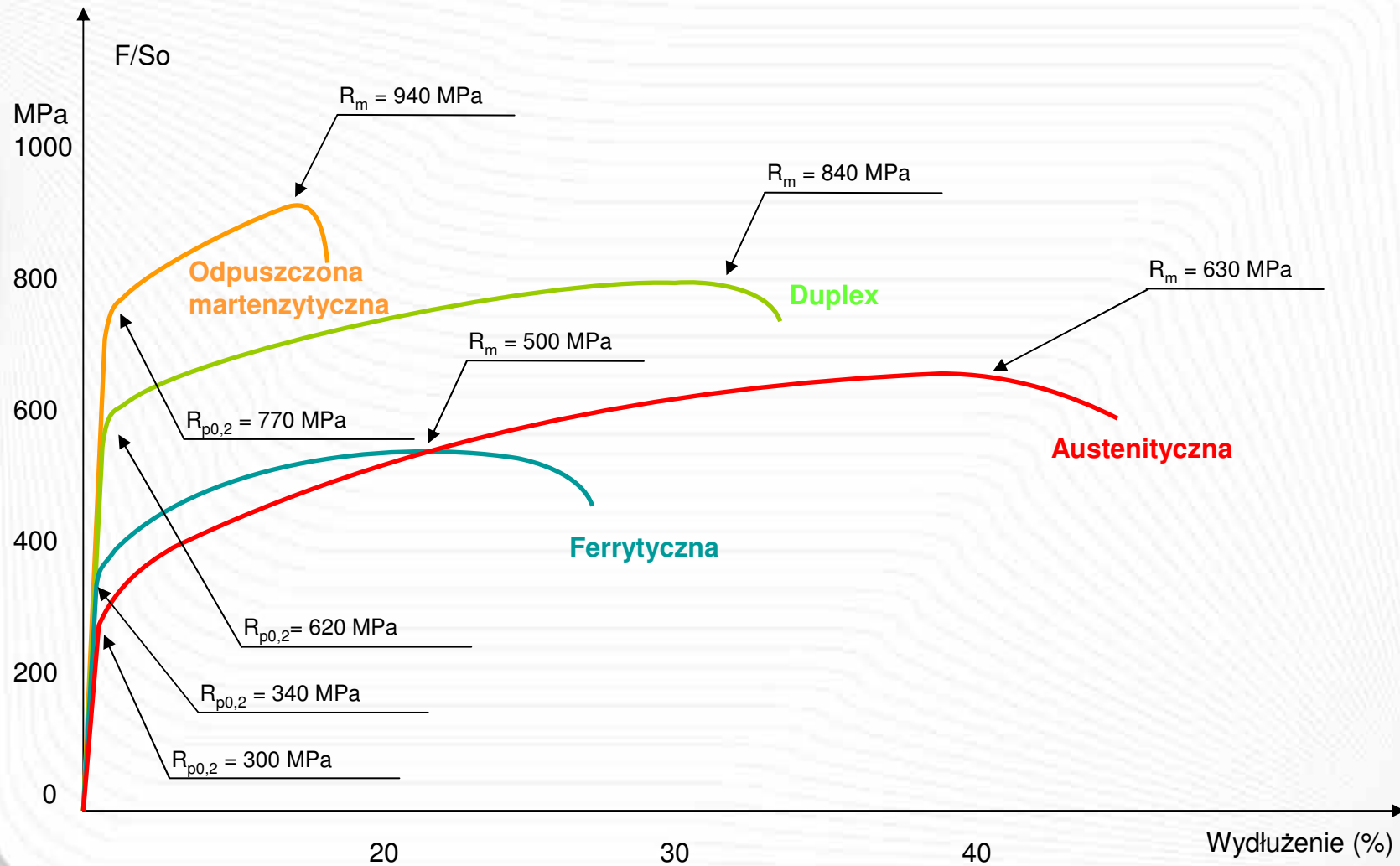


With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

INSAPTRANS

Stale nierdzewne typu Duplex

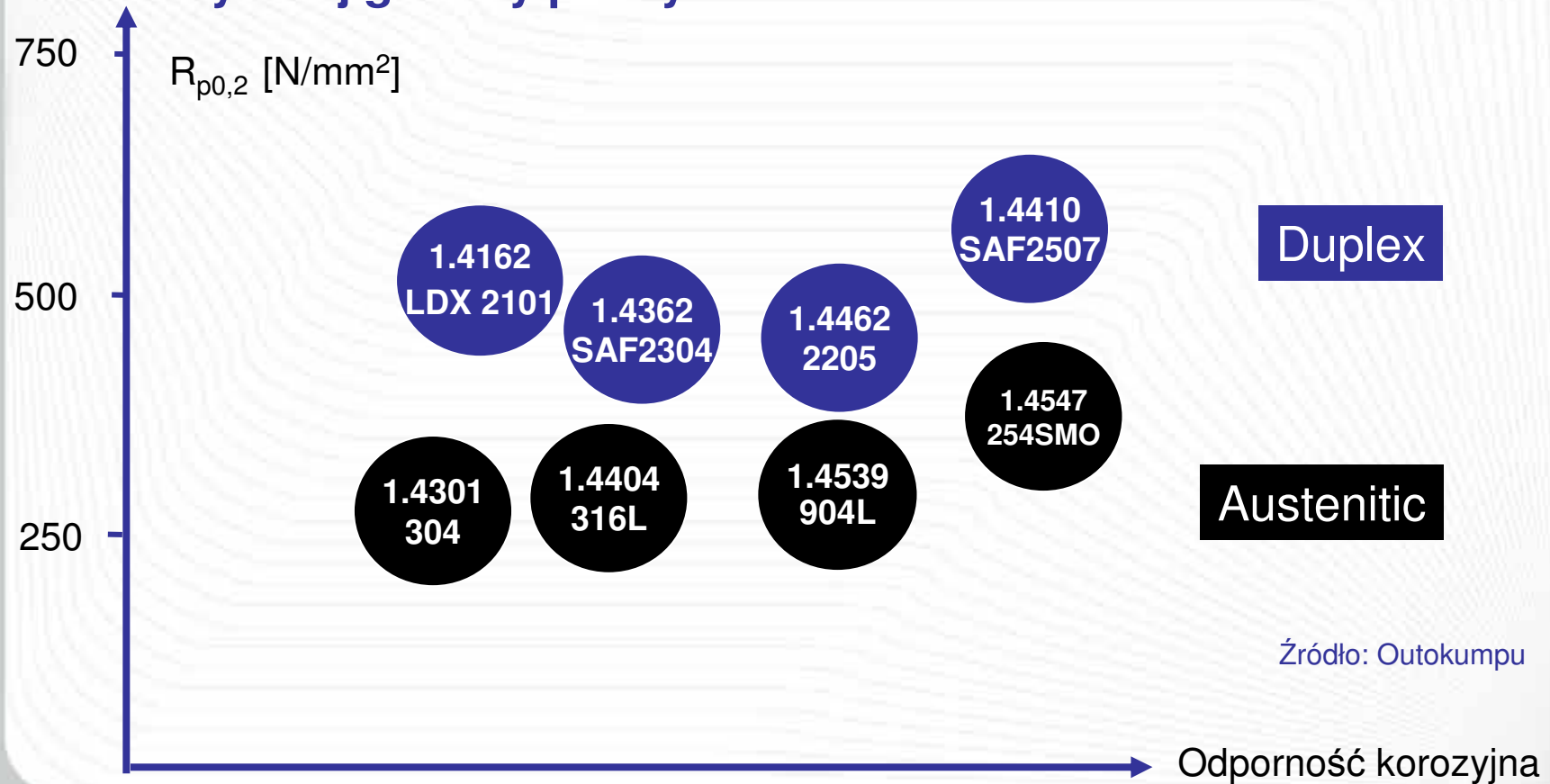
16



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

INSAPTRANS

Dla każdego typu stali austenitycznej istnieje alternatywny zamiennik stali typu duplex o jednakowej odporności korozyjnej lecz wyższej granicy plastyczności.



Źródło: Outokumpu

- Jeżeli bierze się pod uwagę niestabilność ceny Ni,
...można rozważyć zastosowanie alternatywnych gatunków - stali nierdzewnych o niskiej zawartości (lub braku) Ni...

Ale tylko wtedy, gdy spełnią one wszystkie wymagania techniczne pod względem własności dla aktualnie użytkowanego gatunku.

W zależności od typu, wyższe własności mechaniczne alternatywnych gatunków stali w porównaniu do gatunków CrNi(Mo) mogą nawet prowadzić w niektórych przypadkach do oszczędności materiałowych.

Odpowiednie informacje techniczne na temat metalurgii i zastosowania takich gatunków stali nierdzewnych są dostępne od europejskich dostawców stali nierdzewnych.



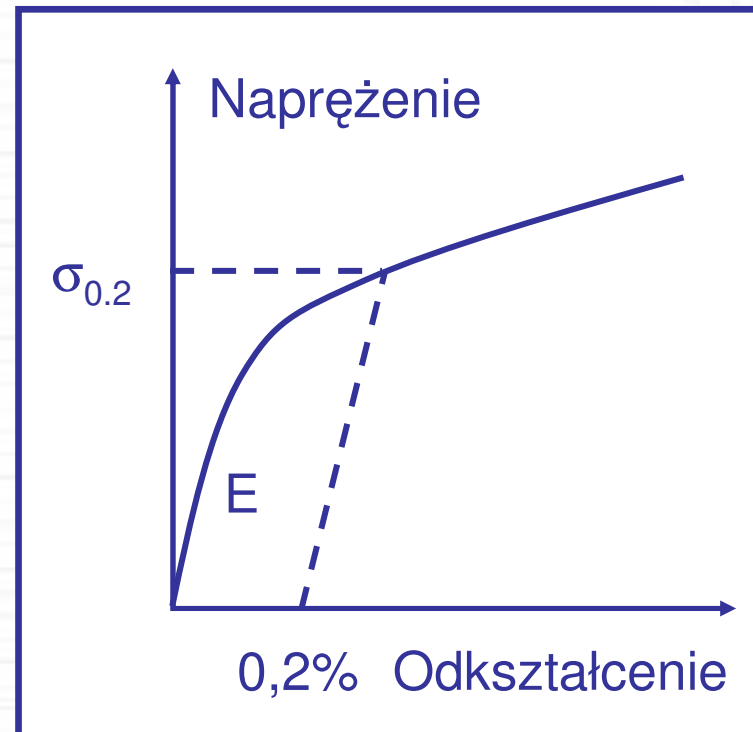
Dobór materiału – Polepszenie własności stali nierdzewnych

- **Stale nierdzewne o obniżonym stężeniu niklu**
 - Nikiel jako pierwiastek stopowy w stalach nierdzewnych
 - Austenityczne gatunki CrMn
 - Gatunki ferrytyczne
 - Gatunki Duplex
- **Stale nierdzewne umacniane odkształceniowo**
 - Własności mechaniczne stali nierdzewnej
 - Umocnienie odkształceniowe stali nierdzewnych
- Oddziaływania w cyklu życia produktu dla transportu ciężkiego



Zależność naprężenie-odkształcenie σ - ϵ w stalach nierdzewnych:

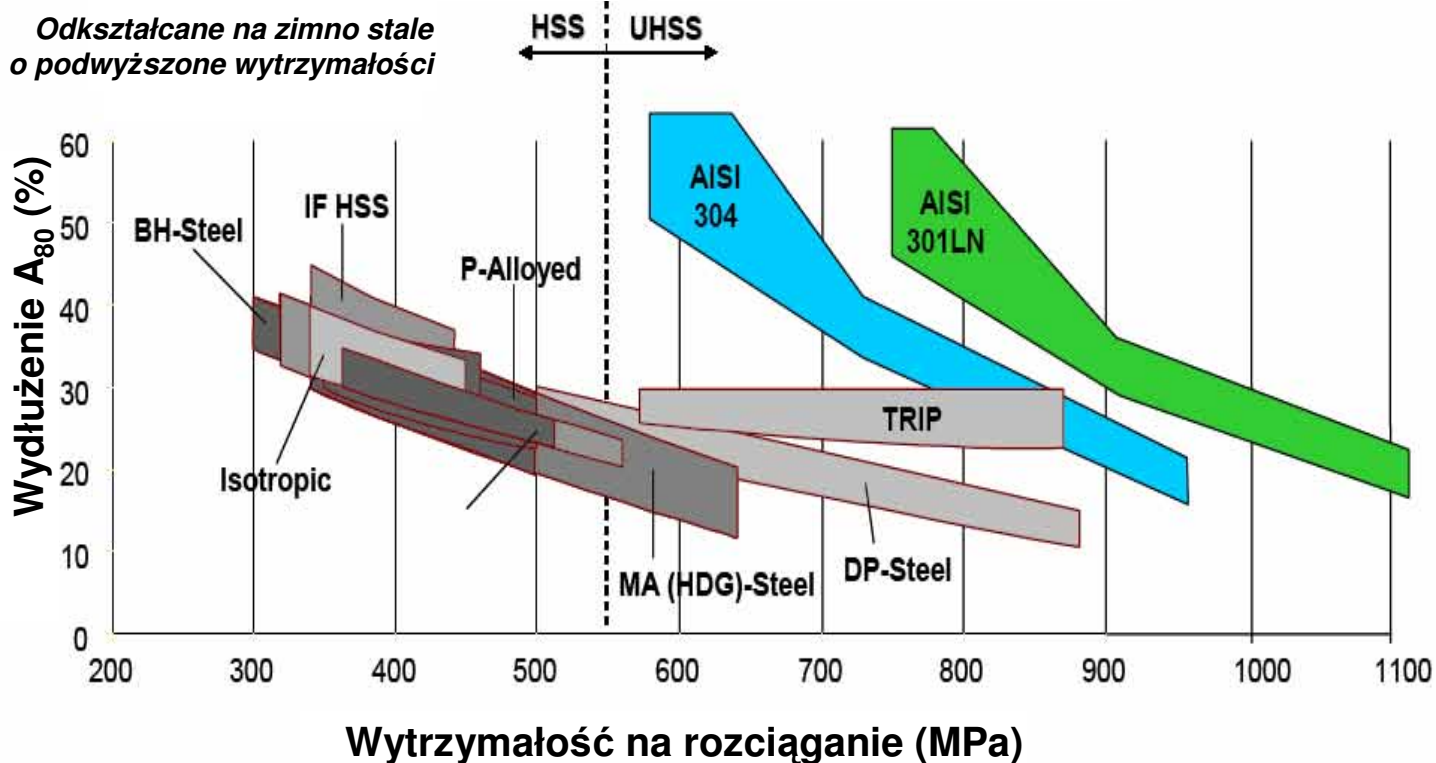
- Brak wyraźnej granicy plastyczności
- Stopniowe plastyczne płynięcie
- Umocnienie przez zgniot
- Umowna granica plastyczności ($\sigma_{0.2\%}$)



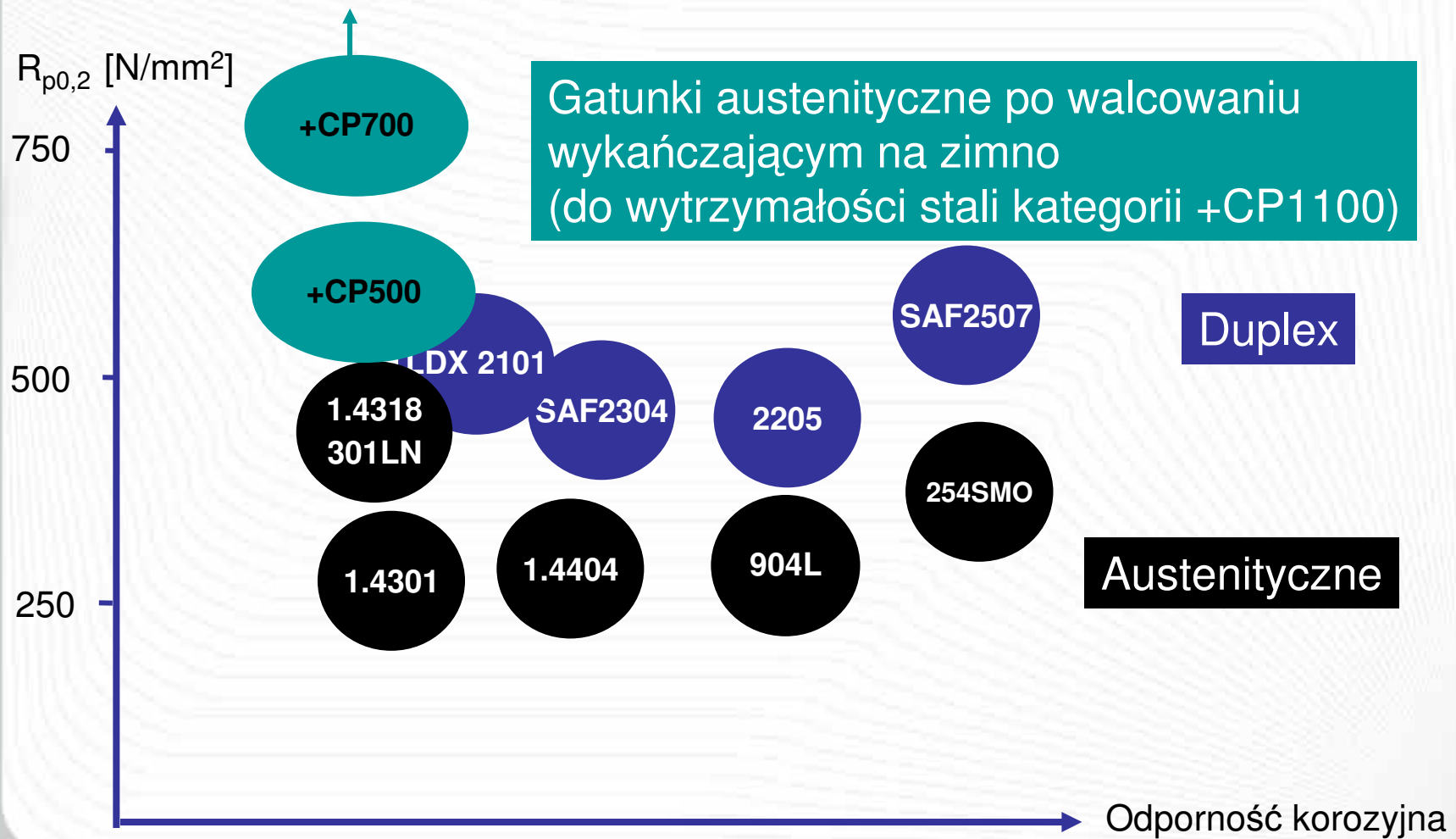
Charakterystyczne wartości wytrzymałości – ciągliwości stali węglowych i nierdzewnych:

Stale o podwyższonej wytrzymałości Stale o wysokiej wytrzymałości

Odształcane na zimno stale o podwyższone wytrzymałości



With support from the Research Fund for Coal and Steel of the European Community



Podwyższanie własności mechanicznych stali nierdzewnych:

Metoda *Oddziaływanie przez skład chemiczny (C) – proces (P)*

- Rozdrobnienie ziarna P
- Umocnienie roztworowe C
przykład: ΔR_p o 50 MPa na każde 0,1 % dodatku azotu
- Utwardzenie wydzieleniowe (głównie dla stali utwardzanych wydzieleniowo) C P
- **Umacnianie odkształceniowe (umocnienie zgniotem)** P



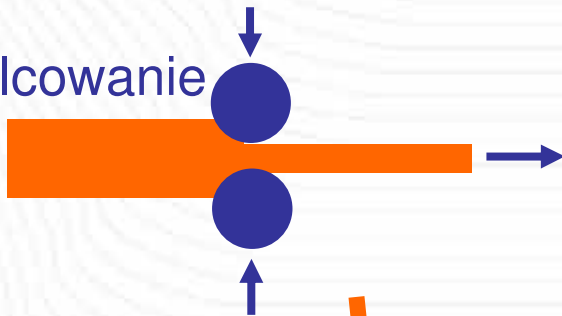
Umocnienie odkształceniowe w praktyce:

Wydłużanie



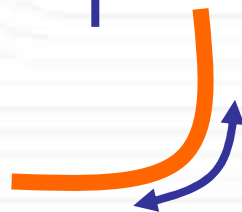
w walcowni

Walcowanie



w walcowni

Gięcie



u końcowego użytkownika
(np. wytwórcy kształtowników)

Amortyzacja wstrząsów

Podczas uderzenia



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

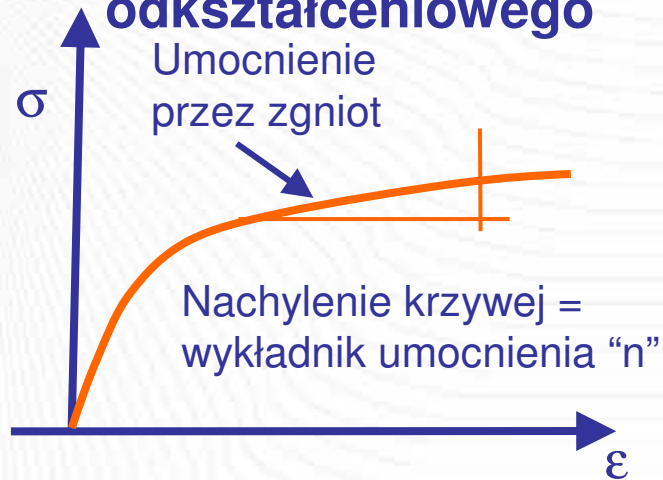
Umocnienie odkształceniowe jest użyteczne tylko dla niektórych typów stali nierdzewnych:

- Jest ono związane z przemianą fazową austenitu w martenzyt (i przez to jest istotne tylko dla tych grup stali nierdzewnych, które zawierają austenit)
- Jego skuteczność jest odwrotnie proporcjonalna do stabilności fazy austenitycznej (gatunki austenitycznej o niskim stężeniu niklu będą się bardziej umacniać odkształceniowo)

W praktyce to austenityczne stale nierdzewne (i w mniejszym stopniu stale typu duplex) odnoszą największe korzyści z zastosowania umocnienia odkształceniowego.

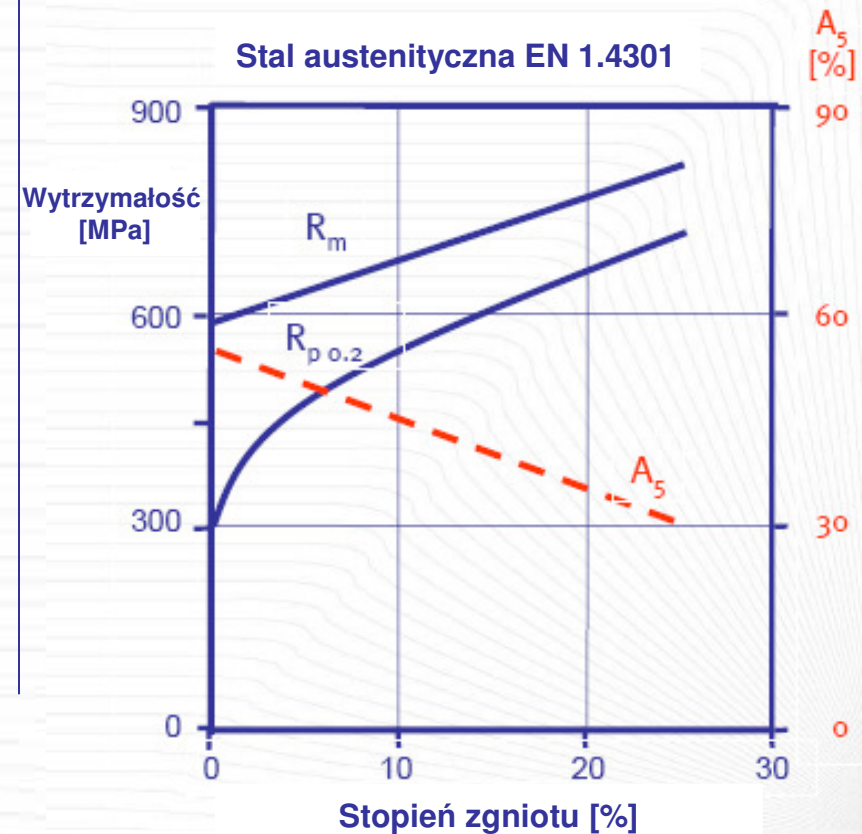


Wykładnik umocnienia odkształceniowego

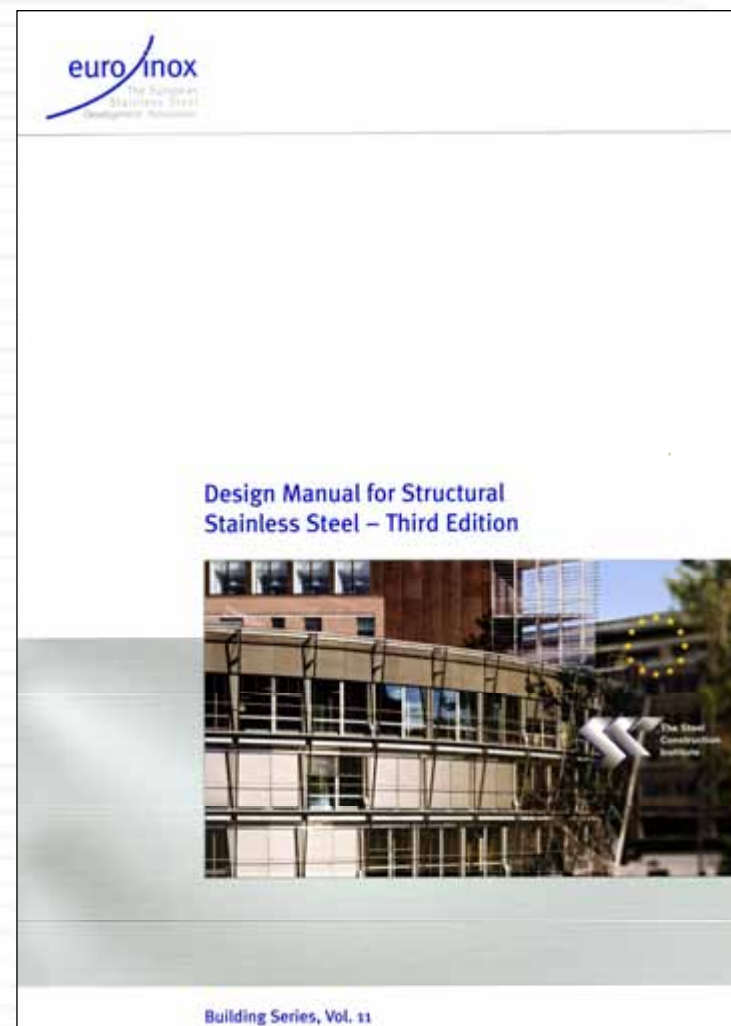


- $n \sim 0,6$ dla 1.4318 (niskonikłowy austenit – wysokie umocnienie odkształceniowe)
- $n \sim 0,2$ dla 1.4016 (feryt – niskie umocnienie odkształceniowe)

Wytrzymałość ($R_{p0,2}/R_m$) dla zwiększenia stopnia zgniotu :



Poziom wytrzymałości	Gatunek stali
2B (równy ~S235)	1.4301, 1.4541 1.4401, 1.4571
2B 2H+CP350 (równy ~S355)	1.4318 1.4301, 1.4541 1.4401, 1.4571
2B 2H+CP500 (równy ~S460)	1.4462 1.4318 1.4301, 1.4541 1.4401, 1.4571



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

Wnioski:

- Wyższe $R_{p0.2}$ i R_m dla walcowanych na zimno stali nierdzewnych
- Większe siły podczas wytwarzania: walcowanie kształtowników, gięcie, ...
- Mniej stabilne stale austenityczne wykazują większą podatność na umocnienie
- Podwyższone własności zmęczeniowe i odporność ogniowa

Potencjalne korzyści:

- Polepszenie własności udarnościowych podczas zderzenia przez:
 - Wyższy i bardziej równomierny rozkład odkształcenia
 - Opóźnione wyboczenie (np. kształtowników konstrukcyjnych)
- Zmniejszenie wagi przez mniej materiału o wyższych własnościach:
 - Mniej materiału: oszczędność kosztów
 - Lżejsze konstrukcje: łatwiejsze przenoszenie
 - Lżejsze pojazdy: niższe zużycie paliwa



Dobór materiału – Polepszenie własności stali nierdzewnych

- Stale nierdzewne o obniżonym stężeniu niklu
 - Nikiel jako pierwiastek stopowy w stalach nierdzewnych
 - Austenityczne gatunki CrMn
 - Gatunki ferrytyczne
 - Gatunki Duplex
- Stale nierdzewne umacniane odkształceniowo
 - Własności mechaniczne stali nierdzewnej
 - Umocnienie odkształceniowe stali nierdzewnej
- Oddziaływania w cyklu życia produktu dla transportu ciężkiego

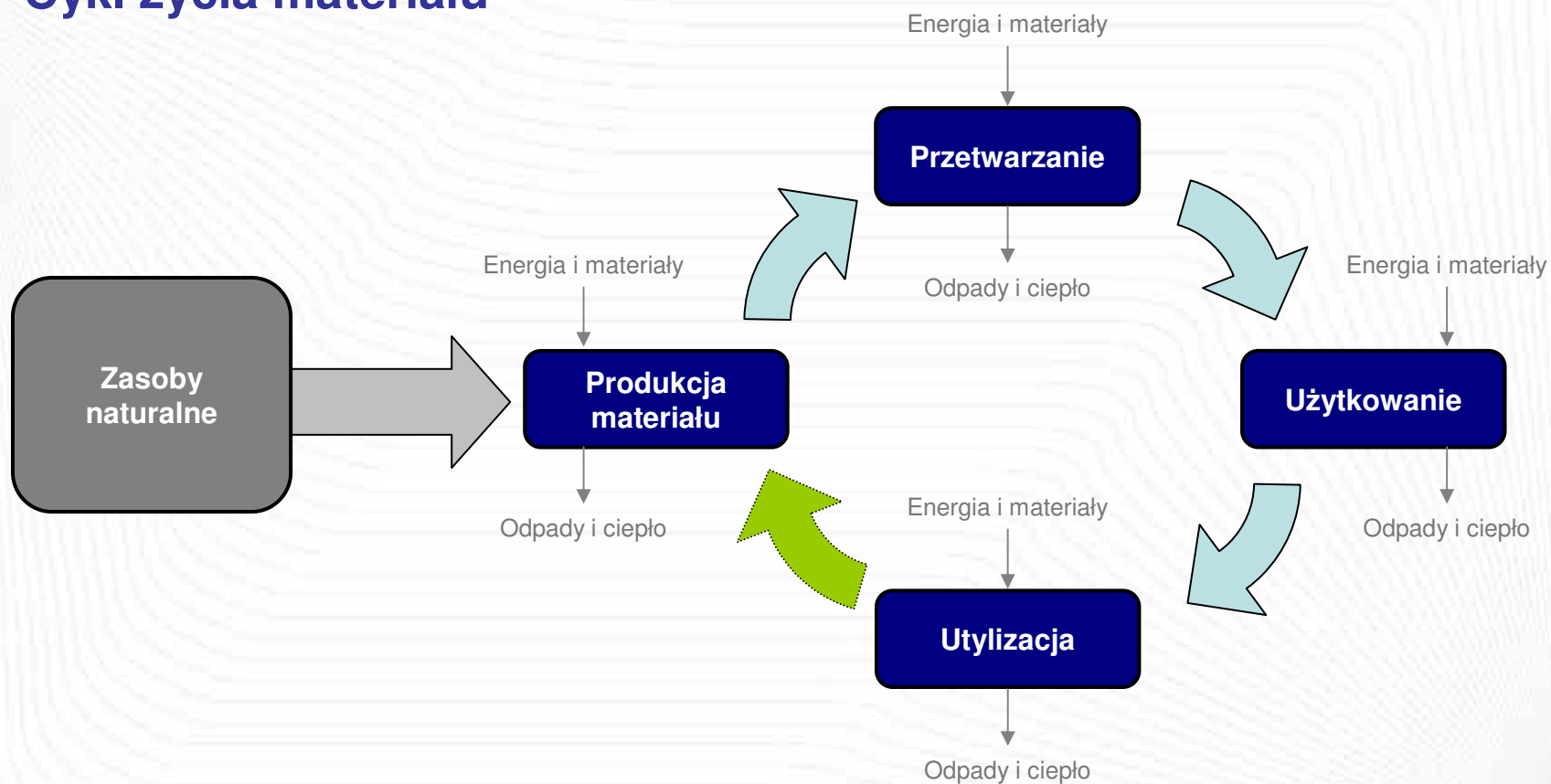


Wprowadzenie

- Projekt odgrywa ważną rolę w cyklu życia danego produktu.
- Rozwiązania konstrukcyjne z zastosowaniem materiałów o różnorodnej formie, wadze i technologii wytwarzania.
- Uwzględnienie kosztów i oddziaływania na środowisko wymaga przeprowadzenia obszernej i wyczerpującej analizy cyklu życia danego produktu.

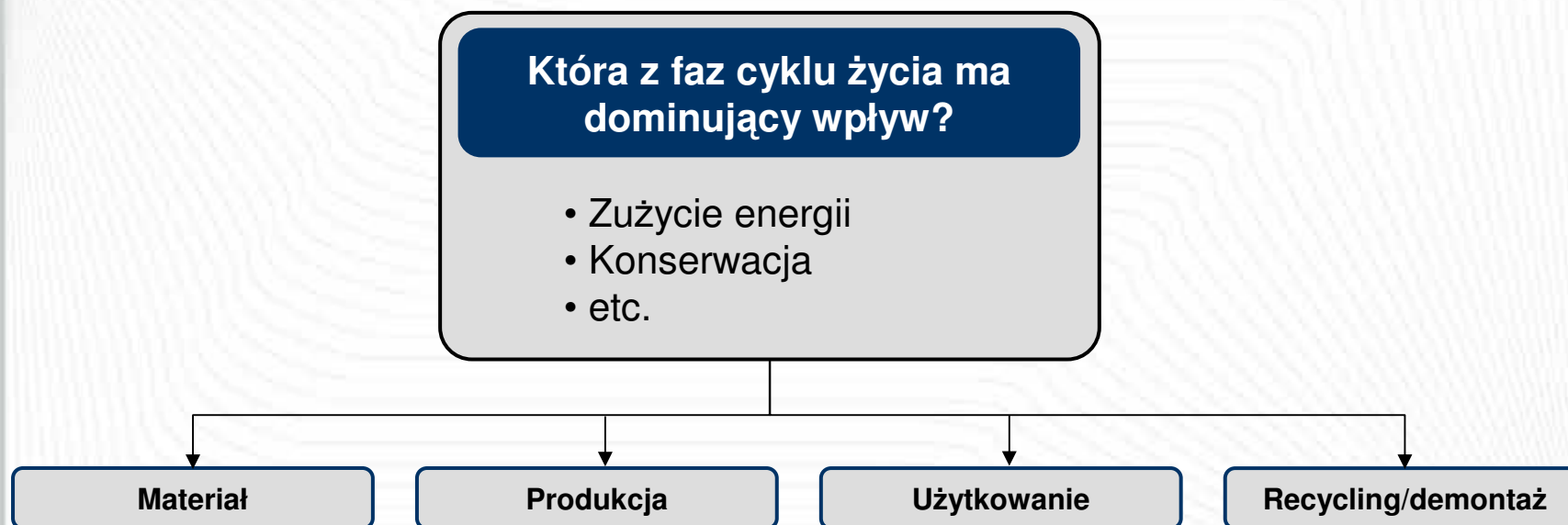


Cykl życia materiału

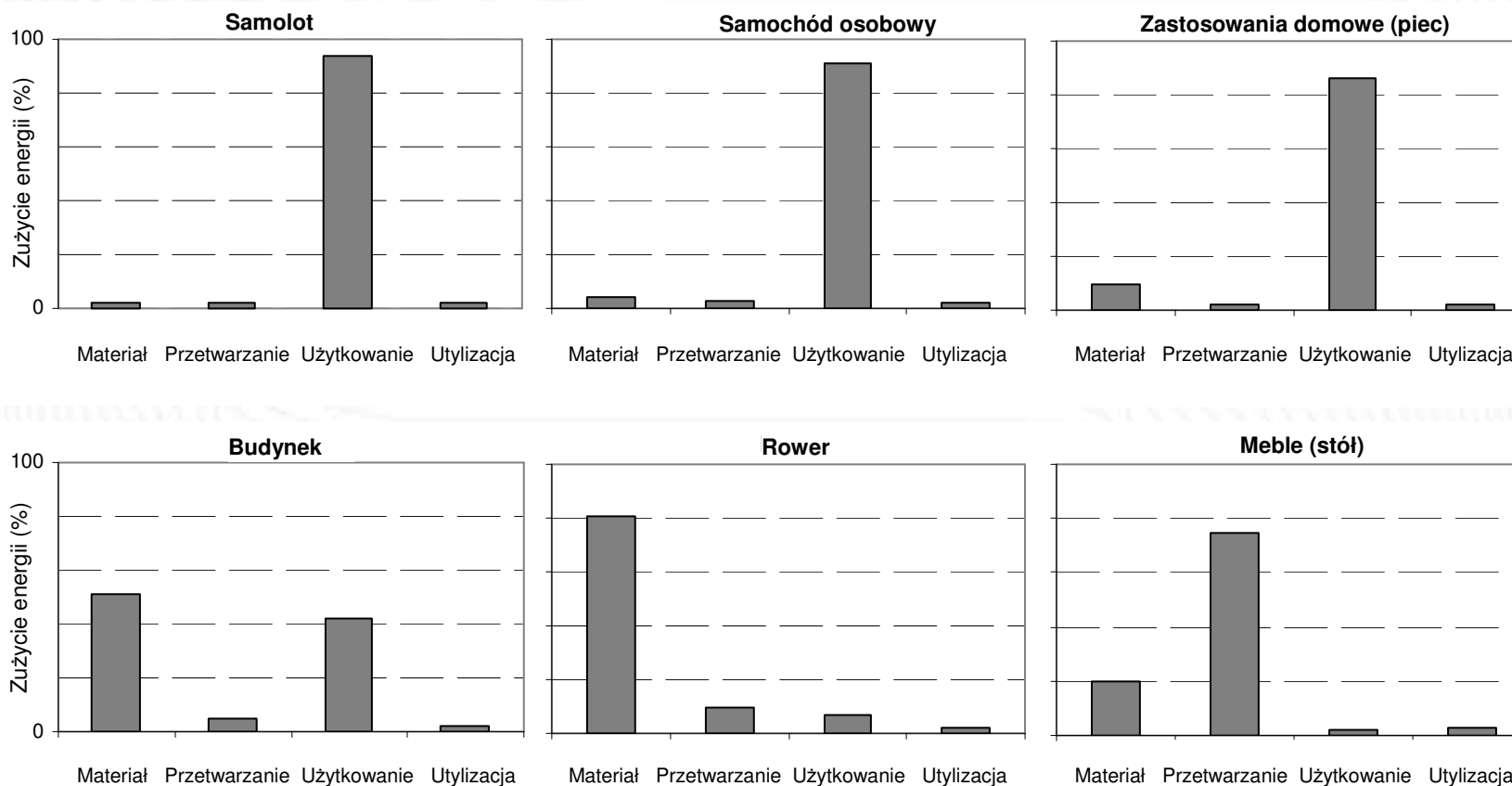


Źródło: M. F. Ashby: Materials selection in mechanical design

Wpływ różnych faz w cyklu życia



Faz cyklu generujące największe zużycie energii dla różnych produktów



Źródło: M. F. Ashby: Materials selection in mechanical design

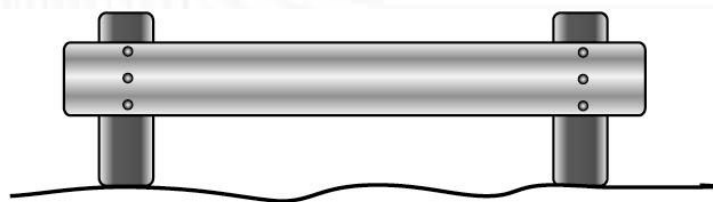


With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

Oddziaływania w cyklu życia dla barier ochronnych/zderzaków

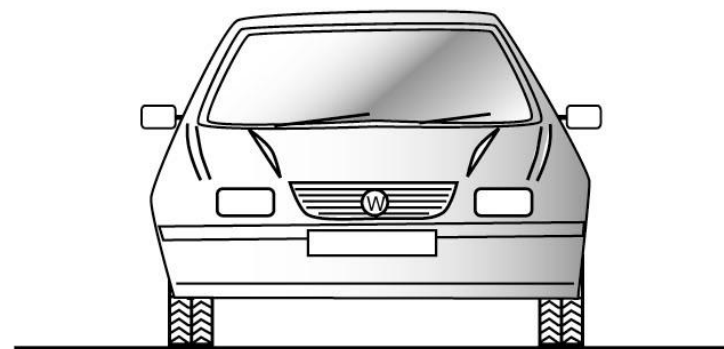
Stacjonarne

Fazy produkcji materiału i przetwarzania odgrywają decydującą rolę



Ruchome

Faza użytkowania jest najważniejsza



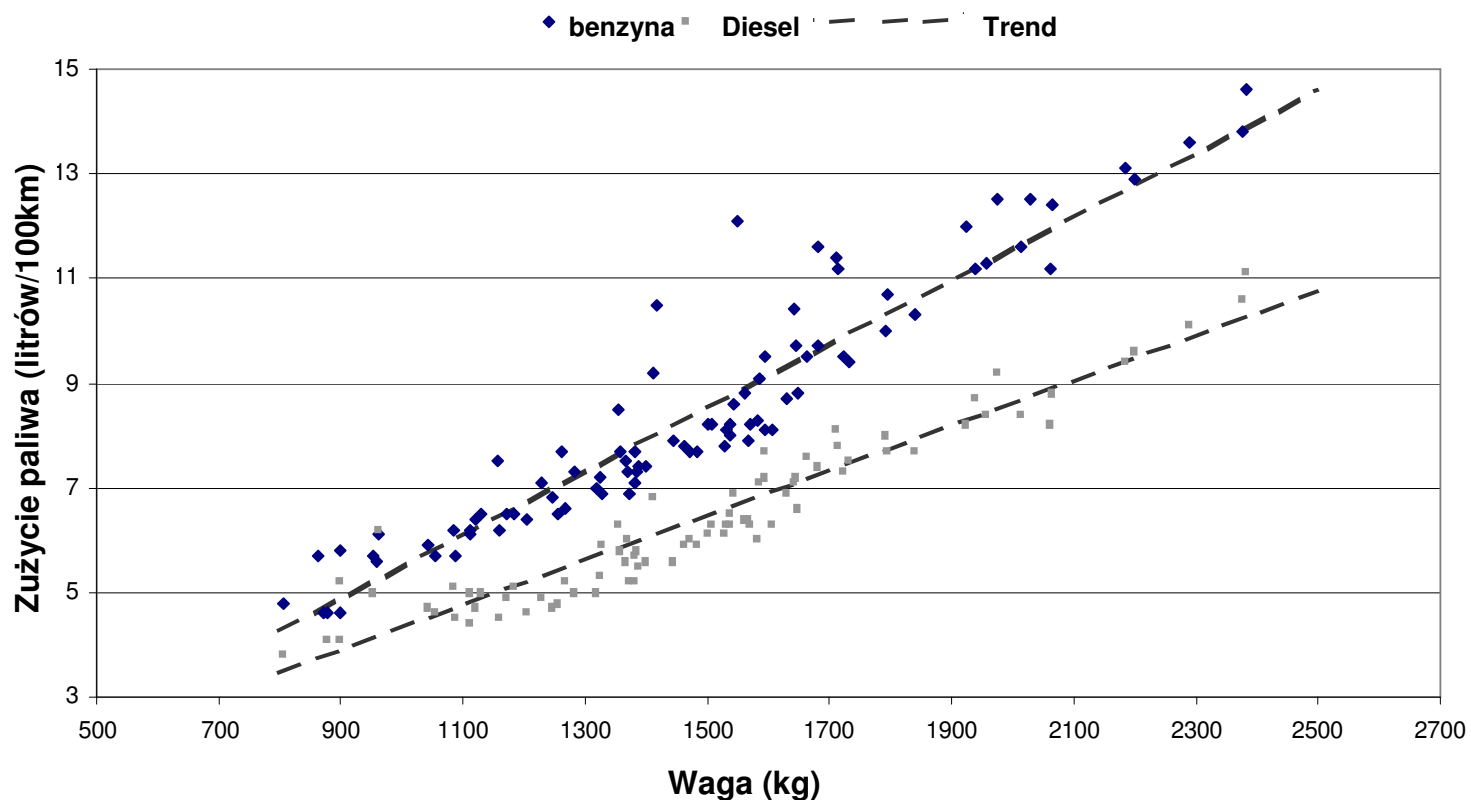
Z perspektywy cyklu życia, produkty te posiadają różne kryteria projektowe

Źródło: M. F. Ashby: Materials selection in mechanical design

Zależność między wagą a zużyciem paliwa

Zużycie paliw nowych samochodów pasażerskich

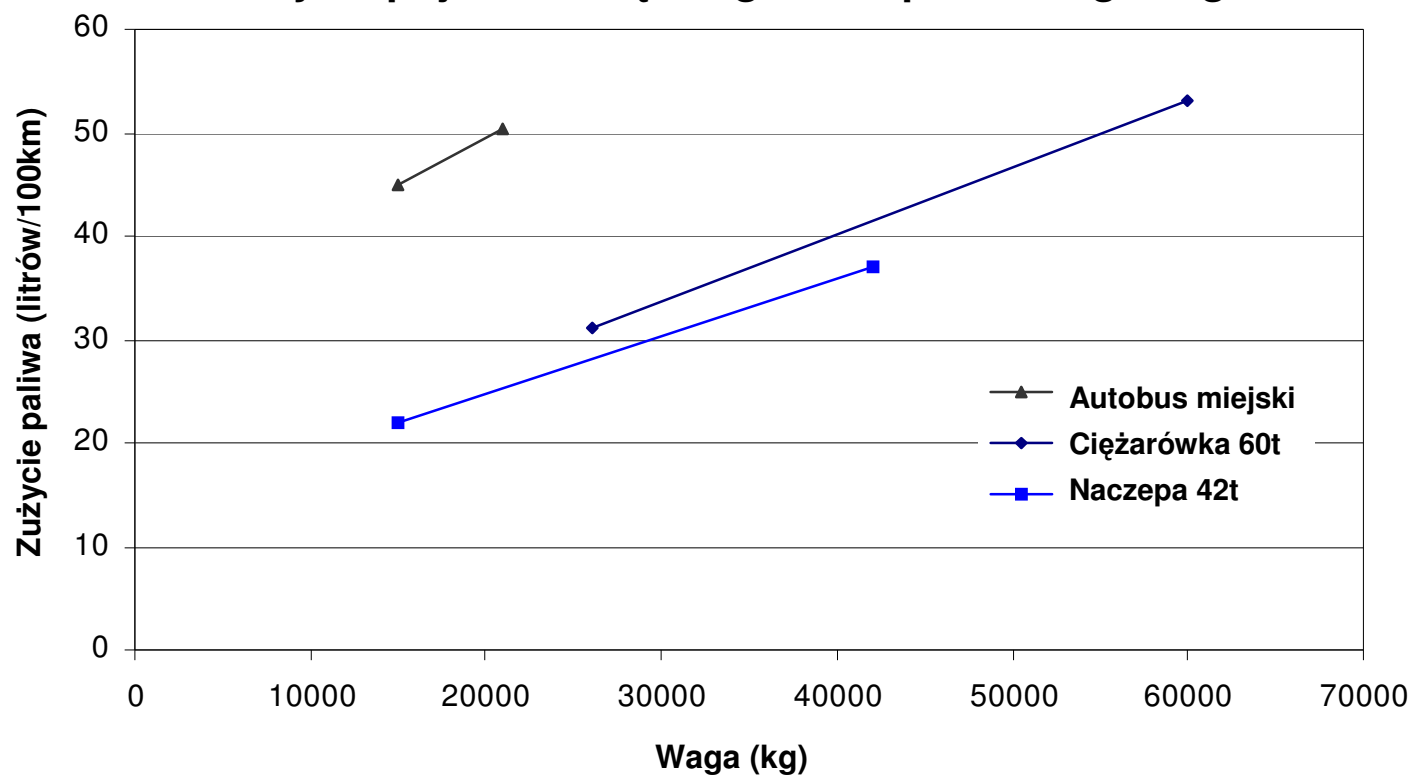
(Niemcy 2006, KBA)



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

Zależność między wagą i zużyciem paliwa dla ciężkiego transportu drogowego

Zużycie pojazdów ciężkiego transportu drogowego

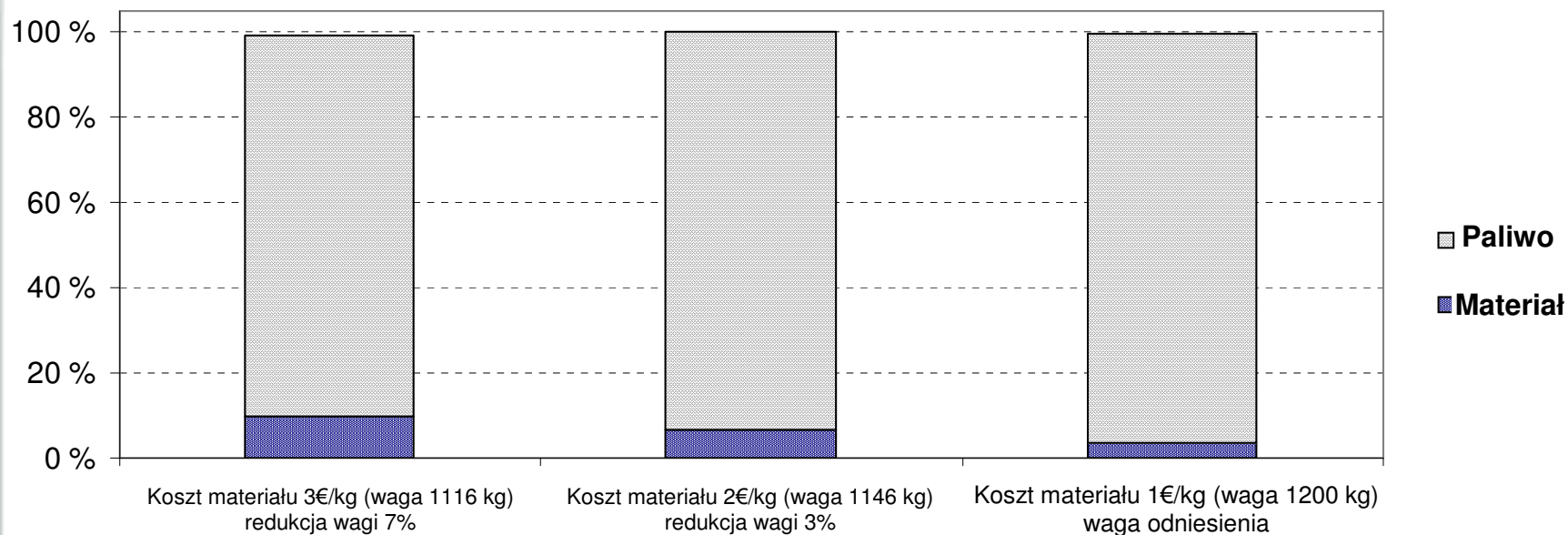


Źródło: RASKAAN AJONEUVOKALUSTON ENERGIANKÄYTÖN TEHOSTAMINEN "HDEnergia"
Yhteenvetoraportti 2003 – 2005, Edit. Nylund (po fińsku)

Zużycie paliwa dominuje w kosztach cyklu życia

Koszty cyklu życia dla materiałów stosowanych w autobusach

Koszty cyklu życia przy 1 500 00 km w 15 lat,
redukcja zużycia paliwa 2 l/1000kg na 1000kg, bez kredytowania recyklingu)*

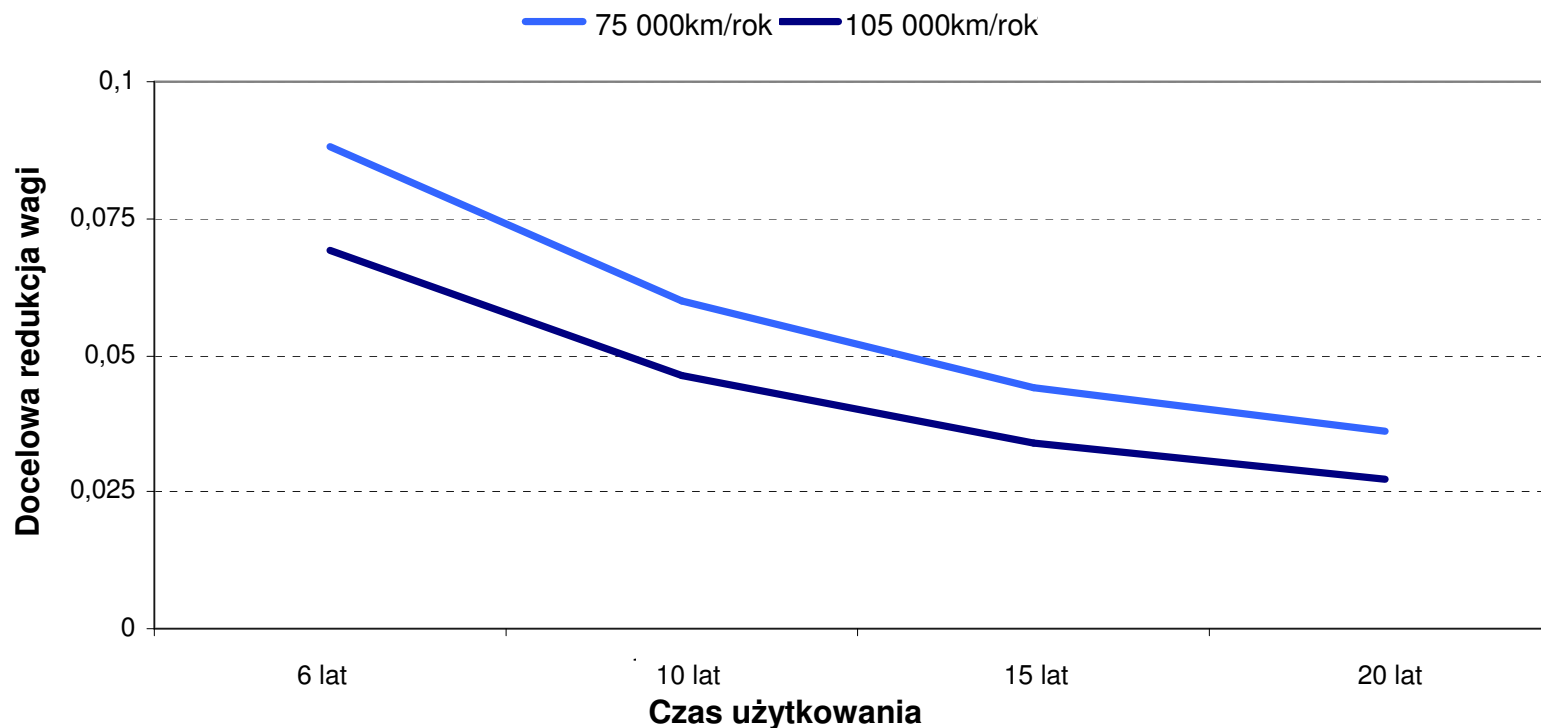


*(Stopa dyskontowa 8%, cena paliwa 1,2€/l z rocznym wzrostem o 5%)

Niższe zużycie paliwa kompensuje cenę materiałów dla większych przebiegów

Zredukowanie wagi, które skompensuje wysokie koszty materiałowe

(Zużycia paliwa 2 l/1000kg na 1000kg, bez kredytowania recyklingu)*



*(Stopa dyskontowa 8%, cena paliwa 1,2€/l z rocznym wzrostem o 5%, różnica w kosztach materiałów 1€/kg)



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

Wnioski

- Dobór materiału i odpowiedni projekt są bardzo istotne oraz wywierają pozytywny wpływ w cyklu życia.
- Kalkulacje kosztów w cyklu życia wykazują, że redukcja wagi pojazdu zmniejsza zużycie paliwa i może w pełni skompensować wysokie początkowe koszty materiałowe.
- Kalkulacje kosztów w cyklu życia powinno się wykonywać dla każdego przypadku osobno – projektanci i operatorzy obsługujący maszyny mogą wykonać obliczenia porównawcze na bazie własnych danych.



Dziękuję za uwagę!

Pytania?

Więcej informacji
dostępnych jest w
podręczniku
INSAPTRANS.



With support from the
Research Fund for
Coal and Steel of the
European Community

INSAPTRANS