

1

**ZNACZENIE CIĄGLIWOŚCI STALI
ZBROJENIOWEJ W PROJEKTOWANIU
KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH**

**WŁAŚCIWOŚCI GATUNKU
B500SP - EPSTAL®**



CENTRUM PROMOCJI JAKOŚCI STALI

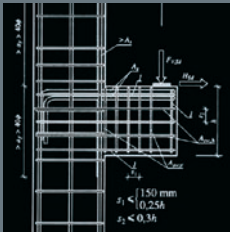
**ZNACZENIE CIĄGLIWOŚCI STALI
ZBROJENIOWEJ W PROJEKTOWANIU
KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH**

**WŁAŚCIWOŚCI GATUNKU
B500SP - EPSTAL®**



Centrum Promocji Jakości Stali jest organizacją zrzeszającą producentów stali zbrojenio-
wej w Polsce. Naszym celem jest zapewnienie wysokiej jakości wyrobów stalowych ofero-
wanych przez zrzeszonych producentów oraz promocja nowych rozwiązań technicznych
i materiałowych.

DZIAŁALNOŚĆ CPJS:



Promocja wśród srodo-
wisk projektantów bez-
piecznych rozwiązań
z zastosowaniem no-
wych gatunków stali
o podwyższonej ciągli-
wości. Z badań przepro-
wadzonych przez CPJS
wynika, że rodzaj za-
stosowanej do zbrojenia
ustrojów żelbetowych
stali wpływa znacząco
na bezpieczeństwo całej
konstrukcji.

Dodatkowa certyfikacja
wyrobów na znak jakości
EPSTAL.
Wyroby oznaczone zna-
kiem **EPSTAL** pochodzą
z produkcji podlegają-
cej stałemu nadzorowi
i odznaczają się dużą
powtarzalnością i stabil-
nością właściwości.
CPJS przeprowadza cią-
głą analizę statystyczną
wyników badań przepro-
wadzonych w akredy-
towanych laboratoriach
producentów.

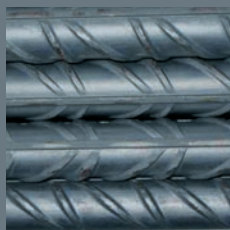
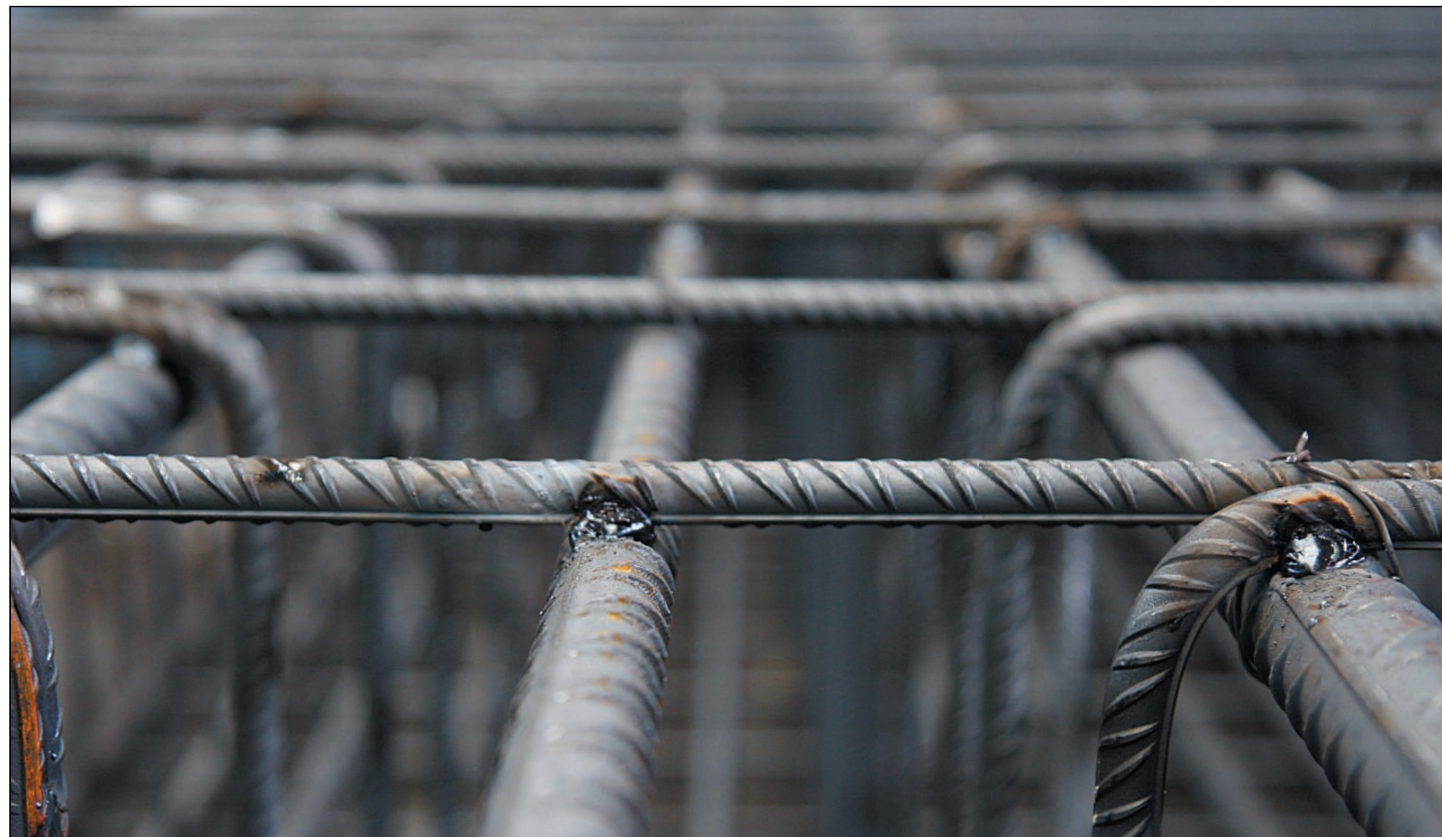
Innowacyjność w dzie-
dzinie stali zbrojeniowej,
opracowanie i publikacja
wyników badań zwiaza-
nych z certyfikowanymi
wyrobami, we współpra-
cy z członkami Komitetu
Doradczego CPJS.

Monitorowanie i czyn-
ny udział w działaniach
normalizacyjnych i cer-
tyfikacyjnych na pozio-
mie instytucji krajowych
i europejskich.



SPIS TREŚCI

06 - 07	WSTĘP
08 - 13	WPROWADZENIE - DEFINICJA CIAGLIWOŚCI - CIAGLIWOŚĆ W PRAKTYCE - PARAMETRY CIAGLIWOŚCI - CIAGLIWOŚĆ W NORMALIZACJI
14 - 31	STAL B500SP - EPSTAL® - CZYM JEST EPSTAL® - ZNAK EPSTAL® - WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE STALI EPSTAL® - WALORY MARKI EPSTAL®: - BEZPIECZEŃSTWO - PEŁNA SPAJALNOŚĆ - IDENTYFIKOWALNOŚĆ - ODPORNOŚĆ NA OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE - PRZYPĘCZNOŚĆ DO BETONU
32 - 35	ROZSZERZONY PROGRAM BADAWCZY
36 - 38	DANE PROJEKTOWE: - WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE - CHARAKTERYSTYKA GEOMETRYCZNA PRĘTÓW - PRZEKRÓJ ZBROJENIA W cm²/m W ZALEŻNOŚCI OD ROZSTAWU PRĘTÓW - PRZEKRÓJ ZBROJENIA W cm² W ZALEŻNOŚCI OD ILOŚCI PRĘTÓW



WSTĘP

Projektowanie konstrukcji rozpoczyna analiza statyczna – wyznaczenie uogólnionych sił wewnętrznych (normalnych, poprzecznych oraz momentów zginających i skręcających). Eurokod 2 (EC2), czyli europejska norma do projektowania konstrukcji żelbetowych, opisuje trzy metody obliczania:

- **liniową**, u podstaw której leży założenie, że zależność naprężeń (σ) od odkształceń (ϵ) jest liniowa, tzn. że spełnione jest prawo Hooke'a, a elementy konstrukcji po zdjęciu obciążenia wracają do stanu pierwotnego (są sprężyste);
- **nieliniową lub liniową z redystrybucją momentów**, w której stosuje się sprężysto – plastyczne zależności $\sigma - \epsilon$. W uproszczeniu oznacza to założenie, iż materiał zachowuje się w sposób sprężysty do pewnego poziomu naprężeń, powyżej którego postępujące odkształcenia są już nieodwracalne (plastyczne). W obliczeniach wykorzystuje się fakt, iż w konstrukcjach statycznie niewyznaczalnych istnieją rezerwy nośności – dzięki cechom plastycznym materiałów w miejscach niewrażliwych powstają przeguby plastyczne, które pozwalają na przeniesienie części naprężeń na strefy mniej wyęteżone (redystrybucję momentów);
- **plastyczną**, zwaną też analizą nośności granicznej. Teoria nośności granicznej zajmuje się analizą konstrukcji w stanie zniszczenia, w którym konstrukcja traci zdolność do przenoszenia obciążeń i staje się układem geometrycznie zmiennym. Aby było to możliwe przekroje ustroju muszą charakteryzować się dużą odkształcalnością (zdolnością do obrotu) - dotyczy to zwłaszcza przekrojów krytycznych, w których mogą powstać przeguby plastyczne. Dużego znaczenia nabiera ciągliwość zastosowanej stali – zaleca się zbroić elementy stalą o dużej ciągliwości.

Praktyka pokazuje, że najprostsza i najchętniej stosowana metoda liniowa, czyli teoria sprężystości, nie oddaje w pełni rzeczywistego charakteru pracy konstrukcji. Prawa fizyczne dla żelbetu są silnie nieliniowe – założenie, że materiał ten jest sprężysty jest zbyt dalekie od prawdy. Sprawdza się jedynie przy bardzo niewielkich odkształceniach. Gdy na-

prężenia przekroczą wartość granicy plastyczności elementy zaczynają pracować nieliniowo – następuje zjawisko znacznego przyrostu odkształceń przy bardzo niewielkich zmianach naprężeń. Przetrawanie konstrukcji w tej fazie jest uwarunkowane jej zdolnością do uplastycznienia. W elementach żelbetowych plastyczność jest zapewniona przez stal zbroje-

niową. A zatem jej wysoka wytrzymałość, która nadal jest bardzo pożądana, nie wystarczy, aby zapewnić właściwą pracę elementów – musi ona posiadać również odpowiednią ciągliwość.



W przeszłości stal zbrojeniowa miała ciągliwość na takim poziomie, że nie zakłócała procesu uplastycznienia w konstrukcji – miała ona mniejszą wytrzymałość, a przez to większą ciągliwość (np. stal A-I czy A-0). Postęp w produkcji prowadził do

wzrostu wytrzymałości stali, co odbywało się poprzez zwiększenie zawartości węgla, bądź przez zgniot podczas walcowania na zimno. Efektem tych procesów było obniżenie ciągliwości. A zatem doskonalenie własności wytrzymałościowych odby-

wało się kosztem plastyczności stali. Do dziś zresztą nie wykorzystuje się tego parametru w projektowaniu i klasyfikacji, a wiedza o zjawisku ciągliwości jest ciągle niedostateczna.



CIĄGLIWOŚĆ STALI



DEFINICJA CIĄGLIWOŚCI

Ciągliwość stali można zdefiniować najprościej jako jej zdolność do użytkowania znacznych odkształceń bez wyraźnego przyrostu naprężeń po przekroczeniu granicy plastyczności.

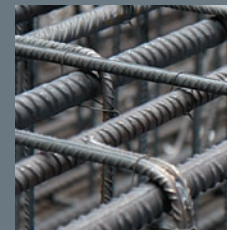
Pojęcie to odnosi się do pracy konstrukcji w sytuacji, gdy naprężenia przekroczyły granicę plastyczności – w fazie odkształceń

plastycznych. Odkształcenia zaczynają wówczas przyrastać nieliniowo w stosunku do naprężeń. W przeciwieństwie do fazy I – odkształceń liniowych (sprężystych) – deformacje prętów stalowych są tu nieodwracalne.

Stal o dużej ciągliwości ma lepszą niż stal małociągłąwa zdolność absorbowania energii. Przy naprężeniach większych niż granica plastyczności może „prze-

trwać” znacznie dłużej, deformując się w sposób plastyczny – w przeciwieństwie do stali o małej ciągliwości, która jest bardziej krucha, niszczy się w sposób nagły ulegając niewielkim wydłużeniom.

Co takie właściwości oznaczają w praktyce?



CIĄGLIWOŚĆ W PRAKTYCE

Zbrojenie zastosowane w konstrukcji poddanej naprężeniom niższym niż granica plastyczności deformuje się w sposób sprężysty – są to zmiany odwracalne, po zdjęciu obciążenia pręty wróciłyby do stanu początkowego. Mimo, iż w konstrukcji mogą powstać zarysowania i pęknięcia – beton nie jest materiałem sprężystym – jest ona bezpieczna. Bezpieczeństwo to zależy w dużej mierze od wytrzymałości na rozciąganie zastosowanej stali. Im jest ona większa, tym większe obciążenie jest potrzebne, aby przekroczyć wartość granicy plastyczności w konstrukcji, czyli aby zachować sprężysty charakter pracy jej elementów.

Czy zatem zastosowanie stali o wysokiej wytrzymałości rozwiązuje wszystkie problemy i gwarantuje bezpieczeństwo?

Co się stanie jeśli naprężenia, pod wpływem rosnącego obciążenia, przekroczą wartość granicy plastyczności?

Konstrukcja zacznie wówczas pracować w fazie odkształceń plastycznych. Ugięcia przyrastają bardzo szybko, nieliniowo w stosunku do naprężeń. Są też nieodwracalne. Ciągliwość stali, czyli jej zdolność do przybierania dużych odkształceń, nabiera tu ogromnego znaczenia. To ona decyduje o charakterze zniszczenia elementu, a także o czasie, po jakim konstrukcja runie.

Konstrukcja krucha, zbrojona małociągłą stalą ulega najczęściej zniszczeniu w sposób gwałtowny, bez widocznych gołym okiem ugięć i zarysowań. Elementy uplastycznione poprzez zastosowanie ciągliwej stali mają znacznie większą zdolność ugięcia, przed zniszczeniem dają nam znaki ostrzegawcze

w postaci widocznych deformacji i zarysowań. Ma to decydujące znaczenie dla bezpieczeństwa użytkowników – widząc oznaki przeciążenia możemy w porę zareagować. Krucho konstrukcja niestety nie daje nam takiej możliwości.

Co zatem charakteryzuje dobrą stal zbrojeniową?

1. dobre właściwości wytrzymałościowe, aby jak najdłużej zapewnić sprężysty charakter pracy zbrojenia;
2. wysoka plastyczność, aby w przypadku przeciążenia umożliwić dłuższe zachowanie nośności.

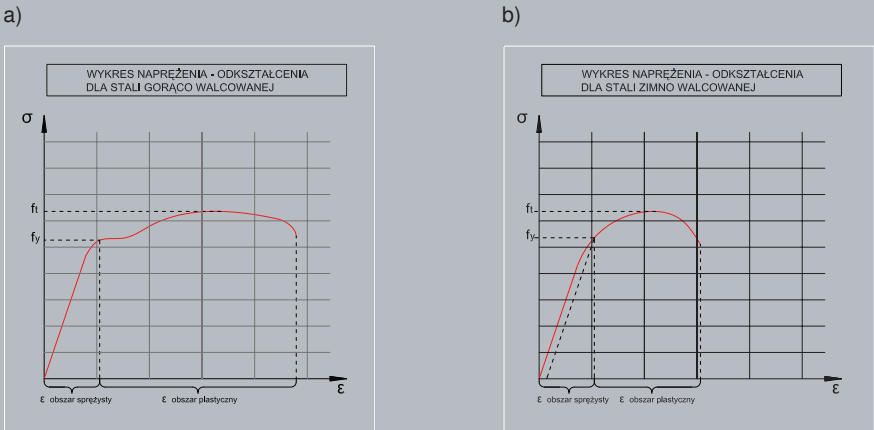
Szczególną uwagę na plastyczność elementów należy zwrócić w przypadku konstrukcji narażonych na nieprzewidziane obciążenia, takie jak uderzenia, trzęsienia ziemi, czy nagłe zniszczenia podczas wybuchu. W takich konstrukcjach pożądany jest zapas bezpieczeństwa, jaki ma konstrukcja plastyczna.



PARAMETRY
CIĄGLIWOŚCI

Właściwości stali najlepiej określa wykres zależności naprężeń od odkształceń, otrzymywany podczas próby rozciągania, na który nanosi się zmiany odkształceń powodowane przyrostem obciążenia.

Rys. 1.
WYKRES ZALEŻNOŚCI
NAPRĘŻEŃ OD OD-
KSZTAŁCEŃ ($\sigma - \epsilon$)
DLA STALI:
a) gorącowałcowanej
b) zimnowałcowanej



Typowy wykres zależności naprężeń od odkształceń można w dużym uproszczeniu podzielić na dwie strefy:

- **Strefa odkształceń liniowo – sprężystych.** Odkształcenia są wprost proporcjonalne do obciążeń (wykres stanowi linia prosta, której tangens kąta nachylenia jest wartością modułu Younga E dla stali), aż do osiągnięcia granicy plastyczności.

- **Strefa odkształceń plastycznych.** Po przekroczeniu granicy plastyczności odkształcenia nie są wprost proporcjonalne do obciążeń, lecz wzrastają krzywoliniowo aż do osiągnięcia wytrzymałości na rozciąganie. W pierwszej fazie uważa się tzw. „płynięcie stali” zobrażowane prawie poziomym fragmentem wykresu.

W strefie odkształceń sprężystych deformacja nie jest trwała, w przeciwieństwie do strefy odkształceń plastycznych, gdzie pod wpływem obciążeń w materiale następują nieodwracalne zmiany.

W przypadku stali walcowanej na gorąco odczytanie z wykresu wartości granicy plastyczności jest bardzo proste ze względu na wyraźne przejście ze strefy I do II oraz obszar „płynięcia stali”.



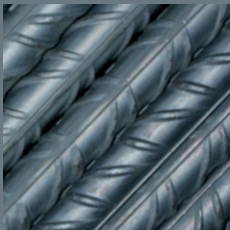
Wykres dla stali walcowanej na zimno nie posiada wyraźnego przejścia ze strefy sprężystej w plastyczną. Wyznaczenie granicy plastyczności w tym przypadku jest trudniejsze. Do jej określenia przyjmuje się, że wartość ta odpowiada naprężeniu powstałemu przy odkształceniu równym 0,2%. Jest to tzw. „umowna granica plastyczności” – $f_{y0,2}$. Wyznaczanie tej wartości na wykresie polega na poprowadzeniu linii równoległej do wykresu w części sprężystej, zaczynającej się na osi poziomej w punkcie odpowiadającym odkształceniu równemu 0,2%. Punkt przecięcia tej prostej z krzywą wykresu rzutowany na oś naprężeń wyznacza wartość umownej granicy plastyczności $f_{y0,2}$.

Ciągliwość stali zbrojenio-
wej jest definiowana przez
dwa parametry (które moż-
na odczytać z wykresu):

- **Stosunek f_{tk}/f_{yk} (R_m/R_e w oznaczeniach norm dla stali)** - jest to parametr wyrażający stosunek charakterystycznej wytrzymałości stali na rozciąganie (f_{tk}) do charakterystycznej wartości granicy plastyczności (f_{yk}). Parametr ten określa zapas wytrzymałości stali po przekroczeniu granicy plastyczności.
- **Wydłużenie przy maksymalnej sile ϵ_{uk} (A_{gt} w oznaczeniach norm dla stali)** - parametr ten definiuje wydłużenie próbki przy maksymalnej wartości obciążenia, czyli inaczej

wydłużenie odpowia-
dające największemu na-
prężeniu (f_{tk}). Wartość
tę wyznaczyć można
na wykresie przez po-
prowadzenie prostej
poziomej, przechodzą-
cej przez najwyższy
punkt wykresu. Punkt
przecięcia się prostej
z wykresem, rzutowa-
ny na oś odkształceń
jest wartością ϵ_{uk} .

Im większy jest stosunek
 f_{tk}/f_{yk} oraz wartość ϵ_{uk} tym
większa jest ciągliwość
stali.



CIĄGLIWOŚĆ
W NORMALIZACJI

Według obecnie obowiązującej Polskiej Normy do projektowania konstrukcji żelbetowych PN-B-03264:2002 podział stali

zbrojeniowej na klasy prowadzony jest na podstawie wartości obliczeniowej granicy plastyczności f_{yd} :

Klasa stali	Przykładowe gatunki stali	Spawalność	Granica plastyczności	
			Charakterystyczna f_{yk} [MPa]	Obliczeniowa f_{yd} [MPa]
A-0	St0S-b	spawalna	220	190
A-I	St3SY-b	spawalna	240	210
A-II	18G2-b	spawalna	355	310
A-III	34GS	trudno spawalna	410	350
A-IIIN	RB500W	spawalna	500	420

TABELA 1.
KLASYFIKACJA STALI
WG. PN-B-03264:2002

Norma zaznacza przy tym, iż stale klasy A-0 do A-III charakteryzują się dużą ciągliwością, natomiast stal klasy A-IIIN – średnią ciągliwością. Różnica ta jest spowodowana procesami, które, w miarę rozwoju technologii produkcji, prowadzono w celu zwiększenia walorów wytrzymałościowych stali. Uzyskanie wyższej wytrzymałości na rozciąganie do tej pory

było osiągane przez zwiększenie zawartości węgla – co skutkowało pogorszeniem spawalności, lub przez zgniot podczas walcowania na zimno. Oba te zabiegi niekorzystnie wpływały na plastyczność stali.

Europejska Norma do projektowania konstrukcji żelbetowych PN-EN-1992-1-1:2005 czyli Eurokod 2 wprowadza zupełnie nową

klasyfikację, w której parametrem decydującym jest ciągliwość (patrz Tabela 2).

Dla każdej klasy warunki dotyczące zarówno parametru k , jak i ϵ_{uk} muszą być spełnione jednocześnie.

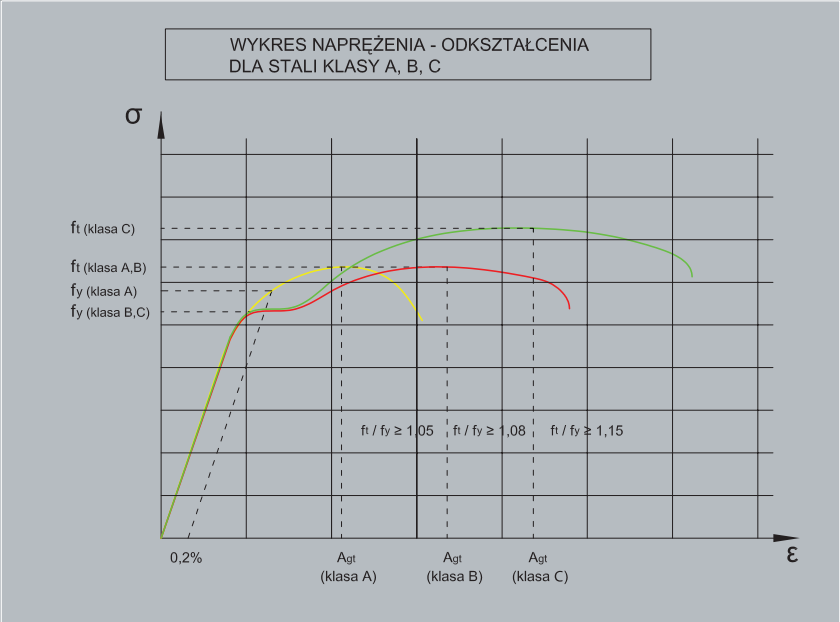
Klasa stali	Granica plastyczności f_{yk} [MPa]	$k = (f_t/f_y)k$	ϵ_{uk} [%]
A	400 ÷ 600	$\geq 1,05$	$\geq 2,5$
B		$\geq 1,08$	$\geq 5,0$
C		$1,15 \div 1,35$	$\geq 7,5$

TABELA 2.
KLASYFIKACJA STALI
WG. EUROKODU 2

W klasyfikacji tej granica plastyczności nie jest już czynnikiem decydującym – parametr ten dla każdej klasy musi wynosić nie mniej niż 400 i nie więcej niż 600 MPa, co dyskwalifikuje niektóre obecnie stosowane w Polsce gatunki. Klasy od A-0 do A-II, a więc takie gatunki jak St3SY-b czy 18G2-b, nie spełniają wymogów Eurokodu 2 – f_{yk} dla tych klas nie przekracza 400 MPa.

Różnice w parametrach stali różnych ciągliwości dobrze obrazują wykresy zależności naprężeń od odkształceń. Ich analiza porównawcza pozwala zauważyć, iż dla podobnego poziomu naprężeń odkształcenia stali klasy C są większe od odkształceń stali klasy B i A – stal ciągliwa ma większe możliwości absorbowania energii, nie ulega kruchemu rozerwaniu lecz wydłuża się, w przeciwieństwie do stali kruchej.

Próba sklasyfikowania pod względem ciągliwości powszechnych w Polsce gatunków stali pokazuje, że tylko jeden z nich spełnia wymagania klasy C – gatunek B500SP (patrz Tabela 3).



RYS. 2.
WYKRESY ZALEŻNOŚCI
NAPRĘŻEŃ OD
ODKSZTAŁCEŃ DLA
STALI O RÓŻNYCH
CIĄGLIWOŚCIACH

Klasa stali	A	B	C
Gatunek wg PN	St3SY-b-500	RB500W Bst500S	B500SP

TABELA 3.
PRZYKŁADOWE GATUNKI
STALI KLASY A, B I C

STAL B500SP - EPSTAL®



CZYM JEST EPSTAL®?

EPSTAL® jest znakiem jakości wyrobów ze stali gorącowalcowanej o podwyższonej ciągliwości, przeznaczonych do

zbrojenia betonu (gatunek B500SP).

Producenci, którzy chcą otrzymać ten znak muszą poddać się dobrowolnej certyfikacji, prowadzonej

przez Centrum Promocji Jakości Stali. Wyrażają jednocześnie zgodę na publikację wyników statystycznych z badań swoich wyrobów.

EPSTAL

Certyfikat EPSTAL® daje gwarancję, że produkt:

- został wprowadzony do obrotu i stosowania w budownictwie zgodnie z obowiązującymi przepisami i posiada właściwości zgodne z normami:
- PN-H 93220:2006 "Stal B500SP o podwyższonej ciągliwości do zbrojenia betonu - Pręty i walcówka żebrzana"
- PN EN 10080:2007 "Stal do zbrojenia betonu - Spawalna stal zbrojeniowa - Postanowienia ogólne"
- PN-B 03264:2002 "Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone - Obliczenia statyczne i projektowanie"

- PN EN 1992-1-1:2005 – „Eurokod 2 „Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”
- posiada wszystkie obowiązkowe dokumenty dopuszczające produkt do stosowania w budownictwie

- przenosi obciążenia dynamiczne, wielokrotnie zmienne i cykliczne, potwierdzone w badaniach na nowoczesnych maszynach elektromagnetycznych
- jest objęty rozszerzoną polisą ubezpieczeniową
- posiada własności mechaniczne gwarantowane w całym zakresie swojej pracy, aż do osiągnięcia wytrzymałości na rozciąganie
- posiada łatwe do rozpoznania znaki literowe nawalcowane na pręcie.

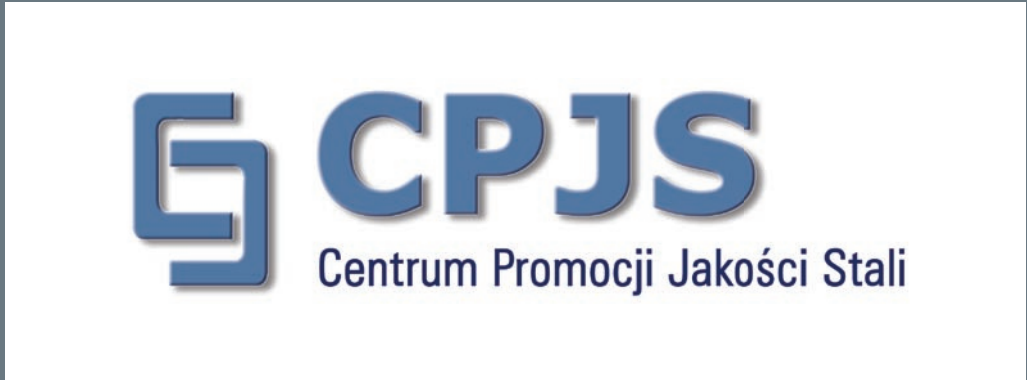




ZNAK EPSTAL®
Znak jakości EPSTAL jest własnością CPJS – Centrum Promocji Jakości Stali (Centre for Promotion of Steel Quality),

które jest odpowiedzialne za zarządzanie nim i jego funkcjonowanie.
CPJS w ramach swojej działalności prowadzi:

- nadzór techniczny oraz
- certyfikację produktów na znak jakości EPSTAL®
- inicjowanie i współrealizowanie projektów badawczych ukierunkowanych na poprawę



jakości wyrobów oraz bezpieczeństwo konstrukcji inżynierskich

- wspieranie współpracy grup badawczych z przemysłem
- przekazywanie informacji na temat wyrobów stalowych wysokiej jakości
- organizowanie oraz współorganizowanie spotkań szkoleniowych, seminariów, warsztatów

- tworzenie pomostu pomiędzy użytkownikami wyrobów stalowych i ich producentami
- uczestniczenie w polskich i europejskich procesach normalizacyjnych dotyczących wyrobów stalowych

Działania i publikacje związane ze znakiem EPSTAL® są nadzorowane i weryfikowane przez Komitet Doradczy CPJS, w skład którego wchodzi uznani profesjonaliści w dziedzinach związanych z sektorem stalowym, konstrukcjami żelbetowymi, architekturą, procesami stochastycznymi, a także przedstawiciele administracji państwowej.



WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE STALI EPSTAL® - GATUNKU B500SP

B500SP – EPSTAL® jest stalą żebrowaną do zbrojenia betonu o wysokiej ciągliwości:

- 500 oznacza wartość charakterystycznej granicy plastyczności, wyrażonej w MPa
- SP oznacza, że jest to stal spawalna

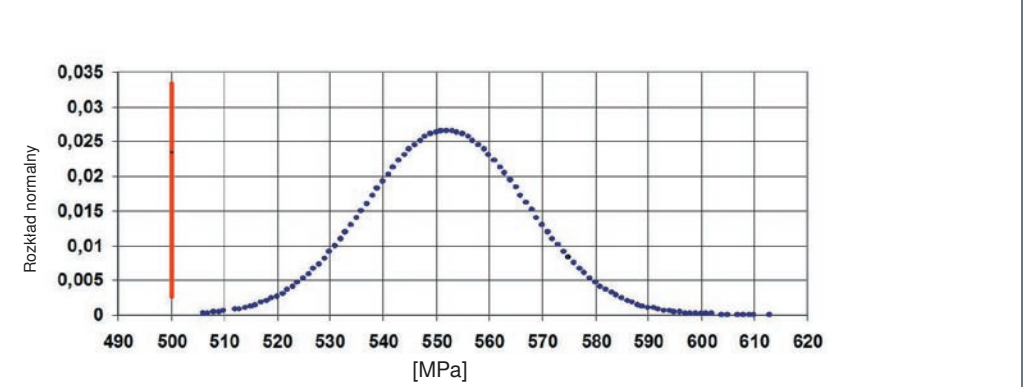
TABELA 4.
PARAMETRY MECHANICZNE STALI EPSTAL®

f_{yk} [MPa]	500	Klasa AIIIIN wg PN-B 03264:2002
f_{yd} [MPa]	420	
f_{tk} [MPa]	575	
$(f_t/f_y)_k$	1,15 ÷ 1,35	Wysoka ciągliwość: Klasa C wg Eurokodu 2
ϵ_{uk} [%]	8	
C_{eq} [%]	≤ 0,50	Stal dobrze spawalna

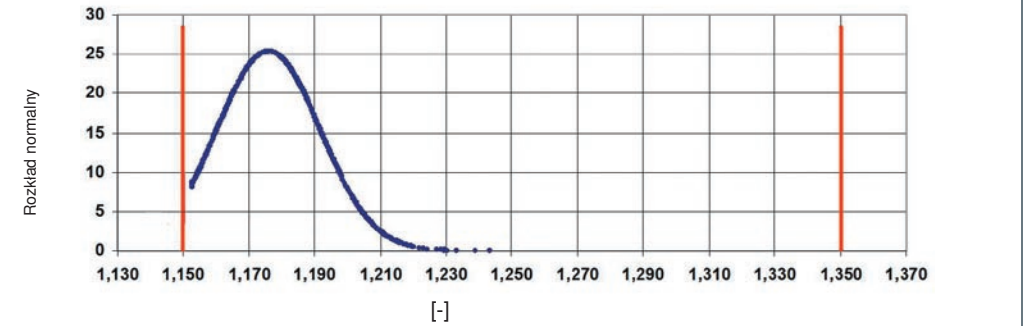
f_{yk} - charakterystyczna granica plastyczności
 f_{yd} - obliczeniowa granica plastyczności
 f_{tk} - charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie
 $(f_t/f_y)_k$ - stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granicy plastyczności
 ϵ_{uk} - wydłużenie pod maksymalnym obciążeniem
 C_{eq} - ekwiwalent węgla

CPJS prowadzi stałą kontrolę wyników badań materiałowych przeprowadzanych i udostępniających przez producentów. Opracowania statystyczne pokazują niezawodność i niezmienność powyższych parametrów.

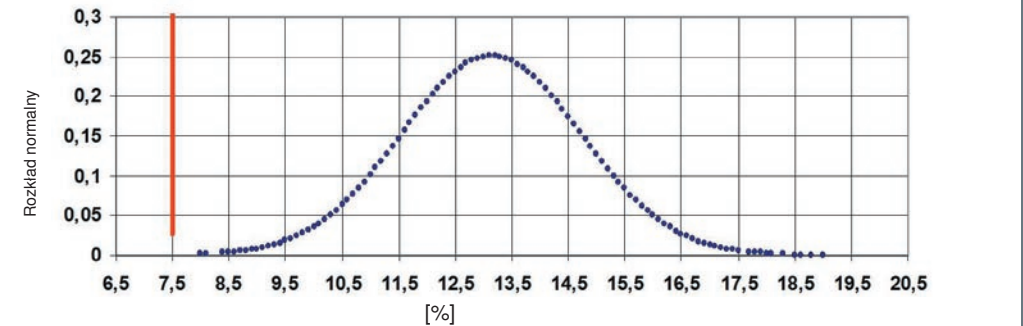
Rys 4.
WYNIKI BADAŃ
MATERIAŁOWYCH:
GRANICA
PLASTYCZNOŚCI,
 $f_y (R_e)$



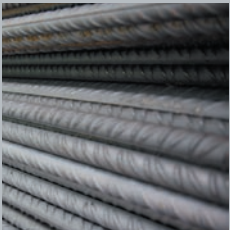
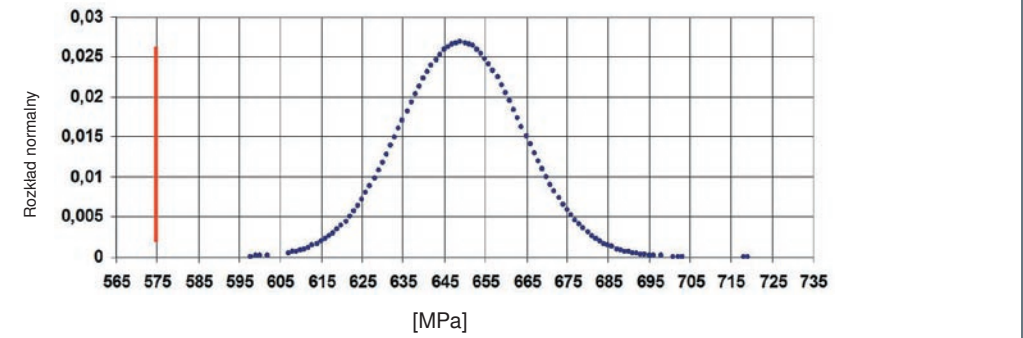
Rys 5.
WYNIKI BADAŃ
MATERIAŁOWYCH:
STOSUNEK $f_t/f_y (R_m/R_e)$



Rys 6.
WYNIKI BADAŃ
MATERIAŁOWYCH:
WYDŁUŻENIE POD
MAKSYMALNYM
OBCIĄŻENIEM
 $\epsilon_{uk} (A_{gt})$



Rys 7.
WYNIKI BADAŃ
MATERIAŁOWYCH:
WYTRZYMAŁOŚĆ
NA ROZCIĄGANIE $f_t (R_m)$



WALORY MARKI
EPSTAL®

• BEZPIECZEŃSTWO

Stal B500SP – EPSTAL® ma dwie najważniejsze dla stali zbrojeniowej cechy:
- wysoką wytrzymałość
- dużą ciągliwość

Jako jedyny gatunek produkowany obecnie w Polsce jest zaliczany do klasy C ciągliwości wg Eurokodu 2, a według obecnej Polskiej Normy do projektowania konstrukcji żelbetowych do klasy A-IIIIN – najwyższej klasy wytrzymałościowej. Dlatego stosowanie EPSTAL-u do zbrojenia elementów konstrukcji jest bezpieczniejsze, gdyż możemy wówczas uzyskać:

- ostrzeżenie przed zniszczeniem konstrukcji poprzez widoczne gołym okiem deformacje, szerokie rysy i pęknięcia w stanie obciążeń przedkrytycznych,
- lepszą odporność konstrukcji na skutki nieprzewidzianych obciążeń takich jak uderzenia, trzęsienia czy nagłe zniszczenia części konstrukcji np. podczas wybuchu,
- lepszą odporność konstrukcji na deformacje nabyte (temperatura, osiadanie, pełzanie itp.).

• **PEŁNA SPAJALNOŚĆ**

Ważną cechą stali zbrojeniowej jest jej spajalność (spawalność i zgrzewalność). Stal B500SP – EPSTAL®, poprzez stale i uważnie kontrolowany proces produkcji posiada

skład chemiczny gwarantujący pełną spajalność prętów – ekwiwalent węgla C_{eq} nie przekracza 0,50%.

Aby to udowodnić stal EPSTAL® została przebadana pod tym kątem w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach. Celem badań

było wykonanie i zbadanie złączy nakładkowych spawanych elektrodą otuloną i metodą MAG oraz złączy zgrzewanych rezystancyjnie na krzyż. Zakres badań obejmował: próbę statycznego rozciągania, próbę ścinania i próbę odginania.

TABELA 5.
WYNIKI BADAŃ
SPAJALNOŚCI RÓŻNEGO
RODZAJU ZŁĄCZY

Kombinacja łączonych średnic [mm]	Spawanie elektrodą otuloną – próba rozciągania złączy	
	R _m [MPa]	Uwagi
10 + 10	638,9	zps ¹⁾
	639,8	zps
	627,8	zps
	638,3	zps
28 + 28	658,7	zps
	675,6	zps
	665,2	zps
	656,1	zps
Wymaganie wg DIN 488	≥ 550	-

¹⁾ zps – zerwanie poza spoiną

TABELA 6.
WYNIKI BADAŃ
SPAJALNOŚCI RÓŻNEGO
RODZAJU ZŁĄCZY

Kombinacja łączonych średnic [mm]	Spawanie MAG - próba rozciągania złączy	
	R _m [MPa]	Uwagi
16 + 16	635,1	zps
	643,3	zps
	643,3	zps
	637,5	zps
Wymaganie wg DIN 488	≥ 550	-

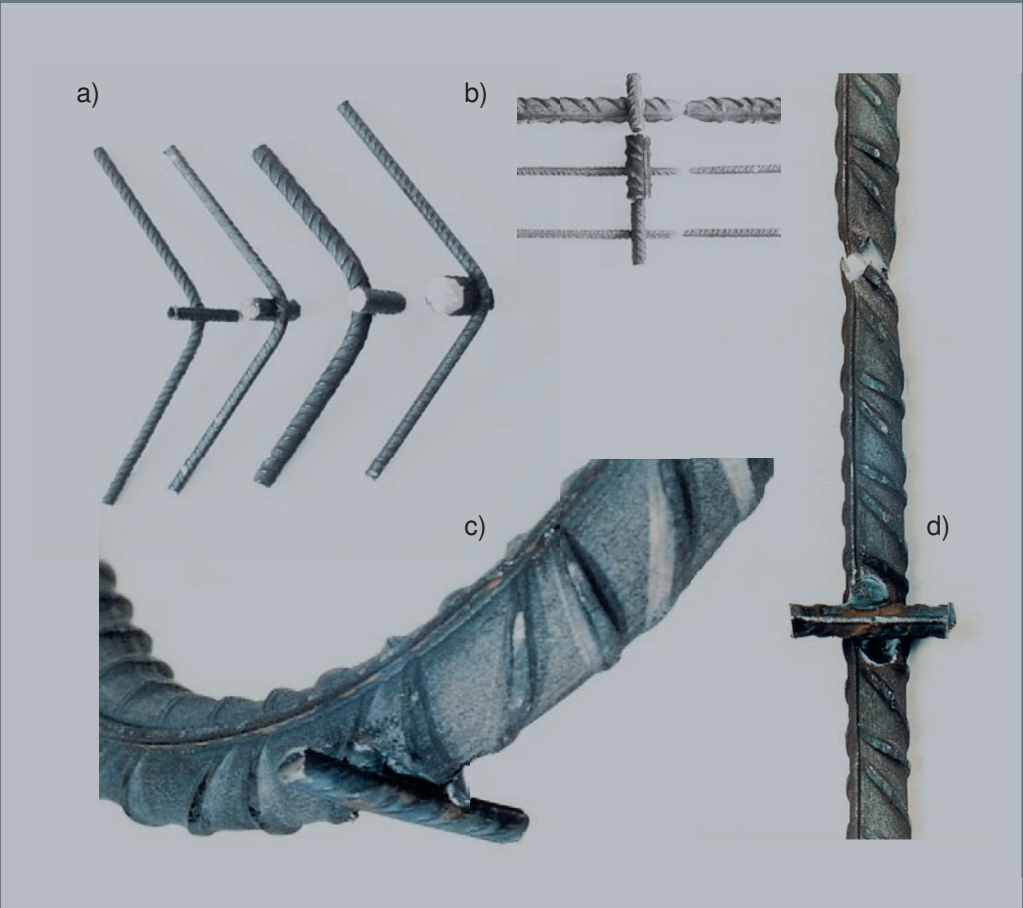
Kombinacja łączonych średnic [mm]	Zgrzewanie rezystancyjne na krzyż			
	Próba rozciągania	Próba ścinania	Próba odginania	
	R _m [MPa]	F _{max} [kN]	Kąt zgięcia	Kąt odgięcia
10 + 10	632,5	49,1	90	70
	636,9	52,8	90	70
	637,1	47,5	90	70
	646,2	51,6	90	70
Wymaganie wg DIN 488	≥ 550	≥ 35,2 ²⁾	90	70
16 + 16	634,1	104,5	90	70
	639,4	82,7	90	70
	643,3	103,6	90	70
	632,2	130,5	90	70
Wymaganie wg DIN 488	≥ 550	≥ 90,6	90	70
10 + 16	632,5	40,7	90	70
	648,9	52,5	90	70
	638,9	39,8	90	70
	649,4	38,2	90	70
Wymaganie wg DIN 488	≥ 550	≥ 35,2	-	-
10 + 28	641,7	37,2	90	70
	647,8	49,1	90	70
	638,1	39,8	90	70
	648,3	41,5	90	70
Wymaganie wg DIN 488	≥ 550	≥ 35,2	-	-

²⁾ wartości obliczone na podstawie prEN ISO 17660 oraz danych z atestów hutniczych

TABELA 7.
WYNIKI BADAŃ
SPAJALNOŚCI RÓŻNEGO
RODZAJU ZŁĄCZY

Pozytywne wyniki, opisane w Orzeczeniu Instytutu Spawalnictwa, świadczą o tym, że wszystkie badane złącza wykazały dobre właściwości wytrzymałościowe i plastyczne:

- w badaniach rozciągania złączy spawanych i zgrzewanych wszystkie próbki zerwały się poza spoiną i zgrzeiną
- w próbach ścinania złączy krzyżowych otrzymano większe siły niszczące, niż wskazują wymagania normowe
- w próbach odginania złącza wykazały dobrą plastyczność w miejscu zgrzania – wszystkie próbki zgięły się bez rys i pęknięć



Rys.8.
a) złącza zgrzewane po próbie odginania
b) i d) próbki zniszczone w próbie rozciągania
c) próba odginania

Zgodnie z instrukcją Instytutu Techniki Budowlanej nr 415/2005 „Zbrojenie konstrukcji żelbetonowych” dla stali zbrojeniowej zaleca się przyjmować elektrody zgodne z normą PN-EN 499:1994:

Klasa stali	Oznaczenie elektrody
A-IIIIN	E 60 3 B

- **IDENTYFIKOWALNOŚĆ** – Gatunek B500SP - EPSTAL® można łatwo zidentyfikować poprzez nowy, zoptymalizowany wzór użebrowania składający się z dwóch rzędów przeciwnych żeber poprzecznych o różnym kącie nachylenia.

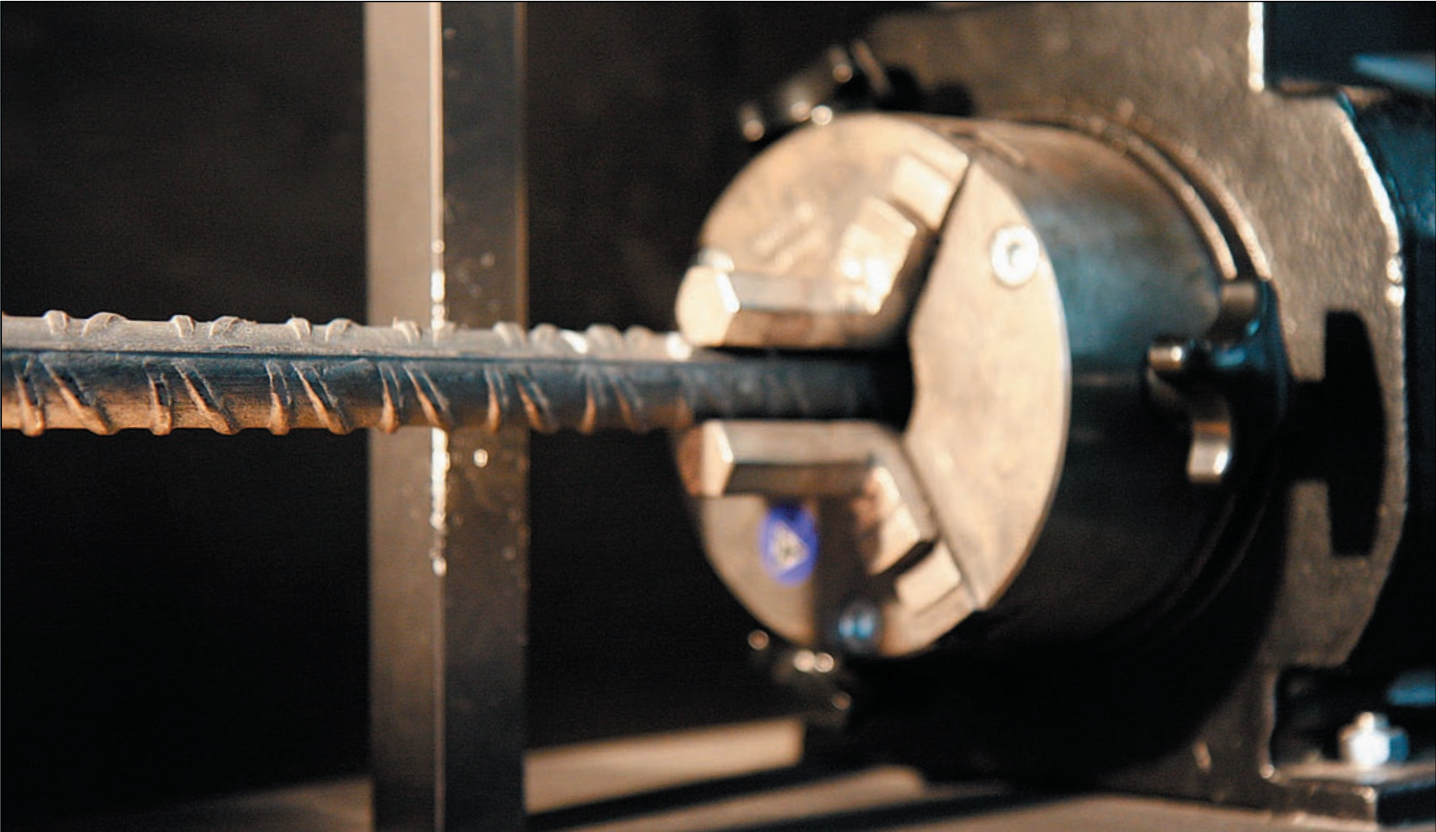


Ponadto pręty EPSTAL® cechuje trwały znak literowy EPSTAL, nawalcowany na każdej średnicy (od 8 do 32 mm) miejscu 6 kolejnych żeber.



Jednocześnie każda wiązka prętów, oprócz tych oznaczeń, dostarczana jest wraz z etykietą identyfikującą z logotypem znaku EPSTAL, gatunkiem stali i danymi producenta.





• **ODPORNOŚĆ NA
OBCIĄŻENIA
DYNAMICZNE**

Producenci, którzy starają się o przyznanie certyfikatu EPSTAL® na stal B500SP muszą udowodnić, że jest ona odporna na obciążenia dynamiczne.

Zgodnie z wymaganiami normy PN-H-93220:2006 stal ta poddawana jest dwóm rodzajom testów na obciążenia dynamiczne:

1. **Badanie odporności zmęczeniowej** – polega ono na poddawaniu próbki osiowemu rozciąganiu w zakresie naprężeń 150 do 300 MPa, zmieniających się sinusoidalnie ze stałą częstotliwością. Częstotliwość ta powinna się wahać w przedziale 1 do 200 Hz. (patrz Rys. 9). Odporność określana jest na podstawie liczby cykli obciążania, jakie próbka jest w stanie przenieść.

Minimalna liczba cykli obciążania w badaniu zmęczeniowym wynosi 2 mln.

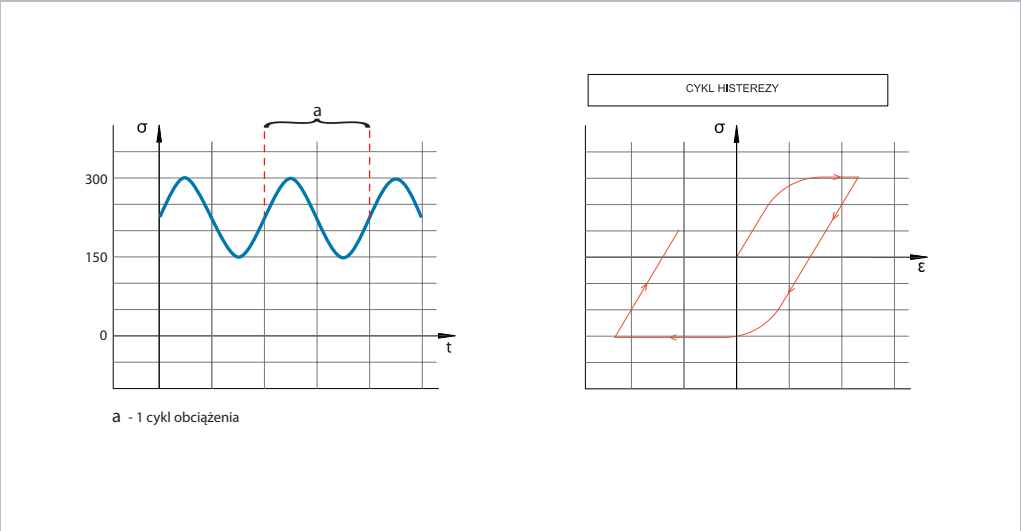
2. **Badanie odporności na obciążenia cykliczne** – próbka poddawana jest działaniu siły osiowej naprzemiennie ściskającej i rozciągającej – pracuje ona w zakresie naprężeń dodatnich i ujemnych. Wykres zależności naprężeń od odkształceń dla tego badania rysuje się w tzw. cykl histerezy (patrz Rys. 10).

Minimalna liczba cykli obciążania w badaniu cyklicznym wynosi 3.

Próbki z każdej partii produkcyjnej muszą pozytywnie przejść powyższe testy.

RYS. 9
ZMIANA NAPRĘŻEŃ
W BADANIU
ZMĘCZENIOWYM

RYS. 10
CYKL HISTEREZY
— WYKRES $\sigma - \epsilon$ DLA
BADANIA CYKLICZNEGO



• **PRZYCZEPNOŚĆ
STALI DO BETONU**

Ważnym czynnikiem procesu uplastycznienia konstrukcji jest także dobra przyczepność stali do betonu. Umożliwia ona określony uślizg – zarysowania i pęknięcia przebiegają w konstrukcji w założony podczas projektowania sposób.

Dzięki optymalnemu wzorowi użebrowania oraz wysokiemu parametrowi względnej powierzchni żeber f_R pręty EPSTAL posiadają dobrą przyczepność do betonu, co wykazały badania wykonane w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie. Polegały one na wyrywaniu prętów zbrojeniowych z kostek betonowych (tzw. badania pull-out).

Do badania przygotowane zostały próbki betonowe (beton klasy B15) w postaci kostek sześciennych o boku długości 150 mm, z zakotwionym w każdej z nich prętem ze stali EPSTAL o średnicy 16 mm. Na długości zakotwienia, którą przyjęto jako 5 średnic pręta ($5d = 80$ mm) znajdował się napis EPSTAL lub samo użebrowanie. Przeprowadzono 3 serie badań, każda po 12 próbek – 6 z napisem EPSTAL na długości zakotwienia i 6 bez napisu. Siłę wrywającą zwiększano stopniowo co 5 kN, tak aby uzyskać około 10 kroków dla każdej próbki.

Określenie siły wrywającej pręt oraz przemieszczenia jego nieobciążonego końca pozwoliły wyznaczyć naprężenia przyczepnościowe w badanych modelach. Naprężenia te okazały się kilkakrotnie większe niż minimalne naprężenia normowe (wg PN-EN 10080:2005) – zarówno w strefie użebrowanej, jak i strefie z napisem EPSTAL.

Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach: $f_{cm} = 13,4 \text{ Mpa}$								
Siła obciążająca pręt	Wytrzymałość betonu na ściskanie	Sprowadzone naprężenie przyczepności	Przemieszczenia nieobciążonego końca pręta dla próbki nr:					
F [kN]	f_c [MPa]	τ/f_{cm}	1	2	3	4	5	6
0	13,41	0,00	0	0	0	0	0	0
2		0,04	0	0	0	0	0	0
5		0,09	0,0005	0,0005	0	0	0	0
10		0,19	0,0020	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
15		0,28	0,0030	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0030
20		0,37	0,0050	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0060
25		0,46	0,0100	0,0100	0,0210	0,0250	0,0360	0,0120
30		0,56	0,0240	0,0230	0,0750	0,0790	0,1010	0,0390
35		0,65	0,0550	0,0640	0,1690	0,1630	0,2060	0,0870
40		0,74	0,1030	0,0320	0,3210	0,2980	0,3860	0,1750
45		0,83	0,2490	0,2350	0,7840			0,3230
50		0,93	0,2910	0,4100				
Wartości w momencie zniszczenia:								
Siła niszcząca		F_n [kN]	52,5	53,5	45,0	44,5	45,0	49,0
Naprężenie w pręcie		σ_n [MPa]	261,2	266,2	223,9	221,4	223,9	243,8
Sprowadzone naprężenie przyczepności		$(\tau/f_{cm})_n$	0,97	0,99	0,83	0,83	0,83	0,91
Naprężenie przyczepności		τ_n [MPa]	13,05	13,30	11,19	11,06	11,19	12,18

TABELA 8.
WYNIKI BADAN PULL-OUT DLA JEDENJ SERII:
dla strefy bez napisu.

Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach: $f_{cm} = 13,4 \text{ Mpa}$								
Siła obciążająca pręt	Wytrzymałość betonu na ściskanie	Sprowadzone naprężenie przyczepności	Przemieszczenia nieobciążonego końca pręta dla próbki nr:					
F [kN]	f_c [MPa]	τ/f_{cm}	1	2	3	4	5	6
0	13,41	0,00	0	0	0	0	0	0
2		0,04	0	0	0	0	0	0
5		0,09	0	0	0	0	0	0
10		0,19	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0
15		0,28	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002
20		0,37	0,005	0,005	0,007	0,005	0,007	0,004
25		0,46	0,011	0,013	0,019	0,013	0,037	0,010
30		0,56	0,034	0,059	0,076	0,051	0,088	0,026
35		0,65	0,096	0,178	0,194	0,098	0,170	0,066
40		0,74	0,193	0,503	0,496	0,215	0,323	0,133
45		0,83	0,363			0,698	0,678	0,353
50		0,93						0,628
Wartości w momencie zniszczenia:								
Siła niszcząca		F_n [kN]	50,0	41,0	41,5	45,0	47,0	53,0
Naprężenie w pręcie		σ_n [MPa]	248,8	204,0	206,5	223,9	233,9	263,7
Sprowadzone naprężenie przyczepności		$(\tau/f_{cm})_n$	0,93	0,76	0,77	0,83	0,87	0,98
Naprężenie przyczepności		τ_n [MPa]	12,43	10,19	10,32	11,19	11,69	13,18

TABELA 9.
WYNIKI BADAN PULL-OUT DLA JEDENJ SERII:
dla strefy z napisem.

TABELA 10.
ŚREDNIE WARTOŚCI
SPROWADZONEGO
NAPRĘŻENIA PRZYZEP-
NOŚCI τ_{bm}/f_{cm}
OBLICZONE WEDŁUG
PN-EN 10080
dla strefy bez napisu.

Przemieszczenie	Sprowadzone naprężenie przyczepności dla poda- nych przemieszczeń τ/f_{cm}					
Δl [mm]	1	2	3	4	5	6
0,010	0,46	0,46	0,37	0,37	0,37	0,4
0,100	0,74	0,74	0,65	0,56	0,56	0,65
1,000	0,93	0,93	0,83	0,74	0,74	0,83
τ_{bm}/f_{cm}	0,71	0,71	0,62	0,56	0,56	0,63

TABELA 11.
ŚREDNIE WARTOŚCI
SPROWADZONEGO
NAPRĘŻENIA PRZYZEP-
NOŚCI τ_{bm}/f_{cm}
OBLICZONE WEDŁUG
PN-EN 10080
dla strefy z napisem.

Przemieszczenie	Sprowadzone naprężenie przyczepności dla poda- nych przemieszczeń τ/f_{cm}					
Δl [mm]	1	2	3	4	5	6
0,010	0,46	0,4	0,4	0,4	0,4	0,32
0,100	0,65	0,6	0,58	0,65	0,56	0,7
1,000	0,83	0,74	0,74	0,83	0,83	0,93
τ_{bm}/f_{cm}	0,65	0,58	0,57	0,63	0,60	0,65

Sprowadzone naprężenia przyczepności τ_{bm}/f_{cm} dla danej serii badań wynosiły:

- dla próbek bez napisu - od 0,56 do 0,71 (średnia wartość to 0,63)
- dla próbek z napisem od 0,57 do 0,65 (średnia wartość to 0,61)

Oznacza to, że wartość tego naprężenia dla próbek z napisem jest mniejsza

o 3,18 % od naprężenia zmierzonego w próbkach bez napisu. Jeżeli weźmiemy pod uwagę wymagania normowe dotyczące długości zakotwienia dla betonu B15 (wg PN-B-03264) - maksymalna 53 d i minimalna 22,5 d – dojdziemy do wniosku, iż w zakotwieniu pręta wykonanym zgodnie z tymi wymaganiami różnica naprężeń przyczepności

dla strefy z napisem i bez napisu będzie kilkakrotnie mniejsza niż obliczona w badaniu, gdzie długość zakotwienia wynosiła tylko 5 d. Tak małe różnice naprężeń nie mają wpływu na pracę zakotwienia pod obciążeniami obliczeniowymi.

Idąc o krok dalej CPJS zlecił również zbadanie przyczepności stali EPSTAL® do betonu w warunkach termicznych, jakie występują w trakcie oraz po przebytych pożarze. Badania te

wykonane zostały w Szkole Głównej Służby Pożarnej w Warszawie i dzieliły się na dwa rodzaje:

Badanie „na zimno”
– próbki wcześniej pod-

grzane i ponownie ochłodzone poddawano testom wyrywania, których celem było określenie wartości siły przyczepności.

RYS. 11.
MODELE BADAWCZE
PODDAWANE
PODGRZANIU W PIECU



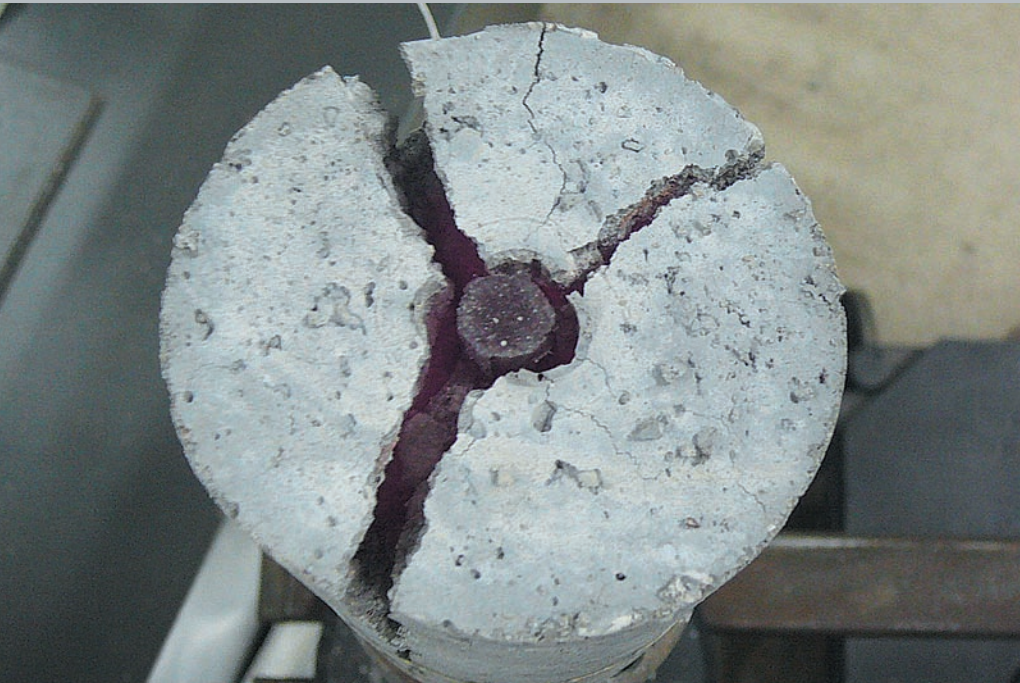
Rys. 12.
TYPOWE ZNISZCZENIE
PRÓBK W BADANIU
„NA ZIMNO”



Badanie „na gorąco” – obciążona stałą, ustaloną wcześniej siłą wyrrywającą próbka, umieszczona w piecu, podgrzewana była do momentu utraty przyczepności. Parametrem poszukiwanym była temperatura krytyczna, czyli taka, przy której siła jest w stanie wyrwać pręt z betonu.



Rys. 13.
MODEL BADAWCZY,
W TLE CYLINDRYCZNY
PIEC, W KTÓRYM
WYKONANO TESTY



Rys. 14.
TYPOWE ZNISZCZENIE
PRÓBKİ W BADANIU
„NA GORĄCO”

Stal EPSTAL®, w porównaniu ze stalą zimnowalcowaną o małej ciągliwości, dla której również wykonano w tym samym czasie wszystkie testy, wykazała lepszą przyczepność do betonu. Analiza wyników prowadzi do wniosku, że stal wysokociągła gwarantuje dłuższe zachowanie nośności przez konstrukcję w momencie wybuchu pożaru, a także dłuższą żywotność elementów już po jego ugaśnieniu.

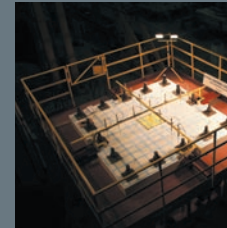
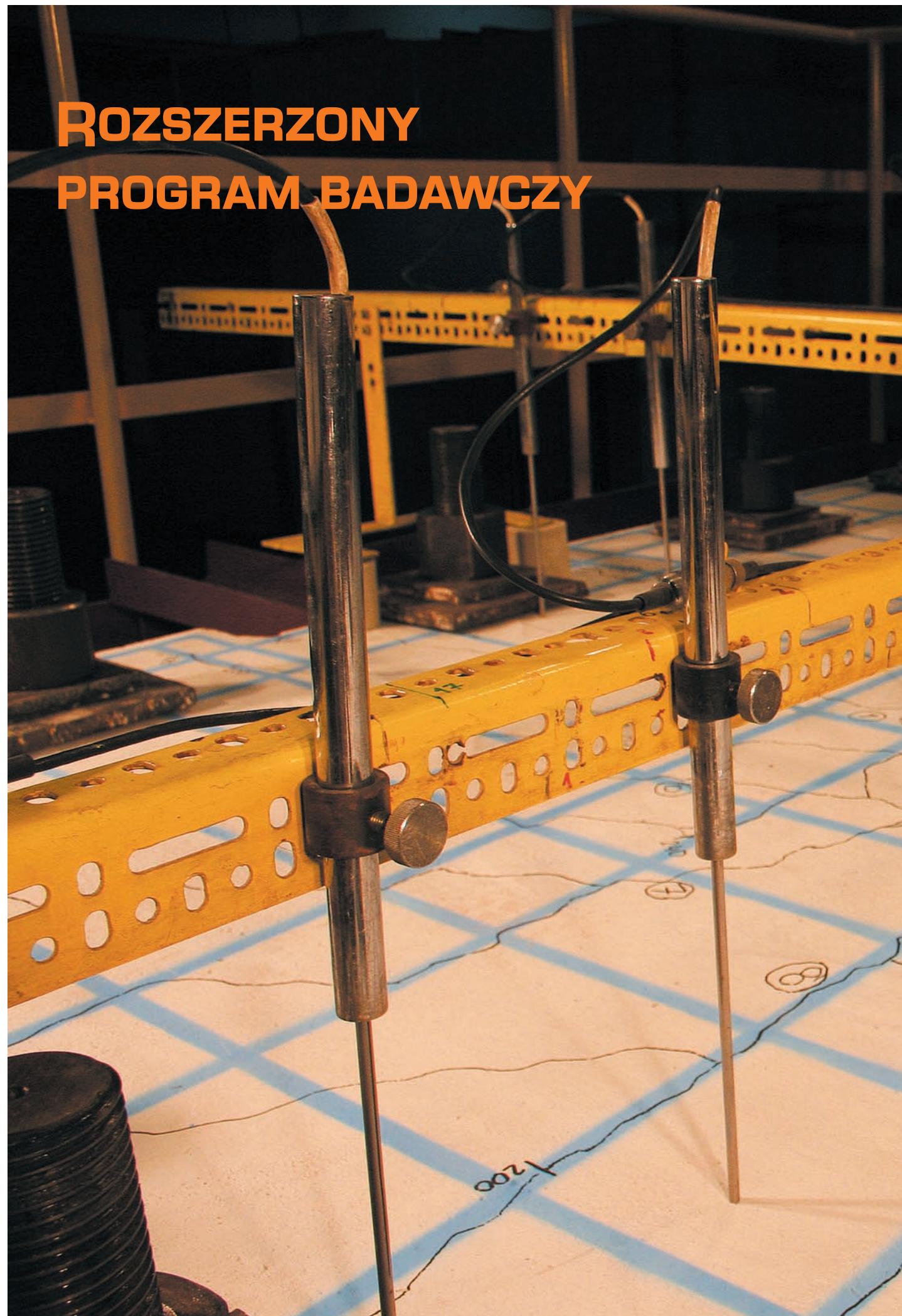
TABELA 12.
WYNIKI BADANIA
„NA ZIMNO”

Temp. [°C]	Siła [kN]	Siła [kN]	Różnica
	EPSTAL	Stal A	
20°C	32,14	31,70	1,4%
500°C	31,30	25,32	19,1%
600°C	16,50	14,26	13,6%
700°C	8,08	6,68	17,3%

TABELA 13.
WYNIKI BADANIA
„NA GORĄCO”

Siła	Temperatura				Różnica w temper- aturach wewnętrz- nych
	EPSTAL		Stal A		
	wewn.	zewn.	wewn.	zewn.	
12 kN	425,05°C	595,0°C	293,3°C	525,0°C	45%
20 kN	265,7°C	510,3°C	203,0°C	432,3°C	31%

ROZSZERZONY PROGRAM BADAWCZY



CPJS jest inicjatorem i zleceniodawcą wielu innowacyjnych badań, które dają szerokie pole do rozważań naukowych na temat właściwości konstrukcji żelbetowych, potwierdzają teoretyczną wiedzę na ich temat, a także są impulsem do wprowadzania nowych rozwiązań w projektowaniu i wykonawstwie.

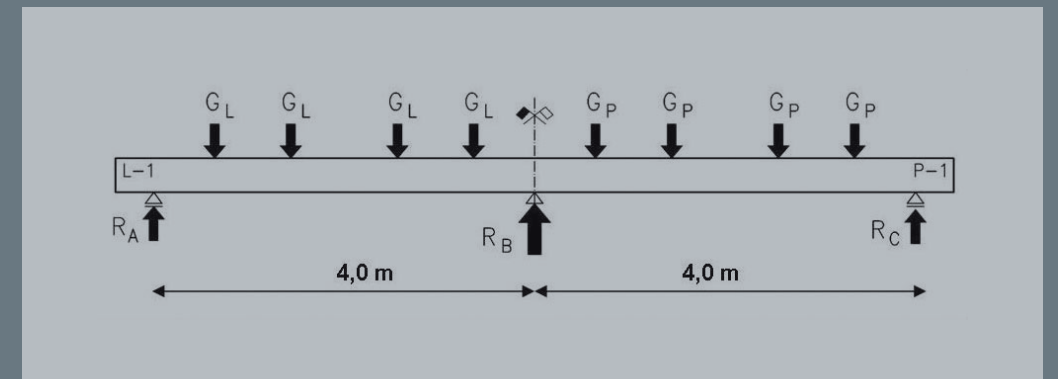
Dotychczas wykonane badania (wszystkie wykonano na Politechnice Śląskiej):

- „Badanie wpływu plastyczności zbrojenia na zachowanie się dwuprzęsłowej belki żelbetowej” – Politechnika Śląska.

Badanie porównujące zachowanie się belek zginanych zbrojonych stalą wysokiej ciągliwości (klasa C – EPSTAL) lub małej ciągliwości (klasa A – stal zimnowalcowana) – wartość granicy plastyczności dla obu gatunków wynosiła 500 MPa

– wyśmienicie potwierdziły znane z teorii zjawisko redystrybucji momentów. Belka ze stalą małą ciągliwością zniszczyła się gwałtownie nad podporą z niewielkimi ugięciami w przęsłach. W belce zbrojonej stalą o dużej ciągliwości utworzył się przegub plastyczny, co pozwoliło na przeniesienie naprężeń z podpory na przęsła. Skutkowało to większymi ugięciami i zarysowaniami przęsłowymi oraz mniej gwałtownym zniszczeniem.

Rys. 15.
SCHEMAT STATYCZNY



Rys. 16.
BELKA ZBROJONA
STALĄ EPSTAL
PO ZNISZCZENIU



Rys. 17.
BELKA ZBROJONA
STALĄ KLASY A
PO ZNISZCZENIU

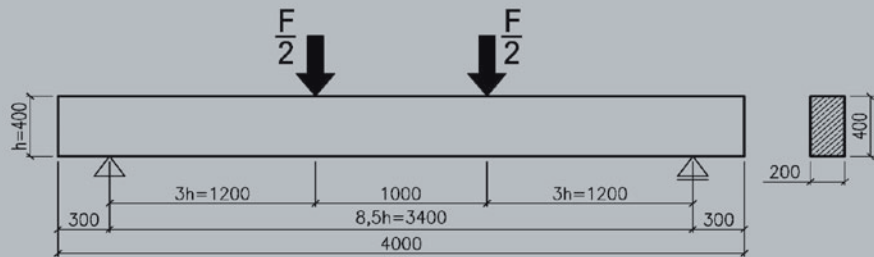
- „Badanie porównawcze belek żelbetowych na ścinanie” – Politechnika Śląska.

Modele badawcze w postaci belek jednoprzęsłowych zazbrojono poprzecznie stalami o różnych ciągliwościach: klasy C – wysokociagliwą (EPSTAL®) oraz klasy B – średnociagliwą (stal zimnowalcowaną), lecz tej samej klasy wytrzymałościowej A-IIIN (Fyd dla obu gatunków wyniosło 500 MPa).

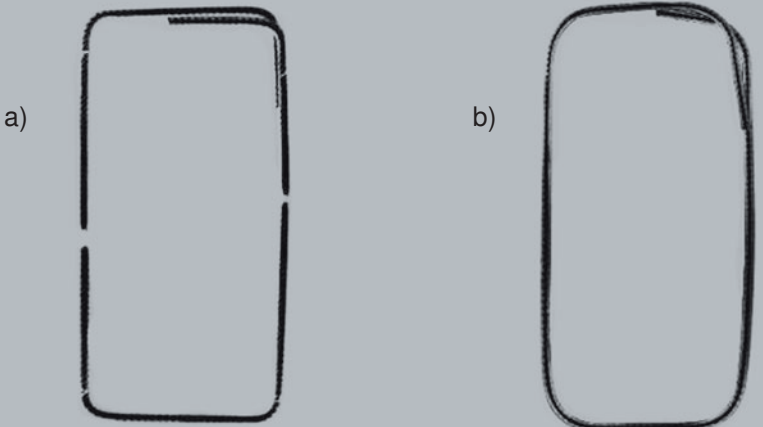
W przypadku strzemion wykonanych ze stali zimnowalcowanej rezultatem działania sił ścinających było ich zerwanie się i nagłe zniszczenie belki. Strzemiona ze stali EPSTAL®

ulegały odkształceniu – otwierały się ich ramiona – co nie pozwalało na pełne wykorzystanie ich właściwości plastycznych. W przygotowaniu są kolejne badania, które pozwolą ustalić optymalny kształt strzemion umożliwiające większe wykorzystanie przez nich ciągliwości stali.

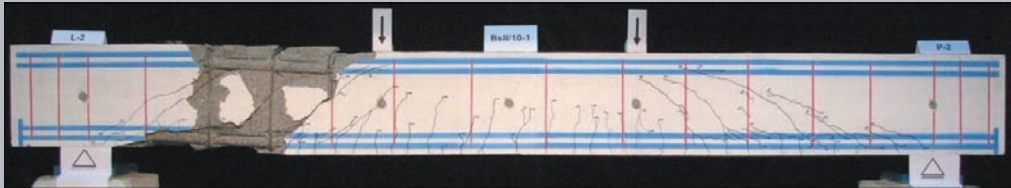
Rys. 18.
SCHEMAT STATYCZNY



Rys. 19.
a) zerwane strzemie ze stali zimnowalcowanej
b) odkształcone strzemie ze stali EPSTAL®



Rys. 20.
BELKA PO BADANIU



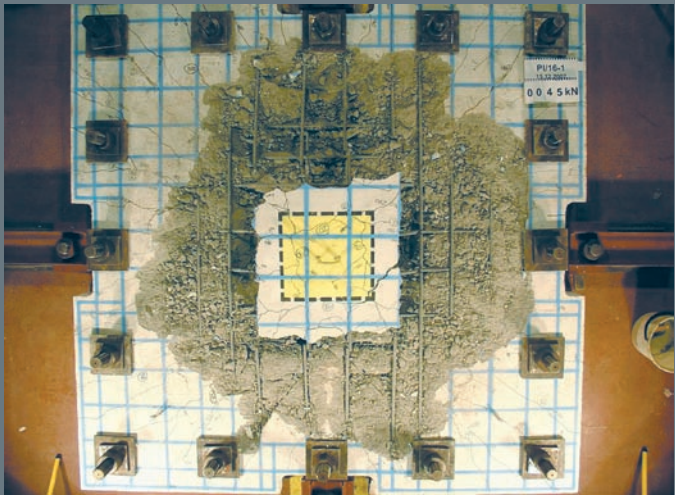
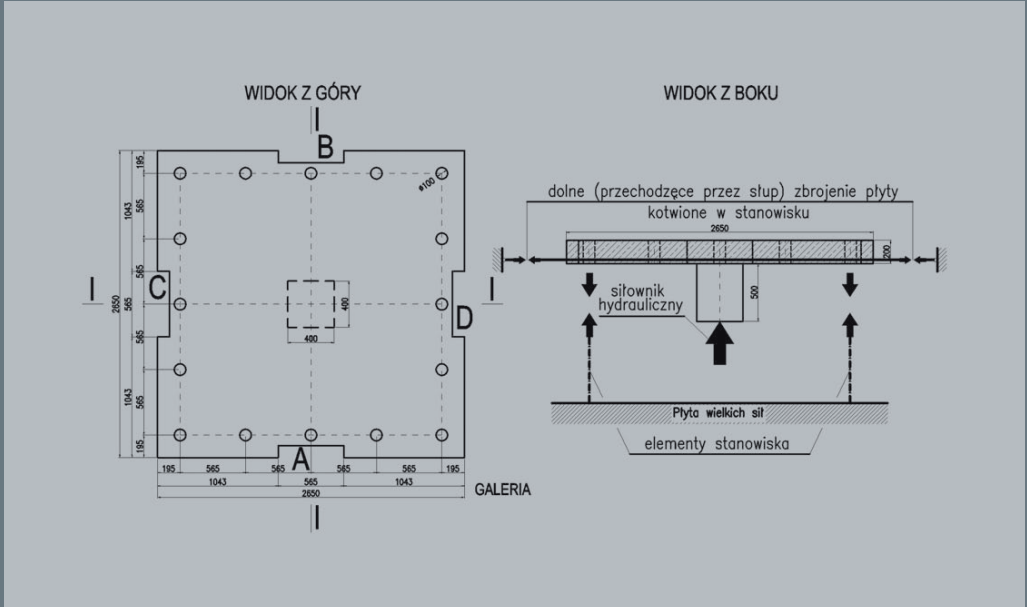
- „Badania ustrojów płytowo – słupowych zbrojonych stalą zróżnicowanej ciągliwości” – Politechnika Śląska.

Badanie miało na celu wykazanie, że w sytuacji zniszczenia połączenia płyta-słup o możliwości przetrwania konstrukcji decyduje krzyżujące się nad słupem dolne zbrojenie płyty. Jeśli

będzie ono w stanie przejąć obciążenia spoczywające na stopie mimo zniszczenia strefy przysłupowej jest szansa przetrwania całej konstrukcji. Sprawdzono, jak w takiej roli wypadnie stal EPSTAL w porównaniu ze stalą o małej ciągliwości (oba gatunki w tej samej klasie wytrzymałościowej A-IIIN). Wyniki dowiodły, że przy znacznych przemiesz-

zeniach, jakie występują w stadium awaryjnym połączenia płyta – słup bardzo pożądaną cechą zbrojenia dolnego jest jego zdolność do znacznych odkształceń czyli duża ciągliwość. A zatem istotnym wnioskiem jest nie tylko sama potrzeba zastosowania zbrojenia dolnego płyty nad słupem, lecz również rodzaj użytej do tego stali.

Rys. 21.
SCHEMAT PŁYTY
I SPOSOBU JEJ
OBCIĄŻANIA



Rys. 22.
OBRAZ GÓRNEJ
POWIERZCHNI PŁYTY
W CHWILI ZAKOŃCZENIA
BADAŃ



DANE PROJEKTOWE

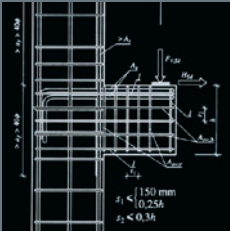


TABELA 12.
WŁAŚCIWOŚCI
MECHANICZNE.

DANE PROJEKTOWE

f_{yk} [MPa]	500
f_{yd} [MPa]	420
f_{tk} [MPa]	575
$(f_t/f_y)_k$	1,15 ÷ 1,35
ϵ_{uk} [%]	8
spawalność	gwarantowana: $C_{eq} \leq 0,50 \%$

TABELA 13.
CHARAKTERYSTYKA
GEOMETRYCZNA
PRĘTÓW.

Średnica d	Przekrój nominalny S	Masa 1m*) – teoretyczna (dla średnicy nominalnej)	Zakresy masy obliczane dla dopuszczalnych odchyłek *)
[mm]	[cm²]	[kg/m]	[kg/m]
8	0,50	0,395	0,371 ÷ 0,418
10	0,79	0,617	0,589 ÷ 0,644
12	1,13	0,888	0,848 ÷ 0,928
16	2,01	1,58	1,507 ÷ 1,649
20	3,14	2,47	2,355 ÷ 2,577
25	4,91	3,85	3,680 ÷ 4,027
32	8,04	6,31	6,029 ÷ 6,597

*) Masa obliczona na podstawie ciężaru objętościowego stali 7850 kg/m³

TABELA 14.
PRZEKRÓJ ZBROJENIA
W cm/m W ZALEŻNOŚCI
OD ROZSTAWU PRĘTÓW

Średnica nominalna [mm]	Przekrój [cm²]	Przekrój zbrojenia w cm²/m w zależności od rozstawu prętów				
		10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
8	0,503	5,03	3,35	2,51	2,01	1,68
10	0,785	7,85	5,24	3,93	3,14	2,62
12	1,13	11,13	7,54	5,65	4,52	3,77
16	2,01	20,11	13,40	10,05	8,04	6,70
20	3,14	31,42	20,94	15,71	12,57	10,47
25	4,91	49,09	32,72	24,54	19,63	16,36
32	8,04	80,42	53,62	40,21	32,17	26,81

TABELA 15.
PRZEKRÓJ ZBROJENIA
W CM2 W ZALEŻNOŚCI
OD ILOŚCI PRĘTÓW

Średnica nominalna [mm]	Przekrój zbrojenia w cm² w zależności od ilości prętów									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
20	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42



CPJS - CENTRUM PROMOCJI JAKOŚCI STALI SP. Z O.O.

UL. KOSZYKOWA 54

00-675 WARSZAWA

TEL. +48 22 630 83 75

TEL. KOM. +48 509 206 188

FAX +48 22 625 50 49

WWW.CPJS.PL