



Problemy kontroli jakości materiałów i wyrobów na przykładzie kontroli jakości betonu

Janusz Mierzwa

ŚWIATOWA PRODUKCJA BETONU – ROK 2012

PRODUKCJA CEMENTU

1,75 mld ton



PRODUKCJA BETONU

6,10 mld m³ betonu



14,70 mld ton betonu



LUDNOŚĆ ŚWIATA – 7,1 mld



Produkcja betonu 2,1 tony / osobę

BETONY NOWEJ GENERACJI



Betony zwykłe i wysokiej wytrzymałości

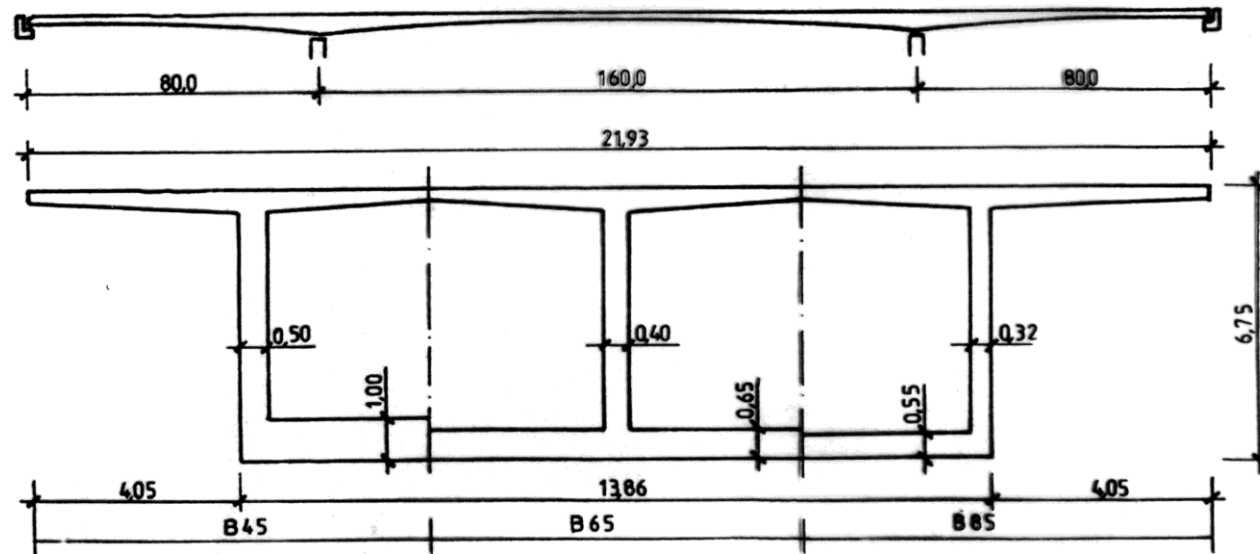
Cecha	BZ	BW	BUW
Wytrzymałość f_{ck} [MPa]	≤ 60	67÷150	ponad 150÷200
Moduł sprężystości E_c [MPa]	22000 do 35000	35000 do 50000	50000 do 80000
Ścieralność [mm]	< (2,5-3,0)	> (2,0-2,5)	> (1,0-1,2)
Karbonatyzacja [mm] po 20 latach	15 do 25	2 do 3	> 0,5
W_{sp} w/c	ponad 0,4	poniżej 0,4	poniżej 0,2
Ilość cementu [kg/m ³]	280 do 400	400÷450	powyżej 500
Rodzaj cementu	32,5 do 52,5	42,5 i 52,5	52,5 i specjalny
Domieszki	plastyfikatory superplastyfikatory	superplastyfikatory upłynniacze	superupłynniacze
Dodatki	popioły lotne	mikrokrzemionka żużel mielony	mikrokrzemionka nanokrzemionka metakaolin

EFEKTYWNOŚĆ STOSOWANIA BW I BWW

Element konstrukcyjny	Wariant materiałowy	Koszt [%] względem betonu BW
Słup 80 x 80 [cm] (Frankfurt – Forum „Castor & Pollux”)	Beton B115	100%
	Beton B45	131%
	Stal HEB 2 x 700	170%
Słup okrągły Φ 40 [cm] (Eschborn – „De Geno Leasing”)	Beton B105	100%
	Beton B45	122%
	Stal HEB260	155%
Słup 180 x 90 [cm] (Köln – „Bauer Druck”)	Beton B85	100%
	Beton B45	109%
	Stal HEB 3 x 1000	143%

PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ BETONÓW NOWEJ GENERACJI

Walraven-Stichtse Bridge Amsterdam



f_{ck} proj.	f_{ck} wykonane		
$f_{ck} = 85\text{MPa}$ zamiast $f_{ck} = 45\text{MPa}$	po 15 godzinach	po 28 dniach	po 1 roku
	55MPa	108MPa	145MPa

segmenty – zamiast 3,5m – 5m

redukcja – skurczu, pęczania, strat spr. – zmn. przekroju – obniżenie ilości stali spr. o 26%

skrócenie realizacji – o 3 m-ce



Wiadukt Milleu



NAJWYŻSZY BUDYNEK ŻELBETOWY ŚWIATA
Burj Khalifa (2012)
Ilość betonu 165.000m³
Wysokość pompowania 600m
Wytrzymałość betonu $f_{ck}=100$ i 120MPa (w części niższej)



Betony Samozagęszczalne (BSZ)
Przyczółki Mostu Akashi – 1988 Okamura Hajine



Betony Samozagęszczalne (BSZ)
Most Zamkowy w Rzeszowie



FIBROBETONY

zwiększona wytrzymałość na rozciąganie

$$f_{ct}/f_c = 0,15 \div 0,20$$

- Cement $\approx 1000\text{kg/m}^3$
- Pył krzemionkowy $\approx 250\text{kg/m}^3$
- Piasek 0/0,5 $\approx 500\text{kg/m}^3$
- Woda $\approx 180\text{dm}^3/\text{m}^3$
- SP (PKK) $\approx 40 \div 50\text{dm}^3/\text{m}^3$ (3÷4%mc)
- Włókno stalowe 350kg/m^3

$$f_c \approx 200\text{MPa}$$

$$f_{ct} \approx 40 \div 50\text{MPa}$$

BBW – DUCTAL®
Beton z proszków reaktywnych

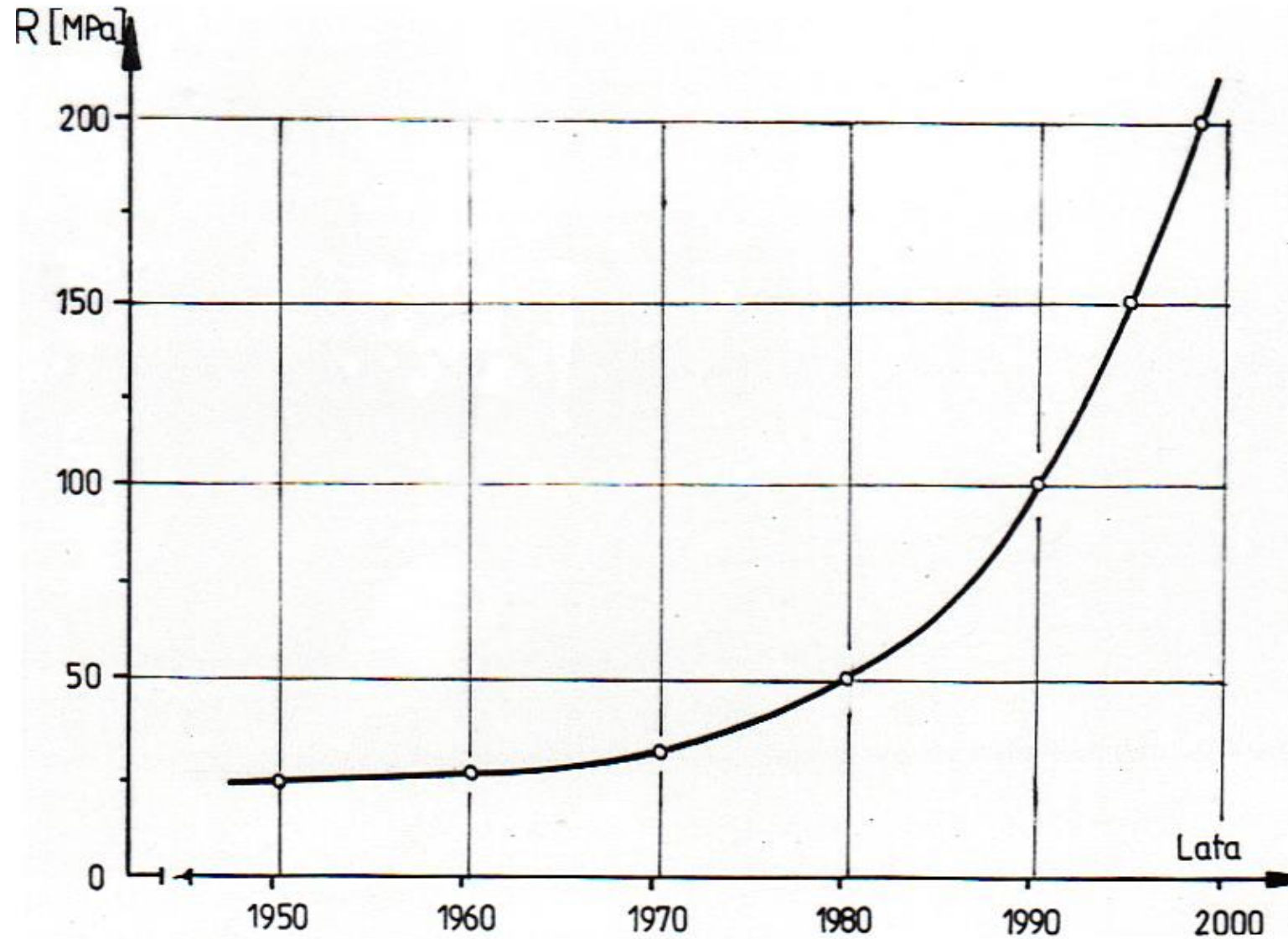
$f_c = 180$ do 400MPa

$f_{ct} = 15$ do 40MPa

$E_{cm} = 60000 \div 85000\text{MPa}$



Rzwoj wytrzymałości betonów wykonywanych w warunkach technicznych w czasie



ROZWÓJ W LATACH 1950/1980

**BUDOWNICTWO Z
PREFABRYKATÓW**



**Uprzemysłowienie procesu
produkcji prefabrykatów z betonu**



**Stworzenie systemów
budownictwa prefabrykowanego**



**Uprzemysłowienie transportu i
montażu**

**BUDOWNICTWO
MONOLITYCZNE**



**Modernizacja i Automatyzacja
Produkcji w węzłach**



**Rozwój systemów deskowań i
form**



**Rozwój transportu i podawania
pompowego**

W Polsce w 1978 r.



**Produkcja cementu – 21 mln ton
Produkcja betonu – 75,0m mln m³
320 tysięcy mieszkań**

SKALA USZKODZEŃ I BRAKU TRWAŁOŚCI

koniec lat 80-tych

USA



Na 570.000 obiektów komunikacyjnych
40% wymagało naprawy
(wg. Malhotry)

Polska



Konieczność napraw i konserwacji
22% mostów drogowych
19% mostów kolejowych
(wg. W.Radomskiego)

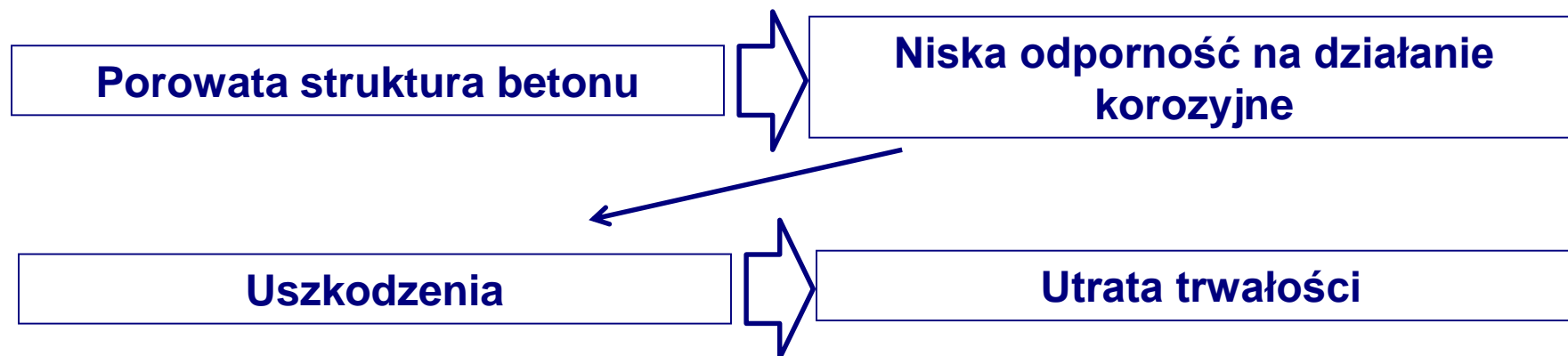
PRZYCZYNY ROZWOJU USZKODZEŃ KOROZYJNYCH

Szerokie zastosowanie cementów szybkosprawnych w wysokim C_3A
(prefabrykacja)

Powszechność stosowania betonów marki
 $R_w=170at$, $R_w=200at$, $R_w=250at$

Podstawowe kryterium optymalizacji składu tych betonów:
min C dla proj. R_w

Niedoceniane szkodliwości środowiska
Karbonatyzacja przy małym otuleniu




Międzynarodowa konkluzja jako jedno z założeń dla przyszłych norm

Zapewnienie trwałości konstrukcji z betonu jest warunkiem równie istotnym jak osiągnięcie wymagań konstrukcyjnych

Odniesienie do nowych norm



PN- EN 206.1



Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 89/106/EWG

z dn. 21 grudnia 1988 r.
została opublikowana 11 lutego 1989 r.
w Dzienniku Urzędowym Wspólnot Europejskich

**w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych
krajów członkowskich,
dotyczących wyrobów budowlanych**



*„Państwa Członkowskie ponoszą
odpowiedzialność za zapewnienie, iż:*

*obiekty budowlane i inżynierskie na ich
terytorium będą projektowane i wykonywane w
sposób, który **nie zagraża bezpieczeństwu
ludzi, zwierząt domowych i mienia,***

*uwzględniając przy tym, w interesie dobra
ogólnego – **inne wymagania podstawowe**”*

Wymagania podstawowe

PRAWO BUDOWLANE - Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414

Art. 5.

1. Obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając:

1) spełnienie wymagań podstawowych dotyczących:

- a) bezpieczeństwa konstrukcji,
- b) bezpieczeństwa pożarowego,
- c) bezpieczeństwa użytkowania,
- d) odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska,
- e) ochrony przed hałasem i drganiami,
- f) odpowiedniej charakterystyki energetycznej budynku oraz racjonalizacji użytkowania energii

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej

CPR 305/2011 zostało przyjęte 9 marca 2011r

Wymagania podstawowe (WP) nr:		1	2	3	4	5	6	7
1	Nośność i stateczność	0						nowe wyma- ganie
2	Bezpieczeństwo pożarowe		0					
3	Higiena, zdrowie, środowisko			X				
4	Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów				X			
5	Ochrona przed hałasem					0		
6	Oszczędność energii i izolacyjność cieplna						X	
7	Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych	nowe wymaganie						

X – zmienione; 0 – niezmienione

Deklaracja właściwości użytkowych wg CPR

zamiast Deklaracji Producenta

Obiekty budowlane muszą być zaprojektowane, wykonane i rozbrane po zakończeniu cyklu życia w taki sposób, aby wykorzystanie zasobów naturalnych było zrównoważone i zapewniało w szczególności:

- a) ponowne wykorzystanie lub recykling obiektów budowlanych oraz wchodzących w ich skład materiałów i elementów po rozbiórce;*
- b) trwałość obiektów budowlanych;*
- c) wykorzystanie w obiektach budowlanych przyjaznych środowisku surowców i materiałów wtórnych.*

EUROPEJSKI SYSTEM NORMALIZACJI

ZASADY

Spójność, przejrzystość, otwartość, konsens, dobrowolność – zgodnie z tymi zasadami od lat funkcjonują systemy normalizacyjne, ale po raz pierwszy zostało to oficjalnie wpisane do aktu prawnego.

Rozporządzenie nr 1025/2012 z jednej strony porządkuje i zbiera przepisy rozrzucone dotychczas w różnych aktach prawnych, ale z drugiej ingeruje bezpośrednio w działalność europejskich organizacji – prywatnych, niezależnych europejskich stowarzyszeń i nie chodzi tu tylko o obowiązek składania raportów Komisji Europejskiej z realizacji poszczególnych artykułów rozporządzenia. Jest to dodatkowe obciążenie administracyjne dla europejskich organizacji normalizacyjnych i krajowych jednostek normalizacyjnych.

Obligatoryjność stosowania norm

**Ustawa o normalizacji
z 12.09.2002 Dz. U. Nr 169 poz. 1386**

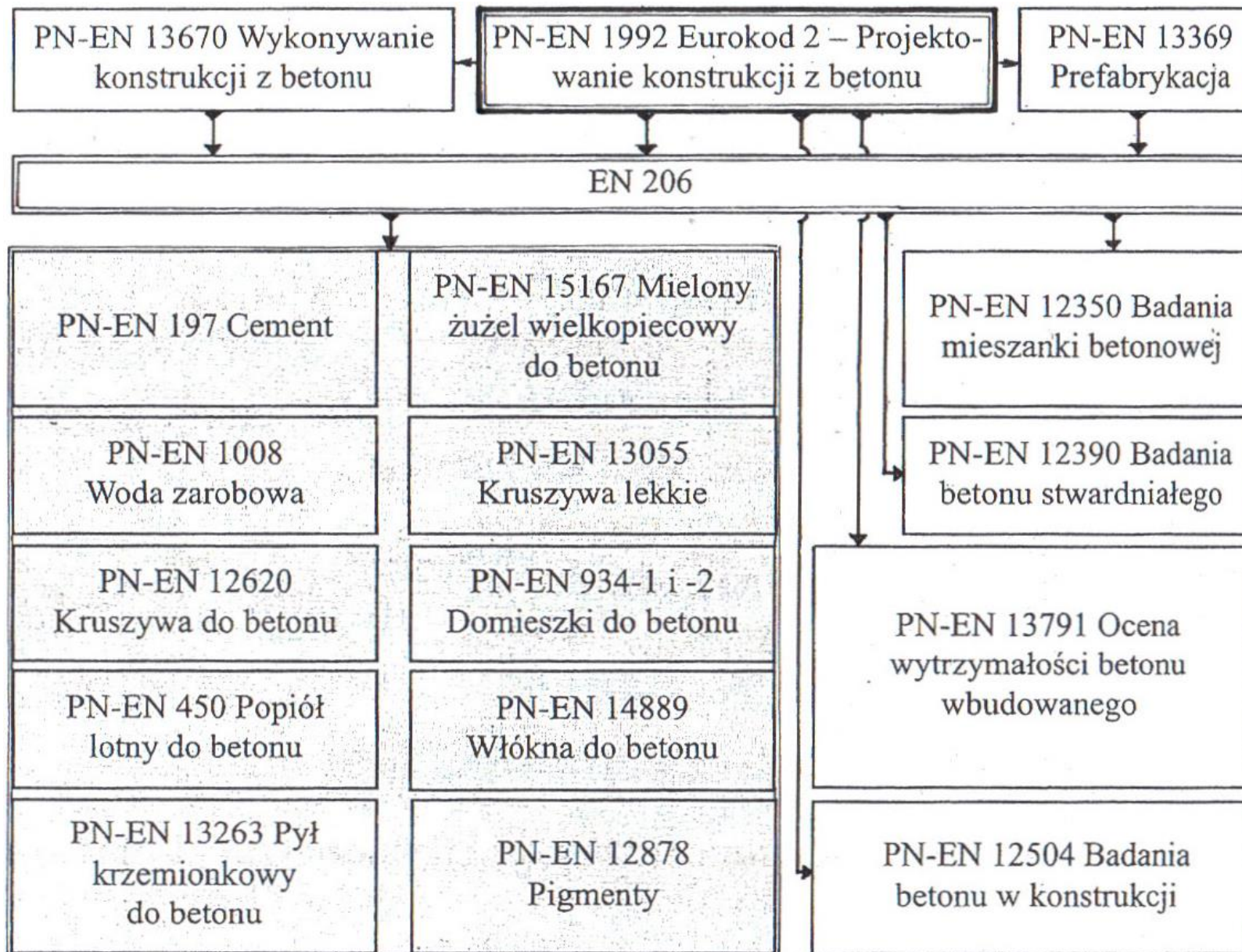


„[...] stosowanie Polskich Norm jest dobrowolne.”

**Rozporządzenie Min. Infrastruktury odn. warunków
technicznych dla budynków i ich usytuowania
z 7.04.2004 Dz. U. Nr 109 poz. 1156**



„Warunki bezpieczeństwa konstrukcji [...] uznaje się za spełnione jeżeli konstrukcja ta odpowiada Polskim Normom dotyczącym projektowania i obliczania konstrukcji.”

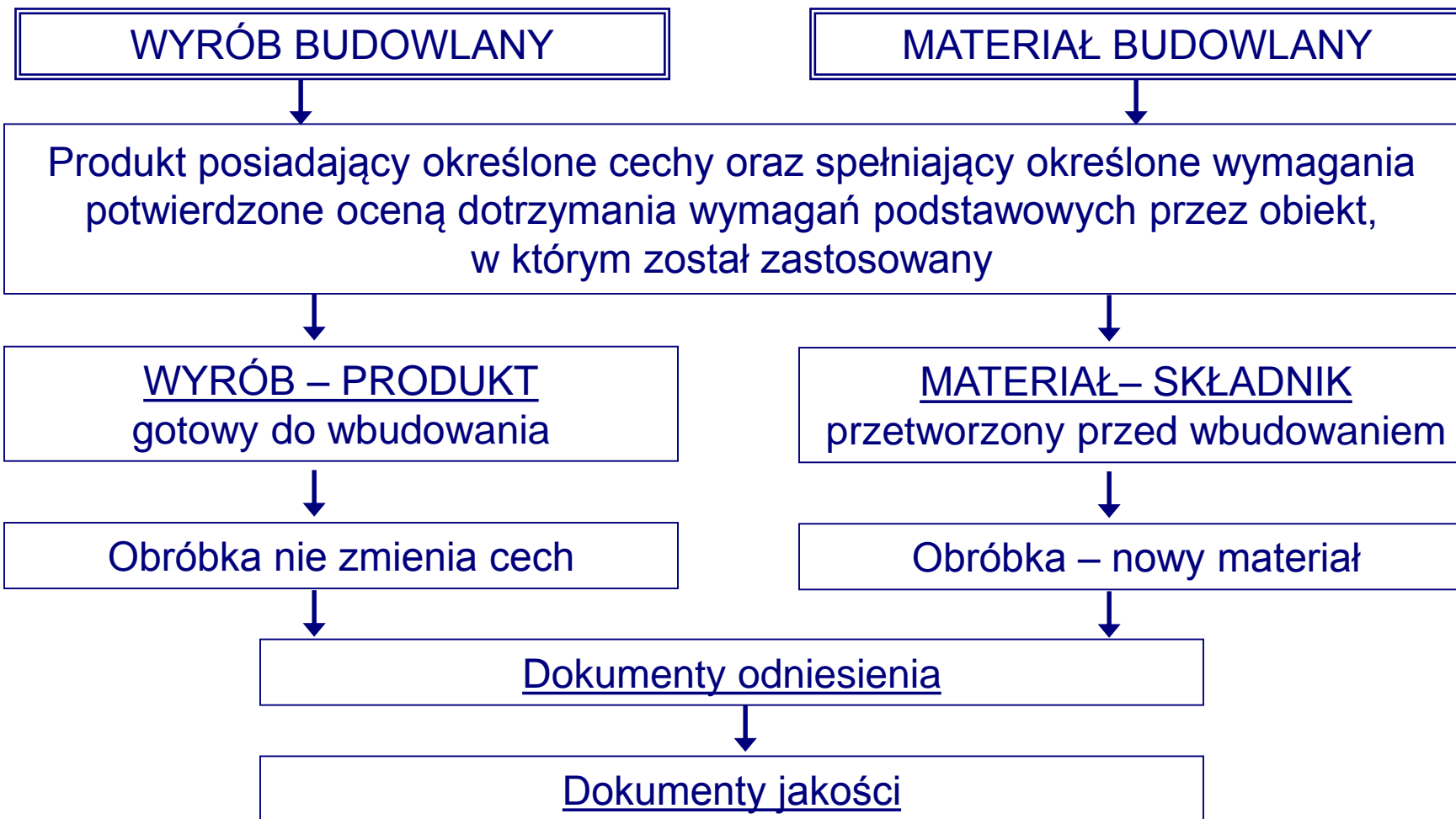


Ustawa o Wyrobach Budowlanych

Dz.U. z 2004 nr 92 poz 881 – tekst jednolity I.2013

Art. 2. Ilekroć w ustawie jest mowa o:

1) wyrobie budowlanym – należy przez to rozumieć rzecz ruchomą, bez względu na stopień jej przetworzenia, przeznaczoną do obrotu, wytworzoną w celu zastosowania w sposób trwały w obiekcie budowlanym, wprowadzaną do obrotu jako wyrób pojedynczy lub jako zestaw wyrobów do stosowania we wzajemnym połączeniu stanowiącym integralną całość użytkową i mającą wpływ na spełnienie wymagań podstawowych, o których mowa w art. 5 ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 2003 r. Nr 207, poz. 2016 oraz z 2004 r. Nr 6, poz. 41);



WYROBY BUDOWLANE

Kontrola i ocena jakości

DOKUMENTY ODNIESIENIA

1. NORMY EUROPEJSKIE PN-EN

↓
Normy zharmonizowane

↓
Normy niezharmonizowane

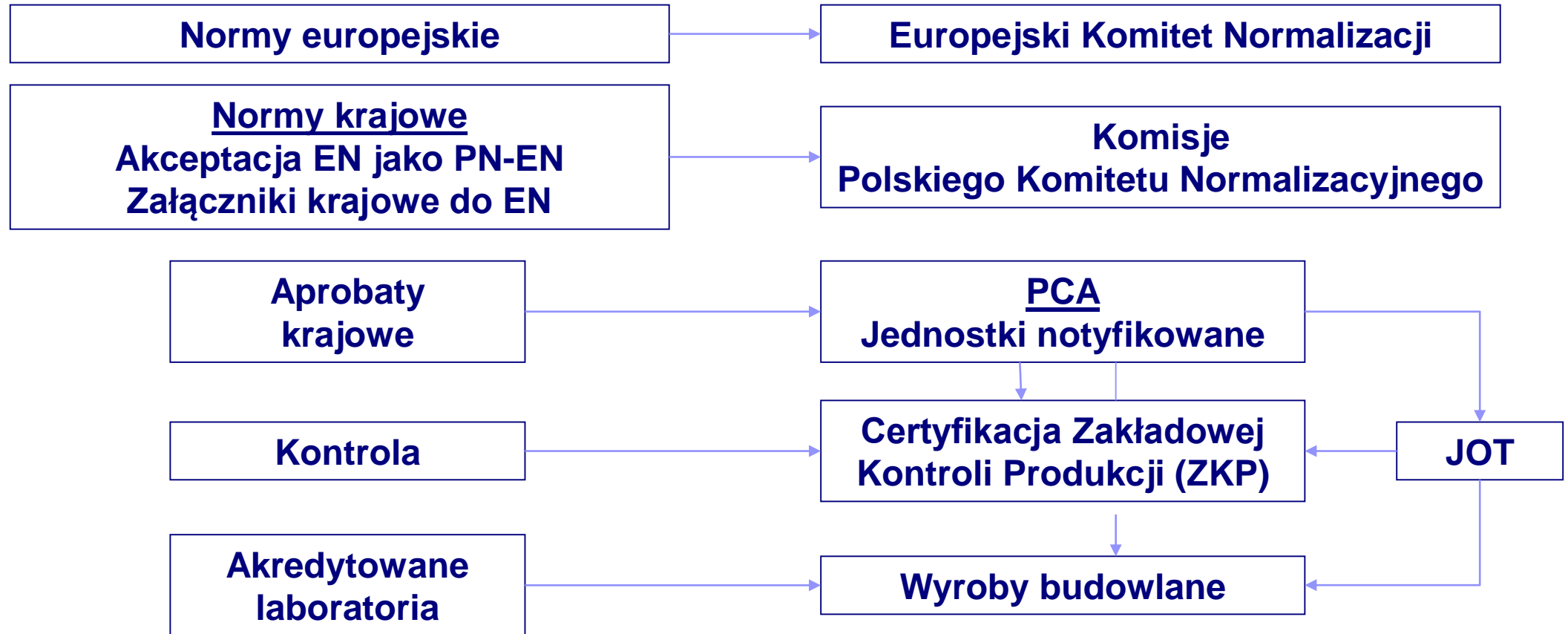
2. NORMY KRAJOWE

3. EUROPEJSKIE APROBATY TECHNICZNE

4. KRAJOWE APROBATY TECHNICZNE

WYROBY BUDOWLANE

Ustanawianie dokumentów odniesienia



Wprowadzanie wyrobów na rynek

Wyrób wg zharmonizowanej normy PN-EN

OBOWIĄZKOWA
Produkcja przy certyfikowanej ZKP
Deklaracja Własności Użytkowych

Oznaczenie CE
INNE

Wyrób wg niezharmonizowanej normy PN-EN i innych dokumentów odniesienia niższego

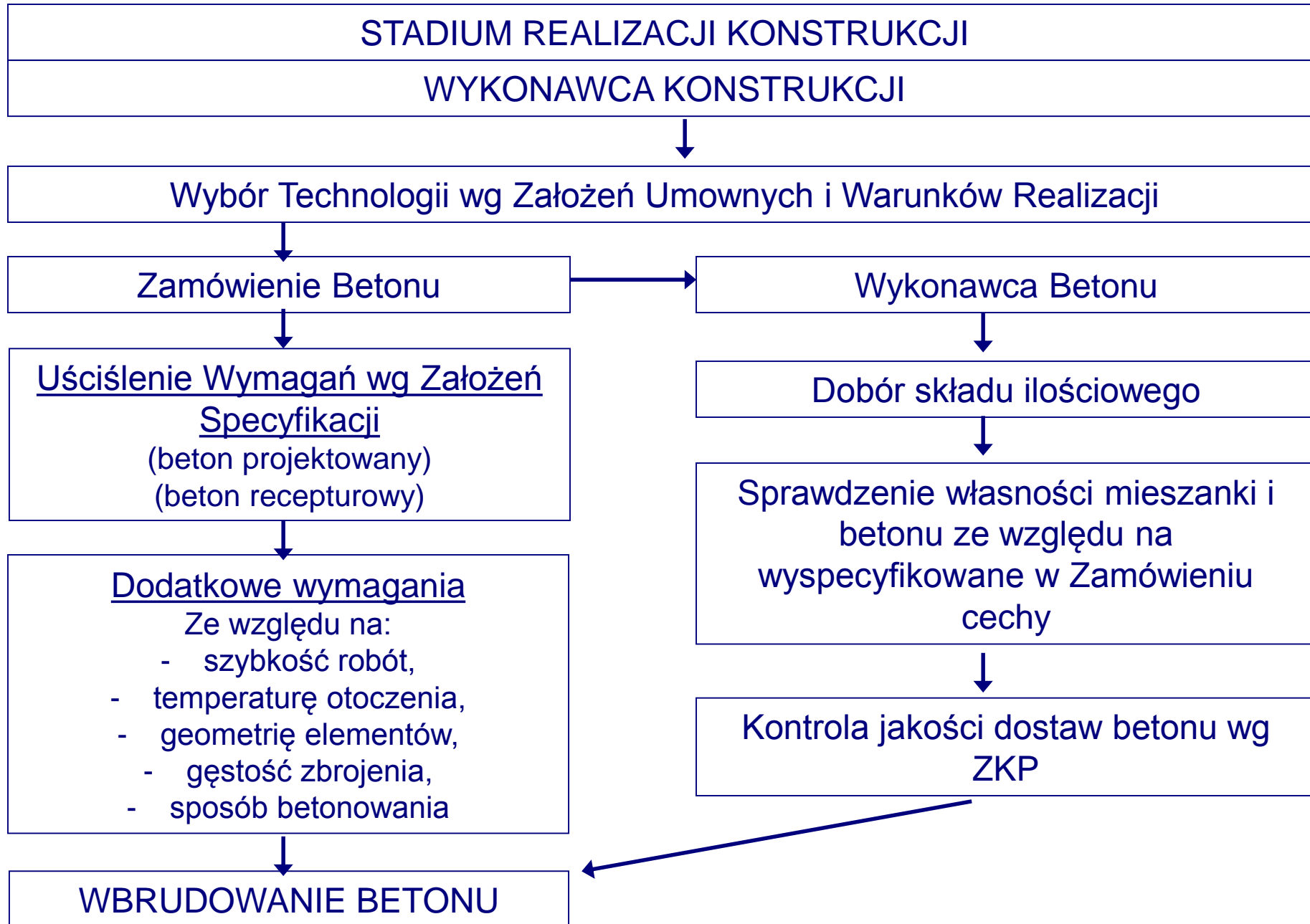
Dobrowolny system europejski

System wzajemnego uznawania pod warunkiem spełnienia wymagań krajowych

Krajowy system uzgadniania wyrobów na rynku

Oznakowanie B

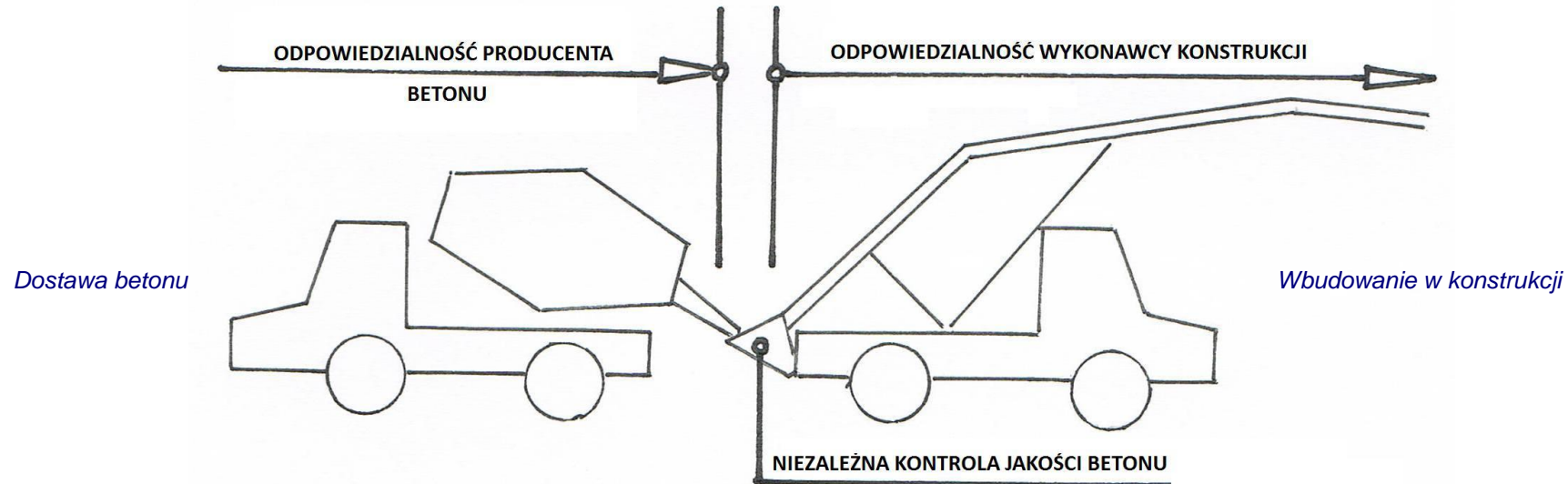
Deklaracja zgodności z krajową AT, normą PN-B lub niezharmon. PN-EN



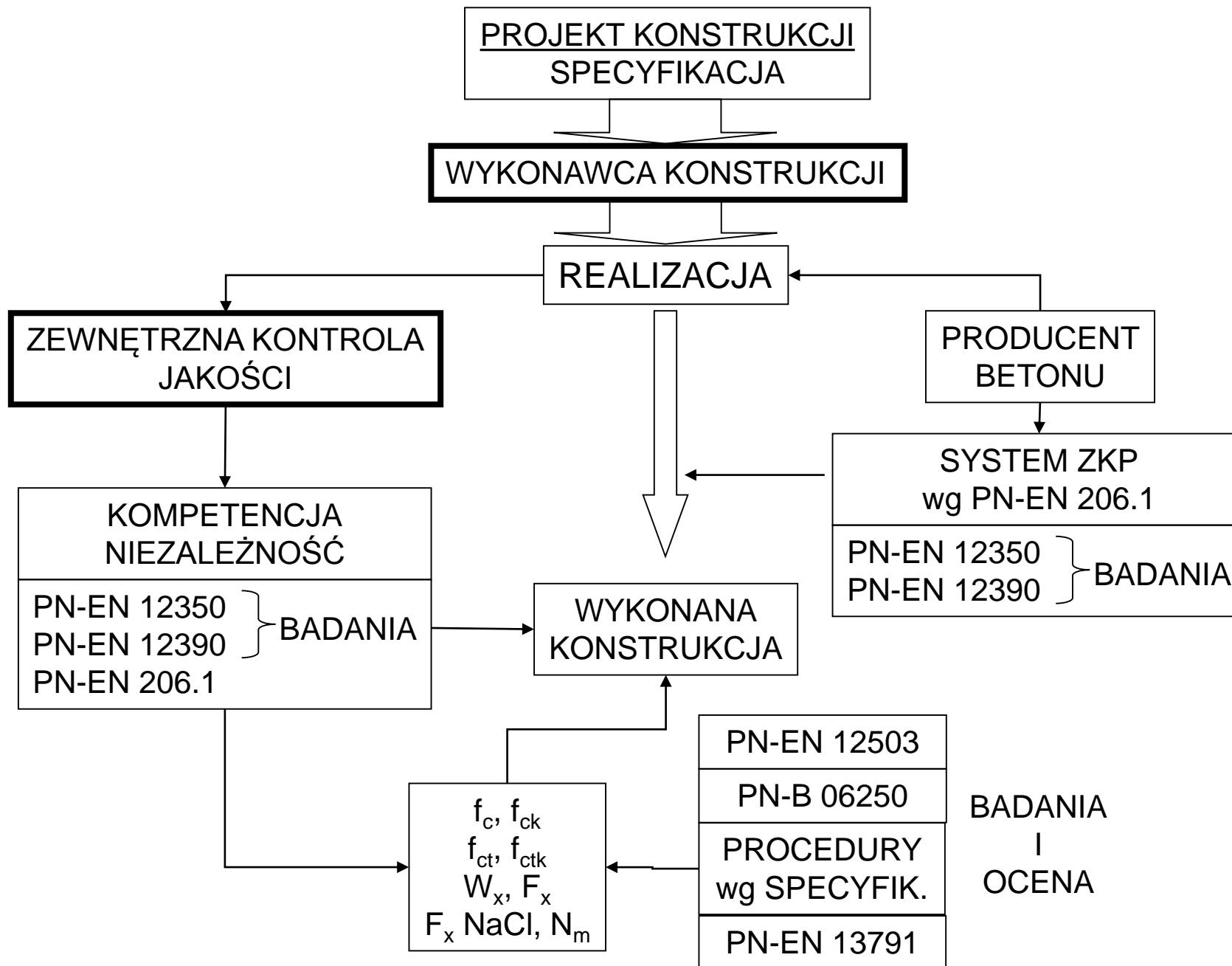
Beton – materiał / wyrób wg PN-EN 206.1 NORMA NIEZCHARMONIZOWANA

DOBROWOLNA KONTROLA JAKOŚCI

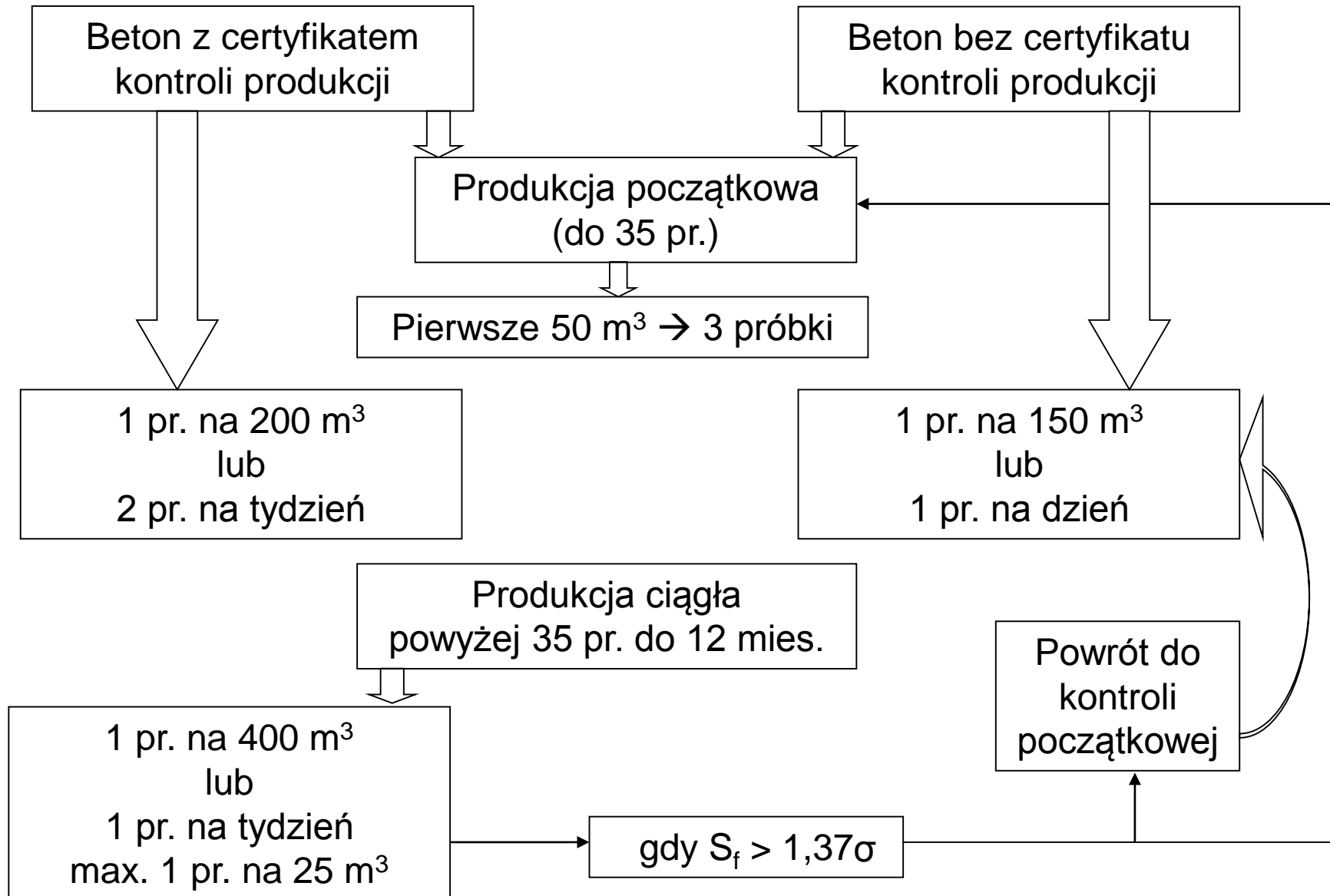
Zewnętrzna Kontrola Jakości – KOMPETENCJA, NIEZALEŻNOŚĆ



- realizacja konstrukcji żelbetowej o wysokim stopniu odpowiedzialności
 - producent betonu nie posiada certyfikatu kontroli produkcji
- szybkość realizacji wymaga ciągłej kontroli wczesnej wytrzymałości betonu
- jednoznaczność rozstrzygnięć w przypadku sporu pomiędzy producentem betonu a wykonawcą



PLAN KONTROLI w produkcji betonu wg PN-EN 206.1



KRYTERIA ZGODNOŚCI DLA WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE

Produkcja początkowa

$$n_{\min} = 3 \quad f_{ck} - \text{proj}$$

$$\text{Kr I} \quad f_{cm} \geq f_{ck} + 4$$

$$\text{Kr. II} \quad f_{ci \min} \geq f_{ck} - 4$$

Produkcja ciągła

$$n \geq 15 \quad f_{ck} - \text{proj.}$$

$$f_{cm}; s_{15}; \sigma_{15}$$

$$\text{Kr I} \quad f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48s$$

$$\text{Kr. II} \quad f_{ci \min} \geq f_{ck} - 4$$

przy

$$0,63 \sigma \leq s_{15} \leq 1,37 \sigma$$

Badania betonu w konstrukcjach

Normowe metody badań wg PN-EN 12504

PN-EN 12504-1. Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, badania i pomiary wytrzymałościowe na ściskanie.

PN-EN 12504-2. Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.

PN-EN 12504-3. Określanie siły pull-out.

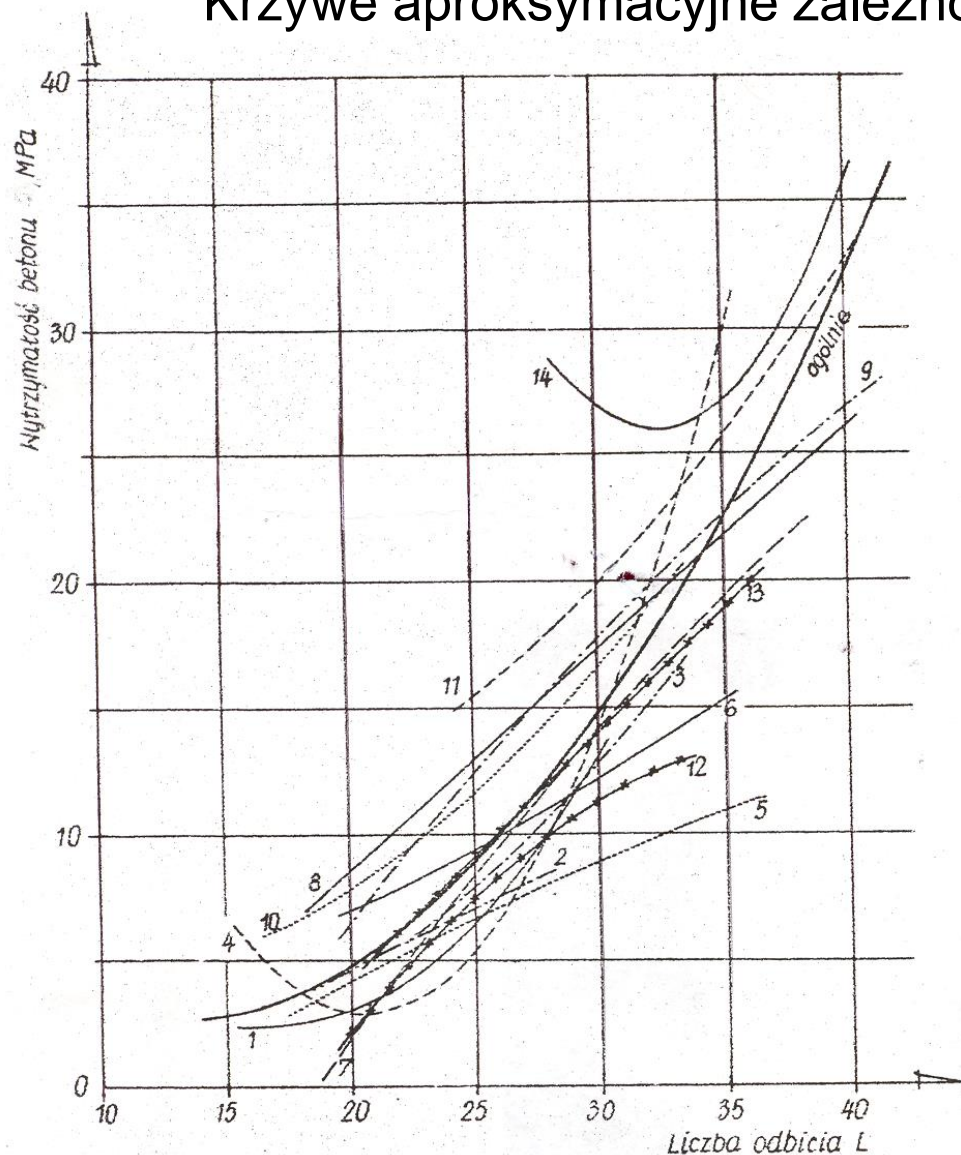
PN-EN 12504-4. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej.

Interpretacja wg PN-EN 13791

„Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych”.

METODA SKLEROMETRYCZNA – DOKŁADNOŚĆ OCENY

Krzywe aproksymacyjne zależności $f_{cm} = \varphi(L_i)$ dla różnych betonów



Oszacowanie błędu:

Ze wzorcowaniem przyrządu:

Weryfikacja wielopunktowa $\Delta f_c = \pm 7-12\%$
Weryfikacja jednopunktowa $\Delta f_c = \pm 15-20\%$

Bez wzorcowania przyrządu:

Bez weryfikacji $\Delta f_c = 20-40\%$

Badania i ocena in-situ betonu metodą rdzeniową





Zasada kwalifikacji wytrzymałości wg PN-EN 13791

Metoda Bezpośrednia

$$f_{is1}, f_{is2}, f_{is3} \dots f_{isn}$$

min 15 rdzeni

$$f_{m is} - k_2 \times S$$
$$f_{is low} + 4$$

$$k_2 = 1,64(1,48)$$

$f_{ck is}$

3 do 14 rdzeni

$$f_{m is} - k$$
$$f_{is low} + 4$$

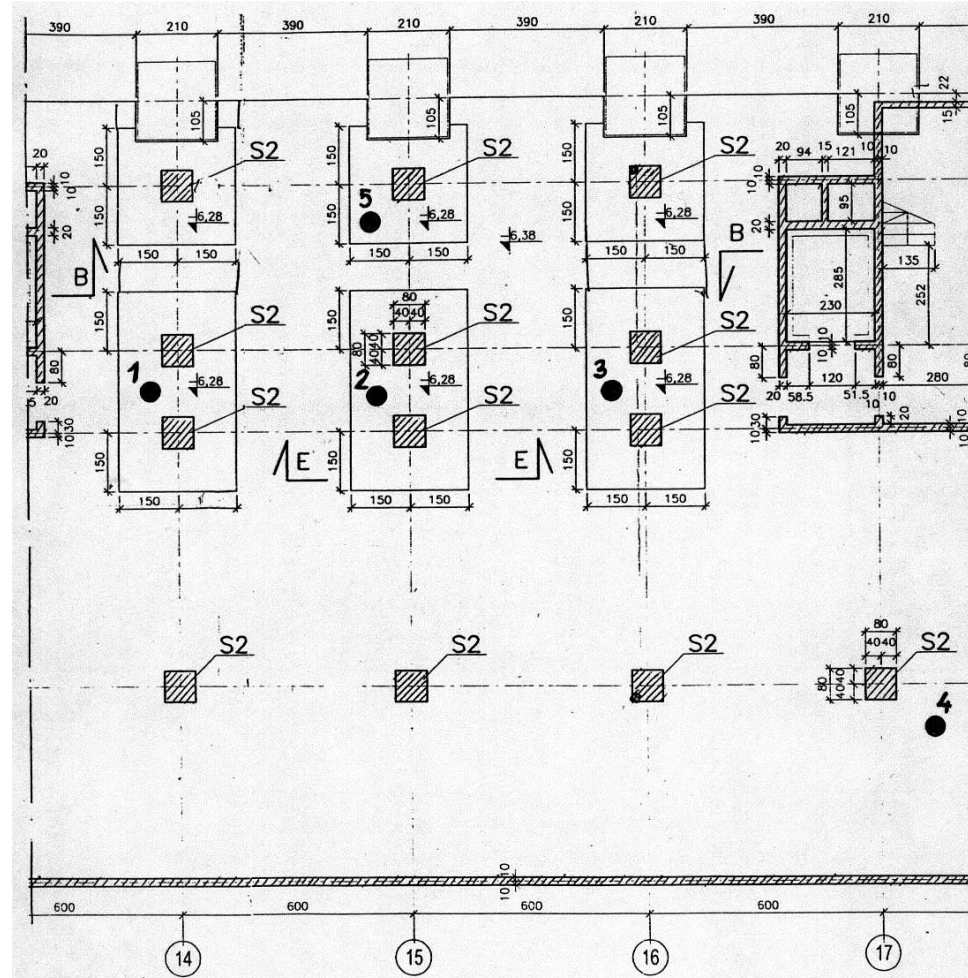
$$k = \begin{cases} 5 & \text{if } n=10 \div 14 \\ 6 & \text{if } n=7 \div 9 \\ 7 & \text{if } n=3 \div 6 \end{cases}$$

**Minimalne charakterystyczne wytrzymałości betonu
in – situ wg klas wytrzymałości jak w PN-EN 206.1.**

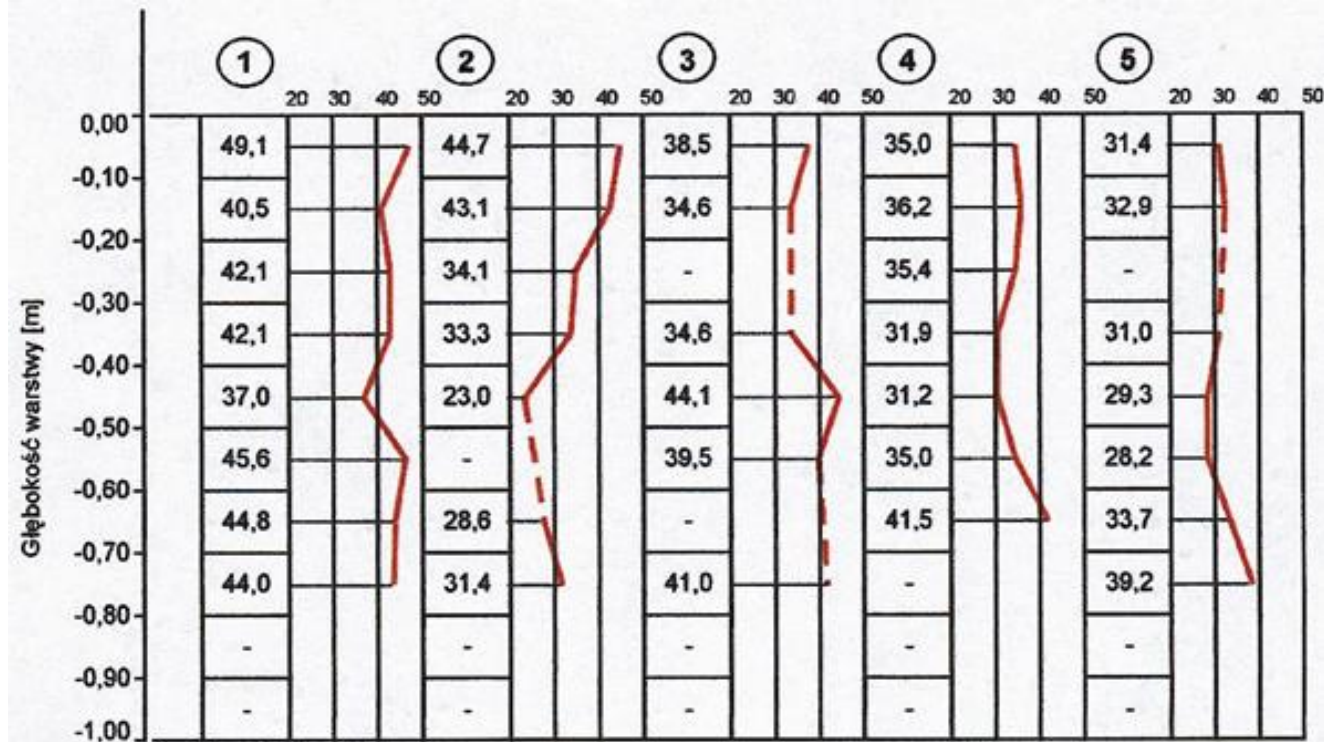
Klasa wytrzymałości wg PN-EN 206.1	Minimalna charakterystyczna wytrzymałość in-situ [MPa]	
	$f_{ck\ is\ cyl}$	$f_{ck\ is\ cube}$
C 8/10	7	9
C 12/15	10	13
C 16/20	14	17
C 20/25	17	21
C 25/30	21	26
C 30/37	26	31
C 35/45	30	38
C 40/50	34	43
C 45/55	38	47
C 50/60	43	51
C 55/67	47	57
C 60/75	51	64
C 70/85	60	72
C 80/95	68	81
C 90/105	77	89
C 100/115	85	98

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METODY BEZPOŚREDNIEJ

Lokalizacja rdzeni próbnych wyciętych z płyty fundamentowej



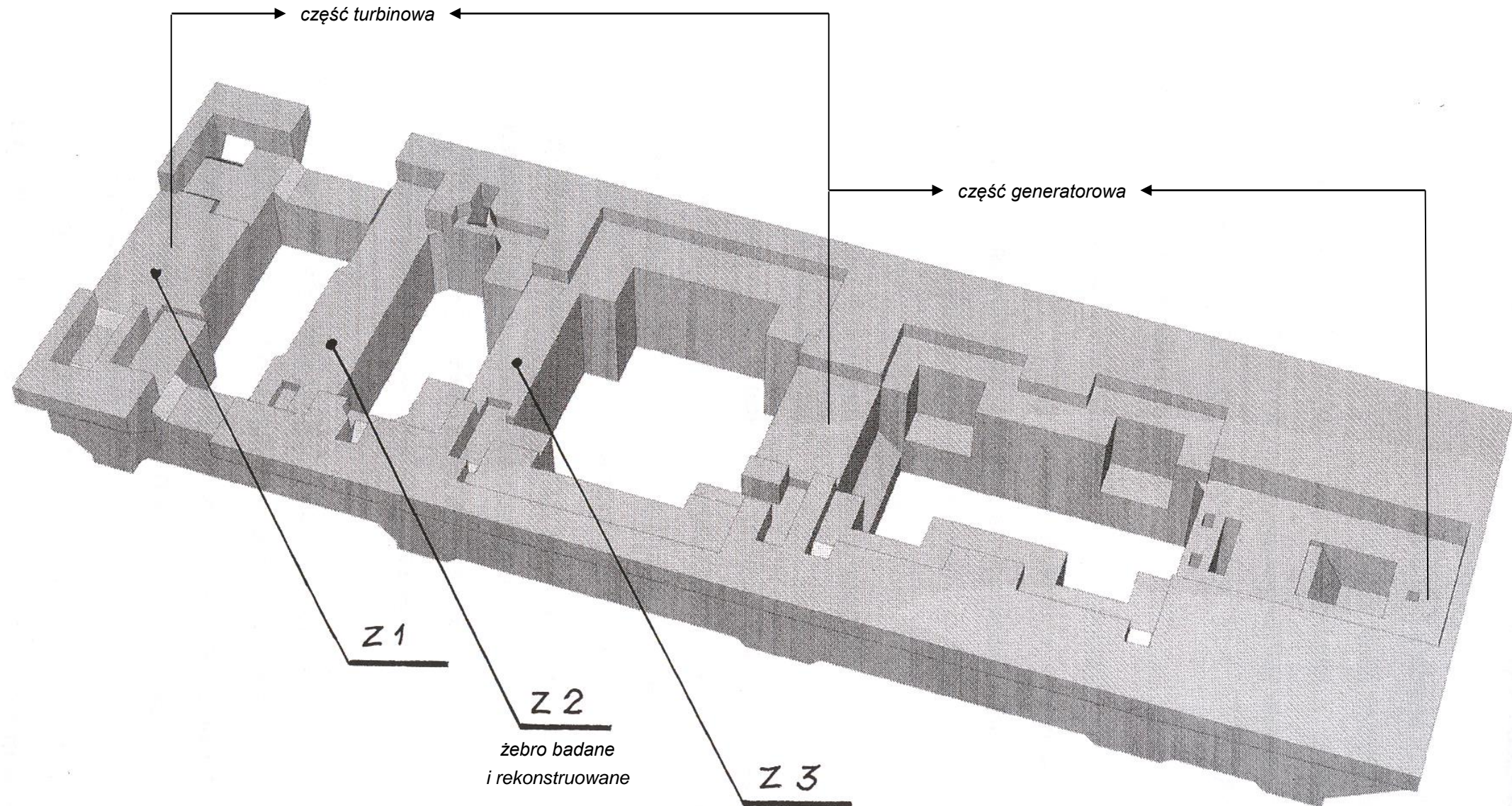
Rozkłady wytrzymałości w różnych punktach płyty



	1	2	3	4	5
f_{cm} [MPa]	43,2	34,0	38,7	35,2	32,2
$f_{ci min}$	37,0	23,0	34,6	31,2	28,2
$f_{ci max}$	49,1	44,7	41,0	41,5	39,2
$B(\bar{f}_c^G)$	35	20	30	25	25



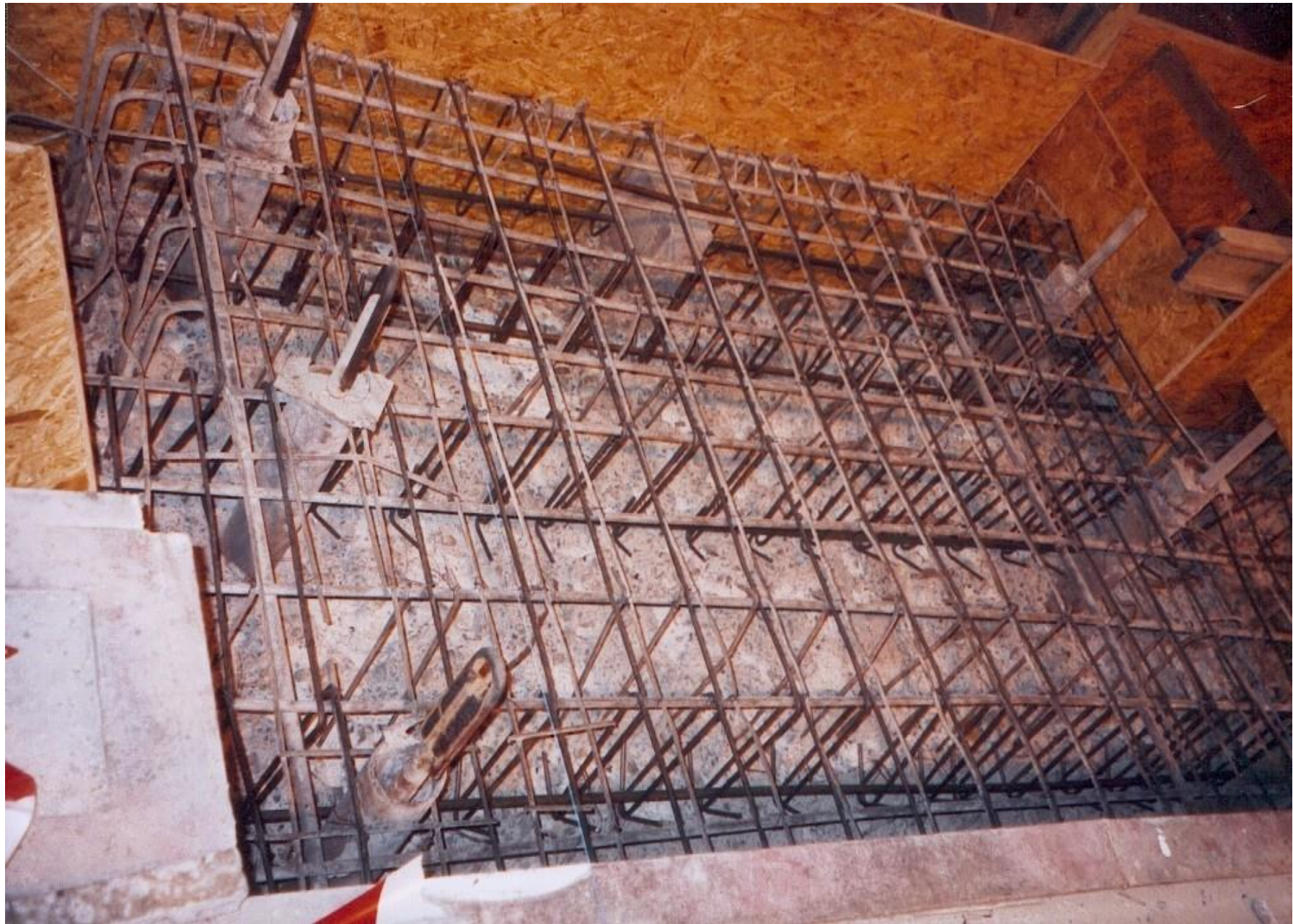
PŁYTA GÓRNA FUNDAMENTU TURBOGENERATORA



Rdzenie wycięte ze strefy ściskanej żebra Z-2



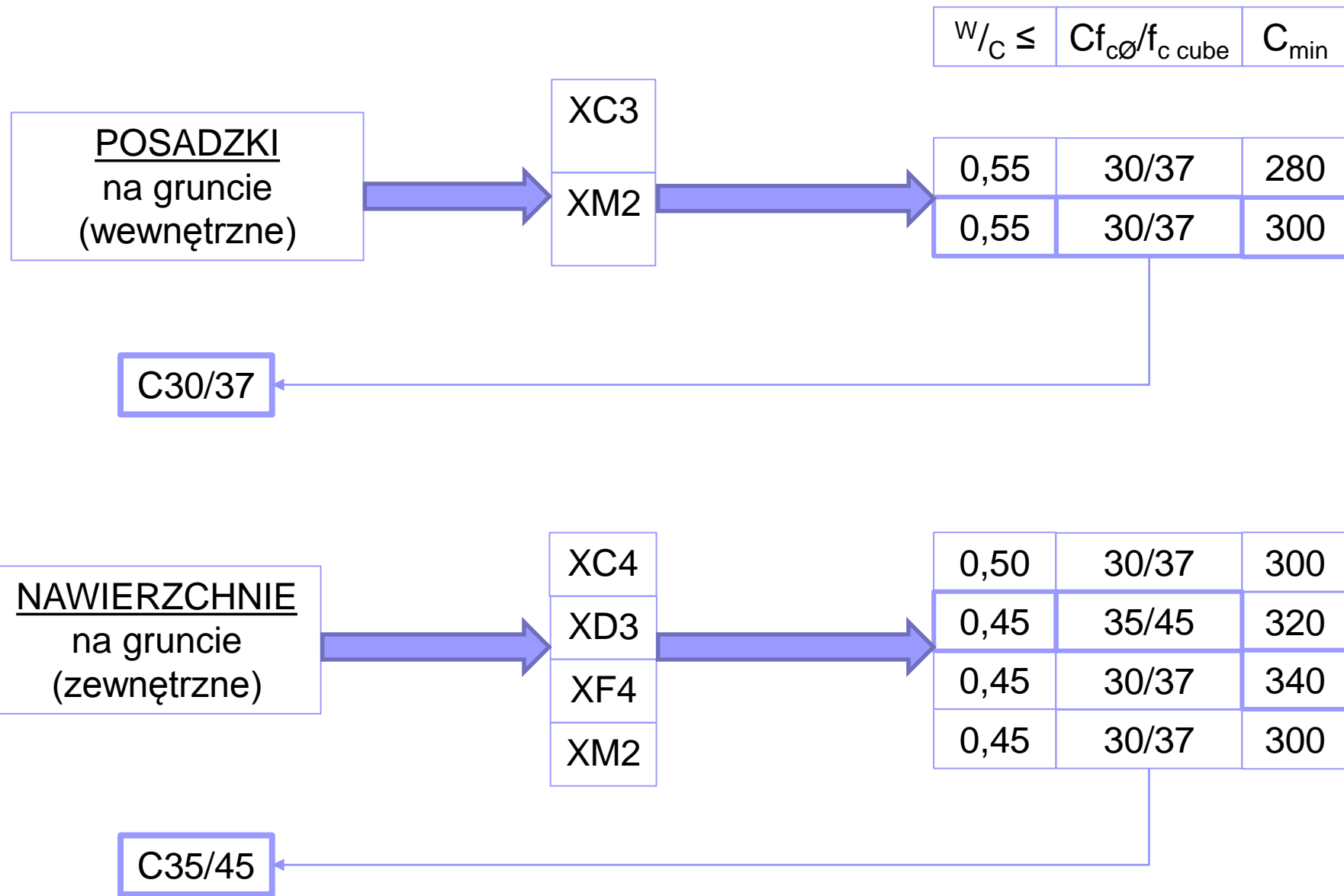




Przykład uszkodzeń betonu płyty parkingu



WYMAGANIA ZE WZGLĘDU NA TRWAŁOŚĆ



Przyczyny uszkodzeń

Ścieranie
Złuszczenia

Materiałowe

Projekt
Realizacja

XM1

XM2

C30/37

$w/c \leq 0,55$

$C_{\min} \geq 300\text{kg/m}^3$

$S_{CB} \leq 2,5 \div 3,0\text{mm}$

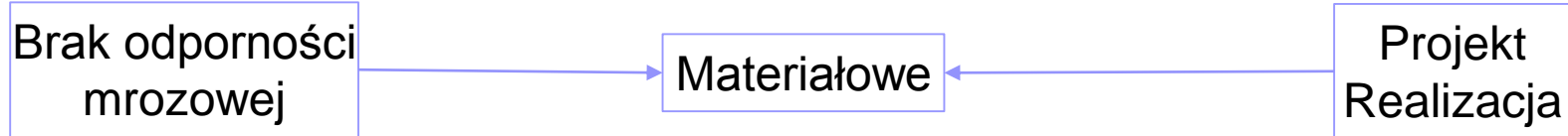


Charakter uszkodzeń

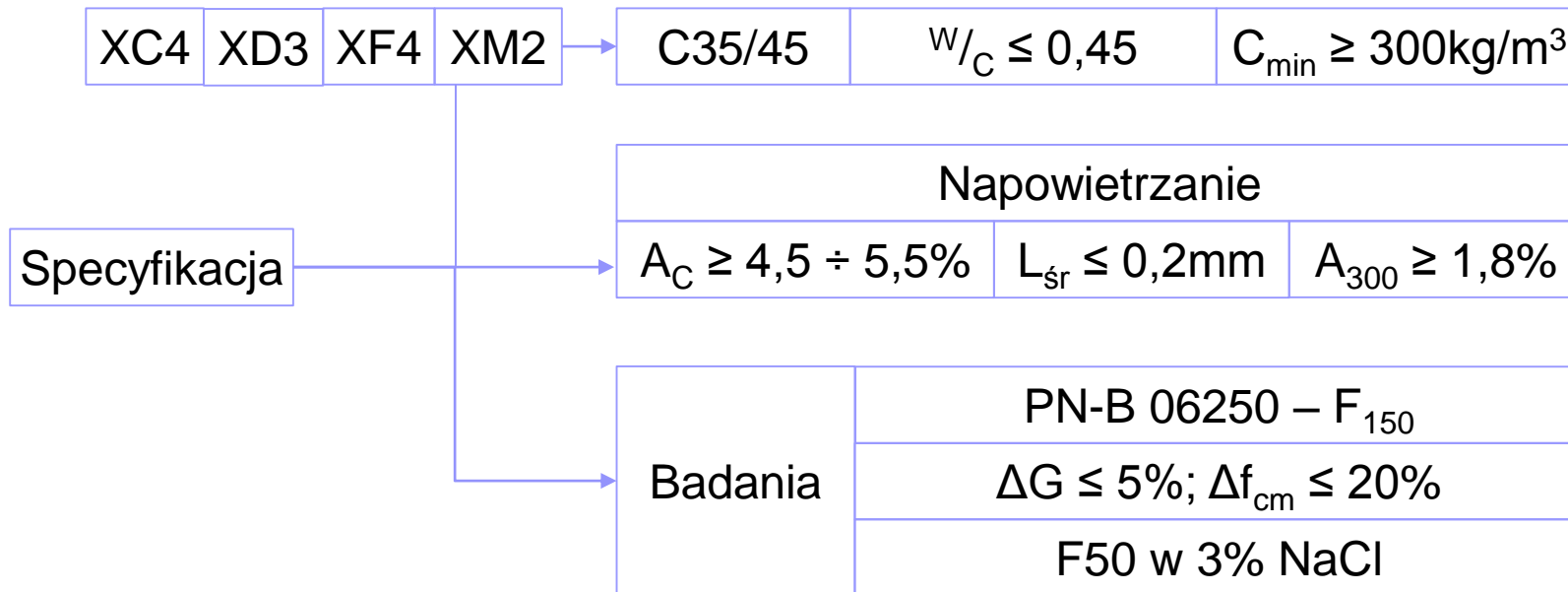
Brak mrozoodporności betonu



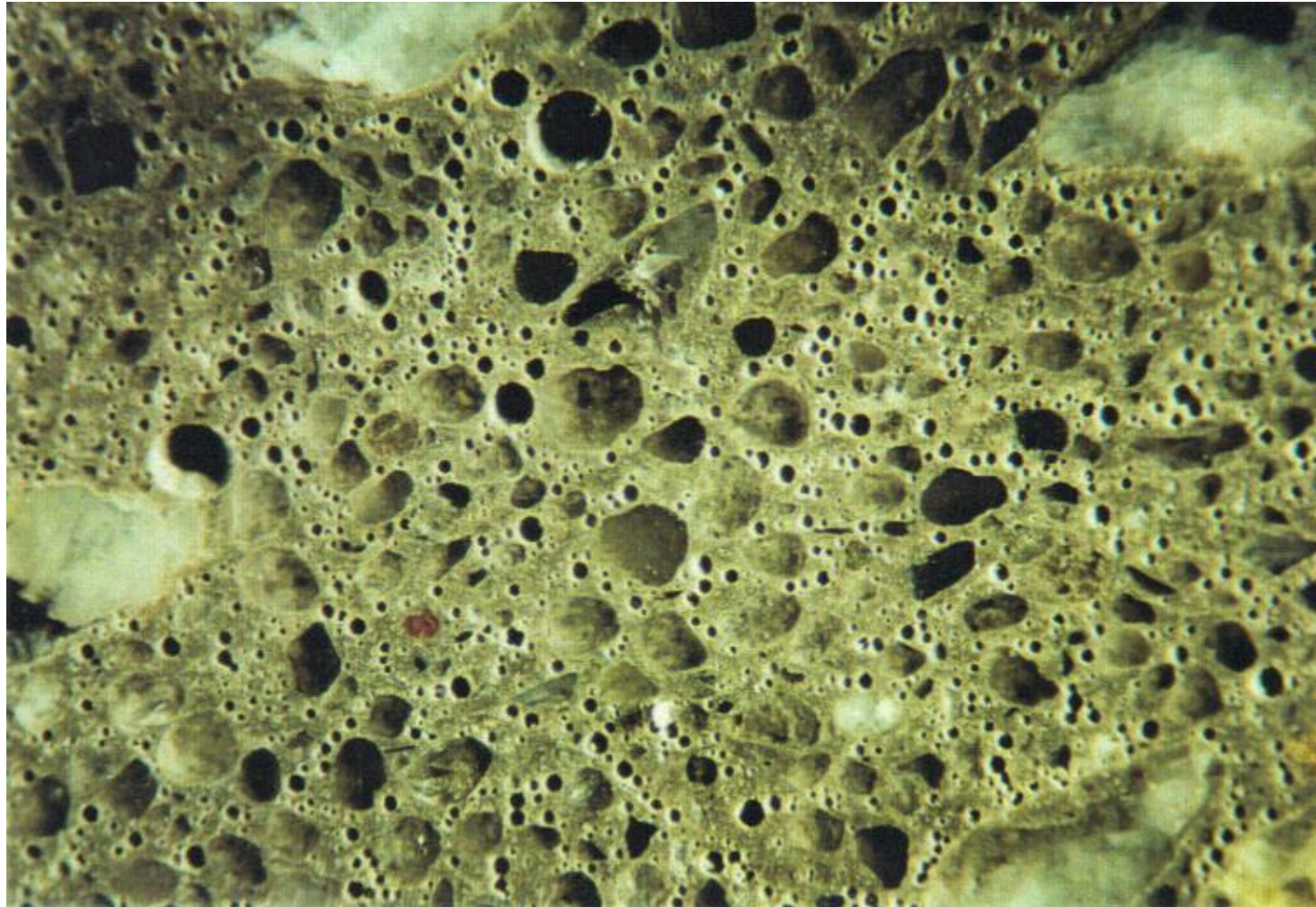
Przyczyny uszkodzeń



WYMANIA DLA NAWIERZCHNI ZEWNĘTRZNYCH



Przykład napowietrzenia struktury betonu (50x)



RAPID AIR 480

PN-EN 480:11 Oznaczenie charakterystyki porowatości w stwardniałym betonie

$A = 5,2\%$ $L_{sr} = 0,139\text{mm}$ $A_{300} = 2,15\%$

Przyczyny uszkodzeń

Ubytki
Odpryski

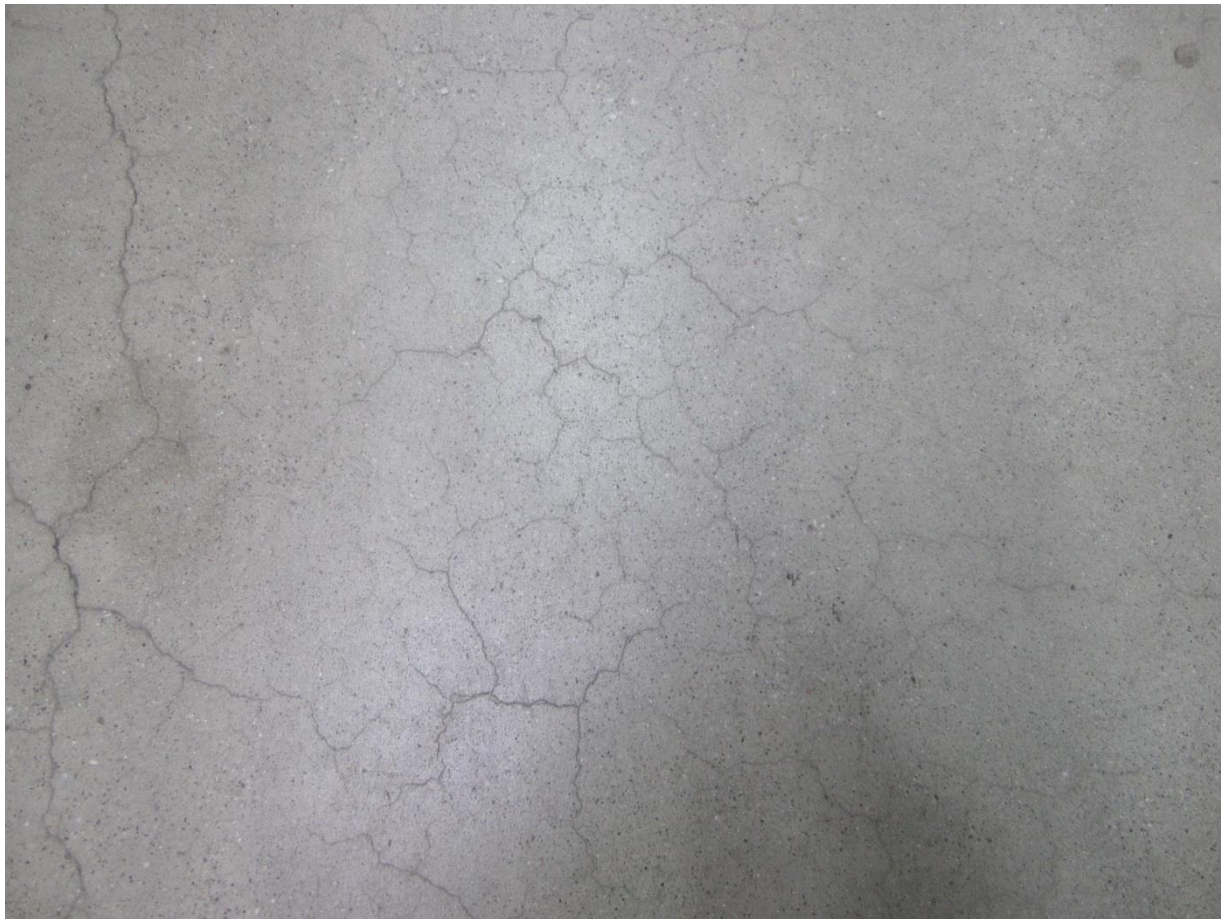
Materiałowe

Projekt
Realizacja

REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA

Rozległe duże spękania siatkowe

Punktowe odpryski



Przyczyny uszkodzeń

Ubytki
Odpryski

Materiałowe

Reaktywność alkaliczna

Kruszywa

Szklista, amorficzna krzemionka

+

Cement

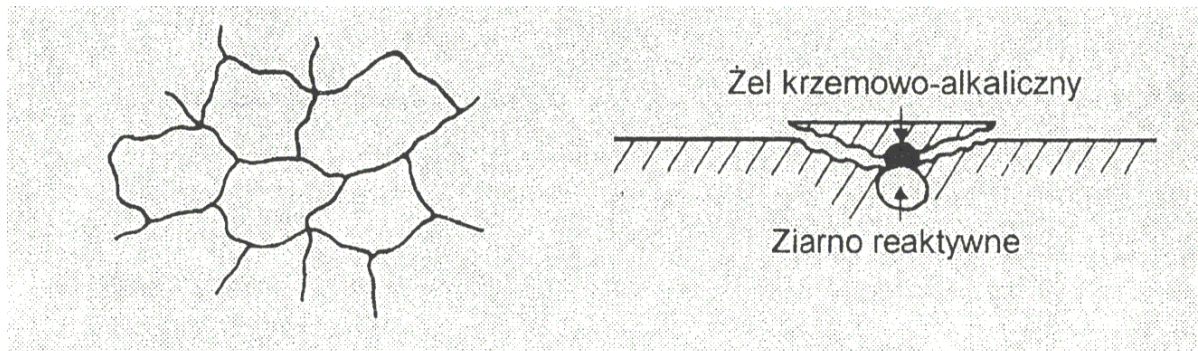
$\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O} > 0,658$

+

Długotrwała wysoka wilgotność

mapcracking

pop-out



Przyczyny uszkodzeń

Ubytki
Odpryski

Materiałowe

Projekt
Realizacja

BRAK MROZODPORNOŚCI
KRUSZYWA

Odpryski

Rozległość uszkodzeń



Przyczyny uszkodzeń

Ubytki
Odpryski

Materiałowe

Projekt
Realizacja

Brak mrozoodporności kruszywa



Żwiry polodowcowe

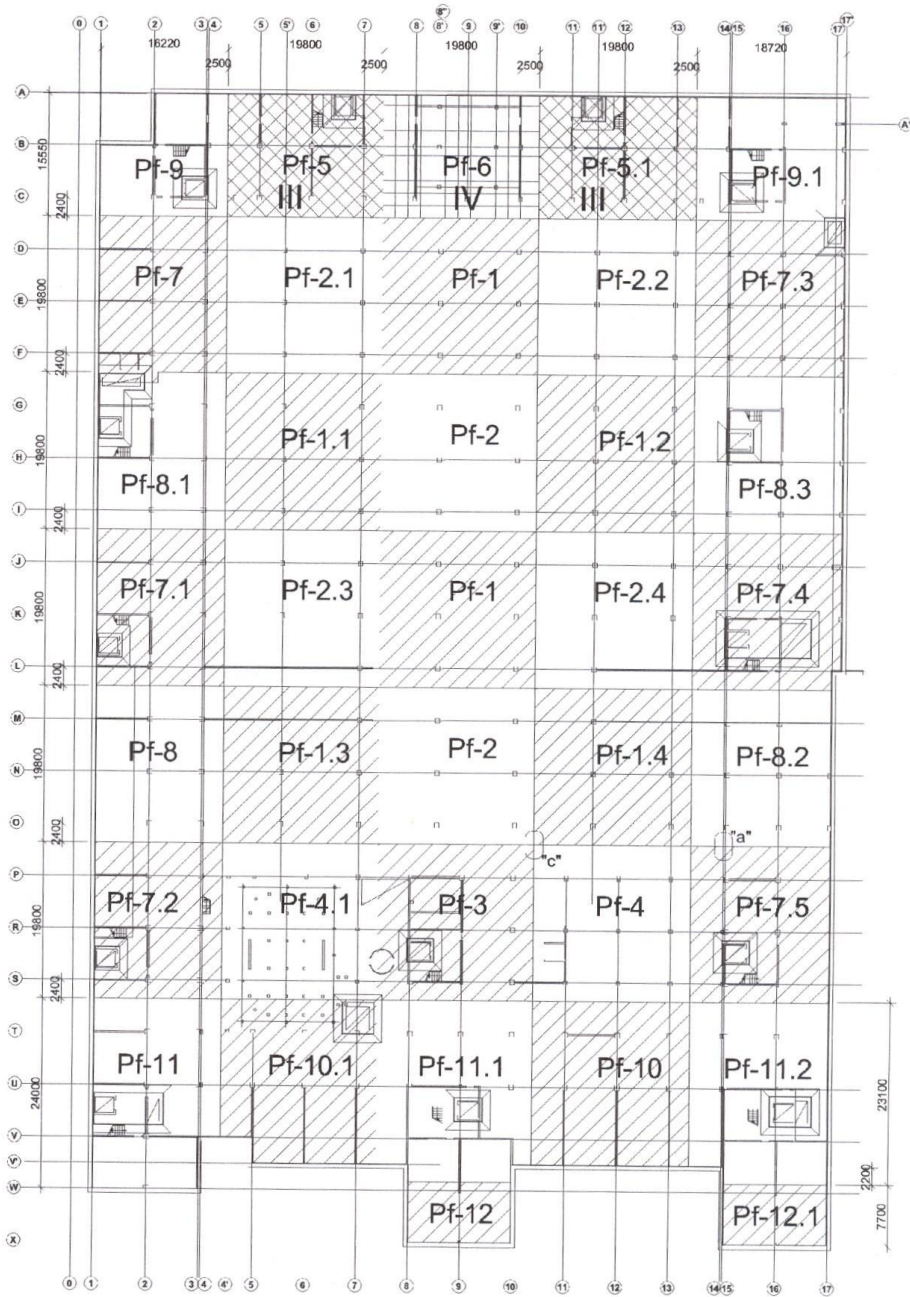
Skład petrograficzny
Margiel, Iły, Gliny,
Opoka, Rogowiec,
Szarogłaz, Łupek,
Wapienie, Kwarcyty

Struktura nanoporów
(5nm ÷ 0,1/0,5µm)

Badania

Wskaźnik EDF
Indeks JPIT
Metoda RAO

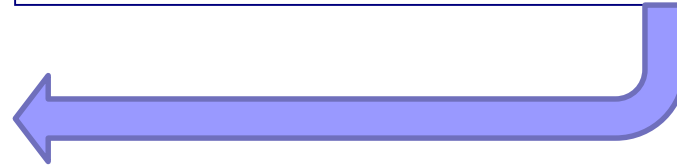
PN-EN 12620 Załącznik F.
+ F₅₀ w 3% NaCl



PRZYKŁADY KONTROLI PRZY REALIZACJI GRUBYCH PŁYT FUNDAMENTOWYCH METODĄ SEGMENTOWĄ

Garden Residence

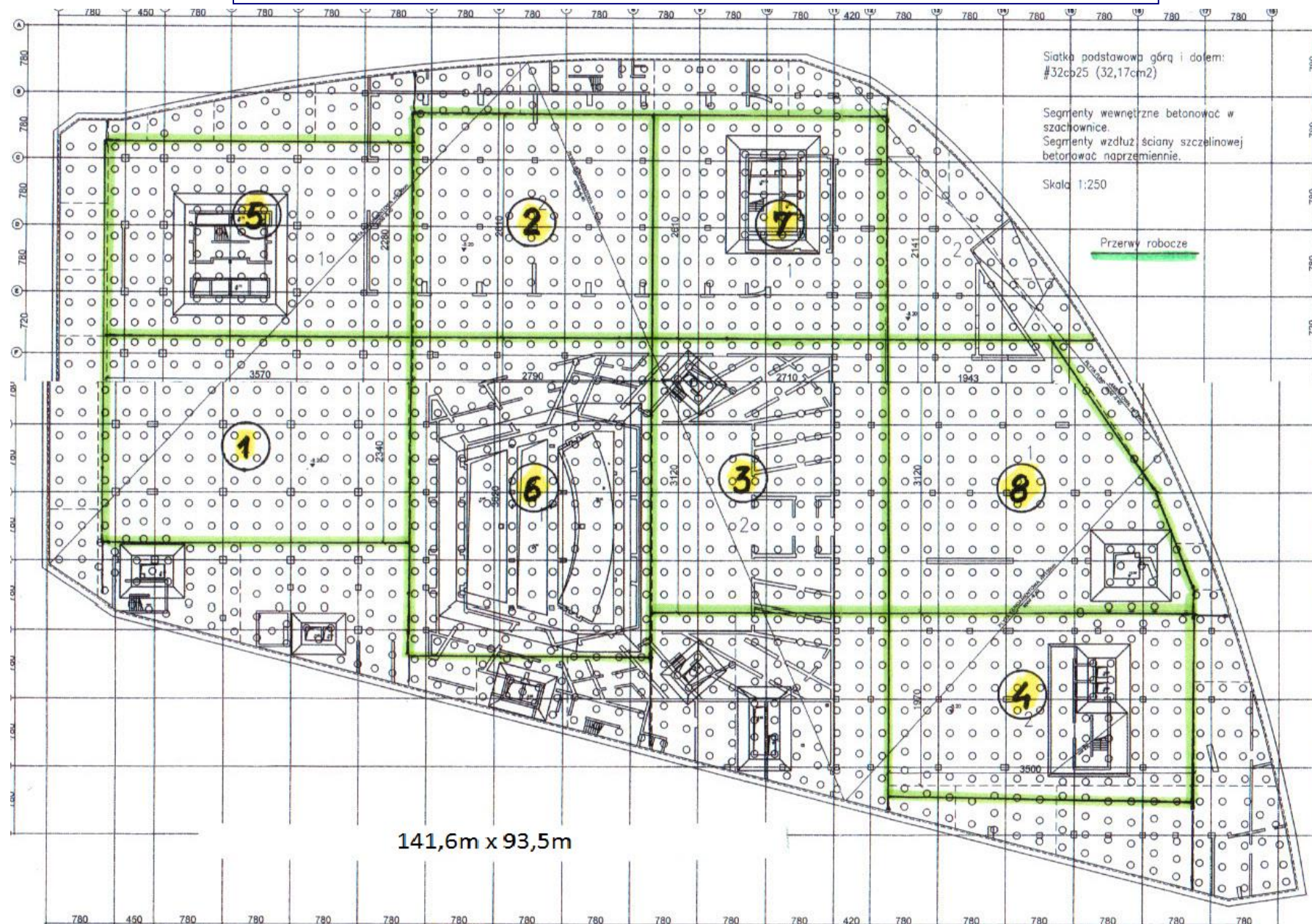
Płyta 138,5x94,3m z podziałem na segmenty 20x20m



Garden Residence – Płyta fundamentowa

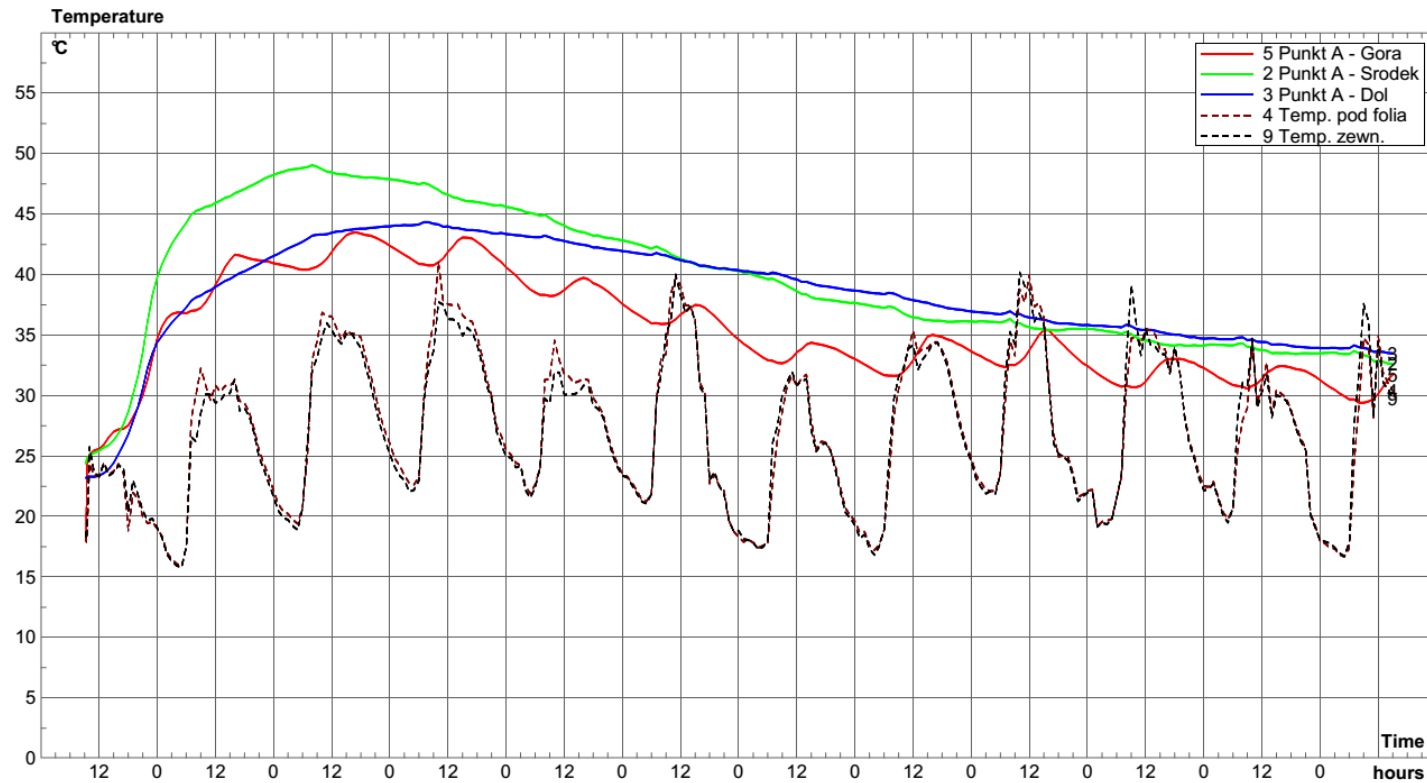


Centrum Kongresowe w Krakowie – Płyta fundamentowa





Przykładowy przebieg rozkładu temperatury w przekroju płyty w pierwszym tygodniu dojrzewania



Kontrola rzeczywistej wytrzymałości betonu w pierwszych dniach dojrzewania w płycie





Dziękuję za uwagę!