

**STRABAG**

**TPA**



Politechnika  
Śląska



**UCZELNIA  
BADAWCZA**  
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



Wydział  
Budownictwa

# INNOWACYJNY MONITORING BETONU NA PRZYKŁADZIE BUDOWY MOSTU NAD RZ. ODRA W RACIBORZU

dr inż. Piotr LWIŃSKI  
dr inż. Jakub KRZĄKAŁA  
inż. Grzegorz GRZĄDZIELA

## X Międzynarodowa Konferencja

Śląskie Forum Drogownictwa

---

Szczyrk, 12-14czerwiec 2024 r.



# Budowa Obwodnicy Raciborza

2

Regionalna Droga  
Racibórz - Pszczyna



# Budowa Obwodnicy Raciborza

Inwestor



3

Jednostka



Generalny

**STRABAG**



**STRABAG**

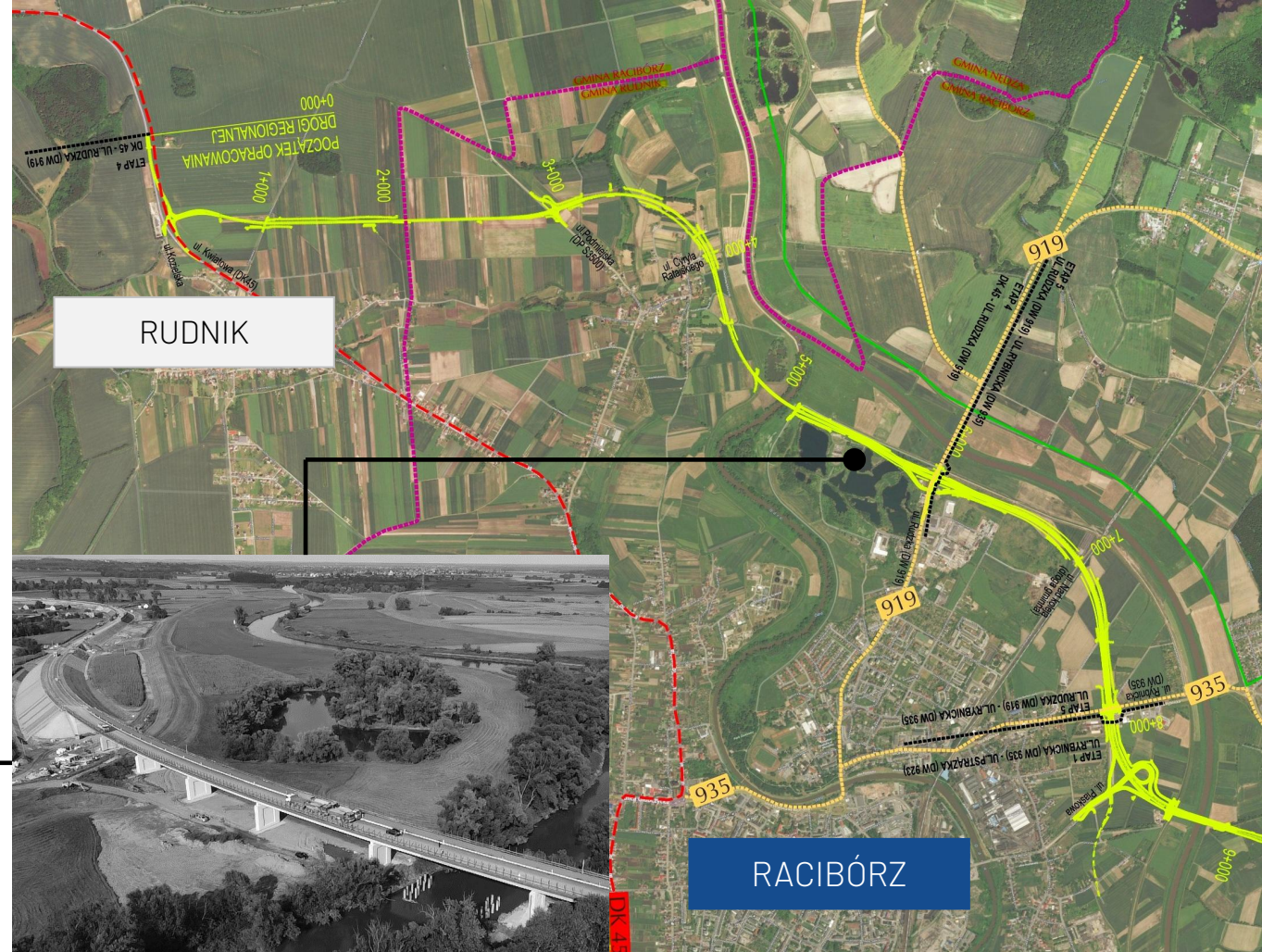
**TPA**

X Międzynarodowa  
Konferencja

Śląskie Forum Drogownictwa



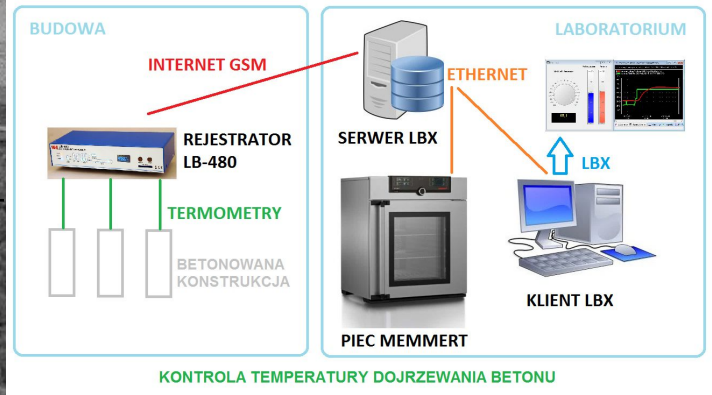
# Budowa Obwodnicy Raciborza







Most MG-1  
Innowacyjny monitoring betonu



Politechnika Śląska



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DOBROCI

**STRABAG**

**T P A**

X Międzynarodowa  
Konferencja

Śląskie Forum Drogownictwa



# Cele badawcze



6 **Wpływ kruszywa**  
 $E_{cm}(t)$



**Wpływ ciepła wiązania**  
 $f_{cm}(t)$



**Procedura badawcza**  
*Własna metoda*

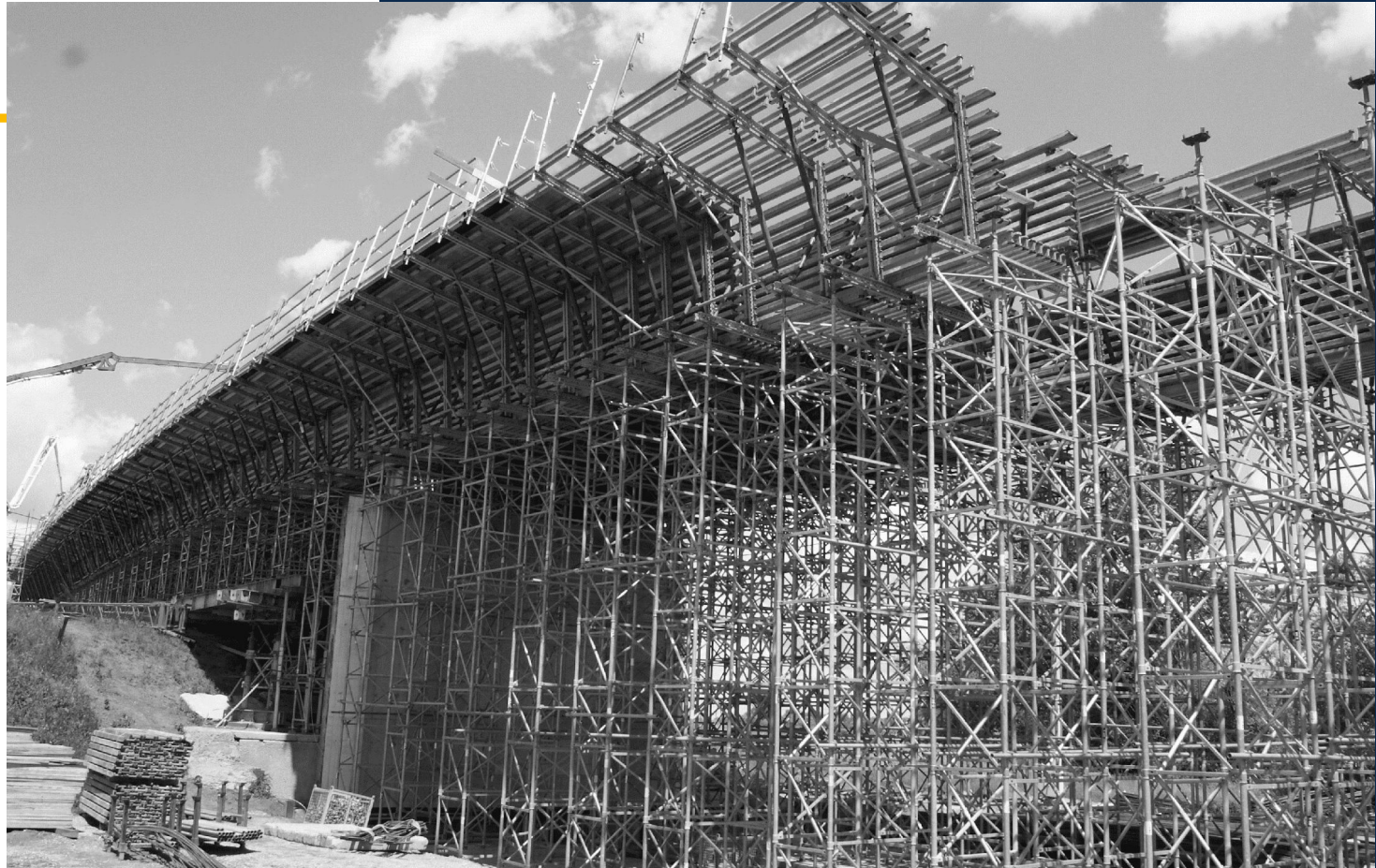




# Odkształcalność betonu

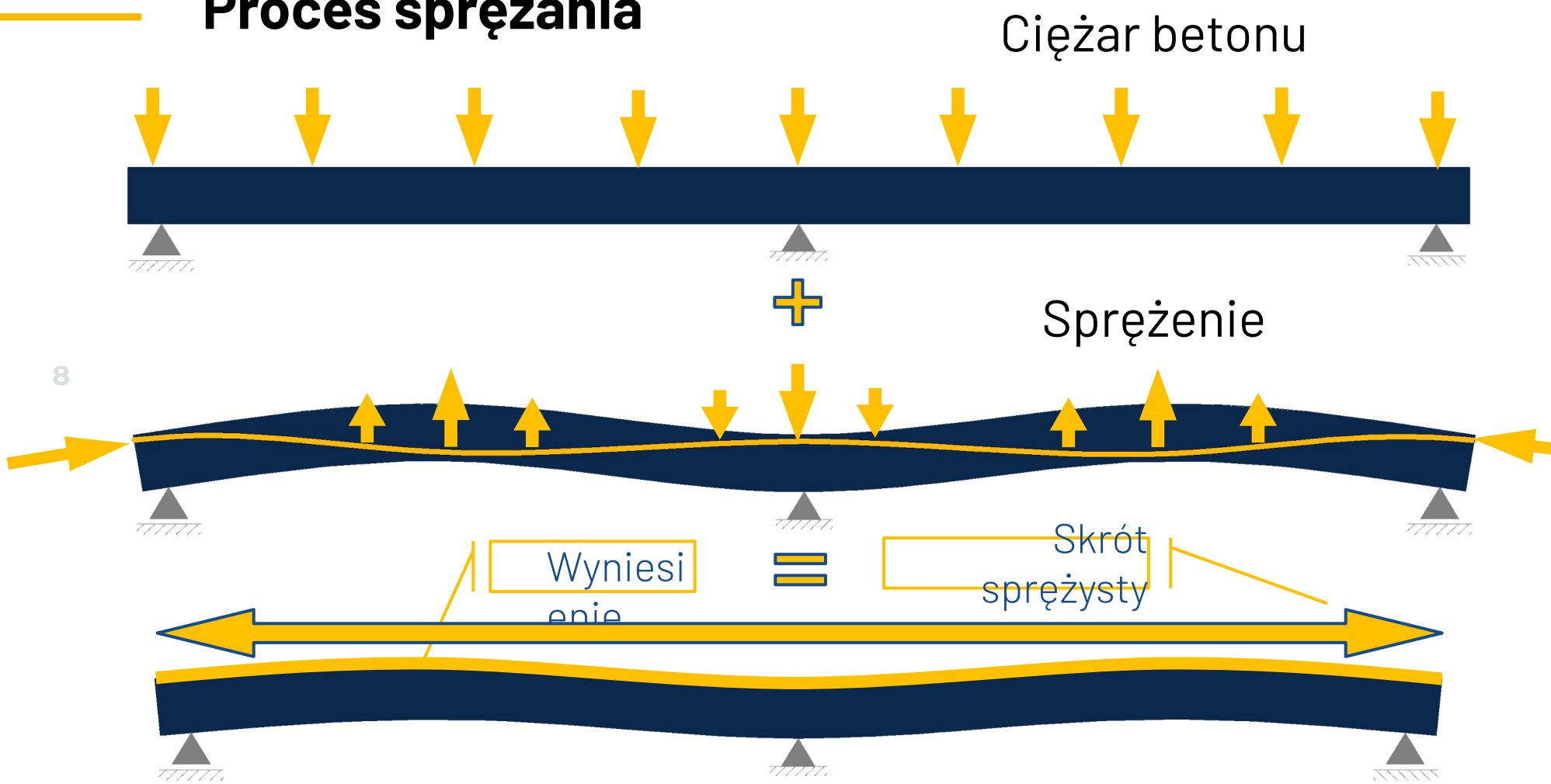
7

w budowie mostów  
sprężonych



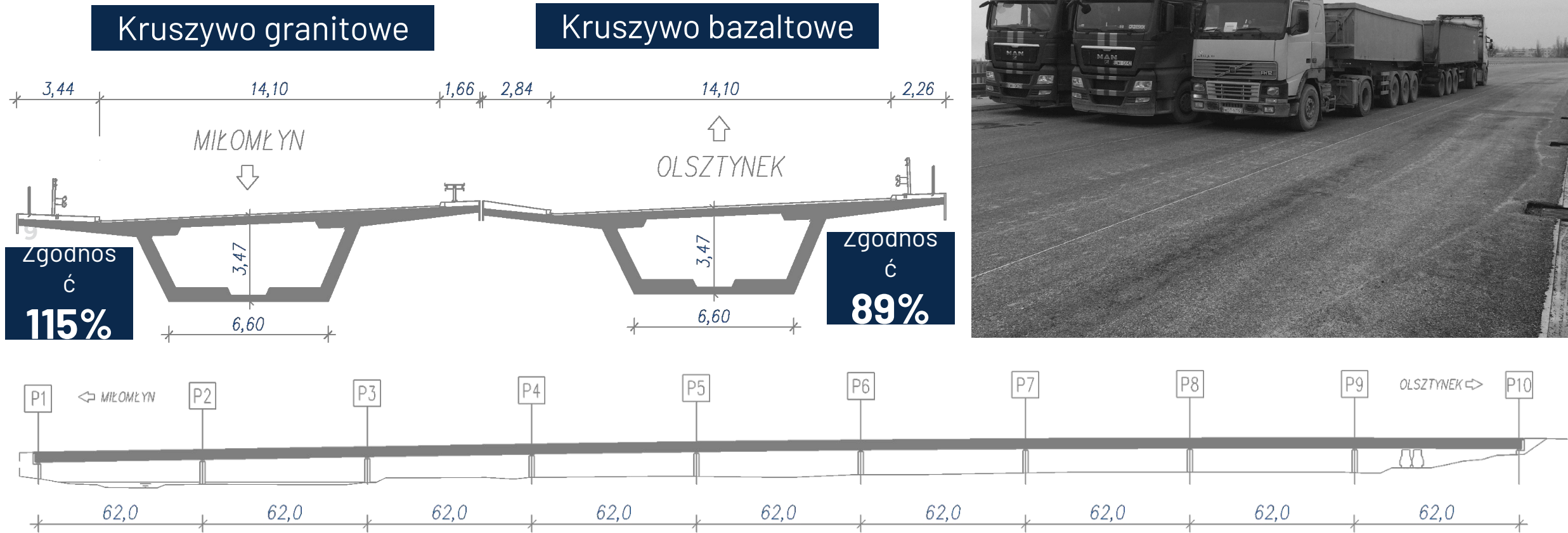


# Proces sprężania



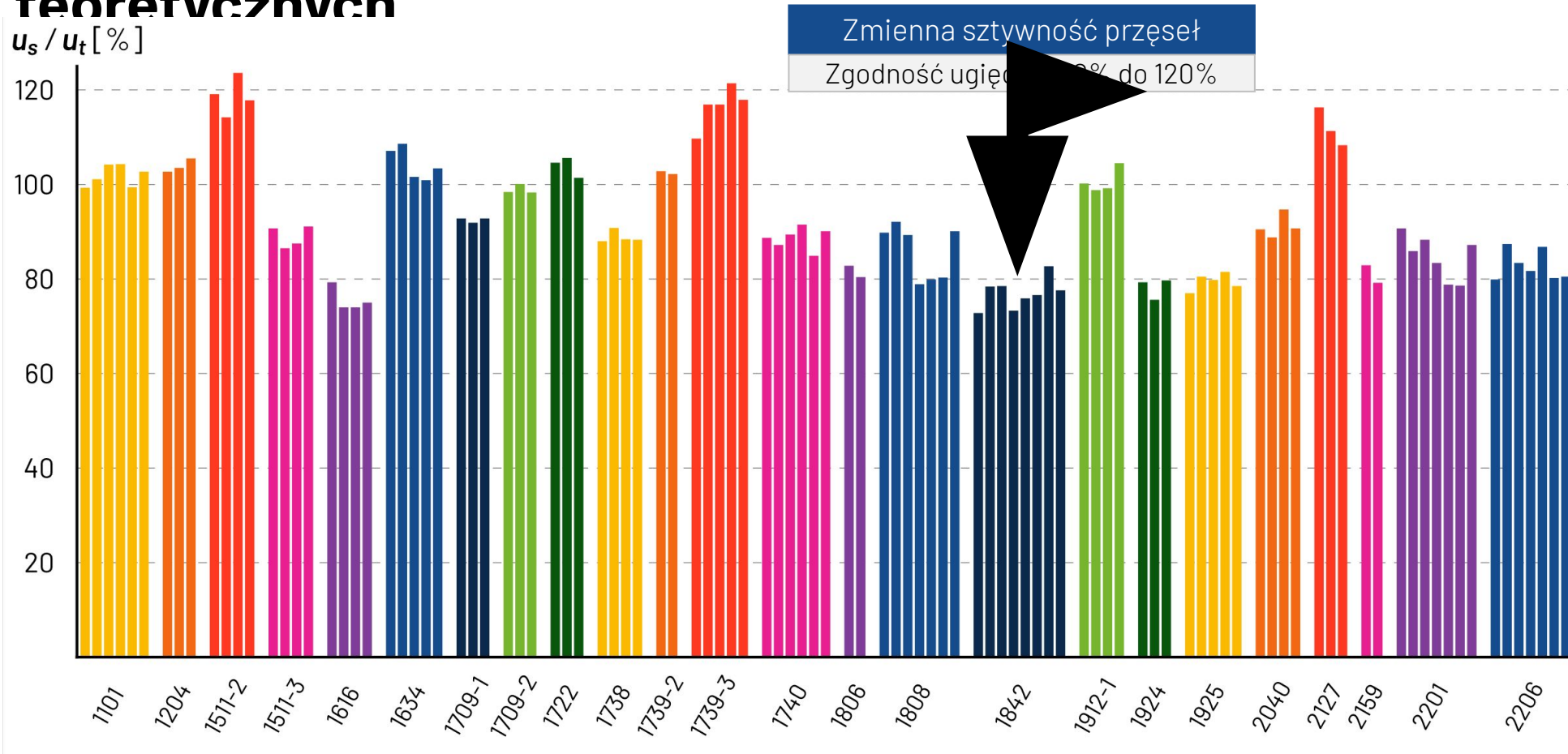


# Most-6B w ciągu drogi S7 / Ostróda





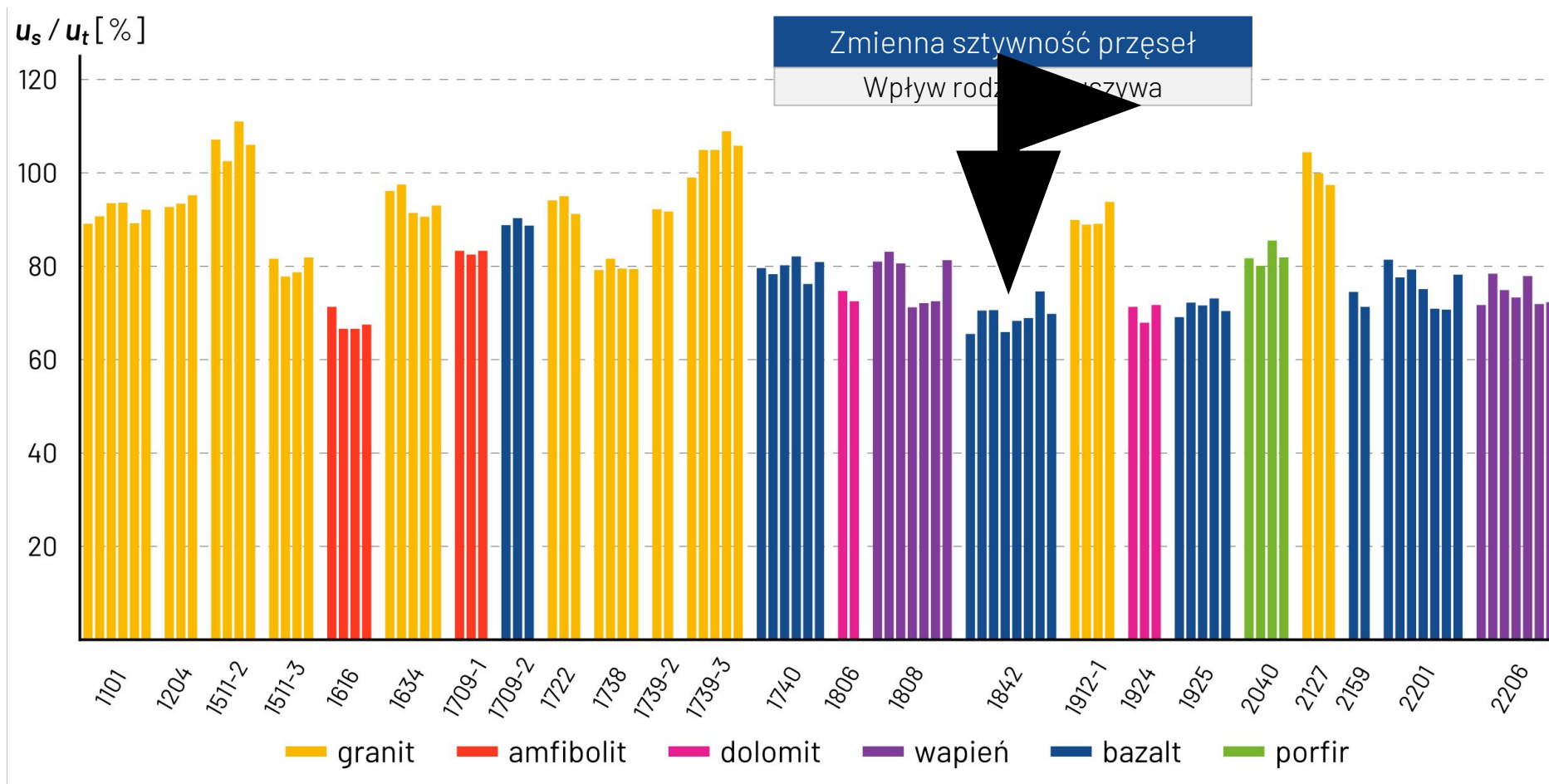
# Wyniki próbnych obciążeń z relacją ugięć sprężystych do teoretycznych



10



# Wyniki próbnych obciążeń z wyszczególnieniem rodzaju kruszywa

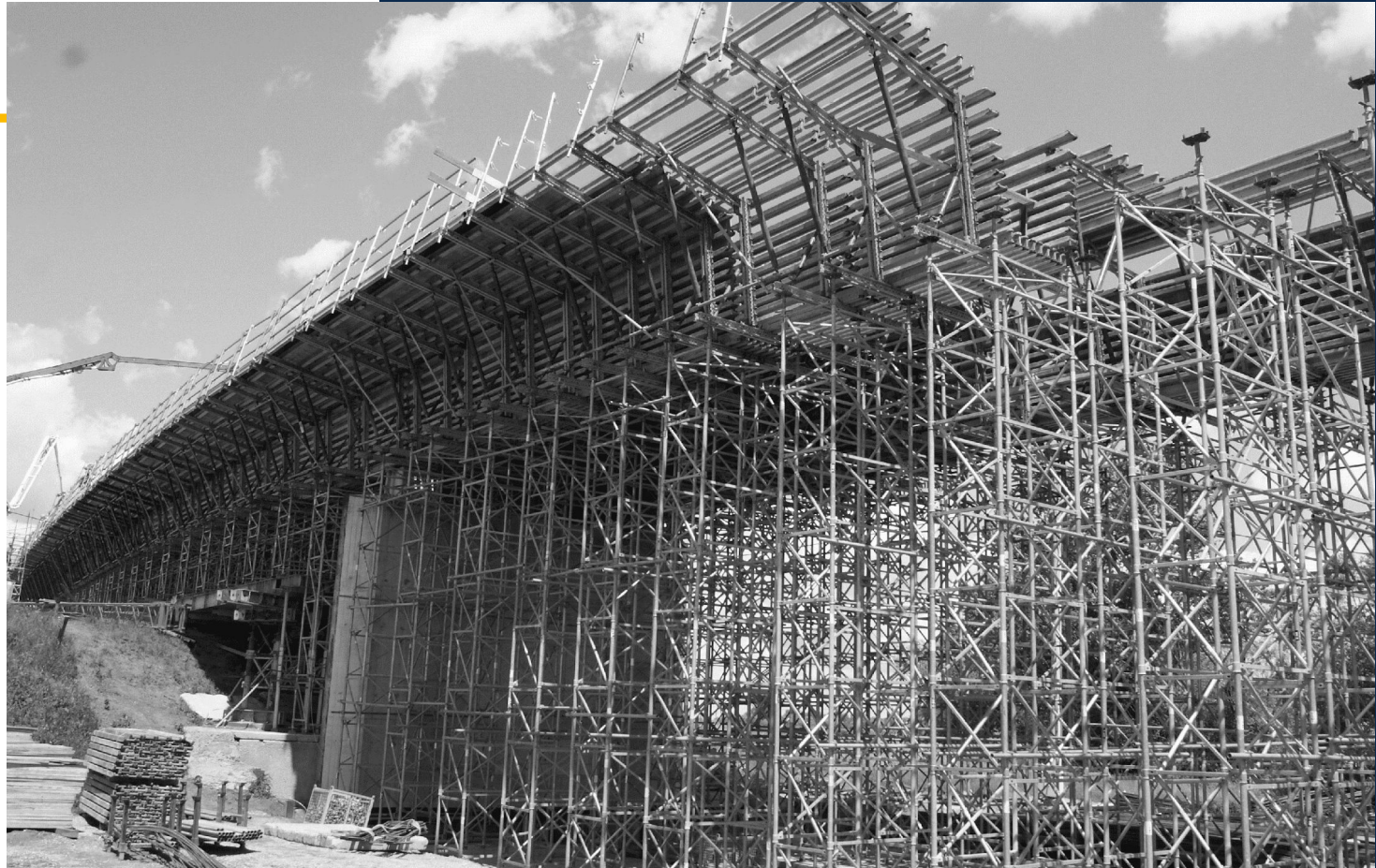




# Normatywy

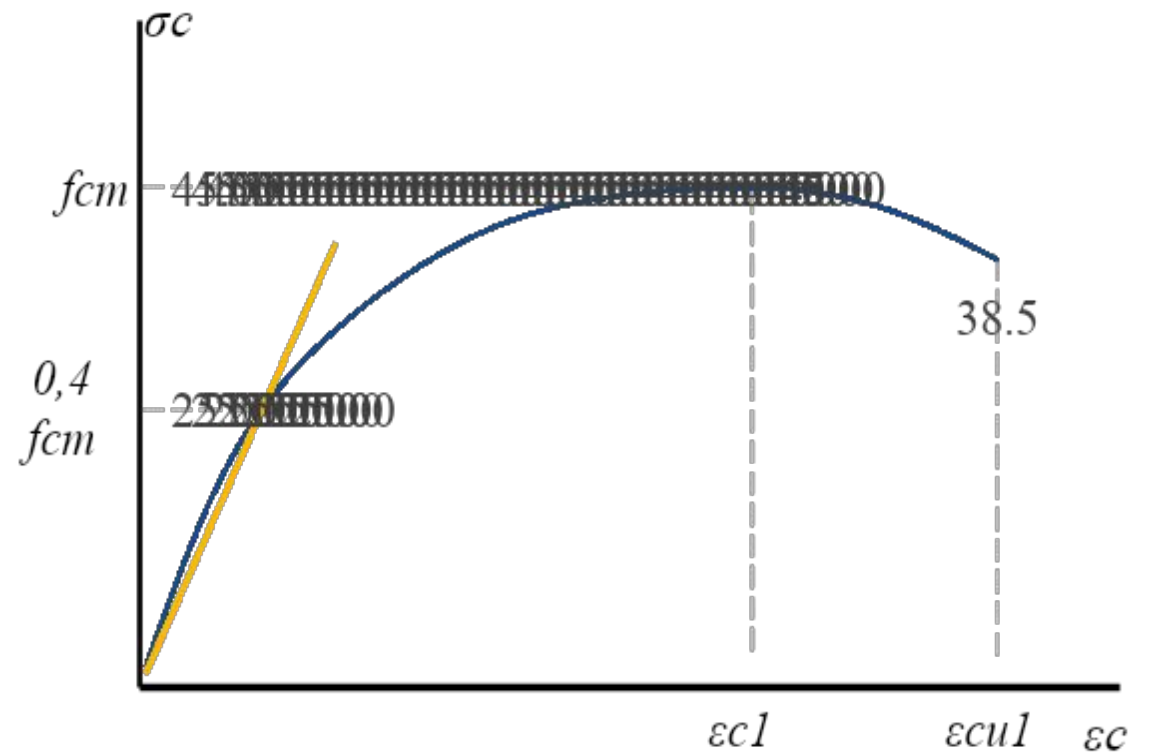
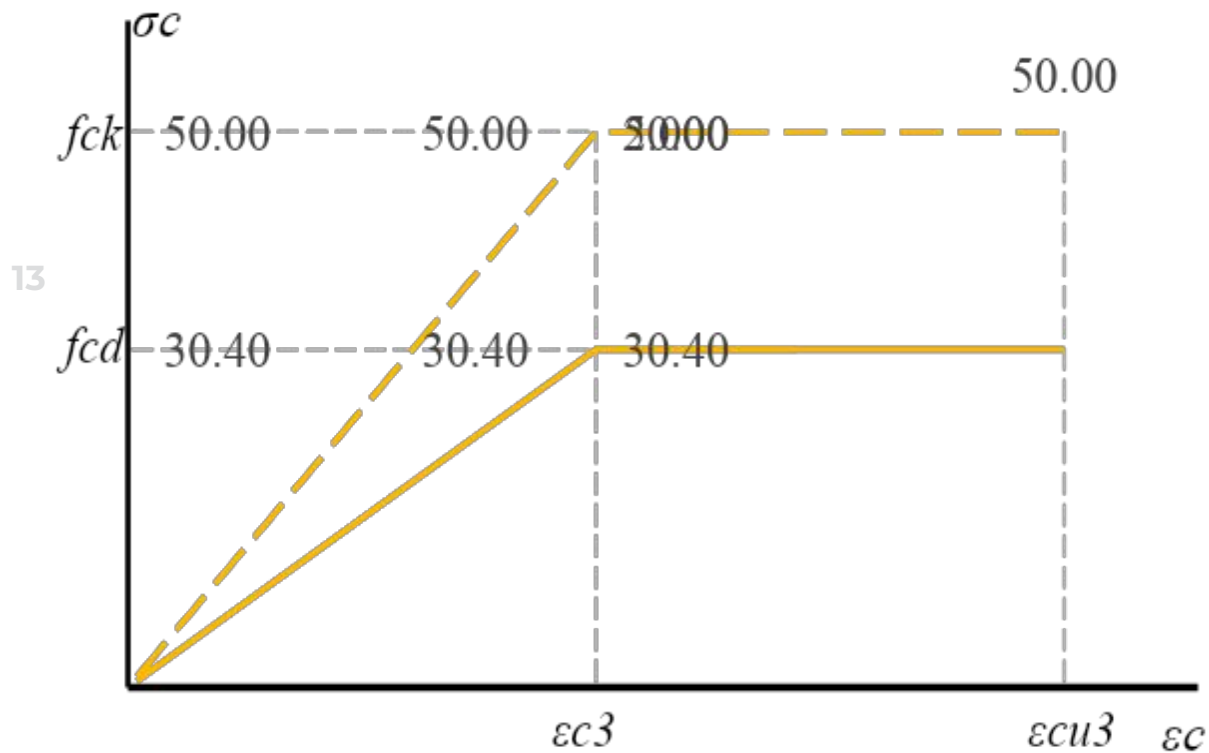
12

Uwzględnienie badań  
własnych





# Uproszczona zależność naprężenie – odkształcenie betonu zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1



# Zestawienie wartości współczynnika



$$E_{cm} = 22 \cdot (0,1 \cdot f_{cm})^{0,3} \cdot \alpha_E \quad [GPa]$$

## 2. Według badań własnych

Rodzaj kruszywa	$\alpha_E$
Bazalt	1,20 [9], 1,20 [11], 1,20 [1], 1,20 [13] 1,10 [14], 0,95 [15]
Wapień	0,90 [9], 1,20 / 0,90 [11], 1,20 [13] 1,10 / 0,90 [14], 1,20 [15]
Dolomit	1,20 [13]
Amfibolit	1,20 [13]
Gabro	1,00 [badania własne]
Kwarcyt	1,00 [9], 1,00 [11], 1,15 [1], 1,10 [14], 0,95 [15]
Granit	0,80 / 1,00 [16], 0,80 / 1,00 [13], 0,80 [17] 1,10 [1], 0,90 [14]
Piaskowiec	0,70 [9], 0,70 [11], 0,60 [1], 0,70 [14]

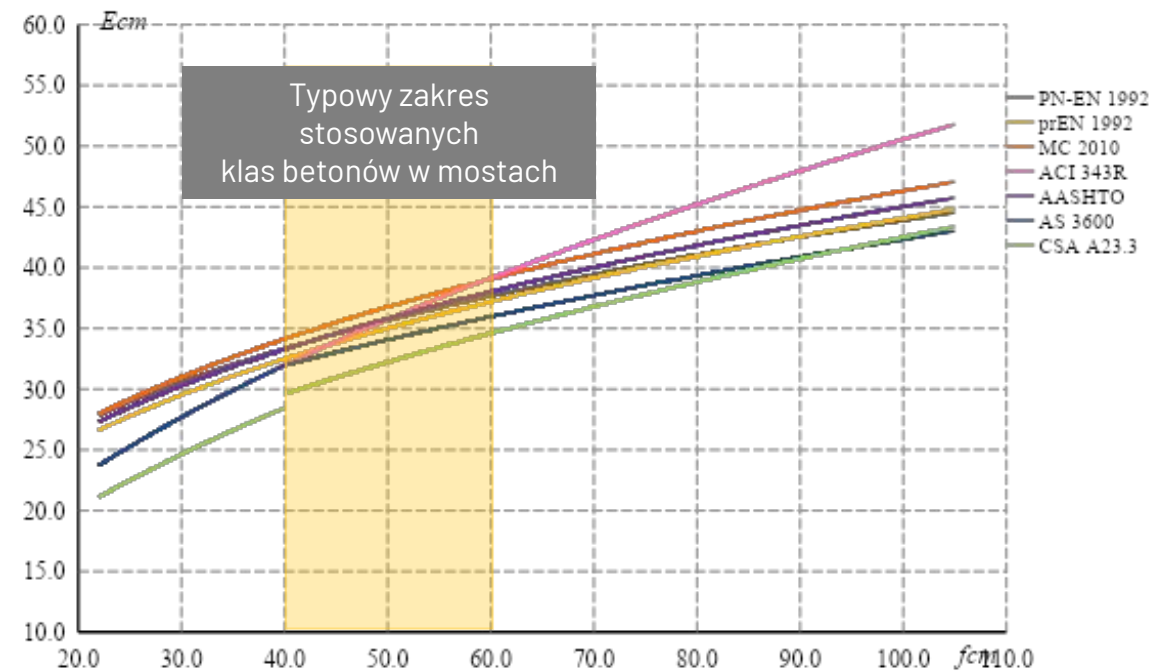
## 14 1. Według dokumentu fib Model Code 2020

Rodzaj kruszywa	$\alpha_E$
Kruszywa o wysokim module, np. bazalt	1,20
Kruszywa o zwykłym module, np. kwarcyt	1,00
Kruszywa o niskim module, np. piaskowiec	0,70



# Odkształcalność betonu w normatywach (SI)

1. Stosowane normatywy zwracają uwagę na zasadność określania odkształcalności betonu laboratoryjnie.
2. Dostrzeżony jest fakt istotnych różnic modułu w zależności od stosowanych kruszyw.
3. Nie ma informacji o konieczności uwzględniania wpływu ciepła wiązania betonu na jego cechy mechaniczne oraz sposobu pielęgnacji próbek.
4. Autorzy wraz z firmą STRABAG i TPA przeprowadzili szereg badań podczas budowy obiektów mostowych w celu identyfikacji odkształcalności betonu.
5. Na tej podstawie utworzono opis procedury wraz z wynikami badań.



Norma amerykańska **ACI 343R**  $E_{cm} = \rho_c^{1.5} 0,0428 \sqrt{f_{cm}}$  [MPa]

Wytyczne amerykańskie **AASHTO**  $E_{cm} = 0,00171 K_1 \rho_c^2 f_{cm}^{0,33}$  [MPa]

Norma australijska **AS 3600**  $E_{cm} = \rho_c^{1,5} (0,024 \sqrt{f_{cm}} + 0,12)$  [MPa]

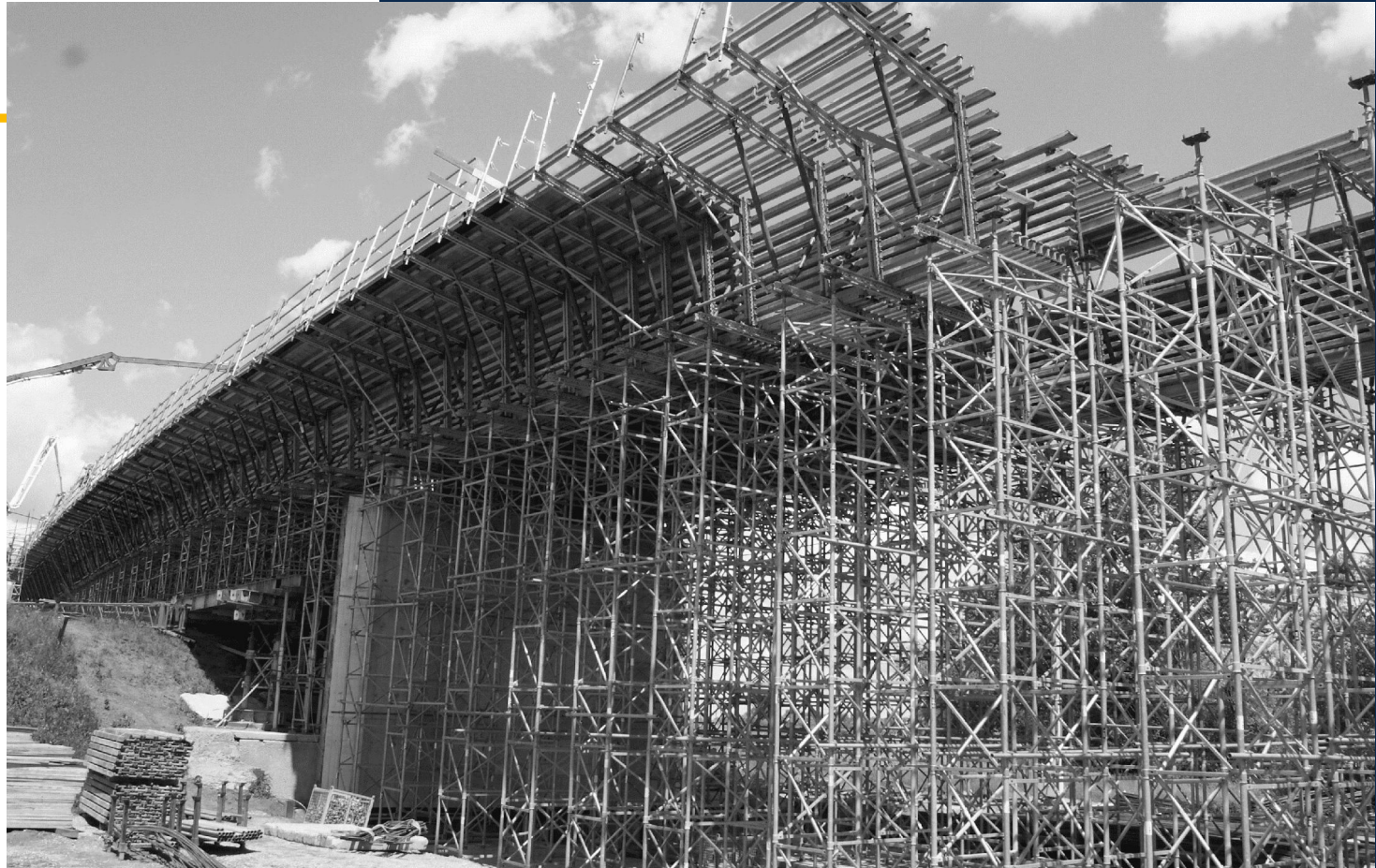
Norma kanadyjska **CSA A23.3**  $E_{cm} = 4\,500 \sqrt{f_{cm}}$  [MPa]



# Własna metoda badań

16

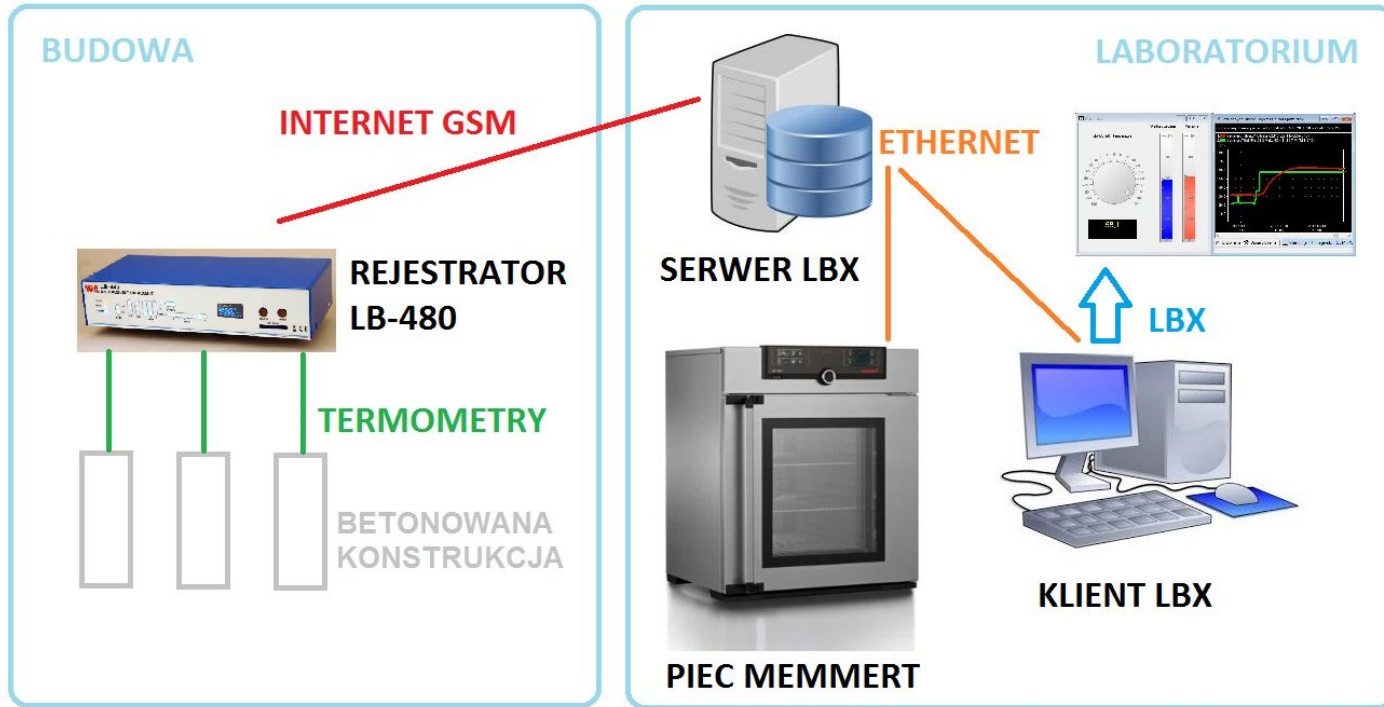
Uwzględnienie ciepła  
wiązania





# System monitorowania temperatury

17



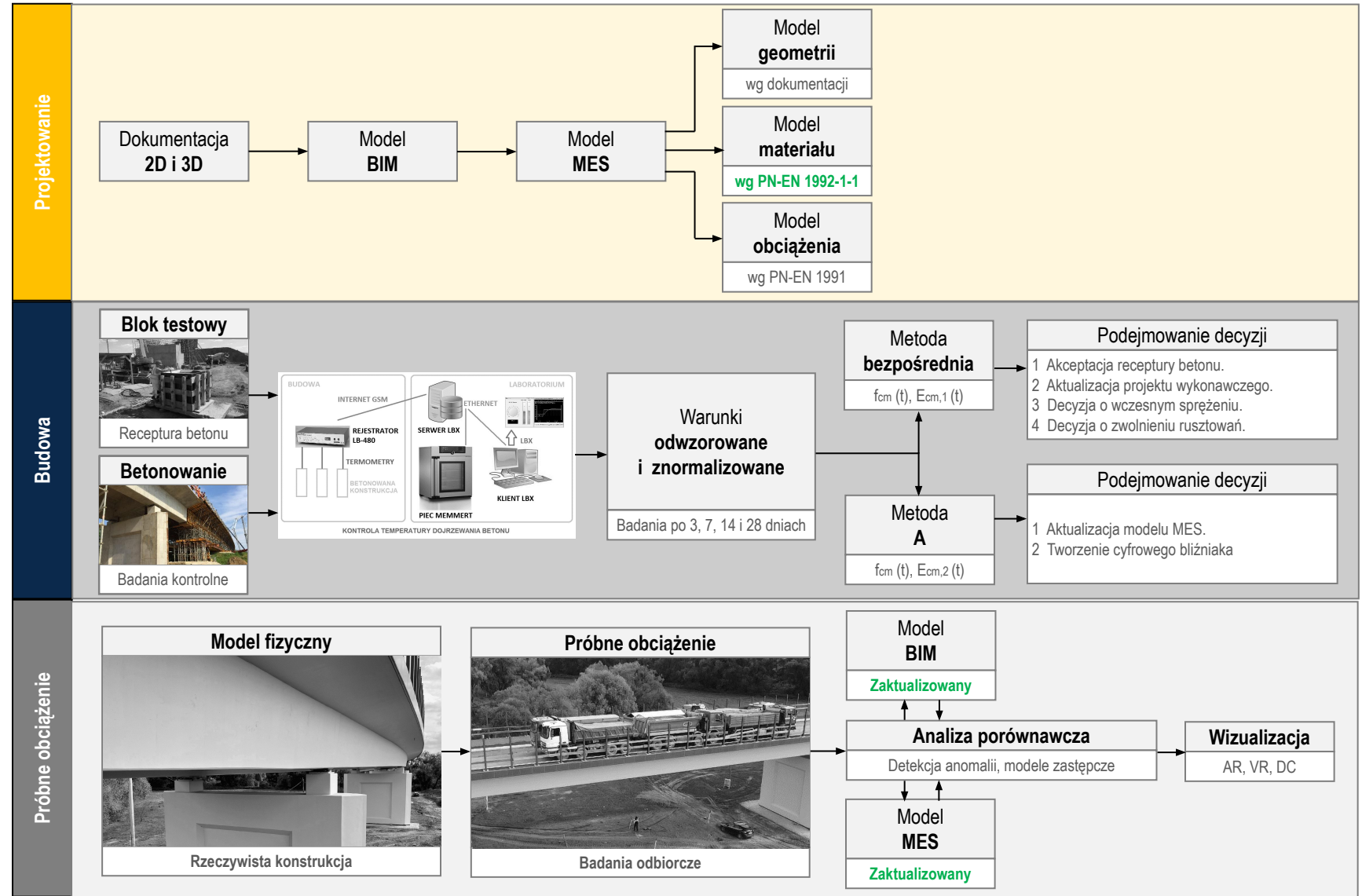
KONTROLA TEMPERATURY DOJRZEWANIA BETONU







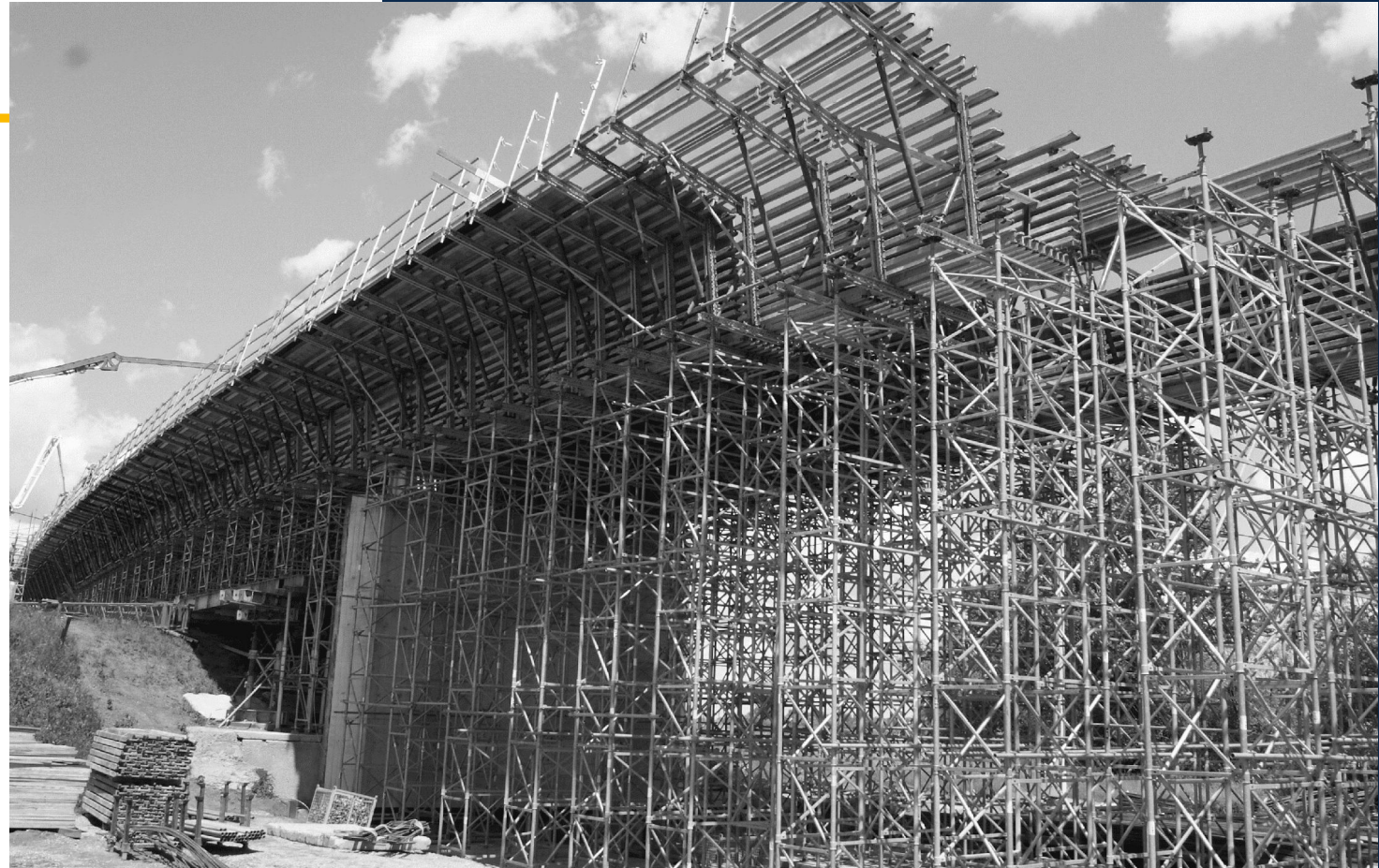
# Schemat identyfikacji



# Wyniki badań

20

Budowa obwodnicy Raciborza



Politechnika  
Śląska



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INIICYATYWA DOBROKALOŚCI

**STRABAG**

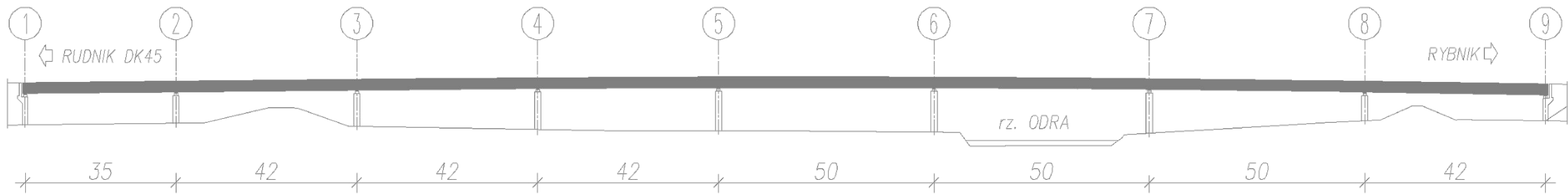
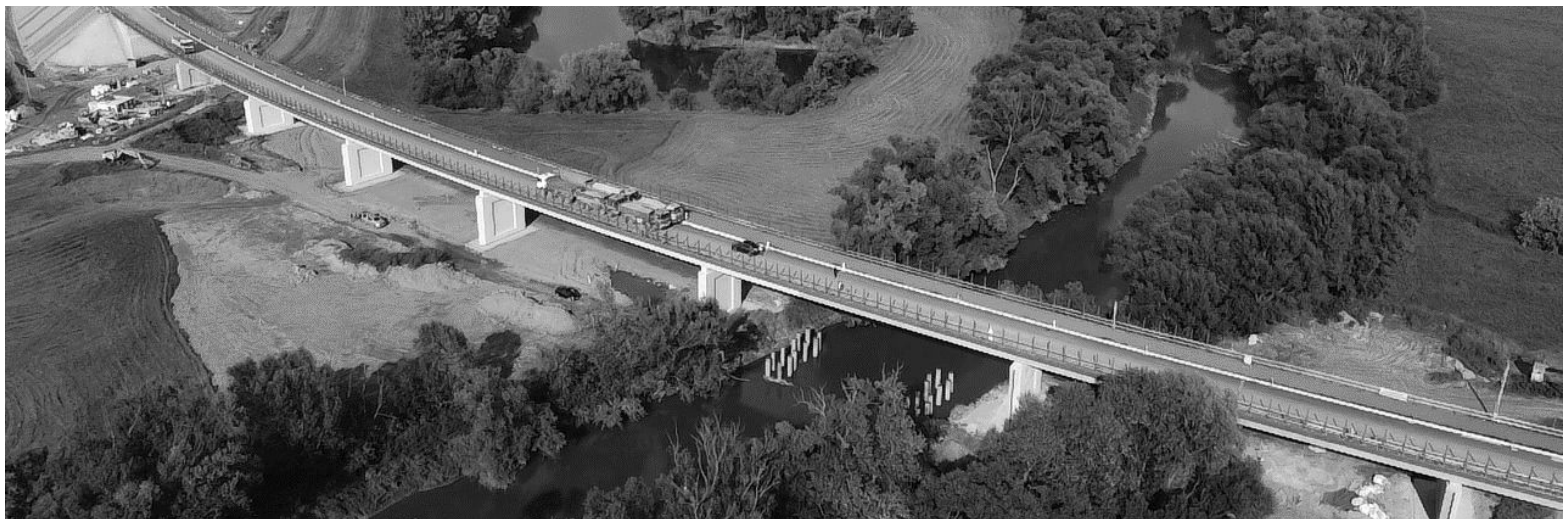
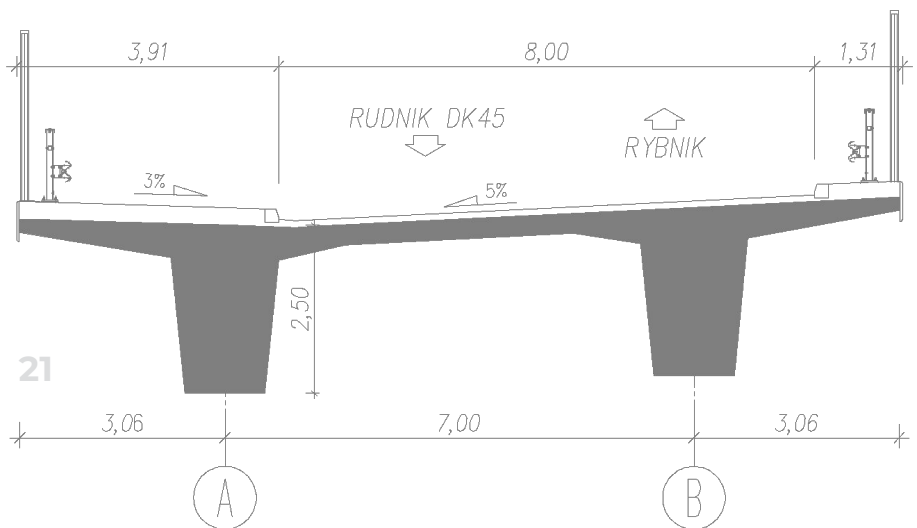
**T P A**

X Międzynarodowa  
Konferencja

Śląskie Forum Drogownictwa

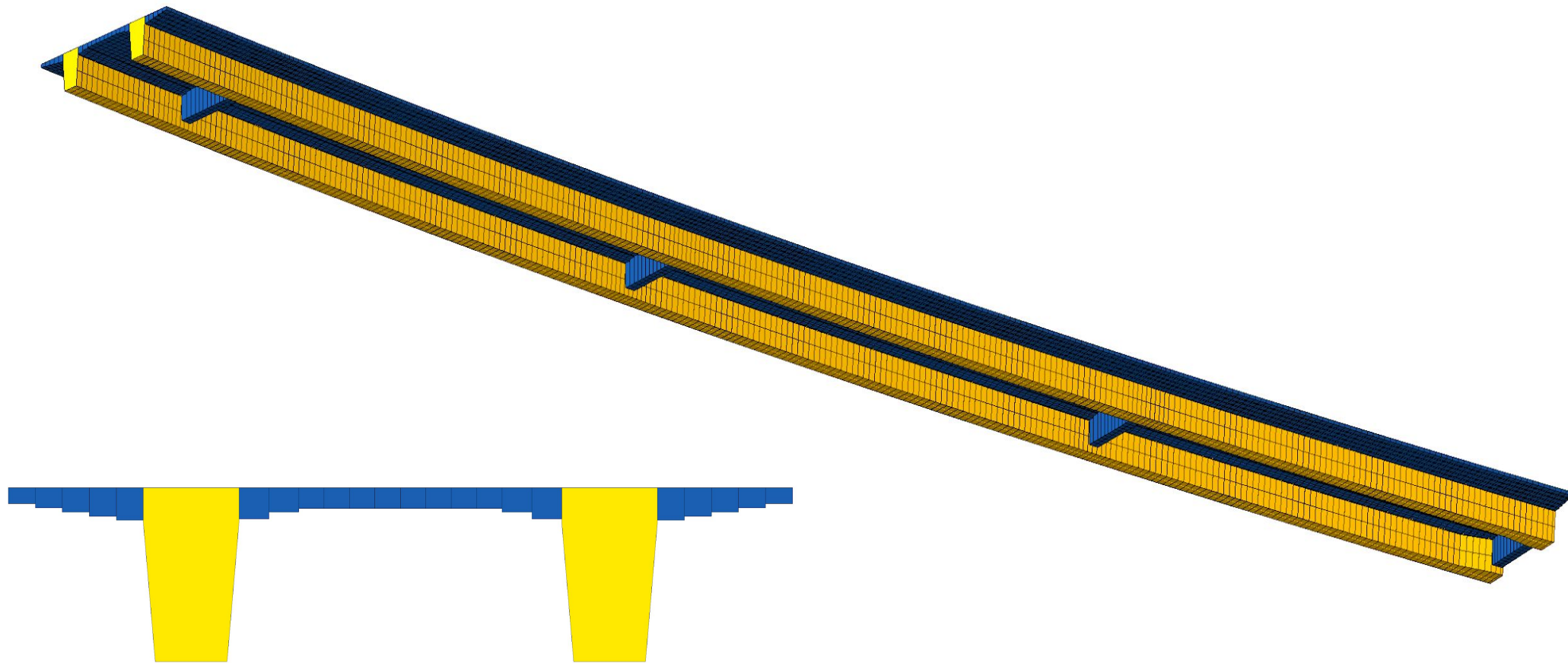


# Obiekt MG-1 na obwodnicy Raciborza



# Wizualizacja modelu MES klasy

(1, 2, 3)



22



Politechnika  
Śląska



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INIICYATYWA DOSKONALOŚCI

**STRABAG**

**T P A**

X Międzynarodowa  
Konferencja

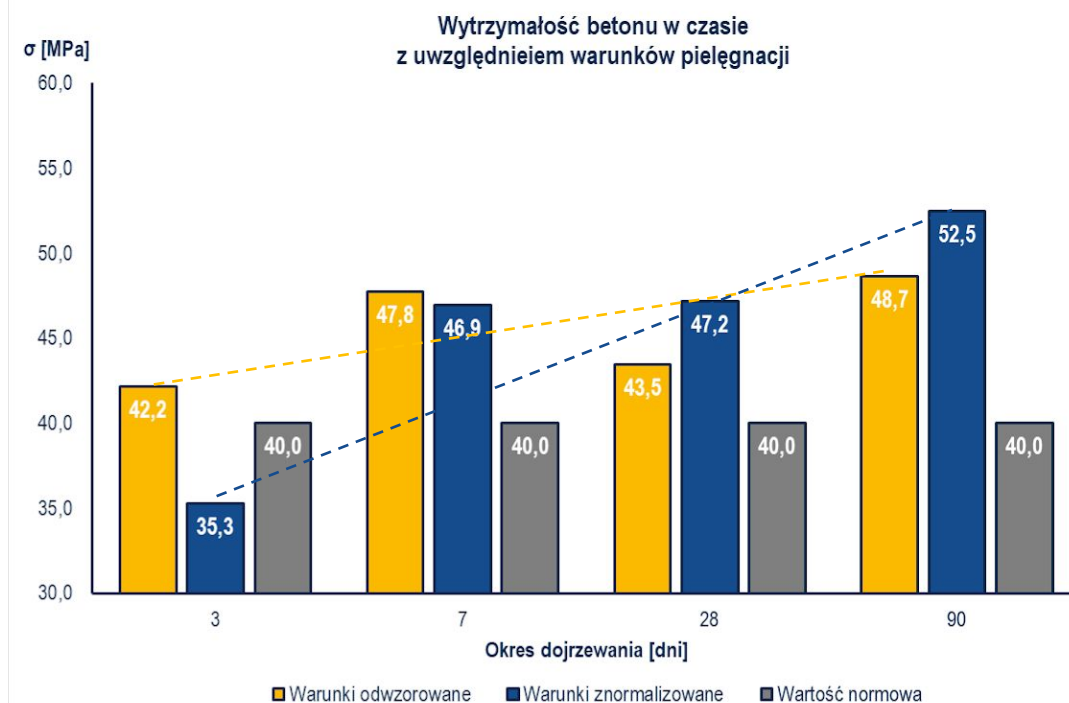
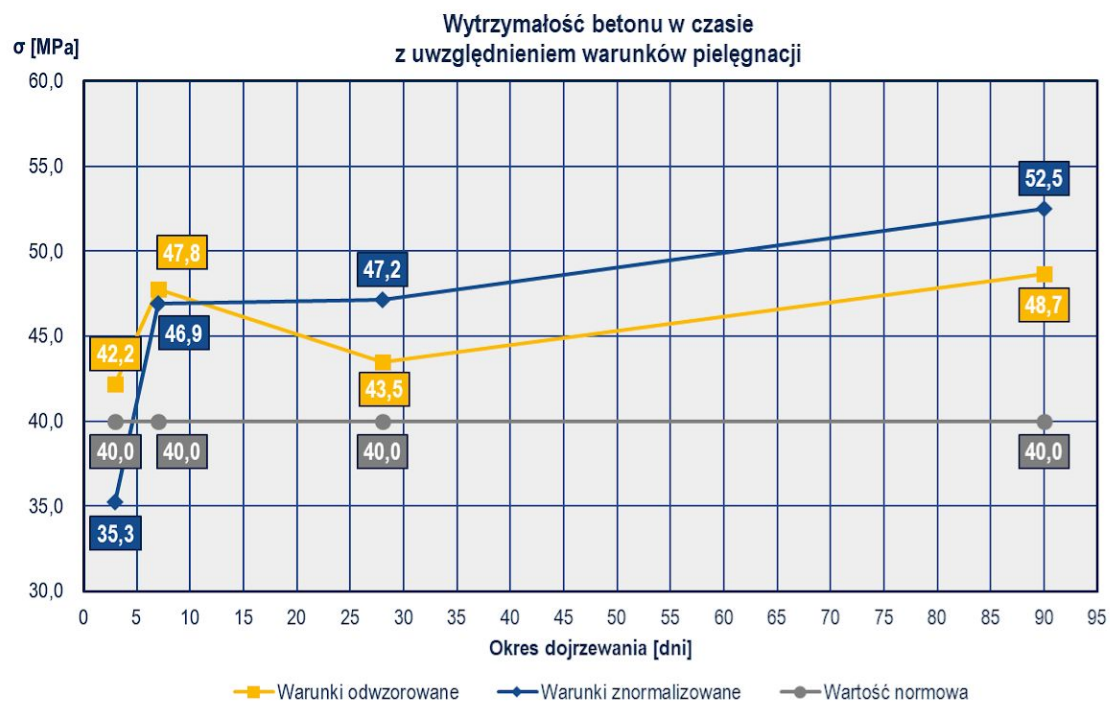
Śląskie Forum Drogownictwa



# Wyniki badań z bloku testowego wytrzymałości betonu



23

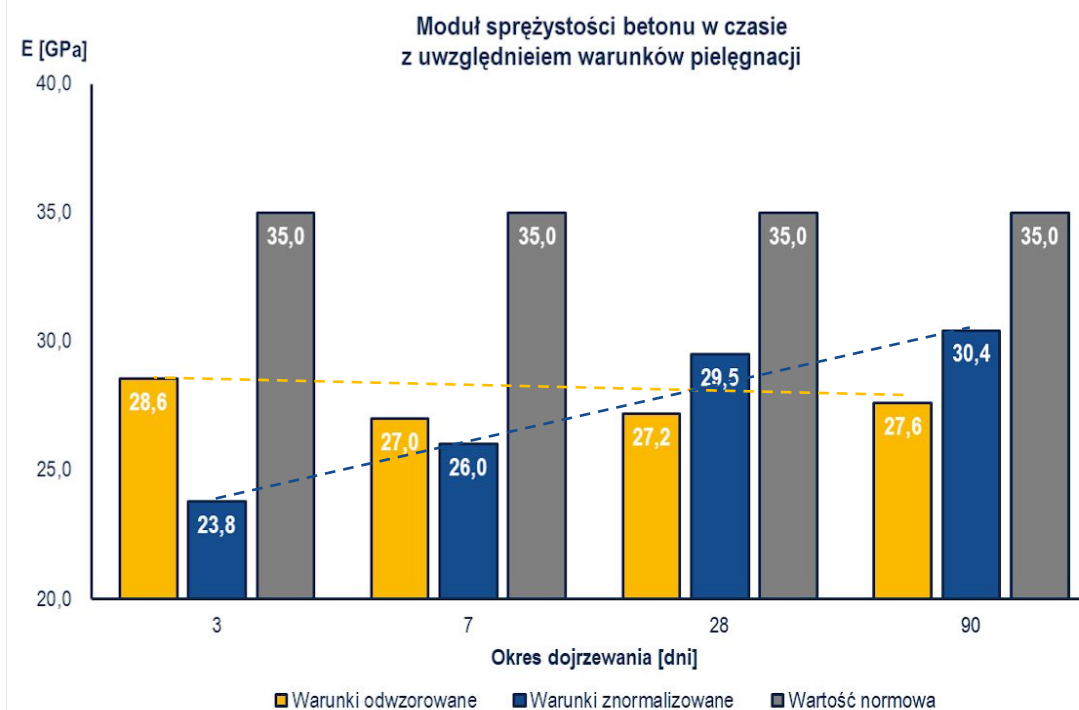
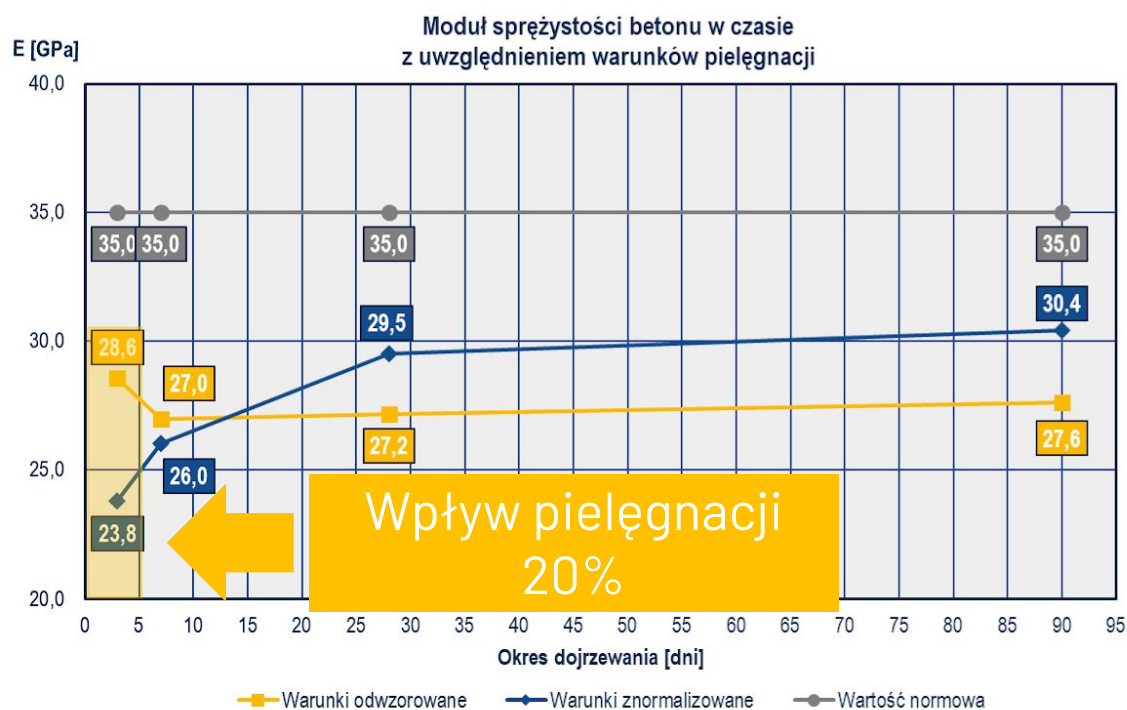


# Wyniki badań z bloku testowego

## Modułu sprężystości

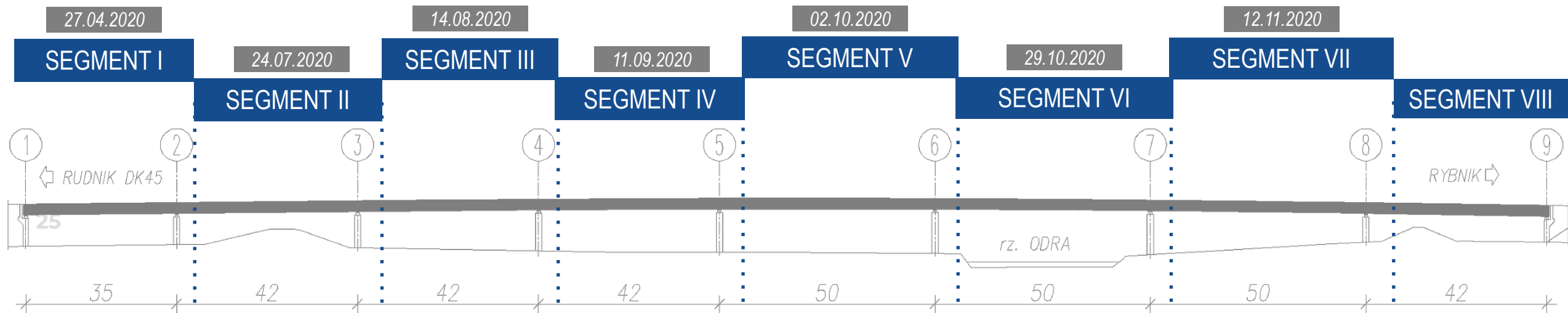


24



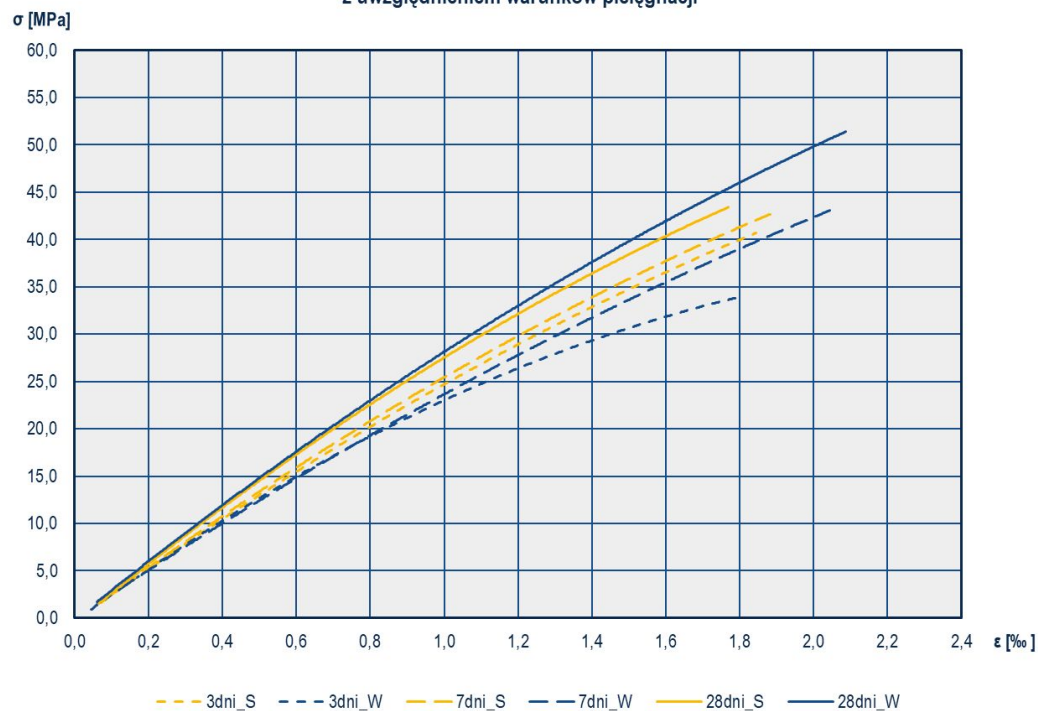


# Podział na segmenty podczas betonowania przęseł obiektu MG-1

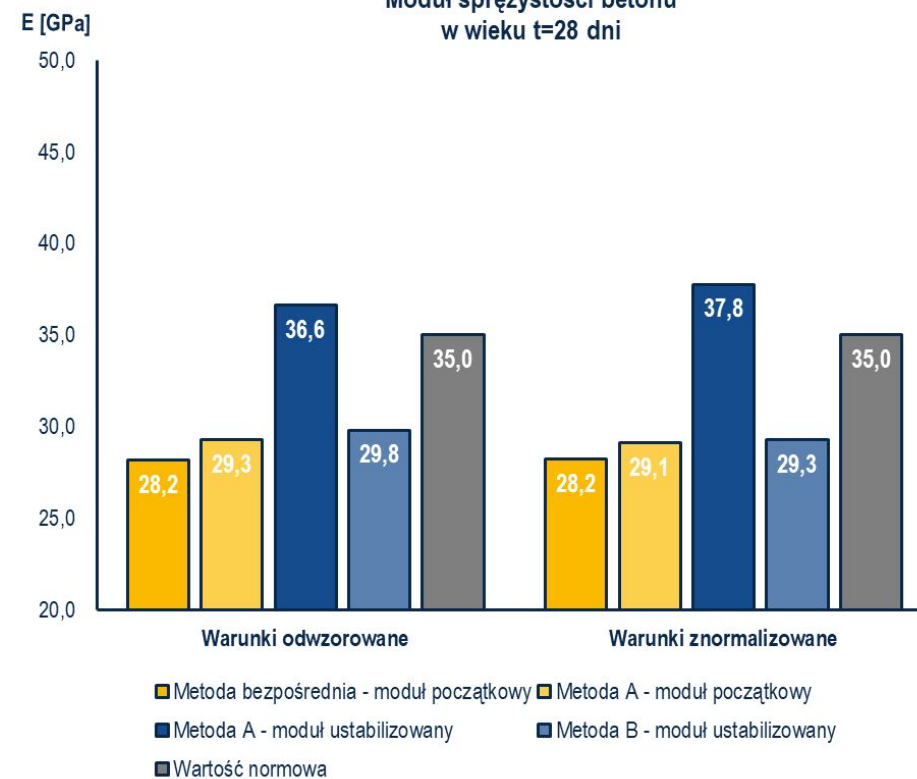


# Przykładowe wyniki dla segmentu V

Wykres zależności naprężenie - odkształcenie  
betonu w czasie  
z uwzględnieniem warunków pielęgnacji



Moduł sprężystości betonu  
w wieku  $t=28$  dni





# Analiza sztywność przęseł

Schemat	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Przęsło	1		2		3		4		5		6		7		8	
Punkt	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5	A6	B6	A7	B7	A8	B8
<i>Przemieszczenia całkowite</i>	2,74	5,40	4,84	5,62	3,69	7,17	3,48	7,11	7,91	9,23	7,03	12,28	6,48	11,22	4,74	8,38
<i>Ugięcia trwałe</i>	0,18	0,19	0,17	0,13	0,14	0,35	0,03	0,08	0,01	0,45	-0,23	0,18	0,34	0,57	0,10	0,15
<i>Ugięcia sprężyste</i>	2,56	5,21	4,67	5,49	3,55	6,82	3,45	7,03	7,90	8,78	7,03	12,10	6,14	10,65	4,64	8,23
<i>Ogięcia obliczeniowe</i>	2,11	6,11	4,65	5,92	2,95	7,88	3,09	8,06	8,27	10,21	5,96	13,33	5,92	13,31	4,48	10,61
<i>Trwałe / Całkowite</i>	7%	4%	4%	2%	4%	5%	1%	1%	0%	5%	0%	1%	5%	5%	2%	2%
<b>Analiza sztywności giętej</b>																
<i>Sprężyste / Obliczeniowe</i>	121%	85%	100%	93%	121%	87%	112%	87%	95%	86%	118%	91%	104%	80%	103%	78%
<i>Średnia sztywność gięta</i>	103%		97%		104%		99%		91%		104%		92%		91%	
<i>Średnia całkowita</i>	<b>98%</b>															



Wpływ wyposażenia  
15%

## Wnioski

- Metoda identyfikacji odkształcalności betonu zweryfikowana podczas budowy
- W fazie I określanie modułu metodą bezpośrednią na próbkach pielęgnowanych w warunkach odwzorowanych
- W fazie II określanie modułu metodą A na próbkach pielęgnowanych w warunkach odwzorowanych

28



**STRABAG**

**TPA**



Politechnika  
Śląska



**UCZELNIA  
BADAWCZA**  
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



Wydział  
Budownictwa



# METODA IDENTYFIKACJI ODKSZTAŁCALNOŚCI BETONU W PROCESIE BUDOWY MOSTÓW

dr inż. Piotr ŁAZIŃSKI  
mgr inż. Jakub KRZĄKAŁA  
inż. Grzegorz GRZĄDZIELA

## X Międzynarodowa Konferencja

Śląskie Forum Drogownictwa

---

Szczyrk, 12-14czerwiec 2024 r.