



UCZELNIA
BADAWCZA
inicjatywa doskonałości



Politechnika
Śląska

STRABAG

T P A

Innowacyjny monitoring betonu na przykładzie budowy mostu nad rz. Odrą w Raciborzu

Autorzy:

dr inż. Piotr ŁAZIŃSKI / Politechnika Śląska

mgr inż. Grzegorz GRZĄDZIELA / TPA

mgr inż. Jakub KRZĄKAŁA / Politechnika Śląska

mgr inż. Bartosz KAPIAS / STRABAG



Politechnika
Śląska

STRABAG

T P A

Grzegorz GRZĄDZIELA

Piotr ŁAZIŃSKI

WPROWADZENIE



Politechnika
Śląska

STRABAG

T P A

Grzegorz GRZĄDZIELA
Piotr ŁAZIŃSKI

Beton w konstrukcji

Procedury normowe



Hydratacja cementu

Proces egzotermiczny

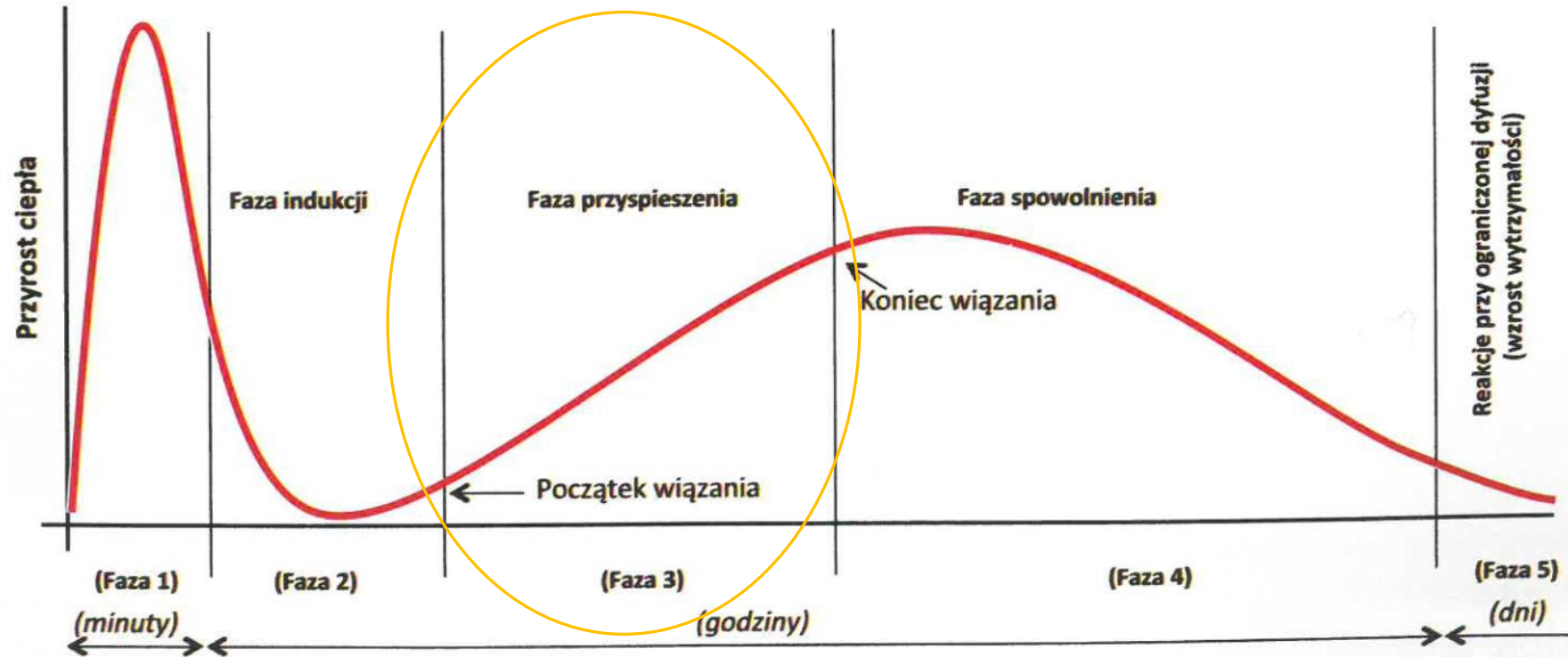
W trakcie procesu uwodnienia cementu i późniejszego twardnienia betonu wydziela się **ciepło**, które ma wpływ na:

- Odkształcenia termiczne betonu
- Tempo zmian mechanicznych cech betonu w konstrukcji



Analiza przyrostu temperatury betonu

Zmiany ciepła hydratacji betonu w pierwszych godzinach



Źródło: www.cpi-worldwide.com. Beton – pierwsze 24 godziny po wyprodukowaniu. Michael Khrapko



Politechnika
Śląska

STRABAG

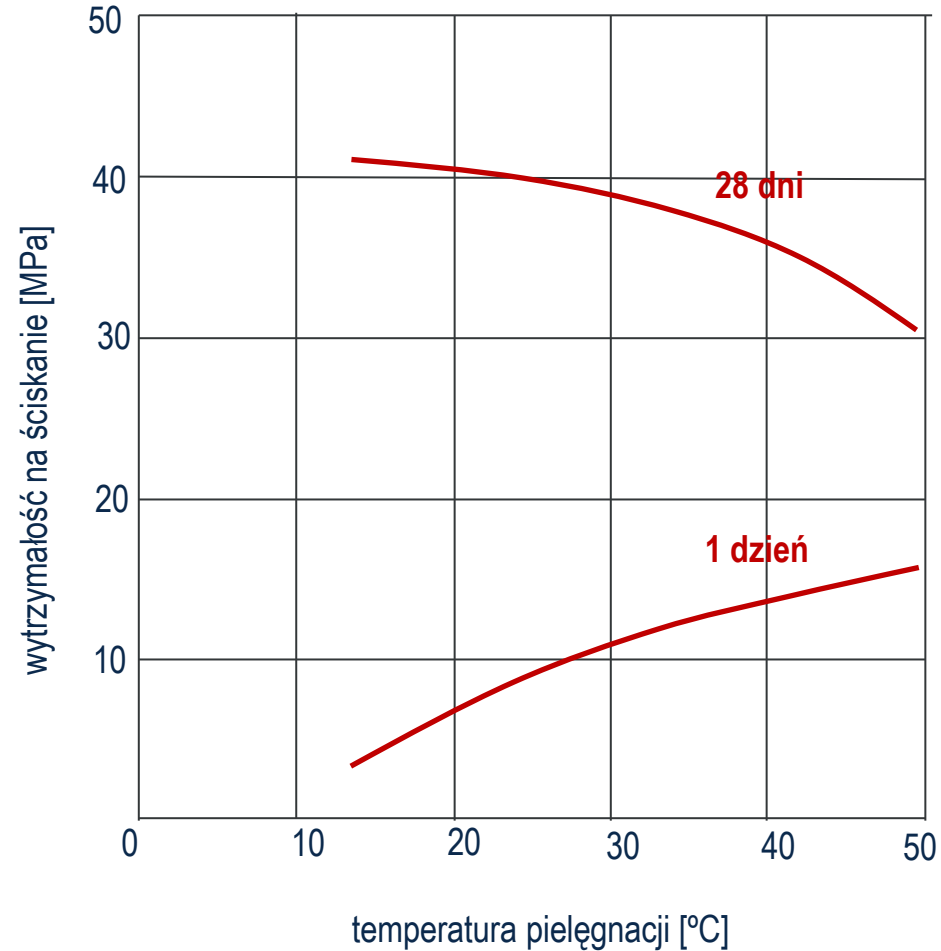
T P A

Grzegorz GRZĄDZIELA

Piotr ŁAZIŃSKI

Tempo zmian wytrzymałości betonu

Wpływ temperatury

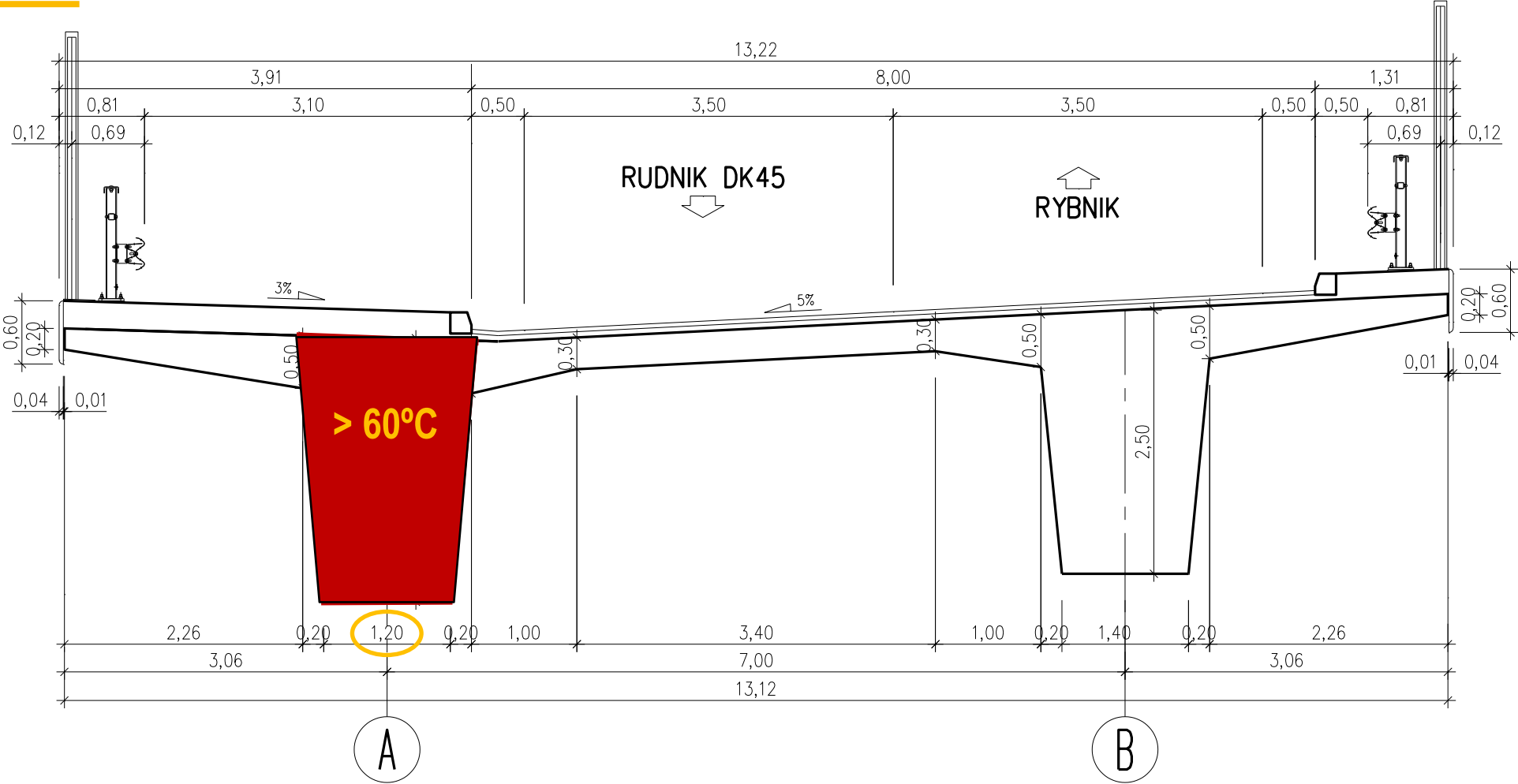


Źródło: A.M.Neville: Właściwości betonu



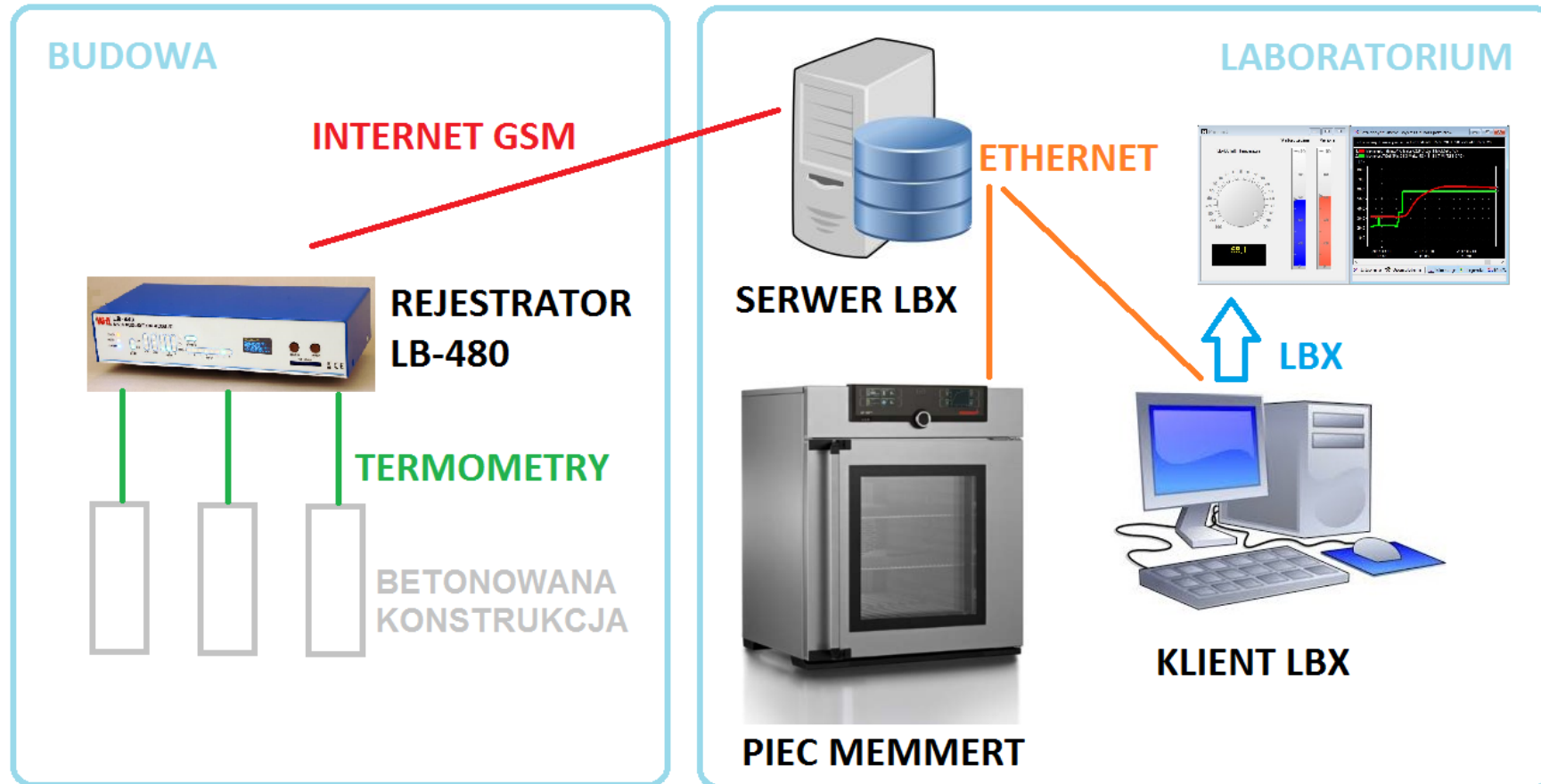
Analiza przyrostu temperatury betonu w konstrukcji

Przekrój poprzeczny ustroju nośnego obiektu MG-1



Innowacyjny system monitoringu betonu

Sposób działania



KONTROLA TEMPERATURY DOJRZEWANIA BETONU

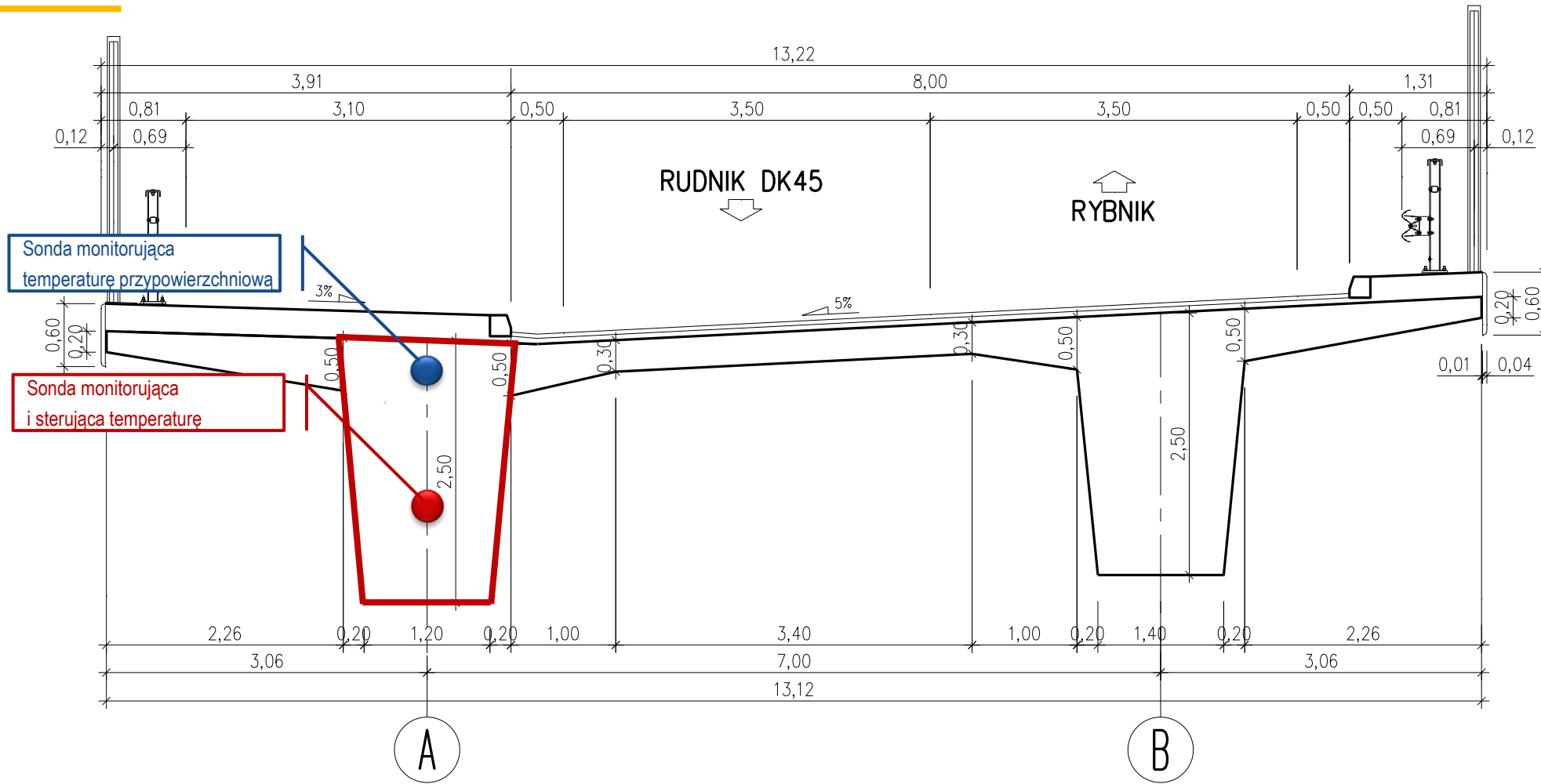
Innowacyjny system monitoringu betonu

Montaż czujników w ustroju nośnym obiektu MG-1



Odwzorowanie warunków dojrzewania betonu w konstrukcji

Przekrój poprzeczny ustroju nośnego obiektu MG-1



Odwzorowanie warunków dojrzewania betonu w konstrukcji

Sterowanie temperaturą w suszarce



Problemy wykonawcze

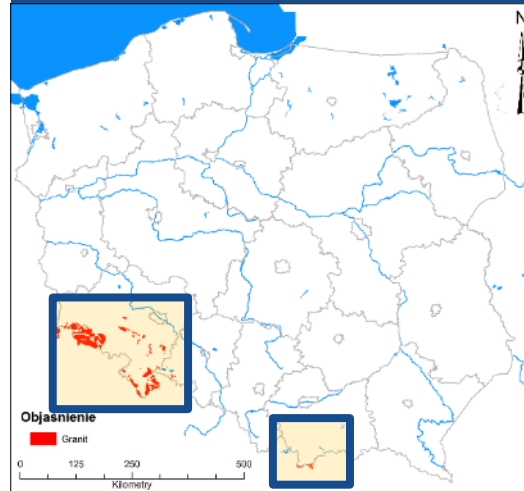


Złóża kruszyw w Polsce

BAZALT



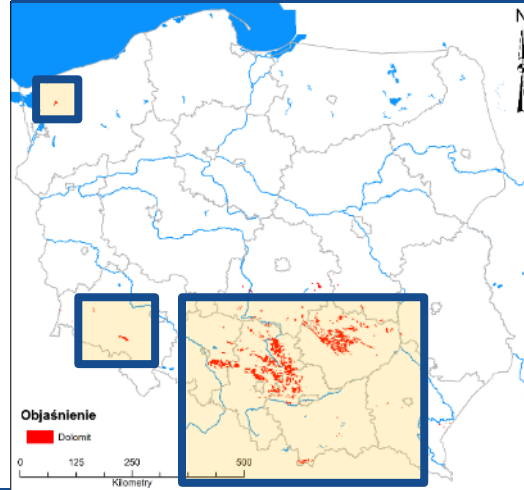
GRANIT



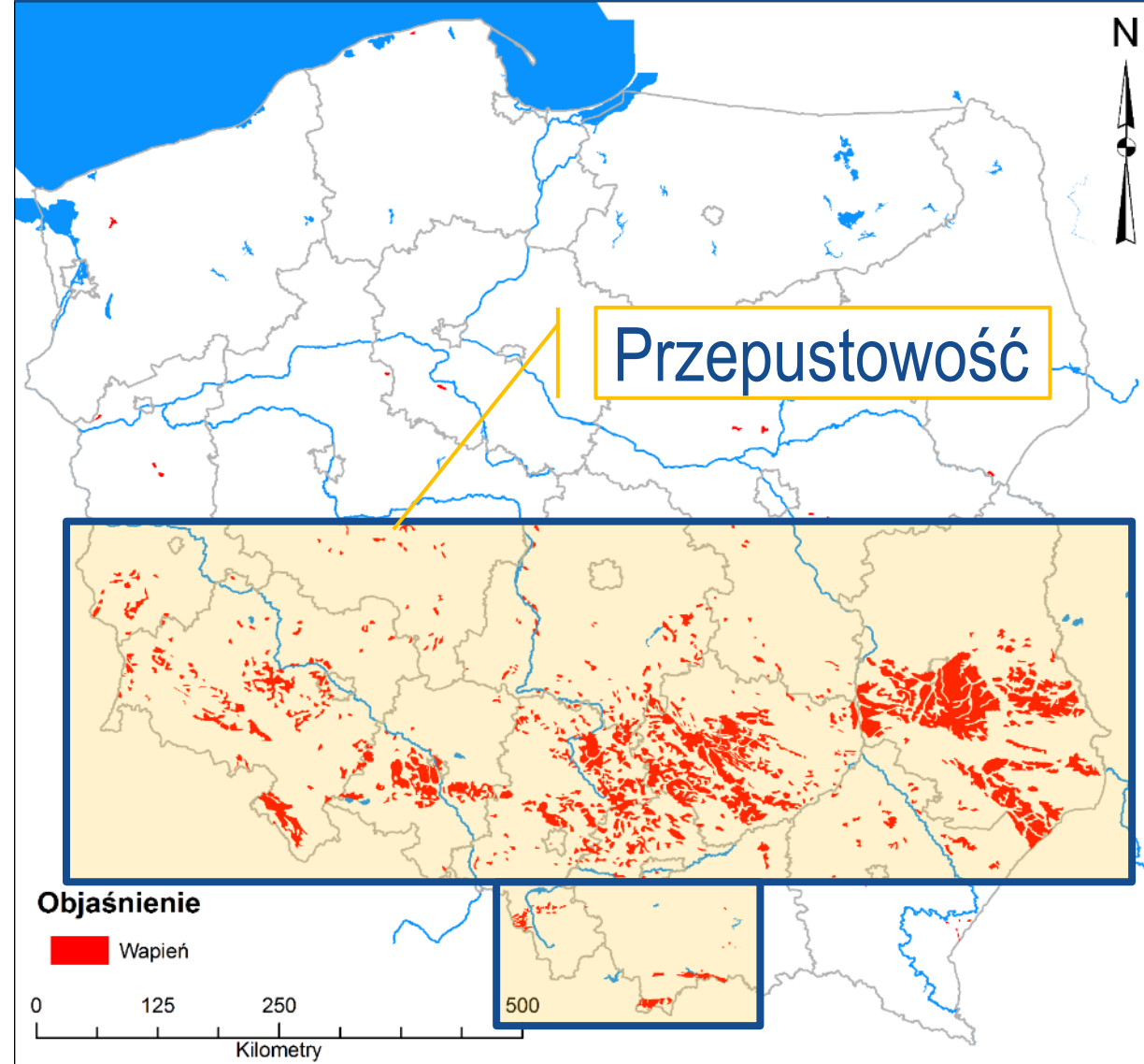
AMFIBOLIT



DOLOMIT



WAPIEŃ



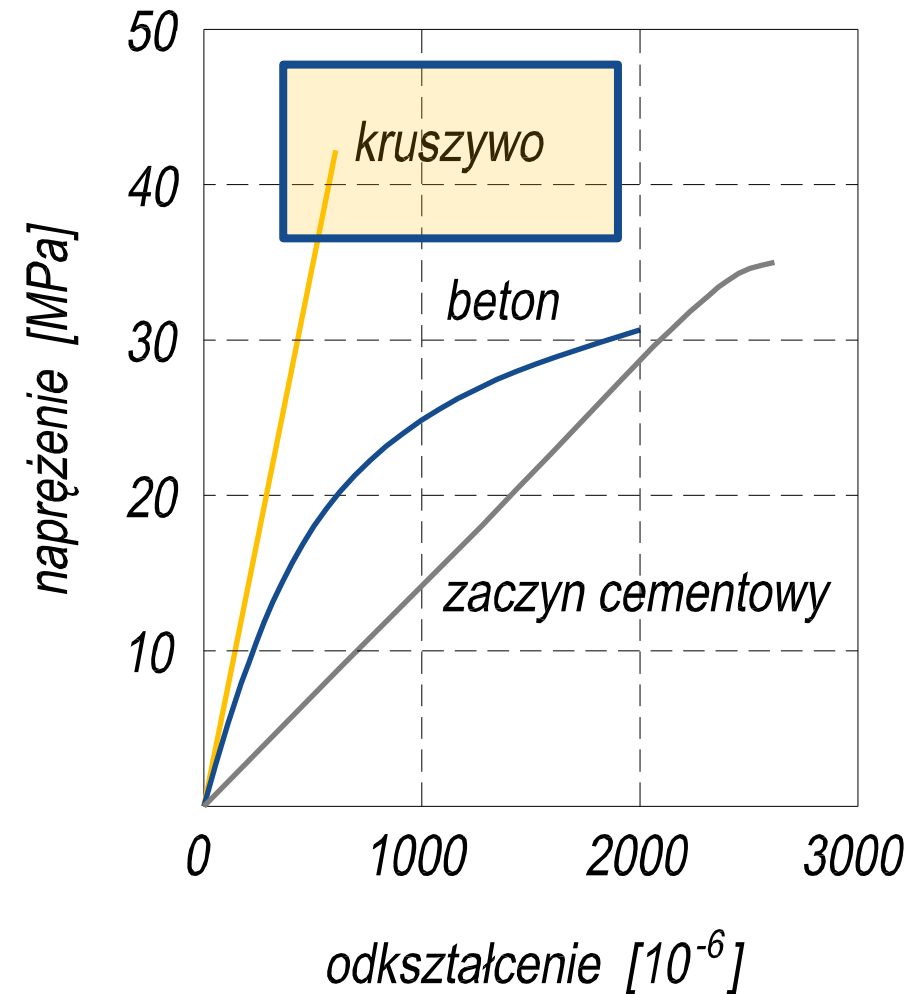
Problemy wykonawcze

Odkształcalność sprężysta betonu

$$E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \cdot \alpha_E$$

L.P.	Rodzaj kruszywa stos. w betonie	Współczynnik
		α_e
1	Bazaltowe	1,2
2	Ze zbitego wapienia	1,2
3	Kwarcytowe	1,0
4	Wapieniowe	0,9
5	Piaskowcowe	0,7
6	Granit	?
7	Amfibolit	?
8	Dolomit	?
9	Porfir	?
10	Granodioryt	?

do 50%

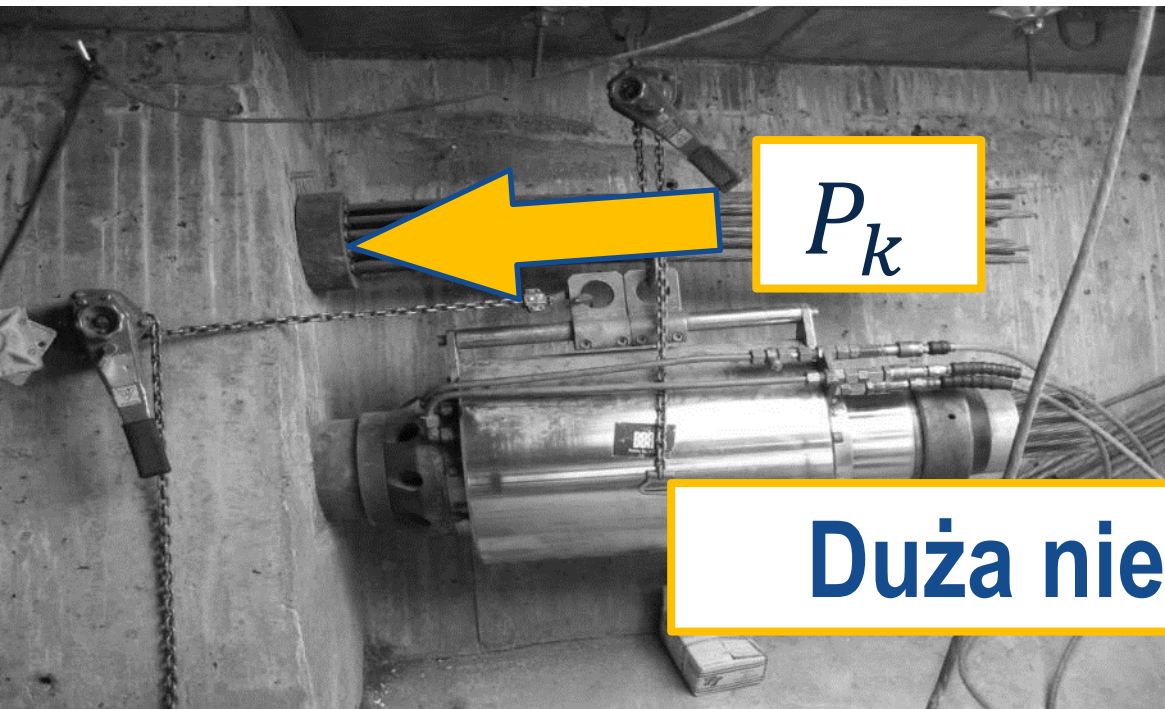


Problemy wykonawcze

Efekt sprężenia w SGU

$$P_{k,sup} = 1,05 \cdot P_{m,t(x)}$$

$$P_{k,inf} = 0,95 \cdot P_{m,t(x)}$$

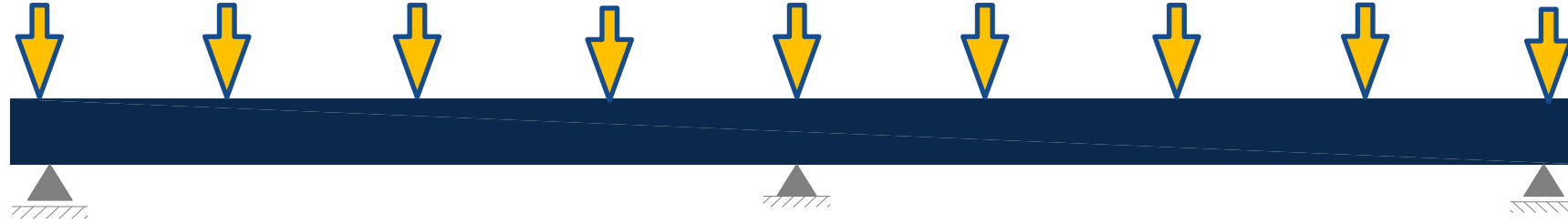


Duża niepewność

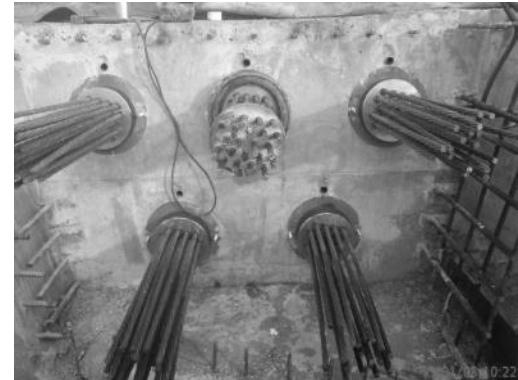
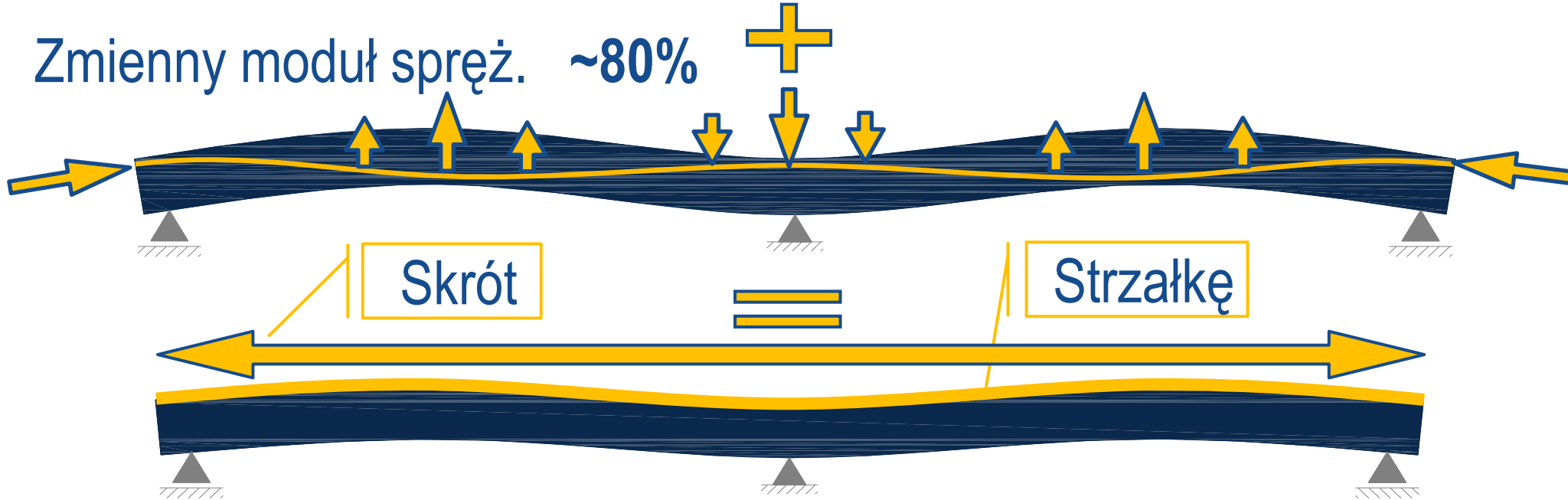
Problemy wykonawcze

Brak równowagi odkształceń od sprężenia i ciężaru betonu

Zmienny ciężar betonu ~86%

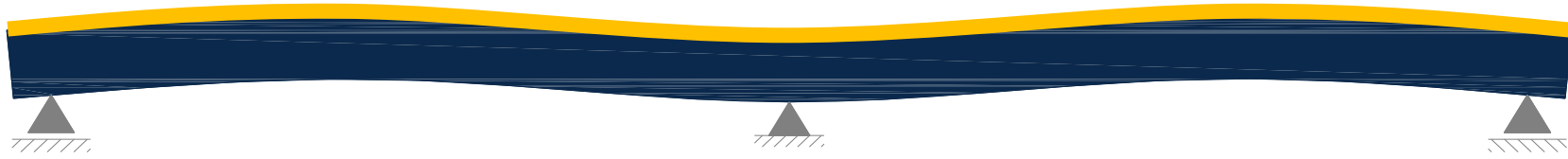


Zmienny moduł spręż. ~80%



Problemy wykonawcze

Nadmierne wyniesienia niwelety



do 10 cm / 30m



Problemy wykonawcze

Duże przemieszczenia na łożyskach od skrótu sprężystego



Konieczna rektyfikacja



Problemy wykonawcze

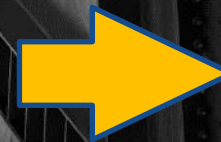
Minimalizacja ryzyk w podejmowaniu decyzji



Sprężenia



min. 3 dni



100 % *fcm*



Politechnika
Śląska

STRABAG

T P A

Grzegorz GRZĄDZIELA
Piotr ŁAZIŃSKI

Problemy wykonawcze

Technologia nawisowa



Kontrola wspornika

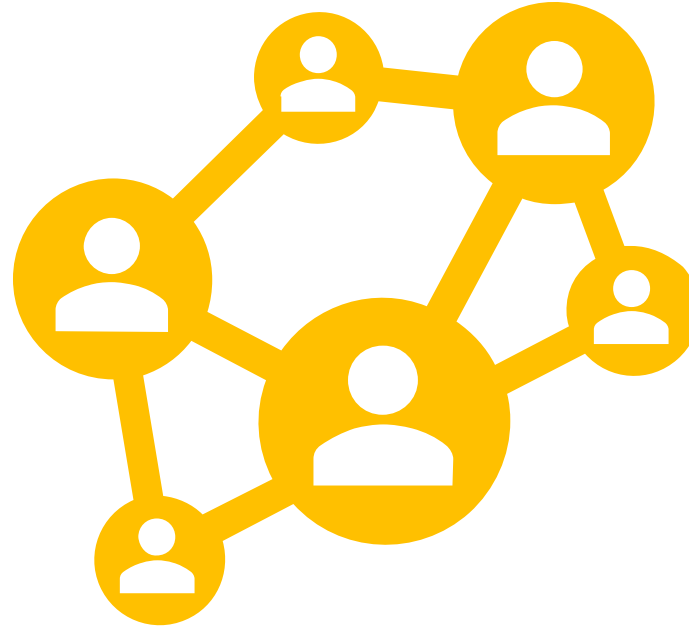


Metodyka badań



Metodyka badań

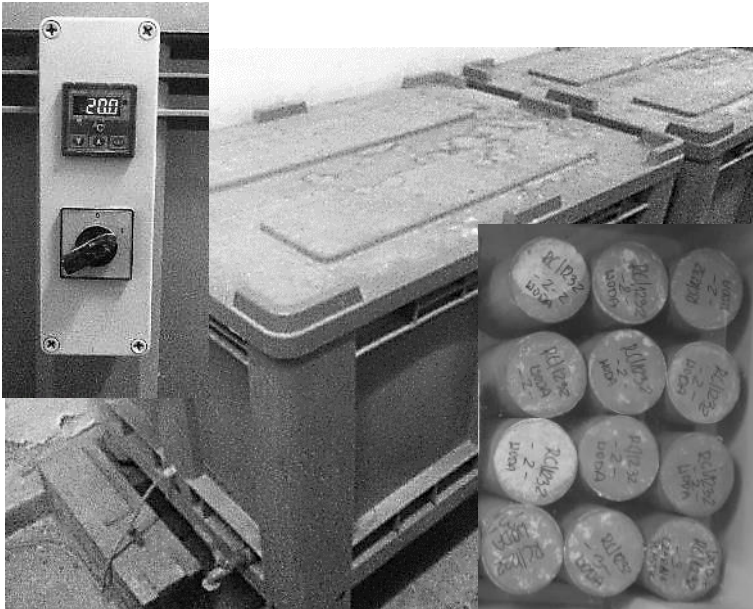
Zakres współpracy



Metodyka badań

Porównanie sposobu pielęgnacji próbek

WARUNKI ZNORMALIZOWANE



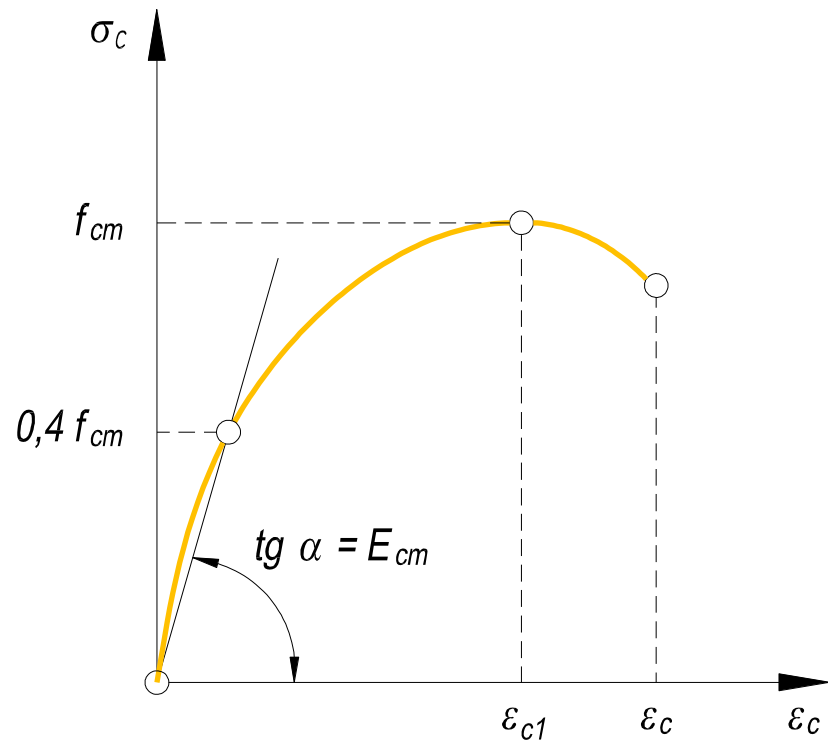
WARUNKI ODWZOROWANE



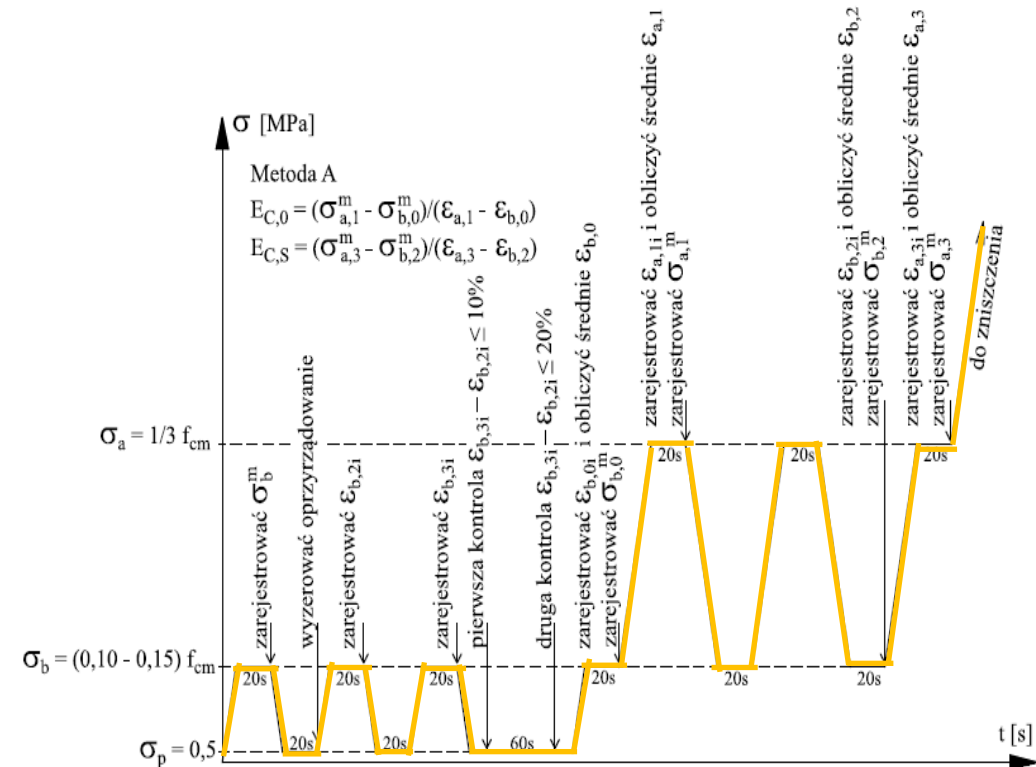
Metodyka badań

„Bezpośrednia” oraz metoda A i B

BEZPOŚREDNIA



METODA „A” i „B”



Metodyka badań

Procedura badań

PROCEDURA BADAŃ

ZARÓB PRÓBNY

W TRAKCIE
BUDOWY

PRÓBNE OBCIĄŻENIE



Zarób próbny

Weryfikacja receptury



Badania na zarobie próbnym
Procedura znormalizowana



Badania w warunkach odwzorowanych
Uwzględnienie rzeczywistych warunków dojrzewania



Weryfikacja receptury
Warunki budowy



W trakcie budowy

Monitorowanie odkształcalności betonu



Badania betonu wbudowanego w obiekt mostowy
Procedura znormalizowana



Badania betonu wbudowanego w obiekt mostowy
Warunki odwzorowujące dojrzewanie betonu w deskowaniu



Pomiar odkształceń w trakcie budowy
Weryfikacja wartości prognozowanych



Próbnе obciążenie

Korelacja odkształcalności



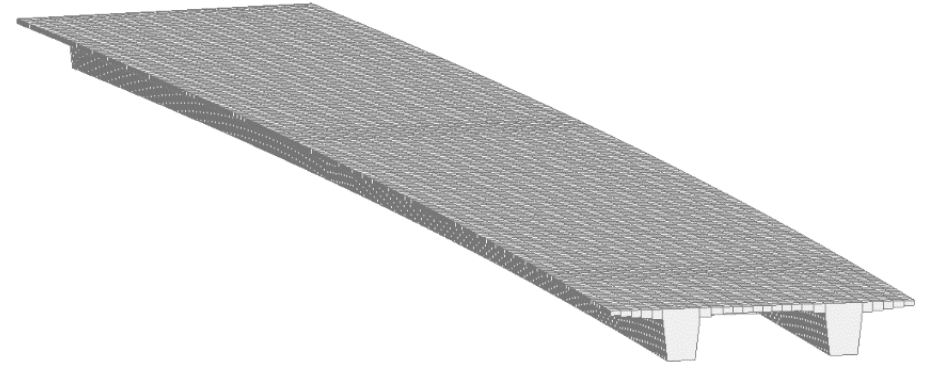
Pomiar odkształceń pod znanym obciążeniem
Znaczne obciążenie statyczne



Pośrednie wyznaczenie odkształcalności
Porównanie z wynikami badań betonu



Określenie współczynnika odkształcalności
Procedury postępowania

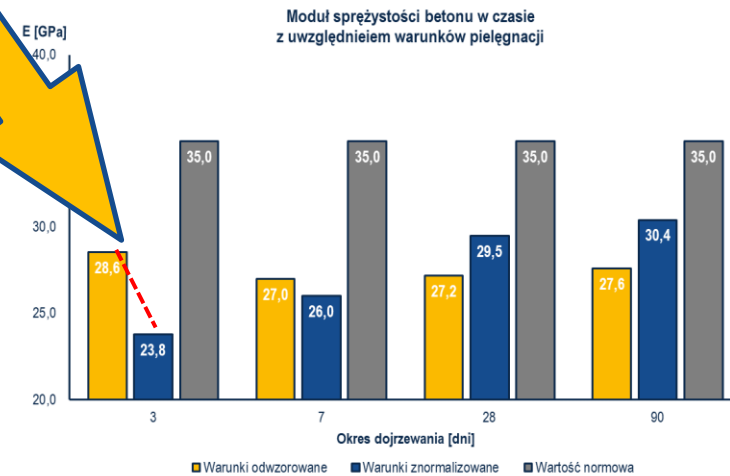
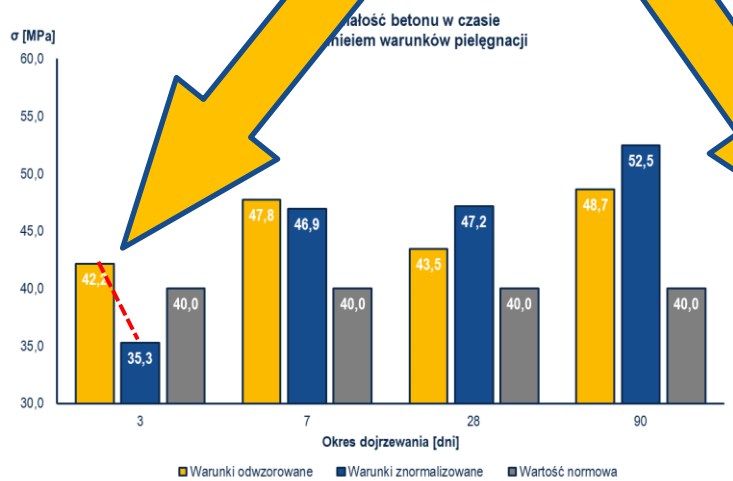
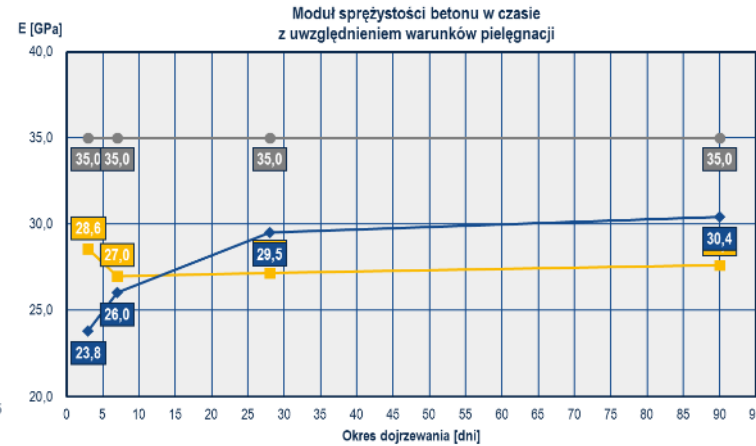
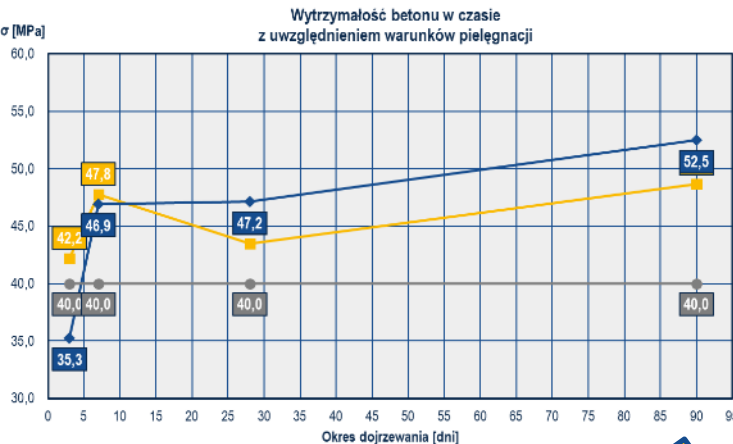


Wyniki badań na Obwodnicy Raciborza



Wyniki z bloku testowego dla MG-1

Budowa obwodnicy Raciborza

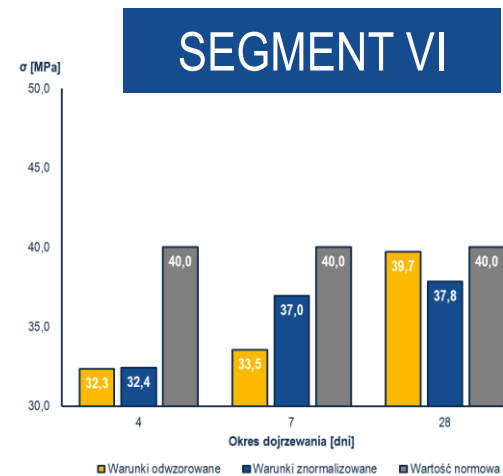
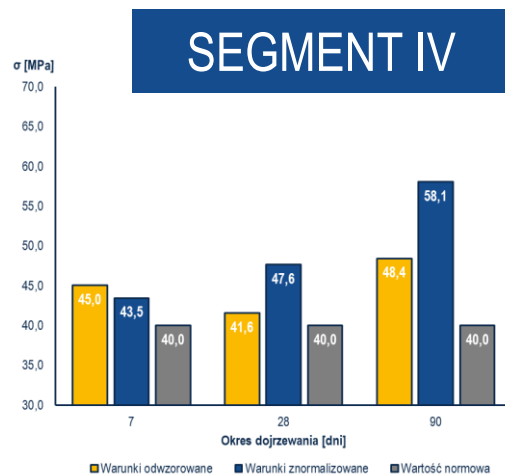
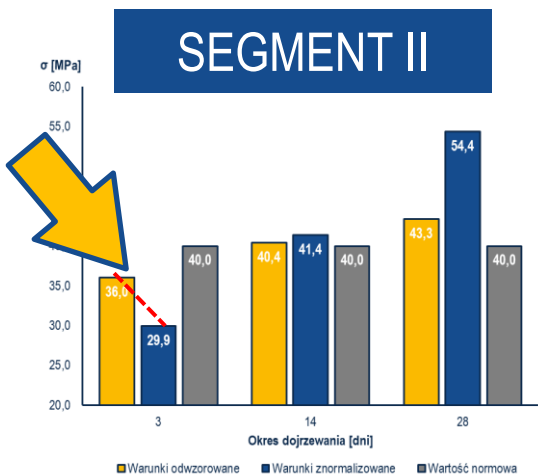
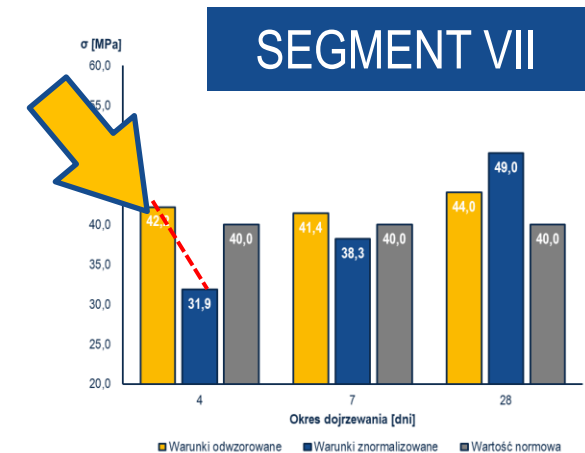
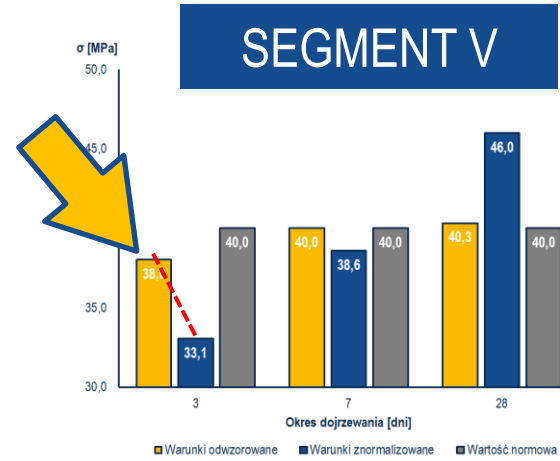
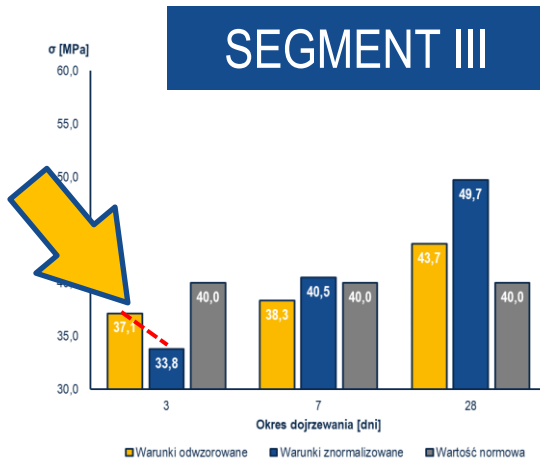
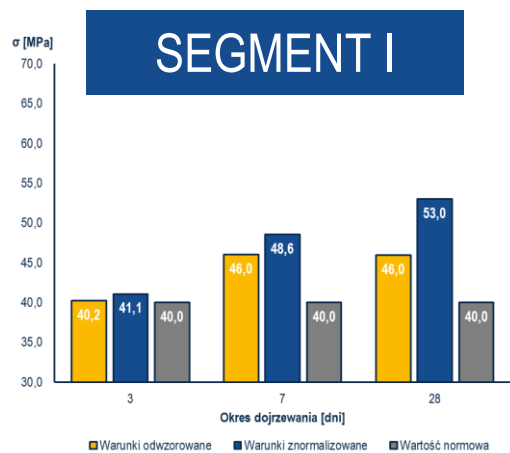


Data	Warunki	Próbka	Okres dojrzewania	Siła niszcząca	Wytrzymałość na ściskanie	Średnia wytrzymałość	Stosunek wytrzymałości	Moduł sprężystości	Średni moduł sprężystości	Stosunek modułów
			t	P	f_{ci}			E_{ci}		
		[Nazwa]	[dni]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[%]	[GPa]	[GPa]	[%]
03.06.2020	odzorowane	1 27R	28	717,9	40,6	42,6	106,5%	24,7	27,8	79,4%
		2 28R		774,9	43,9			24,7		
		3 29R		830,8	47,0			35,2		
		4 30R		688,6	39,0			26,6		



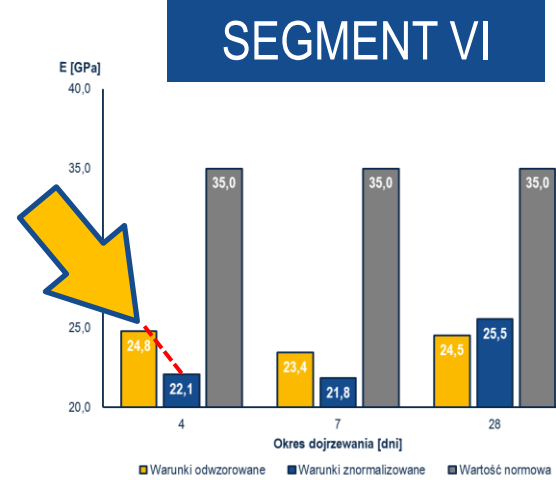
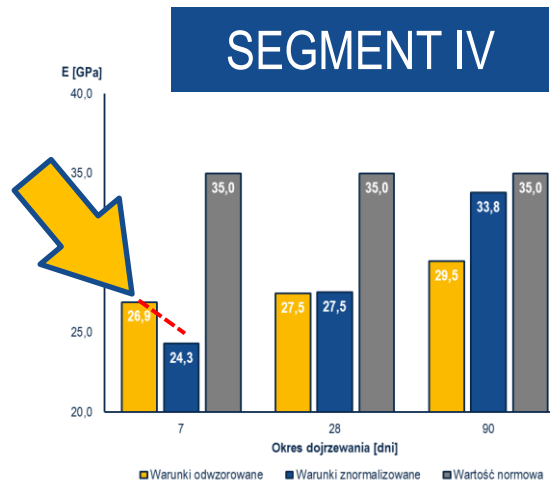
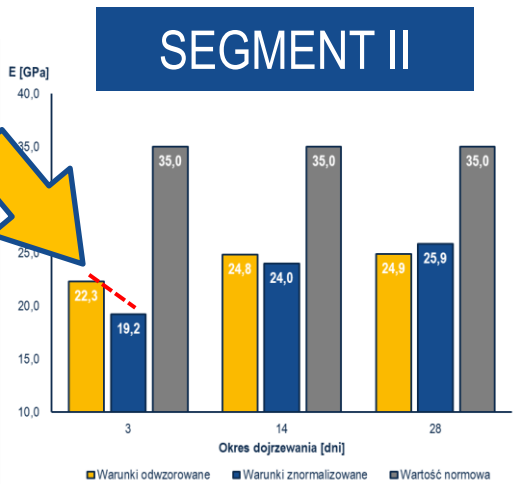
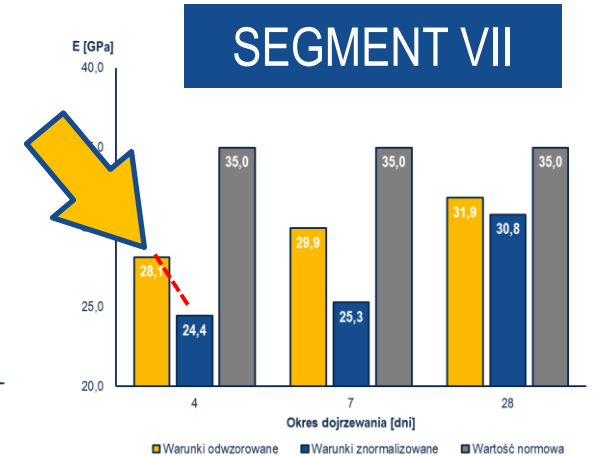
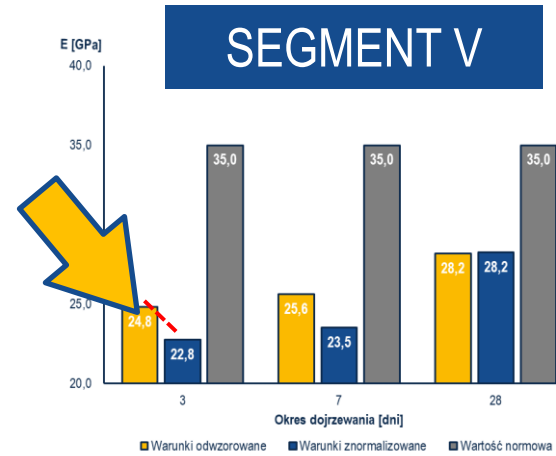
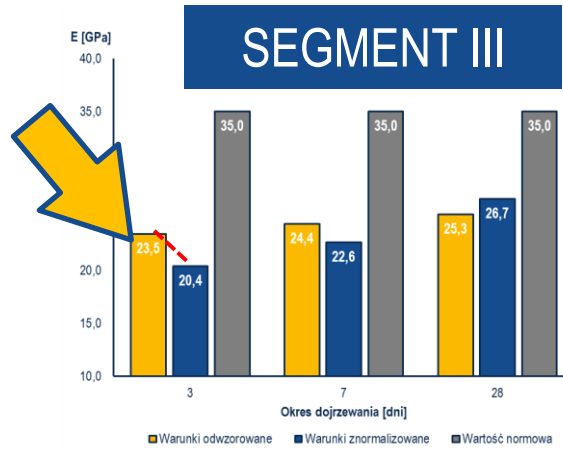
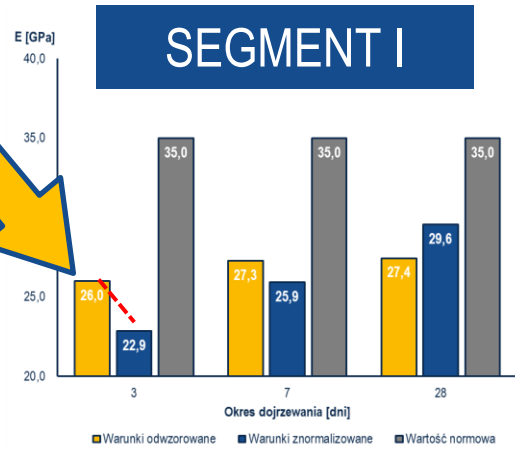
Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie *fcm*

Budowa obwodnicy Raciborza MG-1



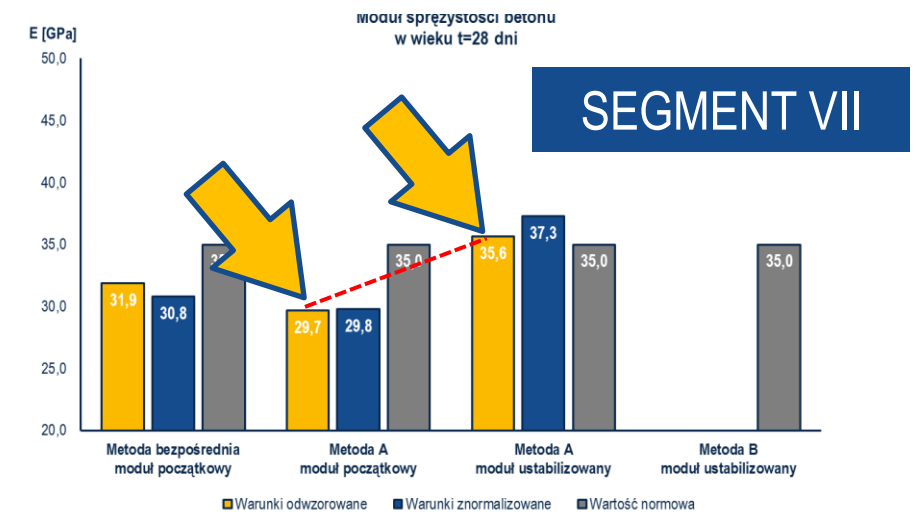
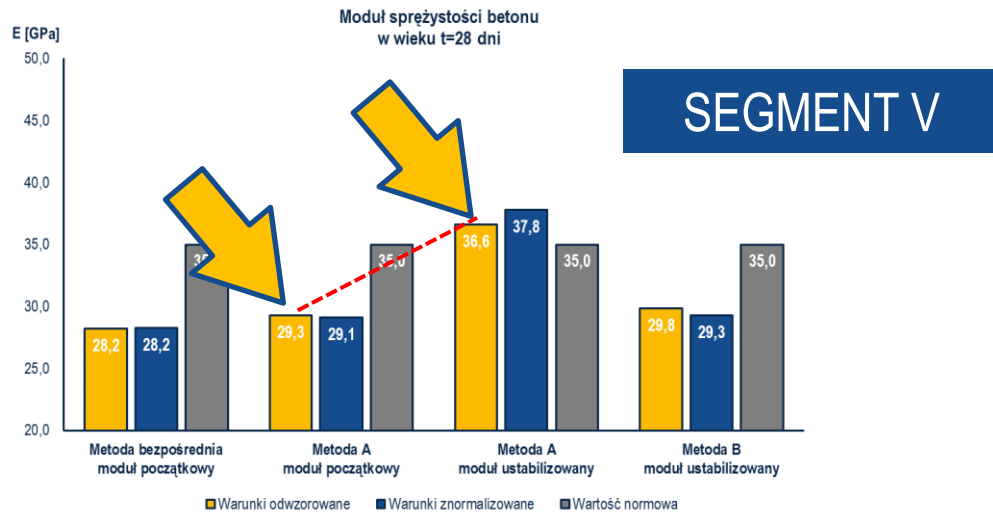
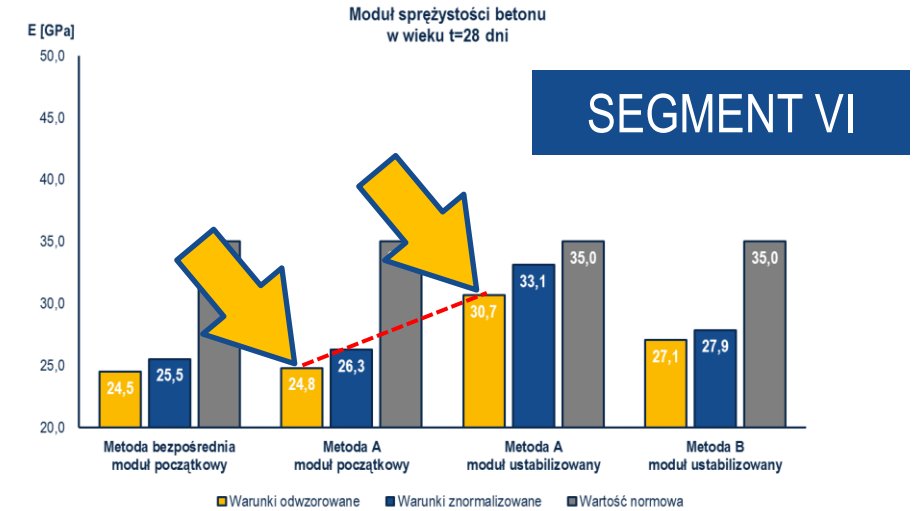
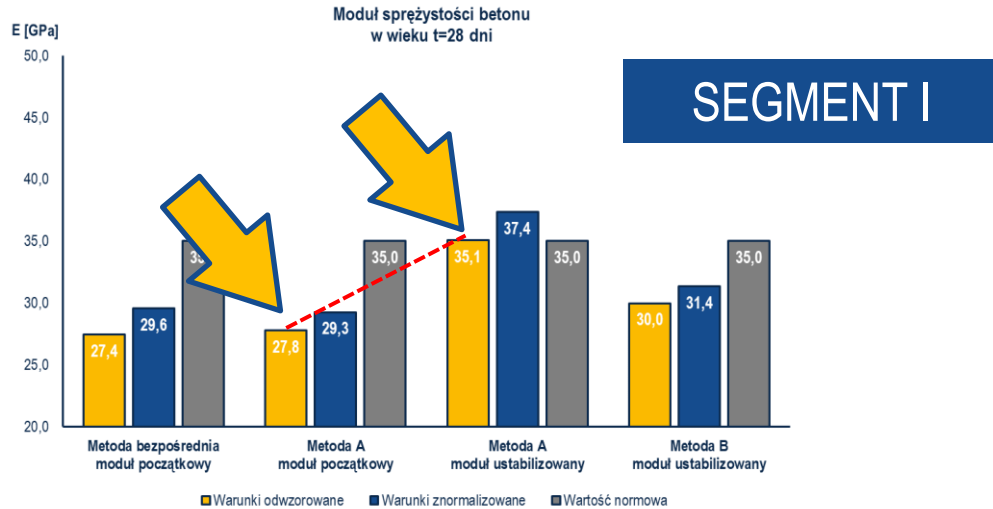
Wyniki badań modułów sprężystości betonu E_{cm}

Budowa obwodnicy Raciborza MG-1



Porównanie metod określania modułów *E_{cm}*

Budowa obwodnicy Raciborza MG-1



Próbné obciążenie MG-1

Badania docelowe

Schemat	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Prześło	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Punkt	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5	A6	B6	A7	B7	A8	B8
<i>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>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>Spreżyste</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>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%
<i>Spreżyste / Obliczeniowe</i>	121%	85%	100%	93%	121%	87%	112%	87%	95%	86%	118%	91%	104%	80%	103%	78%
<i>Średnia z prześła</i>	103%		97%		104%		99%		91%		104%		92%		91%	
<i>Średnia całkowita</i>	98%															

Wpływ wyposażenia 15%

Zmienna odkształcalność segmentów



Wnioski końcowe



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



STRABAG

T P A



Politechnika
Śląska

STRABAG

T P A

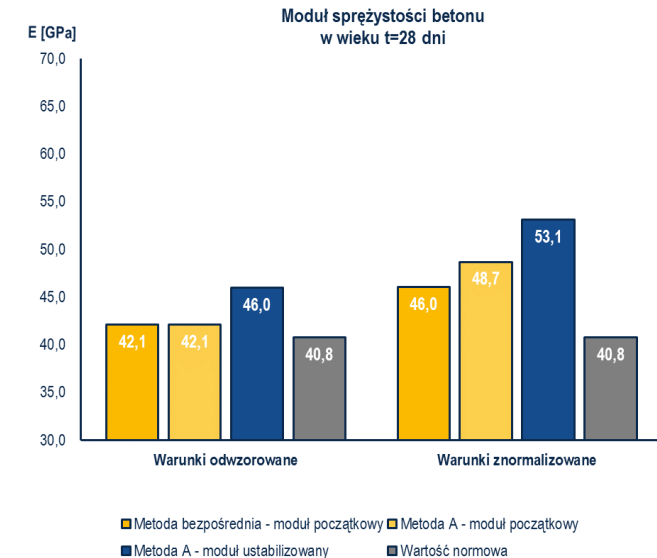
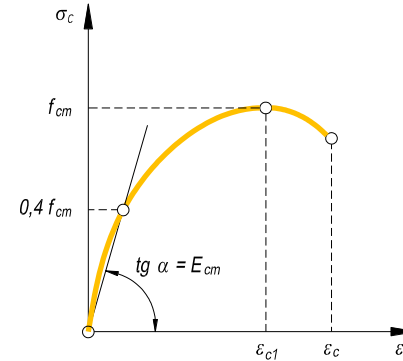
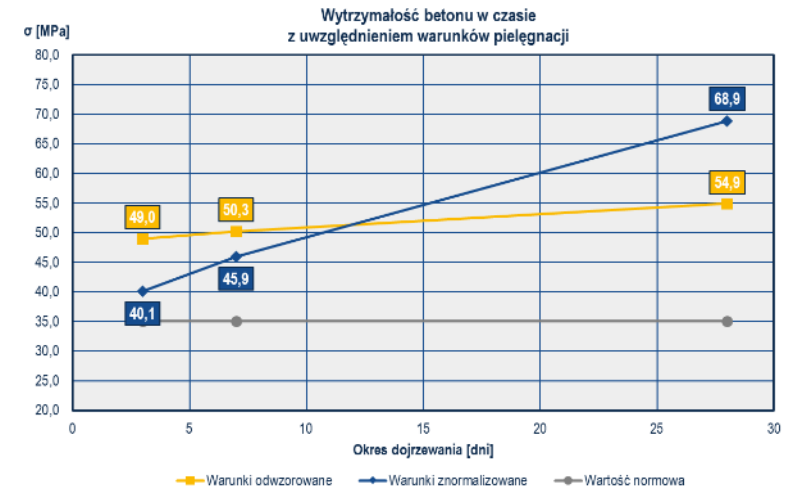
Grzegorz GRZĄDZIELA

Piotr ŁAZIŃSKI

Wnioski z badań

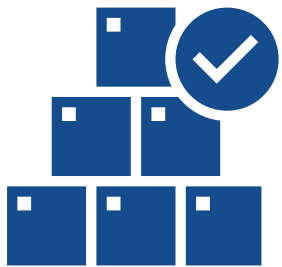
Obwodnica Raciborza

- Stosowanie bloku testowego na zarobie próbnymi
 - Odwzorowanie warunków dojrzewania betonu
 - Określenie cech mechanicznych betonu
- Dwa sposoby pielęgnacji próbek
 - Warunki odwzorowane do określenia cech po 3 i 7 dniach
 - Warunki znormalizowane do określenia cech po 28 dniach (kontrolnie)
- Wykorzystanie dwóch metod określających odkształcalność
 - Metoda bezpośrednia i metoda „A”
- Na potrzeby podejmowania decyzji o sprężeniu
 - Przyjmowanie wyników badań f_{cm} dla próbek pielęgnowanych w warunkach odwzorowanych
- Na potrzeby aktualizacji podniesienia wykonawczego i programu sprężenia
 - Przyjmowanie wartości modułu $E_{cm,1}$ bez eliminacji odkształceń trwałych
- Na potrzeby aktualizacji analiz konstrukcji w fazie użytkowej
 - Przyjmowanie wartości modułu $E_{cm,2}$ po eliminacji odkształceń trwałych

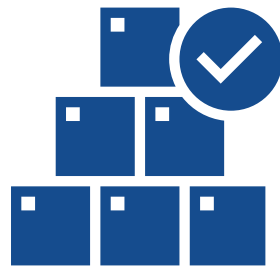


Korzyści wdrożenia procedury

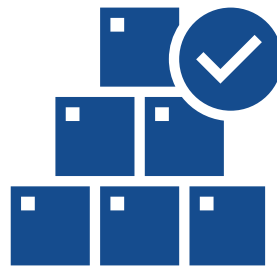
Stosowanie na kontraktach



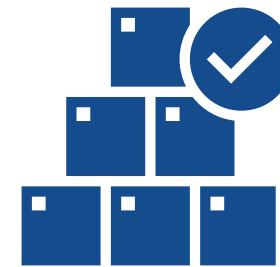
MINIMALIZACJA
RYZYK



SKRÓCENIE
CZASU



OPTYMALIZACJA
SPRĘŻENIA



AKTUALIZACJA
PODNIESIEŃ



KOSZTY
BUDOWY

**DZIĘKUJĘ
ZA UWAGĘ**

