

Warsaw, 22 - 23 October 2025

II MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA

Nowoczesne nawierzchnie drogowe - recykling i dekarbonizacja

II INTERNATIONAL CONFERENCE

Modern road pavements - recycling and decarbonization

Optimalizacja składu zapraw cementowo-piaskowych modyfikowanych drobnoziarnistym miałem gumowym ze względu na właściwości mechaniczne

Jerzy Kukietka¹, Wojciech Bańkowski², Marcin Gajewski³, Mirosław Graczyk⁴

¹ Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

^{2,3,4} Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa



Plan prezentacji

1. Zastosowanie rozdrobnionej gumy w betonach i zaprawach cementowych
2. Wymagania przyjęte do analizy wyników badań
3. Składy zapraw cementowo-piaskowych modyfikowanych miałem gumowym 0/1 mm
4. Badania wytrzymałości na pośrednie rozciągane według PN-EN 12697-23:2003 oraz modułu sztywności według PN-EN 12697-26
5. Badania wodoodporności
6. Wnioski końcowe

Na podstawie przeglądu literatury można stwierdzić następujące cechy mieszanek z zastosowaniem rozdrobnionej gumy:

1. Ograniczenia

- niezbędna jest zwiększona ilość wody (zmniejszenie ilości wody $w/c < 0,5$ obniża urabialność),
- zastąpienie kruszywa w ilości 5–30% rozdrobnioną gumą może skutkować słabym zagęszczeniem i wysoką porowatością,
- zmniejszenie wytrzymałości, sztywności i twardości,
- występują trudności z przyczepnością gumy do matrycy cementowej co może wymagać stosowania dodatków lub obróbki gumy,

2. Korzyści

- zwiększenie odporności na pękanie,
- poprawa elastyczności dzięki zdolności gumy do odkształceń,
- poprawa izolacyjności akustycznej i termicznej,
- zmniejszenie gęstości,
- poprawa trwałości zmęczeniowej.

Planowane jest zastosowanie zapraw cementowo-piaskowo-gumowych (ZCPG) w technologii recyklingu nawierzchni asfaltowych „na zimno” poprzez wymieszanie z destruktem asfaltowym uzyskując beton asfaltowo-cementowy (BAC).

Ze względu na brak przepisów do tych betonów przyjęto wymagania zawarte w „Instrukcji projektowania i wbudowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)” z 2019 r.

Optymalizacja składu zapraw CPG polegała na ustaleniu minimalnej i maksymalnej ilości miału gumowego przy założonej ilości cementu CEM I 42,5 tak aby spełnić wymagania Instrukcji.

Do sporządzenia zapraw zastosowano cement portlandzki wieloskładnikowy CEM I klasy 42,5, miał uzyskany ze skrawania mechanicznego o uziarnieniu 0/1 mm pochodził z Zakładu Produkcji Granulatu Gumowego Orzeł S.A. z Poniatowej oraz piasek naturalny.

Tabl. 1. Uziarnienie materiałów m/m [%]

Sito # [mm]	Piasek 0/2 mm	Miał gumowy 0/1 mm
2	1.6	-
1	-	15.2
0.5	41.6	47.5
0.125	55.3	36.4
0.063	1.2	0.0
<0.063	0.3	1.0



Fot. 1. Miał gumowy 0/1 mm

Zagęszczanie próbek wykonano manualnie do uzyskania maksymalnego wypełnienia formy. Ilość wody przyjęto doświadczalnie na podstawie $w/c = 0,52$ (A, B, C), $w/c = 0,50$ (C, D, E), $w/c = 0,49$ (G, H, I)

Tabl. 2. Składy zapraw CPG (m/m)

Skład	Woda	Cement	Miał gumowy	Piasek
A	13%	25%	15%	47%
B	13%	25%	20%	42%
C	13%	25%	25%	38%
D	15%	30%	15%	40%
E	15%	30%	20%	35%
F	15%	30%	25%	30%
G	17%	35%	15%	33%
H	17%	35%	20%	28%
I	17%	35%	25%	23%



Fot. 2. Próbki zapraw CPG w formach o średnicy 100 mm i wysokości 63 mm.

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS
obliczono według równania:

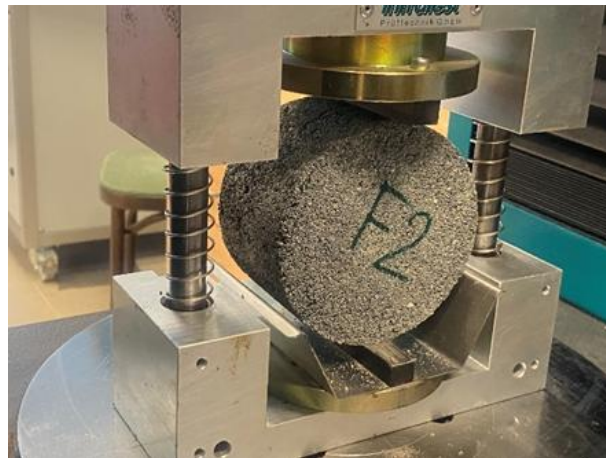
$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times h}$$

w którym:

P – maksymalna wartość siły ściskającej [N]

D – średnica próbki w zaokrągleniu do 0.1 mm

h – grubość/wysokość próbki w zaokrągleniu
do 0.1 mm

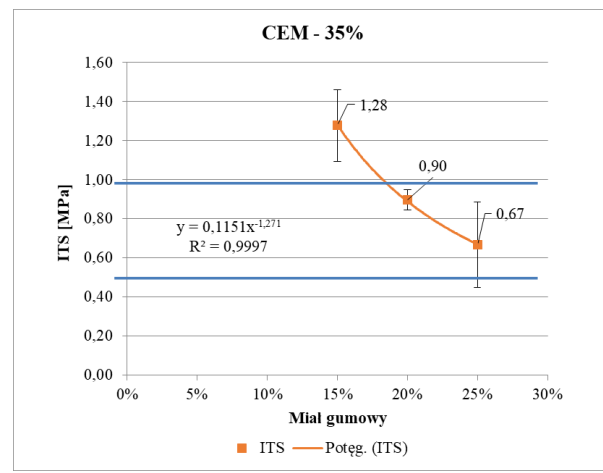
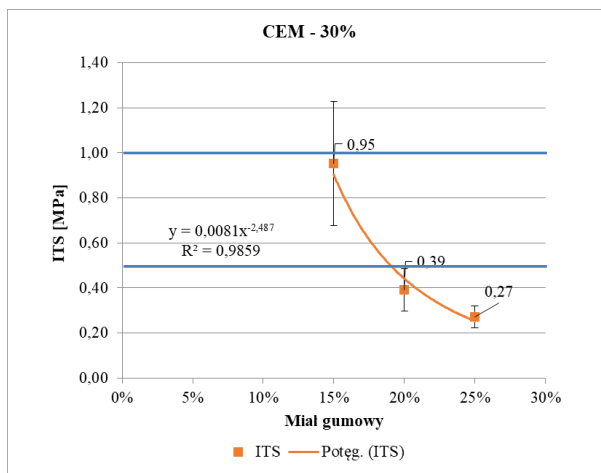
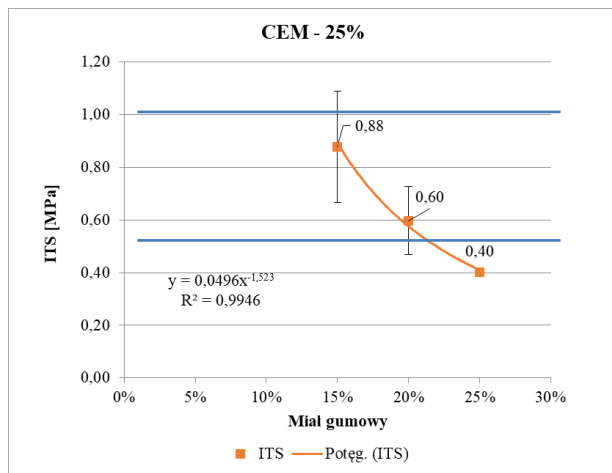


Fot. 3. Badanie ITS próbek walcowych z zaprawy CPG

Tabl. 3. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS po 7 i 28 dniach wraz z parametrami statystycznymi

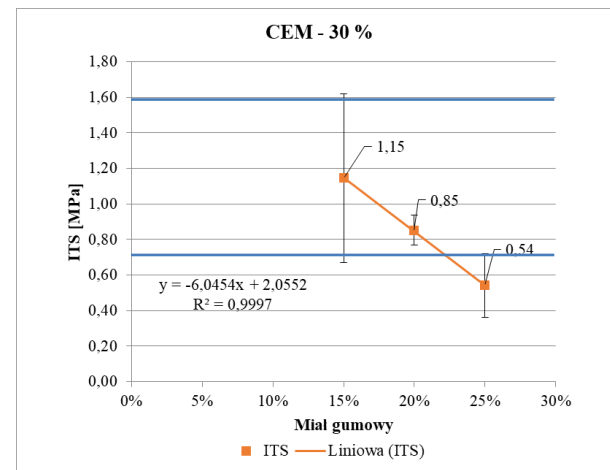
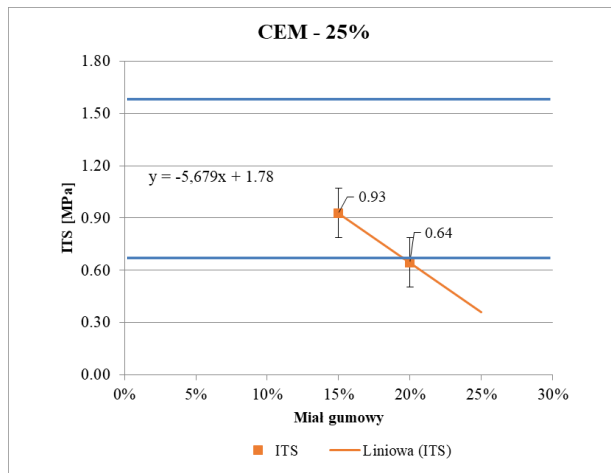
Skład	ITS ⁷ [MPa]	Odch. st.	Wsp. zm.	ITS ²⁸ [MPa]	Odch. st.	Wsp. zm.
A	0.88	0.11	12%	0.93	0.04	4%
B	0.60	0.07	11%	0.64	0.10	15%
C	0.40	0.01	1%	-	-	-
D	0.95	0.14	15%	1.15	0.04	4%
E	0.39	0.05	12%	0.85	0.24	28%
F	0.27	0.02	9%	0.54	0.09	17%
G	1.28	0.09	7%	-	-	-
H	0.90	0.03	3%	-	-	-
I	0.67	0.11	17%	0.86	0.07	8%

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temp. 5°C po 7 dniach wiązania powinna spełnić wymagania instrukcji $0.5 \text{ MPa} < \text{ITS} < 1.0 \text{ MPa}$.



Rys. 1. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS próbek walcowych zapraw CPG po 7 dniach

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temp. 5°C po 28 dniach wiązania powinna spełnić wymagania instrukcji $0.7 \text{ MPa} < \text{ITS} < 1.6 \text{ MPa}$.



Rys. 2. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS próbek walcowych zapraw CPG po 28 dniach

Moduł sztywności metodą IT-CY obliczono
według równania:

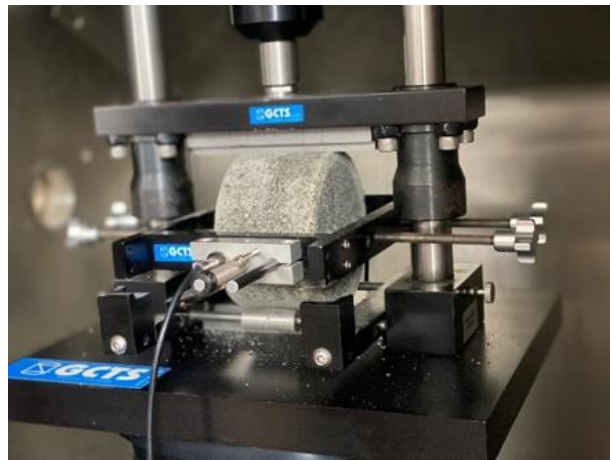
$$IT - CY = \frac{L \cdot (\nu + 0.27)}{D \cdot t}$$

w którym:

L – największa wartość siły [N],

ν – współczynnik Poissona,

D – największe przemieszczenie poziome
próbki mierzone na poboczniczy walca w
płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania
siły i przechodzącej przez oś próbki [mm],
t – grubość/wysokość próbki [mm].

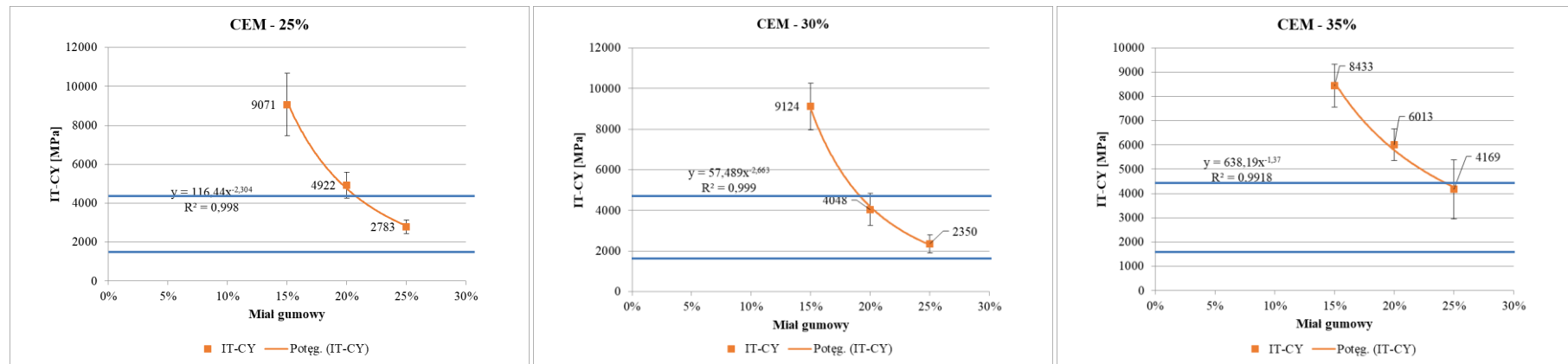


Fot. 4. Badanie IT-CY próbek walcowych z zaprawy CPG

Tabl. 4. Moduł sztywności IT-CY po 7 i 28 dniach wraz z parametrami statystycznymi

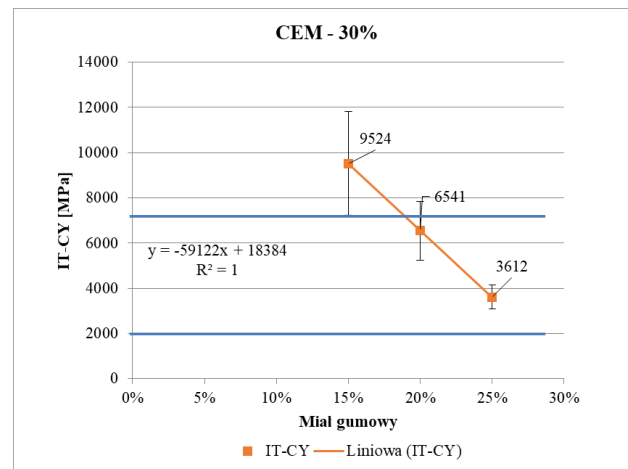
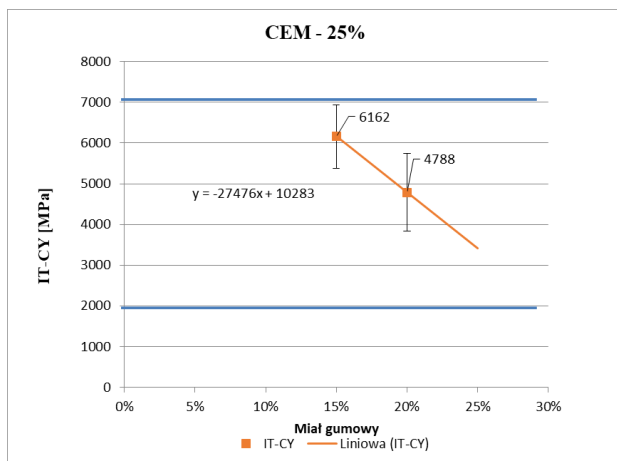
Skład	IT-CY ⁷ [MPa]	Odch. st.	Wsp. zm.	IT-CY ²⁸ [MPa]	Odch. st.	Wsp. zm.
A	9071	822	9%	6162	398	6%
B	4922	340	7%	4788	484	10%
C	2783	181	7%	-	-	-
D	9124	587	6%	9524	657	7%
E	4048	401	10%	6541	1167	18%
F	2350	224	10%	3612	267	7%
G	8433	448	5%	-	-	-
H	6013	328	5%	-	-	-
I	4169	616	15%	4778	447	9%

Moduł sztywności w temp. 5°C po 7 dniach wiązania powinien spełnić wymagania instrukcji $1500 \text{ MPa} < \text{IT-CY} < 4500 \text{ MPa}$.



Rys. 3. Moduł sztywności IT-CY próbek walcowych zapraw CPG po 7 dniach.

Moduł sztywności w temp. 5°C po 28 dniach wiązania powinien spełnić wymagania instrukcji $2000 \text{ MPa} < IT-CY < 7000 \text{ MPa}$.



Rys. 3. Moduł sztywności IT-CY próbek walcowych zapraw CPG po 28 dniach.

Odporność na działanie wody jako pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po przechowywaniu próbek w wodzie obliczono według wzoru:

$$ITSR = \frac{ITS_m}{ITS_s}$$

w którym:

ITS_m – średnia wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek po nasączeniu wodą [MPa]

ITS_s – średnia wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek suchych [MPa],

Odporność na działanie wody jako pozostały moduł sztywności po przechowywaniu próbek w wodzie obliczono według wzoru:

$$IT-CYR = \frac{IT-CY_m}{IT-CY_s}$$

w którym:

$IT-CY_m$ – średni moduł sztywności po nasączeniu próbek wodą [MPa]

$IT-CY_s$ – średni moduł sztywności próbek suchych [MPa],

Tabela 5. Odporność na działanie wody ITSR i IT-CYR

Skład ZCPG	Próbki suche		Próbki mokre		ITSR	IT-CYR
	ITS [MPa]	IT-CY [MPa]	ITS [MPa]	IT-CY [MPa]		
B	0.64	4788	0.72	6022	1.1	1.3
I	0.86	4778	0.99	7333	1.1	1.5

Wnioski

Krzywe regresji badań ITS i IT-CY po 7 dniach dobrze opisują funkcje wykładnicze, natomiast w badaniach po 28 dniach funkcje liniowe, które charakteryzują się mniejszą wrażliwością na dozowanie miału gumowego.

Wyniki badań ITS dopuszczają mniejszą zawartość miału gumowego $<15\%$ w zaprawie w stosunku do wyników badań IT-CY, gdzie zawartość powinna być $>20\%$, aby spełnić wymagania. Jednocześnie wytrzymałość ITS ogranicza maksymalną ilość miału gumowego $<25\%$, podczas gdy moduł sztywności IT-CY pozwala na zwiększenie jego zawartości $>25\%$.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań zapraw można przyjąć rekomendację dwóch składów o podobnych wynikach ITS i IT-CY, gdzie dozowanie miału gumowego jest największe przy założonej zawartości cementu:

- miał gumowy - 20%, CEM - 25%
- miał gumowy - 25%, CEM - 35%

Wyniki badań odporności na działanie wody, wyrażonej jako pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po przechowywaniu próbek w wodzie, wybranych składów zapraw CPG spełniły wymagania.

Wnioski

W celu określenia wymagań do zapraw CPG należy skorygować wartości minimalne i maksymalne ITS i IT-CY, tak aby próbki spełniały oba wymagania jednoznacznie. Proponuje się aby próbki z zapraw CPG badane w temperaturze 5°C po 28 dniach spełniały następujący warunki:

- $ITS = 0.6 \text{ MPa} \div 1.3 \text{ MPa}$,
- $IT-CY = 3\,000 \text{ MPa} \div 10\,000 \text{ MPa}$.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ



mrp25.ibdim.edu.pl