

Piotr Molenda,
Cement Ożarów S.A.

Artur Paszkowski,
Cement Ożarów S.A.

Krzysztof Pytel,
Cement Ożarów S.A.

Krzysztof Zadrożny,
Strabag Sp. z o.o.

Krzysztof Pelc,
Strabag Sp. z o.o.

Łukasz Hirszfeld
TPA Sp. z o.o.

Doświadczenia z realizacji nawierzchni betonowej o obniżonym śladzie węglowym

Experience from the implementation of low-carbon concrete pavement

Streszczenie

Nawierzchnie betonowe, szczególnie na drogach o dużym natężeniu ruchu, stają się coraz bardziej popularne ze względu na swoje wyjątkowe właściwości, takie jak odporność na duże obciążenia i długowieczność. Choć w Polsce nadal dominują nawierzchnie asfaltowe, betonowe zyskują uznanie, szczególnie na drogach ekspresowych i autostradach, gdzie wymagania dotyczące wytrzymałości i trwałości są szczególnie wysokie. Nawierzchnie betonowe charakteryzują się również większą odpornością na warunki atmosferyczne oraz mniejszymi kosztami utrzymania, co sprawia, że stają się preferowanym rozwiązaniem.

Strabag i Cement Ożarów, jako odpowiedzialne organizacje, wdrażają nowe podejście do budowy nawierzchni betonowych na drogach autostradowych, wykorzystując cement CEM II/B-S 42,5 R-NA, który charakteryzuje się obniżonym śladem węglowym. To rozwiązanie zostało po raz pierwszy zastosowane w Polsce na odcinku autostrady A2 (Siedlce Południe – Malinowiec) o długości 18,75 km. Realizacja tej inwestycji miała na celu redukcję emisji CO₂ oraz poprawę trwałości nawierzchni przez zastosowanie cementu portlandzkiego żuźlowego.

Celem artykułu jest przedstawienie doświadczeń zdobytych podczas realizacji przez Strabag i Cement Ożarów przy udziale TPA Sp. z o.o. innowacyjnego rozwiązania z wykorzystaniem cementu o obniżonym śladzie węglowym – JASNY CEM II/B-S 42,5 R-NA, stosowanego przy budowie nawierzchni betonowej. W ramach tego przedsięwzięcia przeanalizowano wyniki badań wytrzymałościowych oraz

trwałościowych górnej i dolnej warstwy nawierzchni. Ponadto, dokonano obliczeń śladu węglowego, porównując go z tradycyjnym rozwiązaniem opartym na cemencie portlandzkim.

Abstract

Concrete pavements, especially on roads with heavy traffic, are becoming increasingly popular due to their exceptional properties, such as resistance to heavy loads and long lifespan. Although asphalt surfaces still dominate in Poland, concrete ones are gaining recognition, particularly on expressways and motorways, where the requirements for strength and durability are especially high. Concrete pavements also offer greater resistance to weather conditions and lower maintenance costs, making them a preferred solution.

Strabag and Cement Ożarów, as responsible organizations, are implementing a new approach to the construction of concrete pavements on motorway roads by using CEM II/B-S 42.5 R-NA cement, which is characterized by a reduced carbon footprint. This solution was applied for the first time in Poland on a section of the A2 motorway (Siedlce Południe – Malinowiec), with a length of 18.75 km. The aim of this investment was to reduce CO₂ emissions and improve pavement durability through the use of slag Portland cement.

The aim of this article is to present the experience gained during the implementation of an innovative solution by Strabag and Cement Ożarów, with the participation of TPA Sp. z o.o., involving the use of low-carbon cement – LIGHT CEM II/B-S 42.5 R-NA in the construction of concrete pavement. As part of this project, strength and durability test results of the upper and lower pavement layers were analyzed. Additionally, a carbon footprint calculation was performed and compared with a traditional solution based on Portland cement.

1. Wprowadzenie

Beton jest drugim po wodzie najczęściej stosowanym materiałem na świecie. To nie jego emisyjność, a skala zastosowania powoduje, że dzisiaj odpowiada za 8-10% antropogenicznej emisji CO₂, dlatego nawet najmniejsze podjęte działania przekładają się na duże liczby. Branża cementowo-betonowa podąża drogą do neutralności emisyjnej. Liczne działania podejmowane są w wielu obszarach, począwszy od działań na etapie produkcji klinkieru i cementu skończywszy na działaniach związanych z konstrukcją budowlaną i jej ewentualną rozbiórką czy recyklingiem, mające na celu obniżenie śladu węglowego w całym łańcuchu wartości.

Pierwsza nawierzchnia betonowa powstała w 1888 roku na placu Bluechera (obecnie Plac Solny) we Wrocławiu. Początki technologii nawierzchni betonowych rozpoczęły się w latach 30. XX wieku, kiedy to budowano autostradę A4, łączącą zagłębie Ruhry z zagłębiem górnośląskim [12].

Po II Wojnie Światowej nawierzchnie betonowe wykonywano głównie na drogach o znaczeniu strategicznym. W latach 1918-1939, budowano nawierzchnie dróg

krajowych głównie z kostki kamiennej, kostki klinkierowej i betonu cementowego. Współczesne drogi betonowe w Polsce są wynikiem wieloletniego rozwoju i doświadczeń, które obejmują zarówno konstrukcję, jak i technologię wykonania nawierzchni betonowych. W 1995 roku wybudowano pierwszy odcinek autostrady o nawierzchni betonowej, co było współczesnym przełomem w historii polskich dróg betonowych.

Budowa dróg betonowych w Polsce jest wynikiem rozwoju technologii oraz wykorzystania doświadczeń europejskich i światowych.

W Polsce kierowcy mają do dyspozycji łącznie 5115,6 km dróg szybkiego ruchu w podziale 1849,2 km autostrad i 3266,4 km dróg ekspresowych. Z roku na rok przybywa dróg betonowych, zgodnie z statystykami na koniec 2023 r. było 1168,19 km dróg ekspresowych i autostrad z nawierzchnią betonową, co stanowi 22,8% sieci dróg szybkiego ruchu w Polsce [9].

Według danych EUPAVE (Europejskie Stowarzyszenie Nawierzchni Betonowych) nawierzchnia betonowa była także na 45,4 km (0,16%) dróg wojewódzkich, 600 km (0,5%) dróg powiatowych i 1200 km (0,5%) dróg gminnych [10].

Nawierzchnie betonowe w Europie występują na autostradach w ilości – Austria > 50%, Belgia – około 40% i Niemcy > 50%, Wielka Brytania – około 50%, Czechy > 65%.

Drogi te mają liczne zalety, są tańsze i zdecydowanie trwalsze w porównaniu z nawierzchniami z mieszanek mineralno-asfaltowymi, nie występuje na nich efekt koleinowania i posiadają lepszą widoczność podczas jazdy z uwagi na ich jasny kolor [11].

Nawierzchnie betonowe w Polsce – wymagania

W Polsce dotychczas budowane drogi betonowe były układane na podbudowie z mieszanek związanych cementem o grubości około 18-20 cm, warstwa ta w zasadzie jest pierwszą betonową warstwą konstrukcji drogi ekspresowej. Następnie na podbudowie z mieszanki związanej cementem rozkłada się geowłókninę i dopiero wtedy przystępuje się do wykonania ostatniej warstwy czyli nawierzchni betonowej. W ostatnich latach wykonano w naszym kraju również kilka dróg ekspresowych z konstrukcją z podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej 0/31,5 grubości 27 cm zamiast warstwy chudego betonu i co za tym idzie grubszą warstwą betonu nawierzchniowego – 32cm. Wymagania dotyczące cementów obowiązujące od 2025 roku na drogach szybkiego ruchu WWiORB D.05.03.04v03 Nawierzchnia z betonu cementowego (dokument wzorcowy) [8].

Należy stosować cementy klasy wytrzymałości 32,5 lub 42,5 o normalnej wczesnej wytrzymałości N lub wysokiej wczesnej wytrzymałości R. Do betonu dolnej i górnej warstwy należy stosować ten sam rodzaj i klasę cementu.

Tabela 1. Cementy do betonowych nawierzchni drogowych w kategoriach ruchu od KR5 do KR7, kategoria środowiska E3 [8].

Rodzaje nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania normowe	Wymagania dodatkowe
1	2	3	4
Nawierzchnia dwuwarstwowa, gdy górna i dolna warstwa są z różnych mieszanek, a górna warstwa jest z kruszywem odkrytym.	Cement portlandzki: CEM I 32,5 R CEM I 32,5 N	PN-EN 197-1	początek wiązania wg PN-EN 196-3: ≥ 120 minut stopień zmielenia wg PN-EN 196-6 : $\leq 3500\text{cm}^2/\text{g}$
	Cement portlandzki : CEM I 42,5 R CEM I 42,5 N		początek wiązania wg PN-EN 196-3: ≥ 90 minut stopień zmielenia wg PN-EN 196-6 : $\leq 3800\text{cm}^2/\text{g}$
Nawierzchnia dwuwarstwowa gdy górna i dolna warstwa są z tej samej mieszanki.	Cement portlandzki żużłowy CEM II/A-S	PN-EN 197-1	początek wiązania wg PN-EN 196-3: ≥ 120 minut
Nawierzchnia jednowarstwowa	Cement portlandzki żużłowy CEM II/B-S	PN-EN 197-1	początek wiązania wg PN-EN 196-3: ≥ 120 minut

Do obliczania zawartości alkaliów aktywnych dla cementów przedstawionych w tabeli 1 należy przyjmować następujące wielkości współczynników w_i przedstawione w [8]:

- 85% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim CEM I, CEM I - NA lub cemencie portlandzkim wapiennym CEM II/A-LL, CEM II/A-LL - NA;
- 80 % całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim żużłowym CEM II/A-S, CEM II/A-S - NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A-M (S-LL), CEM II/A-M (S-LL) – NA;
- 70% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/A-V, CEM II/A-V - NA, cemencie portlandzkim żużłowym CEM II/B-S, CEM II/B-S - NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A-M (S-V), CEM II/A-M (S-V) - NA;
- 60% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/B-V, CEM II/B-V - NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/B-M (S-V), CEM II/B-M (S-V) - NA, cemencie hutniczym CEM III/A, CEM III/A - NA;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w domieszkach do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w wodzie zarobowej (nie dotyczy wody wodociągowej).

- w przypadku kruszyw naturalnych ze złóż krajowych ze skał litych i okruszowych nie stwierdza się znaczącego wymywania alkaliów, a co za tym idzie, alkalia wymywalne z kruszywa pomija się w bilansie $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie.

Doświadczenia krajowe w zakresie doboru cementu do nawierzchni betonowych dotychczas koncentrowały się na stosowaniu cementu CEM I 42,5 R(N), spełniającego dodatkowe wymagania określone w dokumentacji technicznej [1]. W celu zmniejszenia obciążenia środowiskowego oraz zmniejszenia ryzyka wystąpienia reakcji alkalia–krzemionka, zdecydowano się na zastosowanie cementu CEM II/B-S 42,5 R-NA. JASNY CEM II/B-S 42,5 R-NA to cement portlandzki żużlowy o klasie wytrzymałości 42,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej (R), zgodny z normą PN-EN 197-1 oraz charakteryzujący się niską zawartością alkaliów, zgodnie z PN-B-19707. Cement ten przeznaczony jest do specjalistycznych zastosowań, w tym do infrastruktury drogowej i mostowej. Głównym składnikiem nieklinkierowym w tym cemencie jest mielony granulowany żużel wielkopiecowy, który odgrywa kluczową rolę w ograniczaniu reakcji alkalia–kruszywo. Skuteczność tego składnika została potwierdzona w badaniach nad wpływem zawartości alkaliów całkowitych, rozpuszczalnych i aktywnych w cemencie na reakcje z silnie reaktywnym kruszywem ze szkła borowo-krzemionkowego, zgodnie z normą ASTM. Wyniki badań wykazały, że cement CEM II/B-S 42,5 R-NA skutecznie hamuje reakcję alkalia–krzemionka, co pozwala zakwalifikować go jako materiał niewywołujący tej reakcji w przypadku podatnych kruszyw.

Dodatkowo elementy wykonane na cemencie JASNY CEM II/B-S 42,5 R-NA mają jaśniejszy kolor, co przyczynia się do wielu pozytywnych aspektów. Z perspektywy nawierzchni betonowych można wymienić m.in.: przeciwdziałanie globalnemu ociepleniu, redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła, oszczędność kosztów i energii na oświetlenie dróg, poprawa widoczności, szczególnie w trudnych warunkach atmosferycznych co jest kluczowe dla bezpieczeństwa drogowego [4, 5].

2. Parametry wytrzymałościowe i trwałościowe betonu nawierzchniowego

Beton zastosowany na realizowanym odcinku VI autostrady A2 został poddany weryfikacji zgodnie z wymaganiami dla betonu nawierzchniowego, określonymi w Tabeli 15 dokumentu D-05.03.04v02 [1]. Receptury zarówno górnej warstwy betonu (GWB), jak i dolnej warstwy betonu (DWB) zostały opracowane przez TPA Sp. z o.o. wraz ze wsparciem Cement Ożarów na bazie cementu CEM II/B-S 42,5 R-NA. Wybrane średnie wyniki wytrzymałościowe i trwałościowe uzyskane przez laboratorium GDDKiA, TPA Sp. z o.o. oraz Cement Ożarów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki wytrzymałościowe oraz trwałościowe dla GWB i DWB (wartości średnie).

Właściwości betonu	Jednostka	Wymagania	GWB	DWB
Wytrzymałość na ściskanie po 56 dniach ¹⁾ , nie niższa niż:	MPa	C35/45	65,1	63,4
Wytrzymałość betonu na zginanie po 56 dniach ¹⁾ , nie niższa niż:	MPa	5,5	7,8	7,7
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu po 56 dniach ¹⁾ , nie niższa niż:	MPa	3,5	5,0	4,8
Charakterystyka porów powietrznych w betonie - zawartość mikroporów o średnicy poniżej 0,3 mm (A300), - wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie L,	% mm	$\geq 1,5$ $\leq 0,200$	2,94 0,120	2,84 0,140
Kategoria mrozoodporności po 56 dniach ¹⁾ dla GWB, nie niższa niż:	----	FT2	FT2	----
Mrozoodporność F150, przy badaniu na działanie mrozu w 56 dniu ¹⁾ dla DWB - ubytek masy, nie więcej niż: - spadek wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż: - próbki nie wykazują pęknięć	% % ----	5 20 brak spękań	---- ---- ----	0,0 3,2 brak

¹⁾ Zgodnie z czasem równoważnym wynikającym z charakterystyki użytego cementu wg tabeli 16 [1].

Uzyskane i przedstawione wyniki dotyczące wytrzymałości oraz trwałości potwierdzają bardzo wysokie parametry betonu nawierzchniowego na bazie cementu CEM II/B-S 42,5 R-NA. W trakcie realizacji inwestycji parametry betonu zarówno warstwy górnej, jak i dolnej, cechowały się stabilnością i powtarzalnością.

W ramach dalszych działań mających na celu ograniczenie śladu węglowego w realizowanym projekcie, zespół STRABAG oraz CEMENT OŻARÓW zaproponowali Zamawiającemu innowacyjne rozwiązanie materiałowe. Polegało ono na zastosowaniu cementu hutniczego CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA w dolnej warstwie nawierzchni betonowej. W warstwie górnej pozostawiono sprawdzone rozwiązanie oparte na cemencie JASNY CEM II/B-S 42,5 R-NA. Przedstawiono program odcinka doświadczalnego o długości około 1 km. Odcinek próbny został wykonany w VII 2025.

W marcu 2025 roku, na Wytwórni Betonu Towarowego STRABAG, wraz z Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), przeprowadzono zaroby próbne, które umożliwiły zatwierdzenie receptury dolnej warstwy betonu opartej na cemencie CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki dolnej warstwy na bazie CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA

Właściwości betonu	Jednostka	Wymagania	DWB
Wytrzymałość na ściskanie po 90 dniach ¹⁾ , nie niższa niż:	MPa	C35/45	56,2
Wytrzymałość betonu na zginanie po 90 dniach ¹⁾ , nie niższa niż:	MPa	5,5	7,3
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu po 90 dniach ¹⁾ , nie niższa niż:	MPa	3,5	5,1
Charakterystyka porów powietrznych w betonie			
- zawartość mikroporów o średnicy poniżej 0,3 mm (A300),	%	≥ 1,5	2,47
- wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie L,	mm	≤ 0,200	0,120
Mrozoodporność F150, przy badaniu na działanie mrozu w 90 dniu ¹⁾ dla DWB			
- ubytek masy, nie więcej niż:	%	5	0,1
- spadek wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż:	%	20	3,5
- próbki nie wykazują pęknięć	----	brak spękań	brak spękań

¹⁾ Zgodnie z czasem równoważnym wynikającym z charakterystyki użytego cementu wg tabeli 16 [1].

Przedstawione wyniki jednoznacznie potwierdzają możliwość zastosowania tego rodzaju cementu w analizowanej aplikacji. Uzyskane parametry techniczne, zarówno pod względem wytrzymałości, jak i trwałości, wskazują na pełną zgodność z wymaganiami stawianymi materiałom stosowanym w nawierzchniach betonowych. Tym samym cement ten może być bezpiecznie i efektywnie wykorzystywany w realizacjach infrastrukturalnych, spełniając zarówno kryteria jakościowe, jak i środowiskowe.

3. Ślad węglowy betonu nawierzchniowego

Zastosowanie mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego w cemencie JASNY CEM II/B-S 42,5 R-NA pozwala znacząco ograniczyć jego ślad węglowy — aż o około 30% w porównaniu do cementu CEM I 42,5 R. Tak istotna redukcja emisji przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie śladu węglowego betonowych nawierzchni.

Przeprowadzono szereg testów potwierdzających przydatność cementu CEM II/B-S 42,5 R-NA o obniżonym śladzie węglowym do zastosowań w nawierzchniach betonowych. Dla opracowanych receptur oszacowano ślad węglowy betonu (CO₂eq) w zakresie faz A1–A3, zgodnie z metodyką oceny cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) według normy PN-EN 15804+A2:2020-03 [2]. Ocena cyklu życia obejmuje kilka etapów, które przedstawiono w poniższej tabeli 4. Do obliczeń śladu węglowego betonu [kg CO₂eq/m³ mieszanki betonowej] uwzględniono produkcję

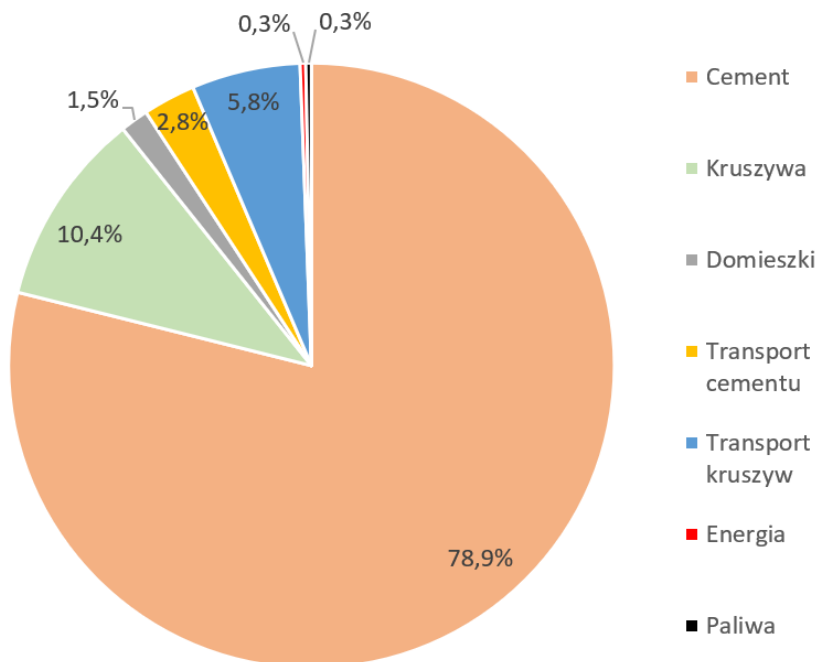
poszczególnych składników, ich transport na miejsce wbudowania oraz proces wytworzenia 1 m³ betonu [2].

Tabela 4. Cykl życia i fazy cyklu życia obiektów budowlanych według PN-EN 15804+A2:2020-03 [2]

FAZA WYROBU	A1	Wydobycie i wytwarzanie surowców
	A2	Transport surowców
	A3	Produkcja wyrobów
FAZA WBUDOWANIA	A4	Transport
	A5	Wbudowanie
FAZA UŻYTKOWANIA	B1	Użytkowanie
	B2	Konserwacja
	B3	Naprawa
	B4	Wymiana
	B5	Renowacja
	B6	Zużycie energii
	B7	Zużycie wody
FAZA KOŃCA CYKLU ŻYCIA	C1	Rozbiórka
	C2	Transport
	C3	Utylizacja/ponowne użycie
	C4	Składowanie
POZA CYKLEM ŻYCIA	D	Ponowne wykorzystanie/Recykling

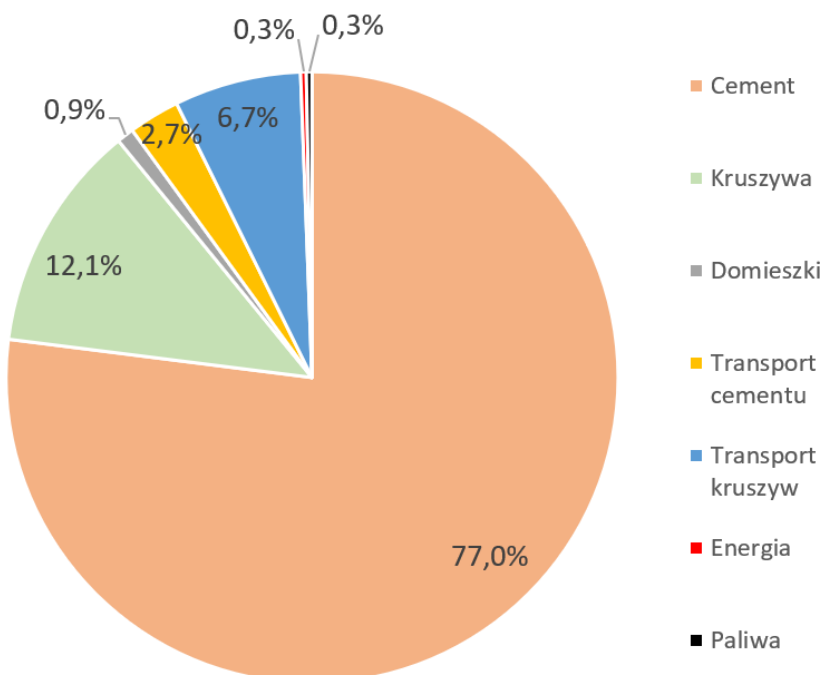
W tradycyjnym i powszechnie stosowanym rozwiązaniu, cement odpowiedzialny jest za około 77% śladu węglowego betonu w fazie wyrobu A1-A3 (przyjęto wartość śladu węglowego dla CEM I 42,5 R (N) podaną w Deklaracji Środowiskowej III Typu opublikowaną przez Stowarzyszenie Producentów Cementu) [3]. Wartości nieznacznie się różnią w zależności od warstwy betonu: górna czy dolna, co przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Udział składników w GWB na bazie CEM I 42,5 R



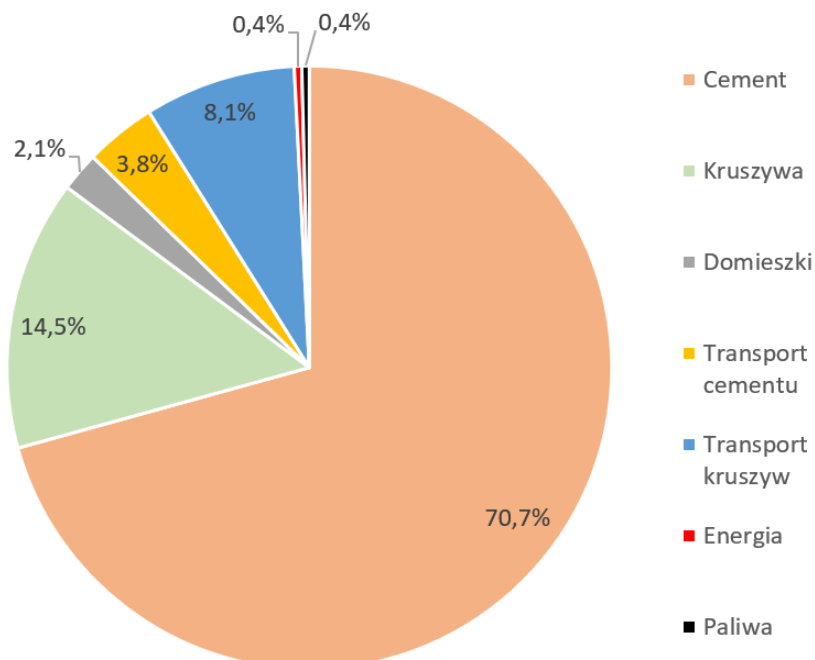
Rysunek 1. Udział w śladzie węglowym betonu warstwy GWB poszczególnych składników dla CEM I 42,5 R.

Udział składników w DWB na bazie CEM I 42,5 R



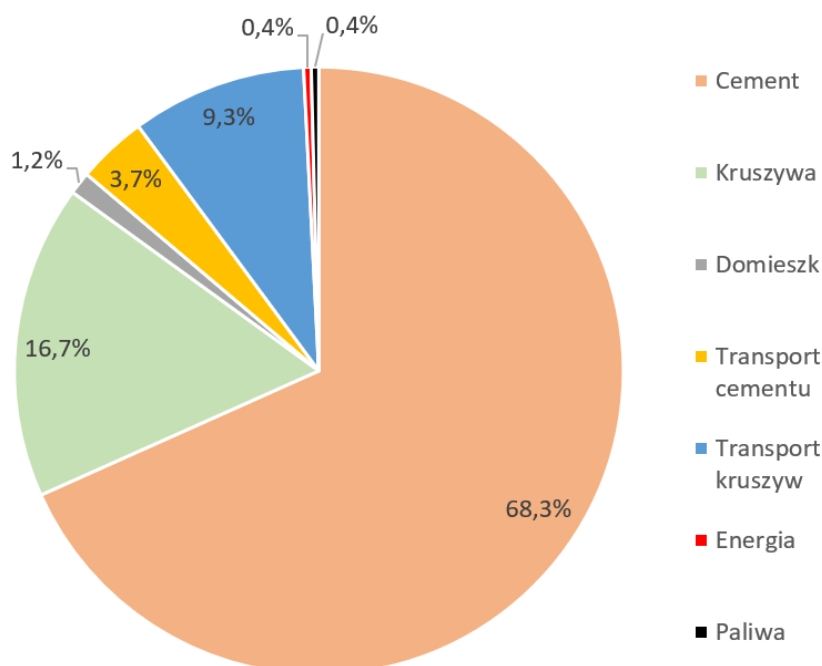
Rysunek 2. Udział w śladzie węglowym betonu warstwy DWB poszczególnych składników dla CEM I 42,5 R.

Udział składników w GWB na bazie CEM II/B-S 42,5 R-NA



Rysunek 3. Udział w śladzie węglowym betonu warstwy GWB poszczególnych składników dla CEM II/B-S 42,5 R-NA.

Udział składników w DWB na bazie CEM II/B-S 42,5 R-NA



Rysunek 4. Udział w śladzie węglowym betonu warstwy DWB poszczególnych składników dla CEM II/B-S 42,5 R-NA.

Zastosowanie cementu CEM II/B-S 42,5 R-NA o obniżonym śladzie węglowym, jako zamiennika dla cementu CEM I 42,5 R (N), spowodowało zmianę proporcji udziału poszczególnych składników w całkowitym śladzie węglowym betonu. W nowym rozwiązaniu cement odpowiada za około 70% emisji CO₂eq w fazie wyrobu (A1–A3), co przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Wartość śladu węglowego dla cementu CEM II/B-S 42,5 R-NA przyjęto na podstawie Deklaracji Środowiskowej III typu opracowanej dla Cementu Ożarów [6].

W tabeli 5 przedstawiono ślad węglowy betonu [kg CO₂eq/m³] dla fazy wyrobu A1-A3 w zależności od warstwy nawierzchni oraz wykorzystanego cementu w przeliczeniu na wyprodukowanie 1m³ betonu.

Tabela 5. Ślad węglowy dla GWB i DWB w zależności od rodzaju cementu

Warstwa nawierzchni	Rodzaj cementu	Ślad węglowy 1 m ³ betonu [kg CO ₂ eq/m ³]
GWB	CEM I 42,5 R,N ¹⁾	386,9
	CEM II/B-S 42,5 R-NA ²⁾	278,1
DWB	CEM I 42,5 R,N ¹⁾	359,7
	CEM II/B-S 42,5 R-NA ²⁾	261,1
	CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA ²⁾	206,3

¹⁾ Wartości śladu węglowego cementu zgodnie z Deklaracją Środowiskową III Typu Stowarzyszenia Producentów Cementu [3].

2) Wartości śladu węglowego cementu zgodnie z Deklaracją Środowiskową III Typu Cement Ożarów [6,7].

Na odcinku A2 Siedlce Południe (dawniej Swoboda) – Malinowice (odcinek VI) powstanie 360 000 m² nawierzchni wykonanej w technologii betonowej. Górna warstwa betonu (GWB) będzie miała grubość 5 cm, a dolna warstwa (DWB) – 22 cm. Na podstawie tych parametrów oszacowano zapotrzebowanie na beton: 18 000 m³ dla warstwy GWB oraz 79 200 m³ dla warstwy DWB.

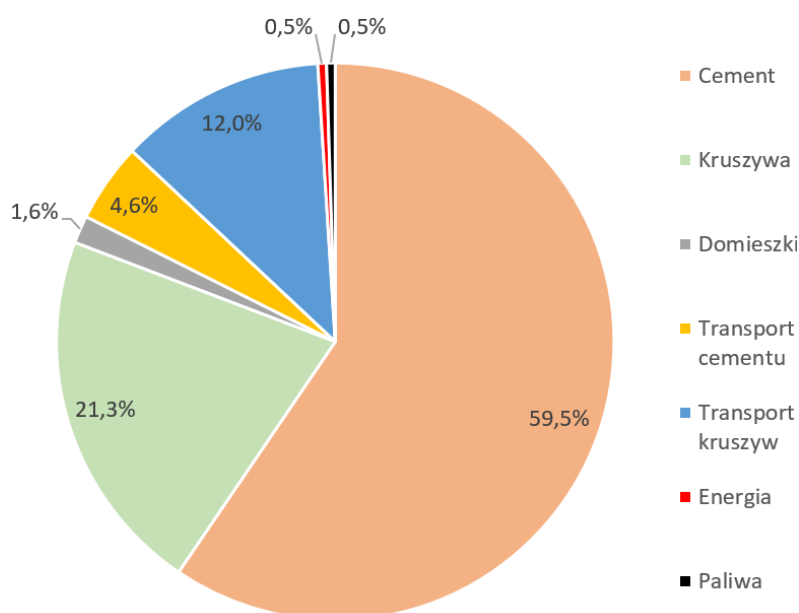
Zastąpienie cementu CEM I 42,5 R (N) cementem CEM II/B-S 42,5 R-NA produkcji Cement Ożarów pozwoliło na redukcję śladu węglowego betonu w fazie wyrobu (A1–A3) o 9 767 520 kg CO₂eq, co stanowi około 28% w porównaniu do tradycyjnego rozwiązania.

Państwa Europy Zachodniej poszły o krok dalej w ograniczaniu śladu węglowego nawierzchni betonowych. W ich specyfikacjach technicznych nie występuje wymóg stosowania tego samego rodzaju i klasy cementu w obu warstwach betonu – górnej i dolnej. W ostatnich latach w Niemczech standardem stało się rozwiązanie polegające na zastosowaniu cementu CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA w dolnej warstwie oraz cementu CEM I 42,5 R(N) w warstwie górnej. Takie podejście, choć powszechnie stosowane za granicą, jest obecnie niedopuszczalne w świetle polskich przepisów.

Warto zadać pytanie, czy to ograniczenie jest rzeczywiście uzasadnione? Odpowiedzią może być przytoczony w niniejszym referacie doświadczalny odcinek na kontrakcie A2 odc.VI, w którym zastosowano cement HUTNICZY CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA w dolnej warstwie nawierzchni betonowej a w górnej cement JASNY CEM II/B-S 42,5 R-NA.

Ślad węglowy 1 m³ betonu dolnej warstwy w fazie wyrobu [A1-A3] na bazie cementu CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA wynosi 206,3 [kg CO₂eq/m³] (Wartości śladu węglowego cementu zgodnie z Deklaracją Środowiskową III Typu Cement Ożarów [7]). Układ w śladzie węglowym poszczególnych składowych dla warstwy DWB przedstawia poniższy rysunek.

Udział składników w DWB na bazie CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA



Rysunek 5. Udział w śladzie węglowym betonu warstwy DWB poszczególnych składników dla CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA.

Porównując wcześniejsze obliczenia dotyczące zastosowania cementów CEM I 42,5 R(N) oraz CEM II/B-S 42,5 R-NA Cement Ożarów dla deklarowanej ilości betonu nawierzchniowego na analizowanym kontrakcie z obecnie stosowanym rozwiązaniem opartym na cemencie CEM II/B-S 42,5 R-NA oraz z wariantem doświadczalnym, w którym w dolnej warstwie zastosowano cement CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA Cement Ożarów, można wykazać dodatkowy potencjał redukcji emisji.

W odniesieniu do rozwiązania zastosowanego na kontrakcie A2, odcinek VI, gdzie zarówno górna (GWB), jak i dolna warstwa betonu (DWB) oparta jest na cemencie CEM II/B-S 42,5 R-NA, zastosowanie wariantu doświadczalnego – z cementem CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA w dolnej warstwie – pozwala na dodatkową redukcję śladu węglowego betonu w fazie wyrobu (A1–A3) o 4 340 160 kg CO₂eq, co stanowi około 17%. W porównaniu do tradycyjnego rozwiązania opartego na cemencie CEM I 42,5 R(N), redukcja emisji wynosi aż 14 107 680 kg CO₂eq, czyli około 40%.

4. Podsumowanie

STRABAG wspólnie z CEMENT OŻARÓW wprowadził rozwiązanie pozwalające znacznie zredukować ślad węglowy nawierzchni betonowej, co w dużym stopniu pozytywnie wpływa na środowisko, w którym żyjemy i pracujemy. W ramach dążeń do zwiększenia trwałości nawierzchni drogowych oraz jeszcze większego ograniczenia śladu węglowego w budownictwie infrastrukturalnym, podjęto dalsze działania mające na celu praktyczną weryfikację przydatności cementu CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA w dolnej warstwie nawierzchni betonowej autostrady.

Po uzyskaniu akceptacji Zamawiającego wykonano odcinek doświadczalny o długości ok 1 km na jezdni zasadniczej autostrady A2 z zastosowaniem różnego rodzaju spoiw w GWB i DWB. Zakres badań obejmował zarówno kontrolę parametrów mieszanek betonowych w trakcie wbudowania, jak i kompleksową ocenę nawierzchni w procesie hydratacji bezpośrednio po jej ułożeniu. Ciągły nadzór technologiczny nad produkcją mieszanek betonowych i wykonawstwem nawierzchni z betonu cementowego sprawowało laboratorium TPA Sp. z o.o.

Przeprowadzone analizy potwierdziły:

- Właściwą urabialność mieszanek przy zachowaniu wymaganych czasów wiązania i twardnienia.
- Zgodność parametrów mieszanek betonowych w procesie układania z wymaganiami Specyfikacji.
- Niską podatność na powstawanie spękań powierzchniowych i skurcz plastyczny.

Wspólna strategia i determinacja firmy Cement Ożarów, jako producenta cementu oraz przedsiębiorstwa Strabag jako producenta mieszanek i wykonawcy nawierzchni betonowej, jak i doświadczenie zdobyte na etapie realizacji odcinka testowego stanowią bez wątpienia solidną podstawę do szerszego wdrażania nowoczesnych, trwałych nawierzchni betonowych w przyszłych projektach drogowych, zgodnie z kierunkiem zrównoważonego rozwoju budownictwa infrastrukturalnego w Polsce.

5. Literatura

- [1] Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych D-05.03.04v02 Nawierzchnia z betonu cementowego, GDDKiA, Warszawa 2019
- [2] PN-EN 15804+A2:2020-03 Zrównoważenie obiektów budowlanych -- Deklaracje środowiskowe wyrobu -- Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych
- [3] Deklaracja Środowiskowa III Typu – EPD, Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2020
- [4] Wysokie albedo – arkusz informacyjny, EUPAVE i SPC, 2020
- [5] Mniejsze zużycie paliwa – arkusz informacyjny, EUPAVE i SPC, 2020
- [6] Deklaracja Środowiskowa III Typu – EPD dla CEM II/B-S 42,5 R-NA, Cement Ożarów, 2024
- [7] Deklaracja Środowiskowa III Typu – EPD dla CEM II/B-S 42,5 R-NA, Cement Ożarów, 2024
- [8] Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych D-05.03.04v03 Nawierzchnia z betonu cementowego, GDDKiA, Warszawa 2025
- [9] Podsumowanie 2023 roku, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad; <https://www.gov.pl/web/gddkia/podsumowanie-2023-roku>

- [10] Drogi betonowe – jest ich w Polsce coraz więcej. Są lepsze od asfaltowych., Stowarzyszenie Producentów Cementu, Murator Plus, 2022
- [11] Drogi betonowe są tańsze od asfaltowych, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Piotr Pietrzyński, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2016
- [12] Doświadczenia z budowy i utrzymania nawierzchni betonowych w Polsce, Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło, Politechnika Wrocławska, 2017