

# **Ocena zmian właściwości wytrzymałościowych wzdłuż wysokości elementów konstrukcyjnych wykonanych z betonów nowej generacji**

ASSESSMENT OF THE CHANGES IN STRENGTH PROPERTIES OF THE  
NEW GENERATION CONCRETES ALONG THE HEIGHT OF THE ELEMENTS

## **Streszczenie**

W pracy przedstawiono ocenę zmian właściwości wytrzymałościowych betonu wzdłuż wysokości elementów badawczych. Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z betonu zwykłego, wysokowartościowego i samozagęszczalnego. W pracy analizowano wytrzymałość betonu na ściskanie i na rozciąganie przy rozłupywaniu. Dodatkowo oznaczono zmianę gęstości i temperatury dojrzewania betonu wzdłuż wysokości badanych elementów. W eksperymencie wykorzystano próbki badawcze umożliwiające ocenę badanych cech wytrzymałościowych na określonych poziomach elementów o całkowitej wysokości 1050 i 1950 mm. Elementy badawcze zaprojektowano tak, aby ich wysokość stanowiła wielokrotność próbki referencyjnej – kostki sześciennej o wymiarach 150x150x150 mm.

Przeprowadzone badania wykazały, że w betonach nowej generacji, tak jak i w betonach zwykłych, wytrzymałość na ściskanie ulega redukcji wraz ze wzrostem odległości od dna formy. Niemniej jednak zmodyfikowana mikrostruktura oraz odmienne właściwości reologiczne mieszanek betonów nowej generacji powodują, że wielkość redukcji wytrzymałości na ściskanie jest znacznie mniejsza niż w betonach zwykłych. Maksymalna redukcja wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości badanych elementów wyniosła 15,4% w przypadku betonu zwykłego, 5,9% dla betonu wysokowartościowego i 4,2% dla betonu samozagęszczalnego. Ponadto betony nowej generacji charakteryzują się również jednorodnym rozkładem wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów badawczych.

## **Abstract**

The paper presents the assessment of the changes in strength properties of the concrete along the height of the elements of research. Studies were performed on the samples made from normal concrete, high-performance concrete and self-compacting concrete. In the paper the analysis of compressive strength and splitting tensile strength was done. Additionally, the change of the density and temperature of curing along the height of the analyzed elements was determined. In the experiment the research samples allowing the assessment of the analyzed strength at certain levels of elements of total height 1050 and 1950 mm were used. The research elements are designed in the way that their height is a multiple of the reference sample – cubical dimensions 150x150x150 mm.

The studies showed that in new generation concretes, as well as in normal concrete, the compressive strength is reduced with increasing distance from the bottom of a formwork. However, the modified content and the different rheological properties of mixtures of new generation concretes cause that the compressive strength reduction is significantly lower than in the case of the normal concrete. Maximum differences of the compressive strength along the height of analysed elements were 15,4% in the case of normal concrete, 5,9% for high-performance concrete and 4,2% for self-compacting concrete. Additionally, new generation concretes are characterized by a homogenous distribution of the compressive strength along the height of research elements.

## 1. Wprowadzenie

Nieustanny rozwój technologii betonu spowodował w ostatnich dziesięcioleciach powstanie betonów nowej generacji, o jakościowo znacząco lepszych właściwościach, nie tylko w aspekcie wytrzymałości i trwałości, ale i reologii. Do betonów nowej generacji zaliczamy między innymi beton wysokowartościowy oraz beton samozagęszczalny [1, 6]. Właściwości mechaniczne oraz trwałość betonów nowej generacji zależą przede wszystkim od ich mikrostruktury. Zależności te zostały szczegółowo opisane w licznych opracowaniach dotyczących betonu [2, 3, 4, 6]. W prezentowanych opracowaniach wykazano, że zależność pomiędzy mikrostrukturą betonu a jego właściwościami mechanicznymi nie zależy bezpośrednio od przyjętej metody zagęszczenia mieszanki. W rezultacie jeśli struktura betonu zagęszczonego wibracyjnie i samozagęszczalnego będzie zbliżona, to na zbliżonym poziomie pozostaną również ich właściwości mechaniczne.

Można jednak przypuszczać, że zmodyfikowana mikrostruktura oraz odmienne właściwości reologiczne mieszanek betonów nowej generacji powodują, że rozkład cech wytrzymałościowych wzdłuż wysokości elementów betonowych jest bardziej jednorodny niż w betonach zwykłych.

W niniejszej pracy podjęto próbę oceny rozkładu cech wytrzymałościowych betonów nowej generacji wzdłuż wysokości monolitycznych słupów betonowych wykonanych z betonów zagęszczanych wibracyjnie i samozagęszczalnych, o takim samym stosunku w/c i sporządzonych ze składników o takich samych właściwościach.

Prezentowane zagadnienie ma znaczenie praktyczne przy analizie elementów o znacznej wysokości, w których technologia betonowania sprzyja występowaniu niejednorodności betonu. Niejednorodności te powodują zróżnicowany rozkład odkształceń na wysokości elementu, co zwiększa jego imperfekcje. Waga analizowanego zagadnienia wzrasta wraz z zastosowaniem betonów o coraz wyższych wytrzymałościach umożliwiającą realizowanie materiałooszczędnych, lecz jednocześnie bardziej smukłych elementów konstrukcyjnych.

## 2. Program badań

### 2.1. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie podstawowych właściwości wytrzymałościowych betonu dla normowej próbki sześcienniej w zależności od wysokości jej położenia w monolitycznym słupie betonowym. W ramach programu badawczego przygotowano modele doświadczalne, które różnią się między sobą:

- wysokością elementów badawczych – 1050 mm i 1950 mm,
- rodzajem betonu – beton zwykły, samozagęszczalny, wysokowartościowy i wysokowartościowy beton samozagęszczalny,
- metodą zagęszczenia (beton zagęszczany wibracyjnie, samozagęszczalny).

Dla każdego modelu badawczego wykonano badania wytrzymałości betonu na ściskanie [9] i rozciąganie (w próbie rozłupywania) [10]. Wszystkie badania przeprowadzono po 28 dniach dojrzewania betonu w warunkach laboratoryjnych, w powietrzu, w temperaturze 20°C i wilgotności względnej 95%. Oprócz cech wytrzymałościowych określono również zmianę gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów badawczych oraz rozkład temperatury nagrzewu powierzchniowego w wyniku reakcji hydratacji cementu w czasie wiązania po 24 godzinach od zabetonowania.

## 2.2. Materiały

W programie doświadczalnym użyto cztery różne mieszanki betonowe – beton zwykły (NC), samozagęszczalny (SCC), wysokowartościowy (HPC) i wysokowartościowy beton samozagęszczalny (HPSCC). Mieszanki betonowe w swojej klasie charakteryzowały się takim samym stosunkiem wodno-cementowym (w/c) lub wodno-spoiwowym (w/s) i składnikami o takich samych właściwościach. Wartość wskaźnika w/c w przypadku mieszanek betonów NC i SCC przyjęto na poziomie 0,46, natomiast dla mieszanek betonów HPC i HPSCC przyjęto wskaźnik w/s na poziomie 0,32. Skład mieszanek betonowych stosowanych w badaniach podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład mieszanek betonowych stosowanych w badaniach

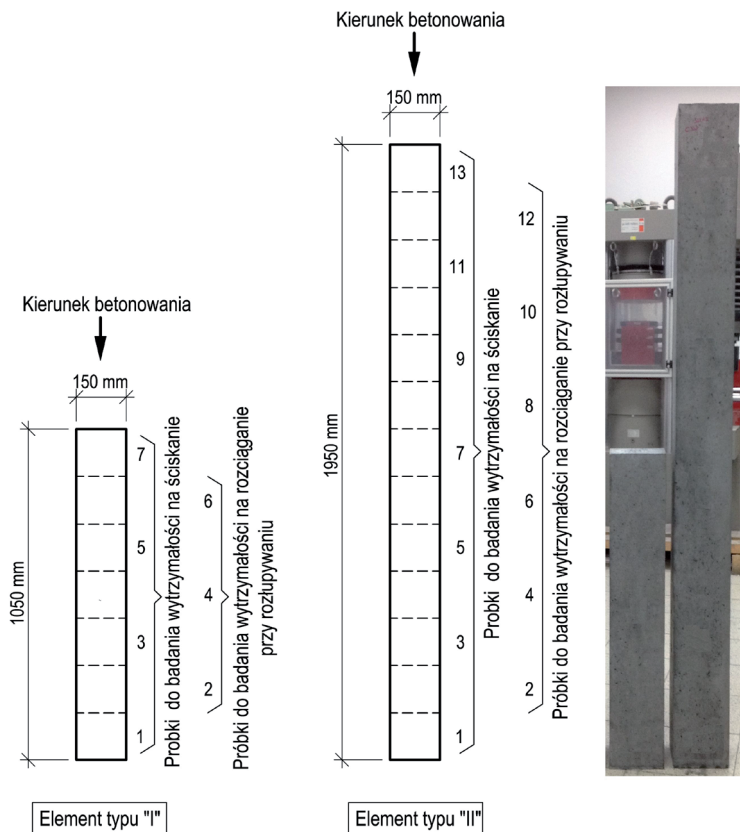
Skład [kg/m <sup>3</sup> ]	Oznaczenie receptury			
	NC	SCC	HPC	HPSCC
Cement CEM I 32.5R	370	370	–	–
Cement CEM I 42.5R	–	–	476	476
Woda	170	170	160	160
Piasek 0/2 mm	645	700	665	790
Kruszywo żwirowe 2/8 mm	555	465	–	–
Kruszywo żwirowe 8/16 mm	645	465	–	–
Grys bazaltowy 2/8 mm	–	–	565	524
Grys bazaltowy 8/16 mm	–	–	580	524
Popiół lotny	–	180	–	–
Pył krzemionkowy	–	–	24	24
Superplastyfikator	–	4,2	3,8	5,0

## 2.3. Elementy badawcze

W projekcie badawczym wykorzystano dwa elementy zróżnicowane między sobą wysokością. Elementy zaprojektowano tak, aby ich wysokość stanowiła wielokrotność modułu podstawowego – kostki sześcienniej o wymiarach 150x150x150 mm. Element I składał się z 7 modułów podstawowych a element typu II z 13. Schematyczny widok elementów badawczych przedstawia rysunek 1. Jedną serię badawczą (betonowanie elementu I i II oraz elementów referencyjnych) przeprowadzono każdorazowo z jednego zarobu mieszanki betonowej. Dla każdego rodzaju betonu wykonano po cztery serie badawcze. Mieszankę betonową podawano od góry formy. W przypadku stosowania betonów zagęszczanych wibracyjnie, betonowanie elementów prowadzono warstwami o wysokości około 50 cm. Każda układana warstwa mieszanki, jak i ich styki zostały zagęszczone mechanicznie za pomocą buławy wibracyjnej. Przyjęta technologia zagęszczania stanowi podstawową metodę zagęszczania betonu w elementach o znacznej wysokości [5].

Zabetonowane elementy pozostawiano przez okres 3 dni w szalunkach. Po rozszalowaniu próbki przechowywano w pomieszczeniu laboratoryjnym w niezmienionej pozycji. Do czasu badania próbki zabezpieczone były przed wstrząsami oraz poddawane były stałej pielęgnacji poprzez zraszanie wodą. Po okresie 21 dni elementy zostały pocięte na elementarne części. Próbki o numeracji nieparzystej wykorzystano do określenia wy-

trzymałości na ściskanie, a próbki o numeracji parzystej do określenia wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu.



Rys. 1. Schematyczny widok elementów badawczych

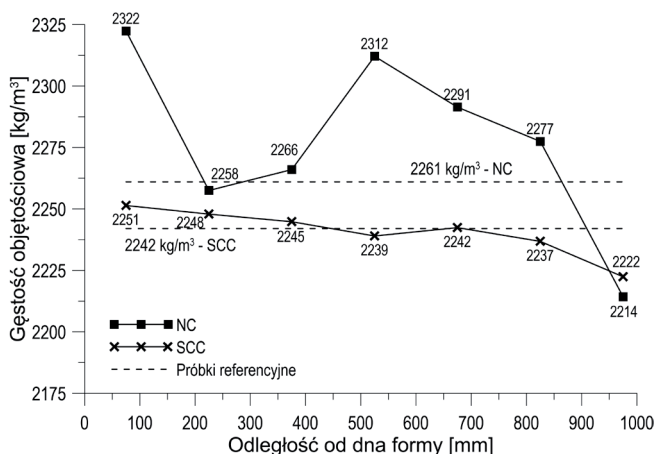
### 3. Wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości podstawowych właściwości wytrzymałościowych próbek referencyjnych oraz właściwości reologiczne mieszanek betonowych. Dla mieszanek zagęszczanych wibracyjnie określono konsystencję metodą opadu stożka [7]. W przypadku mieszanek samozagęszczalnych konsystencje określono na podstawie rozplywu stożka Abramsa [8]. Zastosowane mieszanki betonu samozagęszczalnego charakteryzowały się brakiem oznak segregacji i wycieku zaczynu oraz spełniały kryteria klasy płynności SF2 oraz lepkości plastycznej VS2. Mieszanki betonów zagęszczanych wibracyjnie spełniały klasę konsystencji S4.

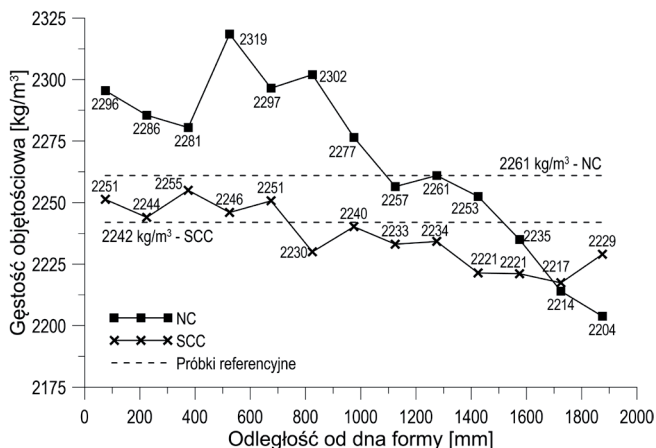
Przebiegi zmian ocenianych cech na wysokości elementów zaprezentowano na rysunkach od 2 do 13. Wykresy pogrupowano w zależności od wysokości elementu badawczego i rodzaju betonu.

Tabela 2. Właściwości reologiczne mieszanek betonowych i średnie właściwości mechaniczne próbek referencyjnych

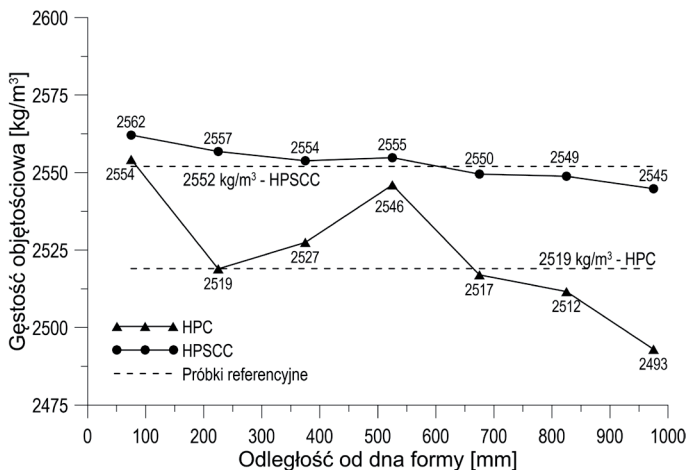
Receptura	Opad stożka	Rozplływ	Czas rozplwywu $T_{50}$	Gęstość	Wytrzymałość na ściskanie		Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu	
	[cm]	[cm]	[s]		$f_{c,cube}$ [MPa]	$v$ [%]	$f_{ct,sp}$ [MPa]	$v$ [%]
NC	17	–	–	2261	35,48	4,2	2,74	6,4
SCC	–	68	4,1	2242	37,28	2,7	3,05	4,4
HPC	20	–	–	2519	78,24	4,8	4,85	5,1
HPSCC	–	66	3,3	2552	79,14	3,1	4,58	3,9



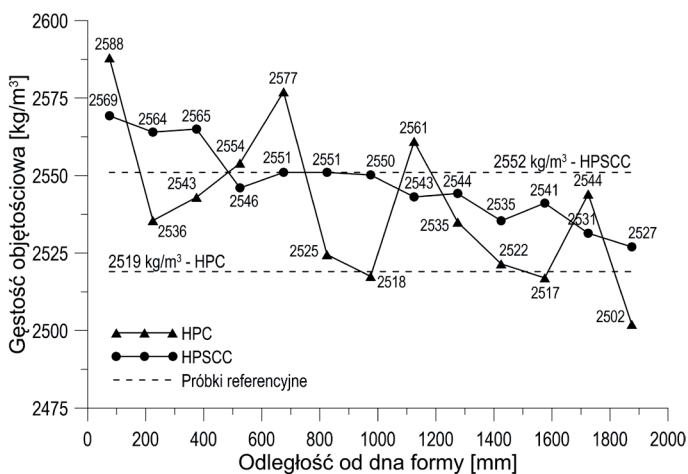
Rys. 2. Rozkład średniej gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów NC i SCC



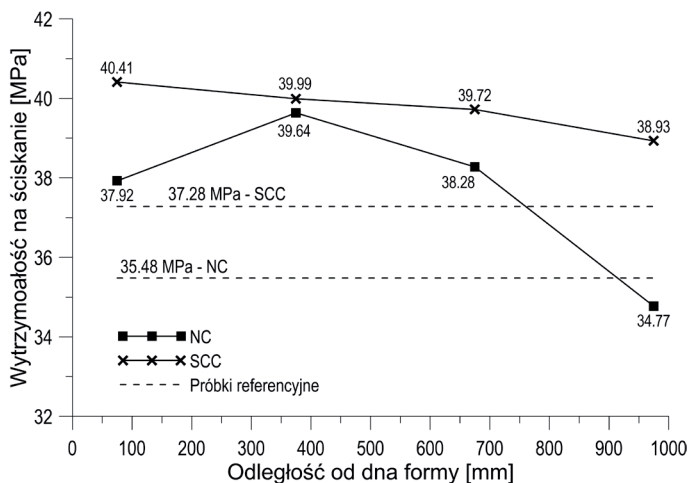
Rys. 3. Rozkład średniej gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów NC i SCC



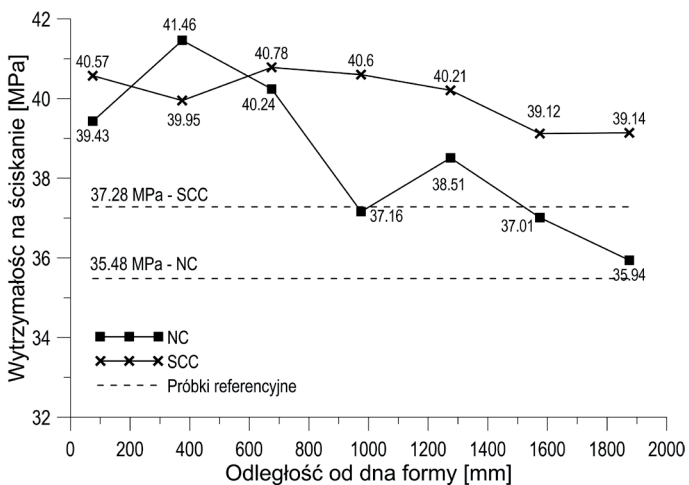
Rys. 4. Rozkład średniej gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów HPC i HPSCC



Rys. 5. Rozkład średniej gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów HPC i HPSCC

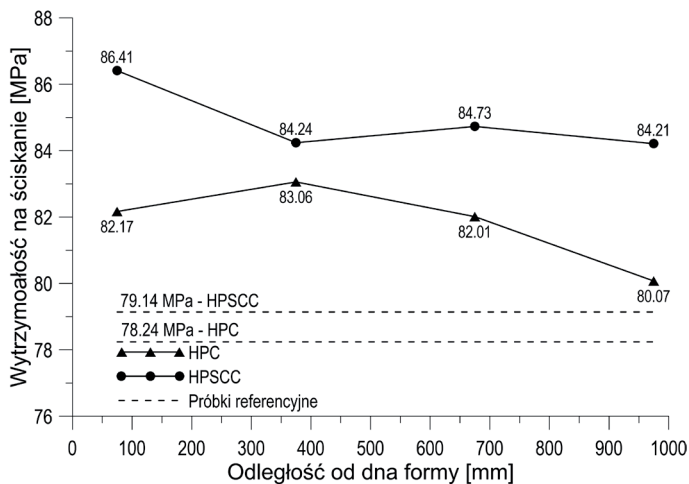


Rys. 6. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów NC i SCC

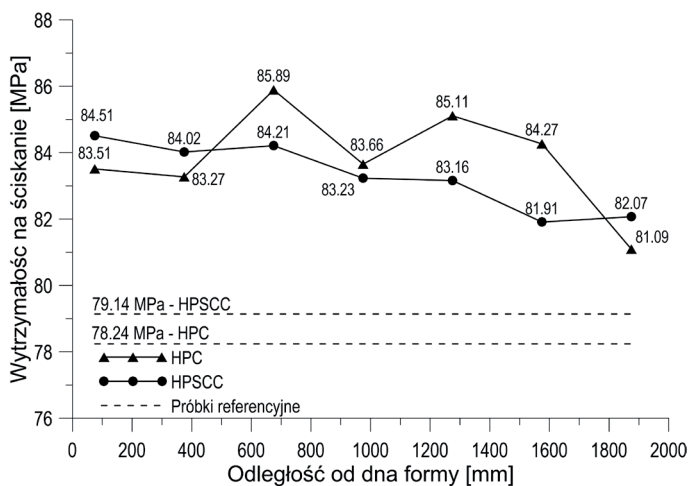


Rys. 7. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów NC i SCC

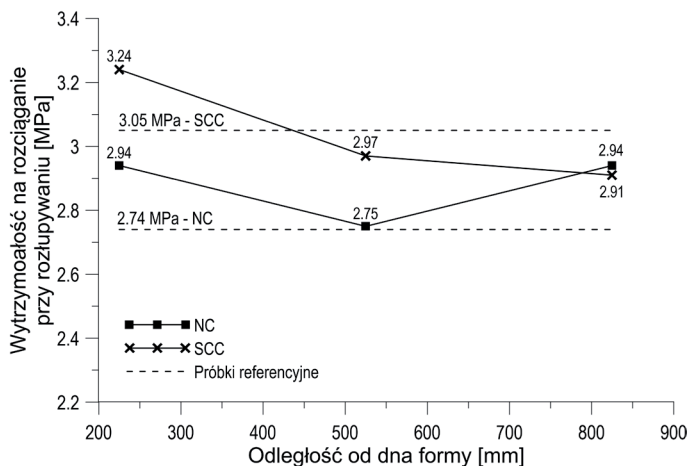




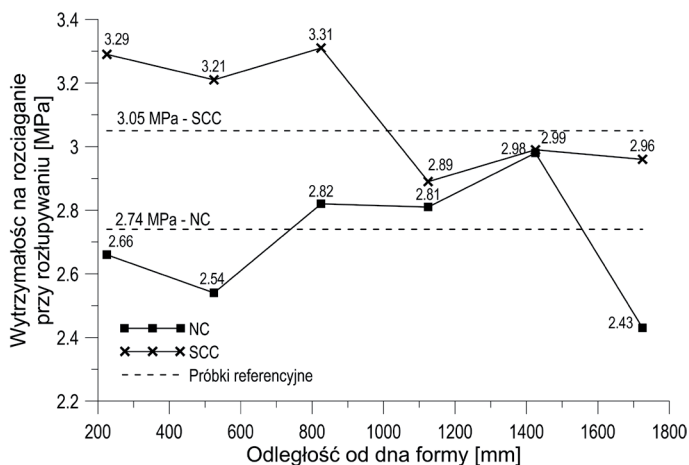
Rys. 8. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów HPC i HPSCC



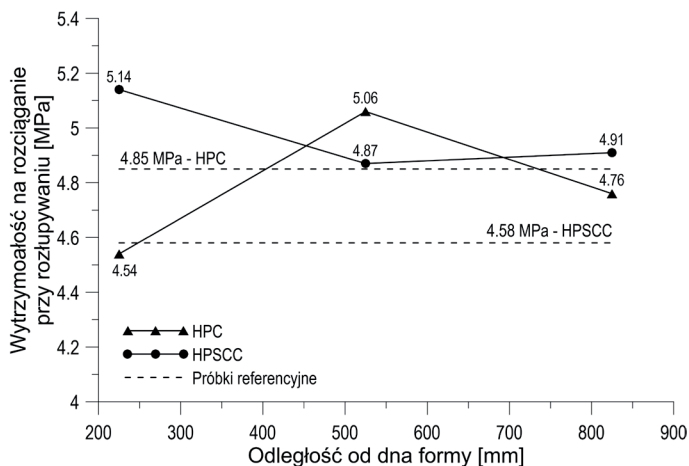
Rys. 9. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów HPC i HPSCC



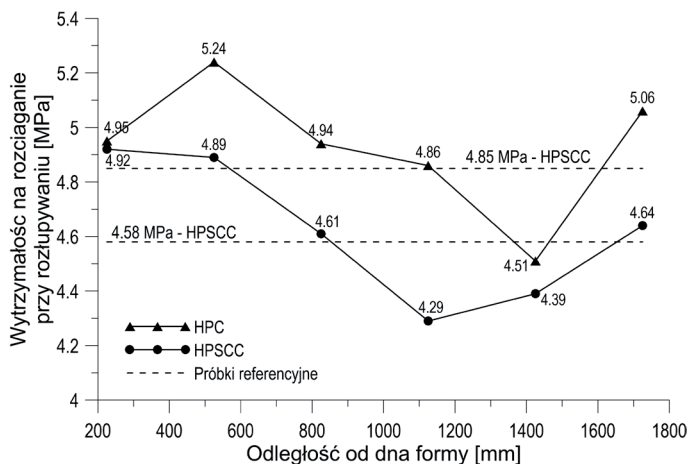
Rys. 10. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów NC i SCC



Rys. 11. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów NC i SCC



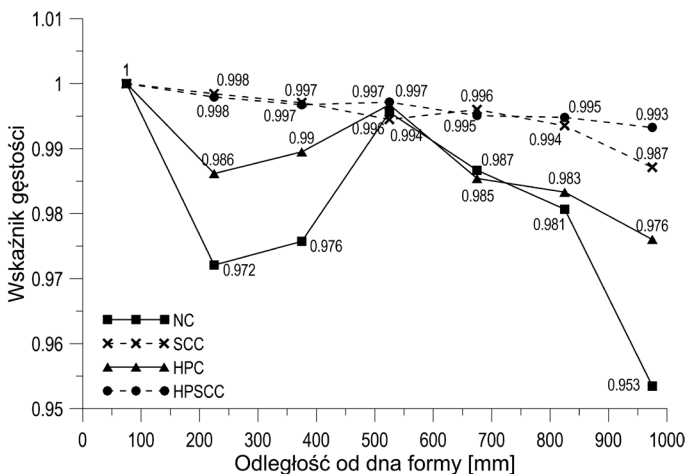
Rys. 12. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów HPC i HPSCC



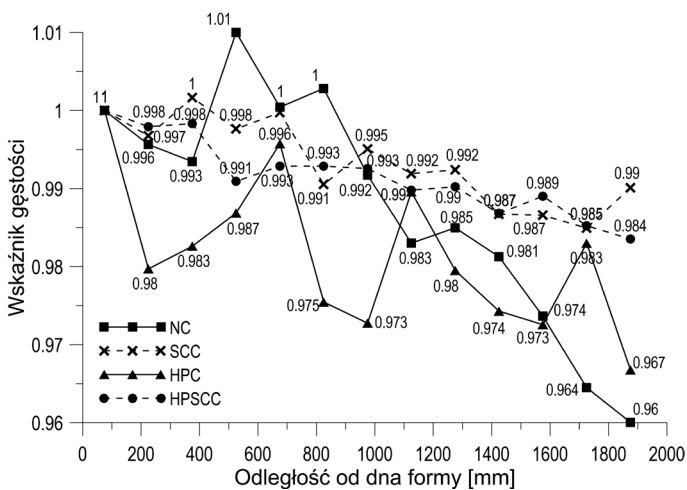
Rys. 13. Rozkład średniej wartości wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów HPC i HPSCC

## 4. Analiza wyników badań

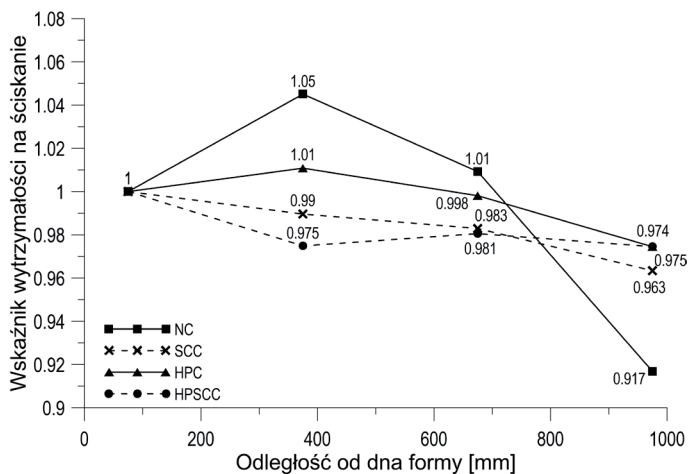
W celu przeprowadzenia analizy zmian ocenianych cech wzdłuż wysokości elementów badawczych zastosowano bezwymiarowy wskaźnik. Wskaźnik wyznaczano jako stosunek wartości ocenianej cechy na poszczególnych poziomach elementu badawczego względem próbki położonej najniżej. Przebiegi zmian wskaźnika ocenianych cech na wysokości elementów badawczych zaprezentowano na rysunkach od 14 do 19.



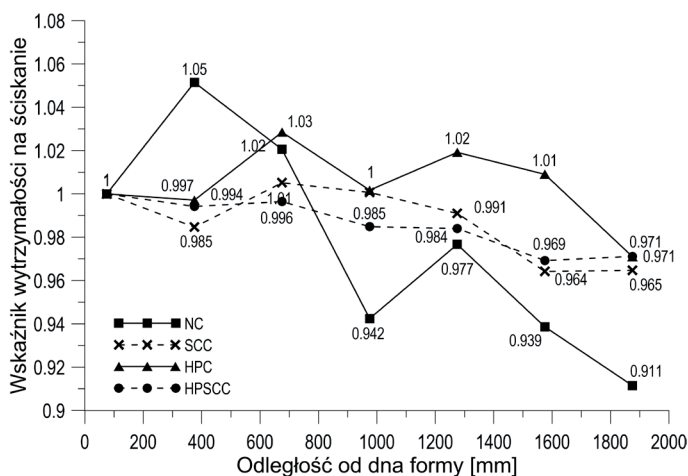
Rys. 14. Rozkład wskaźnika gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów NC, SCC, HPC i HPSCC



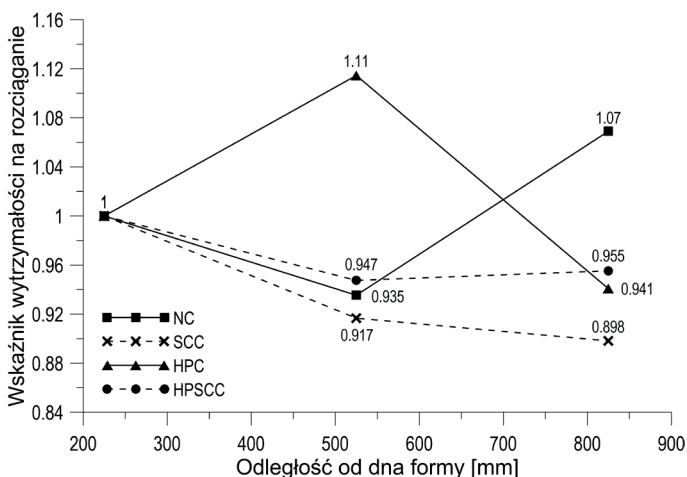
Rys. 15. Rozkład wskaźnika gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów NC, SCC, HPC i HPSCC



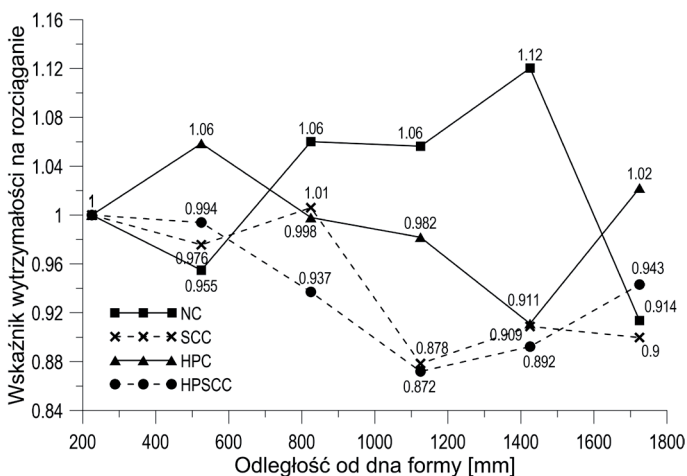
Rys. 16. Rozkład wskaźnika wytrzymałości na ściskanie betonu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów NC, SCC, HPC i HPSCC



Rys. 17. Rozkład wskaźnika wytrzymałości na ściskanie betonu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów NC, SCC, HPC i HPSCC



Rys. 18. Rozkład wskaźnika wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu wzdłuż wysokości elementów typu I wykonanych z betonów NC, SCC, HPC i HPSCC



Rys. 19. Rozkład wskaźnika wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu wzdłuż wysokości elementów typu II wykonanych z betonów NC, SCC, HPC i HPSCC

#### 4.1. Rozkład – gęstość

Przeprowadzony program badawczy wykazał, że gęstość objętościowa betonu wzdłuż wysokości elementów nie jest stała. W badanych elementach zaobserwowano redukcję gęstości betonu wraz ze wzrostem odległości od dna formy. Fizyczne podstawy tego zjawiska związane są ze szczególną formą segregacji (bleeding) polegającą na przemieszczaniu się części wody w kierunku powierzchni górnej mieszanki. Proces ten ma charakter sedymentacyjny i jest przyczyną formowania się betonu o większej porowatości.

W przypadku elementów zagęszczanych wibracyjnie można wyróżnić wzdłuż wysokości elementów strefy o zwiększonej gęstości. Lokalizacja tych stref pokrywa się ze stykami układanych kolejnych warstw mieszanki betonowej, które zostały każdorazowo ponownie zagęszczone. Współczynnik zmienności rozkładu gęstości wzdłuż wysokości elementów mieścił się w granicach od 0,9% do 1,8%. Maksymalna wartość redukcji gęstości wzdłuż wysokości elementu typu I (1050 mm) wyniosła 6,3% dla betonu NC i 2,5% dla betonu HPC. W przypadku elementu typu II (1950 mm) redukcja wyniosła 5,5 % i 3,4% odpowiednio dla betonu NC i HPC.

Elementy badawcze wykonane z betonów samozagęszczalnych nie wykazują znacznych różnic gęstości wzdłuż wysokości elementów. Współczynnik zmienności badanego rozkładu mieścił się w granicach od 0,2% do 0,5%. Maksymalna wartość redukcji gęstości wzdłuż wysokości elementu typu I (1050 mm) wyniosła 1,3% dla betonu SCC i 0,7 % dla betonu HPSCC. W przypadku elementu typu II (1950 mm) redukcja wyniosła 1,7% dla betonu SCC i HPSCC.

Przeprowadzone badania wykazały, że sposób zagęszczenia mieszanki ma istotny wpływ na przebieg i wielkość redukcji gęstości objętościowej betonu.

Otrzymane rezultaty wykazały również, że trend rozkładu gęstości objętościowej betonu oraz maksymalne wartości redukcji gęstości nie są uzależnione od wysokości elementów badawczych. Tendencja ta jest niezależna od rodzaju stosowanych betonów.

## 4.2. Rozkład – wytrzymałość na ściskanie

W betonach nowej generacji, tak jak i w betonach zwykłych, wytrzymałość na ściskanie ulega redukcji wraz ze wzrostem odległości od dna formy. Niezależnie od użytego składu betonu w górnej części elementu tworzy się strefa słabszej jakości betonu. Fizyczne podstawy tego zjawiska związane są ze szczególną formą segregacji związaną z samoczynnym odsączaniem wolnej wody. Niemniej jednak zmodyfikowana mikrostruktura oraz odmienne właściwości reologiczne betonów nowej generacji powodują, że wielkość redukcji wytrzymałości na ściskanie w górnej strefie elementu jest znacznie mniejsza niż w betonach zwykłych.

Maksymalna wartość redukcji wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementu typu I (1050 mm) wyniosła 14% dla betonu NC i 3,7% dla betonu HPC. W przypadku elementu typu II (1950 mm) redukcja wyniosła 15,4% i 5,9%, odpowiednio dla betonu NC i HPC. Elementy badawcze wykonane z betonów samozagęszczalnych nie wykazują znacznego zróżnicowania wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów. Zanotowana maksymalna wartość redukcji w przypadku elementu typu I (1050 mm) wyniosła 3,8% dla betonu SCC i 2,6% dla betonu HPSCC. W przypadku elementu typu II (1950 mm) redukcja wyniosła 4,2% i 3,2%, odpowiednio dla SCC i HPSCC.

Wyniki badań wskazują, że betony zwykłe są bardziej podatne na zmianę wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości badanych elementów. Brak takiego efektu w przypadku betonów nowej generacji związany jest ze wzrostem spójności mieszanki betonowej, zmniejszeniem segregacji składników i wydzielania mlecza cementowego.

Dla betonów samozagęszczalnych przebieg wskaźnika wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów jest praktycznie liniowy. Współczynnik zmienności badanego rozkładu mieścił się w granicach od 1,1% do 1,6%. W przypadku betonów zagęszczanych wibracyjnie przebieg analizowanego wskaźnika jest bardziej zróżnicowany. Dla betonu NC współczynnik zmienności wyniósł 4,7%. Przeprowadzone badania wykazały zgodność rozkładu wytrzymałości na ściskanie z rozkładem gęstości objętościowej betonu

wzdłuż wysokości elementów. W przypadku betonów zagęszczanych wibracyjnie rozkład wytrzymałości uzależniony jest od przyjętej technologii zagęszczania.

Analizując wykresy na rysunkach 16 i 17 można stwierdzić, że trend rozkładu wytrzymałości na ściskanie betonu oraz wielkość redukcji wytrzymałości nie są uzależnione od wysokości elementów badawczych. Tendencja ta jest niezależna od rodzaju stosowanych betonów.

Otrzymane wytrzymałości na ściskanie próbek wyciętych z elementów typu I i II są generalnie większe od wytrzymałości określonej na próbkach referencyjnych. Tylko w przypadku próbek górnych elementów wykonanych z betonu NC uzyskano mniejszą wytrzymałość na ściskanie w stosunku do wartości otrzymanej na próbkach referencyjnych. Maksymalna różnica wyniosła 2%.

### 4.3. Rozkład – wytrzymałość na rozciąganie

Analizując rozkład wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu trudno ustalić trend związany z położeniem próbki na wysokości elementów badawczych. Nie udało się również określić trendu związanego z wysokością elementów badawczych. Wyznaczone wartości wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu są ściśle związane z losowym ułożeniem kruszywa w betonie. Analizowane czynniki nie wpływają więc decydująco na wartości wytrzymałości na rozciąganie.

### 4.4. Rozkład temperatury

Podczas dojrzewania elementów wykonano pomiary rozkładu temperatury betonu na poszczególnych poziomach. Niezależnie od rodzaju betonu i wysokości elementu najwyższe temperatury w wyniku nagrzewania występowały w środkowych strefach elementów. Najniższe były natomiast w strefach dolnych i górnych, gdzie ciepło z hydratacji cementu mogło być odprowadzane do otoczenia przez największe powierzchnie zewnętrzne elementów.

## 5. Uwagi i wnioski końcowe

- W betonach nowej generacji, tak jak i w betonach zwykłych, wytrzymałość na ściskanie ulega redukcji wraz ze wzrostem odległości od dna formy. Niemniej jednak zmodyfikowana mikrostruktura oraz odmienne właściwości reologiczne betonów nowej generacji powodują, że wielkość redukcji wytrzymałości na ściskanie jest znacznie mniejsza niż w betonach zwykłych. Maksymalna redukcja wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości badanych elementów wyniosła 15,4% w przypadku betonu zwykłego, 5,9% dla betonu wysokowartościowego i 4,2% dla betonu samozagęszczalnego.
- Betony nowej generacji charakteryzują się bardziej jednorodnym rozkładem wytrzymałości na ściskanie wzdłuż wysokości elementów betonowych w porównaniu do betonu zwykłego.
- Przeprowadzone badania wykazały zgodność rozkładu wytrzymałości na ściskanie z rozkładem gęstości objętościowej betonu wzdłuż wysokości elementów.
- Wysokość elementu betonowego nie wpływa na przebieg zmian gęstości objętościowej oraz wytrzymałość na ściskanie betonu, jak również na maksymalne wartości redukcji



powyższych cech. Tendencja ta występuje zarówno w przypadku betonu zwykłego, jak i betonów nowej generacji.

- W celu zmniejszenia wpływu imperfekcji związanej ze strukturą betonu w elementach konstrukcyjnych zaleca się stosowanie betonów samozagęszczalnych.

## **Literatura**

- [1] Z. Giergiczny, J. Małolepsz, J. Szwabowski, J. Śliwiński: Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji. Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o. w Opolu, Opole 2002.
- [2] F. de Larrard: Concrete mixture proportioning: a scientific approach, E&FN SPON 1999.
- [3] A.M. Neville: Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków 2000.
- [4] G. de Schutter, P.J.M. Bartos, P. Domone, J. Gibbs: Self-compacting concrete. Whittles Publishing, Dunbeath 2008.
- [5] J. Szwabowski: Metody zagęszczania betonu na budowie, technologie, sprzęt wydajność. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Ustroń 2002.
- [6] J. Szwabowski, J. Golaszewski: Technologia betonu samozagęszczalnego. Polski Cement, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2010.
- [7] PN-EN 12350-2:2011. Badania mieszanek betonowych. Część 2: Badania konsystencji metodą opadu stożka. Warszawa: PKN, 2011.
- [8] PN-EN 12350-8:2011. Badania mieszanek betonowych. Część 8: Beton samozagęszczalny. Badanie metodą rozplywu stożka. Warszawa: PKN, 2012.
- [9] PN-EN 12390-3:2011. Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań. Warszawa: PKN, 2011.
- [10] PN-EN 12390-6:2011. Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozlupywaniu próbek do badań. Warszawa: PKN, 2011.