

Zastosowanie betonów o podwyższonych parametrach szczelności ze skłonnością do samoregeneracji na przykładzie realizacji budowy garażu wielopoziomowego w Kielcach

Streszczenie

Na przestrzeni ostatnich lat parkowanie samochodów, w szczególności w wielkich miastach, stało się jednym z najważniejszych problemów urbanistycznych. Problem staje się coraz bardziej zauważalny, dlatego wymaga to prowadzenia racjonalnej polityki, spójnej z polityką komunikacyjną i inwestycyjną miast. Analizy wykazują, iż obecnie niezbędne jest wybudowanie na poziomie około 3 mln miejsc parkingowych. Znaczną część tych miejsc można uzyskać w zakresie realizacji garaży wielopoziomowych nadziemnych, generujących tym samym niskie koszty utrzymania oraz zmniejszających zapotrzebowanie na teren pod parkingi. Autorzy referatu prezentują doświadczenia praktyczne z realizacji 5-kondygnacyjnego parkingu przy zastosowaniu zespolonych prefabrykatów wykonanych z betonu o podwyższonych parametrach trwałościowych z innowacyjną warstwą żywiczną, dzięki którym objętość konstrukcji uległa redukcji, obniżono tym samym koszt realizacji inwestycji oraz zredukowano energochłonność produkcji i wskaźnik emisji CO₂.

Słowa kluczowe:

Watertight Concrete, samoregeneracja betonu, szczelna konstrukcja betonowa, parking prefabrykowany

Abstract

Car parking in recent years; in large cities in particular it has become one of the most important urban problems. The problem is becoming more and more noticeable, which is why it requires rational policy consistent with the communication and investment policy of cities. Analyses show that it is currently necessary to build around 3 million parking spaces. A significant part of these places can be obtained in the implementation of above-ground multi-level garages, thus generating low maintenance costs and reducing the demand for parking lots. The authors of the paper present practical experience from the implementation of a 5-storey car park using composite recast concrete elements made of concrete with increased durability parameters with an innovative resin layer, thanks to which the volume of the structure has been reduced, thereby reducing the cost of investment, and reducing the energy consumption of production and CO₂ emission index.

Keywords:

Watertight Concrete, self-healing of concrete, airtight concrete construction, precast concrete parking structure

cja pozwala w znaczącym stopniu na oszczędność miejsca, niwelując tym samym ciągle rosnące zapotrzebowanie na przestrzenie garaży. Umożliwia to pomieszczenie maksymalnej liczby miejsc parkingowych na minimalnej powierzchni bazowej. Optymalna wielkość miejsca postojowego to 2,5 m szerokości na 5,0 m długości. Dla zachowania płynności ruchu szerokość pasa komunikacji dla pojazdów nie powinna być krótsza niż 6,0 m. Wysokość netto kondygnacji to 2,8 m, zaś wysokość użytkowa to około 2,2 m. W zależności od przeznaczenia i wykorzystania garażu zróżnicowana jest powierzchnia metrów kwadratowych przypadająca na miejsce postojowe, waha się ona w przedziale około 22,0 m² – 35,0 m².

2. Warunki techniczne

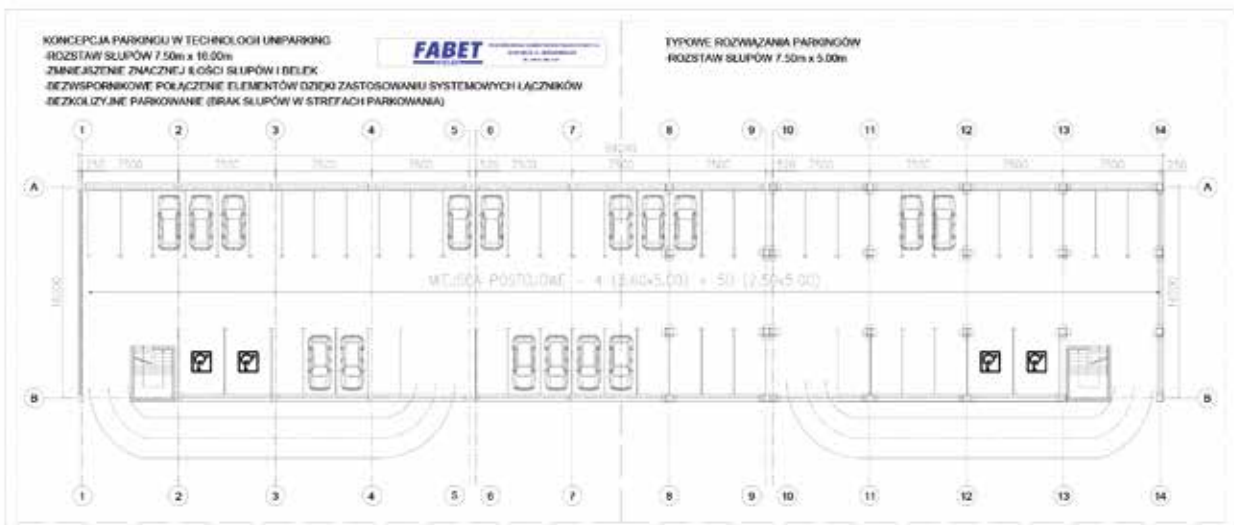
wykonania prefabrykowanego garażu

Realizacja garażu wielopoziomowego odbyła się na podstawie projektu wykonawczego konstrukcji. Elementy prefabrykowane zostały wyprodukowane w zakładzie prefabrykacji PEB FABET SA, które pasowały do siebie jak „klocki” i były łączone w różnych kombinacjach za pomocą łączników systemowych. Takie rozwiązanie ma w sobie zalety tradycyjnej konstrukcji prefabrykowanej: krótki, sprawny, szybki montaż i niski ciężar własny elementów poprzez optymalizację układów i przekrojów konstrukcyjnych. Wielopoziomowy parking spełnia wszystkie niezbędne wymogi ochrony przeciwpożarowej, nie wymaga zakładania instalacji tryskaczowej ze względu na otwartą konstrukcję obiektów. Parking wydaje się optycznie większy i jaśniejszy, dzięki temu istnieje możliwość ograniczenia sztucznego oświetlenia. To wszystko pozwala na lepszą widoczność, tym samym jest bezpieczniejsze dla ludzi i pojazdów. Elewacje na każdym poziomie parkingu posiadają wystarczającą liczbę otworów, aby zapewnić stałą wentylację budynków, co wiąże się ze zmniejszeniem kosztów energii wynikających z montażu elektrycznych systemów wentylacyjnych. Dla lepszej płynności ruchu związanej z procesem parkowania istnieje możliwość zastosowania systemu sygnalizacji zajętości miejsc parkingowych, dając dużą oszczędność czasu użyt-

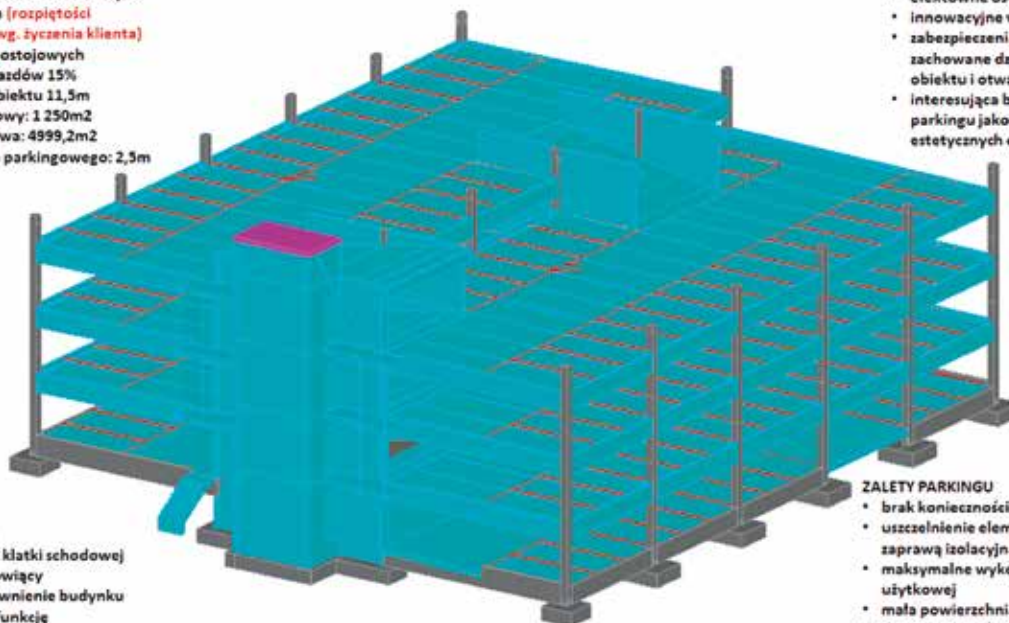
1. Informacje ogólne i założenia projektowe

Prefabrykowane wielopoziomowe garaże to optymalne, indywidualne, funkcjonalne a zarazem oszczędne rozwiązania konstrukcyjne. Ich atrakcyjna cena w relacji ilości miejsc parkingowych przypadających na m² terenu i krótki okres realizacji powodują wysoką konkurencyjność tego produktu oraz potencjalny rynek zbytu w kraju i za granicą. Kubatury garaży zależą od przeznaczenia i lokalizacji obiektów. Dość często muszą one powstawać na małej działce o nieregularnych kształtach lub niewielkiej powierzchni między budynkami użyteczności publicznej, takimi jak dworce kolejowe, galerie handlowe lub jako parking dla pracowników firmy. Filigranowa konstruk-

Rys. 1. Porównanie typowych rozwiązań konstrukcyjnych garaży wielopoziomowych z koncepcją Uniparking



- wymiary w osiach modularnych: 37,5m x 32m (rozpiętości modularne wg. życzenia klienta)
- 189 miejsc postojowych
- pochylnie zjazdów 15%
- max. wys. obiektu 11,5m
- pow. zabudowy: 1 250m²
- pow. użytkowa: 4999,2m²
- szer. miejsca parkingowego: 2,5m



- trzon klatki schodowej stanowiący usztywnienie budynku oraz funkcję przeciwpożarową

- efektywne oświetlenie obiektu
- innowacyjne wykorzystanie energii
- zabezpieczenia przeciwpożarowe są zachowane dzięki przestrzenności obiektu i otwartej przestrzeni bryły
- interesująca bryła zdobiąca dach parkingu jako wzbogacenie walorów estetycznych obiektu

ZALETY PARKINGU

- brak konieczności stosowania nadbetonu
- uszczelnienie elementów łączonych specjalną zaprawą izolacyjną
- maksymalne wykorzystanie powierzchni użytkowej
- mała powierzchnia wjazdów i zjazdów
- zastosowanie dużych rozpiętości modularnych

kowników. Dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników zamontowane zostały bariery ochronne.

Ponadto garaże tego typu mogą mieć ciekawy wyraz architektoniczny jako elementy trwałej architektury w przestrzeni publicznej poprzez projekt elewacji uzależniony od wytycznych zamawiającego lub wymogów programu funkcjonalno-użytkowego, np.: z zielenią porastającą fasadę, z elementami drewnianymi lub kamiennymi.

Kubaturowy garaż wielopoziomy otwarty dla samochodów osobowych został wybudowany w celu uporządkowania systemu parkowania na terenie zakładu firmy PEB FABET SA. Jest on trzykondygnacyjnym obiektem żelbetonowym, o wymiarach w osiach modularnych 37,5 m x 32,0 m. Dach garażu jako poziom 3. pełni również funkcję użytkową dla parkowania samochodów. Garaż jest obiektem otwartym, łączna wielkość niezamykanych otworów w ścianach zewnętrznych na każdej kondygnacji jest większa niż 35% powierzchni ścian. Miejsca garażowe znajdują się na każdej kondygnacji, łącznie zaprojektowano 189 miejsc postojowych. Powstał on w systemie „paletowym” – komunikację kołową pomiędzy poszczególnymi poziomami zapewniają pochylnie o spadku 15%. Dwa wjazdy wykonano na najniższym poziomie od strony południowej i zachodniej. Przy krótszym boku, od strony zachodniej zaprojektowano klatkę schodową stanowiącą odrębną strefę pożarową – skomunikowaną z poziomami parkowania za pomocą galerii komunikacyjnych. Posadzkę strefy garażowej na poziomie 0 wykonano z betonowej kostki brukowej. Natomiast prefabrykowane płyty stropowe oraz pochylnie dla ruchu kołowego nie wymagają stosowania dodatkowych warstw posadzkowych (nadbeton), górna powierzchnia płyt jest wyprofilowana oraz posiada wysoką odporność na ścieranie, mróz, sól oraz niską chłonność wody i chlorów. Stropodach klatki schodowej pokryto żywicą.

3. Zastosowane surowce do budowy parkingu wielopoziomowego

3.1. Cement

Zastosowano cement zgodny z wymaganiami [7] klasy 52,5. Ilość cementu została dobrana tak, aby spełniać wymagania założonej klasy wytrzymałości C50/60 oraz normy odnośnie klasy ekspozycji XC4 i XD3 [3].

3.2. **Kruszywo**

Zastosowano piasek zwykły frakcji 0/2 mm i grysy frakcji 2/8 mm oraz 8/16 mm o D_{max} 16 mm zgodnie z wymaganiami norm [10] i [11].

3.3. Woda

Zastosowano wodę z wodociągu odpowiadającą wymaganiom normy [12].

3.4. Domieszki chemiczne

Zastosowano specjalistyczne domieszki chemiczne firmy SIKA Poland Sp. z o.o.: upłynniającą SIKA®ViscoCrete, napowietrzającą oraz uszczelniającą SIKA®WT200-P wg [13].

4. Opracowanie składu mieszanki betonowej

W tym celu zgromadzono surowce i przystąpiono do licznych testów w Laboratorium Betonu Sika w Warszawie. Celem prac było opracowanie recepty, która spełni wszystkie założenia procesu produkcyjnego oraz zapewni właściwą trwałość konstrukcji. Z uwagi na tempo realizacji ważne było osiągnięcie wytrzymałości do sprężenia elementu w czasie nieprzekraczającym 16 godzin, a w połączeniu z domieszką Sika® WT200-P receptura stanowiła stabilne rozwiązanie produkcyjne. Do tego celu zastosowano silnie redukującą wodę domieszkę Sika®ViscoCrete, która zapewniła optymalny czas przerobu mieszanki betonowej oraz zagwarantowała uzyskanie wytrzymałości do sprężenia; tym samym element mógł być przetransportowany do magazynu, a następnie wbudowany w konstrukcję.

Kolejnym krokiem było zapewnienie dostaw surowców o stabilnych, powtarzalnych parametrach, tak aby uzyskane parametry trwałościowe były zachowane w długim okresie użytkowania. Mieszanka do zbudowania konstrukcji parkingu wyprodukowana w oparciu o technologię Sika Watertight była pierwszy raz zastosowana na taką inwestycję, w przypadku płyt konstrukcyjnych jezdnych bez dodatkowego zabezpieczenia przed czynnikami atmosferycznymi,

Rys. 2. Wizualizacja Uni-parkingu firmy FABET SA



Fot. 1. Nanoszenie preparatu SIKA® Rugasol

tarciem czy obciążeniem dynamicznym. Niewątpliwą zaletą wprowadzenia domieszki Sika®WT200-P jest wyeliminowanie dodatkowych zabiegów wykańczających – poza ostatnią kondygnacją zgodnie z wymogami zawartymi w technologii Watertight Concrete. Producent po rozformowaniu elementu, transporcie i montażu w konstrukcji nie musiał wykonywać dodatkowych warstw typu nadbeton, izolacje itp., oszczędzając tym samym czas i pieniądze, a dodatkowym aspektem wpływającym na tempo wykonywanych prac były jeszcze zmienne warunki pogodowe. Elementy po wyprodukowaniu są gotowe do wbudowania. Prostota niniejszego rozwiązania to niewątpliwie jedna z największych zalet tego systemu.

5. Wykończenie powierzchni prefabrykatu

Ważnym aspektem z punktu widzenia użytkownika w bezpieczny sposób obiektu parkingowego jest zapewnienie właściwego uszorstnienia powierzchni. Jest to istotne z uwagi na ruch pieszki oraz kołowy. Biorąc pod uwagę powyższe, producent testował różne warianty wykończenia powierzchni płyt typu TT. Pierwsze próby wykonano w laboratorium Sika w Warszawie, a już kolejne w czasie prób przedprodukcyjnych w zakładzie prefabrykacji. W tym celu zastosowano środki opóźniające powierzchniowo wiązanie cementu z serii Sika Rugasol. Były nanoszone na powierzchnię prefabrykatu bezpośrednio po wstępnym zatarciu powierzchni elementu za pomocą wałka.

W przypadku materiału Sika Rugasol osiągnięto optymalny efekt (fot. 2); jednak z uwagi na wieloetapowy proces uzyskania właściwej powierzchni, tzn. aplikacji, mycia pod ciśnieniem (duże ilości wody, oczyszczanie zużytej wody, budowa stanowisk mycia itp.) zdecydowano się na prostsze rozwiązanie – uzyskanie właściwego uszorstnienia za pomocą metody „miotłowania”

6. Dodatkowe materiały zastosowane do montażu konstrukcji

Proces produkcji prefabrykatów dla specjalistycznych zastosowań wymaga zaangażowania wielu fachowców, począwszy od projektantów, tech-

Fot. 2. Efekt zastosowania środka Sika® Rugasol



nologów, inżynierów produkcji, monterów, firm wykonawczych itd. Precyzja wykonania wymaga natomiast zastosowania wielu technologii i wielu dodatkowych produktów. Poniżej autorzy referatu przedstawiają kilka przykładów zastosowanych materiałów pomocniczych, dzięki którym uzyskano m.in. pożądany efekt końcowy.

- Sika® Monotop – zaprawa wypełniająca pory i wyrównująca powierzchnie boczne oraz drobne ubytki, zapewniając trwałość elementów konstrukcyjnych obiektu
- Sikaflex® – połączenia i uszczelnienia prefabrykatów, odwodnień, klatek schodowych, ścian jednoskładnikowym, barwnym, elastycznym Sikaflex – poliuretanowym materiałem przeznaczonym do uszczelniania wielu rodzajów szczelin w posadzkach i konstrukcjach inżynierskich. Zapewnia wodoszczelne wypełnienie o dobrych właściwościach mechanicznych, jest odporny na substancje chemiczne i pozostaje elastyczny w szerokim zakresie temperatur
- Sika® Grout – montaż części konstrukcji. Gotowa, ekspansywna, kompensująca skurcz, samorozlewna zaprawa cementowa. Charakteryzuje się przyspieszonym przyrostem wytrzymałości oraz niewielką ekspansją w fazie ciekło-plastycznej
- Sika® NB – jest nanoszony na powierzchnię betonu w celach pielęgnacyjnych. Preparat naniesiony natryskiem stanowi skuteczną ochronę świeżego betonu przed nadmiernym odparowaniem wody.

7. Wyniki badań trwałościowych oraz proces samoregeneracji

Receptura mieszanki betonowej stanowi tajemnicę handlową producenta, dlatego nie została ujawniona w referacie.

Zastosowanie technologii Sika® Watertight Concrete w prefabrykowanym garażu wielopoziomym wraz z dodatkiem domieszki uszczelniającej i wspomagającej proces samoleczenia się betonu – Sika® WT-200 P zapewniła w garażu wymaganą trwałość i szczelność konstrukcji w całym jej przekroju. Finalnie uzyskano beton spełniający założone wymogi trwałościowe bez konieczności stosowania dodatkowych powłok ochronnych.

Kluczowym czynnikiem przy właściwym projektowaniu konstrukcji i elementów prefabrykowanych z punktu widzenia szczelności jest przyjęcie zakładanej rysy skurczowej. Zasadniczo normy europejskie określają konstrukcję szczelną dla wody pod ciśnieniem hydrostatycznym w oparciu o maksymalną rysę skurczową na poziomie $\leq 0,2$ mm. Tylko taka rysa gwarantuje trwałość projektowanego okresu użytkowania na poziomie zgodnym z Eurokodem bez ingerencji w konstrukcję celem jej naprawy.

Rysy w konstrukcjach betonowych są zjawiskiem całkowicie normalnym. Ważne, aby odpowiednio zaprojektować ich rozwartość. Można to robić na minimum dwa sposoby:

1. Projektowanie: odpowiednia ilość zbrojenia przeciwskurczowego, właściwa rysa obliczona zgodnie z tab. 7.105 klasyfikacje szczelności, dozbrojenie niewrażliwych miejsc, przyjęcie odpowiedniej grubości elementów z uwagi na skurcz, przenoszenie obciążeń i wyporność.

2. Technologicznie: zastosowanie odpowiednich cementów, najlepiej z dodatkiem granulowanego żużla wielkopiecowego, domieszek znacząco redukujących ilość wody w betonie, korygowanie stosu okruszowego, właściwej ilości spoiwa i znalezienie równowagi pomiędzy szczelnością i skurczem.

Jako dodatkowy mechanizm zabezpieczający w konstrukcjach wodoszczelnych bezpowłokowych w betonie z technologią Sika® Watertight Concrete stosuje się domieszkę krystalizującą w porach i kapilarach betonu Sika® WT-200 P, która jest kombinacją domieszki uszczelniającej i wspomagającej proces samoleczenia się betonu, redukując tym samym jego przepuszczalność.

Proces samonaprawy (samoregeneracji) rys w betonie jest fundamentalnym elementem technologii betonu o wysokiej i trwałej szczelności Sika® Watertight Concrete.

Efekt w technologii Sika® Watertight Concrete jest wspomagany poprzez zastosowanie tak zwanej „aktywnej” domieszki do betonu wodoszczelnego Sika®WT-200 P powodującej:

- szybszy wzrost procesu krystalizacji wodorotlenku wapnia (CaOH) następujący w chwili pojawienia się rysy w betonie
- przyspieszenie tego procesu skraca okres wymaganej dostępności CO₂ do rysy, a zatem można układać następne warstwy, jeżeli takowe przewiduje projekt
- proces krystalizacji przebiega przez cały okres „życia” betonu, co w efekcie powoduje ciągły wzrost jego szczelności
- wysoka i trwała szczelność betonu ogranicza w bardzo dużym stopniu dostępność jonów rozpuszczalnych w wodzie, a szkodliwych dla betonu (chlorki, siarczany i inne). W efekcie trwałość betonu znacznie wzrasta
- łatwo rozpuszczalny wodorotlenek wapnia reaguje z aktywnymi formami domieszki Sika®WT-200 P, powodując powstawanie soli nierozpuszczalnych w wodzie tworzących jednocześnie barierę dla wnikania wody.

W betonie Sika® Watertight Concrete uzyskujemy normowy warunek wodoszczelności, czyli osiągnięcie dopuszczalnej głębokości penetracji wody pod ciśnieniem wg [2] < 30 mm. Parametr ten jest osiągnięty dla projektowej trwałości betonu (50 lub 100 lat) wymaganej przez normy Eurokodu 2 [1]. Co więcej, zjawisko doszczelnienia mikrostruktury betonu ma charakter trwały. Wewnętrzne badania Sika, a także wyniki uzyskane bezpośrednio z realizacji pokazują, że proces doszczelnienia się betonu jest trwały. Oznacza to, że jest znacząca różnica pomiędzy definiowaniem betonu wodoszczelnego „starym” stopniem wodoszczelności „W” a głębokością penetracji w technologii Sika®. Albowiem dla betonu oznaczonego stopniem „W” określamy jedynie (przy danym ciśnieniu) czas potrzebny, aby przegroda przesiąkła. Próbką ma 15 cm grubości

Tabela 8. Wybrane właściwości stwardniałego betonu

Właściwości	Uzyskane wartości średnie	Dokument odniesienia
Wytrzymałość na ściskanie po 28d	76,5 N/mm ²	PN-EN 12390-3:2019-07
Nasiąkliwość po 28d	3,7%	PN-88/B-06250
Odporność betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie w obecności soli odladzających po 28d – ilość cykli 28	złuszczenie 0,11 kg/m ²	PN-EN 12390-9
Wodoszczelność stropień W10 po 28d	Spełniona max głębokość wnikania wody w mm – 12,0 Średnia głębokość wnikania wody w mm – 3,8	PN-88/B-06250

i przy założeniu, że beton „namoknie” na grubość nawet 14 cm – warunek wodoszczelności pozostanie spełniony, co nie ma nic wspólnego z trwałością i spełnieniem wymogu Eurokodu z zakresu projektowanego okresu użytkowania. Jedyne przyjęcie pełnej koncepcji systemu Sika® Watertight Concrete zagwarantuje trwałość i szczelność w całym okresie użytkowania. Głębokość penetracji wody <30 mm gwarantuje, że zbrojenie w elementach prefabrykowanych nigdy nie zostanie zanurzone w wodzie. Efekt pasywacji stali zostanie zachowany i konstrukcja będzie szczelna i trwała. Uzyskane wyniki z próbek pobranych na zakładzie prefabrykacji przy formowaniu elementów ze średnią głębokości penetracji na poziomie 11 mm potwierdzają tę teorię z dużym marginesem bezpieczeństwa.

8. Podsumowanie i wnioski

Parkingi wielopoziomowe wykonane z prefabrykatów żelbetonowych stanowią od ponad 40 lat jedną z najpopularniejszych form organizowania przestrzeni do parkowania dla samochodów osobowych zarówno w miastach, jak i na ich obrzeżach. Ze względu na bogaty wachlarz doświadczeń, zarówno w zakresie realizacji, jak i użytkowania tego typu obiektów, możliwe było opracowanie innowacyjnego rozwiązania produktu, jakim jest system dla obiektu parkingowego charakteryzujący się m.in.:

- zmniejszeniem zapotrzebowania na energię dla jego produkcji (ze względu na optymalizację układów i przekrojów konstrukcyjnych)
- wysoką trwałością w środowisku agresywnym (ze względu na zastosowanie innowacyjnych stropów PI – typu „bi-Concret” oraz technologii betonów szczelnych Sika® Watertight Concrete)
- możliwością wielokrotnego montażu i demontażu obiektu (dzięki systemowi zastosowanych łączników J&P), a co za tym idzie ponownym wykorzystaniem produktu.

Ireneusz Janik, Aneta Jasiak

P.E.B. FABET SA Kielce

Przemysław Grabarczyk, Dawid Paktos,

Michał Witkowski

Sika Poland Sp. z o.o.

Literatura

1. PN-EN 1992-3:2008 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze
2. PN-EN 12390-8:2019-08 Badania betonu -- Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem
3. PN-EN 206+A1:2016-12 Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
4. PN-88/B-06250 Beton zwykły.
5. Kurdowski W., Chemia cementu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
6. Neville A.W., Właściwości betonu. Wydanie czwarte, Kraków 2000. Polski Cement
7. PN-B-19707 Cement - Cement specjalny - Skład, wymagania i kryteria zgodności.
8. PN-EN 12350-2:2019-07 Badania mieszanki betonowej -- Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka
9. PN-EN 12390-2:2019-07 Badania betonu – Część 2: Wykonanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
10. PN-88/B-06712 Kruszywa mineralne do betonu.
11. PN-EN 12620 Kruszywa do betonu.
12. PN-EN 1008:2004 Woda zarobowa do betonu.
13. PN-EN 934-2:2009 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu – Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie.
14. PN-EN 12390-3:2019-07 Badania betonu -- Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań



**Powiększenie 1.8 x
Warunki laboratoryjne**

Rozwartość rysy
do 0,4 mm

Rys. 3. Proces „samoleczenia” betonu w czasie