



Temat specjalny

TECHNOLOGIA BETONU NATRYSKOWEGO W BUDOWNICTWIE INŻYNIERYJNYM

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

Budownictwo inżynieryjne dysponuje obecnie szybką i skuteczną metodą aplikowania betonu natryskiem pneumatycznym, zwaną powszechnie betonem natryskowym. Wykonawcy wiedzą, że jeśli beton natryskowy jest właściwie stosowany, przy użyciu odpowiedniego sprzętu i dodatków, to stanowi on solidną podstawę dobrze wykonanego projektu.



fot. shutterstock

Beton natryskowy często przedstawiany jest nie jako materiał, ale jako proces (nazywany również torkretowaniem). Obie metody wykonania betonu natryskowego, mokra i sucha, prowadzą do wzmocnienia właściwości betonu – wyższej wytrzymałości i trwałości oraz niższej przepuszczalności. Te właściwości betonu natryskowego sprawiają, że w wielu przypadkach może on służyć jako materiał konstrukcyjny. Technologia betonu natryskowego znajduje także szerokie zastosowanie w naprawach obiektów i konstrukcji żelbetonowych, zwłaszcza w przypadku budowli przemysłowych i inżynierskich, do których dostęp jest ograniczony bądź znacznie utrudniony.

Ponad stulenia tradycja

Pierwsze kroki w rozwoju betonu natryskowego poczyniono ponad sto lat temu. Od tego czasu niezliczone budowle zostały zbudowane, wzmocnione lub odrestaurowane za pomocą tej unikatowej metody betonowania.

Wynalazek „natryskiwania betonu i zaprawy na powierzchni z dużą prędkością” powstał w 1907 r. Przypisuje się go znanemu amerykańskiemu przyrodnikowi, dr. Carlowi E. Akeleyowi. Zarówno urządzenie, jak i proces zostały zaprezentowane w 1910 r. w Nowym Jorku podczas *Cement Show* w Madison Square Garden. Patenty na sprzęt i metody zostały przyznane w 1911 r., a proces natychmiast zyskał popularność w branży. Wkrótce po wydaniu patentów i rejestracji urządzenia pod nazwą Gunito utworzono firmę Cement Gun Company, która szybko upowszechniła nową technologię. Podobne firmy zaczęły powstawać w różnych częściach świata, co zapewniło Gunito gwałtowny wzrost od 1912 r. przez lata 30. XX w. To w tym czasie wprowadzono termin beton natryskowy na opisanie procesu. Po II wojnie światowej stosowanie Gunito nadal szybko rosło dzięki opracowaniu nowej technologii. W 1950 r. stowarzyszenie Gunito Contractors Association zaprezentowało obrotowy pistolet do betonu w metodzie na sucho oraz po raz pierwszy wprowadziło metodę na mokro, pokazując tym samym nowe, rozszerzone możliwości stosowania betonu natryskowego. W latach 70. i 80. XX w. dzięki rozwojowi materiału i sprzętu zastosowanie betonu natryskowego podlegało dalszym ulepszeniom. Być może najbardziej znaczącym krokiem w tamtym okresie było opracowanie wydajnych pomp do



Czym należy się kierować przy wyborze metody wykonania betonu natryskowego oraz odpowiedniej mieszanki?

Rodzaj wybranej metody natrysku torkretu uzależniony jest od kilku czynników, takich jak: stopień trudności oraz rodzaj prowadzonych prac (determinuje częstotliwość ewentualnych przestojów maszyny), grubość nakładanej warstwy torkretu, wielkość planowanego przedsięwzięcia, rodzaj konstrukcji oraz dostępność miejsca nakładania torkretu (długość odcinków poziomych i pionowych węży prowadzonych od maszyny), a także doświadczenie i park maszynowy wykonawcy.

Najkorzystniejsze kryterium wyboru mieszanki podczas wykonywania torkretu charakteryzują następujące cechy: rodzaj naprawianej konstrukcji (np. obiekt hydrotechniczny, geotechniczny, przemysłowy, mostowy), parametry techniczne oraz właściwości torkretu (klasa wytrzymałości na ściskanie oraz klasa ekspozycji zgodnie z normą PN-EN 206-1, stopień wodoprzepuszczalności W, sposób aplikacji, poziom odskoku podczas natrysku oraz rodzaj oczekiwanej finalnej struktury torkretu), grubość planowanej naprawy (warstwa torkretu), doświadczenie dostawcy mieszanki w zakresie interesującego nas rodzaju konstrukcji, rzetelne wsparcie techniczne oraz szybkość reakcji na budowie ze strony dostawcy materiału w trakcie prowadzenia prac lub pojawienia się ewentualnych problemów, dokumenty potwierdzające wykonanie badań dostarczanych mieszanek przez zakładową kontrolę jakości dostawcy oraz niezależne ośrodki badawcze (aprobata techniczna IBDiM, badania wodoprzepuszczalności, karta techniczna, Krajowa Deklaracja Zgodności), możliwości produkcyjne zakładu dostawcy, szybkość dostawy materiału na budowę, zrealizowane obiekty referencyjne z zastosowaniem rozwiązań dostawcy i wreszcie – wiarygodna opinia o producencie mieszanki.

inż. Michał Przedwojewski,
Product Manager, Budownictwo Inżynierskie,
quick-mix Sp. z o.o.

Nakładanie torkretu na powierzchnię ściany obiektu hydrotechnicznego – wykonawca POZIOM Gdańsk, fot. Michał Przedwojewski, quick-mix



Nakładanie torkretu na powierzchnię stropową tunelu – wykonawca DEKOR-SERVICE, fot. Michał Przedwojewski, quick-mix





Jakie są główne kryteria wyboru metody torkretowania?

Kryteria te można podzielić na: technologiczne (np. grubość, właściwości torkretu, miejsce wbudowania – pozycja sufitowa czy ścienna), ekonomiczne (mokry torkret z reguły jest tańszy niż

suchy), wykonawcze (odległość od torkretnicy w poziomie i pionie, zapalenie, warunki atmosferyczne itp.). Dobór mieszanki uzależniony jest przede wszystkim od maksymalnej wielkości ziarna kruszywa oraz funkcji, jaką ma spełnić torkret. Mieszanki suche (na drobnym kruszywie, z reguły do 4 mm) są stosowane do reprofilacji, zwiększenia otuliny, jako torkrety architektoniczne itp. Torkrety mokre (na kruszywach 0–8 mm i większej frakcji) wykorzystuje się przy obudowach tuneli, do wzmocnienia skarp i wykopów, murów oporowych oraz wypełnień o znacznej grubości.

**Włodzimierz Majchrzak,
prezes zarządu SPB Torkret Sp. z o.o. Sp. k.**

betonu, które mogły być wykorzystywane do aplikacji mokrego betonu natryskowego [1].

Dwie metody

Pierwszą, stosowaną do dziś metodę natryskiwania betonu nazywa się metodą suchą. Suchą mieszaninę cementu i kruszywa bez dodatku wody wprowadza się za pomocą sprężonego powietrza do specjalnie zaprojektowanego urządzenia, gdzie za pomocą elastycznych węży transportowana jest do dyszy natryskowej. W dyszy mieszanka łączy się z rozpyloną wodą i po odpowiednim nawilżeniu jest natryskiwana pod ciśnieniem na podłoże. Domieszki w metodzie na sucho można wprowadzać w postaci proszku do suchej mieszanki wstępnej, w postaci płynnej z dodatkiem wody w dyszy do rozpylania albo jako osobną iniekcję w dyszy. Obecnie używany sprzęt umożliwia szeroki zakres przepustowości – kontrolowanie nakładania warstwy betonu, np. w przypadku skomplikowanej struktury powierzchni, gdzie wymagana jest cieńsza warstwa, lub aplikację szerokiej warstwy na dużych obszarach. Beton jest aplikowany przez operatora dyszy, który także reguluje ilość dodawanej wody. Zbyt mała podaż wody spowoduje nadmierne zagęszczenie mieszaniny w jednolitą masę, z kolei nadmiar wody prowadzi do segregacji składników mieszanki, a w późniejszym etapie do powstawania rys, dlatego doświadczenie operatora ma w tej kwestii ogromne znaczenie.

W metodzie na mokro najpierw łączy się piasek i cement z wodą. Następnie mieszanka jest transportowana hydraulicznie węzłem do dyszy wylotowej, do której doprowadzono sprężone powietrze, aby uzyskać efekt natrysku [2].

Chociaż obie metody charakteryzują się odmiennymi zaleceniami, postęp, jaki dokonał się w każdej z nich zarówno w zakresie materiałów, jak i sprzętu, sprawia, że w zasadzie można je stosować zamiennie. W większości przypadków o wybo-

rze decydują aspekty ekonomiczne, dostępność materiałów i sprzętu, miejsce zastosowania, wiedza na temat stosowania danej metody i preferencje wykonawcy. Jeśli chodzi bowiem o aspekty związane z właściwościami charakteryzującymi beton, to są one porównywalne w obu metodach [1].

Normy i wymagania

Podstawą Normy Europejskiej *Beton natryskowy* jest norma EN-206:2014, przy czym normy dotyczące betonu natryskowego obejmują następujące dokumenty:

- PN-EN 14487-1:2007 *Beton natryskowy. Cz. 1. Definicje, wymagania i zgodność.*
- PN-EN 14487-2:2007 *Beton natryskowy. Cz. 2. Wykonywanie.*
- PN-EN 14488-1:2008 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 1. Pobieranie próbek mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.*
- PN-EN 14488-2:2007 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 2. Wytrzymałość na ściskanie młodego betonu natryskowego.*
- PN-EN 14488-3:2008 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 3. Wytrzymałość na zginanie (przy pierwszym piku, maksymalna i resztkowa) próbek beleczkowych zbrojonych włóknami.*
- PN-EN 14488-4+A1:2009 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 4. Wytrzymałość złącza w odwiertach przy bezpośrednim rozciąganiu.*
- PN-EN 14488-5:2008 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 5. Oznaczanie zdolności pochłaniania energii przez próbki płyt zbrojonych włóknami.*
- PN-EN 14488-6:2008 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 6. Grubość warstwy betonu na podłożu.*
- PN-EN 14488-7:2007 *Badanie betonu natryskowego. Cz. 7. Zawartość włókien w betonie zbrojonym włóknami.*

Należy zwrócić uwagę, że norma PN-EN 14488-2:2007 dotyczy wytrzymałości młodego betonu natryskowego (o wieku do 24 godzin), zaś normy PN-EN 14488-3:2008, PN-EN 14488-5:2008 i PN-EN 14488-7:2007 odnoszą się do betonu zbrojonego zarówno włóknami polipropylenowymi, jak i stalowymi.

Generalnie wymienione normy odnoszą się do betonu natryskowego stosowanego do napraw i wzmocniania konstrukcji, wznoszenia nowych konstrukcji oraz wzmocniania gruntu [3].

Ponieważ celem zastosowania technologii betonu natryskowego w naprawach uszkodzonych powierzchni betonowych lub żelbetowych jest uzyskanie warstwy betonu o założonych przez projektanta parametrach, to podstawową zasadą naprawy jest taki dobór materiału naprawczego, którego właściwości są zbliżone do właściwości betonu konstrukcji. W zasadzie nie ma materiałów, które spełniałyby wszystkie wymagania niezbędne w każdym określonym przypadku, dlatego projektant, podejmując decyzję o naprawie techniką betonu natryskowego, określa jego końcowe parametry. Wykonawca z kolei musi ustalić, często wspólnie z projektantem, taką recepturę mieszanki betonu, która spełni założone wymagania, tak by uzyskany produkt końcowy spełniał je oraz odpowiadał odpowiednim właściwościom mechanicznym i fizykochemicznym. Badaniem powinny zostać objęte zwłaszcza wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność oraz przyczepność do podłoża mineralnego, a w niektórych przypadkach także wodoprzepuszczalność, współczynnik sprężystości E, skurcz, wytrzymałość na rozciąganie, skuteczność ochronna (np. odporność na CO₂ i chlorki) oraz odporność na starzenie.



Umocnienie skarpy betonem natryskowym, fot. SPB Torkret Sp. z o.o. Sp. k.



Ściana krzywoliniowa w Muzeum Historii Żydów Polskich w Warszawie, fot. SPB Torkret Sp. z o.o. Sp. k.

Decydujący wpływ na powodzenie naprawy ma etap projektowania, podczas którego powinny zostać określone wymagania dotyczące sposobu przygotowania podłoża, cech fizyko mechanicznych betonu natryskowego oraz jego stanu po aplikacji na podłoże. Oceniając stan uszkodzeń, należy rozróżnić te zagrażające nośności konstrukcji (uszkodzenia krytyczne), bezpieczeństwu użytkowników (np. odspojenia kawałków betonu od powierzchni konstrukcji) oraz wynikające z utraty przez beton właściwości ochronnych w stosunku do stali. Kwalifikacji uszkodzeń zagrażających nośności konstrukcji dokonuje się na podstawie definicji zniszczenia w aspekcie użyteczności lub nośności konstrukcji. Będzie się ona różnić w przypadku obiektów sprężonych i żelbetowych [4].

Właściwości betonu natryskowego

Obecnie stosowany beton natryskowy cechuje się wysoką wytrzymałością, trwałością, niską przepuszczalnością, doskonale wiąże i ma nieograniczone możliwości co do jego kształtowania. Właściwości betonu natryskowego mogą być dodatkowo modyfikowane za pomocą różnego rodzaju domieszek, takich jak:

- pył krzemionkowy – zapewnia zmniejszoną przepuszczalność, zwiększoną wytrzymałość na ściskanie i zginanie, zwiększoną odporność na działanie środowiska chemicznego, wypukliwanie oraz małe straty ze względu na niski poziom odbicia podczas aplikacji;
- domieszki napowietrzające – poprawiają zdolność pompowania i przyczepność betonu natryskowego w metodzie na mokro oraz odporność na cykliczne zamrażanie i odmrażanie w przypadku obu metod;
- włókna – podwyższają odporność betonu na powstawanie rys i pęknięcie, poprawiają odporność na wstrząsy i absorpcję energii,
- akceleratory – poprawiają rozmieszczenie betonu w niekorzystnych warunkach, pozwalają na położenie grubszej warstwy przy jednej aplikacji, zwiększają możliwości produkcyjne oraz redukują skutki drgań w konstrukcjach narażonych na wibracje.

Możliwości stosowania betonu natryskowego są w zasadzie nieograniczone – od obiektów hydrotechnicznych po mosty, wiadukty, estakady, mury oporowe, skarpy i tunele. Decyduje o tym jego elastyczność i łatwość montażu. W przypadku skarp pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie dostępnej przestrzeni [1].

Beton natryskowy charakteryzuje się zwykle niższym stosunkiem wody do cementu niż w przypadku betonu lanego. Jego wytrzymałość na ściskanie jest o ok. 30% wyższa niż dla betonu zwykłego. Tak jak w przypadku innych materiałów stosowanych w budownictwie, beton natryskowy wymaga odpowiedniego przygotowania powierzchni, na którą będzie aplikowany. Jeśli podłoże jest odpowiednie, wiązanie betonu natryskowego będzie bardzo dobre. Co więcej, zazwyczaj stosowanie środków wiążących i powłok nie jest konieczne, a w określonych warunkach nawet szkodliwe dla wiązania. W porównaniu do tradycyjnego lanego betonu, beton natryskowy wymaga znacznie mniej deskowania, co ma znaczenie zwłaszcza w przypadku łukowatych czy niekonwencjonalnych kształtów konstrukcji.

Podsumowanie

Z punktu widzenia naprawy betonowego lub żelbetowego obiektu inżynierskiego szczególne istotne są funkcje naprawcze betonu natryskowego. Jedną z nich jest funkcja konstrukcyjna, która w przypadku napraw jest często powiązana z funkcją reprofiliującą, polegającą na uzupełnieniu większych ubytków betonem natryskowym – w zależności od uszkodzeń grubość wypełnień może sięgać nawet do 50 cm. Równie ważna jest funkcja zabezpieczająca, pozwalająca na odtworzenie lub zwiększenie otuliny betonowej [4]. Niemniej zawsze najważniejszym warunkiem wykonania skutecznej naprawy jest uprzednie pełne rozpoznanie stopnia i charakteru uszkodzeń.

Literatura

- [1] *Shotcrete. Speed, Versatility, Cost Savings, Sustainability* [online]. American Shotcrete Association [dostęp: 25 sierpnia 2015]. Dostępny w Internecie: <https://www.shotcrete.org/media/pdf/asa-brochure-revised-print.pdf>.
- [2] *Introduction to Sprayed Concrete* [online]. Sprayed Concrete Association [dostęp: 25 sierpnia 2015]. Dostępny w Internecie: http://www.sca.org.uk/pdf_word/Intro_to_Sprayed_Concrete.pdf.
- [3] Słówek G., Majchrzak W.: *Beton natryskowy w naprawach konstrukcji betonowych*. Materiały XXV Konferencji Naukowo-Technicznej *Awarie Budowlane 2011*, Międzyzdroje, 24–27 maja 2011, s. 1175–1182.
- [4] www.torkret.com.pl