

Dawni budowniczowie dobrze „czuli” materiał. Dzięki ich zabiegom antyczne budowle przetrwały do naszych czasów. Na zdjęciu fragment murów miejskich w Rzymie zbudowanych w czasach panowania cesarzy rzymskich: Aureliusza (270-75) i Probusa (276-82). Te mury miały bronić miasto przed najazdami hord germańskich



Jak to z domieszkami było...

Produkty pochodzenia rolniczego, nazywane także polimerami naturalnymi, były z powodzeniem wykorzystywane przez dawnych budowniczych, nawet w epokach przed naszą erą, w celu zwiększenia trwałości materiałów budowlanych. Starożytne budowle, które przetrwały w dobrym stanie po dziś dzień, dowodzą, że technika ta przynosiła dobre skutki. Produkty te były wykorzystywane zarówno jako domieszki chemiczne, jak i materiały wzmacniające.

produkowane w laboratoriach zachowują stabilność tylko w określonym otoczeniu. Wykorzystywane w przeszłości polimery naturalne to między innymi produkty mleczne, jaja, zboża, krew zwierzęca, ryż kleisty, oleje, miąższ różnych owoców itd. Zawierają one węglowodany, białka, skrobię, tłuszcze itp., a równocześnie przynoszą materiałom budowlanym określone parametry, jak np. napowietrzanie i redukcja wody w przypadku betonu, właściwości hydrofobowe betonu itd., których uzyskanie nie jest możliwe przy użyciu dodatków chemicznych. Aby uzyskać określone właściwości, używane są specjalne domieszki chemiczne, takie jak czynnik napowietrzający (AEA) oraz czynnik uplastyczniający, pozwalający na redukcję wody. W celu osiągnięcia obu pożądaných parametrów, domieszki te używane są razem. Czasami ze sobą współdziałają, czasami jednak nie – zależy to od ich kompatybilności. Powtarzalność zawierającego je betonu jest niska, w przeciwieństwie do polimerów naturalnych.

Ich działanie jest zarówno fizyczne, jak i chemiczne. Neutralizują naładowane elektrycznie cząsteczki cementu ograniczając ich flokulację i przyspieszając aglomerację, działają jako środek dyspergujący, doprowadzają powietrze podczas mieszania betonu, a także reagują chemicznie z dwuwartościowymi jonami wapnia, tworząc struktury złożone. Struktury te są stabilne i posiadają własności hydrofobowe, zajmują wolne przestrzenie porowe i kapilarne. Jeżeli ich ilość nie jest wystarczająca do zapełnienia porów, uszczelniają je. Nie są jednak nieprzepuszczalne, co oznacza, że porowatość zmniejsza się, ale przeniesienie wilgoci nie jest utrudnione. Powoduje to zmniejszenie ilości wolnego wodorotlenku wapnia, który może reagować z gazami zanieczyszczającymi, takimi jak CO₂, SO₂, Cl₂, NO_x itd., tworząc szkodliwe sole, prowadzące do korozji betonu. Widzimy więc, że wykorzystanie polimerów naturalnych ma pozytywny wpływ na różne parametry dotyczące trwałości.

Indie

Zaprawa nakładana na ściany składała się ze sproszkowanych roślin katha, nasion roślin strączkowych

Domieszki chemiczne

Wykorzystanie polimerów naturalnych uzależnione było od ich dostępności oraz możliwości transportu, który w czasach starożytnych mógł sprawiać wiele trudności. Dostępne materiały były dobierane metodą prób i błędów. Budowniczowie nabierali doświadczeń w sposób empiryczny, nie znając naukowego wyjaśnienia kwestii, dlaczego określony materiał spełnia swoje zadanie, a jednak mówili: „użyjmy tego, bo to będzie działać”, podczas gdy my, mając do dyspozycji wyniki wieloletnich badań, materiały książkowe, informacje dostępne w internecie, rezultaty międzynarodowych konferencji itd. mówimy „spróbujmy tego, może zadziała”. Zawsze staraliśmy się być jak najbardziej ostrożni i zachować margines bezpieczeństwa, mówiąc „spróbujmy” i „może”. Oznacza to brak wiedzy praktycznej i doświadczenia, które stanowią podstawy zaufania. Dawni budowniczowie dobrze „czuli” materiał – dzisiejszym naukowcom brak takiej pewności siebie, głównie z powodu braku pieniędzy na podstawowe badania naukowe. Wszystkie prowadzone prace są uzależnione od kwestii finansowych, związanych także z czasem. Wiele razy zdarza się, że ludzie w rzeczywistości nie rozumieją problemu, ale dają rozwiązanie. Nic dziwnego, że takie postępowanie wyrządza znaczne szkody. Polimery naturalne to substancje organiczne występujące w przyrodzie, składające się z wielu naturalnie zrównoważonych składników, zachowujących stabilność w praktycznie każdych warunkach atmosferycznych. Chemiczne materiały syntetyczne wy-



Fragment malowidła ściennego z Teb w Egipcie z 1950 r. p.n.e. pokazującego robotników wykonujących prace budowlane

(groch zielony i czarny), melasy, ugotowanych bananów, cukru, olejów, jaj, mleka itd. Tynk nakładany był w wielu warstwach, w następujący sposób:

Proszek służący do produkcji cegieł o różnej ziarnistości (drobny, średni i gruby) jest mieszany w równych proporcjach. Do tej mieszanki dodawane są w równych proporcjach: kalafonia destylacyjna, melasy i krokosz barwierski (kwiaty kusum), nasiąknięte olejem. Do tych dwóch części dodawane jest wapno (w trzech czwartych palone), wymieszane z miąższem owoców Bel i sadzą. Czwartą dodawaną częścią jest piasek.

Następnie całość mieszana jest z wodą i pozostawiana w naczyniu na około miesiąc. Kiedy zamieni się w miękką pastę, może już być nakładana na ścianę, po upewnieniu się, że ta ostatnia jest całkowicie sucha.

W przypadku, gdy po wyschnięciu nałożona warstwa nie jest całkowicie gładka, może zostać wygładzona przy użyciu glinki sporządzonej z rośliny sargaresa i oleju. Następnie powierzchnia jest często nawilżana mlekiem i dodatkowo wygładzana. Ściana szybko wysycha i zachowuje doskonały stan przez wiele stuleci. W indyjskich wioskach domy wykonywane są najczęściej z błota. Bardzo często jest ono mieszane z liśćmi drzew, po czym pozostawiane na pewien czas. Kiedy liście zaczynają gnić i robią się miękkie, błoto jest ugniatane w celu dokładnego wymieszania z liśćmi. Taka mieszanka używana jest do wyroby bloków lub jako tynk. W regionach, w których znajdują się plantacje orzechów nerkowca, do wyrobu materiałów budowlanych jest także używana pochodząca z nich żywica, umożliwiająca zdecydowane polepszenie odporności na działanie wody. Nasiona roślin strączkowych oraz melasy są wciąż używane nawet w ośrodkach miejskich.

Materiały używane w innych krajach

Białka takie jak keratyna i caesin były używane w Egipcie. Przykładami stabilnych konstrukcji glinianych mogą być także mury w miastach Chan Chan oraz San Pedro de Raachi w Peru. Mają one od 700 do 800 lat i stanowią dowód, że na terenie Afryki oraz Ameryki Południowej do wykonywania warstwy chroniącej mury przed działaniem wody używany był lateks wytwarzany z drzew kauczkowych (Euphorbia lactera). W innych regionach wykorzystywano do tego celu ugotowane pnie bananowca. W Peru substancja kleista otrzymywana z roślin kaktusowych była mieszana z wapnem i używana do pokrywania ścian. W północnej Ghanie na ściany nakładany był tynk wyrabiany z błota mieszanego z nawozem oraz wyciągiem otrzymywanym po ugotowaniu strąków drzewa świętojańskiego.

Na terenie Włoch do wyrobu tynku używano krwi. „Rozpuść razem krew wołu i drobną glinę, a otrzymasz bardzo mocny i trwały materiał wiążący”. Krew pochodząca z różnych źródeł posiada różne właściwości. Krew wołowa uważana była za najlepszą, gdyż najszybciej zastyga i twardnieje. Metodą używaną w Turcji było wymieszanie 100 funtów palonego wapna, 10 kwart oleju z siemienia lnianego i 1-2 uncji bawełny.

Powyższe przykłady wskazują, że polimery naturalne były w różnej postaci szeroko wykorzystywane w wielu częściach świata. Wykonane przez autora niniejszego opracowania badania potwierdziły dobre re-

Tabela. Odpady uzyskiwane z obróbki włókien

Odpady włókien	Odpady produkcyjne włókien szalowych	Odpady miąższu eukaliptusowego	Odpady krótkich włókien kokosowych
Cena rynkowa (USD/t) Ilość (t rocznie) - źródło Wilgotność początkowa	Zero 30.000 - 1 spółdzielnia 120	15 17.000 - 1 duży zakład 60	90 (maksymalnie) 7.500 - 2 duże zakłady 80
Produkt główny	Włókna wykorzystywane w przemyśle przed suszeniem	Miąższ służący do produkcji papieru	Włókna dłuższe od 100 mm
Relacja odpad/produkt główny	300	0,5	200-2880

zultaty, jakie udało się osiągnąć dawnym budowniczym. Materiały te bez wątplenia dają doskonałe wyniki, ale proces ich przygotowania do użytku wymaga bardzo dużo czasu. Zdaje się, że w dawnych czasach nie był to duży problem, gdyż chodziło przede wszystkim o otrzymanie produktu wysokiej jakości. W chwili obecnej czas stanowi olbrzymi problem, gdyż każde opóźnienie wymaga więcej pieniędzy, a każda inwestycja musi być zrealizowana w przewidzianym czasie.

Materiały wzmacniające

Jako materiałów wzmacniających najczęściej używano włókien roślinnych. Przykładami mogą być trzciny wodne, włósnica czerwona, banan, włókna kokosowe, łupiny ryżu i pszenicy, włókna bambusowe i szalowe. W przypadku wszystkich tych włókien, główny materiał wzmacniający stanowi celuloza. Łańcuchy celulozy tworzą mikrowłókna, wiązane ze sobą za pomocą amorficznej ligniny i hemicelulozy, tworząc włókienka. Włókienka ułożone w wielu warstwach tworzą właściwą strukturę włókna. Pojedyncze włókna lub komórki są w roślinie połączone ze sobą za pomocą ligniny, która może zostać rozpuszczona dzięki zasadowości zaprawy cementowej. Istnieje bardzo wiele rodzajów włókien stanowiących odpady, nieprzydatnych dla przemysłu tekstylnego lub wyrobu sznurów, które mogłyby z powodzeniem zostać wykorzystane jako materiały wzmacniające. Ich klasyfikację przeprowadza się według następujących kryteriów selekcyjnych:

- ogólna identyfikacja produkcji rolnej, która powoduje powstawanie odpadów
- identyfikacja odpadów, z określeniem głównych

Amfiteatr w Pompejach wykonany był z betonu



foto: Archiwum



foto: Piotr Piestrzyński

Dzieła dawnych budowniczych trzeba poddawać renowacji przy wykorzystaniu współczesnych technologii

- c) dostępna ilość odpadów i możliwe wykorzystanie w oparciu o rzeczywiste zapotrzebowanie
- d) dostępność miejscowa, warunki dotyczące transportu lub przetwarzania
- e) wartość rynkowa odpadów
- f) właściwości fizyczne i mechaniczne wytworzonych kompozytów i produktów.

W oparciu o powyżej przedstawione kryteria wyszczególnione zostały trzy główne rodzaje odpadów, przedstawione w tabeli. Wszystkie są już dostępne do natychmiastowego wykorzystania w budownictwie.

Odpady produkcyjne włókien sisalowych: szeroko dostępne w zakładach produkcyjnych, nie mają większej wartości handlowej. Stanowią dobrą możliwość zwiększenia dochodów producentów rolnych. Odpady muszą tylko zostać oczyszczone poprzez usunięcie niepożądanych składników w zwykłym, poruszonym ręcznie sicie obrotowym.

Odpady miąższu eukaliptusowego: nie mają praktycznie żadnej wartości handlowej i są szeroko dostępne: miąższ stanowi mieszkankę bielonej i nie bielonej masy celulozowej, odzyskiwanej w procesie filtrowania przed uzdatnianiem wody ściekowej. Wady: bardzo krótkie włókna i wysoka zawartość wilgoci.

Odpady krótkich włókien kokosowych: niska wartość handlowa, duży potencjał produkcyjny – materiał ten jest w chwili obecnej praktycznie niewykorzystywany. Wymagana jest separacja elementów sproszkowanych (około 50% masy) i suszenie.

Wykorzystanie różnych włókien w wielu krajach świata

W Etiopii jako włókno wzmacniające wykorzystywana była słoma prosa. Jej wytrzymałość na wyginanie oraz odporność na deszcz umożliwiają zdecydowane zwiększenie odporności materiału. Włókna kokosowe były wykorzystywane do zwiększenia nośności dachów. Technika polegająca na wykorzystywaniu bambusa zamiast prętów stalowych do zbrojenia betonu jest także używana w niektórych krajach świata. Łodygi bambusa poddawane są bitumizacji, a następnie obwiązywane włóknami

kokosowymi. Pozwala to zapewnić odpowiednie wiązanie pomiędzy betonem a zbrojeniem bambusowym. Włókna kokosowe tworzą żebrowaną powierzchnię, posiadającą podobne właściwości, co żebrowana stal. Dzięki tej metodzie możliwe jest zdecydowane zwiększenie odporności belek betonowych na wyginanie.

Ściany wykonane na Uniwersytecie Katolickim w Peru wykazują, że możliwe jest otrzymanie wolnego od pęknięć tynku, używając do tego celu ziemi, gruboziarnistego piasku, słomy oraz lepkiej substancji wiążącej, wyrabianej z kaktusa. Nieprzepuszczalność tylko może dodatkowo zostać wzmocniona poprzez wygładzanie powierzchni kamieniami przed narażeniem jej na działanie opadów deszczu.

W Turcji słoma i cement są mieszane z błotem w procesie produkcji niewypalanych cegieł suszonych na słońcu. Jednak ze względu na ich koszt oraz małą dostępność, w niektórych regionach kraju materiały te nie mogą być stosowane. Do wyrobu cegieł są używane także suche igły sosnowe i popioły lotne. Pozwalają one w znaczący sposób ograniczyć kurczenie się oraz adsorpcję wody, zwiększając wytrzymałość na ściskanie.

Na terenie Egiptu prowadzone były badania nad możliwością zbrojenia betonu przy użyciu nerwów głównych liści bambusowych i palmowych. Były one pokrywane dwiema warstwami gruntującymi w celu zapobieżenia ich pękaniu w betonie, spowodowanemu ruchom wody, jak również rozkładowi biologicznemu. Podobne badania wykonywano przy użyciu trzciny wodnych, włósnicy czerwonej, włókien bananowych oraz roślin o nazwie musamba. Wykazano, że spośród czterech wymienionych powyżej włókien, najlepsze własności wytrzymałościowe posiada włósnica czerwona. Własności te nie ulegają pogorszeniu w środowisku alkalicznym ani z powodu gnicia, a włókna charakteryzują się akceptowalnym poziomem mieszalności i wiązania z cementem. W Indiach opracowano także kilka rodzajów bardzo mało kosztowych żywic roślinnych, na przykład z orzecha nerkowca. Pozwalają one na zdecydowane zwiększenie odporności w odniesieniu do adsorpcji wody. Odpady rolnicze to produkty bardzo tanie i przyjazne dla środowiska. Udowodnione zostało, że mogą one zasadniczo poprawiać jakość betonu, a w szczególności jego właściwości reologiczne oraz dotyczące trwałości. Innym pozytywnym aspektem jest rozwiązanie problemów ekologicznych.

dr inż. Satish Chandra*
Instytut Ochrony i Zachowania Środowiska
Uniwersytet w Goeteborgu, Szwecja

Literatura

Chandra S. , *Historia architektury i materiałów budowlanych w Indiach*, Technip Books International, New Delhi, Indie (w druku).

Tytuł artykułu pochodzi od redakcji

* autor uzyskał tytuł doktora nauk technicznych na Wydz. Inż. Mat. i Cer. AGH w Krakowie. Od lat 70. pracował w Chalmers University of Technology, a obecnie na Uniwersytecie w Goeteborgu