

Bernard KOTALA*
Politechnika Śląska

ZBROJENIE SIATKAMI NIEMETALICZNYMI LEKKICH ELEMENTÓW BETONOWYCH

Streszczenie. Użycie niemetalicznych siatek jako zbrojenia umożliwia wykonanie lekkich, cienkościennych elementów betonowych. Siatki z włókien sztucznych nie ulegają korozji, co pozwala zmniejszyć wielkość otuliny przy zachowaniu dobrych parametrów trwałości i nośności elementów.

REINFORCEMENT OF CONCRETE ELEMENTS WITH NON-METAL FABRICS

Summary. Use of non-metal fabrics as concrete reinforcement enables creating the light, thin wall concrete elements. Fabrics are made from artificial fibres and so they are corrosion resistant. Consequently, one can reduce concrete cover, keeping the durability and load capacity properties of the elements.

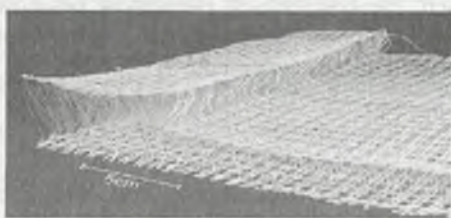
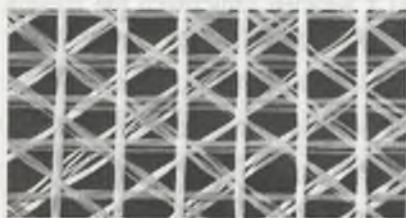
1. Wstęp

Korzystny wpływ krótkich włókien na beton jest powszechnie znany. Już Izraelici przy wznoszeniu swoich domów (w XIII w. p.n.e.) stosowali bloczki z mieszanki błotnej z domieszką włókien ze słomy lub końskiej sierści. W latach 50. nastąpił rozwój technologii produkcji wysoko wytrzymałych włókien sztucznych, które znalazły zastosowanie prawie we wszystkich dziedzinach naszego życia, w tym również w budownictwie.

Beton w ciągu 100 lat stał się najczęściej stosowanym materiałem budowlanym. Możliwość modyfikacji mieszanki betonowej krótkimi włóknami sztucznymi pozwoliła poprawić jego właściwości i rozszerzyć zakres stosowania. Wadą rozproszonych włókien

* Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz.

w betonie jest brak możliwości ukierunkowania ich działania, w związku z czym, poprawa ma charakter często przypadkowy. Najczęściej stosowanym włóknem w poprzednim stuleciu był azbest, który miał bardzo dobre właściwości mechaniczne i był materiałem tanim, jednak miał również właściwości chorobotwórcze, co sprawiło, iż został wycofany z użycia i zakazany do stosowania w budownictwie w Polsce i wielu krajach europejskich. Następnie wprowadzono na rynek budowlany włókna szklane, odporne na alkalia, oraz włókna węglowe. Od kilku lat, dzięki technikom tekstylnym, istnieją możliwości, by z włókien szklanych, węglowych i innych o wysokiej wytrzymałości tworzyć płaskie (fot. 1) i przestrzenne (fot. 2) otwarte struktury, które przez ukierunkowane zastosowanie w elementach betonowych zastępują zbrojenie (fot. 3).

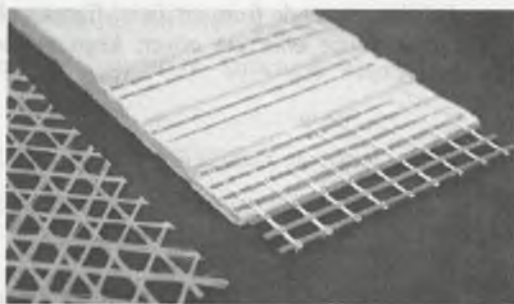


Fot. 1. Siatki płaskie

Pic. 1. Flat fabrics

Fot. 2. Siatka przestrzenna

Pic. 2. Three-dimensional fabrics



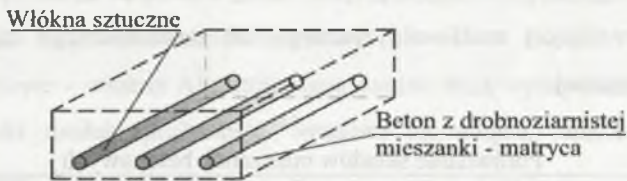
Fot. 3. Siatka wielokierunkowa (po lewej), beton zbrojony siatką dwukierunkową (po prawej)

Pic. 3. Multidirectional fabrics (left), concrete reinforced with two-directional fabrics (right)

2. Teksbet

Teksbet – beton zbrojony tekstyliami (z ang. „*Textile Reinforced Concrete*” – *TRC*), materiał kompozytowy, który wykonany jest z drobnoziarnistej mieszanki betonowej,

tworzącej matrycę i uporządkowanych, ciągłych włókien niemetalicznych odpornych na alkalia (rys. 1).



Rys. 1. Teksbet – beton zbrojony tekstyliami
Fig. 1. Textile reinforced concrete

Idea współpracy betonu i stali w konstrukcjach żelbetonowych jest znana od 140 lat. W omawianym przypadku teksbet składa się z dwóch podstawowych komponentów, tj. betonu i tekstyliów, przy czym drobnociąmisty beton stanowi min. 90% objętości, a przeciętnie od 95% do 99%. Tekstyli, zastępując tradycyjne zbrojenie, pozwalają na przeniesienie naprężeń rozciągających. Składają się one z włókien charakteryzujących się wysoką wytrzymałością na rozciąganie, a jednocześnie zapewniających odpowiednią przyczepność.

2.1. Beton

W zasadzie nie ma ograniczeń receptury mieszanki betonowej. Należy jednak zwrócić uwagę na to, aby podobnie jak w żelbecie, zapewnić otulenie włókien. Beton stanowi matrycę, która ma zapewnić przeniesienie sił na włókna w głównej mierze przez przyczepność. Z tego powodu ograniczenia receptury mieszanki betonowej, oprócz uzyskania żądanej wytrzymałości na ściskanie betonu, zależą od geometrii zastosowanego zbrojenia (w rozumieniu zbrojenia tekstylnego).

W badaniach opisywanych dalej został zastosowany beton zwykły, charakteryzujący się przewagą drobnych frakcji kruszywa. W betonie zwykłym znajduje zastosowanie stos kruszywowy do średnicy do 32 mm. Dla teksbetu średnica ziarna kruszywa jest ograniczona czasem nawet do średnicy 1 mm (przykładową recepturę podano w tab. 1). Polskie normy określają taką mieszankę zaprawą, jednak ze względu na to, iż jest to mieszanka o właściwościach odpowiadających betonowi konstrukcyjnemu, zaliczamy ją do betonów drobnociąmistych (piaskobetonów). W planowanych badaniach średnica ziarna kruszywa do 4 mm została narzucona przez wielkość oczka siatki zbrojenia, która będzie zastosowana.

Celem pierwszej fazy badań jest uzyskanie betonu o właściwościach odpowiadających w możliwie jak największym stopniu betonom zwykłym (receptura według tab. 1). Dodatkowym wymaganiem stawianym projektowanej mieszance betonowej jest uzyskanie konsystencji zapewniającej możliwość ręcznego lub mechanicznego zagęszczenia, tzn. półciekłej lub plastycznej.

Tabela 1

	Ciężary objętościowe [kg/m ³]							Stosunek W/C	Wytrzymałość na ściskanie f_{cm} [MPa]
	Cement	Popiół lotny	Krzemionka	Piasek 0÷1mm	Żwir 2÷4mm	Woda	Superplastyfikator		
Piaskobeton [1]	942,0	628,0	50,2	263,8	-	313,7	12,2	0,35	77,3 MPa ($f_{cm, cube}$)
Beton projektowany	363,3	-	-	485,8	1334,2	196,1	-	0,54	36,6 MPa

Światowe tendencje w doborze mieszanek betonowych do teksbetu są ukierunkowane na betony średnio- i wysokowartościowe.

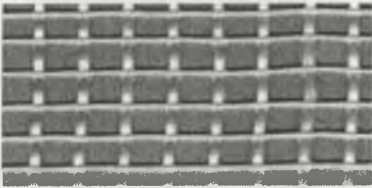
2.2. Tekstylia

Typ zbrojenia, który może powstać z włókien, jest w zasadzie dowolny. Charakterystykę wykorzystywanych włókien znaleźć można w opracowaniu Bobetha [1]. Z kolei systematykę włókien ukierunkowanych do stosowania w elementach betonowych podał Curbach [2].

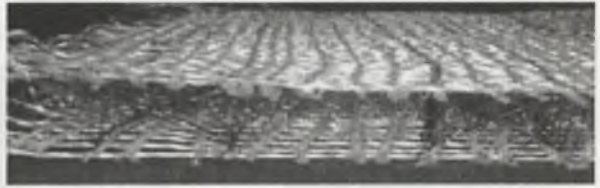
Siatki niemetaliczne do zbrojenia betonu można podzielić ze względu na:

- rodzaj zastosowanych włókien:
 - szklane – jako zbrojenie w betonie nadają się jedynie włókna szklane, odporne na alkalia (*AR-Glass*), zapewniające trwałość wiązań włókien z betonem,
 - azbestowe – zakazane w Polsce od 1997 roku z powodu właściwości rakotwórczych. Włókna charakteryzowały się bardzo dobrymi cechami mechanicznymi oraz były najtańszymi z włókien,
 - poli-winyl-alkoholowe – włókna PVA, wytworzone ze sztucznych polimerów, nie korodują i są odporne na alkaliczne środowisko betonu,
 - poliakrylonitrylowe – włókna PAN, obecnie niestosowane chociaż stanowią podstawowy składnik produkcji włókien węglowych,
 - węglowe – włókna CF, charakteryzujące się dużą wytrzymałością na rozciąganie, wysoką odpornością zmęczeniową i odpornością na alkalia,

- polipropylenowe – włókna PP, wytrzymałościowo porównywalne z włóknami szklanymi. Z powodu niskiego modułu sprężystości i ze względu na niebezpieczeństwo powstawania rys o nieakceptowanej szerokości, nie nadają się one jako zbrojenie elementów betonowych,
- aramidowe – włókna AF, które mają bardzo dużą wytrzymałość na rozciąganie i wysoki moduł sprężystości, wrażliwe na wilgoć, rzadko stosowane jako zbrojenie,
- polietylenowe – włókna PE, niestosowane jako zbrojenie ze względu na bardzo niski moduł sprężystości,
- włókna mieszane – istnieje możliwość mieszania poszczególnych włókien ze względu na kierunek działania i wielkość przenoszonych naprężeń, np. siatki z włókien węglowych i szklanych,
- budowę zbrojenia:
 - siatki płaskie (siatki mogą być zbudowane z pojedynczych włókien lub splotów włókien) (fot. 4),
 - siatki przestrzenne (fot. 5),



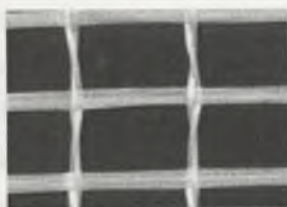
Fot. 4. Siatka płaska z włókna szklanego
Pic. 4. Flat fabrics with AR-Glass fibres



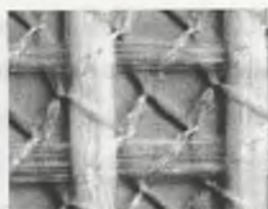
Fot. 5. Siatka przestrzenna (dwie siatki szklane łączone włóknem węglowym)
Pic. 5. Three-dimensional fabrics (two AR-Glass fabrics joined with carbon fibre)

- sposób połączenia między włóknami:
 - siatki tkane – mniej przydatne ze względu na możliwość roznucia (fot. 6),
 - siatki tkane i dodatkowo wiązane w miejscach połączeń i na długości całego splotu (fot. 7),
 - siatki tkane, powleczone żywicami lub innymi substancjami i dodatkowo otoczone kruszywem (fot. 8).

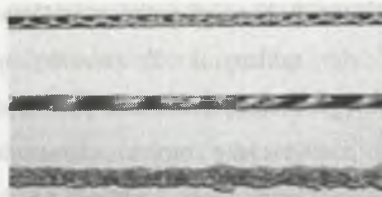
W niniejszym artykule podział został ograniczony, lecz rozróżnia się również sposoby wiązania poszczególnych splotów ze sobą, a wpływ wiązania opisany został przez Offermanna [3].



Fot. 6. Siatka tkana
Pic. 6. Weaved fabrics



Fot. 7. Siatka wiązana
Pic. 7. Tied fabrics



Fot. 8. Włókna wiązane w osnowach żywicznych
Pic. 8. Tie fibres in resin cover

3. Przykłady zastosowań

W Europie, głównie w Niemczech, zainteresowano się możliwościami zastosowania ciągłych włókien jako zbrojenia betonu w latach 90. Przewodzącymi ośrodkami w tej dziedzinie są Uniwersytet Techniczny w Dreźnie (UT Drezno) oraz Reńsko – Westfalska Wyższa Szkoła Techniczna w Aachen (RWTH Aachen). W obydwu ośrodkach projekt zajmujący się zastosowaniem włókien jako zbrojenia jest tylko częścią dużego przedsięwzięcia, w którym to badane są nie tylko właściwości betonu, ale i charakterystyczne cechy włókien, w tym wpływ połączeń między włóknami na ich właściwości wytrzymałościowe jako struktury. W pierwszym z wymienionych ośrodków głównymi badaczami są Manfred Curbach oraz Frank Jesse, w kolejnym – Josef Hegger i Stefan Voss.

Jak wiadomo, badania naukowe są prowadzonego to, by można było wnieść coś do praktyki. Poniżej przedstawione zostały możliwości zastosowania nowatorskiego materiału jakim jest beton zbrojony tekstyliami.

Pionierskim zastosowaniem teksbetu w konstrukcji był most dla pieszych nad strumieniem w Oschatz w Niemczech, wykonany w 2005 roku, którego głównym projektantem był Manfred Curbach (fot. 9).



Fot. 9. Most z teksbetu w Oschatz [4]
Pic. 9. The bridge with TRC



Fot. 10. Badanie mostu
Pic. 10. Research of the bridge

Rozpiętość między podporami mostu wynosi 8,6 m, a szerokość między balustradami 2,5 m. Całość składa się z 10 segmentów o kształcie litery „U”, każdy o długości 90 cm. Grubość ściany elementu wynosi 3 cm, a całość zbrojona jest siatkami tekstylnymi, co dało całkowitą masę mostu 5 t (w tym przypadku most żelbetowy ważyłby 25 t). Segmenty zostały spięte sześcioma stalowymi prętami bez sprężenia. Most został wykonany dwukrotnie. Model mostu w skali naturalnej został wykonany na potrzeby badań przeprowadzonych w laboratorium Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie (fot. 10). W badaniu niszczącym uzyskano nośność trzykrotnie większą od szacowanej, wyznaczonej na podstawie przepisów normowych.

Kolejnym przykładem są projekty demonstracyjne, które zostały przeprowadzone w RWTH Aachen: konstrukcja przestrzenna z powtarzalnych elementów (o kształcie rombu) połączonych ze sobą śrubami, mogąca stanowić konstrukcję pod lekkie przekrycie dachowe (fot. 11), oraz budynek dwukondygnacyjny wykonany z płyt betonowych zbrojonych tekstyliami (fot. 11) czy zwykle płyty fasadowe (fot. 13), które dzięki zastosowanemu zbrojeniu mogą być cienkie i lekkie.



Fot. 11. Konstrukcja przestrzenna z teksbetu [5]

Pic. 11. Three-dimensional structure made from TRC [5]



Fot. 12. Budynek z teksbetu
Pic. 12. Building made from TRC



Fot. 13. Płyty elewacyjne z teksbetu [5]
Pic. 13. Elevations plates made from TRC [5]

Krótki przegląd zastosowań teksbetu wskazuje na szerokie możliwości wykorzystania tego materiału z punktu widzenia konstrukcyjnego i architektonicznego. Zastosowanie może znaleźć nie tylko jako gotowy produkt, ale również jako półprodukt, np. tracony szalunek samonośny, od płyt elewacyjnych, przez płyty balustrad autostrady (jako ścianki

bezpieczeństwa lub ekrany absorbujące hałas), a w przyszłości może stać się zbrojeniem, które umożliwi kształtowanie brył jakie tylko architekci sobie wyśnią.

4. Podsumowanie

Teksbet jest nowatorskim materiałem o dużym potencjale i choć z pewnością nie zastąpi żelbetu, materiału który jest najczęściej i najchętniej stosowany, może jednak powiększyć zakres możliwości stosowania betonu zbrojonego w szczególnych warunkach.

Wykorzystanie specjalnych tekstyliów jako zbrojenia do betonu nie jest dostatecznie dotąd zbadanym problemem i ciągle napotykaemy na trudności, czy to natury teoretycznej czy praktycznej. Obecnie zastosowanie takiego zbrojenia jest możliwe głównie w elementach prefabrykowanych.

LITERATURA

1. Bobeth W.: Textile Faserstoffe, Beschaffenheit und Eigenschaften. Springer Verlag, Berlin 1993.
2. Curbach M. und anderen: Sachstandbericht zum Einsatz von Textilien im Massivbau. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. Heft 488. Beuth Verlag, Berlin 1998.
3. Offermann P., Abdkader A., Engler Th., Schierz M.: Grundlagen textiler Bewehrungsstrukturen zur Verstärkung bestehender Bauwerke. Bericht. Technische Universität Dresden, SFB 528, Drezno 2001, s. 25-73.
4. 2006 FIB Awards for Outstanding Concrete Structures: Döllnitz Creek Bridge. FIB Bulletin 36, 2006, p. 33.
5. Hegger J., Voss S.: Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. FIB, Neapol, czerwiec 2006.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marian Abramowicz