

Bernard KOTALA*
Politechnika Śląska

BADANIA CIENKICH PŁYT Z BETONU SAMOZAGĘSZCZALNEGO ZBROJONYCH SIATKAMI TEKSTYLNymi

Streszczenie. Artykuł prezentuje program i wyniki badań cienkich płyt betonowych zbrojonych siatkami tekstylnymi, poddanych zginaniu. Wyniki te porównano z uzyskanymi dla zwykłej płyty żelbetowej.

TESTS ON THIN, THINREINFORCED PLATES MADE FROM SELF – COMPACTING CONCRETE

Summary. The paper presents the program and results of tests of thin concrete plates reinforced with textile fabrics, subject to bending. The results were compared with those for ordinary RC plate.

1. Wprowadzenie

Żelbet stał się w ciągu ostatnich 160 lat dominującym materiałem konstrukcyjnym i ciągle udoskonalany jest coraz ważniejszym tworzywem dla budownictwa. Nowym uzupełnieniem możliwości stosowania betonu zbrojonego jest *TEKSBET* – beton zbrojony tekstyliami (z ang. *Textile Reinforced Concrete – TRC*). Jest to materiał kompozytowy wykonany z drobnoziarnistej mieszanki betonowej tworzącej matrycę i uporządkowanych, ciągłych włókien niemetalicznych odpornych na alkalia.

Oczywistymi zaletami stosowania teksbetu są: a) odporność włókien na korozję, której ulegają pręty stalowe, b) brak wymogu zachowania otuliny zbrojenia ze względu na trwałość, co umożliwia wykonanie cieńszych elementów, c) kilkakrotnie mniejszy ciężar siatek z włókien w stosunku do zbrojenia stalowego, co oznacza mniejszy ciężar własny elementu (ciężar właściwy betonu zwykłego niezbrojonego: $23 \div 24 \text{ kN/m}^3$, a zbrojonego prętami stalowymi: $24 \div 25 \text{ kN/m}^3$).

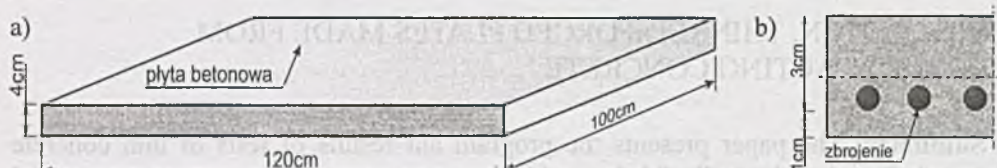
* Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz.

Głównym celem przeprowadzonych badań jest ocena nośności elementów z teksbetu w stosunku do płyt żelbetowych, przy ogólnym założeniu, iż zasada zachowania kompozytów jest taka sama, tzn. zarówno w żelbecie, jak i w teksbecie siły rozciągające przenoszone są na zbrojenie przez beton stanowiący matrycę i przenoszący przede wszystkim siły ściskające.

2. Opis badań

2.1. Model i charakterystyki materiałów

Badanie przeprowadzono na modelach płytowych o wymiarach $1200 \times 1000 \times 40$ mm (rys. 1a). Serie składały się z trzech płyt zbrojonych jednokierunkowo, przy zachowaniu minimalnej otuliny 10 mm (rys. 2b).



Rys. 1. Płyta zbrojona: a) widok aksonometryczny, b) przekrój
Fig. 1. Reinforced plate: a) axonometric view, b) cross-section

Seria próbnych modeli do badań wstępnych została wykonana z drobnoziarnistej mieszanki betonowej o konsystencji ciekłej. Ze względu na specyfikę zastosowanego zbrojenia tekstylnego, technologia ta wymagała wielu etapów, począwszy od ułożenia i zagęszczenia warstwy otuliny, ułożenia zbrojenia oraz, w ostatnim etapie, ułożenia drugiej warstwy betonu i jej zagęszczenia. Precyzja wykonania płyt wpływała na wydłużenie czasu wykonania modeli, co w tym przypadku nieco ograniczyło zaletę, którą jest przyspieszenie tempa pracy.

Do badań głównych płyty zostały wykonane z drobnoziarnistej mieszanki betonu samozagęszczalnego. W tabeli 1 przedstawiono receptury zastosowanych mieszanek betonowych i średnie wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach. W europejskich ośrodkach badawczych (TU Dresden, RWTH Aachen) promuje się stosowanie mieszanek betonowych o bardzo drobnym uziarnieniu, tzw. piasko-betonu (tab. 1). Specyfiką prezentowanych badań było wykorzystanie betonu, który nieznacznie różnił się od betonu zwykłego.

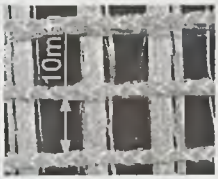
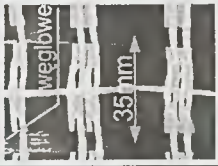

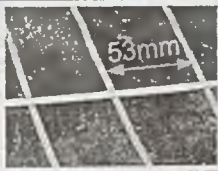
Tabela 1

Opis próbek	Ciężary objętościowe [kg/m ³]							Stosunek W/C	Wytrzymałość na ściskanie f_{cm} [MPa] ($f_{cm,cube}$)
	Cement	Popiół lotny	Pył krzemionkowy	Piasek 0÷1 mm	Żwir 2÷4 mm	Woda	Superplastyfikator		
Piasko-beton [1]	942,0	628,0	50,2	263,8	-	313,7	12,2	0,35	77,3 MPa ($f_{cm,cube}$)
Badania próbne [2]	363,3	-	-	485,8	1334,2	196,1	-	0,54	36,6 MPa
Badania główne (SCC)	485,0	-	-	859,8	771,9	227,9	4,8	0,47	46,3 MPa

Zostały wykonane cztery serie po trzy płyty, zbrojone w każdej serii innym materiałem (tab. 2). Siatki zbrojenia tekstylnego charakteryzowała siła rozrywająca, wynosząca ok. 55 kN/m (szerokości siatki).

Tabela 2

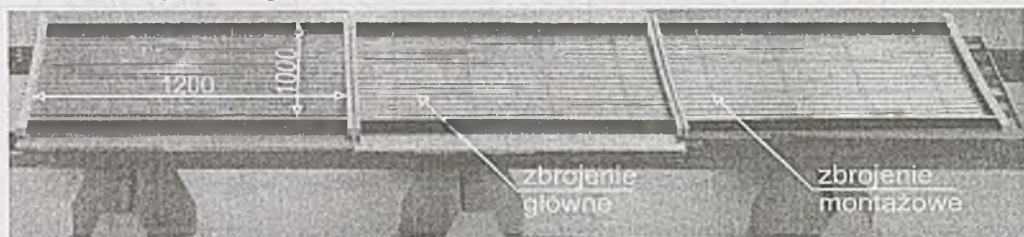
Rodzaj i charakterystyka zastosowanego zbrojenia

Zbrojenie	Opis i wielkości charakterystyczne	Widok
siatka szklana (AR-Glass)	<ul style="list-style-type: none"> - siatka NWM3-002-05p wykonana z włókien AR Glass (odpornych na alkalia), 1600 włókien o średnicy 26,20 μm w 1 splotcie, - wytrzymałość jednego włókna 658,0 N/mm², moduł 74,96 N/mm², miara włókna 2356 tex[†], - nośność siatki na rozciąganie 56,8 kN/m, 	
siatka mieszana (węglowo-szklana)	<ul style="list-style-type: none"> - geosiatka bez osnowy, odpowiadająca siatce S&P Carbophalt G, - włókna (węglowe i szklane); nośnymi są włókna węglowe 49,5 kN/m, - siatka pleciona, sploty poprzeczne i podłużne nie były związane między sobą, 	
siatka z PVA w osnowie PVC	<ul style="list-style-type: none"> - typowa geosiatka (ARMATEX[®]M) udostępniona przez firmę KORDARNA, wykonana z włókien PVA (poliwinylalkohol) powleczonych plastycznym PVC, - nośność na rozciąganie w obu kierunkach 55,0 kN/m, 	
zbrojenie tradycyjne	<ul style="list-style-type: none"> - stal o wytrzymałości charakterystycznej na rozciąganie 320 MPa (dane z przeprowadzonych badań stali), - granica plastyczności 240 MPa (odpowiada klasie stali A1), - przyjęto druty \varnothing 4,0 mm co 53 mm (19 prętów), - sumaryczna nośność prętów na rozciąganie 57,3 kN/m, 	

Technologia przewidywała wykonanie czterech serii płyt z pobraniem co najmniej 3 próbek walcowych betonu do badania na ściskanie z zarobu dla każdej płyty.

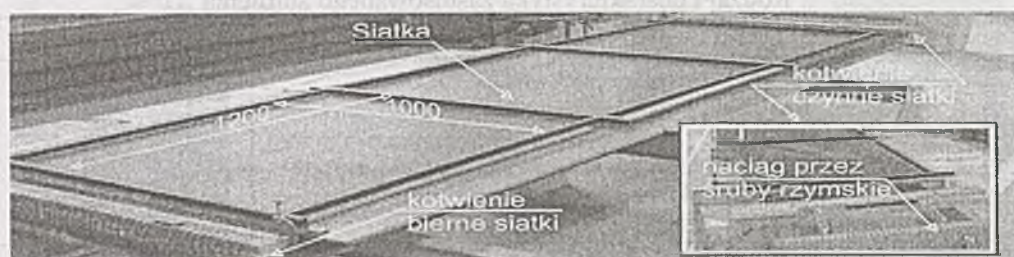
[†] Miara stosowana w przemyśle tekstylnym 1 tex = 1 g/1000 m

Elementy betonowano w odpowiednio wykonanych formach, z odpowiednio ustabilizowanym zbrojeniem (ważne zwłaszcza dla wiotkiego zbrojenia tekstylnego) i z zapewnieniem dokładnego wykonania jednakowej otuliny zbrojenia. W porównawczej płycie żelbetowej (fot. 1) zbrojenia główne i montażowe były zamocowane na odpowiednich wysokościach w ściankach form, z kolei w płytach ze zbrojeniem tekstylnym (fot. 2) siatki wstępnie naciągnięto (wartość siły naciągu ok. 0,5 kN/m), a następnie zwalniano zaraz po zabetonowaniu (fot. 3).



Fot. 1. Forma ze zbrojeniem z drutów stalowych

Pic. 1. Formwork with reinforcement made from steel wires



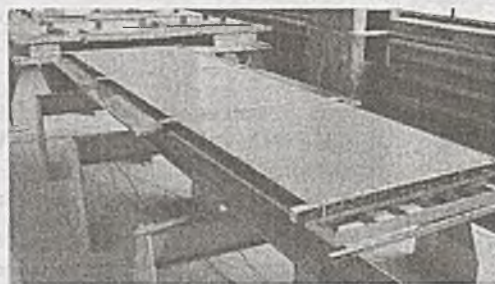
Fot. 2. Forma ze zbrojeniem tekstylnym w postaci siatek

Pic. 2. Formwork with non-metal fabrics



Fot. 3a. Betonowanie płyt

Pic. 3a. Casting of concrete

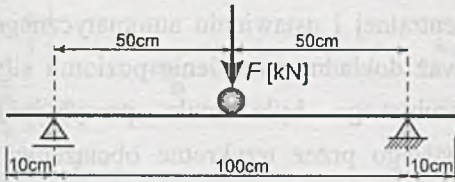


Fot. 3b. Widok płyt po zabetonowaniu

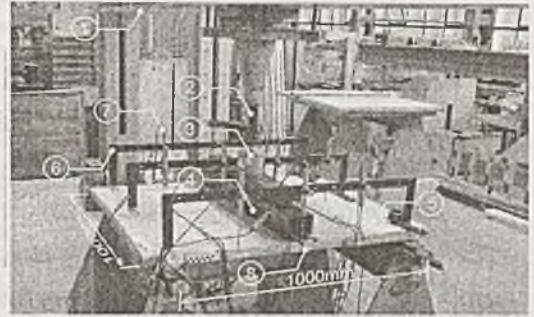
Pic. 3b. View of plates after casting

2.2. Stanowisko

W badaniach przyjęto schemat płyty wolnopodpartej na dwóch krawędziach, obciążonej liniową siłą skupioną w środku rozpiętości (rys. 2).



Rys. 2. Schemat statyczny
Fig. 2. Static scheme

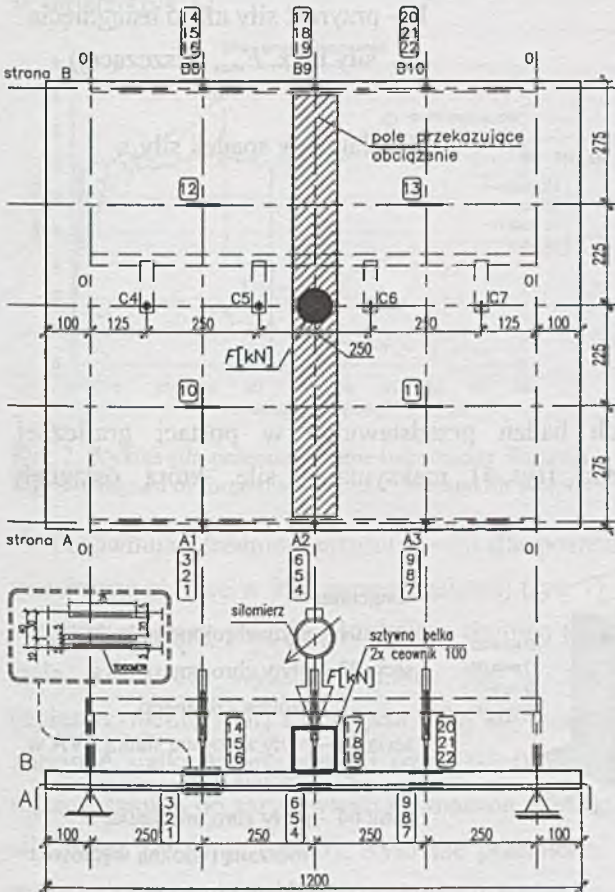


Fot. 4. Stanowisko badawcze
Pic. 4. Laboratory test-stand

Stanowisko badawcze (fot. 4) składało się ze stalowej ramy, w której do rygła „1” przymocowany został ręczny siłownik śrubowy „2” o nominalnej sile 20 kN, którym wywoływano obciążenie przenoszone przez siłomierz „3” na poprzeczną belkę stalową „4”, równomiernie rozkładającą obciążenie na płytę „5”.

Na oprzyrządowanie płyty (fot. 4) składały się takie Elementy, jak wcześniej wspomniany siłomierz „3” oraz ramki „6”, do których montowano czujniki indukcyjne „7”. Przy czym ramki „6” opierały się bezpośrednio na płycie nad jej podporami.

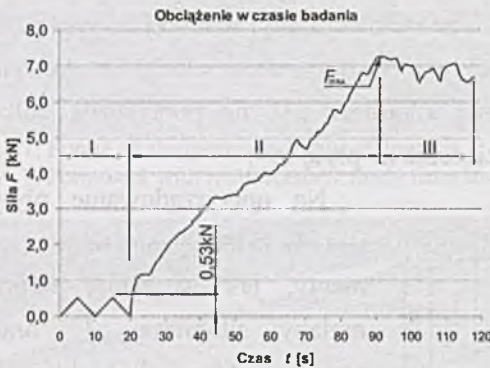
Do pomiaru odkształceń wykorzystano tensometry oporowe typu RL 285/75, które rozmieszczono jak na rys. 3. W trakcie badań rejestrowano odczyty 10 czujników indukcyjnych (A1÷3, B8÷10, C4÷7) i 22 tensometrów oporowych (1÷22). Wszystkie czujniki podłączono przez wielokanałowy przetwornik do jednostki centralnej (PC).



Rys. 3. Rozmieszczenie aparatury
Fig. 3. Testing equipment – layout

2.3. Przebieg badania

Po podłączeniu czujników do jednostki centralnej i ustawieniu automatycznego interwału odczytu danych co 0,5 sek. (ponieważ dokładne ustawienie poziomu siły przy zastosowaniu ręcznego siłownika śrubowego było mało precyzyjne), przeprowadzono kalibrację stanowiska badawczego przez trzykrotne obciążenie i odciążenie płyty ciężarem poprzecznej belki stalowej, wynoszącym 0,53 kN. Dalszy wzrost siły następował przez równomiernie przekazywanie siły przez siłownik na poprzeczną belkę. Przykładowy wykres siły obciążającej płytę w czasie badania pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Przykład obciążenia w czasie
Fig. 4. Example of loading in time

Fazy obciążenia:

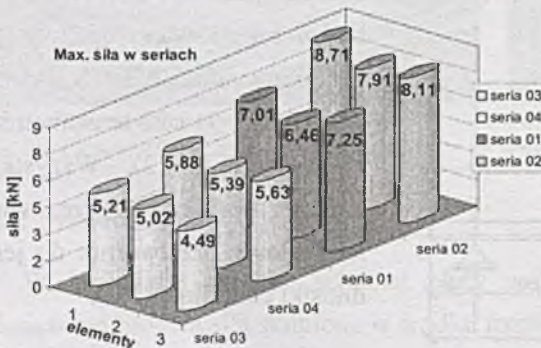
I – obciążanie i odciążanie,

II – przyrost siły aż do osiągnięcia siły max. F_{max} (niszczącej),

III – łagodny spadek siły.

3. Wyniki i wnioski

Wyniki dla przeprowadzonych badań przedstawiono w postaci graficznej. W pierwszej kolejności pokazano (rys. 5) maksymalną siłę, którą osiągnęły poszczególne elementy w serii.



Legenda:

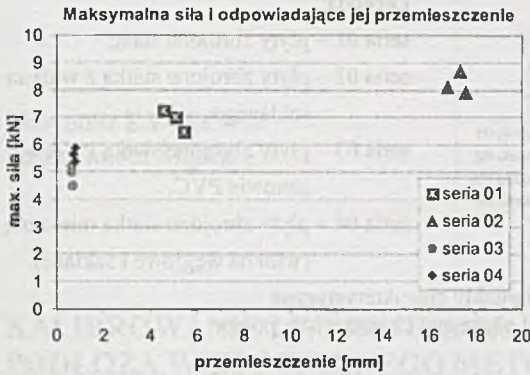
seria 01 – płyty zbrojone stalą,

seria 02 – płyty zbrojone siatką z włókna szklanego,

seria 03 – płyty zbrojone siatką PVA w osnowie PVC,

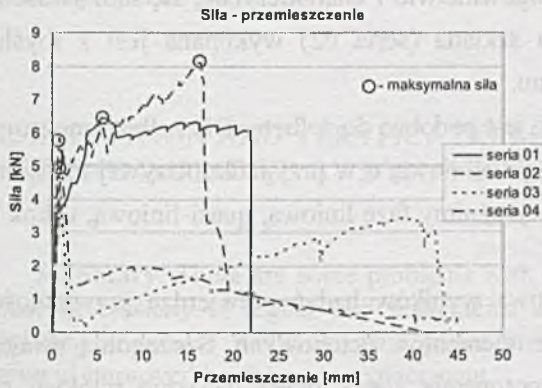
seria 04 – płyty zbrojone siatką mieszaną (włókna węglowe i szklane).

Rys. 5. Siła niszcząca płyty w poszczególnych seriach
Fig. 5. Ultimate force in each of the test series



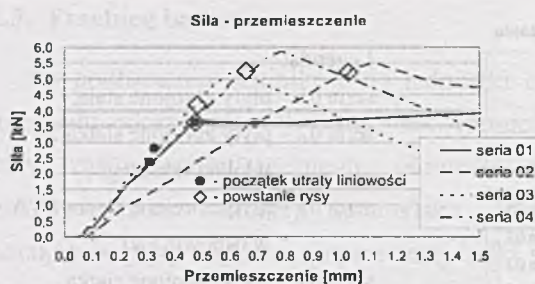
Rys. 6. Grupy wyników siła niszczenia-przemieszczenie dla poszczególnych serii
 Fig. 6. The groups of test results: ultimate force vs. displacement

Analizując poziom siły niszczącej i odpowiadającego jej przemieszczenia wyznaczonego w osi płyty, uzyskano dobrą zbieżność wyników dla elementów w seriach (rys. 6).



Rys. 7. Wykres siła-przemieszczenie (uśredniony dla serii)
 Fig. 7. Diagram of force-displacement (average for series)

Porównując średnie wartości z serii dla poszczególnych typów płyt, stwierdzono zasadnicze różnice w ich pracy zgięciowej (rys. 7). Dla bardzo małych ugięć w stanie sprężystym płyty pracują podobnie – liniowo (rys. 8). W przypadku płyt zbrojonych stalą (seria 01) wykres załamuje się w momencie powstania pierwszej rysy (uplastycznienie stali) i przejścia całej siły rozciągającej przez stal, natomiast płyty zbrojone siatkami tekstylnymi (serie 02÷04) wykazują nieliniowość spowodowaną mikrorysami, a po zarysowaniu nieznaczne przesunięcie (uskok) i częściowe przejście siły przez zbrojenie (siatki). Rysa nie przechodzi przez zbrojenie w całości (dalszy wzrost siły przy nieznacznym przemieszczeniu).



Legenda:

- seria 01 – płyty zbrojone stalą,
- seria 02 – płyty zbrojone siatką z włókna szklanego,
- seria 03 – płyty zbrojone siatką PVA w osnowie PVC,
- seria 04 – płyty zbrojone siatką mieszaną (włókna węglowe i szklane).

Rys. 8. Siła-przemieszczenie – początkowa faza i punkty charakterystyczne

Fig. 8. Diagram of force vs. displacement – initial phase and characteristic points

Po zerwaniu pierwszych włókien w splotach (serie 02÷04) następuje spadek krzywej (raptowny w przypadku serii 03 i 04), a następnie przejęcie siły przez pozostałe włókna. Kolejne zerwania włókien i splotów są bardzo widoczne w przypadku włókna szklanego. Praca serii 02 znacznie odbiega od zachowania serii 03 i 04. Siatki w tych płytach (seria 03 – siatka PVA, seria 04 – siatka węglowa) są typowymi siatkami stosowanymi w drogownictwie i charakteryzują się możliwością znacznego wydłużenia, z kolei siatka szklana (seria 02) wykonana jest z myślą zastosowania jej jako zbrojenia do betonu.

Praca kompozytu, jakim jest teksbet, jest podobna do żelbetu. Dla żelbetu możemy wyróżnić fazę liniową, uskok i fazę krzywoliniową, a w przypadku krzywej teksbetu (w szczególności do krzywej serii 02) wyróżnimy fazę liniową, quasi-liniową, uskok i znowu fazę liniową.

Powyższa wstępna analiza jakościowa wyników badań potwierdza przydatność siatek z włókien do zbrojenia cienkich elementów betonowych. Szczególną uwagę należy zwrócić na odpowiednie przygotowanie siatek przez wiązanie włókien w sploty, impregnację powierzchni, np. osnową żywiczną, w celach zwiększenia przyczepności i zmniejszenia wrażliwości na uszkodzenia mechaniczne.

BIBLIOGRAFIA

1. Bobeth W.: *Textile Faserstoffe. Beschaffenheit und Eigenschaften*. Springer, Berlin – Heidelberg – New York 1993.
2. Kotala B.: *Zbrojenie siatkami niemetalicznymi lekkich elementów betonowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Budownictwo, z. 112, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.