

PRZESTRZENNE ZBROJENIE BETONU

Przedmiotem wynalazku jest przestrzenne zbrojenie betonu. Wynalazek jest kwalifikowany w dziedzinie budownictwa.

Konstrukcje żelbetowe są kompozycją betonu i prętów stalowych stanowiących jego zbrojenie.

5 Klasyczne, dotychczas stosowane zbrojenie konstrukcji żelbetowych składa się z:

- układu podłużnych prętów nośnych zbrojenia głównego, stanowiących wzmocnienie strefy rozciąganej betonu oraz wyjątkowych stref ściskanych betonu, poprzez zapewnienie 10 przyczepności gwarantującej współodkształcalność betonu i stali,

- układu zbrojenia rozdzielczego w płytach lub strzemionach w belkach umieszczanych z reguły prostopadle lub pod określonym kątem do prętów zbrojenia głównego; zbrojenie rozdzielcze stosuje się w celu zwiększenia nośności, ale 15 również ze względów konstrukcyjnych, w celu równomiernego rozłożenia obciążenia i zespolenia zbrojenia w nieodkształcalny szkielet.

20 W celu wzmocnienia belki w obszarze występowania rys prostopadłych, stosuje się pręty nośne zbrojenia głównego. W obszarze występowania rys ukośnych zagęszcza się strzemiona i stosuje się odgięte pręty nośne zbrojenia głównego.

Połączenie prętów wykonuje się za pomocą:

- drutu wiązańkowego - jest to połączenie wiotkie, samo nie jest w stanie przenosić obciążeń; może być wykorzystywane do łączenia zbrojenia nośnego i zbrojenia konstrukcyjnego, rozdzielczego lub strzemion,
- 5 - spawania - jest to połączenie sztywne; może być stosowane przede wszystkim do łączenia prętów zbrojenia nośnego, ale może być również wykorzystywane do łączenia zbrojenia głównego z rozdzielczym i strzemionami; wadą połączeń spawanych jest możliwość uszkodzenia prętów w czasie
- 10 spawania przez przetopienie lub przegrzanie, gdzie następuje lokalna zmiana właściwości stali,
- zgrzewania - jest to połączenie sztywne; może być stosowane do łączenia prętów zbrojenia nośnego i łączenia zbrojenia głównego z rozdzielczym i strzemionami;
- 15 zgrzewanie eliminuje większość wad spawania, ale jest połączeniem o mniejszej wytrzymałości.

Zgrzewanie lub spawanie może być wykorzystywane do połączeń zbrojenia głównego ze zbrojeniem poprzecznym, np. w belkach prefabrykowanych stropu gęstożebrowego typu Terriva.

20

Dotychczas stosowane zbrojenie w układzie prętów podłużnych i pojedynczych prętów poprzecznych - krzyżulców, ma zastosowanie w następujących żelbetowych układach konstrukcyjnych:

- 25 (1) w przestrzennym układzie zbrojenia belek prefabrykowanych stropu gęstożebrowego typu Terriva
- (2) w belkach stropowych jak w opisie wzoru W.96553,
- (3) w siatkowych płaskich pasach zbrojeniowych wzmacniających spoiny poziome konstrukcji murowych jak w
- 30 opisie polskiego wynalazku Pat. 177099,
- (4) w postaci węzownicy w płaskich siatkach do zbrojenia belek stropowych jak w opisie polskiego wynalazku P.285183.

Znany jest również system płaskich siatek do zbrojenia betonu o kratownicowym układzie prętów poprzecznych wielokrotnie skrzyżowanych i trwale zespojonych we wszystkich miejscach skrzyżowania, stanowiący samonośny układ zbrojenia,
5 jak w opisie patentu P.398305.

Oddzielnym rodzajem wzmocnionej konstrukcji betonowych jest fibrobeton. Fibrobeton stanowi połączenie betonu i rozproszonego mikrozbroyenia, które wykonywane są z włókien o
10 bardzo małej średnicy nie przekraczającej 1 mm, o długości nie przekraczającej 50 mm, o różnym kształcie, najczęściej stalowe, jak również szklane, polimerowe, polipropylenowe, węglowe, aramidowe oraz pochodzenia organicznego np. bawełniane, lub pochodzenia recyklingowego np. rozdrobnione składniki
15 włókniste opon samochodowych. Elementy konstrukcyjne z fibrobetonu cechuje większa wytrzymałość na rozciąganie, redukcja zjawisk skurczowych, większa ciągliwość oraz większa wytrzymałość na obciążenia udarowe w porównaniu z betonem zwykłym bez zbrojenia rozproszonego. Znacząca poprawa
20 właściwości mechanicznych fibrobetonu zauważalna jest po zastosowaniu zbrojenia rozproszonego w ilości stanowiącej minimum 1,5% objętości betonu. Włókna zbrojeniowe stosowane w fibrobetonie z założenia są równomiernie rozproszone w masie betonu. W praktyce uzyskanie równomierności rozproszenia
25 włókien zbrojeniowych w betonie jest trudne do uzyskania ze względów technologicznych. Stopień równomierności rozproszenia włókien zbrojeniowych w betonie jest czynnikiem mającym znaczący wpływ na właściwości mechaniczne fibrobetonu. Zbrojenie rozproszone charakteryzuje się wielokierunkowym
30 ułożeniem włókien, który ma przypadkowy, losowy charakter w objętości, wynikający ze sposobu przygotowywania i układania mieszanki betonowej. Fibrobeton stosowany jest jako materiał podstawowy do wykonywania posadzek przemysłowych jak również w połączeniu z tradycyjnym zbrojeniem w konstrukcjach

żelbetowych. Wówczas zbrojenie rozproszone pełni rolę zbrojenia pomocniczego i może być traktowane jako składnik wzmocnienia betonu.

5 Celem wynalazku jest stworzenie rozwiązania pozwalającego uzyskać zwiększone parametry opisujące właściwości fizyko- mechaniczne konstrukcji betonowych w stosunku do parametrów dotychczas stosowanych konstrukcji.

10 Istota zgłaszanego wynalazku polega na zastosowaniu nowego układu rurek siatkowych, stanowiących kierunkowo zorientowane, przestrzenne zbrojenie całego przekroju poprzecznego elementów konstrukcyjnych z betonu w celu zwiększenia wytrzymałości betonu na rozciąganie oraz zwiększenia nośności, sztywności przestrzennej i ciągłości konstrukcji z betonu.

15 Przestrzenne zbrojenie betonu według wynalazku charakteryzuje się tym, że:

1) Rurki siatkowe stanowią upakowaną, wypełniającą całkowicie przekrój poprzeczny elementu strukturę zbrojenia w betonie, której intensywność zależy od rodzaju konstrukcji, wymaganej wytrzymałości kompozytu betonowego na ściskanie i rozciąganie 20 oraz od wymaganego stopnia zbrojenia przekroju elementu konstrukcyjnego i wymiarów największego ziarna kruszywa stosowanego do wykonania mieszanki betonowej.

2) Ułożenie osi środkowych rurek siatkowych zależy od rodzaju konstrukcji i jest wykonywany jako:

25 - układ jednokierunkowy, równoległe do osi środkowych w elementach prętowych (beki, słupy, łuki i ich kombinacje),

- układ dwukierunkowy, warstwowy w elementach powierzchniowych (płyty, tarcze-ściany, powłoki),

30 - układ trójkierunkowy, warstwowy w elementach przestrzennych (masywne bloki np. fundamentowe).

Jednokierunkowy układ zbrojenia, charakteryzuje się ułożeniem osi środkowej rurek (1) równoległe do osi środkowej elementu konstrukcyjnego (10). Jednokierunkowy układ zbrojenia

przeznaczony jest do stosowania w elementach prętowych tj. belki, słupy, łuki, rygle, długie wsporniki, pale fundamentowe, wieńce. W dwukierunkowym układzie zbrojenia przestrzennego kierunki ułożenia rurek dostosowane są do dwóch kierunków 5 głównych naprężeń lub sił wewnętrznych, występujących w elementach konstrukcyjnych (A i B). Kierunek ułożenia rurek zmienia się w kolejnych warstwach. Po ułożeniu warstwy rurek, których oś środkowa jest równoległa do kierunku A, układana jest warstwa rurek równoległa do kierunku B, następnie układ 10 jest powtórzony w kolejnych warstwach, aż do wypełnienia całej grubości (wysokości) elementu. Kierunki główne ułożenia rurek mogą być wzajemnie nachylone pod kątem $\alpha=(0^\circ\div 180^\circ)$. Dwukierunkowy układ przeznaczony jest do zbrojenia elementów płytowych i tarczowo - ścianowych, np. płyty stropowe, płyty 15 fundamentowe, stopy fundamentowe oraz ściany. W trójkierunkowym układzie zbrojenia przestrzennego, dla dwóch głównych kierunków zbrojenia A i B w wybranej płaszczyźnie rurki ułożone są naprzemiennie warstwami. W każdej z tych warstw uwzględnione jest odpowiednie odsunięcie wzajemne 20 rurek. W miejscu powstałej przestrzeni między rurkami ułożonymi na kierunku A i B, układane są rurki w trzecim kierunku zbrojenia C. Kierunki główne ułożenia rurek mogą być wzajemnie nachylone pod kątami oznaczonymi α , β i γ , których wartości mogą zawierać się w przedziale $0^\circ\div 180^\circ$. Układ trójkierunkowy 25 przeznaczony jest do zbrojenia masywnych elementów konstrukcyjnych, np. masywne stopy i płyty fundamentowe oraz konstrukcje oporowe.

3) Pojedyncza rurka siatkowa jest wykonana z siatki o ortogonalnym układzie włókien podłużnych (osnowa) (4) i włókien 30 obwodowych (wętek) (5) w taki sposób, że włókna podłużne osnowy są usytuowane wzdłuż podłużnej osi środkowej rurki siatkowej (1).

4) Średnica rurek siatkowych f_i dostosowana jest do wymiarów przekroju betonowego w proporcji do najmniejszego wymiaru

przekroju poprzecznego b zgodnie z zależnością: $b \leq f_i \leq \frac{b}{100}$.
 Dopuszcza się stosowanie układu pojedynczych rurek siatkowych lub układu złożonego z wiązek rurek typu „rurka w rurce”. W układzie typu „rurka w rurce” rozróżnia się dwa przypadki
 5 formowania rurek w wiązce. Układ współosiowy złożony jest z rurek o różnych średnicach, których współśrodkowe ułożenie zapewnia wspólne położenia osi środkowej wiązki. Wówczas różnica średnic rurek musi spełniać warunek: $f_1 - f_2 \geq 2d_g$ gdzie:
 d_g - największy wymiar ziarna kruszywa stosowanego w betonie,
 10 lecz nie mniej niż 2 mm. Drugim przypadkiem formowania rurek w wiązce jest układ różnoosiowy, w którym rurki ułożone w jednej wiązce charakteryzują się jednakowym kierunkiem ułożenia osi środkowych, przy braku zachowania ich współosiowości.

Siatki, z których wykonywane są rurki, mogą być wykonane
 15 jako ażurowe plecionki z materiału przeznaczonego do zbrojenia betonu, tj. z kompozytowych włókien szklanych, węglowych, aramidowych lub włókien (prętów) stalowych o wysokich wytrzymałościach na rozciąganie.

Rurki siatkowe wykonane są z siatki o minimalnych wymiarach
 20 oczka d_o spełniających warunek $d_o \geq 2d_g$ gdzie: d_g - największy wymiar ziarna kruszywa stosowanego w betonie, lecz nie mniej niż 2 mm, $d_o = \min\{a, s\}$ - najmniejszy wymiar oczka siatki, a - rozstaw włókien osnowy (podłużnych) siatki, s - rozstaw włókien wiatku (poprzecznych, obwodowych) siatki.

Rurki siatkowe o określonej średnicy przekroju poprzecznego
 25 f_i wykonuje się z gotowych siatek łączonych na styku każdego z włókien (prętów) przy zastosowaniu urządzeń typu giętarka do rur (wariant S1 i S2), poprzez łączenie uprzednio uformowanych włókien podłużnych i obwodowych (wariant Z1 i Z2) lub przy
 30 zastosowaniu druku 3D. W przypadku rurek siatkowych wykonanych z gotowej siatki dopuszcza się stosowanie kilku warstw siatki do wykonania jednej rurki w celu zwiększenia stopnia zbrojenia. Średnica prętów lub włókien d_1 i d_2 , z których wykonana jest

odpowiednio osnowa i watek siatki, powinna być dostosowana do wymiaru oczka siatki spełniając warunek: $\min\{d_1; d_2\} \leq \frac{d_0}{2}$.

Połączenie siatki na obwodzie rurek musi zapewniać niezmienną geometrię rurek podczas układania mieszanki betonowej. Przekrój rurek siatkowych stanowi okrąg o promieniu R_z spełniający warunek: $\frac{b}{2} \leq R_z \leq \frac{b}{200}$. Dopuszcza się zmienność promienia w przedziale: $1,0+1,5 R_z$.

Ciągłość zbrojenia na długości elementu jest zapewniona pod warunkiem łączenia doczołowego, na styk maksymalnie 30 % rurek siatkowych znajdujących się w jednej warstwie.

Przestrzenne zbrojenie betonu rurkami siatkowymi pozwala na stworzenie ujednorodnionego kompozytu betonowego o zwiększonych parametrach mechanicznych. Kompozyt betonowy może być stosowany jako indywidualny materiał konstrukcyjny lub może tworzyć konstrukcję hybrydową w połączeniu z typowymi systemami zbrojenia stosowanymi w konstrukcjach żelbetowych.

Zastosowanie wynalazku wzmacnia elementy konstrukcyjne w miejscu występowania naprężeń rozciągających, przez co redukuje zjawisko propagacji naprężeń rozciągających i towarzyszącego im zarysowania betonu spowodowane wzrostem wyężenia elementu konstrukcyjnego. Zastosowanie wynalazku zapewnia intensywne skrępowanie betonu, przy jednoczesnym ujednorodnieniu zbrojenia przekroju, co w konsekwencji zapewnia zuniwersalizowanie pracy elementu konstrukcyjnego niezależnie od kierunku działania obciążenia, w tym również obciążenia wyjątkowego nieprzewidzianego w pierwotnych założeniach projektowych. Ponadto, zastosowanie wynalazku pozwala na zwiększenie sztywności elementu konstrukcyjnego, zmniejszenie przemieszczeń i zwiększenie ciągliwości przy zwiększonej nośności. Zastosowanie wynalazku powoduje zmianę mechanizmu zniszczenia elementów żelbetowych przez znaczne ograniczenie zjawiska zarysowania i zmiężdżenia betonu, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia nośności.

Zbrojenie wykonane jest w postaci lekkiego prefabrykatu, złożonego z pojedynczych rur siatkowych lub modułowych wiązek rur siatkowych, które w łatwy sposób są transportowane na miejsce wbudowania. Ułożenie zbrojenia nie wymaga
5 szczegółowego śledzenia dokumentacji projektowej z uwagi na zunifikowany charakter rozwiązania konstrukcyjnego. Zbrojenie może być wykorzystane do wykonywania zarówno konstrukcji monolitycznych jak i prefabrykowanych.

10 Wynalazek w korzystnym przykładzie wykonania został przedstawiony na rysunkach, gdzie: Fig. 1 przedstawia układ przestrzennego zbrojenia rurkami siatkowymi odniesiony do rodzaju elementu konstrukcyjnego: a) układ jednokierunkowy w elemencie prętowym, b) układ dwukierunkowy w elemencie
15 płytowym, c) układ trójkierunkowy w elemencie masywnym; Fig. 2 przedstawia schemat geometryczny pojedynczej rurki siatkowej do wykonania przestrzennego zbrojenia w przekroju podłużnym; Fig. 3 przedstawia przekroje poprzeczne pojedynczej rurki siatkowej w możliwych wariantach wykonania a) przekrój rurki wykonanej z gotowej siatki łączonej na zakład z dodatkowym
20 prętem podłużnym w miejscu zakładu, b) przekrój rurki wykonanej z gotowej siatki o prętach obwodowych łączonych na zakład, c) przekrój rurki wykonanej z prętów podłużnych i obwodowych łączonych w miejscach styku (9) z łączonymi doczołowo prętami obwodowymi (11), d) przekrój rurki wykonanej z prętów
25 podłużnych i obwodowych z uwzględnieniem zakładu prętów obwodowych (12); Fig. 4 przedstawia przekrój poprzeczny elementu z jednokierunkowym układem przestrzennego zbrojenia rurkami siatkowymi a) zbrojenie typu „rurka w rurce” o współosiowym układzie wiązek, b), e) zbrojenie typu „rurka w rurce” o różnoosiowym układzie wiązek, c), d) zbrojenie pojedynczymi rurkami siatkowymi o różnych stopniach skrępowania betonu. Wymiary przekroju betonowego oznaczone zostały b - szerokość i h - wysokość. Wymiar c oznacza minimalną
30

grubość otuliny betonowej, która uzależniona jest od rodzaju materiału użytego do wykonania rurek siatkowych oraz warunków użytkowania konstrukcji i może być zredukowana do zera; Fig. 5 przedstawia przekrój podłużny prętowego elementu konstrukcyjnego z przestrzennym zbrojeniem betonu. Numerami 1, 2, 3 oznaczono rurki siatkowe ułożone w wiązki równoległe do osi środkowej elementu konstrukcyjnego, których średnice wynoszą odpowiednio f_1 , f_2 , f_3 ; Fig. 6 przedstawia układ zbrojenia hybrydowego w prętowym elemencie konstrukcyjnym w przekroju podłużnym i poprzecznym stanowiący połączenie zbrojenia przestrzennego rurkami siatkowymi oraz tradycyjnego zbrojenia prętami. Pręty zbrojenia podłużnego zlokalizowane w strefie rozciąganej oznaczone zostały jako 7, a w strefie ściskanej jako 6, numerem 8 oznaczono zbrojenie poprzeczne w postaci strzemion; Fig. 7 przedstawia przekrój poprzeczny belek poddanych badaniom doświadczalnym: a) belka betonowa z jednokierunkowym zbrojeniem przestrzennym rurkami siatkowymi (seria I), b) belka betonowa bez zbrojenia (seria II); Fig. 8 przedstawia schemat statyczny belek serii I i II poddanych badaniom doświadczalnym; Fig. 9 przedstawia zdjęcia wykonane podczas badań doświadczalnych belki z przestrzennym zbrojeniem w kolejnych etapach wycięcia.

Przestrzenne zbrojenie betonu w belkowym elemencie konstrukcyjnym wykonane według wynalazku złożone jest z 24 rurek siatkowych (1). Rurki siatkowe stanowią zbrojenie przestrzenne belki betonowej, której długość całkowita wynosi 1000 mm, a wymiary przekroju poprzecznego to szerokość $b = 100$ mm i wysokość $h = 150$ mm. Na wysokości przekroju ułożono 6 warstw rurek siatkowych po 4 sztuki w każdej warstwie. Pojedyncze rurki siatkowe (1) ułożone zostały jednokierunkowo wzdłuż osi środkowej elementu konstrukcyjnego (10). Rurki wykonane zostały z siatki z włókna szklanego przeznaczonego do zbrojenia betonu o wymiarach oczka 10×10 mm, wytrzymałości na rozciąganie wynoszącej 2540,0 N/5cm dla kierunku podłużnego

oraz 1200,0 N/5cm dla kierunku poprzecznego, której gramatura powierzchniowa wynosi 190 g/m². Średnica każdej rurki wynosiła 20 mm, przy roboczej długości obwodu wynoszącej 100 mm (z uwzględnieniem zakładu). Na obwodzie każdej rurki znajdowało się 8 włókien podłużnych osnowy (4). Rurki siatkowe zatopione zostały w betonie o średniej wytrzymałości na ściskanie wynoszącej 90,5 MPa, w którym średnica największego ziarna kruszywa wynosiła $d_g=2\text{mm}$.

W celu weryfikacji korzyści wynikających z zastosowania przestrzennego zbrojenia betonu (PZB) przeprowadzono badania wstępne na belkach.

Badania przeprowadzono dla dwóch serii belek. W serii pierwszej wykonano belki zawierające zbrojenie przestrzenne betonu. W serii drugiej wykonano belki o takich samych wymiarach i z użyciem tego samego betonu, lecz bez dodatkowego zbrojenia. Dla każdej serii wykonano po trzy belki. Belki poddane zostały badaniu czteropunktowego zginania.

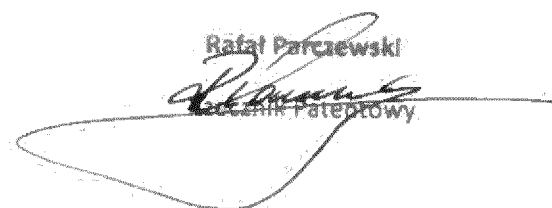
Badanie belek serii I i II przeprowadzono dla krótkotrwałego obciążenia statycznego, które przyrastało do chwili zniszczenia belki. Największa odnotowana wartość obciążenia belki P_1 uznawana była za nośność graniczną elementu. Dodatkowo dla każdej z serii belek przeprowadzono weryfikację wytrzymałości na ściskanie betonu, z którego zostały one wykonane na próbkach sześciennych. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 1.

Tab. 1. Wyniki badań doświadczalnych belek z serii I i II

Parametr		Seria I	Seria II
Siła niszcząca belki P_i [kN]	P_1	26,20	13,80
	P_2	27,95	12,03
	P_3	27,86	12,80
	P_{gr}	27,34	12,88
Wytrzymałość betonu na ściskanie	f_{c1}	84,5	83,5
	f_{c2}	101,9	96,4
	f_{c3}	85,2	95,4

[MPa] na próbkach sześciennych	$f_{c_{6z}}$	90,5	91,77
--------------------------------	--------------	------	-------

Wyniki badań wskazują na ponad dwukrotne zwiększenie nośności belki po zastosowaniu PZB. Zastosowanie PZB spowodowało zmianę mechanizmu zniszczenia belki oraz znacznemu ograniczeniu zarysowania. Zredukowana została zarówno liczba rys jak i ich szerokość. Ponadto, odnotowano bardziej równomierny rozkład rys w obszarze środkowym czystego zginania. Wraz ze wzrostem obciążenia zaobserwowano stopniowe wyłączenie od spodu belki poszczególnych obszarów zbrojenia przestrzennego na skutek zerwania włókien rurek siatkowych. Proces ten przebiega stopniowo, aż do zniszczenia, którego charakter nie jest gwałtowny. Redukcji ulegają przemieszczenia, a wraz ze wzrostem poziomu obciążenia konstrukcji obserwowany jest wzrost ciągliwości kompozytu. W przypadku belek serii II obserwowane było gwałtowne zniszczenie elementu na skutek szybkiej propagacji zarysowania w przekroju belki zlokalizowanym między siłami.

Rafał Parczewski

Inżynier Patentowy