



(21) Numer zgłoszenia: **344220**

(22) Data zgłoszenia: **12.05.1999**

(86) Data i numer zgłoszenia międzynarodowego:
12.05.1999, PCT/FR99/01145

(87) Data i numer publikacji zgłoszenia międzynarodowego:
18.11.1999, WO99/58468
PCT Gazette nr 46/99

(13) **B1**

(51) Int.Cl.
C04B 28/02 (2006.01)
C04B 16/06 (2006.01)
C04B 40/00 (2006.01)

(54) **Beton zawierający utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi oraz zastosowanie takiego betonu**

(30) Pierwszeństwo:

14.05.1998,FR,98/06092

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

08.10.2001 BUP 21/01

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.10.2007 WUP 10/07

(73) Uprawniony z patentu:

BOUYGUES,Saint-Quentin,FR
LAFARGE,Paryż,FR
RHODIA CHIMIE,Courbevoie,FR

(72) Twórca(y) wynalazku:

Marcel Cheyrezy,Sevres,FR
Jérôme Dugat,Montigny le Bretonneux,FR
Sandra Boivin,L'Isle d'Abeau,FR
Gilles Orange,Soisy sous Montmorency,FR
Laurent Frouin,l'Hay les Roses,FR

(74) Pełnomocnik:

Katarzyna Karcz, PATPOL Sp. z o.o.

(57) 1. Beton zawierający utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi, uzyskany przez wymieszanie z wodą kompozycji zawierającej oprócz włókien organicznych cement, elementy ziarniste, drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym, przynajmniej jeden środek dyspergujący, **znamienny tym**, że elementy ziarniste stanowią od 20% do 60% wagowych mieszanki cementowej i mają maksymalną wielkość ziaren D wynoszącą co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, przy czym drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają podstawową wielkość cząstki co najwyżej 20 μm , korzystnie co najwyżej 1 μm , ponadto tym, że wagowy procent wody w skumulowanej masie cementu i drobnych elementów o oddziaływaniu pucolanicznym zawiera się w zakresie od 8% do 25%, natomiast włókna organiczne są wybrane spośród włókien polialkoholu winylowego, włókien poliakrylonitrylowych, włókien polietylenowych, włókien polietylenowych dużej gęstości, włókien poliamidowych lub poliimidowych, włókien polipropylenowych (homo- lub kopolimerów), włókien wykonanych z poliamidów aromatycznych i włókien węglowych, ewentualnie ich mieszanek, ponadto poszczególne włókna organiczne mają długość l wynoszącą przynajmniej 2 mm, a współczynnik l/ϕ wynosi przynajmniej 20, gdzie ϕ jest średnicą włókna, oraz tym, że ilość włókien jest taka, iż ich objętość stanowi od 1% do najwyżej 8% całej objętości betonu po związaniu, stosunek R pomiędzy średnią długością włókna L , a maksymalną wielkością ziaren D elementów ziarnistych wynosi przynajmniej 5.

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest beton zawierający utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi oraz zastosowanie takiego betonu.

Beton według wynalazku stosowany jest do wykonywania elementów konstrukcyjnych, które mają elementy znane ze stanu techniki, w szczególności w odniesieniu do wytrzymałości na rozciąganie (zginanie i bezpośrednio naprężenia rozciągające). Wykorzystane włókna są włóknami organicznymi.

Analizy strukturalne betonu pokazały, iż ich własności mechaniczne są ściśle związane z obecnością defektów strukturalnych. Można zaobserwować wiele różnych typów defektów strukturalnych w mieszankach betonowych, gdy są one poddawane obciążeniom mechanicznym. Różnią się od siebie rozmiarami.

W najmniejszej skali, obserwuje się tak zwane mikroporowate defekty betonu co oznacza, iż obecne są tak zwane pory kapilarne pochodzące od nieregularnych przestrzeni występujących w fazie początkowej w świeżej mieszance. Ich wielkość zawiera się w zakresie od 50 nanometrów do kilku mikrometrów.

W skali pośredniej, obserwuje się defekty w postaci mikropęknięć. Są nimi mikropęknięcia mające wielkość w zakresie od 1 do 100 mikrometrów. Nie są one ciągłe, to znaczy nie tworzą ciągłych ścieżek w strukturze. Wynika to z niejednorodnego charakteru betonu, ponieważ granulata posiada inne własności mechaniczne i fizyczne niż mieszanka spoiwo/cement. Defekty pojawiają się pod obciążeniem mechanicznym. Ten typ defektów jest głównie odpowiedzialny za niewielką wytrzymałość na rozciąganie betonu, oraz jego kruchość.

W dużej skali, obserwuje się makro-pęknięcia. Długość pęknięć zawiera się w przedziale od 100 μm do 1 mm. Pęknięcia te są ciągłe.

Obserwowane są także duże defekty milimetrowe, wynikają one z wadliwego przygotowania betonu (okludowane powietrze, defekty wypełnienia).

Zaproponowano rozwiązania mające na celu zarówno zredukowanie obecności różnego rodzaju defektów lub osłabienie efektów ich istnienia.

Tak więc, możliwe jest częściowe kontrolowanie mikroporowatości przez zmniejszenie współczynnika masy mieszanki woda/cement i wykorzystanie czynników upłynniających. Wykorzystanie filtrów dokładnego oczyszczania, w szczególności wykorzystujących reakcję pucolany, umożliwia także zredukowanie wielkości mikroporów.

W przypadku rozpatrywania mikropęknięć mogą one być silnie ograniczone przez:

- poprawę jednorodności betonu, na przykład, przez zmniejszenie wielkości ziaren do 800 μm ,
- przez poprawienie ściśliwości materiału (optymalizację ziarnistości oraz opcjonalnie wstępnie sprężenie przed i podczas wiązania),
- obróbkę termiczną po związaniu.

Także w odniesieniu do mikropęknięć, są one kontrolowane przez wprowadzenie włókien metali.

Jako dokument opisujący stan techniki można wspomnieć WO-A-95/01316. Przedmiotem tego dokumentu jest dobór współczynnika wielkości pomiędzy włóknami metalu, a elementami ziarnistymi (piaskiem, granulatem). Ten ulepszony beton zawierający włókna zawiera cement, elementy ziarniste, elementy o niewielkiej średnicy o oddziaływaniu pucolanicznym oraz włókna metalowe. Elementy ziarniste muszą posiadać maksymalną średnicę D wynoszącą 800 mikrometrów, włókna muszą posiadać pojedynczą długość l w zakresie od 4 mm do 20 mm, a współczynnik R pomiędzy średnią długością L włókien i D powinien wynosić przynajmniej 10.

Tak wykonany beton cechuje zachowanie sprężysto plastyczne lub odpowiadające pseudo plastycznej obróbce na zimno.

Skład betonu lub zaprawy zawierający włókna organiczne został zaproponowany w odniesieniu do różnych celów, opcjonalnie wprowadzający także możliwość zastosowania włókien metalowych, tak jak to przedstawiono, w publikacji „Fibre reinforced cementitious composites” autorstwa A. Bentur, S.Mindess (Elsevier Applied Science, 1990).

Stan techniki stanowi, że osoba o stosownym wykształceniu, której celem jest dobranie formuły betonu zawierającego włókna, stoi przed wieloma wyborami dotyczącymi materiałów i proporcji, również w odniesieniu do mieszanki cementowej betonu jak i włókien, tak więc problem ciągle pozostaje, a polega on na tym, że beton którego skład ma zostać dobrany musi posiadać ulepszone własności

w porównaniu do istniejących mieszanek betonowych, a koszt jego nie może być przeszkodą w jego efektywnym zastosowaniu w budownictwie oraz robotach publicznych.

Odpowiedzią na tak postawione cele jest zastąpienie włókien metalowych włóknami organicznymi, powoduje to: zwiększenie plastyczności, w szczególności wytrzymałości na rozciąganie, redukuje efekt korozji, zmniejsza masę konstrukcji wykonanych z betonu zawierającego włókna. Można także wspomnieć o mniejszym tłumieniu sygnałów radiowych.

Interesującym efektem wywołanym obecnością włókien wzmacniających typu polimerowego, jest poprawione zachowanie przeciwogniowe mieszanek betonu zawierającego włókna.

Kolejne rozwiązanie znaleziono na poziomie eliminacji wspomnianych wyżej defektów, w szczególności mikropęknięć, zaobserwowano, iż implementacje opisane w stanie techniki są głównie skierowane na uniknięcie powstawania makro-pęknięć, a nie mikropęknięć: mikropęknięcia nie są stabilizowane i powstają pod obciążeniem.

Celem wynalazku jest opracowanie mieszanki betonowej zawierającej wzmacniające włókna organiczne i posiadającej ulepszone własności w porównaniu do mieszanek ze stanu techniki, w szczególności w odniesieniu do wytrzymałości na rozciąganie (zginanie i bezpośrednie obciążenie rozciągające).

Kolejnym celem wynalazku jest wprowadzenie mieszanki betonowej której obróbka plastyczna na zimno jest ulepszona poza wstępne uszkodzenie, o kontrolowanie rozwoju makro-pęknięć. Celem wynalazku jest zwiększenie zakresu zastosowań betonu poza wstępne uszkodzenie przez wprowadzenie plastyczności betonu.

Figura 1 załączonych rysunków, przedstawia typową krzywą bezpośredniego naprężenia rozciągającego mieszanki betonowej o charakterze plastycznym według stanu techniki.

W odniesieniu do uszkodzenia nie będącego typu niszczącego (uszkodzenie niszczące oznacza, że uszkodzenie jest nagłe, nie postępujące), zarówno inżynier projektujący konstrukcję, jak i inżynier, który ją oblicza lub musi sprawdzić jej bezpieczeństwo, musi mieć dostęp do praw określających zachowanie materiału jak również znać jego cechy. Plastyczność materiału dotyczy tylko występującego odkształcenia niesprężystego, pod bezpośrednim naprężeniem rozciągającym, poniżej granicznego wierzchołka A.

Aby przedstawić zalety plastyczności, można wyobrazić sobie zachowanie pręta wiążącego (pręta zamocowanego na przykład, na swym górnym krańcu) poddanego zwiększonemu obciążeniu rozciągającemu (masa zostaje dodana na jego krańcu dolnym). W chwili, gdy obciążenie osiągnie wartość szczytową, następuje przerwanie i jest ono całkowite (w teście bezpośredniego naprężenia rozciągającego, w szczególności, część za szczytem można zaobserwować tylko, jeśli próba jest prowadzona pod obciążeniem).

Plastyczność materiałów nieelastycznych opisana jest przez całą krzywą wykresu rozciągania w prostej próbie rozciągania, ale rozważana jest tylko do wartości szczytowej. Może być także zdefiniowana jako współczynnik naprężenia niszczącego ε_A do naprężenia plastycznego $\varepsilon_{el} = \varepsilon_B \cdot (\sigma_A/\sigma_B)$ odpowiadającemu naprężeniu niszczącemu (gdzie σ_A jest większe niż σ_B); ten współczynnik jest równy temu odpowiadającemu modułowi sprężystości (złocze OB) podzielonemu przez moduł siecznej w punkcie zniszczenia (naprężenie szczytowe podzielone przez odkształcenie szczytowe lub złocze OA).

Plastyczność można opisać współczynnikiem plastyczności δ :

$$d = \frac{\varepsilon_A \cdot S_B}{\varepsilon_B \cdot S_A} \quad \text{jeśli } S_A \geq S_B$$

$$d = 1 \quad \text{jeśli } S_A < S_B$$

gdzie ε_A = odkształcenie szczytowe, a

$$\varepsilon_{el} = \varepsilon_B \cdot \frac{S_A}{S_B}$$

gdzie ε_{el} = odkształcenie, które było by osiągnięte przy naprężeniu szczytowym przez elastyczną ekstrapolację odkształcenia wynikowego otrzymanego na podstawie przeprowadzonej próby.

Ta definicja jest całkowicie zgodna z fizycznym zachowaniem obserwowanym na próbce poddawanej próbie (wielo-pęknięcia): po pierwszym pęknięciu, pęknięciu pierwszej wartości szczytowej B (która jest tylko maksimum lokalnym lub cząstkowym), która została osiągnięta powstaje pierwszy otwór którego powstawanie można odczytać na fig. 1, pomiędzy pierwszym szczytem B, a punktem C gdzie krzywa przekracza wartość szczytu; w tej chwili pierwsza szczelina jest ustabilizowana ponieważ napężenie ponownie wzrasta w całej poddanej badaniu próbce, aż do chwili powstania drugiego pęknięcia, i tak dalej. Takie zachowanie jest silne i może tylko być bardziej stabilne w przypadku większych objętości.

Kolejnym celem prezentowanego wynalazku jest zwiększenie poziomu naprężeń, przy których występuje pierwsze uszkodzenie betonu (to jest, mikropęknięcia), a więc poszerzenie pola zastosowań betonu (zachowania liniowo plastycznego).

Kolejnym celem wynalazku jest poprawienie przez działanie synergiczne pomiędzy mieszanką cementową, a włóknami organicznymi, zachowania betonu w odniesieniu do występowania mikropęknięć i rozprzestrzeniania się mikropęknięć.

Odkryto, iż cele wynalazku zostały osiągnięte przez beton, który łączy mieszankę cementową o określonych cechach z włóknami organicznymi także o określonych cechach.

Beton według pierwszej odmiany wynalazku zawiera utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi, uzyskany przez wymieszanie z wodą kompozycji zawierającej oprócz włókien organicznych cement, elementy ziarniste, drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym, przynajmniej jeden środek dyspergujący.

Beton według pierwszej odmiany wynalazku charakteryzuje się tym, że elementy ziarniste stanowią od 20% do 60% wagowych mieszanki cementowej i mają maksymalną wielkość ziaren D wynoszącą co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, przy czym drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają podstawową wielkość cząstki co najwyżej 20 μm , korzystnie co najwyżej 1 μm , ponadto tym, że wagowy procent wody w skumulowanej masie cementu i drobnych elementów o oddziaływaniu pucolanicznym zawiera się w zakresie od 8% do 25%, natomiast włókna organiczne są wybrane spośród włókien polialkoholu winylowego, włókien poliakrylonitrylowych, włókien polietylenowych, włókien polietylenowych dużej gęstości, włókien poliamidowych lub poliimidowych, włókien polipropylenowych (homo - lub kopolimerów), włókien wykonanych z poliamidów aromatycznych i włókien węglowych, ewentualnie ich mieszanek, ponadto poszczególne włókna organiczne mają długość l wynoszącą przynajmniej 2 mm, a współczynnik l/ϕ wynosi przynajmniej 20, gdzie ϕ jest średnicą włókna, oraz tym, że ilość włókien jest taka, iż ich objętość stanowi od 1% do najwyżej 8% całej objętości betonu po związaniu, stosunek R pomiędzy średnią długością włókna L , a maksymalną wielkością ziaren D elementów ziarnistych wynosi przynajmniej 5.

Beton według drugiej odmiany wynalazku zawiera utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi, uzyskany przez wymieszanie z wodą kompozycji zawierającej oprócz włókien organicznych cement, elementy ziarniste, drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym, przynajmniej jeden środek dyspergujący.

Beton według drugiej odmiany wynalazku charakteryzuje się tym, że drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają podstawową wielkość cząstek najwyżej 1 μm , korzystnie najwyżej 0,5 μm , ponadto tym, że wagowy procent wody w skumulowanej masie cementu i drobnych elementów o oddziaływaniu pucolanicznym, zawiera się w zakresie od 8% do 24%, włókna organiczne są wybrane spośród włókien polialkoholu winylowego, włókien poliakrylonitrylowych, włókien polietylenowych, włókien polietylenowych dużej gęstości, włókien poliamidowych lub poliimidowych, włókien polipropylenowych (homo - lub kopolimerów), włókien wykonanych z poliamidów aromatycznych i włókien węglowych, ewentualnie ich mieszanek, ponadto poszczególne włókna organiczne mają długość l wynoszącą przynajmniej 2 mm, a współczynnik l/ϕ wynosi przynajmniej 20, gdzie ϕ jest średnicą włókna, oraz tym, że ilość włókien jest taka, iż ich objętość stanowi najwyżej 8% całej objętości betonu po związaniu, natomiast cement, elementy ziarniste i drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają łącznie wielkość ziaren D_{75} wynoszącą co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, oraz wielkość ziaren D_{50} wynoszącą co najwyżej 150 μm , korzystnie najwyżej 100 μm , zaś stosunek R średniej długości włókna L , do wielkości ziaren D_{75} elementów ziarnistych, cementu i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym łącznie wynosi przynajmniej 5, korzystnie 10.

Beton według obydwu odmian wynalazku charakteryzuje się następującymi cechami korzystnymi:

- Przy bezpośrednim obciążeniu rozciągającym jego plastyczność, wyrażona współczynnikiem plastyczności δ , wynosi $\delta > 1$, korzystnie $\delta > 1,25$.
- Współczynnik l/ϕ włókien wynosi najwyżej 500.
- Średnie naprężenie przyczepności włókien w utwardzonej mieszance cementowej wynosi przynajmniej 2 MPa, korzystnie 5 MPa.
- Mieszanka cementowa zawiera dodatkowo przynajmniej jeden ze składników zwiększających przyczepność włókien w mieszance, wybranych z grupy obejmującej składniki krzemionkowe zasadniczo zawierające krzemionkę, wytrącony węglan wapnia, polialkohol winylowy w roztworze wodnym, fosfaty, lateksy, czynnik przeciwpieniący lub mieszankę tych składników.
- Składnik krzemionkowy jest osadem krzemionki wprowadzonym w ilości w zakresie od 0,1% do 5% wagowych, w stanie suchym, względem całej masy betonu.
- Osad krzemionki jest wprowadzany do kompozycji jako zawiesina wodna.
- Część włókien organicznych jest zastąpiona włóknami metalowymi, przy czym poszczególne włókna metalowe korzystnie mają długość wynoszącą przynajmniej 2 mm i współczynnik wydłużenia l/ϕ , gdzie ϕ jest średnicą włókna, który wynosi co najmniej 20.
- Beton zawiera kombinację krótkich i długich włókien organicznych i/lub włókien metalowych.
- Beton zawiera elementy zwiększające wytrzymałości na rozciąganie mieszanki, wybrane spośród elementów w kształcie igieł i elementów w kształcie płytek, przy czym ich średnia wielkość wynosi co najwyżej 1 mm, zaś ich zawartość wynosi pomiędzy 2,5%, a 35% łącznej objętości elementów ziarnistych i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym.
- Wytrzymałość na rozciąganie mieszanki cementowej wynosi przynajmniej 15 J/m².
- Mieszanka cementowa zawiera środki zwiększające wytrzymałość na rozciąganie, o anizotropowym kształcie i przeciętnej wielkości co najwyżej 500 μ .
- Objętościowa zawartość środków zwiększających wytrzymałość na rozciąganie wynosi od 5% do 25% łącznej objętości elementów ziarnistych i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym.
- Środki zwiększające wytrzymałość na rozciąganie w kształcie igieł są wybierane spośród włókien wolastonitu, włókien boksytu, włókien mulitu, włókien tytanianu potasu, włókien węglowo krzemowych, włókien celulozy lub jej pochodnych, włókien węglowych, włókien fosforanu wapniowego, w szczególności hydroksyapatytu (HAP), włókien węglanu wapnia, odpornych na działanie alkaliów włókien szklanych lub ich pochodnych uzyskanych przez zgniecenie wspomnianych włókien, oraz mieszanki wspomnianych włókien, polialkoholu winylowego, poliakrylonitrylu, polietylenu dużej gęstości, poliamidu, poliamidu aromatycznego lub krótkich włókien polipropylenu o długości co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, które są odpowiednie do wykorzystania, jak również materiałów takich jak wełna stalowa.
- Płytki są wybierane spośród płytek mikowych, płytek talku, kompozytowych płytek krzemianowych czyli glin, płytek wermikulitu, płytek tlenku glinu i glinianu, oraz mieszanek wspomnianych płytek.
- Przynajmniej część anizotropowych środków zwiększających wytrzymałość na rozciąganie ma na powierzchni organiczną powłokę polimerową, uzyskaną z przynajmniej jednego ze związków wybranych z grupy zawierającej polialkohol winylu, silany, silikoniany, krzemiany, żywice siloksanowe i poliorganosiloksany, ewentualnie produkty reakcji pomiędzy przynajmniej kwasem karboksylowym zawierającym od 3 do 22 atomów węgla, przynajmniej wielofunkcyjną aromatyczną lub alifatyczną aminą lub substancją zastępującą aminę, zawierającą 2 do 25 atomów węgla i czynnikiem sieciującym, który jest rozpuszczalnym w wodzie kompleksem metalu zawierającym co najmniej metal wybrany spośród cynku, glinu, tytanu, miedzi, chromu, żelaza, cyrkonu i ołowiu.
- Wielkość elementów ziarnistych wynosi co najwyżej 500 μ m.
- Elementy ziarniste stanowi drobny piasek lub mieszanka drobnych piasków, przesiane lub kruszone, mogące zawierać piaski krzemionkowe, w szczególności mączkę kwarcową.
- Zawartość elementów ziarnistych wynosi od 25% do 50% wagowych mieszanki cementowej.
- Drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym zawierają komponenty z grupy obejmującej krzemionkę, w szczególności krzemionkę dymną, lotne popioły i żużel wielkopiecowy.

- Zawartość procentowa wody w łącznym ciężarze cementu oraz elementów o oddziaływaniu pucolanicznym, zawiera się w przedziale między 13% a 25%.

- Beton ma bezpośrednią wytrzymałość na rozciąganie wynoszącą przynajmniej 6 MPa.
- Beton ma 4 punktową wytrzymałość na zginanie wynoszącą przynajmniej 20 MPa.
- Beton ma wytrzymałość na ściskanie wynoszącą przynajmniej 120 MPa, korzystnie 140 MPa.
- Energia zniszczenia betonu wynosi przynajmniej 2000 J/m².

- Po związaniu, beton zostaje poddany dojrzewaniu w temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia, na przykład 20°C, przez okres wymagany do uzyskania żądanych cech mechanicznych.

- Ewentualnie po związaniu, beton jest poddany obróbce termicznej pomiędzy 60°C, a 100°C pod ciśnieniem normalnym.

- Czas obróbki cieplnej wynosi od 6 godzin do 4 dni, zasadniczo od 6 godzin do 72 godzin.
- Korzystnie beton jest betonem sprężonym, ewentualnie betonem kablowym.

Przedmiotem wynalazku jest również zastosowanie betonu według pierwszej lub drugiej odmiany wynalazku, do wytwarzania elementów konstrukcyjnych o ulepszonej odporności ogniowej.

Korzystnie, beton zawiera krótkie i długie włókna organiczne i/lub metalowe.

Tak więc, nowy projekt szkieletu ziarnistego oraz jego związek z włóknami wzmacniającymi, rozwiązuje problem wynikający z kompromisu pomiędzy własnościami mechanicznymi i reologią.

Własności betonu według wynalazku nie są zasadniczo zmodyfikowane w przypadku, gdy w mieszance wykorzystane są elementy ziarniste, których średnica ziaren przekracza 2 mm, zaś zawartość nie przekracza 25% objętości cementu, elementów ziarnistych i elementów o działaniu pucolanicznym łącznie.

Powyższa zawartość elementów ziarnistych może być uważana za wypełniacz, który nie wpływa na parametry mechaniczne materiału tak długo jak:

- wielkość ziarna D50 elementów ziarnistych i elementów o działaniu pucolanicznym łącznie jest mniejsza niż 200 μm, korzystnie 150 μm, oraz

- współczynnik R pomiędzy średnią długością włókna L a wielkością ziarna D75 cementu, elementów ziarnistych i elementów o działaniu pucolanicznym łącznie wynosi przynajmniej 5, korzystnie przynajmniej 10.

Przez wielkość ziarna D75 i D50, należy rozumieć rozmiar sita przepuszczającego odpowiednio 75% i 50% wszystkich ziaren.

Warunki odnośnie D75 dotyczą wszystkich elementów stałych (cementu, elementów ziarnistych i elementów o działaniu pucolanicznym) łącznie, pomijając włókna, a nie dotyczą poszczególnych elementów rozpatrywanych indywidualnie.

Alternatywnie, część włókien organicznych jest zastąpiona włóknami metalowymi: uzyskuje się w ten sposób kompozyt „hybrydowy”, którego własności mechaniczne mogą być dostosowane w zależności od wymaganego zakresu pracy (część plastyczna i obróbki plastycznej na zimno/część poza szczytem).

Obecność włókien organicznych sprawia, iż możliwa jest modyfikacja zachowania betonu podczas pożaru tak jak to wcześniej zdefiniowano.

W rzeczywistości topliwa natura wspomnianych włókien sprawia, iż możliwe jest powstanie ścieżek, którymi para wodna lub woda pod ciśnieniem mogą się przedostawać pod wpływem zwiększonej temperatury.

Włókna wzmacniające wykorzystane zgodnie z wynalazkiem mogą być wybrane z wielu dostępnych na rynku włókien, które można zaliczyć do jednej z trzech następujących kategorii: nie reagujące włókna o wysokim module, nie reagujące włókna o niskim module, oraz włókna reagujące. Poniższe przykłady wykonania odnoszą się między innymi, do nie reagujących włókien PEHD, których moduł jest wyższy niż moduł mieszanki betonowej, nie reagujących włókien poliamidowych (PA), których moduł jest niższy niż moduł mieszanki betonowej, oraz włókien APV reagujących z mieszanką betonową.

„Hybrydowe” elementy wzmacniające mogą być utworzone przez połączenie włókien o różnym charakterze i/lub długościach. Poniższe przykłady wykonania w szczególności dotyczą krótkich włókien organicznych APV (6 mm) oraz długich włókien metalowych (13 mm) i pokazują iż uzyskano znaczący synergiczny efekt wzmacniający. Innymi przykładami podobnych połączeń są następujące:

- krótkie włókna APV lub PEHD (6 mm) i długie włókna APV (20 mm),
- krótkie linki stalowe (5 mm) i długie włókna APV (20 mm).

Włókna organiczne mogą przyjmować postać obiektu wykonanego w postaci jednożyłowej jak i wielożyłowej, średnica obiektu zawiera się w zakresie od 10 μm do 800 μm . Włókna organiczne mogą być także wykorzystywane w postaci struktury tkanej lub nie tkanej lub włókien hybrydowych (mieszanka włókien).

Pojedyncza długość włókien organicznych korzystnie zawiera się w zakresie od 5 mm do 40 mm.

Ilość włókien jest taka iż ich objętość jest mniejsza niż 8%, a korzystnie mniejsza niż 5% betonu po związaniu.

Próby pokazały iż nawet gdy ilość włókien obniżona do ilości 1% może być ciągle efektywna, uwzględniając skład mieszanki, jednakże ta wartość nie powinna być uważana za wartość graniczną.

W rzeczywistości użyteczne proporcje silnie zależą od geometrii włókien, ich składu chemicznego oraz ich wewnętrznych własności mechanicznych (modułu sprężystości podłużnej, progu płynięcia, wytrzymałości mechanicznej).

Wykorzystanie mieszanki włókien o różnych cechach pozwala na przystosowanie własności betonu w zależności od żądanych cech.

Wytrzymałość przylegania jest określana przez próbę ekstrakcji dla pojedynczego włókna osadzonego wewnątrz bloku betonowego, tak jak to opisano poniżej.

Poziom przylegania włókno/mieszanka może być regulowany z wykorzystaniem kilku sposobów, które można stosować indywidualnie lub równocześnie.

Przyleganie włókna w mieszance cementowej można osiągnąć przez wprowadzenie reakcji pomiędzy włóknom, a mieszanką cementową, która może być wzmocniona obróbką cieplną, której poddany jest beton (utwardzanie) lub przez obróbkę powierzchni włókna.

Zgodnie z drugim sposobem, przyleganie włókna w mieszance cementowej można uzyskać przez włączenie do składu przynajmniej jednego z następujących elementów: składnika krzemionkowego zawierającego zasadniczo dwutlenek krzemu, osadu węgla wapniowego, roztworu wodnego alkoholu poliwinylowego, fosforanu, lateksu, środka powierzchniowo czynnego (środka przeciwpieniącego, środka zwilżającego lub tym podobnych) lub mieszanki tych składników.

Składniki krzemionkowe zawierające zasadniczo dwutlenek krzemu, oznaczają produkty syntezy wybrane z pośród wytrąconej krzemionki, roztworu koloidalnego krzemionki, krzemionki pirogeniczne (typu aerozolowego); krzemogliniany, na przykład Tixosil 28 sprzedawany przez PHODIA Chimie, lub produkty uzyskiwane na drodze wytrawiania naturalnych produktów typu glina: smektyt, krzemian magnezu, sepiolit, montmorylonit.

Przez wytrąconą krzemionkę należy rozumieć krzemionkę uzyskaną przez wytrącenie z reakcji krzemionki metalu alkalicznego z kwasem, zwykle nieorganicznym, przy odpowiednim pH ośrodka wytrącającego, praktycznie o pH bazowym, neutralnym lub lekko kwasowym.

Zwykle ilość wykorzystanej wytrąconej krzemionki zawiera się w przedziale pomiędzy 0,1% do 5% masy suchej w stosunku do całkowitej mieszanki betonu. Powyżej 5% obserwuje się zwykle podczas przygotowywania betonu, problemy reologiczne.

Wytrącona krzemionka jest korzystnie wprowadzana do mieszanki w postaci zawiesiny wodnej. W szczególności może być to krzemionkowa zawiesina wodna posiadająca:

- zawartość substancji suchej w zakresie 10% do 40% masy,

- lepkość poniżej $4 \cdot 10^{-2} \text{Pa}$ przy ścinaniu 50s^{-1} ,

- ilość krzemionki zawartej w cieczy nad osadem wspomnianej zawiesiny przy 7500 obrotów na minutę po 30 minutach wyższa niż 50% masy krzemionki zawartej w zawieszynie.

Zawiesina taka jest szczegółowo opisana w zgłoszeniu patentowym WO-A-96/01787, zawiesina krzemionkowa Rhoimat 60 SL sprzedawana przez RHODIA Chimie jest szczególnie odpowiednia dla tego typu betonu.

Mieszanka betonowa zawiera także składniki zdolne do poprawienia przyczepności mieszanki. Przyczepność mieszanki wynosi przynajmniej 15J/m^2 , korzystnie przynajmniej 20J/m^2 .

Przez określenie „mieszanka cementowa” należy rozumieć utwardzoną kompozycję cementową nie zawierającą włókien.

Elementy ziarniste są zwykle drobnymi ziarnami piasku lub mieszankami różnych gatunków drobno ziarnistych piasków, czy to przesianych czy też kruszonych, które korzystnie zawierają ziarna krzemionki, szczególnie mączkę kwarcową.

Maksymalna wielkość D tych elementów wynosi korzystnie 1 mm lub co najwyżej 500 μm .

Elementy ziarniste stanowią zasadniczo od 20% do 60% masy mieszanki cementowej, korzystnie 25% do 50% masy wspomnianej mieszanki.

Współczynnik R średniej długości L włókien do maksymalnej wielkości ziarna D elementów ziarnistych, wynosi przynajmniej 5, szczególnie gdy elementy ziarniste posiadają maksymalną wielkość ziarna 1 mm.

Cement wykorzystywany w kompozycji według prezentowanego wynalazku jest cementem Portlandzkim takim jak cementy Portland CPA PMES, HP, HPR, CEM I PMES, 52.5 lub 52.3R lub HTS (o dużej zawartości krzemionki).

Elementy drobne o oddziaływaniu pucolanicznym posiadają elementarną wielkość cząstki wynoszącą przynajmniej 0,1 μm , co najwyżej 20 μm , korzystnie co najwyżej 0,5 μm mogą zostać wybrane spośród krzemionek takich jak lotne popioły, żużel wielkopiecowy, pochodne gliny takie jak glinka biała. Krzemionką może być dymna pochodząca z zakładów wytopu cynku, zamiast krzemionki dymnej pochodzącej z zakładów przerobu krzemu.

Zawartość wody/cementu w kompozycji mieszanki według wynalazku, wyrażona w procentach wagowych, może się zmieniać w przypadku wykorzystania zamienników cementu, w szczególności elementów o oddziaływaniu pucolanicznym. Zawartość wody jest określona przez współczynnik wagowy ilości wody E do skumulowanego ciężaru cementu i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym: waha się on pomiędzy 8%, a 25% lub pomiędzy 13% i 25%.

Kompozycja według wynalazku zawiera także czynnik dyspergujący. Czynnik dyspergujący jest zasadniczo czynnikiem fluidyzującym. Czynnik fluidyzujący może być wybrany z grupy zawierającej lingosulfoniany, kazeinę, polinaftaleny, w szczególności polinaftalenosulfaminy metali alkalicznych, pochodne formaldehydów, poliakrylany metali alkalicznych, poliwęglany metali alkalicznych, politenki z przeszczepionymi grupami etylenowymi. Ogólnie kompozycja według wynalazku zawiera pomiędzy 0,5 do 2,5 części masy czynnika fluidyzującego na 100 części masy cementu.

Do kompozycji według prezentowanego wynalazku możliwe jest dodanie innych domieszek, na przykład, czynnika przeciwpieniącego. Przykłady wykonania mogą zawierać jako czynnik przeciwpieniący polidwumetylosiloksan.

Pomiędzy tymi typami czynników warto wspomnieć w szczególności o silikonach w postaci roztworu, w postaci stałej i korzystnie w postaci żywicy, oleju lub emulsji, korzystnie wodnej. Szczególnie korzystne są silikony zasadniczo zawierające wzory M ($\text{RSiO}_{0,5}$) i D(R_2SiO). W tych wzorach R rodniki, identyczne lub inne, są szczególnie wybierane z pośród grup wodorowych i akrylowych zawierający 1 do 8 atomów węgla, korzystna jest grupa metylowa. Liczba wzorów korzystnie zawiera się w zakresie od 30 do 120.

Zawartość takiego czynnika w składzie kompozycji wynosi zasadniczo co najwyżej 5 części masy na 100 części cementu.

Wszystkie wielkości cząstek zostały zmierzone z wykorzystaniem MET (mikroskopu elektronowego transmisyjnego) lub MEB (mikroskopu elektronowego skaningowego).

Beton jest przygotowywany z wykorzystaniem sposobów stanu techniki znanych osobom o stosownym wykształceniu, obejmujących między innymi mieszanie cząstek stałych oraz wody, kształtowanie (formowanie, odlewanie, wtryskiwanie, pompowanie, wytłaczanie, gładzenie), a następnie utwardzanie.

Otrzymany beton może być poddawany utwardzaniu w okresie czasu wymaganym do uzyskania żądanych własności mechanicznych, w temperaturze otoczenia sięgającej 100°C, korzystnie utwardzaniu w temperaturze z zakresu od 60°C do 100°C. Czas utwardzania może zawierać się w zakresie od 6 godzin do 4 dni, przy czym optymalny czas to 2 dni, utwardzanie rozpoczyna się po zakończeniu wiązania mieszanki i przynajmniej jeden dzień po tym jak wiązanie się rozpoczęło.

Utwardzanie jest realizowane w stanie suchym lub wilgotnym lub w z wykorzystaniem cykli naprzemiennie występujących obu tych środowisk na przykład, 24 godzinne utwardzanie w środowisku wilgotnym, po którym następuje 24 godzinne utwardzanie w środowisku suchym.

Utwardzanie jest realizowane w odniesieniu do mieszanek betonowych, które zakończyły wiązanie korzystnie co najmniej jeden dzień wcześniej, a w bardziej korzystnie mających przynajmniej około 7 dni.

Dodanie proszku kwarcowego jest szczególnie użyteczne gdy beton jest utwardzany w wysokiej temperaturze.

Otrzymane mieszanki betonowe według wynalazku zwykle cechuje wytrzymałość na bezpośrednie rozciąganie R_t wynosząca przynajmniej 6 MPa, oraz zachowanie przejawiające pewną plastyczność.

Cechuje je także 4 punktowa wytrzymałość na zginanie R_f wynosząca przynajmniej 20 MPa, wytrzymałość na ściskanie R_c wynosząca przynajmniej 140 MPa, oraz energia pęknięcia W_f wynosząca przynajmniej 2000 J/m².

Wytrzymałość na rozciąganie mieszanki cementowej uzyskuje się w szczególności przez dodanie do kompozycji czynnika wzmacniającego o anizotropicznym kształcie oraz średniej wielkości 1 mm, korzystnie co najwyżej 500 μm .

Ogólnie czynnik wzmacniający kompozycji według wynalazku posiadają kształt igieł lub płytek.

Przez „wielkość” mikro-wzmocnień, należy rozumieć przeciętną wielkość ich najdłuższego wymiaru (w szczególności, długość kształtu igły).

Czynnikami tymi mogą być czynniki naturalne lub syntetyczne.

W kompozycji betonu według wynalazku możliwe jest wykorzystanie mieszanki różnych postaci lub rodzajów czynników mikro-wzmacniających.

Czynniki wzmacniające mogą zawierać na swojej powierzchni organiczną powłokę polimerową, której grubość może się zmieniać od 0,01 μm do 10 μm , korzystnie od 0,1 μm do 1 μm .

Lateksy mogą być wybrane spośród lateksów styreno-butadienowych, lateksów akrylowych, lateksów styreno-akrylowych, lateksów metakrylowych, lateksów karboksylowanych i fosforowanych. Lateksy posiadające funkcję kompleksowania wapni są korzystne.

Powłoka z polimeru organicznego może być utworzona przez obróbkę w łożu fluidalnym lub z wykorzystaniem mieszadła typu FORBERG w którym umieszczone są czynniki wzmacniające w obecności jednego ze zdefiniowanych wyżej środków.

Korzystne składniki zawierają H240 poliorganosiloksan, Rhodorsil 878,865 i 1830PX żywice siloksanowe, 403/60/WS i WB LS 14 Manalox, wszystkie wytwarzane przez RHODIA Chimie, krzemiany potasu.

Taka obróbka jest w szczególności zalecana w przypadku czynników wzmacniających będących produktami naturalnymi.

Beton może być zarówno betonem strunowym wraz z przewodem przylegającym lub żyłą przylegającą, lub betonem strunowym wraz z nasmarowaną osłoną pojedynczego przewodu lub kabla lub pręta w osłonie, kabel jest wykonany z zestawu przewodów lub żył.

Sprężenie czy to w postaci rozciągnięcia wstępnego lub rozciągnięcia kończącego, szczególnie dobrze pasuje do produktów betonowych według wynalazku.

Metalowe sprężone kable zawsze posiadają bardzo dużą wytrzymałość na naprężenia rozciągające, niewłaściwie użyte, w odniesieniu do kruchości mieszanki, w której się znajdują nie pozwalają na optymalizację wymiarów betonowych elementów strukturalnych.

Ulepszeniem było już wykorzystanie wysokowydajnych mieszanek betonowych; w przypadku betonu według wynalazku, materiał jest jednorodnie wzmocniony przy wykorzystaniu włókien organicznych i hybrydowych, co pozwala na osiągnięcie wysokich parametrów mechanicznych, równocześnie z wprowadzeniem pewnej plastyczności. Sprężenie tego materiału przez wykorzystaniem kabli lub żył, nie zależnie od ich typu jest następnie wykorzystywane całkowicie, tak więc tworząc bardzo wytrzymałe na rozciąganie i elastyczne elementy z betonu sprężonego, a przez to zoptymalizowane.

Zmniejszenie objętości będące wynikiem zwiększenia mechanicznych wytrzymałości prowadzi do wytworzenia bardzo lekkich elementów prefabrykowanych. W rezultacie powstaje możliwość wykonania elementów betonowych o dużej rozpiętości, łatwo przenoszonych dzięki niskiej wadze, co jest szczególnie korzystne w przypadku dużych konstrukcji, w których beton strunowy jest szeroko stosowany. Rozwiązanie według wynalazku pozwala między innymi uzyskać szczególnie korzystne oszczędności czasu montażu.

Co więcej, obróbka cieplna w sposób znaczący obniża powrót do poprzednich rozmiarów po obróbce utwardzeniu, ograniczając w ten sposób straty sprężenia występujące w czasie.

Cecha ta jest szczególnie pożądana, zaś wszystkie wspomniane wyżej zalety w połączeniu z bardzo niską przenikalnością produktu, co ma korzystny wpływ na trwałość i wymagania dotyczące konserwacji w miarę upływu czasu, sprawiają, iż beton według wynalazku może z korzyścią zastąpić konstrukcje stalowe.

Poniższe przykłady ilustrują wynalazek, nie ograniczając jednak jego zakresu.

Przykładowe przygotowywanie mieszanki.

1) Surowce

- cement Portlandzki: o wysokiej zawartości krzemionki, typu HTS (LAFARGE Francja)
- piasek: BE31 piasek kwarcowy (SIFRACO, Francja)
- mączka kwarcowa: gatunek C400, 50% ziaren mniejszych niż 10 μm (SIFRACO, Francja)
- krzemionka dymna: szkło mikro-kwarcowe uzyskiwane podczas produkcji cyrkonu (SEPR, Francja)

- adiuwant: - X404 (MAPEI, Włochy) lub OPTIMA 100 (CHRYSO, Francja) ciekły środek nadplastyczny

- włókna: włóknami organicznymi są APV (KURARAY RM182, RF 1500 oraz RF 4000, UNITIKA 1800), PEHD (DSM - Dyneema) lub włókna PA (FLITEC PAC 50). Mają one postać pojedynczych włókien o średnicy z zakresu od 50 μm do 600 μm , o długości od 5 do 32 mm. Dawkowanie zawiera się w przedziale od 1% do 5% objętości (w odniesieniu do całkowitej objętości mieszanki)

- czynnik wzmacniający w kształcie igieł: wolastonit (CaSiO_3) klasy NYAD G (NYCO USA)
- czynnik wzmacniający w postaci płytek: mika (muskowit) klasy MG 160 (KAOLINS D'ARVOR, Francja)

Francja)

2) Sposób przyrządzania

Składniki są mieszane w następującej kolejności:

- mieszanie składników pyłowych mieszanki oraz składników dodatkowych,
- wprowadzanie wody i części adiuwantów,
- mieszanie
- dodawanie pozostałej części czynników fluidyzujących,
- mieszanie
- wprowadzanie włókien wzmacniających
- mieszanie

Czas trwania mieszania jest silnie uzależniony od typu wykorzystanej mieszarki (EIRICH lub HOBART).

Odgazowanie może zostać przeprowadzone znacznie łatwiej przy zredukowanej prędkości na końcu procesu.

Formy są następnie wypełniane i poddane drganiom zgodnie ze znanymi sposobami.

1) Utwardzanie

- Dojrzewanie w temperaturze 20°C. Próbkę są wyjmowane z formy po 48 godzinach od odlania.

Są następnie poddawane obróbce obejmującej przechowywanie ich pod wodą w temperaturze około 20°C przez przynajmniej 14 dni. Próbkę są następnie obrabiane (w zależności od próby, której mają zostać poddane) 26 do 28 dni po odlaniu, próba jest przeprowadzona w kolejnych dniach.

- Obróbka termiczna w temperaturze 9°C próbkę są wyjmowane z formy po 48 godzinach od odlania. Są następnie poddane obróbce termicznej obejmującej przechowywanie ich w piecu w temperaturze 90°C przez 24 godziny w wilgotnym powietrzu (>90°C RH), po czym przez 24 godziny w suchym powietrzu. Obróbka jest przeprowadzana 6 dni po odlaniu, a próba jest przeprowadzana w ciągu kolejnych dni (minimum 7 dni od chwili odlania).

Sposoby pomiarowe

Zachowanie podczas bezpośredniego naprężenia rozciągającego: R_t .

Jest to wartość uzyskana podczas wytwarzania bezpośredniego naprężenia rozciągającego w próbce w kształcie wiosełka wykonanego z graniastostłupa o wymiarach 70 x 70 x 280 mm tak, iż uzyskuje się użyteczny przekrój poprzeczny 70 x 50 mm² na 50 mm wysokości. Próbkę, dokładnie ułożoną jest sztywno mocowana w zespole testującym (UTS) przy zachowaniu jednego stopnia swobody (bez połączenia z kolankiem przegubu typu uniwersalnego).

$$R_t = \frac{F_{max}}{70 \times 50}$$

gdzie F_{max} reprezentuje maksymalną wytrzymałość w N (szczyt) dla zniszczenia występującego w sekcji centralnej 70 x 50.

Współczynnik plastyczności: δ

Współczynnik plastyczności δ jest zdefiniowany jako relacja:

$$d \frac{e_A \cdot S_B}{e_B \cdot S_A} \quad \text{jeśli } S_A \geq S_B$$

gdzie ε_A jest odkształceniem dla wartości szczytowej, oraz

$$e_{el} = e_B \cdot \frac{S_A}{S_B}$$

jest odkształceniem które zostało by osiągnięte przy obciążeniu szczytowym przez elastyczną ekstrapolację obciążenia uzyskanego podczas naprężenia roboczego.

Zachowanie podczas zginania: R_f

i) zginanie 4 punktowe

R_f jest wartością uzyskaną podczas 4 punktowego zginania (odległość pomiędzy osiami: 70 x 210) dla próbki będącej graniastosłupem o wymiarach 70 x 70 x 280 zamocowanej na podporach kolankowych.

$$R_f = \frac{3F_{max}(l - l')}{2dw^2}$$

gdzie F_{max} reprezentuje maksymalną wytrzymałość w N (wytrzymałość w szczycie), $l=210$ mm, $l'=l/3$, a $d=w=70$ mm.

ii) zginanie punktowe

Wartość uzyskana podczas zginania 3 punktowego R_f (odległość pomiędzy osiami: 200) jest uzyskana dla próbki będącej graniastosłupem 40 x 40 x 250 zamocowanej na podporach kolankowych.

$$R_f = \frac{3F_{mw}l}{2dw^2}$$

gdzie F_{max} reprezentuje mechaniczną wytrzymałość w N (wytrzymałość w szczycie), $l=200$ mm, a $d=w=40$ mm.

Zachowanie podczas ściskania: R_c

R_c jest wartością otrzymaną podczas bezpośredniego ściskania prostej próbki cylindrycznej (średnica 70 mm/wysokość 140 mm).

$$R_c = \frac{4F}{\rho d^2}$$

gdzie F reprezentuje wytrzymałość na rozerwanie w N, a d jest średnicą próbki (70 mm).

Wytrzymałość na rozciąganie: K_c , G_c

Wytrzymałość na rozciąganie jest wyrażona zarówno w postaci naprężenia (współczynnik krytycznej intensywności naprężeń: K_c) lub w postaci energii (współczynnik energii krytycznej: G_c), wykorzystując formalizm mechaniki liniowej.

Próby są przeprowadzane dla 3 punktowego zginania karbowanego graniastosłupa o wymiarach 40 x 40 x 250 lub 70 x 70 x 280, to jest próbek o geometrii SENB (Sposób ASTM-E 399-83). Karb w kształcie litery V jest wykonany na sucho w graniastosłupie, wykorzystując frezarkę wyposażoną w diamentowy dysk. Względna głębokość a/w karbu wynosi 0,4 (a : głębokość karbu, w : wysokość próbki).

Współczynnik krytycznej intensywności naprężeń Kc jest otrzymywany na podstawie wartości obciążenia niszczącego F oraz długości pęknięcia w punkcie niestabilności (próba z wykorzystaniem serwo-ruchów, przy prędkości 10-2 mm/s realizowana na uniwersalnej maszynie badającej SCHENCK:

$$Kc = \frac{3FI}{2dw^2} \sqrt{aY}$$

gdzie:

I reprezentuje odległość pomiędzy osiami pomiędzy punktami podtrzymującymi (ławeczka zginająca):=210 mm,

d i w są odpowiednio głębokością i wysokością próbki,

a jest długością karbu podczas rozerwania,

Y jest parametrem kształtu uzależnionym od długości pęknięcia ($\alpha=a/w$). Podczas 3 punktowego zginania, parametr Y J.E SRAWLEY (International J. of Fracture (1976), tom 12, strony 475-476) korzystnie wynosi:

$$Y = \frac{1,99 - a(1-a)(2,15 - 3,93a + 2,7a^2)}{(1+2a)(1-a)^{3/2}}$$

Gc można uzyskać na podstawie przesunięcia krzywych wytrzymałości do warunków przy których udziały wynikające z zakłóceń odkształceń są usunięte, a rozproszona energia jest przenoszona do części wiązadła: $(w-a)xd$.

Dla przypadku odkształcenia powierzchniowego, istnieje prosta zależność pomiędzy Kc i Gc :

$$Gc = \frac{Kc^2(I-n^2)}{E}$$

gdzie:

E jest modułem sprężystości podłużnej,

V reprezentuje współczynnik Poisson'a

E jest uzyskiwana na drodze doświadczalnej przez wprawienie w drgania próbki w kształcie graniastosłupa, zamocowanej na dwóch elementach podtrzymujących na podstawie określenia częstotliwości podstawowych (sposób GRINDO-SONIC).

Energia pęknięcia: Wf

Wf jest wartością otrzymaną przez określenie całkowitego pola powierzchni pod krzywą siła-ugięcie, podczas próby zginania 4 punktowego, przeprowadzanej na próbce w formie graniastosłupa o wymiarach 70 x 70 x 280. Zmierzone ugięcie jest poprawiane w celu określenia rzeczywistego przesunięcia próbki.

$$Wf = \frac{\int Fdc}{dw}$$

gdzie F jest siłą przyłożoną, δc jest rzeczywistym przesunięciem (poprawione ugięcie), dxw jest przekrojem próbki.

Przyczepność

Oдноśnie przyczepności organicznych włókien wewnątrz mieszanki cementowej, wytrzymałość przylegania jest określana na podstawie próby wyciągania dla pojedynczego włókna osadzonego w bloku betonowym.

Przewody są osadzone w blokach betonowych o wymiarach 4 x 4 x 4 cm. Wykorzystana kompozycja jest taka sama jak ta wykorzystana do zbudowania próbki w próbach mechanicznych (zginania, ściskania i rozciągania): współczynnik woda/cement wynosi 0,25.

Osadzone przewody mają długość 10 mm i są wyciągane z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny testującej (SCHENCK) z prędkością 0,1 mm/min.

Wytworzone naprężenie jest mierzone przez odpowiednio dostosowany czujnik siły oraz przesunięcie przewodu (względem próbki) przy wykorzystaniu czujnika tensometrycznego.

Średnia wytrzymałość przylegania jest określana na podstawie następującego uproszczonego wyrażenia:

$$t_d = \frac{F_{max}}{p f I_c}$$

gdzie F_{max} jest maksymalną zmierzoną siłą, ϕ średnicą przewodu, a I_c długością osadzenia.

Mieszanki betonu zawierające włókna są produkowane z wykorzystaniem włókien zdefiniowanych w poniższych tabelach II do VI, kompozycje tych mieszanek betonowych są zdefiniowane w tabelach II do VI. Kompozycje mieszanek bazują na proporcjach masy.

Parametry wspomnianych mieszanek betonowych są przedstawione w niżej przedstawionych tabelach II do V, jak również na fig. 2 do 14.

Na figurach przedstawiono:

Figura 2 jest wykresem uzyskanym podczas próby 4 punktowego zginania, na osi rzędnych znajdują się wartości naprężenia (MPa), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,2$, i dojrzewaniu w temperaturze 20°C (28 dni): porównanie włókien stalowych (linka stalowa), i włókien organicznych (APV).

Figura 3 jest wykresem uzyskanym podczas próby 4 punktowego zginania, na osi rzędnych znajdują się wartości naprężenia (MPa), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,2$, i dojrzewaniu w temperaturze 90°C: porównanie włókien stalowych (linka stalowa), i włókien organicznych (APV).

Figura 4 przedstawia wykres uzyskany podczas próby bezpośredniego naprężenia rozciągającego, na osi rzędnych znajdują się wartości naprężenia (MPa), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,2$, i dojrzewaniu w temperaturze 20°C (28 dni): włókna organiczne (APV).

Figura 5 przedstawia wykres uzyskany podczas próby bezpośredniego naprężenia rozciągającego, na osi rzędnych znajdują się wartości naprężenia (MPa), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,2$, i obróbce termicznej w 90°C: włókna organiczne (APV).

Figura 6 przedstawia wykres uzyskany podczas próby bezpośredniego naprężenia rozciągającego, na osi rzędnych znajdują się wartości naprężenia (MPa), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu zawierających wolastonit o współczynniku $E/O=0,24$, i dojrzewaniu w temperaturze 20°C (28 dni): włókna organiczne (APV).

Kryterium plastyczności δ zmienia się od 3 do 5.

Figura 7 jest wykresem otrzymanym na podstawie próby zginania 3 punktowego, gdzie na osi rzędnych znajdują się wartości siły (N), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,25$, i obróbce termicznej w 90°C: włókna APV RF 1500.

Figura 8 jest wykresem otrzymanym na podstawie próby zginania 3 punktowego, gdzie na osi rzędnych znajdują się wartości siły (N), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,25$, i obróbce termicznej w 90°C: włókna APV RF 1500 o różnej długości (10 mm do 30 mm).

Figura 9 jest wykresem otrzymanym na podstawie próby zginania 3 punktowego, gdzie na osi rzędnych znajdują się wartości siły (N), a na osi odciętych wartości ugięcia (mm) dla próbek betonu o współczynniku $E/O=0,25$, i obróbce termicznej w 90°C: włókna PEHD.

Figura 10 jest wykresem otrzymanym na podstawie próby zginania 3 punktowego, pokazującym efekt zastosowania mieszanki włókien organicznych APV (2% objętości RF 1500, 2% objętości RF 4000) w mieszance betonowej o współczynniku $E/O=0,25$, i obróbce termicznej w 90°C trwającej 48 godzin.

Figura 11 jest wykresem reprezentującym krzywe naprężenie/ugięcie uzyskanymi podczas badania ugięcia trójpunktowego z zastosowaniem kompozycji 18 i 19 z zastosowaniem włókien PEHD przedstawionych w tabeli V.

Figura 12 jest wykresem podobnym do tego z fig. 11 uzyskanym dla kompozycji 20 i 21 wraz z włóknami PA z tabeli V.

Figura 13 jest wykresem podobnym do tego z fig. 11 i fig. 12 uzyskanym dla kompozycji 22, 23 i 24 wraz z włóknami APV i 25 z hybrydowym rozwiązaniem APV/stal z tabeli V.

Figura 14 jest wykresem podobnym do tego przedstawionego na fig. 11 do 13 porównującym zachowanie się włókien różnych typów według kompozycji 18 (PEHD), 20 (PA) i 23 (APV) z tabeli V.

Figura 15 jest wykresem przedstawiającym wyniki uzyskane w próbie wyciągania pojedynczego włókna, dla różnego rodzaju włókien, gdzie na osi rzędnych umieszczona jest przyłożona siła, a na osi odciętych przesunięcie, z zastosowaniem mieszanki o kompozycji pokazanej w tabeli VI.

Wyniki uzyskane podczas próby 3 punktowego zginania w przykładach 18 do 25 odpowiadają próbom zrealizowanym z wykorzystaniem 120 mm odległości pomiędzy osiami na próbce badawczej w kształcie graniastosłupa o wymiarach 40 x 40 x 160 mm.

Efekt wzmocnienia powstający dzięki włóknom umieszczonym wewnątrz mieszanki betonowej jest jasno widoczny podczas prób (4 punktowego) zginania: fig. 2 i 3. Włókna z polialkoholu winylu (APV) stanowiącymi 4% objętości prowadzą do zachowania podobnego do tego otrzymanego przy wprowadzeniu linki stalowej (stanowiącej 2% objętości). Obróbka cieplna (90°C) pozwala na rozwinięcie reaktywności pomiędzy włóknami APV, a mieszanką betonową; a więc obserwuje się wysoką wartość szczytową podczas próby zginania (4 punktowego).

Przy bezpośrednim naprężeniu rozciągającym (fig. 4 i 5) obserwuje się ważne zjawisko obróbki plastycznej na zimno (plastyczności) przy obecności 4% objętości włókien polialkoholu winylu (APV): obserwuje się zjawisko wielopęknięcia próbek poddanych naprężeniu rozciągającemu. To zjawisko nie jest obserwowane w przypadku linek stalowych z uwagi na ich dużą sztywność i przeciętne przyleganie takich włókien do mieszanki betonowej. Wartość szczytowa jest zasadniczo poprawiona w przypadku obróbki termicznej 90°C.

Podobne zachowania są obserwowane w przypadku włókien APV umieszczonych w mieszance zawierającej wolastonit (fig. 6), przy wzroście naprężenia powodującego pierwsze zniszczenia.

Podczas obecności włókien organicznych mieszanki betonowe przetestowane na zginanie 3 punktowe pokazują wysoką plastyczność: wysoka zmiany plastyczne na zimno aż do wartości szczytowej naprężenia, energia rozproszenia poza wartością szczytową. Obserwuje się zarówno to zarówno dla włókien APV polialkoholu winylowego (fig. 7) oraz włókien PEHD ploetylenowych o dużej gęstości (fig. 9).

Długość włókna musi być optymalizowana: kompromis pomiędzy reologią a własnościami mechanicznymi. Na przykład, włókna APV posiadają średnicę około 400 µm, zaobserwowano podczas próby zginania 3 punktowego, że występuje przejście dotyczące długości włókien w kierunku długości włókna wynoszącej 18 mm (fig. 8). Co daje współczynnik wydłużenia rzędu 50.

Zalety zastosowania mieszanki włókien są przedstawione na fig. 10. Zaobserwowano iż z jednej strony włókna APV o przeciętnej wymiarach (KURARAY 1500: 4% objętości) prowadzą do poprawy wytrzymałości na zginanie (naprężenia szczytowego) betonu: z drugiej strony, większe wymiary włókien APV (KURARAY 4000: 4% objętości) wprowadzają ważne rozpraszanie energii podczas zginania (część poza szczytem), ale ze szkodą dla wytrzymałości (naprężenie szczytowe). Połączenie dwóch rodzajów włókien zaskakująco pozwala na uzyskanie wzmocnionego betonu posiadającego (na przykład podczas zginania) zarówno poprawioną wytrzymałość (naprężenie szczytowe) oraz rozpraszanie energii (plastyczność):(fig. 10).

Efekty mające takie zadanie mogą zostać rozwinięte przez wprowadzenie wzmocnienia hybrydowego: połączenie włókien organicznych i włókien metalowych.

Wynalazek nie jest ograniczony do opisanych przykładów wykonania.

Obejmuje także mieszanki betonowe, które oprócz zastrzeżonych kompozycji lub odpowiedników kompozycji, zawierałyby dodatkowe składniki, które nie uniemożliwiają zastrzeżonym kompozycjom lub odpowiednikom kompozycji, wprowadzenie oczekiwanych efektów, oraz przedmieszek zawierających wszystkie lub część składników niezbędnych do przygotowania mieszanki betonowej.

Tabela I
Cechy badanych włókien organicznych

	Gęstość	Moduł E (Gpa)	Wytrzymałość mechaniczna (MPa)	Wydłużenie niszczące (%)	Średnica (μm)	Długość (mm)	Punkt topnienia (°C)
APV RM182 RF350 RF1500 RF4000	1,3	20-30	800-1200	7-10	15 200 400 600	6 12 20/30 30	220
PEHD	0,97	90	2700	3-5	50 50 50	5 10 18	150
PA	1,12	2-5	500-900	20-30	500 500	20 30	260
Stal	7,6	210	2900		200	13	1550

Tabela II
Określenie zachowania mechanicznego mieszanek betonowych zawierających włókna:
porównanie włókien APV i włókien stalowych

Przykład numer	1	2	3	4	5	6	7	8
Cement Portlandzki	1	1	1	1	1	1	1	1
Piasek	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430	1,29	1,29
Mączka kwarcowa	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Krzemionka dymna	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Domieszka uszlachetniająca (suchy ekstrakt)	0,012	0,012	0,102	0,012	0,012	0,012	0,015	0,015
Woda	0,200	0,200	0,24	0,24	0,20	0,20	0,24	0,24
Włókna: typ	brak	brak	Stal	Stal	APV	APV	APV	APV
Włókna: % objętości			2%	2%	4%	4%	4%	4%
Wolastonit	0	0	0	0	0	0	10	10
Mika	0	0	0	0	0	0	0	0
Dojrzewanie lub obróbka termiczna (T w °C)	20	90	20	90	20	90	20	90

ciąg dalszy tabeli II

Wytrzymałość na zginanie 4 punktowe	16,6	16,5	18,5	21,3	23	27,5	22	27
Wytrzymałość na rozciąganie (MPa)	7,1	6,75	7,75	10,75	9	8,5	9,25	9,45
Wytrzymałość na rozciąganie Gc (J/m ²)	9,2	10	10	10,5	9,75	10,25	20	22
Wytrzymałość na ściskanie	190	198	155	182,5	138	147,5	143	147
Energia rozproszona Wf (J/m ²)	12	15	>5000	>5000	>5000	>5000	>5000	>5000

Typ włókna: APV = polialkohol winylowy

T a b e l a III

Określenie zachowania mechanicznego określonego dla różnych rodzajów zastosowanych włókien

Przykład numer	9	10	11	12	13
Cement Portlandzki	1	1	1	1	1
Piasek	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
Mączka kwarcowa	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Krzemionka dymna	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Domieszka uszlachetniająca (suchy ekstrakt)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Woda	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Włókna: typ	APV 1500	APV 4000	APV 1800	PEHD	PAN
Włókna: % objętości	4	4		1	1,5
Dojrzewanie lub obróbka termiczna (T w °C)	90	90	90	90	90
Wytrzymałość na zginanie 3 punktowe	35	27	25	22,5	20
Wytrzymałość na rozciąganie Gc (J/m ²)	10	10	11,25	11	10
Wytrzymałość na ściskanie	142	145		152,5	145

Włókna typu APV = KURARAY (1500, 4000), UNITIKA (1800) polialkohol winylowy

PEHD = polietylen o dużej gęstości

PAN = poliakrylonitryl

Tabela IV
Włókna APV (1500): wpływ długości włókien

Przykład numer	14	15	16	17
Cement Portlandzki	1	1	1	1
Piasek	1,430	1,430	1,430	1,430
Mączka kwarcowa	0,300	0,300	0,300	0,300
Krzemionka dymna	0,325	0,325	0,325	0,325
Mieszanka uszlachetniająca (suchy ekstrakt)	0,01	0,01	0,01	0,01
Woda	0,25	0,25	0,25	0,25
Włókna: długość (mm)	30	18	12	6
Włókna: % objętości	4	4	4	4
Dojrzewanie lub obróbka termiczna (T w °C)	90	90	90	90
Wytrzymałość na zginanie 3 punktowe	35	30	16,5	12
Wytrzymałość ściskanie (Mpa)	145	152	132,5	135
Typ zniszczenia	plastyczny	plastyczny	Brak plastyczności na zimno	Pół-lamiwe

Tabela V

Przykład numer	18	19	20	21	22	23	24	25
Cement Portlandzki	1	1	1	1	1	1	1	1
Krzemionka dymna	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Mączka kwarcowa	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Piasek	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,2	1,43
Wolastonit	-	-	-	-	-	-	0,24	-
Domieszka uszlachetniająca (suchy ekstrakt)	0,018	0,018	0,018	0,018	0,019	0,017	0,018	0,018
Woda (E/C)	0,25	0,25	0,22	0,22	0,19	0,21	0,21	0,25

ciąg dalszy tabeli V

Włókna: typ	PEHD	PEHD	PA	PA	APV	APV	APV	APV	Stal
Włókna: długość (mm)	5	10	20	30	12	20	20	6	13
Włókna: średnica (mm)	0,05	0,05	0,5	0,5	0,2	0,4	0,4	0,015	0,2
Włókna: % objętości	1,5	1	5	5	4	4	4	1	2
Obróbka cieplna (T w °C)	90	90	90	90	90	90	90	90	
Wytrzymałość na zginanie 3 punktowe 40x40x160 mm	26,5	24,6	20,4	21,3	20,5	24,9	27,9	44,0	
Wytrzymałość na ściskanie MPa	121	185	122	139	150	137	140	178	

T a b e l a VI

Kompozycja mieszanki wykorzystywanej w testach na wyciąganie

Cement portlandzki	1
Piasek	1,43
Mączka kwarcowa	0,3
Krzemionka dymna	0,325
Domieszka uszlachetniająca (suchy ekstrakt)	0,018
E/C	0,25
Dojrzewanie lub obróbka termiczna (T w °C)	90

Zastrzeżenia patentowe

1. Beton zawierający utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi, uzyskany przez wymieszanie z wodą kompozycji zawierającej oprócz włókien organicznych cement, elementy ziarniste, drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym, przynajmniej jeden środek dyspergujący, **znamienny tym**, że elementy ziarniste stanowią od 20% do 60% wagowych mieszanki cementowej i mają maksymalną wielkość ziaren D wynoszącą co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, przy czym drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają podstawową wielkość cząstki co najwyżej 20 μm , korzystnie co najwyżej 1 μm , ponadto tym, że wagowy procent wody w skumulowanej masie cementu i drobnych elementów o oddziaływaniu pucolanicznym zawiera się w zakresie od 8% do 25%, natomiast włókna organiczne są wybrane spośród włókien polialkoholu winylowego, włókien poliakrylonitrylowych, włókien polietylenowych, włókien polietylenowych dużej gęstości, włókien poliamidowych lub poliimidowych, włókien polipropylenowych (homo – lub kopolimerów), włókien wykonanych z poliamidów aromatycznych i włókien węglowych, ewentualnie ich mieszanek, ponadto poszczególne włókna organiczne mają długość l wynoszącą przynajmniej 2 mm, a współczynnik l/ϕ wynosi przynajmniej 20, gdzie ϕ jest średnicą włókna, oraz tym, że ilość włókien jest taka, iż ich objętość stanowi od 1% do najwyżej 8% całej objętości betonu po związaniu, stosunek R pomiędzy średnią długością włókna L , a maksymalną wielkością ziaren D elementów ziarnistych wynosi przynajmniej 5.

2. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przy bezpośrednim obciążeniu rozciągającym jego plastyczność, wyrażona współczynnikiem plastyczności δ , wynosi $\delta > 1$, korzystnie $\delta > 1,25$.

3. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że współczynnik l/ϕ włókien wynosi najwyżej 500.

4. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że średnia wytrzymałość przylegania włókien w utwardzonej mieszance cementowej wynosi przynajmniej 2 MPa, korzystnie 5 MPa.

5. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mieszanka cementowa zawiera ponadto przynajmniej jeden ze składników zwiększających przyczepność włókien w mieszance, wybranych z grupy obejmującej składniki krzemionkowe zasadniczo zawierające krzemionkę, wytrącony węgiel wapnia, polialkohol winylowy w roztworze wodnym, fosfaty, lateksy, czynnik przeciwpieniący lub mieszankę tych składników.

6. Beton według zastrz. 5, **znamienny tym**, że składnik krzemionkowy jest osadem krzemionki wprowadzonym w ilości w zakresie od 0,1% do 5% wagowych, w stanie suchym, względem całej masy betonu.

7. Beton według zastrz. 6, **znamienny tym**, że osad krzemionki jest wprowadzany do kompozycji jako zawiesina wodna.

8. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że część włókien organicznych jest zastąpiona włóknami metalowymi, przy czym poszczególne włókna metalowe korzystnie mają długość wynoszącą przynajmniej 2mm i współczynnik wydłużenia l/ϕ , gdzie ϕ jest średnicą włókna, który wynosi co najmniej 20.

9. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawiera kombinację krótkich i długich włókien organicznych i/lub włókien metalowych.

10. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawiera elementy zwiększające wytrzymałości na rozciąganie mieszanki, wybrane spośród elementów w kształcie igieł i elementów w kształcie płytek, przy czym ich średnia wielkość wynosi co najwyżej 1 mm, zaś ich zawartość wynosi pomiędzy 2,5%, a 35% łącznej objętości elementów ziarnistych i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym.

11. Beton według zastrz. 10, **znamienny tym**, że wytrzymałość na rozciąganie mieszanki cementowej wynosi przynajmniej 15 J/m².

12. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mieszanka cementowa zawiera środki zwiększające wytrzymałość na rozciąganie, o anizotropowym kształcie i przeciętnej wielkości co najwyżej 500 μ .

13. Beton według zastrz. 12, **znamienny tym**, że objętościowa zawartość środków zwiększających wytrzymałość na rozciąganie wynosi od 5% do 25% łącznej objętości elementów ziarnistych i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym.

14. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że środki zwiększające wytrzymałość na rozciąganie w kształcie igieł są wybierane spośród włókien wolastonitu, włókien boksytu, włókien mulitu, włókien tytanianu potasu, włókien węglowo krzemowych, włókien celulozy lub jej pochodnych, włókien węglowych, włókien fosforanu wapniowego, w szczególności hydroksyapatytu, włókien węgla wapnia, odpornych na działanie alkaliów włókien szklanych lub ich pochodnych uzyskanych przez zgniecenie wspomnianych włókien, oraz mieszanki wspomnianych włókien, polialkoholu winylowego, poliakrylonitrylu, polietylenu dużej gęstości, poliamidu, poliamidu aromatycznego lub krótkich włókien polietylenu o długości co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, które są odpowiednie do wykorzystania, jak również materiałów takich jak wełna stalowa.

15. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że płytki są wybierane spośród płytek mikowych, płytek talku, kompozytowych płytek krzemianowych czyli glin, płytek wermikulitu, płytek tlenku glinu i glinianu, oraz mieszanek wspomnianych płytek.

16. Beton według zastrz. 12, **znamienny tym**, że przynajmniej część anizotropowych środków zwiększających wytrzymałość na rozciąganie ma na powierzchni organiczną powłokę polimerową, uzyskaną z przynajmniej jednego ze związków wybranych z grupy zawierającej polialkohol winylu, silany, silikoniany, krzemiany, żywice siloksanowe i poliorganosiloksany, ewentualnie produkty reakcji pomiędzy przynajmniej kwasem karboksylowym zawierającym od 3 do 22 atomów węgla, przynajmniej wielofunkcyjną aromatyczną lub alifatyczną aminą lub substancją zastępującą aminę, zawierającą 2 do 25 atomów węgla i czynnikiem sieciującym, który jest rozpuszczalnym w wodzie kompleksem metalu zawierającym co najmniej metal wybrany spośród cynku, glinu, tytanu, miedzi, chromu, żelaza, cyrkonu i ołowiu.

17. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wielkość elementów ziarnistych wynosi co najwyżej 500 μ m.

18. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elementy ziarniste stanowi drobny piasek lub mieszanka drobnych piasków, przesiane lub kruszone, mogące zawierać piaski krzemionkowe, w szczególności mączkę kwarcową.

19. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawartość elementów ziarnistych wynosi od 25% do 50% wagowych mieszanki cementowej.

20. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym zawierają komponenty z grupy obejmującej krzemionkę, w szczególności krzemionkę dymną, lotne popioły i żużel wielkopiecowy.

21. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawartość procentowa wody w łącznym ciężarze cementu oraz elementów o oddziaływaniu pucolanicznym, zawiera się w przedziale między 13% a 25%.

22. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że posiada bezpośrednią wytrzymałość na rozciąganie wynoszącą przynajmniej 6 MPa.

23. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ma 4 punktową wytrzymałość na zginanie wynoszącą przynajmniej 20 MPa.

24. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ma wytrzymałość na ściskanie wynoszącą przynajmniej 120 MPa, korzystnie 140 MPa.

25. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jego energia zniszczenia, wynosi przynajmniej 2000 J/m².

26. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że po związaniu, zostaje poddany dojrzewaniu w temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia, na przykład 20°C, przez okres wymagany do uzyskania żądanych cech mechanicznych.

27. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że po związaniu, jest poddany obróbce termicznej pomiędzy 60°C a 100°C pod ciśnieniem normalnym.

28. Beton według zastrz. 27, **znamienny tym**, że czas obróbki cieplnej wynosi od 6 godzin do 4 dni, zasadniczo od 6 godzin do 72 godzin.

29. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jest betonem sprężonym.

30. Beton według zastrz. 1, **znamienny tym**, że beton jest betonem kablowym.

31. Zastosowanie betonu określonego w zastrz. 1 do wytwarzania elementów konstrukcyjnych o ulepszonej odporności ogniowej.

32. Zastosowanie według zastrz. 31, **znamiennie tym**, że beton zawiera krótkie i długie włókna organiczne i/lub metalowe.

33. Beton zawierający utwardzoną mieszankę cementową z rozproszonymi w niej włóknami organicznymi, uzyskany przez wymieszanie z wodą kompozycji zawierającej oprócz włókien organicznych cement, elementy ziarniste, drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym, przynajmniej jeden środek dyspergujący, **znamienny tym**, że drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają podstawową wielkość cząstek najwyższej 1 µm, korzystnie najwyższej 0,5 µm, ponadto tym, że wagowy procent wody w skumulowanej masie cementu i drobnych elementów o oddziaływaniu pucolanicznym, zawiera się w zakresie od 8% do 24%, włókna organiczne są wybrane spośród włókien polialkoholu winylowego, włókien poliakrylonitrylowych, włókien polietylenowych, włókien polietylenowych dużej gęstości, włókien poliamidowych i ub poliimidowych, włókien polipropylenowych (homo - lub kopolimerów), włókien wykonanych z poliamidów aromatycznych i włókien węglowych, ewentualnie ich mieszanek, ponadto poszczególne włókna organiczne mają długość l wynoszącą przynajmniej 2 mm, a współczynnik l/ϕ wynosi przynajmniej 20, gdzie ϕ jest średnicą włókna, oraz tym, że ilość włókien jest taka, iż ich objętość stanowi najwyższej 8% całej objętości betonu po związaniu, natomiast cement, elementy ziarniste i drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym mają łącznie wielkość ziaren D75 wynoszącą co najwyższej 2 mm, korzystnie co najwyższej 1 mm, oraz wielość ziaren D50 wynoszącą co najwyższej 150 µm, korzystnie najwyższej 100 µm, zaś stosunek R średniej długości włókna l , do wielkości ziaren D75 elementów ziarnistych, cementu i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym łącznie wynosi przynajmniej 5, korzystnie 10.

34. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że przy bezpośrednim obciążeniu rozciągającym jego plastyczność, wyrażona współczynnikiem plastyczności δ , wynosi $\delta > 1$, korzystnie $\delta > 1.25$.

35. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że współczynnik l/ϕ włókien wynosi najwyższej 500.

36. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że tym, że średnia wytrzymałość przylegania włókien w utwardzonej mieszance cementowej wynosi przynajmniej 2 MPa, korzystnie 5 MPa.

37. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że mieszanka cementowa zawiera ponadto przynajmniej jeden ze składników zwiększających przyczepność włókien w mieszance, wybranych z grupy obejmującej składniki krzemionkowe zasadniczo zawierające krzemionkę, wytrącony węgiel wapnia, polialkohol winylowy w roztworze wodnym, fosfaty, lateksy, czynnik przeciwpieniący lub mieszankę tych składników.

38. Beton według zastrz. 37, **znamienny tym**, że składnik krzemionkowy jest osadem krzemionki wprowadzonym w ilości w zakresie od 0,1% do 5% wagowych, w stanie suchym, względem całej masy betonu.

39. Beton według zastrz. 38, **znamienny tym**, że osad krzemionki jest wprowadzany do kompozycji jako zawiesina wodna.

40. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że część włókien organicznych jest zastąpiona włóknami metalowymi, przy czym poszczególne włókna metalowe korzystnie mają długość wynoszącą przynajmniej 2 mm i współczynnik wydłużenia l/ϕ , gdzie ϕ jest średnicą włókna, który wynosi co najmniej 20.

41. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że zawiera kombinację krótkich i długich włókien organicznych i/lub włókien metalowych.

42. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że zawiera elementy zwiększające wytrzymałości na rozciąganie mieszanki, wybrane spośród elementów w kształcie igieł i elementów w kształcie płytek, przy czym ich średnia wielkość wynosi co najwyżej 1 mm, zaś ich zawartość wynosi pomiędzy 2,5%, a 35% łącznej objętości elementów ziarnistych i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym.

43. Beton według zastrz. 42, **znamienny tym**, że wytrzymałość na rozciąganie mieszanki cementowej wynosi przynajmniej 15 J/m².

44. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że mieszanka cementowa zawiera środki zwiększające wytrzymałość na rozciąganie, o anizotropowym kształcie i przeciętnej wielkości co najwyżej 500 μ .

45. Beton według zastrz. 44, **znamienny tym**, że objętościowa zawartość środków zwiększających wytrzymałość na rozciąganie wynosi od 5% do 25% łącznej objętości elementów ziarnistych i elementów o oddziaływaniu pucolanicznym.

46. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że środki zwiększające wytrzymałość na rozciąganie w kształcie igieł są wybierane spośród włókien wolastonitu, włókien boksytu, włókien mulitu, włókien tytanianu potasu, włókien węglowo krzemowych, włókien celulozy lub jej pochodnych, włókien węglowych, włókien fosforanu wapniowego, w szczególności hydroksyapatytu, włókien węgla wapnia, odpornych na działanie alkaliów włókien szklanych lub ich pochodnych uzyskanych przez zgniecenie wspomnianych włókien, oraz mieszanki wspomnianych włókien, polialkoholu winylowego, poliakrylonitrylu, polietylenu dużej gęstości, poliamidu, poliamidu aromatycznego lub krótkich włókien polietylenu o długości co najwyżej 2 mm, korzystnie co najwyżej 1 mm, które są odpowiednie do wykorzystania, jak również materiałów takich jak wełna stalowa.

47. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że płytki są wybierane spośród płytek mikowych, płytek talku, kompozytowych płytek krzemianowych czyli glin, płytek wermikulitu, płytek tlenku glinu i glinianu, oraz mieszanek wspomnianych płytek.

48. Beton według zastrz. 44, **znamienny tym**, że przynajmniej część anizotropowych środków zwiększających wytrzymałość na rozciąganie ma na powierzchni organiczną powłokę polimerową, uzyskaną z przynajmniej jednego ze związków wybranych z grupy zawierającej polialkohol winylu, silany, silikoniany, krzemiany, żywice siloksanowe i poliorganosiloksany, ewentualnie produkty reakcji pomiędzy przynajmniej kwasem karboksylowym zawierającym od 3 do 22 atomów węgla, przynajmniej wielofunkcyjną aromatyczną lub alifatyczną aminą lub substancją zastępującą aminę, zawierającą 2 do 25 atomów węgla i czynnikiem sieciującym, który jest rozpuszczalnym w wodzie kompleksem metalu zawierającym co najmniej metal wybrany spośród cynku, glinu, tytanu, miedzi, chromu, żelaza, cyrkonu i ołowiu.

49. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że wielkość elementów ziarnistych wynosi co najwyżej 500 μ m.

50. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że elementy ziarniste stanowi drobny piasek lub mieszanka drobnych piasków, przesiane lub kruszone, mogące zawierać piaski krzemionkowe, w szczególności mączkę kwarcową.

51. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że zawartość elementów ziarnistych wynosi od 25% do 50% wagowych mieszanki cementowej.

52. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że drobne elementy o oddziaływaniu pucolanicznym zawierają komponenty z grupy obejmującej krzemionkę, w szczególności krzemionkę dymną, lotne popioły i żużel wielkopieczowy.

53. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że zawartość procentowa wody w łącznym ciężarze cementu oraz elementów o oddziaływaniu pucolanicznym, zawiera się w przedziale między 13% a 25%.

54. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że posiada bezpośrednią wytrzymałość na rozciąganie wynoszącą przynajmniej 6 MPa.

55. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że ma 4 punktową wytrzymałość na zginanie wynoszącą przynajmniej 20 MPa.

56. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że ma wytrzymałość na ściskanie wynoszącą przynajmniej 120 MPa, korzystnie 140 MPa.

57. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że jego energia zniszczenia, wynosi przynajmniej 2000 J/m².

58. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że po związaniu, zostaje poddany dojrzewaniu w temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia, na przykład 20°C, przez okres wymagany do uzyskania żądanych cech mechanicznych.

59. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że po związaniu, jest poddany obróbce termicznej pomiędzy 60°C a 100°C pod ciśnieniem normalnym.

60. Beton według zastrz. 59, **znamienny tym**, że czas obróbki cieplnej wynosi od 6 godzin do 4 dni, zasadniczo od 6 godzin do 72 godzin.

61. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że jest betonem sprężonym.

62. Beton według zastrz. 33, **znamienny tym**, że beton jest betonem kablowym.

63. Zastosowanie betonu określonego w zastrz. 33 do wytwarzania elementów konstrukcyjnych o ulepszonej odporności ogniowej.

64. Zastosowanie według zastrz. 63, **znamiennie tym**, że beton zawiera krótkie i długie włókna organiczne i/lub metalowe.

Rysunki

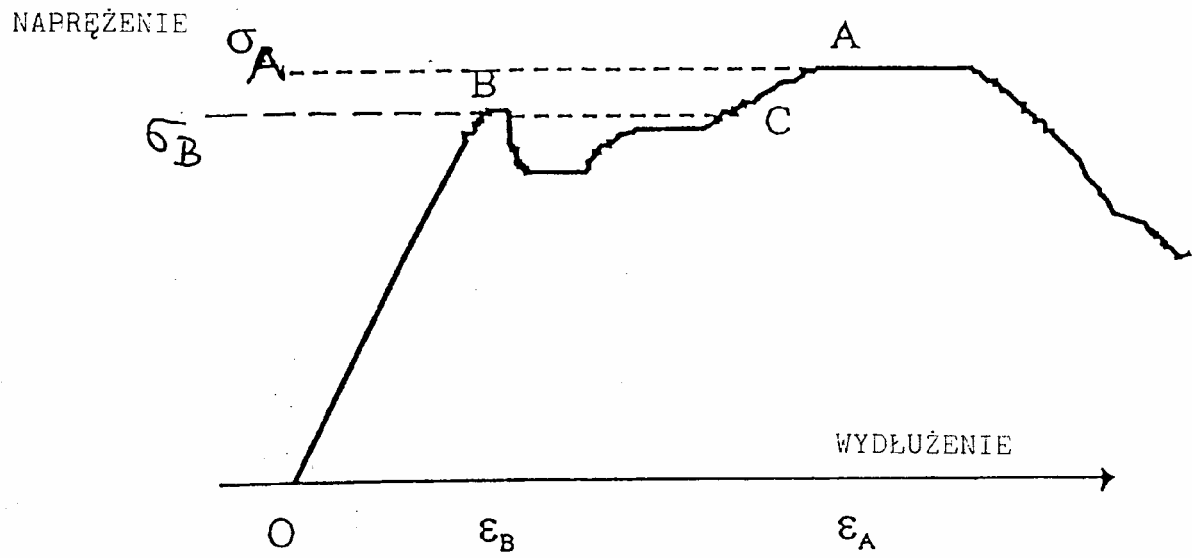


Fig 1: Typowa krzywa bezpośredniego naprężenia rozciągającego dla betonu posiadającego cechę plastyczności.

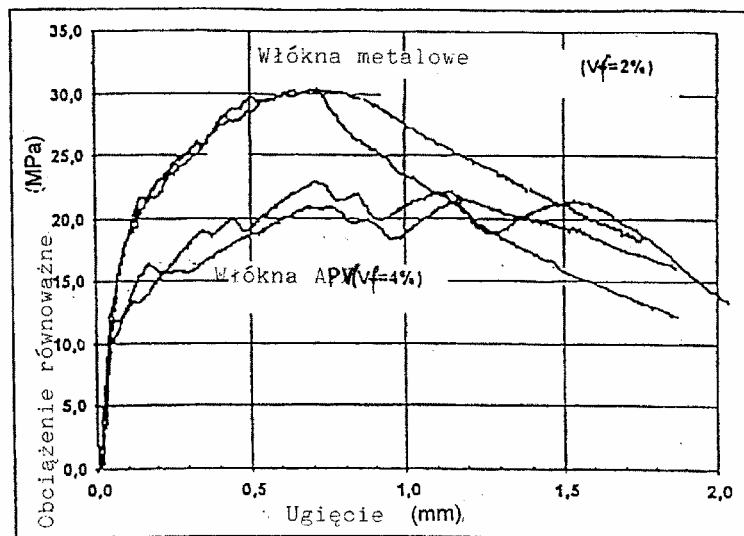


Fig. 2. Zginanie 4-ro punktowe. Porównanie pomiędzy włóknami APV a stalową linką, umieszczonymi w mieszance betonowej $e/c = 0,2$ - Dojrzewanie: $20^{\circ}\text{C}/28$ dni

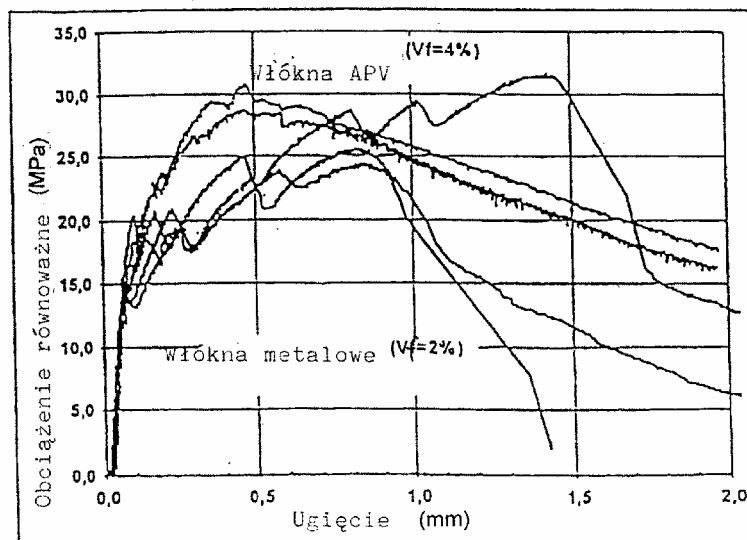


Fig. 3: Zginanie 4-ro punktowe. Porównanie pomiędzy włóknami APV a linką stalową w mieszance betonowej $e/c = 0,2$ - Obróbka termiczna $90^{\circ}\text{C}/48$ godzin

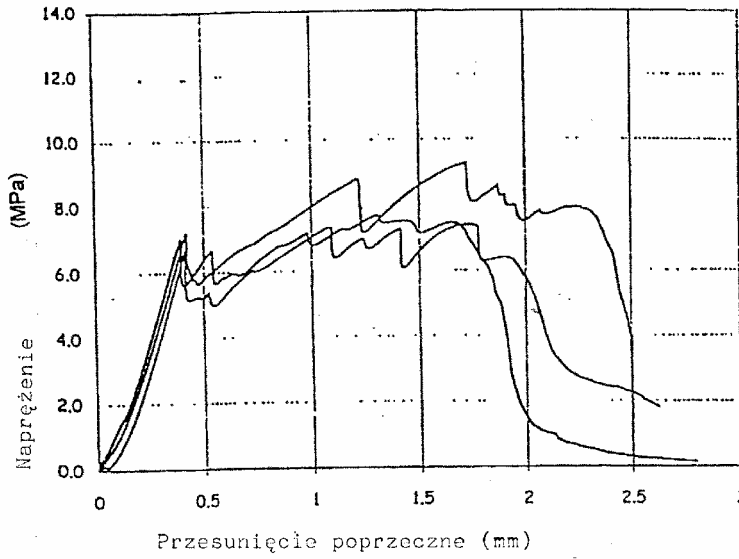


Fig 4: Bezpośrednie napężenie rozciągające. Beton wzmocniony włóknami APV 4% objętości $w/c = 0,2$ - Dojrzewanie: 20°C/ 28 dni

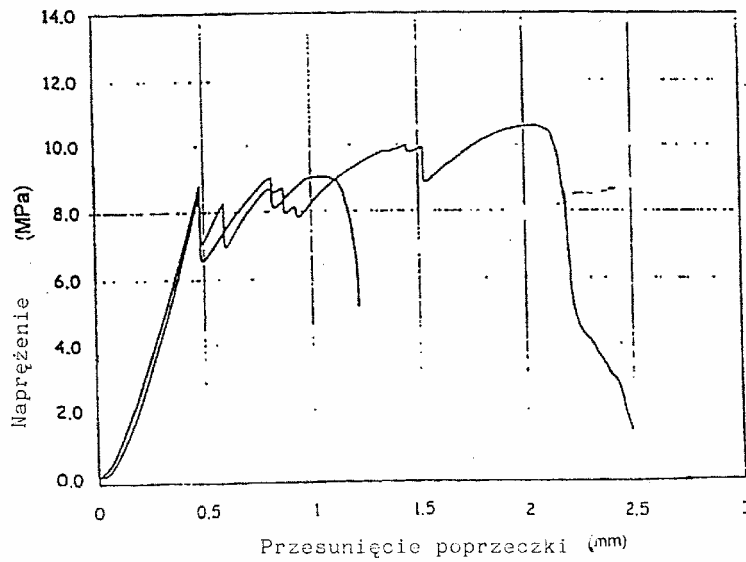


Fig 5: Bezpośrednie napężenie rozciągające. Beton wzmocniony włóknami 4% objętości, $w/c = 0,2$ - Obróbka termiczna: 90°C /48 godzin

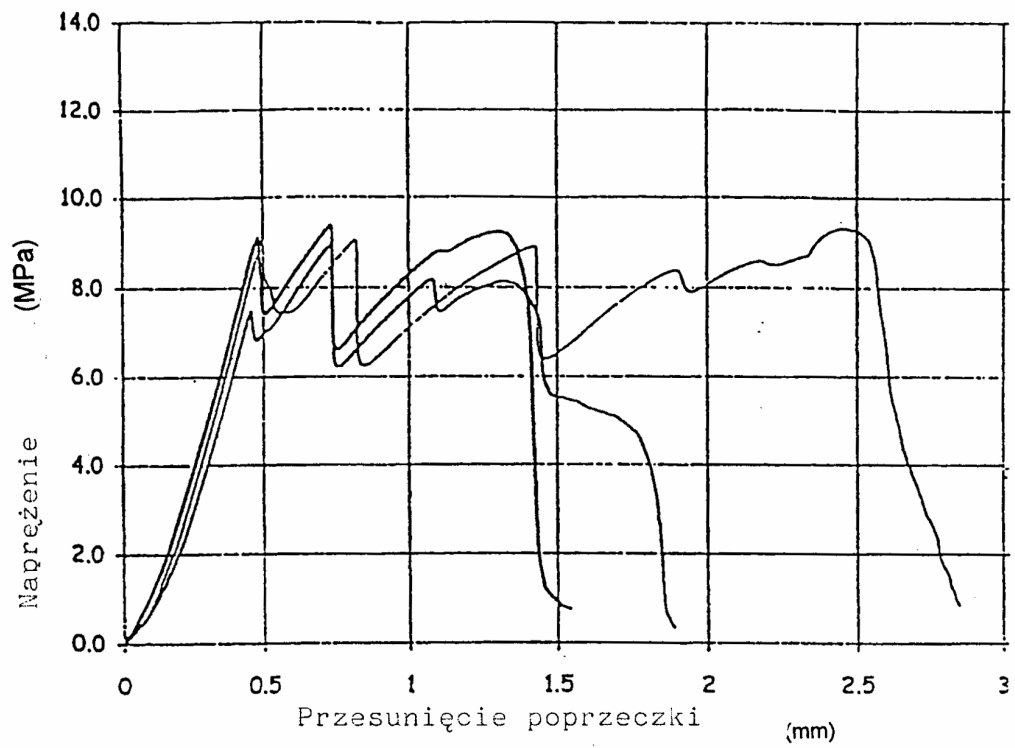


Fig 6: Bezpośrednie napiężenie rozciągające. Beton wzmocniony wolastonitem i włóknami APV 4% objętości $e/c = 0,24$ - Dojrzewanie: 20°C / 28 dni

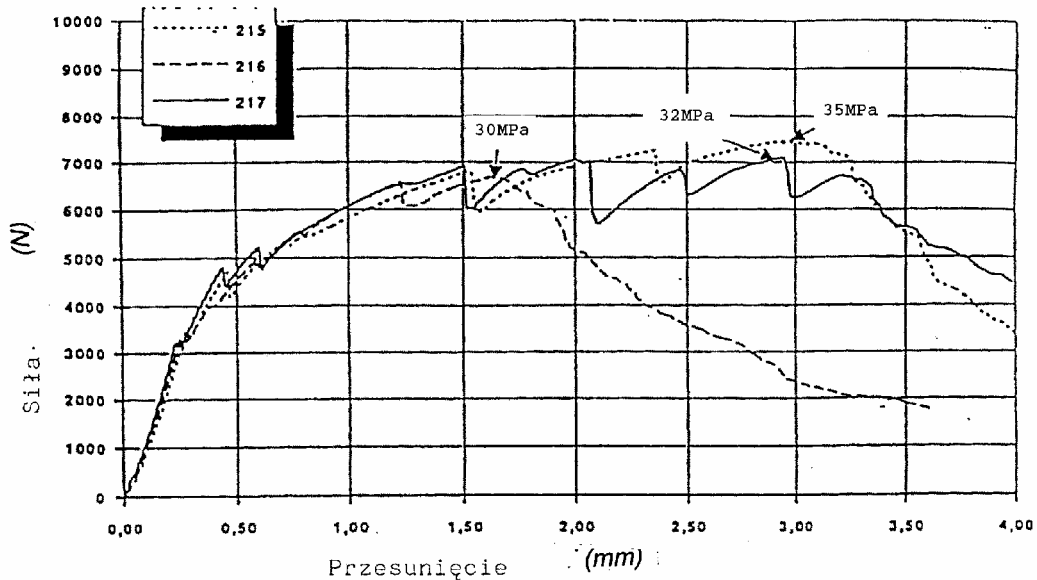


Fig. 7: Zginanie trójpunktowe. Mieszanka betonowa wzmocniona włóknami APV 4% objętości. $e/c = 0,25$ - Obróbka termiczna: 90°C / 48 godzin

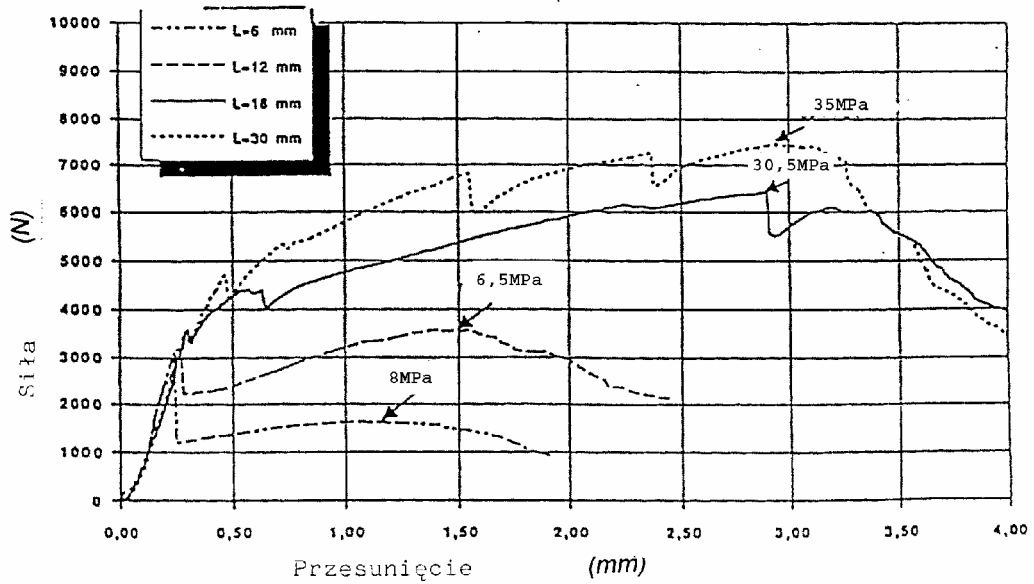


Fig. 8: Zginanie trójpunktowe. Mieszanka betonowa wzmocniona włóknami APV 4% objętości. Wpływ długości włókien APV, $e/c = 0,25$ - Obróbka termiczna: 90°C / 48 godzin

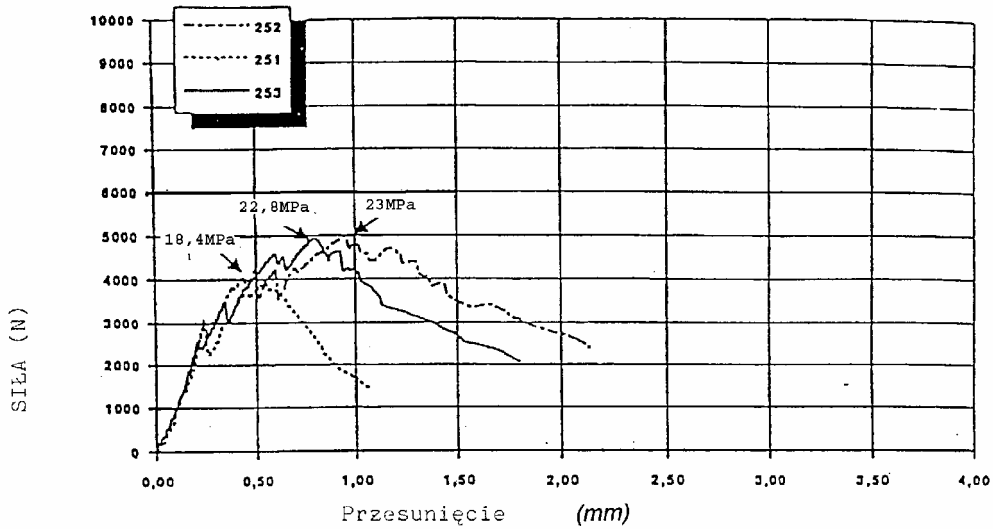


Fig 9: Zginanie trójpunktowe. Mieszanka betonowa wzmocniona włóknami PEHD - 1% objętości, $e/c = 0,25$ - Obróbka termiczna: $90^{\circ}\text{C} / 48$ godzin

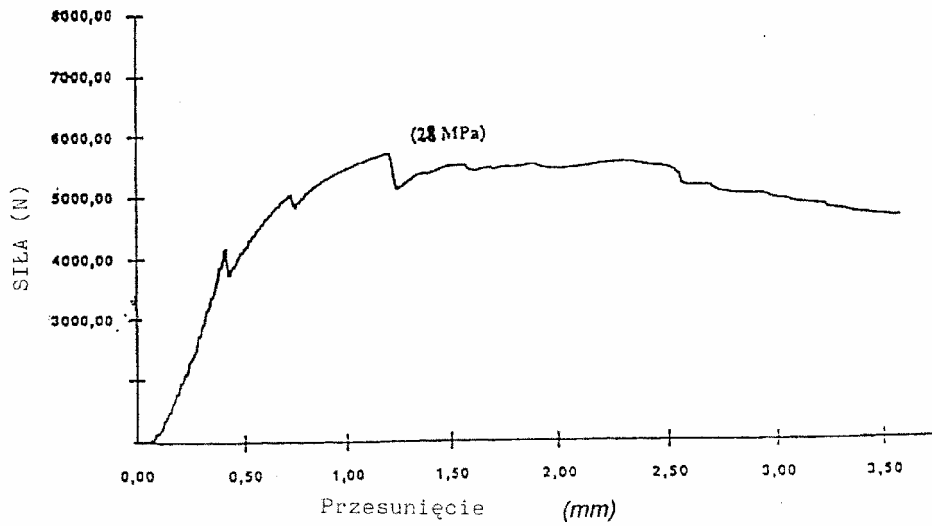


Fig 10: Zginanie trójpunktowe. Wpływ mieszanki włókien organicznych. Mieszanka betonowa wzmocniona włóknami APV 4% objętości: 1500 - 2% objętości i 4000 - 2% objętości, $e/c = 0,25$ - Obróbka termiczna: $90^{\circ}\text{C} / 48$ godzin

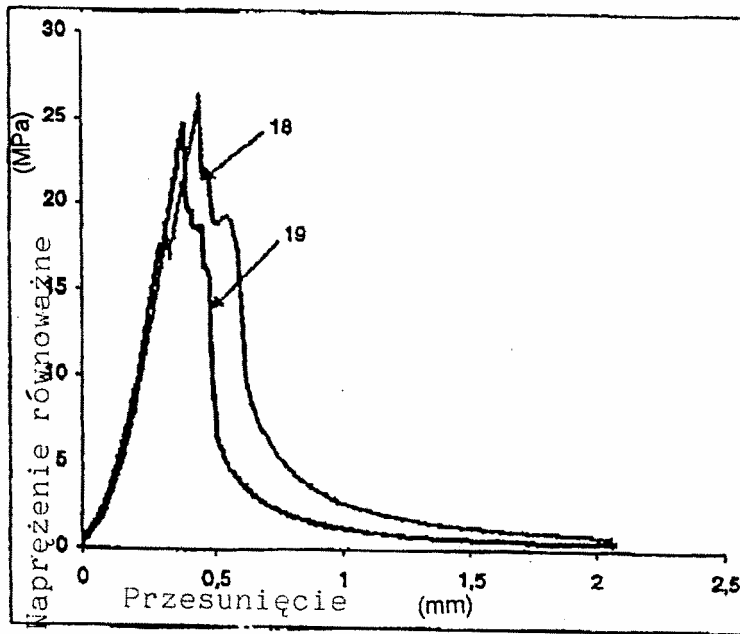


Fig. 11

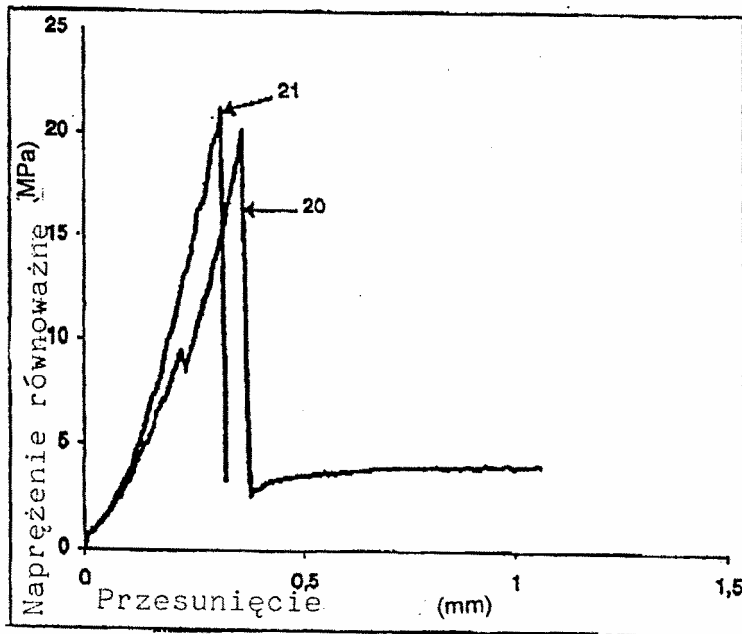


Fig. 12

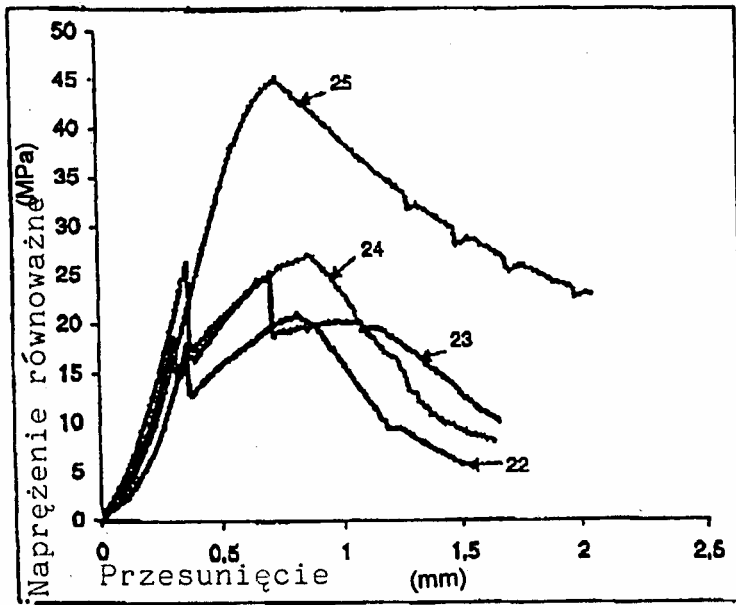


Fig. 13

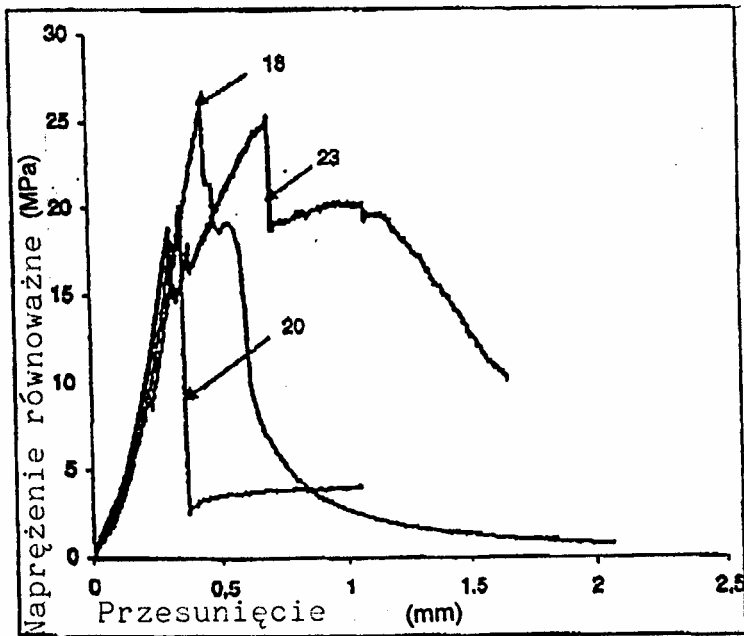
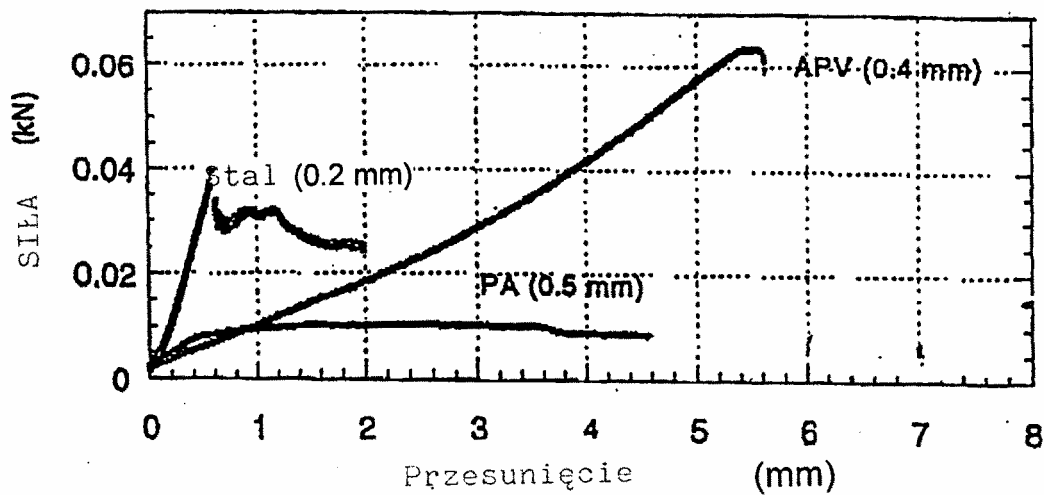


Fig. 14

Fig. 15



Krzywe siła przesunięcie: próba wyciągania

APV - Naprężenie krytyczne $> 8 \text{ MPa}$ (wiązka ulega zniszczeniu po znacznym odkształceniu plastycznym)

PA: Naprężenie krytyczne = $2,8 \text{ MPa}$ (poślizg)

