

MARIAN ROBAKOWSKI

FIZYKO-CHEMICZNE PODSTAWY PRZEMIAN
W BETONIE LEKKIM Z ŁUPKOPORYTU

Streszczenie. W artykule przedstawiono teoretyczny model betonu lekkiego z kruszywa porowatego wraz z analizą zjawisk fizyko-chemicznych układu: "kruszywo-woda-zaczyn". Przeanalizowano również proces kapilarnego podciągania wody i roztworu rozpuszczonych związków cementu oraz zjawiska dyfuzji, filtracji i sedymentacji, zachodzące w trakcie przemian i przebudowy zaczynu cementowego.

1. Wstęp

Beton lekki na kruszywie spiekany z łupków przywęglowych posiada bardzo złożoną strukturę wewnętrzną, całkowicie anizotropową i heterogeniczną. Podstawowymi jego składnikami są:

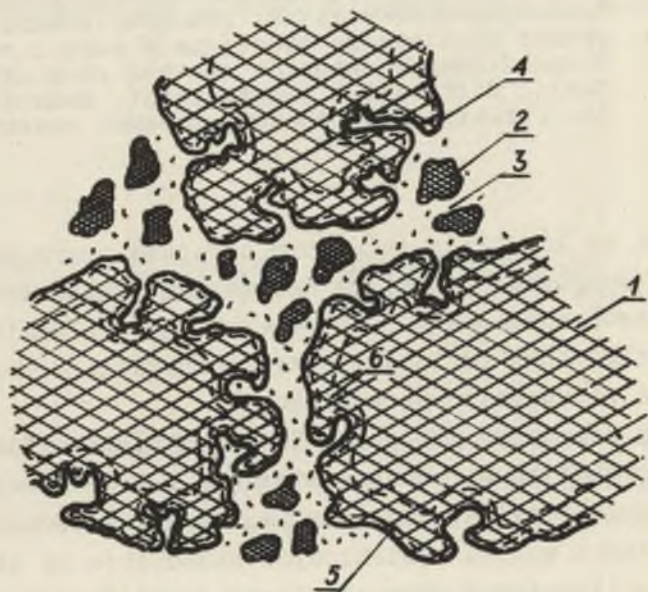
- stos okruchowy złożony z ziarn porowatego kruszywa,
- ziarna nieuwodnionego cementu,
- zaczyn cementowy złożony z drobnych kryształków i koloidów powstałych w procesie wiązania i twardnienia cementu,
- woda hydratacyjna, adsorbcyjna, kapilarna i wolna.

Rozpatrzenie wpływu wymienionych składników od strony jakościowej i ilościowej przy założeniu prawidłowego przebiegu procesu technologicznego umożliwia wyodrębnienie podstawowych czynników decydujących o własnościach technicznych betonu. Szczególne zainteresowania koncentrują się na wytrzymałości tego materiału zwłaszcza w zastosowaniu do konstrukcji sprężonych o ciężarze objętościowym w granicach ciężaru betonów lekkich. Beton taki, odpowiednio uziarniony posiada budowę zwartą. Przestrzenie międzyziarnowe są całkowicie wypełnione zaczynem. Przygotowanie betonu lekkiego o założonych własnościach z kruszywa łupkoporytowego oraz jego ułożenie w deskowaniu i zagęszczenie jest znacznie trudniejsze niż z kruszywa

naturalnego otoczkowego, głównie ze względu na gorszą urabialność i odciąganie wody z zaczynu.

2. Model struktury lekkiego betonu łupkoporytowego

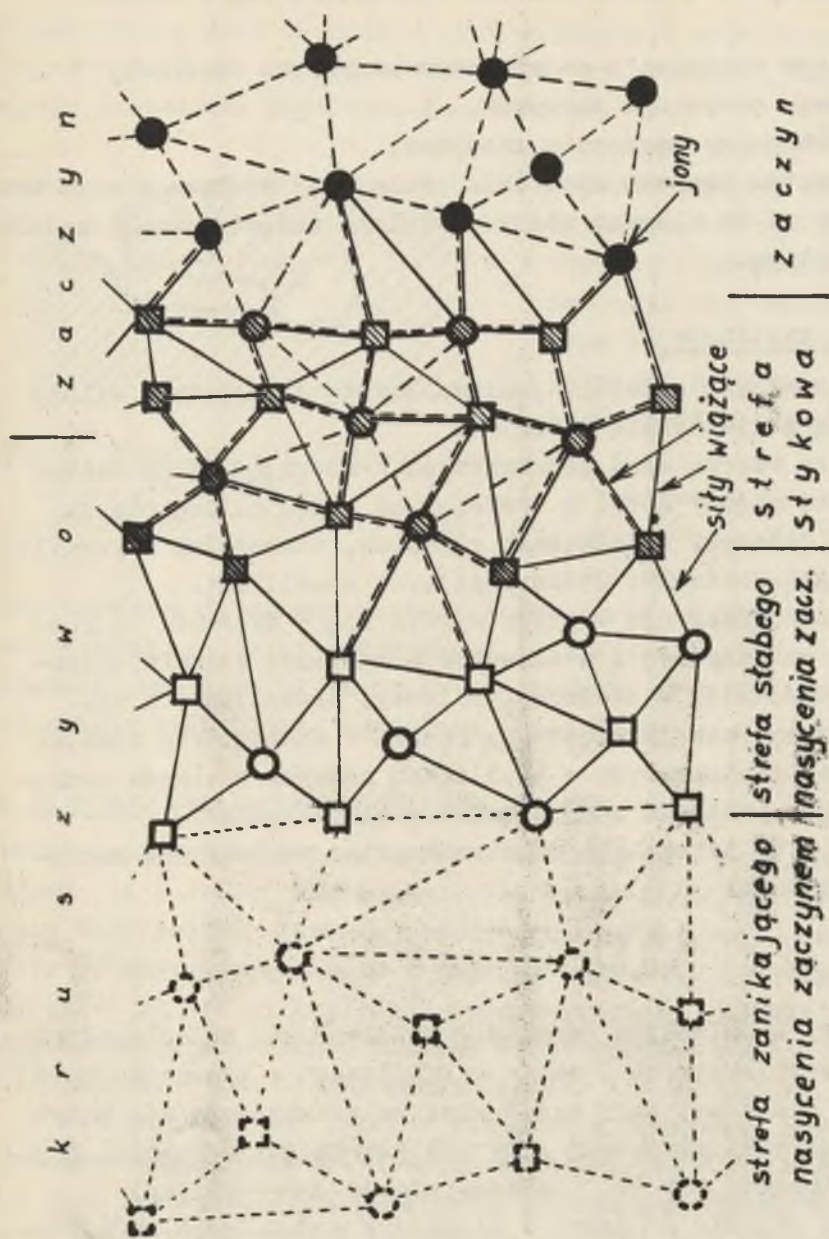
Wnikliwe rozpoznanie struktury betonu o różnorodnej i nieuporządkowanej budowie wewnętrznej wymaga przyjęcia modelu umożliwiającego prześledzenie przemian od stanu plastycznego do stałego. Na rys. 1 przedstawiono model betonu łupkoporytowego.



Rys. 1. Model betonu agloporytowego

1 - grube ziarna kruszywa porowatego, 2 - drobne ziarna kruszywa porowatego, 3 - zaprawa, 4 - strefa stykowa, 5 - strefa słabego nasycenia zaczynem, 6 - strefa zanikającego nasycenia zaczynem

Zawężając analizę rozpatrywanego modelu do warstwy stykowej, a więc na pograniczu zaczynu z kruszywem podano schemat struktury tego przedziału na rys. 2. W porównaniu z schematem przedstawionym przez W. Lenkiewicza [1] został on rozbudowany o dwie dodatkowe strefy mieszczące się na obwodzie ziarn poro-



Rys. 2. Schemat struktury betonu w warstwie stykowej zaczynu z kruszywem

watego kruszywa. Warstwa stykowa składająca się z trzech stref:

- stykowa właściwa o największym nasyceniu zaczynem,
- słabego nasycenia zaczynem,
- zanikającego nasycenia zaczynem,

wraz z warstwą zaprawy szczelnie otulającej większe ziarna kruszywa stanowi tu element nośny szkieletu rozpatrywanego modelu betonu lekkiego.

3. Budowa kapilarów

Porowate kruszywo spiekane posiada budowę gąbczastą i silnie rozwiniętą powierzchnię właściwą.

Kapilary tworzą sieć pojedynczych i rozgałęzionych naczyń powiązanych między sobą, o średnicy od kilku milimetrów do wielkości molekuł, o ściankach gładkich, szorstkich i rozpylnych z zagłębieniami i mikroskopijnymi kanalikami.

Zmienność przekroju kapilar wyraża się w zwężeniu i rozszerzeniu na długości i w zmiennym kształcie: kształt cylindryczny przechodzi w stożkowy, klinowy, szczelinowy i in. W celu wyjaśnienia jakościowych różnic w charakterze zjawisk kapilarnych zachodzących w kapilarach różnych wymiarów zachodzi potrzeba podziału ich na makro i mikrokapilary.

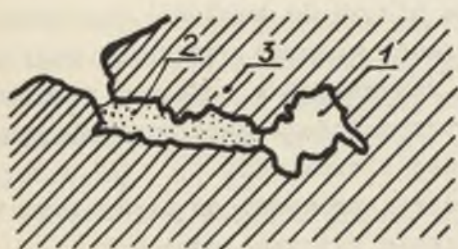
Według A.W. Łykowa [2] do mikrokapilar zalicza się naczynia o promieniu:

$$0,5 \cdot 10^{-7} < r < 10^{-5} \text{ cm.}$$

Kapilary o mniejszym promieniu zbliżają się do molekuł równych w przybliżeniu 10^{-8} cm, a w kapilarach o promieniu $r=10^{-7}$ ciśnienie nasyconej pary nad meniskiem praktycznie nie różni się od ciśnienia nasyconej pary nad płaską powierzchnią. Kapilary o promieniu $r > 10^{-5}$ zalicza się do makrokapilar.

Podział kapilar na makro i mikropory wprowadzono na podstawie oznaczenia w nich kondensacji pary. Grubość absorbowanej pary - według danych eksperymentalnych - wynosi 10^{-5} cm. Jeżeli kapilar przechodzi na wylot to zespolenie absorbowanych

błonek cieczy może zachodzić przy średnicy w największym miejscu $r < 10^{-5}$ cm. Tylko wtedy tworzy się menisk i wskutek tego będzie zachodziła kapilarna kondensacja.



Rys. 3. Kapilara w kruszywie łupkoporytowym

1 - powietrze, 2 - woda, 3 - tworzywo

wody zarobowej), ziarna porowatego kruszywa stykają się z wodą równocześnie na całej powierzchni i zjawisko kapilarnego podciągania przebiega od zewnątrz ku środkowi przy równoczesnym stłoczeniu uwięzionego powietrza (rys. 3).

4. Zjawisko kapilarnego podciągania wody

Ziarna kruszywa łupkoporytowego w zetknięciu z wodą, chciwie chłoną ją i stają się pojemnikiem wilgoci. Kapilarne podciąganie wody podobne jest do ssącego działania pompy próżniowej. Gdyby kruszywo pochłaniało z zaprawy tyle wody ile wypiera powietrze ze swoich kapilarów to zachodziłaby zamiana wodnych por, porami powietrznymi równych objętościowo, a więc szczelność zaprawy w tym ujęciu pozostawałaby nie zmieniona.

W rzeczywistości w lekkich betonach z kruszywem porowatym o ssącym oddziaływaniu, objętość pochłoniętej wody z zaprawy nie jest rekompensowana taką samą ilością powietrza, w rezultacie czego ma miejsce zagęszczanie zaczynu na powierzchni styków z kruszywem. Równocześnie z kapilarnym podciąganiem wody ulega wyparciu i stłoczeniu powietrze uwięzione w sieci naczyń połączonych. Ciśnienie tego powietrza jest wyższe od atmosferycznego. Wywołuje ono spadek ciśnienia między zaczynem i kruszywem na powierzchni styku.

Jeżeli $r > 10^{-5}$ cm to w przechodzącym na wylot kapilarze menisk nie tworzy się i kapilarnej kondensacji nie obserwuje się. Taka kapilara może być wypełniona wodą tylko przy bezpośrednim zetknięciu się z nią.

W mieszance betonowej o określonej kolejności dozowania (kruszywo + część

Nadmiar wody w mieszance betonowej uniemożliwia prawidłowe jej zagęszczenie, a ponadto stan ten pogarsza jeszcze odciągające wodę z zaczynu porowate kruszywo.

Nadmierna ilość wody wprawdzie zapewnia pozornie szczelne zagęszczenie, lecz jej nadwyżkę nie zdoła wchłonąć kruszywo, a po odparowaniu w miejscu soczewek wodnych pozostaną pory powietrzne. Obydwa przypadki nie zapewniają w końcowym rezultacie uzyskania przewidywanej wytrzymałości. Najkorzystniejszy przypadek wystąpi przy optymalnej ilości wody.

Wówczas ssące działanie kruszywa prowadzi do uszczelnienia zaczynu i w efekcie do podwyższenia wytrzymałości betonu. Ilość wody musi być tak dobrana, aby zapewniona była odpowiednia konsystencja do czasu zagęszczenia masy betonowej. Odciąganie wody z zaczynu nastąpi z chwilą osiągnięcia założonego stopnia szczelności.

Według M.Z. Simonowa [5] grubość zaczynu, z którego odciągana jest woda przez kruszywo, określa się stosunkiem ilości zaczynu albo zaprawy do powierzchni kruszywa.

Powierzchnia właściwa "u" wynosi:

$$u = \frac{F}{V(1-\alpha)}$$

F - sumaryczna powierzchnia ziarn kruszywa,

α - współczynnik porowatości kruszywa

V - objętość ziarn

grubość zaczynu oblicza się ze wzoru:

$$a = \frac{t}{F} \text{ mm}$$

t - objętość zaczynu cementowego

lub

$$a = \frac{t}{V(1-\alpha)} \text{ mm} .$$

Uwzględniając cechy fizyczne porowatego kruszywa istnieje więc możliwość rachunkowego wyznaczenia grubości warstwy zaczynu z której odciągana jest woda.

Grubość odwodnionej warstwy w lekkich betonach jest nieznaczna w stosunku do wielkości ziarn drobnych, piaskowych, natomiast w miarę zwiększania ziarn szybko rośnie. Drobne ziarna porowatego kruszywa podobnie jak pompy próżniowe kończą pracę i wyłączają się w początkowym okresie wiązania betonu. Odtąd efekt ssącego działania będzie tym większy im grubsze ziarna kruszywa i im wolniej przebiega wodochłonność danego rodzaju porowatego kruszywa. Maksymalny efekt wystąpi przy zastosowaniu suchych kruszyw, a minimalny przy uprzednio nasyconych wodą.

W betonach lekkich proces odciągania wody z zaczynu przez ziarna kruszywa zachodzi nieprzerwanie począwszy od momentu zarobienia betonu w ciągu całego okresu formowania. Wstępne nawilżanie porowatego kruszywa może zwolnić je od uczestniczenia w procesach samoczynnego wchłaniania wody w początkowym stadium.

5. Intensywność kapilarnego podciągania

Zdolność podciągania wody z zaczynu przez porowate kruszywo agloporytowe zależy od siły kapilarnego podciągania, powierzchni zajmowanej przez kapilary na powierzchni ziarna i od wilgotności materiału. Siła Q wznoszenia się wody w kapilarze wynosi:

$$Q = \frac{4\sigma}{d} = h\gamma$$

a więc jest równa ciężarowi słupa wody.

σ - powierzchniowe napięcie wody,

d - średnica kapilary,

γ - gęstość wody,

h - wysokość podnoszenia wody.

Powierzchnia zajęta przez kapilary na powierzchni porowatego ziarna jest proporcjonalna do odpowiedniej objętości por α . Dlatego zdolność odciągania wody "F" w suchym stanie materiału będzie równa iloczynowi siły kapilarnego podciągania na odpowiednią objętość por w materiale.

Stąd: $F = Q \cdot \alpha$.

Rozpatrując budowę wewnętrzną ziarn porowatego kruszywa można więc wyznaczyć rachunkowo ilość wchłanianej wody.

6. Powietrze uwięzione w kapilarnych naczyniach kruszywa

Objętość uwięzionego i stłoczonego powietrza w kapilarach nasyconego wodą kruszywa wyniesie:

$$V_s = V - W$$

V_s - objętość stłoczonego powietrza,

V - objętość porów,

W - objętość wody znajdującej się w kapilarach.

Zamknięte powietrze nie ma łączności z atmosferycznym i posiada ciśnienie różniące się od atmosferycznego. Ciśnienie uwięzionego powietrza zależy od objętości wypieranego z kapilarów powietrza V_w przy wnikanii do nich wody.

Średnie ciśnienie stłoczonego powietrza p_z wg prawa Boyle-Mariotte'a wynosi:

$$p_z = \frac{(V - V_w)}{V_s}$$

p - ciśnienie atmosferyczne.

Objętość wypartego z kapilarów powietrza może być mniejsza lub równa objętości wody wchodzącej w kapilary.

Stąd można sformułować dwa przypadki:

1) $V_w = W$ wówczas $p_z = p$

2) $V_w < W$ wówczas $p_z > p$.

Przypadek kiedy stłoczone powietrze będzie posiadało ciśnienie równe atmosferycznemu zachodzi tylko w szczególnym przypadku. W ogólnym przypadku ciśnienie stłoczonego powietrza jest wyższe od atmosferycznego.

Zdolność podciągania wody porowatego kruszywa łupkoporytowego może zmieniać się i zależy od zmian ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza, temperatury wody, istnienia w wodzie domieszek powierzchniowo-aktywnych.

7. Nasiąkliwość

Stopień zapełnienia por wodą jest tym większy im większe są ziarna kruszywa. Potwierdzają to rezultaty przeprowadzonych przez autora badań nasiąkliwości [4] zestawione w tablicy 1 i przedstawione na rys. 4, 5, 6 i 7.

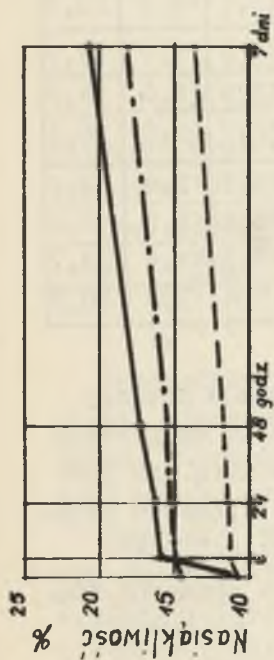
Tablica 1

Nasiąkliwość żupkoporytu "Knurów" i pumeksu hutniczego
Nowa Huta

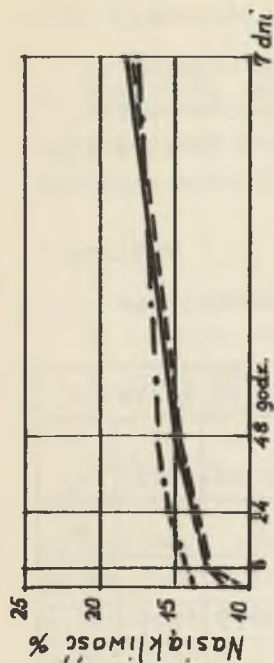
| Rodzaj kruszywa | Frakcja | Ciężar nasypowy w stanie: | | Nasiąkliwość po upływie: | | | | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------|-------------------|--------------------------|---------|----------|----------|-------|
| | | luźnym | zagęsz. | 1 sek. | 6 godz. | 24 godz. | 48 godz. | 7 dni |
| | | mm' | kg/m ³ | kg/m ³ | % | % | % | % |
| Żupkoporyt "Knurów" 1964 | 2÷4 | 753 | 893 | 11,0 | 16,0 | 16,9 | 17,9 | 20,9 |
| | 4÷10 | 748 | 864 | 11,6 | 13,5 | 13,9 | 15,0 | 18,4 |
| | 10÷20 | 533 | 623 | 12,0 | 15,3 | 15,9 | 16,5 | 23,4 |
| | 20÷40 | 501 | 567 | 13,9 | 15,9 | 17,2 | 18,4 | 23,3 |
| Pumeks hutniczy N. Huta 1962 | 2÷4 | 792 | 927 | 11,3 | 11,4 | 11,5 | 11,7 | 13,7 |
| | 4÷10 | 748 | 824 | 10,6 | 13,2 | 13,9 | 14,8 | 18,2 |
| | 10÷20 | 705 | 798 | 11,4 | 11,5 | 12,7 | 13,0 | 16,1 |
| Pumeks hutniczy Nowa Huta 1964 | 2÷4 | 662 | 766 | 14,7 | 15,1 | 15,3 | 15,6 | 18,1 |
| | 4÷10 | 627 | 734 | 13,7 | 14,3 | 15,4 | 16,2 | 18,0 |
| | 10÷20 | 538 | 630 | 18,8 | 19,6 | 20,7 | 21,6 | 23,7 |
| | 20÷40 | 550 | 640 | 15,8 | 16,3 | 17,0 | 17,6 | 20,5 |

Nieco inaczej kształtuje się nasiąkliwość frakcji drobnej 2÷4 mm. Na ogół jest ona większa od ziarn powyżej 4 mm głównie ze względu na silnie rozwiniętą powierzchnię właściwą. Na powierzchniach tych ziarn utrzymuje się w znacznie większym stopniu woda błonkowa i kapilarna, która zwiększa nasiąkliwość.

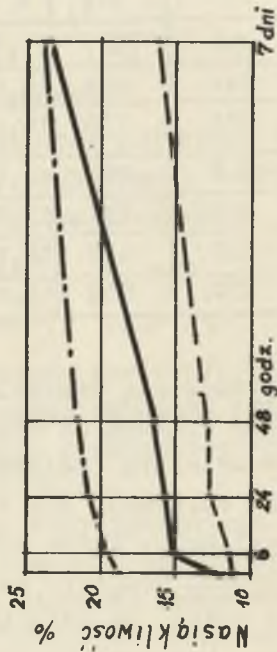
Oznaczanie nasiąkliwości polegało na nasyceniu kruszywa wodą w ciągu określonego czasu. Po wyjęciu z wody i odsączeniu na sicie w ciągu 10 min. kruszywo osuszano powierzchniowo wil-



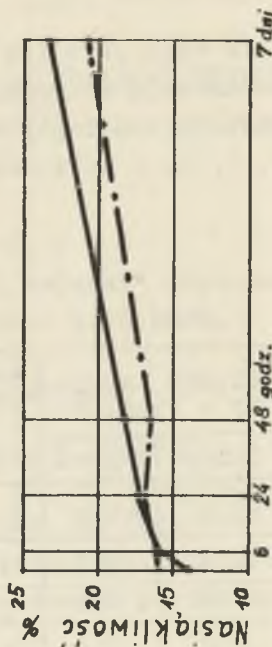
Rys. 4. Nasiażliwość żupkoporytu "Knurow" i pumeksu N. Huta frakcji 2-4



Rys. 5. Nasiażliwość żupkoporytu "Knurow" i pumeksu N. Huta frakcji 4-10



Rys. 6. Nasiażliwość żupkoporytu "Knurow" i pumeksu N. Huta frakcji 10-20



Rys. 7. Nasiażliwość żupkoporytu "Knurow" i pumeksu N. Huta frakcji 20-40

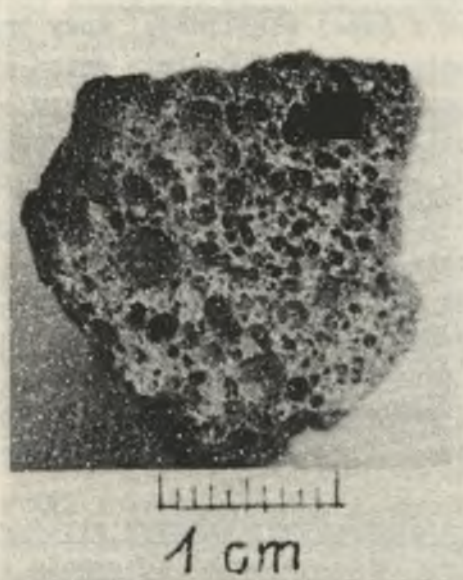
— żupkoporyt "Knurow"

- - - - - pumeks prod. V. 1964 r.

--- pumeks prod. 1962 r.



Rys. 8. Zgląd żupkoporytu. Tworzywo stanowi konglomerat różnej wielkości ziarn żupka o zróżnicowanym stopniu spieczenia, spojonych fazą płynną



Rys. 9. Ziarno pumeksu hutniczego N. Huta fr. 10 + 20 mm (prod. 1964 r.). W przekroju widoczne są pory kuliste o zróżnicowanej wielkości

gotną ścierką. Dla każdej frakcji wykonywano po 2 oznaczenia na próbkach o ciężarze 1000 G.

W oelach porównawczych przytożono wartości liczbowe nasiąkliwości pumeksu hutniczego z Nowej Huty wyprodukowanego w r. 1962 i 1964. Te dwa rodzaje pumeksu różnią się stopniem spienienia co znajduje odzwierciedlenie w ciężarze nasypowym i nasiąkliwości. Lżejszym kruszywem, a więc o większej porowatości jest pumeks z roku 1964.

Na rys. 8 i 9 pokazano zgłady żupkoporytu "Knurów" i pumeksu hutniczego (prod. 1964). Kruszywo spiekane z żupków przywęgłowych jest konglomeratem różnej wielkości ziarn żupka, o różnym stopniu spieczenia, spojonych fazą płynną. Pumeks natomiast jest tworzywem jednorodnym z dużą ilością por kształtu kulistego, zróżnicowanej wielkości, które są częściowo połączone naczyniami kapilarnymi. Potwierdza to przyrost nasiąkliwości w czasie.

Cechą charakterystyczną porowatych kruszyw łamanych jest bardzo wysoka nasiąkliwość początkowa, bezpośrednio po zanurzeniu, wynikająca z dużej wężliwości wody przez silnie rozwiniętą powierzchnię właściwą. Ogólnie można stwierdzić, że nasiąkliwość rozpatrywanych 2 rodzaj kruszyw - żupkoporytu i pumeksu - jest zbliżona. Niższa początkowo nasiąkliwość żupkoporytu wskazuje na obecność sieci kapilarnej zapełnianej w ciągu dłuższego okresu czasu w odróżnieniu od dużej ilości por zamkniętych w pumeksie, niedostępnych dla wody.

Stąd też wynika konieczność wstępnego nawilżania żupkoporytu przed wprowadzeniem cementu do mieszanki betonowej, w celu przeciwdziałania późniejszemu nadmiernemu odciąganiu wody zarobowej z zaczynu powodującej zmniejszenie ciekłości w czasie transportu układania i zagęszczenia masy betonowej.

8. Tworzenie się cementacyjnej warstwy stykowej i wgłębnej w warunkach określonego sposobu dozowania składników betonu żupkoporytowego.

Efekt samoczynnego wchłaniania wody wywołany kapilarnym podciąganiem prowadzi nie tylko do zmniejszenia jej zawartości

w zaczynie, ale i do uszczelnienia zaczynu o wielkość ściśniętego w kapilarach powietrza. Mając na uwadze rozpatrzone poprzednio zmiany fizyczne zachodzące w kapilarno-porowatych ciałach kruszywa, należy skład betonu projektować z uwzględnieniem wymaganej konsystencji i urabialności nie w momencie przygotowania i wymieszania, lecz w chwili nanoszenia do form. Ta okoliczność zmusza więc do wprowadzenia zwiększonej ilości wody w stadium przygotowania o objętość wchłanianą do czasu ułożenia masy betonowej.

Z chwilą wsypania cementu do kruszywa poprzednio nawilżonego w betoniarce i uzupełnieniu wody, cząsteczki cementu ulegają na swej powierzchni stopniowemu rozpuszczeniu w wodzie tworząc roztwór koloidalny, którego koncentracja z biegiem czasu zwiększa się. W wyniku nieprzerwanego procesu kapilarnego podciągania w/w roztwór wnika w kapilary za cząsteczkami wody w coraz to głębsze partie materiału ku środkowi. Równocześnie na granicy fazy woda-roztwór, wskutek zjawiska dyfuzji, cząsteczki wody spełniają rolę rozpuszczalnika przechodząc do ciała rozpuszczonego.

Następuje przejściowe obniżenie stężenia roztworu co sprzyja dalszemu rozpuszczaniu cementu. Procesy tych przemian - kapilarne podciąganie i zjawisko dyfuzji - mają charakter postępowy i przebiegają równocześnie przy ciągłej tendencji samorzutnego wyrównywania się stężeń. Z jednej strony na przyspieszenie prędkości tych przemian ma wpływ temperatura wywołana ciepłem hydratacji, z drugiej zaś, hamujący wpływ wywiera ciśnienie kapilarne. Z punktu widzenia teorii molekularno-kinetycznej przyspieszający wpływ temperatury wynika nie tyle ze zwiększonej liczby zderzeń międzycząsteczkowych (wskutek wzrostu szybkości ruchu cząsteczek) ile stąd, że same cząsteczki stają się mniej trwałe i bardziej podatne do przemian, wobec czego szybko wzrasta liczba zderzeń "skutecznych" w stosunku do ogólnej liczby zderzeń.

Z chwilą zaistnienia względnego stanu równowagi, co ma miejsce w kapilarach większych średnic, rozpoczyna się proces gęstnienia i zahamowania zjawiska dyfuzji. Mikrokapilary

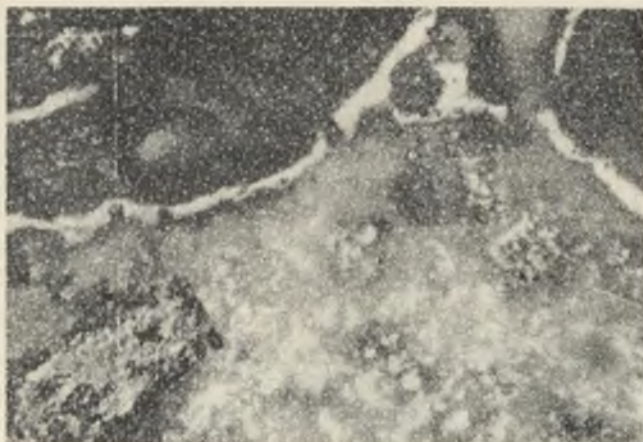
z kolei odciągają wodę z roztworu i na ściankach naczyń kapilarnych osiadają cząsteczki wytrącone z roztworu. Przebiega więc zjawisko filtracji i sedymentacji.

Silnie rozwinięta powierzchnia właściwa ziarn kruszywa łupkoporytowego umożliwia powierzchniowe i wgłębne zagęszczanie, czyli adsorbcję znacznych ilości koloidalnej substancji z roztworu. Zdolność chłonna absorbentu zależy od warunków fizycznych, w szczególności od stężenia roztworu i od temperatury. Podciśnienie wskutek ssącego działania kapilar powoduje wzrost zaabsorbowanej substancji koloidalnej. Intensywność narastania maleje w miarę zaniku kapilarnego podciągania. W momencie zaistnienia stanu równowagi powierzchnia absorbentu jest całkowicie pokryta warstwą cząsteczek substancji zaabsorbowanej. Cząsteczki te tworzą związki powierzchniowe, podatne do przemian chemicznych. Zachodzi więc z kolei zjawisko chemisorpcji. Jony z uwodnionego zaczynu cementowego i kryształów kruszywa przenikają się wzajemnie dzięki czemu następuje wzmocnienie struktury, gdyż luki istniejące w sieciach minerałów krystalicznych kruszywa są wypełnione przez jony zaczynu, przez co budowa staje się bardziej zwarta.

Badania mikrostruktury zaczynu cementowego wykonane przez W. Lenkiewicza [1] wykazały, że składa się ona z szeregu kolidów i kryształów tworzących mostki łączące ziarna stosu okruchowego. Pomiędzy elementami tworzącymi mostki pozostają pustki osłabiające beton.

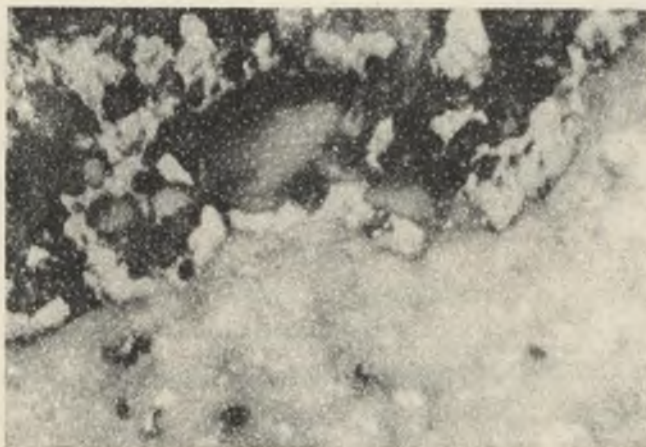
Utworzony na powierzchni zewnętrznej porowatego kruszywa wraz z całym systemem dostępnych kapilar nieprzerwany jonowy twór sieciowy, w którym nie wyodrębniają się poszczególne cząsteczki chemiczne, staje się najsilniejszym elementem składowym przestrzennego szkieletu nośnego betonu lekkiego.

Na załączonych fotografiach rys. 10, 11 i 12 przedstawiono kontakt między ziarnem kruszywa i zaczynem cementowym - powiększenie 630 x. Stwardniały zaczyn cementowy przylega na ogół bardzo szczelnie do tworzywa. Nieznaczne różnice odcieni na styku są wynikiem wklęsłości, które powstały podczas przygotowania szlif. Poprzez szczeliny (rys. 10 i 11) w zewnętrz-



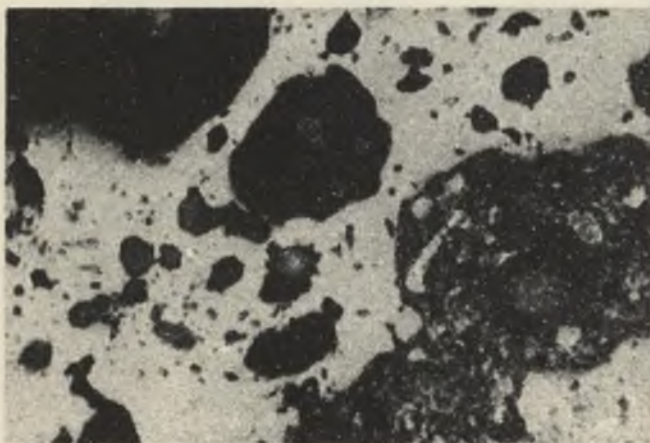
Rys. 10. Kontakt tworzywa ziarna kruszywa z zaczynem cementowym. Bardzo drobne wklęsłości powierzchniowe na styku wykazują niejednolity stopień wypełnienia. Powiększenie 630^x

barwa jasna - tworzywo
barwa ciemna - pory
barwa szara - kamień cementowy



Rys. 11. Kontakt tworzywa agloporytowego z zaczynem cementowym. Nieciągła linia krawędzi ziarna kruszywa wskazuje na istnienie por otwartych wewnętrznych, niedostępnych jednak dla zaczynu. Powiększenie 630^x

nej ścianie tworzywa o średnicy $4\pm 12\mu$ nie przedostaje się w zasadzie zaczyn cementowy do otwartych por, które wcześniej zapełniły się wodą, względnie odciągnęły wodę z zaczynu w wyniku procesów sedymentacyjnych. Ślady jasnego zabarwienia umiejscowione w porach kruszywa poza obrębem nieciągłych ścianek tworzywa wskazują na przenikanie roztworu zaczynu cementowego w pierwszej fazie rozpuszczania, a więc jeszcze o niskim stopniu stężenia tego roztworu.



Rys. 12. Kontakt tworzywa (pumeks hutniczy) z zaczynem cementowym. Pory i wklęsłości powierzchniowe wykazują różny stopień zapełnienia w zależności od ich wielkości. Pory wewnętrzne w większości kształtu izometrycznego. Powiększenie $630\times$

Linia styku ziarna pumeksu z zaczynem cementowym (rys. 12), w odróżnieniu od łupkoporytu, jest płynna, o zaokrąglonych załamaniach.

9. Wnioski

9.1. Zjawiska kapilarnego, podciągania, dyfuzji i sedymentacji sprzyjają cementującej roli zaczynu na powierzchni porowatego kruszywa i w obszarze dostępnych kapilar. Jony z uwodnionego zaczynu cementowego i kryształków kruszywa przenikają się wzajemnie dzięki czemu następuje wzmocnienie struktury,

gdyż luki istniejące w sieciach minerałów krystalicznych kruszywa są wypełnione przez jony zaczynu, przez co budowa staje się bardziej zwarta.

Nieprzerwany jonowy twór sieciowy, w którym nie wyodrębniają się poszczególne cząsteczki chemiczne staje się najsilniejszym elementem składowym przestrzennego szkieletu nośnego betonu lekkiego.

9.2. W wyniku ssącego oddziaływania ziarn porowatego kruszywa, aż do chwili określonego stanu równowagi zmniejsza się wskaźnik W/C i w rezultacie wzrasta gęstość zaczynu. Wchłonięta i zmagazynowana woda w ziarnach kruszywa sprzyja w późniejszym okresie pełniejszej hydratacji cementu.

9.3. Nasiąkliwość kruszywa spiekanego "Knurów" jest bardzo wysoka, ściśle związana z porowatą budową ziarn. W porównaniu z pumeksem hutniczym (produkcja V. 1964 r.) nasiąkliwość agloporytu po 10 sek. jest mniejsza o 12-16%, natomiast po 7 dniach wartości liczbowe nasiąkliwości są zbliżone (tabl. 1).

| Frakcja mm | Nasiąkliwość w % cięż. | | | |
|---------------|------------------------|----------|------------|----------|
| | żupkoporyt | | pumeks | |
| | po 10 sek. | po 7 dn. | po 10 sek. | po 7 dn. |
| 4/10 | 11,6 | 18,4 | 13,7 | 18,0 |
| 10/20 | 12,0 | 23,4 | 18,8 | 23,7 |

Duża nasiąkliwość początkowa uzasadnia potrzebę wstępnego wymieszania kruszywa z częścią wody zarobowej przed wprowadzeniem cementu.

9.4. Skład betonu należy projektować z uwzględnieniem wymaganej konsystencji i urabialności w momencie nanoszenia do form, a nie w chwili przygotowania i wymieszania masy betonowej.

Stwierdzenie to wynika z rozpoznania cech kruszywa, które w sposób ciągły absorbuje wodę zarobową.

LITERATURA

- [1] Lenkiewicz W.: Kryteria wytrzymałości betonu. TNEB, Warszawa 1962 r.
- [2] Лыков А.В.: Теория сушки Госениергоиздат 1950 r.
- [3] Newman K.: Wpływ absorpcji wody przez kruszywo na współczynnik C/W w betonie. Mag. Concr. Res. nr 35, 1960 r.
- [4] Robakowski M.: Niektóre zagadnienia technologii betonów lekkich wysokich marek na kruszywie agloporytowym z łupków przywęglowych - praca doktorska - Politechnika Śląska 1965 r.
- [5] Simonow M.Z.: Бетон и железобетон на пористых заполнителях. Москва 1955 r.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЛЕГКОМ БЕТОНЕ
НА АГЛОПОРИТЕ ИЗ УГЛИСТЫХ СЛАНЦЕВ

Р е з ю м е

В статье представлена теоретическая модель легкого бетона из пористого заполнителя, а также анализ физико-химических явлений системы: "заполнитель-вода-земес".

Проанализирован также процесс капиллярного подтягивания воды и раствора растворенных соединений цемента, а также явления диффузии, фильтрации и седиментации, происходящие во время преобразований и превращений замеса из цемента.

PHYSICO-CHEMICAL FOUNDATIONS OF TRANSFORMATIONS IN THE
LIGHT WEIGHT CONCRETE MADE OF "AGLYTE" AGGREGATE

S u m m a r y

In the article a theoretical model of light weight concrete made of porous concrete aggregate with an analysis of physico-chemical phenomena of the system "aggregate - water - slurry" has been presented.

The process of capillary pulling up water and the solution of dissolved cement compounds as well as phenomena of diffusion, filtration and sedimentation taking place during the transformation and chemical reconstruction of cement slurry have been analysed.