

Edward PICHOCKI

O WPŁYWIE WYBRANYCH PARAMETRÓW  
SKŁADU BETONU ŁUPKOPORYTOWEGO  
NA JEGO PRZEWODNOŚĆ CIEPLNĄ

Streszczenie. W artykule poddano analizie związek między przewodnością cieplną zaprawy, statyczną powierzchnią kruszywa i jego objętością w betonie, a przewodnością cieplną betonu łupkoporytowego. Związek ten może być wykorzystany przy projektowaniu izolacyjno-konstrukcyjnych betonów łupkoporytowych ze względu na ich przewodność cieplną.

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój budownictwa mieszkaniowego realizowanego w oparciu o nowoczesne metody uprzemysłowione stwarza coraz większe zapotrzebowanie na lekkie betony kruszywowe do wznoszenia jednowarstwowych nośnych ścian zewnętrznych.

Jak dotychczas, izolacyjno-konstrukcyjne betony lekkie, stosowane do tego rodzaju przegród, projektuje się przede wszystkim ze względu na wytrzymałość, natomiast przewodność cieplną betonu przewiduje się na podstawie jego gęstości pozornej. Wiadomo jednak, że grubość zewnętrznych ścian nośnych jest w krajowych warunkach klimatycznych determinowana przez przewodność cieplną betonu, a nie przez jego wytrzymałość mechaniczną. Powyższa sprzeczność wydaje się być jedną z głównych przyczyn nieekonomicznych zastosowań betonów lekkich do jednowarstwowych ścian zewnętrznych, szczególnie ścian nośnych.

Przykładem tego jest system "Szczeciński", w którym nośne ściany zewnętrzne wykonuje się z keramzytobetonu "110" na grubość 40 cm (przy  $K = 1,07 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ), podczas gdy ze względów wytrzymałościowych wystarczyłaby grubość przegrody około 20 cm.

Liczne badania [1], [3], [7], [8], [10], [11] zarzucają nieścisłość w przewidywaniu przewodności cieplnej betonu na podstawie jego gęstości pozornej, bowiem przy tej samej gęstości pozornej betony mogą charakteryzować się różną przewodnością cieplną - w zależności od składu fazowego substancji stałej i porowatości betonu. Wymienione parametry struktury betonu można zmieniać w szerokim przedziale poprzez odpowiedni dobór składu granulometrycznego kruszywa, ilości cementu, rodzaju i ilości mikrowypełniacza pyłowego [9] oraz technologii wykonywania betonu [5], [7], [9], [11]. Badania [5], [6] zwracają przy tym uwagę na porowatość betonu, a zwłaszcza na struk-

turę porowatości, wyznaczoną przez udział makro- i mikroporów w kruszywie oraz w szkielecie nośnym betonu, jako podstawowy czynnik decydujący o fizycznych i fizyko-mechanicznych własnościach lekkich betonów kruszywowych.

Poglądy te rzucają wprawdzie światło na związki między strukturą wewnętrzną betonu a jego przewodnością cieplną, jednak nie precyzują takich parametrów składu betonu i zachodzących między nimi związków analitycznych, przy pomocy których można by projektować lekkie izolacyjno-konstrukcyjne betony na kruszywach porowatych ze względu na podstawowe ich cechy techniczne, tj. wytrzymałość mechaniczną i przewodność cieplną.

Przedstawiona praca jest próbą uściślenia poruszanego problemu w zakresie przewodności cieplnej betonu łupkoporytowego.

## 2. Parametry składu betonu

W technologii betonu znane są przykłady uzależniania wytrzymałości betonu lekkiego kruszywowego od takich parametrów składu jak np. wytrzymałość i objętość zaprawy wchodzącej w skład szkieletu nośnego, objętości kruszywa w betonie [2], [12]. Zachodziło więc pytanie, czy analogiczne parametry składu w istotny sposób wpływają na przewodność cieplną betonu?

Dla zbadania tego zagadnienia posłużono się dwuetapową technologią wykonywania betonu, polegającą na zmieszaniu kruszywa łupkoporytowego o określonym składzie granulometrycznym z zaprawą o znanych własnościach [9]. Ponieważ przyjęty sposób pozwalał na rozpatrywanie betonu lekkiego jako struktury dwuskładnikowej "zaprawa-wypełniacz", celowe było przyjęcie takich parametrów składu, które wyrażałyby istotne własności fizyczne składowych elementów struktury pod kątem zbadania ich wpływu na przewodność cieplną betonu.

Kierując się takim rozumowaniem, przyjęto następujące podstawowe parametry doświadczenia

$\lambda_z$  - współczynnik przewodności cieplnej zaprawy, jako miernik jakości ciała budującego szkielet betonu,

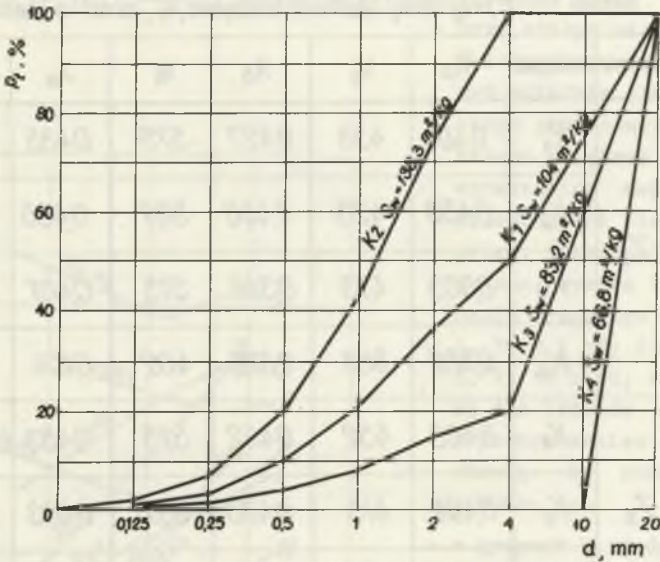
$V_k$  - objętościowy udział kruszywa w betonie, ponieważ wpływa on na geometryczną strukturę szkieletu nośnego,

$S_w$  - statyczną powierzchnię właściwą kruszywa jako podstawowy wyróżnik stosu okruszowego [6].

## 3. Metodyka i zakres badań

Istotą zastosowanej metodyki badań było komponowanie betonów przy użyciu zapraw o różnych współczynnikach przewodności cieplnej oraz stosów kruszywowych o różnych składach granulometrycznych, przy zadanym objętościowym udziale kruszywa w betonie. Badania objęły 42 różne betony łupko-

porytowe, wykonane na bazie 4 stosów okruschowych, których charakterystykę granulometryczną podano na rysunku 1 oraz 4 drobnoziarnistych zapraw cementowych  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  i  $Z_4$ , których współczynniki przewodności cieplnej podano na rysunku 2.



Rys. 1. Granulometryczna charakterystyka stosów okruschowych

Zaprawy wykonywano przy użyciu cementu portlandzkiego "350" oraz popiołów lotnych z Elektrowni Łaziska, uszlachetnionych dodatkiem pyłu krzemowego [4].

Przewodność cieplną zapraw i betonów badano przy użyciu aparatu Bocka na ciałkach próbnych o wymiarach 25 x 25 x 7 cm.

Wpływ przyjętych parametrów składu zbadano w zakresie betonów zwartych w przedziale zmienności parametrów składu  $0,25 < \lambda_b < 0,50$  Kcal/mh<sup>o</sup>C;  $360 < V_k < 640$  dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> betonu;  $60 < S_w < 140$  m<sup>2</sup>/kg. Wyniki badań zestawiono w tablicy 1.

#### 4. Omówienie wyników badań

Wyniki badań współczynników przewodności cieplnej betonów  $\lambda_b$  w zależności od objętościowego udziału kruszywa w betonie  $V_k$ , przy danym stosie okruschowym oraz danej zaprawie, zestawiono na rysunku 2; na poszczególnych krzywych podano symbole zaprawy i stosu okruschowego, z których wykonywano betony.

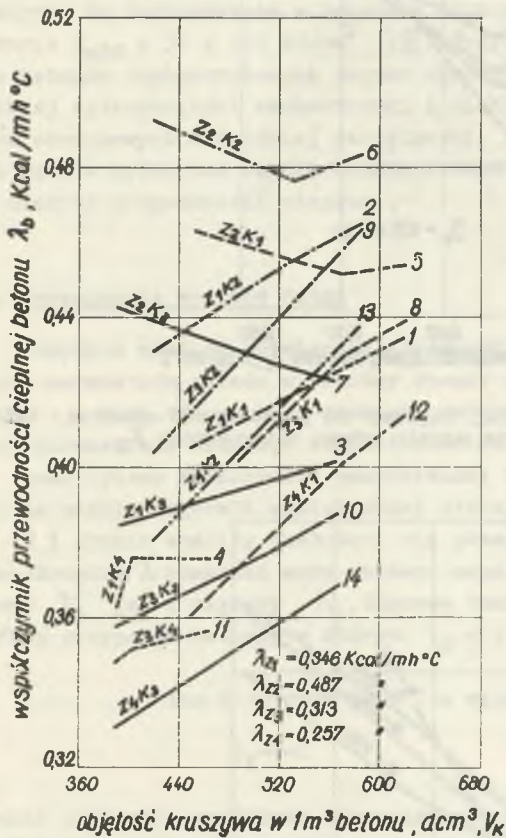
Tablica 1

## Zestawienie wyników badań

Numer serii	Symbol składnika betonu		Przewodność cieplna betonu $\lambda_b$ , Kcal/mh°C, przy danej objętości kruszywa $V_k$ , dcm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> betonu					
	zaprawa	kruszywo	$\lambda_b$	$V_k$	$\lambda_b$	$V_k$	$\lambda_b$	$V_k$
1	Z <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	0,404	458	0,427	575	0,435	621
2		K <sub>2</sub>	0,430	423	0,456	537	0,465	587
3		K <sub>3</sub>	0,383	473	0,395	515	0,401	567
4		K <sub>4</sub>	0,362	383	0,375	402	0,374	466
5	Z <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	0,463	452	0,452	575	0,453	621
6		K <sub>2</sub>	0,494	413	0,476	537	0,483	587
7		K <sub>3</sub>	0,443	389	0,428	515	0,424	567
8	Z <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>	0,392	456	0,427	575	0,438	621
9		K <sub>2</sub>	0,402	418	0,445	537	0,465	587
10		K <sub>3</sub>	0,354	371	0,378	515	0,388	567
11		K <sub>4</sub>	0,348	382	0,351	402	0,357	466
12	Z <sub>4</sub>	K <sub>1</sub>	0,360	458	0,400	575	0,413	621
13		K <sub>2</sub>	0,369	392	0,420	537	0,438	587
14		K <sub>3</sub>	0,330	389	0,357	515	0,368	567

Z analizy tych danych wynika, że:

- zmiany udziału kruszywa w betonie - w ramach grup betonów zobrazowanych przez poszczególne linie krzywe, tj. betonów wykonanych przy użyciu tej samej zaprawy i tego samego stosu okruschowego wypełniacza - wywołują zmiany przewodności cieplnej betonu; są one tym większe, im niższa jest przewodność cieplna zaprawy użytej do betonu (rysunek 2);



Rys. 2. Wpływ objętości kruszywa w betonie na przewodność cieplną betonu żupkoporytowego

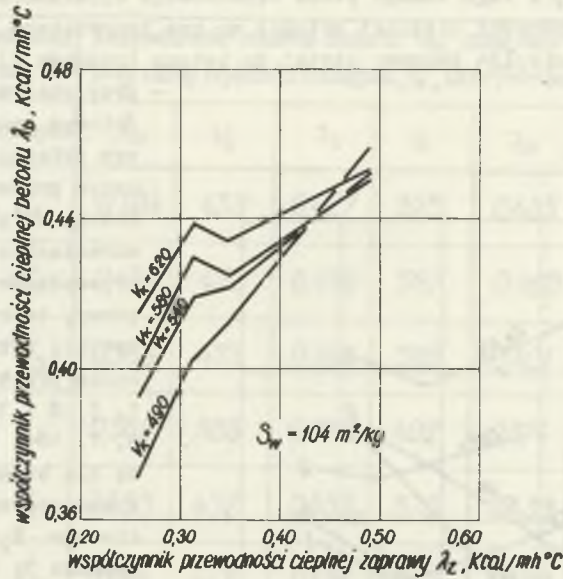
układzie modelowym "szkielet nośny - wypełniacz kruszywowy", jest przewodność cieplna czynnika dyspergującego będącego układem przestrzennym ciągłym - a więc szkieletu nośnego. Stąd wyłania się zagadnienie poszukiwa-

- przy stałym udziale objętościowym kruszywa o tym samym składzie granulometrycznym przewodność cieplna betonu zwiększa się wraz ze wzrastaniem współczynnika przewodności cieplnej zaprawy, tworzącej szkielet betonu; wynika to z porównania przebiegu krzywych nr 1, 5, 8 i 12; 2, 6, 9 i 13 3, 7, 10 i 14; taką analizę dla betonów wykonanych z zastosowaniem stosu okruschowego  $K_2$  pokazano na rysunku 3;

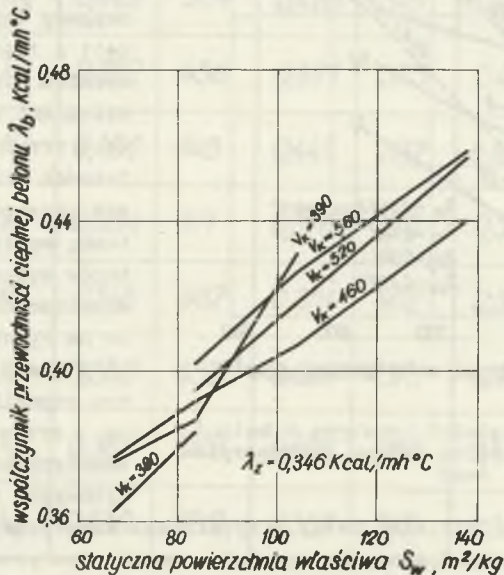
- w grupach betonów wykonanych przy użyciu tej samej zaprawy (krzywe nr 1÷4, 5÷7 8÷11 i 12÷14), wraz ze zwiększaniem się statycznej powierzchni właściwej kruszywa - przy stałej jego objętości w betonie - wzrasta przewodność cieplna betonu; analizę dla grupy betonów wykonanych z zastosowaniem zaprawy  $Z_2$  pokazano na rysunku 4.

Z badań wynika, że głównym czynnikiem wpływającym na przewodność cieplną zwartych betonów żupkoporytowych, rozpetrywanych w

nie nowych rozwiązań w zakresie doboru mikrowypełniaczy pyłowych do drobnoziarnistych tworzyw cementowych.



Rys. 3. Wpływ przewodności cieplnej zaprawy na przewodność cieplną betonów wykonanych przy użyciu stosu okruskowego  $K_2$



Rys. 4. Wpływ składu granulometrycznego kruszywa na przewodność cieplną betonów wykonanych przy użyciu zaprawy  $Z_2$

Z drugiej jednak strony niemniej ważnym czynnikiem, wpływającym na przewodność cieplną zwartych betonów żupkoporytowych, jest skład granulometryczny kruszywa będącego czynnikiem zdyspergowanym.

Z przedstawionych badań wynika, że ze względu na przewodność cieplną najmniej efektywne okazały się betony wykonane z zastosowaniem szczelnych stosów okruchowych  $K_2$  ( $D_{\max} = 5$  mm) i  $K_1$  ( $D_{\max} = 20$  mm), charakteryzujących się wysoką gęstością sprowadzoną, a więc niższą porowatością ziarnową.

Lepsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu stosów okruchowych średnio zwartych, jak np. stosu okruchowego  $K_3$ , który, jak dotychczas, proponowany był jedynie do zastosowania w betonach żupkoporytowych o wytrzymałości na ściskanie  $R_{w28} = 50 \div 110$  kg/cm<sup>2</sup> [13]. Przypuszcza się, że przy zastosowaniu do betonów żupkoporytowych zapraw cementowo-popiołowych o odpowiednio wysokiej wytrzymałości mechanicznej i niskiej przewodności cieplnej oraz stosów okruchowych o średniej szczelności, jak np. stosu okruchowego  $K_3$  - można będzie wytwarzać betony żupkoporytowe o wytrzymałości  $R_{w28} > 110$  kg/cm<sup>2</sup> i niskiej przewodności cieplnej.

## 5. Opracowanie wyników badań

Powyższa analiza potwierdza słuszność założenia, że każdy z rozpatrywanych parametrów składu w istotny sposób wpływa na przewodność cieplną betonu - a więc celowe było szukanie związku analitycznego zachodzącego między parametrami składu, a współczynnikiem przewodności cieplnej betonu.

Analityczne wyznaczenie poszukiwanej funkcji  $\lambda_b = f(\lambda_z, V_K, S_W)$  oparto na modelu regresji wielokrotnej ujętej w 3 etapy analizy.

W I etapie analizy posłużono się płaszczyzną  $\pi_1$  ( $\frac{\lambda_z}{1-V_K}; \lambda$ ), na której współrzędna  $\lambda$  oznaczać może zarówno współczynnik przewodności cieplnej betonu  $\lambda_b$  jak i zaprawę  $\lambda_z$ . Zaprawę bowiem można rozpatrywać jako szczególny przypadek betonu, w którym  $V_K = 0$ , co można zapisać

$$\begin{array}{ccc} \lim B \longrightarrow & Z, & \text{a więc} & \lim \lambda_b = \lambda_z \\ & V_K \longrightarrow C & & V_K \longrightarrow 0 \end{array}$$

Takie założenie umożliwia równoczesne rozpatrywanie na płaszczyźnie  $\pi_1$  własności zapraw i betonów, przy czym punkty odpowiadające zaprawom leżeć będą na dwusiecznej I ćwiartki układu, natomiast punkty odpowiadające betonom zawierać się będą w obszarze ograniczonym tą dwusieczną i osią poziomą układu.

Po naniesieniu wyników badań na płaszczyznę  $\pi_1$  stwierdzono, że zbiory punktów o współrzędnych  $[\frac{\lambda_z}{1-V_K}, \lambda]$ , mające tę własność, że  $\lambda_z = \text{const}$ , ukła-

dają się w pęki krzywych o wierzchołkach  $[\lambda_z, \lambda_z]$ . Krzywe te aproksymowano do prostych, dla których założono równanie

$$\lambda_{vb} = A \left( \frac{\lambda_z}{1 - V_k} - \lambda_z \right) + \lambda_z \quad (1)$$

gdzie: A jest liczbą przyporządkowaną odpowiednim wartościom  $\lambda_z$  i  $S_w$ .

W II etapie analizy poszukiwano związku między A i  $\lambda_z$ . W tym celu rozpatrzono płaszczyznę  $\pi_2(\lambda_z, A)$  i stwierdzono, że zbiory punktów o własnościach  $S_k = \text{const.}$  układają się na krzywych, które można było aproksymować do prostych o równaniu

$$A = a \cdot \lambda_z + b \quad (2)$$

W III etapie analizy, po uśrednieniu współczynników kierunkowych prostych (2) przebiegających równolegle, szukano związku między współczynnikami "b" prostych (2) a charakterystyką stosów okruszowych, wyrażoną przez ich styczną powierzchnię właściwą  $S_w$ . Wobec liniowego charakteru zmian krzywej doświadczalnej uzyskanej na płaszczyźnie  $\pi_3(S_w, b)$ , aproksymowano ją do prostej o równaniu

$$b = m \cdot S_w + n \quad (3)$$

W wyniku obliczeń współczynników regresji w II i III etapie funkcja (2) przybiera ostateczną postać

$$A = -2,1 \cdot \lambda_z + 0,0027 \cdot S_w + 0,64 \quad (4)$$

oznaczając

$$\frac{V_k}{1 - V_k} = \varphi \quad (5)$$

jako wskaźnik koncentracji kruszywa w betonie, zależność (1) przyjmuje ostateczną postać

$$\lambda_{vb} = \lambda_z (1 + A \cdot \varphi) \quad (6)$$

gdzie współczynnik "A" oblicza się ze wzoru (4), wyrażającego wpływ statycznej powierzchni właściwej stosu okruszowego, w zależności od przewodności cieplnej zaprawy, na przewodność cieplną betonu.



## 6. Wnioski

Z przedstawionych badań wynika, że zaproponowane parametry składu wpływają w istotny sposób na przewodność cieplną betonu, a więc są wyróżnikami jego struktury wewnętrznej.

Znaczny wpływ na przewodność cieplną betonu wywiera przewodność cieplna zaprawy jako budulca szkieletu.

W miarę jednak zwiększania się udziału kruszywa w betonie, na jego przewodność cieplną w coraz większym stopniu wpływa skład granulometryczny kruszywa oraz jego objętościowy udział w betonie. Tak więc, w myśl wzoru (6), poprzez dobór parametrów zaprawy oraz stosu okruszowego wypełniacza możliwym jest wpływanie na przewodność cieplną betonu. Praktyczną przydatność w tym względzie mogą mieć stosy okruszowe średnio zwarte, np. stos  $K_3$ , a także niskocementowe zaprawy cementowo-popiołowe. Ponieważ, jak wykazano w [9], przy pomocy analogicznych parametrów składu można opisać wytrzymałość zwanego betonu żupkoporytowego wykonanego przy użyciu znanej zaprawy, zależność (6) umożliwia - poprzez odpowiedni dobór parametrów składu - optymalizowanie zwartych, izolacyjno-konstrukcyjnych betonów żupkoporytowych ze względu na ich wytrzymałość i przewodność cieplną. W ten sposób można będzie znacznie podnieść efekty techniczno-ekonomiczne w stosowaniu tego rodzaju betonów do jednowarstwowych przegród zewnętrznych.

## LITERATURA

- [1] Gaca W.: Lekkie betony konstrukcyjne  $R_w = 170+300 \text{ kg/cm}^2$  z kruszywa "Knurów". ZNPG, Budownictwo Lądowe VII, 1963.
- [2] Iwanow-Diatkow U.G.: Beton keramzytowy wysokich marek i jego zastosowanie do wznoszenia mostowych i wodnych budowli inżynierskich. Bieton i żelezobieton nr 4/1964.
- [3] Kaufman B.N.: Tęplotępowodność' stroitielnych materiałow. Stroitel'naja Promyszlennost' 8/1951.
- [4] Krause H., Pichocki E.: Pucolanowe własności hutniczego popiołu lotnego. Cement Wapno Gips 3/1972.
- [5] Mikoś J.: Pumeksopyłobeton z mikrowypełniaczem pyłowym. Praca doktorska, Gliwice 1964.
- [6] Mikoś J., Szwabowski J.: Powierzchnia właściwa lekkich kruszyw porowatych. Inżyniera i budownictwo 11/1972.
- [7] Morozow N.W., Piermiakow S.I., Teczkowa N.A.: Tęplotięchniczieskije swojstwa logkich bietonow i ograżdajuszczich konstrukcji iz nich. Bieton i Żelezobieton 3/1967.
- [8] Osipow K.A.: O rasczotnych kooficjentach tępłoprowodnosti keramzytobietona. Bieton i żelezobieton 8/1963.
- [9] Pichocki E.: Kształtowanie podstawowych własności zwartych izolacyjno-konstrukcyjnych betonów żupkoporytowych metodą chudego zaczynu cementowo-popiołowego. Praca doktorska, Gliwice 1974.
- [10] Popow N.A., Sztein J.Sz., Teczkowa N.A.: O tępłoprowodnosti bietonow na osnowie szłakowej piemy. Stroitel'nyje materiały 3/1962.

- [1] Spiwak N.I., Uszkow F.W., Umniakow P.N., Taczkowa N.A.: *Теплопроводность керамзубетона. Бетон и железобетон* 4/1968.
- [2] Ujhelyi I.: *Op-to-date methods - for designing concrete composition* Build International 3/1969.
- [3] Roszak W.: *Technologia betonów z kruszyw lekkich*. Arkady, Warszawa 1970.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВА БЕТОНА  
ОС СЛАНЦЕВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ НА ЕГО ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Р е з ю м е

В статье доказано, что теплопроводность раствора, его объем в бетоне, а также статическая поверхность легкого заполнителя влияют на теплопроводность бетона. Формулу (6) можно применять при проектировании лёгкого бетона равномерно по отношению его прочности и теплопроводности.

ON THE EFFECT OF SOME SELECTED MIX PARAMETERS OF COAL SHALE  
AGGREGATE CONCRETE ON ITS THERMAL CONDUCTIVITY

S u m m a r y

In the paper it has been demonstrated that thermal conductivity of mortar, the volume of mortar in concrete, and the aggregate static surface have a marked effect on the thermal conductivity of concrete. Formula no 6 be used in designing lightweight concrete mixers, taking at the same time into account its mechanical strength and thermal conductivity.