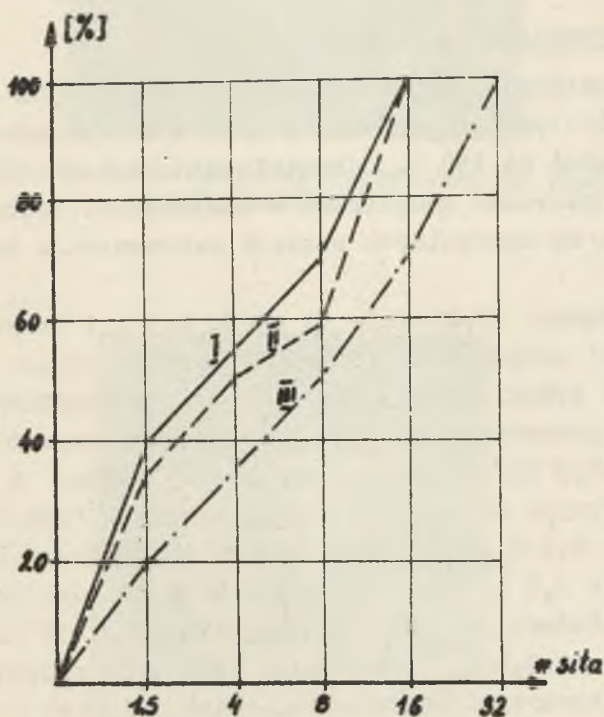


MIROSŁAW CHUDEK, RYSZARD MOROZ

KSZTAŁTOWANIE SIĘ NIEKTORYCH WŁASNOŚCI ZAPRAW I BETONÓW
STOSOWANYCH W OBUDOWACH WYROBISK GÓRNICZYCH
W ŚWIĘTLE BADAŃ LABORATORYJNYCH1. Cel i zakres pracy

Wykonywane w budownictwie podziemnym kopalń wyrobiska górnicze w zależności od warunków górniczo-geologicznych projektowane są między innymi w obudowie betonowej, betonitowej i coraz rzadziej w obudowie ceglanej. Wyrobiska wykonywane w warunkach górotworu dającego naciski statyczne ze względów korzyst-



Rys. 1. Krzywe uziarnienia kruszywa użytego do badań

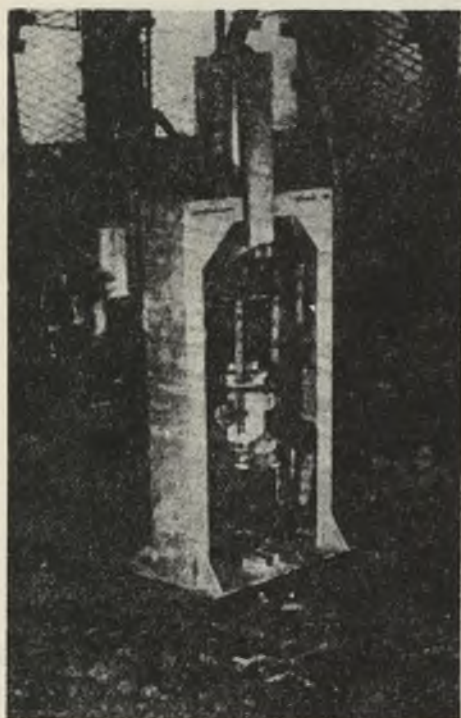
nej współpracy z górotworem są wykonywane w obudowie betonowej. Za stosowaniem tej obudowy przemawiają także efekty ekonomiczne. W przypadku wykonywania obudowy betonitowej czy ceglanej jak podano w pracy [1] celowym i ekonomicznie uzasadnionym jest stosowanie zapraw marek zbliżonych do marek prefabrykatów. Do betonów i zapraw przeważnie używa się cementów portlandzkich marki 250 i 400 o stosunkach 1:2, 1:4, kruszywo o ziarnach 0-40 mm wg krzywych uziarnienia rys. 1.

Celem ustalenia niektórych własności wytrzymałościowych wyżej omówionych materiałów obudowy zaprojektowano i wykonano w Zakładzie Mechaniki Górotworu i Obudowy urządzenie rys. 2 w którym prowadzono badania laboratoryjne na próbkach o wysokości $H = 300$ m i średnicy $D = 150$ mm rys. 3. Próbkę do badań wykonywano zgodnie z normami PN/B, a w celu stworzenia właściwych warunków ich dojrzewania w okresie 28 dni przechowywano je w specjalnym basenie [2].

2. Przebieg prowadzenia badań

Oznaczanie niektórych parametrów wytrzymałościowych przygotowanych uprzednio prób dokonano w prasie hydraulicznej WK-1 o zakresie obciążeń do 150 t. Odkształcenia pionowe i poziome badanych próbek mierzono czujnikami o dokładności odczytu 0,002 mm umocowanymi na specjalnych ramkach wykonanych z płaskownika, rys. 4.

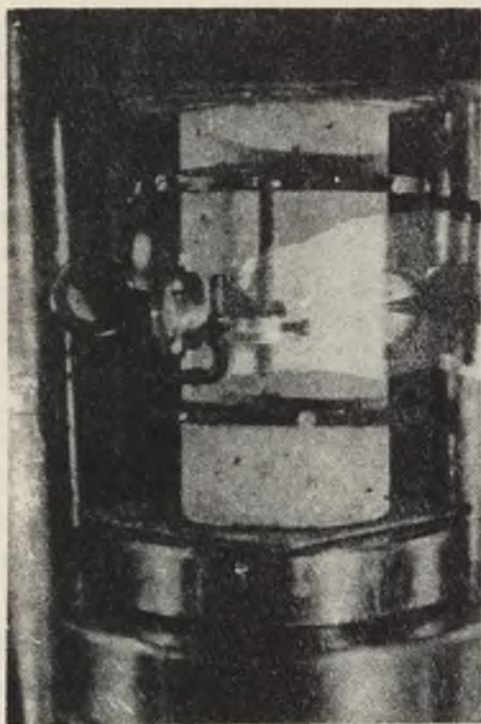
Próbki obciążano 10-krotnie od około $0,5 R_c$. Przyrost obciążenia próbki przyjęto co 10 KG/cm^2 na manometrze. Czas trwania obciążenia próbki przy poszczególnych ciśnieniach wynosił 3 minuty przy zachowaniu szybkości narastania naprężeń R_c w granicach $2,5-5,0 \text{ KG/cm}^2$ sek. (cała próbka badana w ciągu 2,5 godz.). Odczyty dokonywano przy pierwszych trzech obciążeniach do około $0,5 R_c$. Następnie próbki obciążano i odciążano 6 razy do około $0,5 R_c$ bez odczytywania czujników. Ostatni 10 raz próbkę obciążano podobnie jak poprzednio co 10 KG/cm^2 na manometrze, aż do $0,8 R_c$, odczytując wskazania czujników. Przy występowaniu pierwszych spękań zdejmowano czujniki z układu



Rys. 2. Urządzenie do badania wytrzymałości na rozrywanie skał i materiałów obudowy



Rys. 3. Próbkki użyte do badań



Rys. 4. Widok próbki podczas pomiarów przy ściskaniu.



Rys. 5. Widok próbki w urządzeniu po jej rozerwaniu.

pomiarowego i stopniowo co 3 min. obciążano, aż do zniszczenia próbki. Próbki obciążano 10-krotnie, aby wyeliminować odkształcenie plastyczne dla obliczania współczynnika sprężystości E i liczby Poissona.

Współczynnik sprężystości obliczano ze wzoru:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l_{\text{śr}}}{l \text{ bazy}}$$

$$\Delta l_{\text{śr.}} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}$$

gdzie:

Δl - przyrosty długości w poszczególnych stadiach pomiarów (przy 10 pomiarze),

l - długość bazy średnio około 150 mm.

Liczbę Poissona obliczono ze wzorów:

$$\mu = \frac{\epsilon_p}{\epsilon}$$

$$\epsilon_p = \frac{\Delta d_{\text{śr}}}{d}$$

$$\Delta d_{\text{śr}} = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2}{2}$$

Przy obliczaniu modułu E i μ brano wskazania czujników przy 10 pomiarze. Wyniki pomiarów zestawiono w tabelicy 1.

Próby na rozciąganie badano na walcach normowych o $d = 150$ mm, $h = 300$ mm w sposób jak na rys. 5. W urządzeniu tym zaprojektowano uchwyty składające się z dwu podwójnych pierścieni o zbieżności $2,5^\circ$. Na pierścieniu wewnętrznym przytrzymującym próbkę był nacięty gwint o skoku 3 mm.

Tablica 1

Nr próbki (cementu)	Stosunek betonu	W y t r z y m a ł o ś ć p r z y				
		ścisnaniu			rozciąganiu	
		$\mu_{\text{śr}}$	$E \cdot 10^3$ [KG/cm ²]	σ_0 [KG/cm ²]	$E_R \cdot 10^3$ [KG/cm ²]	σ_R [KG/cm ²]
250/I 250/II 250/III	1:2	0,168 0,143 0,136	273,625 218,625 229,577	325,25 283,5 248,85	218,2 161,18 188,0	12,64 11,62 9,34
400/I 400/II 400/III	1:2	0,160 0,149 0,137	264,650 274,300 205,111	378,0 388,50 321,50	431,50 179,90 608,400	12,78 12,64 14,28
250/I 250/II 250/III	1:4	0,142 0,132 0,164	226,0 207,72 145,60	224,0 210,0 168,0	173,129 169,42 100,68	9,76 9,41 8,50
400/I 400/II 400/III	1:4	0,152 0,132 0,194	244,0 258,0 300,0	314,5 318,0 329,0	394,1 397,20 587,60	12,50 11,92 14,28

Pierścień wewnętrzny ciasno obejmujący próbkę pod działaniem siły wchodził do pierścienia zewnętrznego. W czasie działania siły pochodzącej od działania podnośnika hydraulicznego następowało zaklinowanie się pierścieni, pierścień zewnętrzny ścisnął wsuwany w niego pierścień wewnętrzny, a ten silnie chwycił próbkę, uniemożliwiając wysunięcie się próbki z pierścienia.

Pierścień górny zewnętrzny przymocowany był za pomocą czterech śrub przez układ sworzni do podnośnika hydraulicznego, który ustawiony był na ramie urządzenia rozrywającego. Pierścień dolny zewnętrzny był przymocowany za pomocą śrub i sworzni do podstawy ramy urządzenia. Układ pomiarowy czujników był zamocowany identycznie jak w prasie hydraulicznej podczas ściskania próbek.

Baza pomiarowa wynosiła 150 mm. Sposób umocowania, układ pomiarowy podczas ściskania i rozrywania próbki przed i po zniszczeniu obrazują rys. 4, 5, 6. Metoda pomiaru odkształceń przy rozrywaniu była taka sama jak przy pomiarze odkształceń w czasie ściskania próbek. Odczyty z czujników dokonywano po przyroście ciśnienia 10 KG/cm^2 wskazywanego na manometrze. Powierzchnia tłoka podnośnika hydraulicznego była dużo mniejsza niż tłoka prasy hydraulicznej WK-1 i wynosiła $24,630/\text{cm}^2$.

3. Wyniki badań

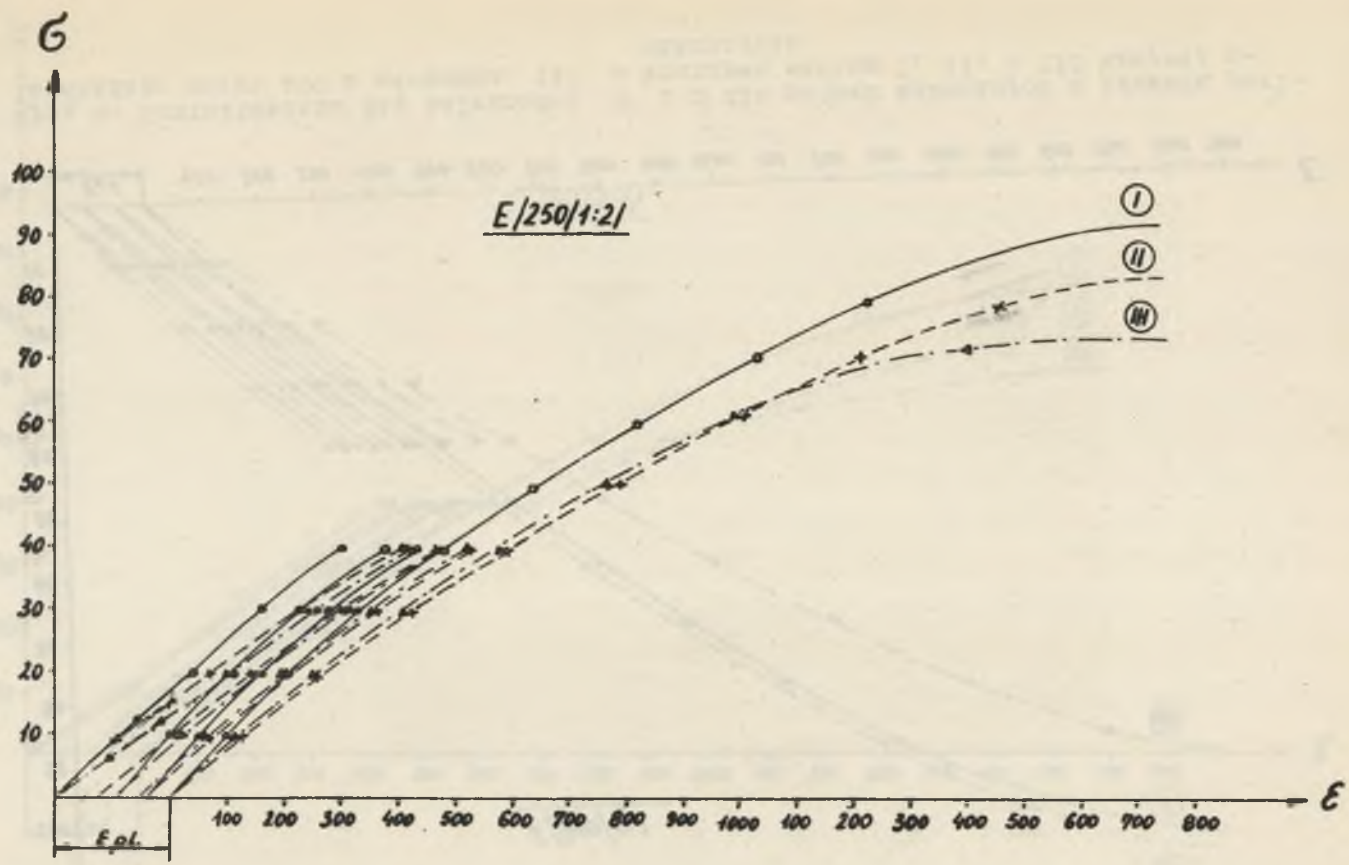
Skrócone wyniki z badań pokazano w tablicy 1 oraz na rys. 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16.

4. Zakończenie

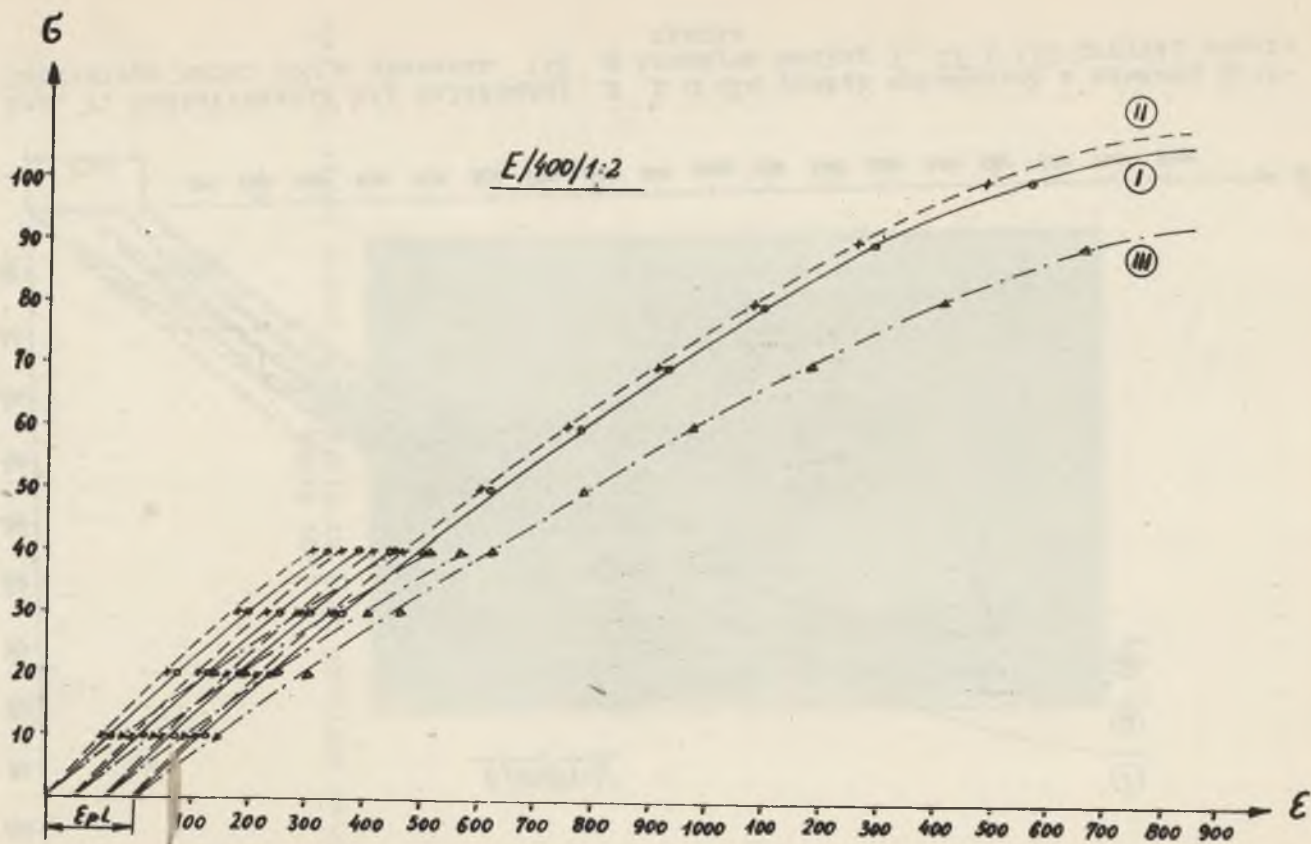
Analizując wyniki badań laboratoryjnych zauważono, że przy rozrywaniu próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400 moduł $E_p > E$, co rzutuje na większą wytrzymałość spoiwa cementowego niż wytrzymałość pewnej grupy ziarn kruszywa. Zaprawy wykonane z cementu marki 250 i kruszywa o uziarnieniu według I krzywej, posiadały największy moduł sprężystości przy



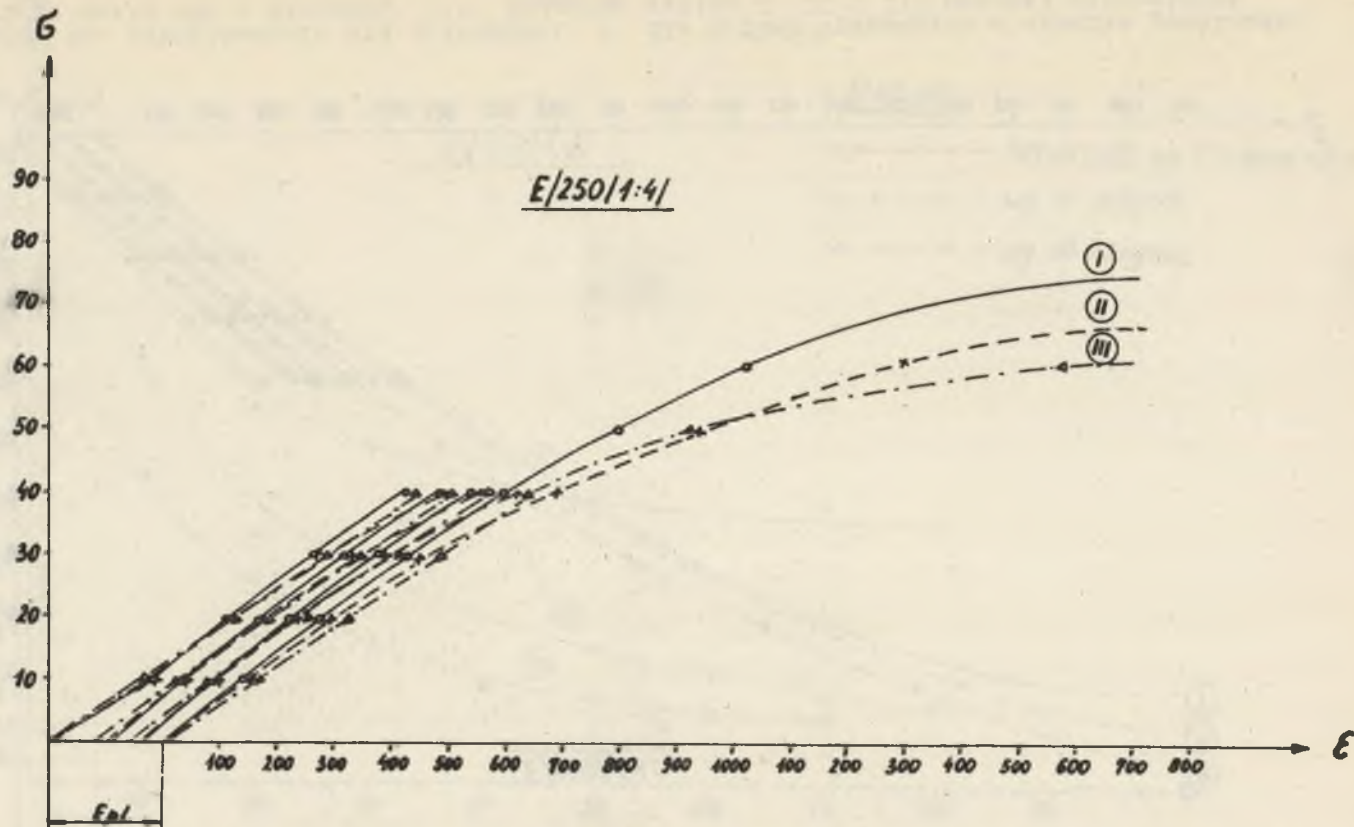
Rys. 6. Widok próbki po ściśnięciu (kąąt poślizgu materiału około 60°)



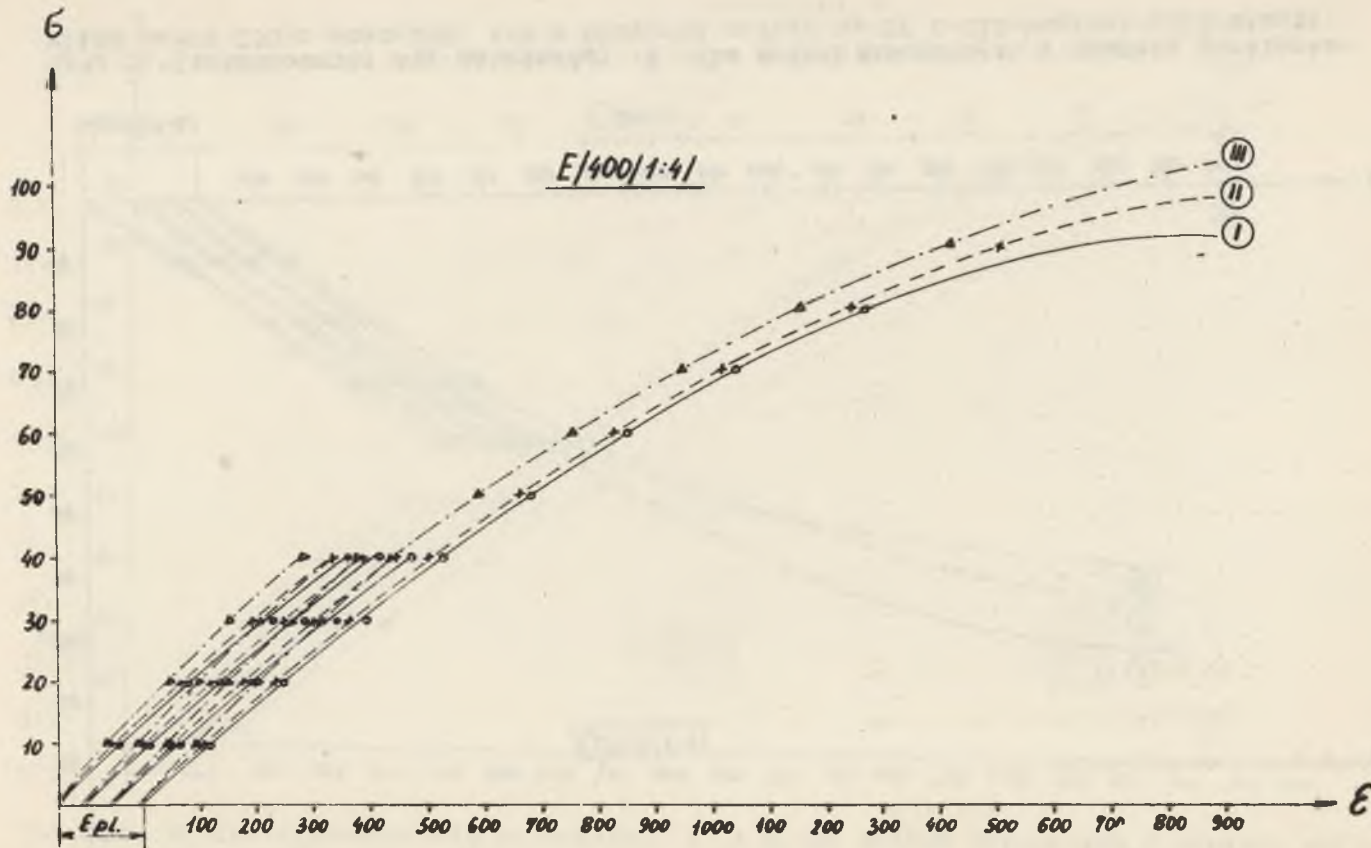
Rys. 7. Kształtowanie się zależności E i σ dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 250 o stosunku 1:2 z kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



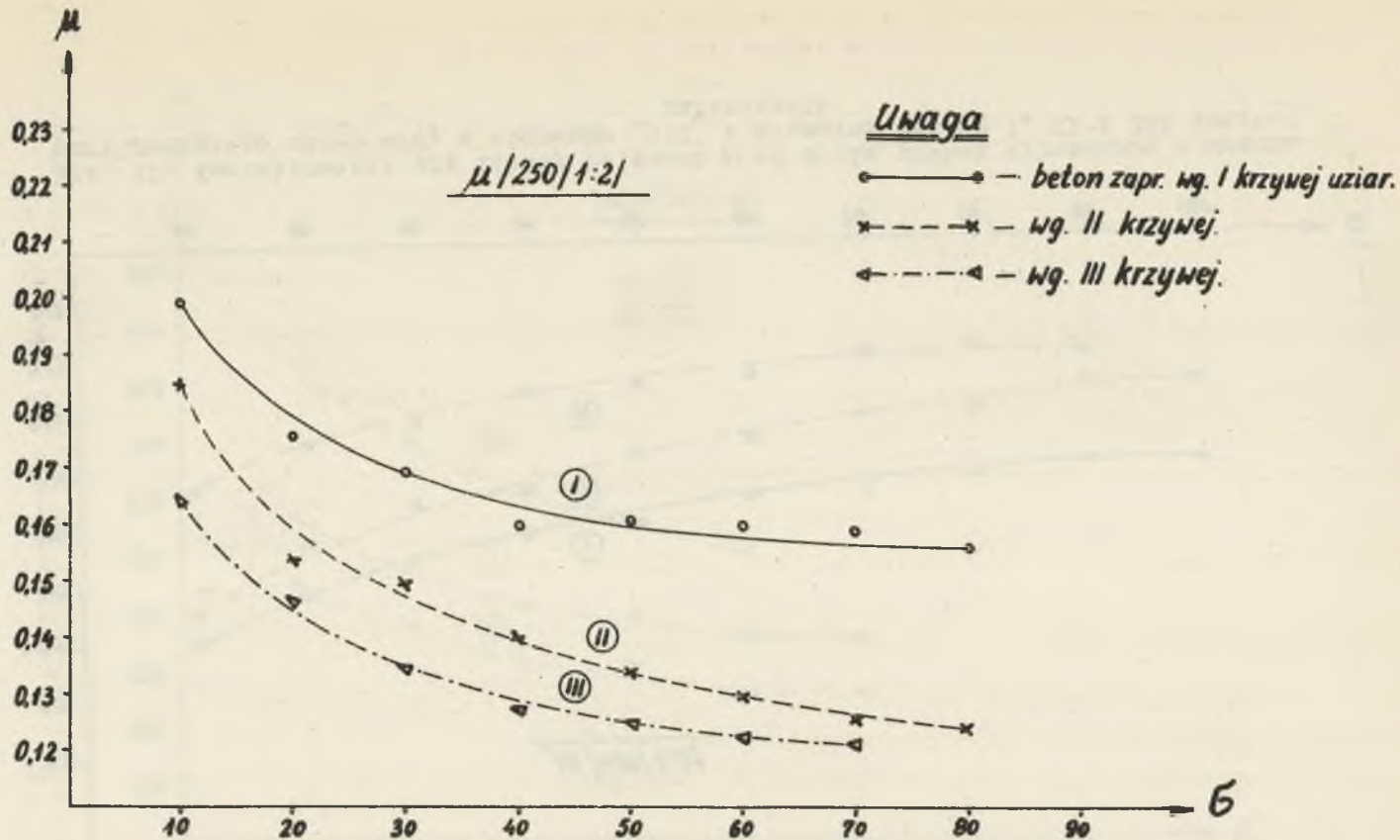
Rys. 8. Kształtowanie się zależności ϵ i σ dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400 o stosunku 1:2 z kruszywa według I, II, i III krzywej uziarnienia



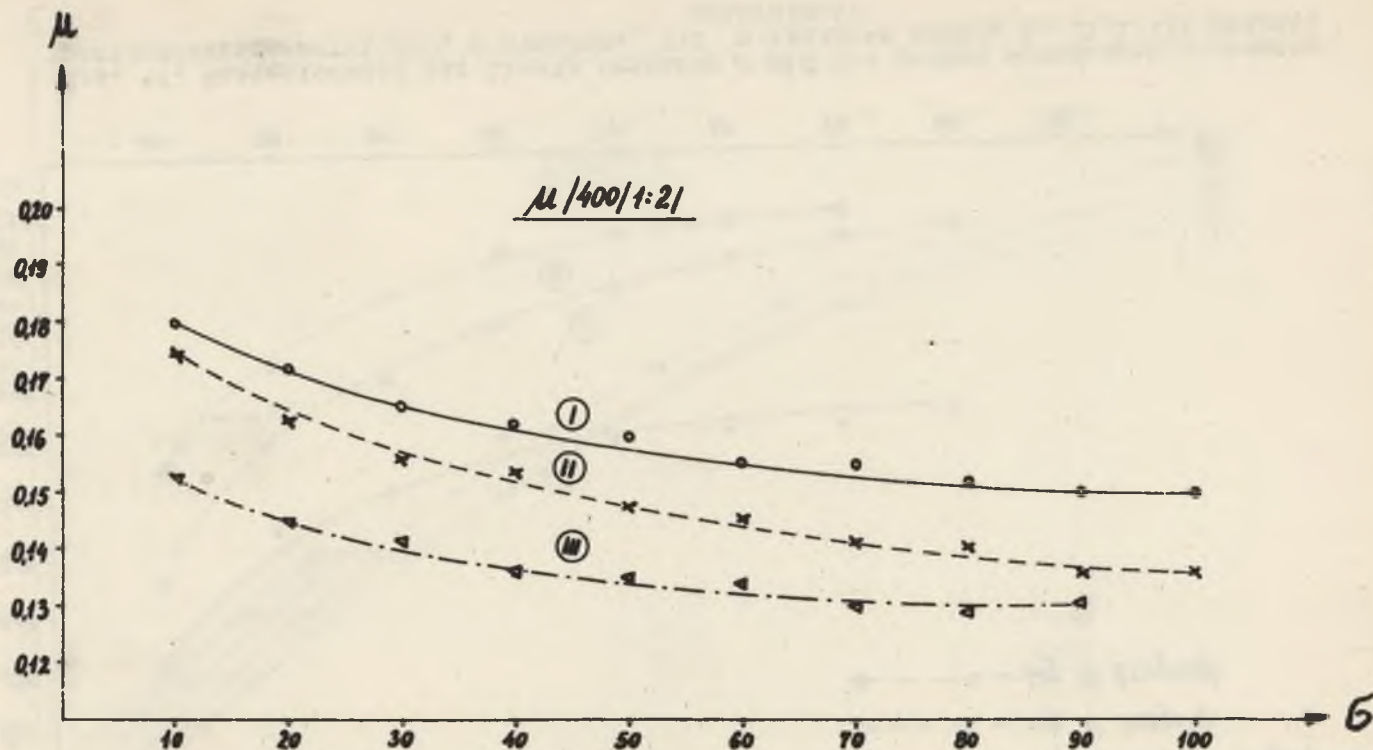
Rys. 9. Kształtowanie się zależności E dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 250 o stosunku 1:4 z kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



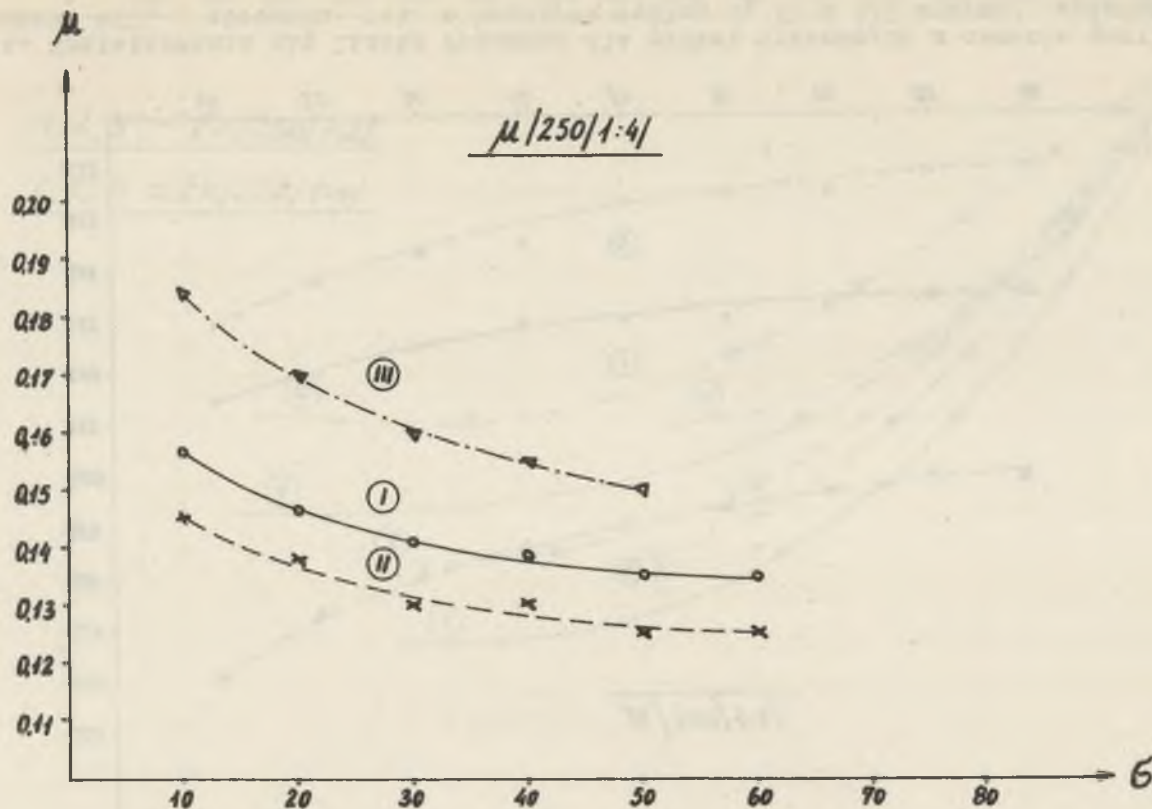
Rys. 10. Kształtowanie się zależności E dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400 o stosunku 1:4 kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



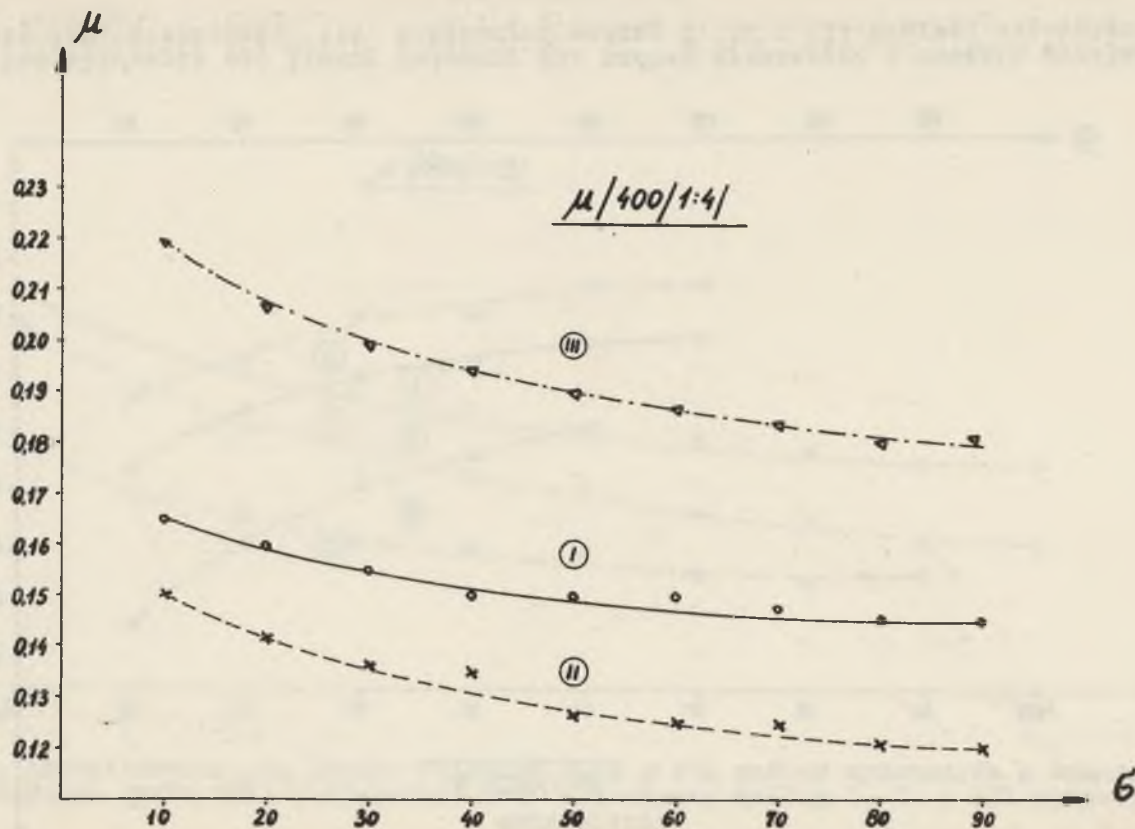
Rys. 11. Kształtowanie się liczby Poissona μ od σ dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 250, o stosunku 1:2 z kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



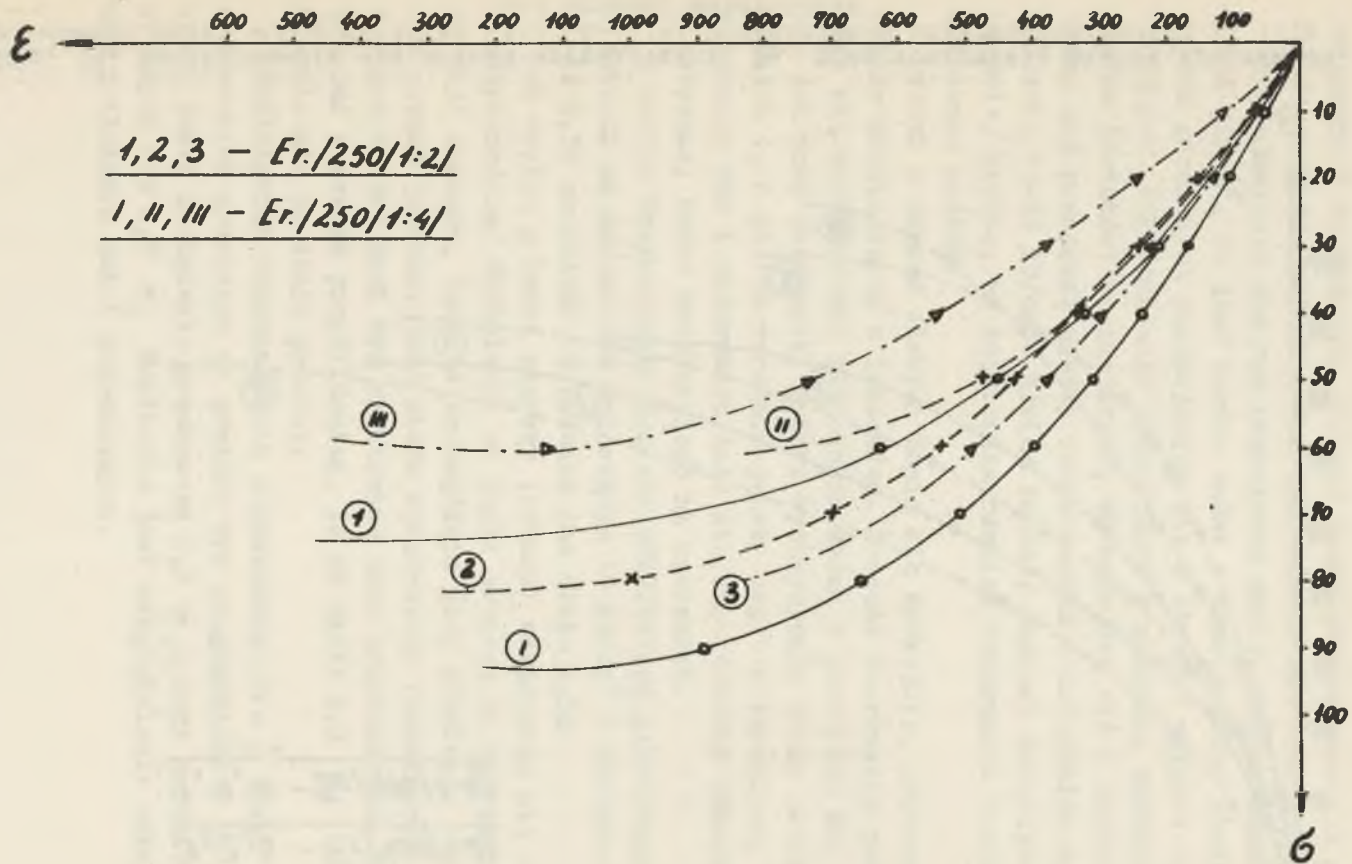
Rys. 12. Kształtowanie się liczby Poissona μ od σ dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400, o stosunku 1:2 z kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



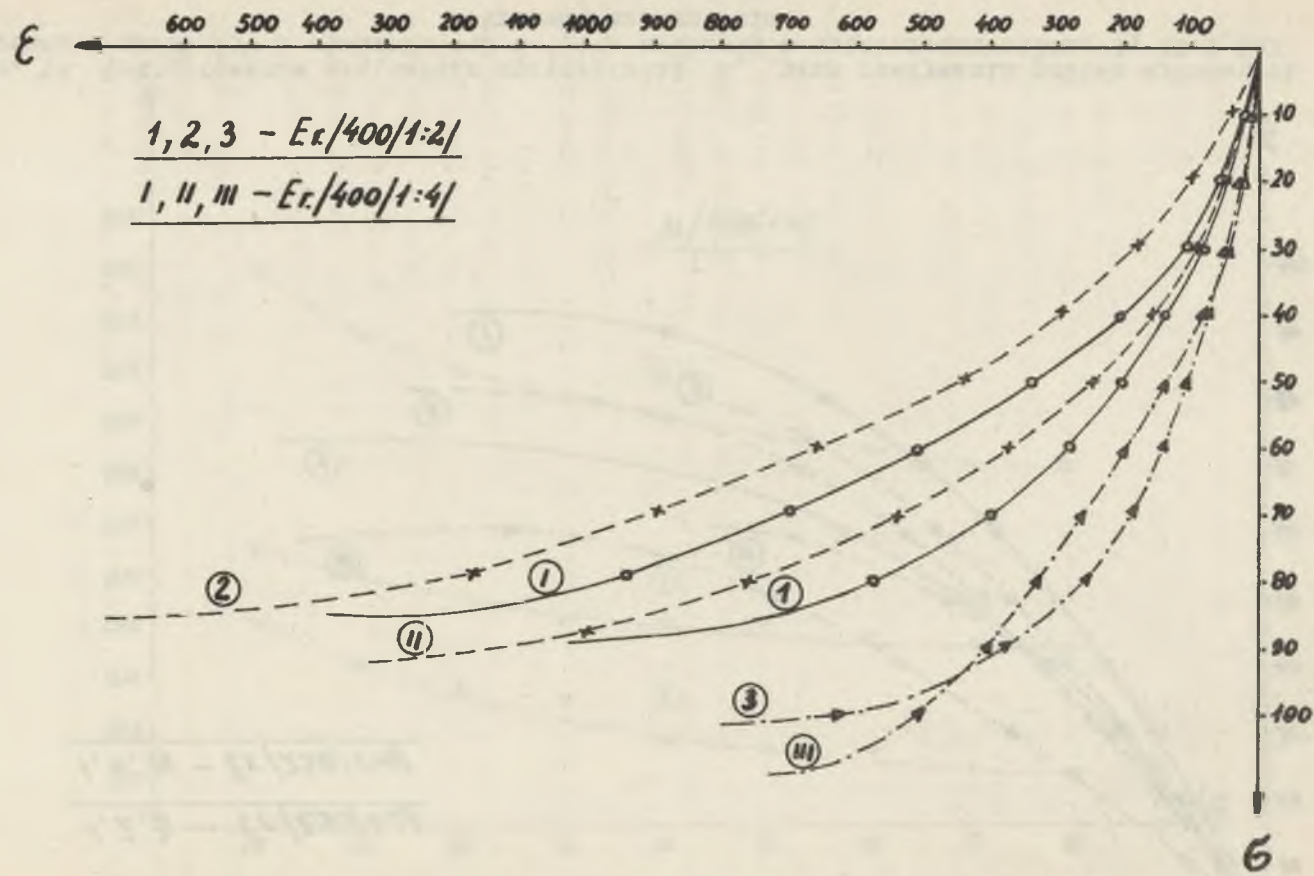
Rys. 13. Kształtowanie się liczby Poissona dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 250, o stosunku 1:4 z kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



Rys. 14. Kształtowanie się liczby Poissona dla próbek wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400, o stosunku 1:4 z kruszywa według I, II i III krzywej uziarnienia



Rys. 15. Kształtowanie się modułu sprężystości E , przy rozrywaniu próbek wykonanych z cementu marki 250 o stosunku 1:2 i 1,4 z kruszywa o uziarnieniu według I, II i III krzywej uziarnienia



Rys. 16. Kształtowanie się modułu sprężystości E_T przy rozrywaniu próbek wykonanych z cementu marki 400 o stosunku 1:2 i 1:4 z kruszywa o uziarnieniu według I, II i III krzywej uziarnienia

ściskaniu i rozrywaniu. Podczas badań obserwowano iż z chwilą zarysowania się próbek pełna jej nośność nie była wykorzystana.

Po pojawieniu się rys naprężenia mogły jeszcze wzrastać do $30+40 \text{ KG/cm}^2$, co jest bardzo ważne w czasie pracy obudowy wyrobisk górniczych znajdujących się w obrębie wpływów eksploatacyjnych. Odkształcenia jednostkowe w momencie zarysowania zapraw (betonów) mocniejszych, są mniejsze niż z zapraw słabych, zaś przedział między zarysowaniem i załamaniem wynosi zaledwie $15-25 \text{ KG/cm}^2$. Mówiąc inaczej zaprawy mocniejsze są bardziej kruche, co potwierdza również obserwacja charakteru załamania próbek.

Próbki z zapraw słabych łamią się spokojnie, natomiast z zapraw mocniejszych z trzaskiem. Podczas rozrywania próbek nie dało się zaobserwować widocznych zmian w przekroju ani też rys tak jak przy ściskaniu. Próbki wytrzymywały pewne obciążenie - tablica 1, a po ich wzroście pękały nagle z trzaskiem. Tak przy ściskaniu jak i rozrywaniu dało się zaobserwować odkształcenia plastyczne, które uwidoczniono na wykresach.

W wyniku trzykrotnego pomiaru odkształceń plastycznych przy ciśnieniu na manometrze wynoszącym 10 KG/cm^2 i obciążeniu próbeki do $0,50$ zauważono iż wynoszą one około $0,5\epsilon$.

Jak wynika z badań zaprawy (betonu) odznaczają się znaczną plastycznością. Odchylenia od linii prostej na wykresach $\sigma(\epsilon)$ są dość znaczne, tak, że szczególnie przy ściskaniu traktowanie zapraw (betonu) jako ciała sprężystego (nawet przy obciążeniach $0,5\sigma$) musi być traktowane jako przybliżenie. Można przyjąć z pewnym przybliżeniem, iż do około $0,3 \sigma_c$ moduł E zmienia się po linii prostej.

Współczynnik odkształcenia poprzecznego $m = \frac{1}{\mu}$ jest zmienny w szerokich granicach co powinno być uwzględnione w obliczeniach jeśli obciążenie przekracza $0,3 \sigma_c$. Przy naprężeniach wyższych niż $0,5 \sigma_c$ konieczne jest uwzględnienie odkształceń tak podłużnych jak i poprzecznych.

LITERATURA

- [1] Borecki M., Neyman B.: Obudowa wyrobisk przygotowawczych i eksploatacyjnych. Obudowa kamienna. Poradnik Górnika T. II, cz. 1.
- [2] Brandt A., Thiel K.: Odkształcenia powolne betonu. Rozprawy Inżynierskie T. VIII, 1960 r.
- [3] Bryła S., Suwałski: Beton i żelbet. Wydanie II, Warszawa 1954 r.
- [4] Bukowski B.: Technologia betonów i zapraw ITB Gdańsk, 1954 r.
- [5] Chudek M.: Studia nad wytrzymałością murów z prefabrykatów stosowanych w budownictwie podziemnym kopalń, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1964 r. Nr 10.
- [6] Chudek M.: Zagadnienie przepływu wody przez rury murowe wykonane dla potrzeb górnictwa, Archiwum Hydrotechniki, 1963 r. z. 4, T. X.
- [7] Domański H.: Ustalenie składu betonu o wysokiej wytrzymałości, Prace ITB, seria I, Nr 4, Materiały budowlane i ich zastosowanie, Warszawa 1956 r.
- [8] Eimer C.: Reologiczna teoria wytrzymałości i jej zastosowanie do betonu. Rozprawy Inżynierskie T. 11, z. 4, 1963 r.
- [9] Rüsck H.: Versuche zur Festigkeit der Biegedruckzone. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 120, Berlin 1955 r.

**ФОРМИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ И БЕТОНОВ
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
В СВЕТЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Р е з ю м е

В работе представлены и описаны результаты лабораторных исследований в области прочности растворов (бетонов), представленных в работе

**THE FORMATION OF SOME PROPERTIES OF MORTAR AND
CONCRETE APPLIED IN THE LINING OF EXCAVATIONS FROM THE
POINT OF VIEW OF LABORATORY RESEARCHES**

Summary

In this article there are presented the results of laboratory investigations concerning the strength of mortar and concrete as shown in literature [5].