

# **CEMENT: OZNACZANIE KONSYSTENCJI ZACZYNU, CZASU WIĄZANIA, KONSYSTENCJI ŚWIEŻEJ ZAPRAWY ORAZ WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE I ŚCISKANIE (KLASY CEMENTU)**

## **NORMY**

PN-EN 197-1: Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.

PN-EN 196-1: Metody badania cementu. Część 1: Oznaczenie wytrzymałości.

PN-EN 196-3: Metody badania cementu. Część 3: Oznaczenie czasów wiązania i stałości objętości.

PN-EN 1015-3: Metody badań zapraw do murów. Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplywu).

PN-EN 934-2: Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie.

## **WSTĘP TEORETYCZNY**

Cement – spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą tworzy masę, wiążącą i twardniejącą w wyniku reakcji i procesów hydratacji, zachowującą po stwardnieniu wytrzymałość i trwałość także pod wodą.

Spoivo w betonie – składnik, który w wyniku przemian fizycznych, chemicznych lub fizykochemicznych twardnieje, łącząc się w monolityczną całość z kruszywem. Wyróżnia się spoiwa powietrzne i hydrauliczne.

Spoivo powietrzne – spoiwa, dla których procesy wiązania i twardnienia zachodzą tylko na powietrzu. Należą do nich: wapno zwykłe, wapno suchogaszone (hydratyzowane), gips.

Spoiva hydrauliczne – spoiwa, które po zarobieniu wodą ulegają wiązaniu i twardnieniu zarówno na powietrzu, jak i w wodzie. Należą do nich: wapno hydrauliczne, cementy.

Zaczyn budowlany - mieszanina spoiwa mineralnego z wodą lub innym roztworem. Wyróżnia się zaczyny: cementowe, wapienne, cementowo-wapienne, gipsowe, gipsowo-wapienne.

Zaprawa – mieszanina: spoiwa lub lepiszczy (względnie obu tych materiałów), drobnoziarnistych kruszyw, wody lub innej cieczy zarobowej, ewentualnych dodatków i domieszek, poprawiających właściwości zaprawy świeżej lub stwardniałej.

Ciepło hydratacji – ilość ciepła wydzielonego podczas hydratacji cementu w ustalonym przedziale czasu.

Składnik główny – specjalnie wybrany materiał nieorganiczny, którego udział przekracza 5% masy w stosunku do sumy wszystkich składników głównych i drugorzędnych. Do składników głównych zalicza się: klinkier cementowy (K), granulowany żużel wielkopiecowy (S), pucolanę (P – naturalna pochodzenia wulkanicznego, Q – naturalna wypalana), popiół lotny (V – krzemionkowy, W – wapienny), łupek palony (T), wapień (L lub LL w zależności od całkowitej ilości węgla pochodzenia organicznego), pył krzemionkowy (D). W zależności od ilości dodatku wyróżnia się odmiany cementu: A: 6 - 20%; B: 21 – 35 %

Składniki główne cementu:

- a) Klinkier (K) – jest wytwarzany przez spiekanie dokładnie zestawionej mieszaniny surowców (mąka surowcowa, wilgotna masa surowcowa lub szlam) zawierającej elementy przedstawiane zwykle jako tlenki  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i niewielkie ilości innych materiałów. Jest to materiał hydrauliczny.
- b) Granulowany żużel wielkopiecowy (S) – jest wytwarzany przez gwałtowne chłodzenie płynnego żużla o odpowiednim składzie, otrzymywanego przez wytapianie rudy żelaza w wielkim piecu i który zawiera co najmniej dwie trzecie masy żużla zeszlonego oraz wykazuje właściwości hydrauliczne przy odpowiedniej aktywacji. Wykazuje właściwości hydrauliczne przy odpowiedniej aktywacji.
- c) Pucolany (P, Q) – to naturalne materiały krzemionkowe lub glino-krzemianowe, bądź kombinacja obydwu. Pucolany same nie twardnieją po zmieszaniu z wodą, lecz drobno zmielone i w obecności wody reagują w normalnej temperaturze otoczenia z rozpuszczonym wodorotlenkiem wapnia ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), tworząc związki krzemianów wapnia i glinianów wapnia o rosnącej wytrzymałości. Pucolany powinny być prawidłowo przygotowane, tj. wyselekcjonowane, ujednorodnione, wysuszone lub poddane obróbce termicznej i rozdrobnione, w zależności od stanu w jakim są produkowane lub dostarczane. Wykazują właściwości pucolanowe.
  - pucolany naturalne (P) – to na ogół materiały pochodzenia wulkanicznego lub skały osadowe o odpowiednim składzie chemiczno-mineralogicznym i powinny być zgodne z normą,
  - pucolany naturalne wypalane (Q) – to materiały pochodzenia wulkanicznego, gliny, łupki lub skały osadowe, aktywowane przez obróbkę termiczną i powinny być zgodne z normą.
- d) Popiół lotny (V, W) – jest otrzymywany przez elektrostatyczne lub mechaniczne osadzanie pylistych cząstek spalin z palenisk opalanych pyłem węglowym. Popiół lotny może być „z natury” krzemionkowy (V) lub wapienny (W). Pierwszy wykazuje właściwości pucolanowe, a drugi może wykazywać dodatkowo właściwości hydrauliczne.
- e) Łupek palony (T) – wytwarzany jest w specjalnym piecu, w temperaturze około 800 °C. Z powodu składu materiału naturalnego i procesu wytwarzania, łupek palony zawiera fazy

klinkierowe, głównie krzemian dwuwapniowy oraz glinian jednowapniowy. Zawiera również, oprócz niewielkich ilości wolnego wapnia i siarczanu wapnia, większe ilości tlenków o reaktywności pucolanowej, szczególnie dwutlenek krzemu. W konsekwencji, w drobno zmielonym stanie, łupek palony wykazuje wyraźne właściwości hydrauliczne podobnie jak cement portlandzki oraz, dodatkowo, właściwości pucolanowe.

- f) Wapień (L, LL) – to materiały, które powinny zachowywać się obojętnie i nie reagować chemicznie z zaczynami.
- g) Pył krzemionkowy (D) – powstaje podczas redukcji kwarcu wysokiej czystości za pomocą węgla w elektrycznych piecach łukowych przy produkcji krzemu lub stopów żelazokrzemu i składa się z bardzo drobnych kulistych cząstek zawierających co najmniej 85% masy bezpostaciowego dwutlenku krzemu. Zawartość krzemu Si nie powinna być większa niż 0,4% masy. Zalicza się do dodatków o właściwościach pucolanowych.

Składnik drugorzędny – specjalnie wybrany materiał nieorganiczny, którego udział w stosunku do sumy wszystkich składników głównych i składników drugorzędnych nie przekracza 5% masy. Są to najczęściej naturalne mineralne materiały nieorganiczne, materiały pochodzące z procesu produkcji klinkieru lub wymienione wyżej składniki główne, jeżeli ich zawartość jest mniejsza niż 5%.

Dodatki obojętne – nie reagują z cementem i wodą oraz nie ingerują w hydratację. Służą głównie do polepszenia struktury uziarnienia i urabialności.

Dodatki o właściwościach pucolanowych – reagują z wodorotlenkiem wapnia powstającym w procesie hydratacji cementu. Służą do polepszenia procesu twardnienia betonu.

Dodatki o utajonych właściwościach hydraulicznych – potrzebują wyzwalacza (wodorotlenku lub siarczanu wapnia), aby potem same wiązać hydraulicznie. Dodatki te charakteryzują się większą zawartością wapnia niż pucolanowe.

Cementy powszechnego użytku - dzieli się je na pięć głównych rodzajów:

- CEM I – cement portlandzki,
- CEM II – cement portlandzki wieloskładnikowy,
- CEM III – cement hutniczy,
- CEM IV – cement pucolanowy,
- CEM V – cement wieloskładnikowy.

Każdy cement powszechnego użytku powinien być oznakowany w jednoznaczny sposób, określony w normie. Oznakowanie powinno zawierać co najmniej: rodzaj cementu, klasę wytrzymałościową oraz klasę wytrzymałości wczesnej. Dodatkowe cechy cementu są przedstawiane przez producentów w postaci kodu literowego na końcu oznakowania: NA

oznacza cement niskoalkaliczny, HSR cement o wysokiej odporności siarczanowej, LH – cement o niskim cieple hydratacji.

Cement o niskim cieple hydratacji (LH) – do tych cementów zalicza się: cementy hutnicze CEM III oraz pucolanowe CEM IV o dużej zawartości żużla i popiołu; stosowane są do dużych konstrukcji masywnych; niskie ciepło hydratacji pozwala na uniknięcie powstawania mikropęknięć i pęknięć, co prowadzi do obniżenia trwałości betonu.

Cement o wysokiej odporności na siarczany (HSR) – to cement odporny na środowisko agresywne chemicznie; stosuje się ten cement do betonów zakwalifikowanych do klas ekspozycji: XA2 oraz XA3.

Cement niskoalkaliczny (NA) – stosuje się, gdy może dojść do reakcji: alkalia – reaktywna krzemionka występująca w kruszywie; objawami reaktywności mogą być białe wykwyty, powierzchniowe zarysowania, lejkowate odpryski, a nawet całkowite zniszczenie betonu w wyniku jego rozkruszenia; w betonach narażonych na zawilgocenie, konieczne jest stosowanie cementów niskoalkalicznych (konstrukcje mostowe, drogowe); do cementów niskoalkalicznych można zaliczamy CEM I do CEM IV (zawierające poniżej 0,6 % alkaliów).

Cement glinowy – to szybko twardniejące spoiwo hydrauliczne, uzyskiwane z klinkieru glinowego wytworzonego z kamienia wapiennego i boksytu, charakteryzuje się bardzo szybką dynamiką przyrostu wytrzymałości początkowej, jednak w trakcie twardnienia wydziela bardzo dużo ciepła; stosuje się go do betonowania w okresie zimowym, nawet przy temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$ , jednak jest to spoiwo drogie.

Cement biały – zawiera w swoim składzie krzemiany wapnia; stosuje się go do produkcji betonu architektonicznego oraz ozdobnej galanterii betonowej.

Klasa wytrzymałości cementu – klasa wytrzymałości na ściskanie; w zależności od wytrzymałości na ściskanie, wyrażonej w megapaskalach (MPa) lub niutonach na milimetr kwadratowy (N/mm<sup>2</sup>) i określonej po 28 dniach dojrzewania, rozróżnia się trzy klasy wytrzymałości cementu: 32,5, 42,5, 52,5. Dla każdej klasy wytrzymałości normowej rozróżnia się dwie klasy wytrzymałości wczesnej: klasę N – normalnej wytrzymałości wczesnej i klasę R – wysokiej wytrzymałości wczesnej.

Wymagania mechaniczne i fizyczne stawiane poszczególnym klasom wytrzymałości cementu:

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie (MPa)				Początek czasu wiązania (min)	Stałość objętości (mm)
	wczesna		normowa, po 28 dniach			
	po 2 dniach	po 7 dniach				
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

Ustalono także kod kolorów rozpoznawczych na opakowaniu (np. na worku) w zależności od klasy cementu:

Klasa wytrzymałości	Kolor rozpoznawczy	Kolor nadruku
32,5 N	jasnobrązowy	czarny
32,5 R		czerwony
42,5 N	zielony	czarny
42,5 R		czerwony
52,5 N	czerwony	czarny
52,5 R		biały

Główne rodzaje	Nazwa 27 rodzajów cementów powszechnego użytku		Skład (w procentach masy <sup>a</sup> )										Składniki drugorzędne	
			Składniki główne											
			Klinkier	Żużel wielkopieczowy	Pył krzemionkowy	Pucolana		Popiół lotny		Łupek palony	Wapień			
						naturalna	naturalna wypalana	krzemionkowy	wapienny		L	LL		
K	S	D <sup>b</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Cement portlandzki	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cement portlandzki żużlowy	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cement portlandzki krzemionkowy	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cement portlandzki pucolanowy	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cement portlandzki popiołowy	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Cement portlandzki łupkowy	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cement portlandzki wapienny	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cement portlandzki wieloskładnikowy <sup>c</sup>	CEM II/A-M	80-88	←-----12-20-----→										0-5
		CEM II/B-M	65-79	←-----21-35-----→										0-5
	CEM III	Cement hutniczy	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM III/B			20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM III/C			5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cement pucolanowy <sup>c</sup>	CEM IV/A	65-89	-	←-----11-35-----→					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	←-----36-55-----→					-	-	-	0-5	
CEM V	Cement wieloskładnikowy <sup>c</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	-	←-----18-30-----→			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-49	-	←-----31-49-----→			-	-	-	-	0-5	

<sup>a</sup> Udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 10%, <sup>c</sup> W cementach portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A-M i CEM II/B-M, w cementach pucolanowych CEM IV/A i CEM IV/B i w cementach wieloskładnikowych CEM V/A i CEM V/B składniki główne inne niż klinkier należy deklorować poprzez oznaczenie cementu

Domieszki do betonu – materiał dodawany podczas wykonywania mieszanki betonowej w ilości nie przekraczającej 5 % masy cementu w betonie, w celu zmodyfikowania właściwości mieszanki betonowej lub stwardniałego betonu.

Rodzaje domieszek:

- a) domieszki redukujące ilość wody (uplastyczniające) – pozwalają na zmniejszenie ilości wody w danej mieszance betonowej bez wpływu na konsystencję lub na poprawę urabialności bez zwiększenia ilości wody lub na jednoczesne osiągnięcie obydwu efektów;
- b) domieszki znacznie redukujące ilość wody (upłynniające) – pozwalają na znaczne zmniejszenie ilości wody w danej mieszance betonowej bez wpływu na konsystencję lub na znaczną poprawę urabialności bez zwiększenia ilości wody lub na jednoczesne osiągnięcie obydwu efektów;
- c) domieszki zwiększające więźliwość wody – zmniejszają tendencję do wypływania wody na powierzchnię zagęszczonej mieszanki betonowej;
- d) domieszki napowietrzające – wprowadzają w czasie procesu mieszania określoną ilość małych, równomiernie rozmieszczonych pęcherzyków powietrza, które pozostają w betonie po jego stwardnieniu; napowietrzenie powoduje m.in. istotne zwiększenie mrozoodporności betonu stwardniałego;
- e) domieszki przyspieszające wiązanie – przyspieszają początek wiązania i wzrost wytrzymałości początkowej;
- f) domieszki przyspieszające twardnienie – przyspieszają początkowe twardnienie bez wpływu lub z wpływem na czas wiązania;
- g) domieszki opóźniające wiązanie – opóźniają początek wiązania i utrzymują konsystencję;
- h) domieszki zwiększające wodoodporność – zmniejszają kapilarną nasiąkliwość wodą betonu stwardniałego;
- i) domieszki opóźniające/uplastyczniające – połączony efekt uplastyczniający (efekt zasadniczy) i opóźniacza wiązania (efekt drugorzędny);
- j) domieszki opóźniające/upłynniające – połączony silny efekt uplastyczniający (efekt zasadniczy) i opóźniacza wiązania (efekt drugorzędny);
- k) domieszki przyspieszające/uplastyczniające – połączony efekt uplastyczniający (efekt zasadniczy) i przyspieszacza wiązania (efekt drugorzędny);
- l) domieszki modyfikujące lepkość – domieszki dodawane do betonu by ograniczyć segregację materiałów poprzez poprawę kohezji.

## METODA BADANIA

### OZNACZANIE KONSYSTENCJI I CZASU WIĄZANIA ZACZYNU CEMENTOWEGO

Badanie wykonuje się według PN-EN 196-3.

#### Oznaczenie konsystencji zaczynu cementowego:

W pierwszym etapie należy przygotować porcję zaczynu cementowego o konsystencji normowej. W tym celu należy odważyć  $500 \pm 1$  g cementu i 125 g wody. Zaczyn przygotować w mechanicznej mieszarce zaopatrzonej w misę i mieszadło. Do misy mieszarki wlać przygotowaną wodę i wsypać cement. Odnotować czas wykonania tej czynności jako czas zero, czyli czas, od którego oblicza się początek i koniec wiązania. Następnie włączyć mieszarkę 90 s na niskich obrotach ( $140 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ ). Po 90 s zatrzymać mieszarkę na 15 s. w tym czasie zebrać gumowym skrobakiem zaczyn cementowy, który przykleił się do ścianek lub do dolnej części misy mieszarki i dołączyć do zaczynu. Następnie kontynuować mieszanie na niskich obrotach i mieszarki przez kolejne 90 s.

Przygotowany zaczyn przenieść z pewnym nadmiarem do lekko naoliwionego pierścienia Vicata, który uprzednio został umieszczony na lekko natłuszczonej płytce szklanej. Przez wstrząsanie usunąć z zaczynu ewentualne puste przestrzenie. Nadmiar zaczynu w pierścieniu usunąć ruchem tnącym w taki sposób, aby jego górna powierzchnia była wygładzona. Bolec w aparacie Vicata podnieść do pozycji wyjściowej i ustawić pod nim wypełniony zaczynem cementowym pierścień Vicata z płytką bazową. Opuścić bolec aż do zetknięcia z powierzchnią zaczynu. Po 1-2 s zwolnić śrubę, aby bolec mógł się swobodnie zagłębić w środek zaczynu.

Próbę zagłębienia bolca wykonać  $4 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$  po czasie zero. Wskazanie na skali przyrządu Vicata (odległość między dolnym końcem bolca a płytką bazową) należy odczytać co najmniej po 5 s od ustania zagłębienia się bolca lub po 30 s od momentu zwolnienia bolca. Po każdym zagłębieniu bolec natychmiast oczyścić.

Badanie należy powtarzać, stopniowo zwiększając ilość wody w zaczynie aż do momentu, w którym odstęp między bolcem a płytką bazową osiągnie  $6 \pm 2 \text{ mm}$ . Następnie należy odnotować ilość zawartej w zaczynie wody, niezbędnej do utworzenia konsystencji normowej.

#### Oznaczenie czasu wiązania zaczynu cementowego:

Tok postępowania przy oznaczaniu czasu wiązania jest następujący:

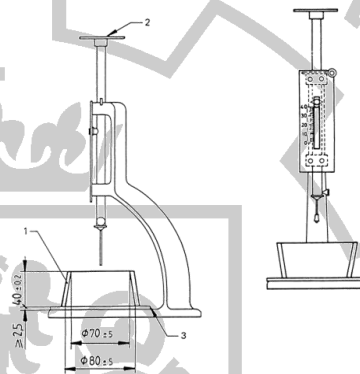
- w aparacie Vicata zastąpić bolec igłą, wyzerować aparat i podnieść igłę do pozycji początkowej.
- umieścić napełniony zaczynem pierścień z płytką bazową w pojemniku z wodą o temperaturze  $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .



- po wyrównaniu temperatury umieścić pierścień z płytką bazową i pojemnikiem pod igłą aparatu Vicata.
- opuścić igłę do styku z powierzchnią zaczynu.
- zwolnić śrubę mocującą igłę i pozwolić jej na zagłębienie się w zaczynie.
- gdy ustanie zagłębienie igły lub po 30 s, odczytać wskazanie na skali aparatu.
- średnio co 10 minut powtarzać zagłębienie igły w miejscach położonych nie bliżej niż 8 mm od brzegu pierścienia i 5 mm wzajemnie od siebie.
- po każdym zagłębieniu natychmiast oczyścić igłę.

Jako początek wiązania podać czas (w zaokrągleniu do 5 minut), który upłynął od czasu zero do czasu, w którym odległość igły od płytki bazowej wyniosła  $6 \pm 3$  mm.

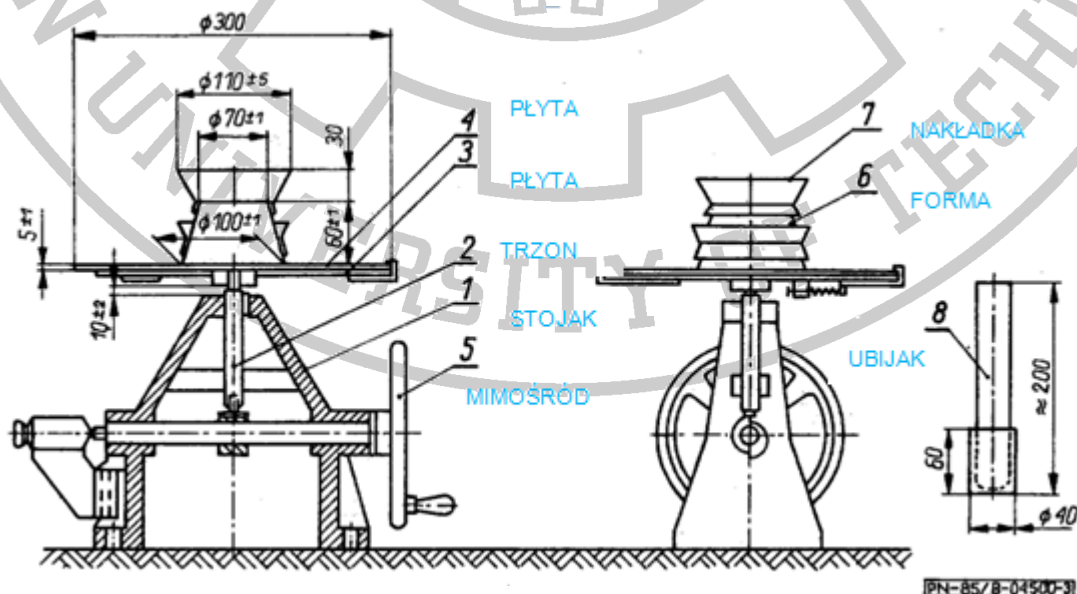
Ręczny aparat Vicata do oznaczania konsystencji normowej i czasów wiązania:



### OZNACZANIE KONSYSTENCJI ŚWIEŻEJ ZAPRAWY

Badanie wykonuje się według PN-EN 1015-3.

Badanie polega na określeniu średnicy rozplýwu próbki zaprawy na stoliku wstrząsowym. Do wykonania oznaczenia niezbędny jest stólik rozplýwu, forma w kształcie ściętego stożka i ubijak.



Stólik rozplýwu.

Tok postępowanie przy oznaczaniu konsystencji zaprawy jest następujący:

- przed pomiarem powierzchnię płyty zwilżyć mokrą szmatką.
- na środku płyty ustawić formę wraz z nakładką.
- badaną zaprawę włożyć do formy w dwóch warstwach. Każdą warstwę zagęścić, uderzając dziesięciokrotnie ubijakiem.
- po ubiciu drugiej warstwy zdjąć nakładkę, ściąć nożem nadmiar zaprawy i wygładzić ją do krawędzi formy.
- po upływie 10 s od zakończenia ubijania podnieść pionowo formę, a próbkę zaprawy poddać 15 wstrząsom, obracając korbą z szybkością 1 obrót na sekundę.
- bezpośrednio po wstrząsach zmierzyć dwie prostopadłe do siebie średnice rozlanego placka zaprawy (cm) z dokładnością do 1 mm.

Miarą konsystencji zaprawy jest średnica (cm) rozlanego placka zaprawy. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną obu średnic z dwóch pomiarów. Jeśli poszczególne wartości rozplywu otrzymane z dwóch próbek mają odchylenie od ich średniej wartości mniejsze niż 10%, wówczas tę średnią wartość należy przyjąć jako wartość rozplywu zaprawy. Jeśli różnica jest większa, to należy powtórzyć badanie.

#### OZNACZANIE WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE I ŚCISKANIE (KLASY CEMENTU)

Badanie wykonuje się według PN-EN 196-1.

Ocenę wytrzymałości na zginanie (badanie opcjonalne, niewymagane przez normę) i ściskanie cementu należy wykonać, stosując beleczki w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 40x40x160 mm, wykonane z normowej zaprawy zawierającej badany cement, piasek normowy i wodę.

Piasek normowy jest naturalnym piaskiem kwarcowym 0-2 mm o wilgotności mniejszej niż 0,2%, pakowanym w woreczki zawierające  $1350 \pm 5$  g. Uziarnienie piasku powinno się pokrywać z uziarnieniem wzorcowym przedstawionym w normie. Cement przeznaczony do badania należy przechowywać w hermetycznie zamkniętym pojemniku. Do badania można stosować wodę pitną, wodociągową. Zaleca się jednak używanie wody destylowanej lub dejonizowanej.

Do jednego badania trzeba przygotować trzy beleczki. Do ich wykonania wziąć należy  $450 \pm 2$  g cement,  $1350 \pm 5$  g piasku i  $225 \pm 1$  g wody. Zaprawę przygotować w mechanicznej mieszarce zaopatrzonej w misę i mieszadło o kształcie opisanym w normie PN-EN 196-1:2006. Do misy mieszarki wlać wodę i wsypać próbkę cementu. następnie włączyć mieszarkę na 60 s na niskich obrotach ( $140 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ ). Po upływie 30 s rozpocząć wsypywanie piasku. Czynność tę zakończyć po upływie kolejnych 30 s. Na następne 30 s włączyć mieszarkę na wysokie obroty ( $285 \pm$

10 min<sup>-1</sup>). W czasie 90 s przerwy w mieszaniu zebrać gumowym skrobakiem zaprawę, która przykleiła się do ścianek lub do dolnej części miski, i przenieść ją na środek. następnie kontynuować mieszanie na wysokich obrotach mieszarki przez kolejne 60 s.

Bezpośrednio po przygotowaniu zaprawy należy uformować beleczi. Formę do beleczek przymocować do wstrząsarki, a następnie umocować nakładkę. Ułożyć pierwszą z dwóch warstw zaprawy w każdej przegródce formy (po około 300 g). ułożoną zaprawę równomiernie rozprowadzić w formie. Tak przygotowaną zaprawę zagęścić 60 wstrząsami urządzenia. Następnie nałożyć drugą warstwę, wyrównać i ponownie zagęścić 60 wstrząsami. Po zakończeniu zagęszczania podnieść formę z wstrząsarki, usunąć nakładkę i starannie wyrównać oraz wygładzić górną powierzchnię beleczek.

Beleczi należy rozformować po 20-24 h od ich wykonania. Po oznakowaniu rozformowane beleczi należy umieścić w wodzie o temperaturze  $20 \pm 1$  °C, na rusztach, w taki sposób, aby woda miała swobodny dostęp do całej ich powierzchni. Poziom wody nad beleczkami nie powinien być mniejszy niż 5 mm.

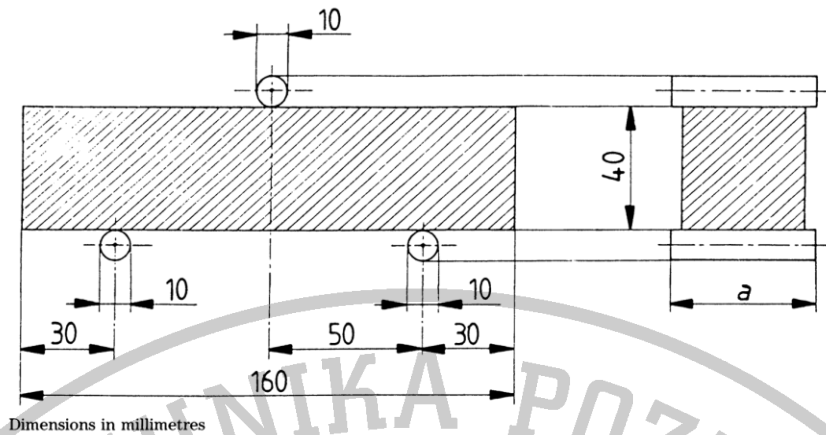
Ocenę wytrzymałości na zginanie (badanie opcjonalne, niewymagane przez normę) i ściszenie cementu należy wykonać, stosując beleczi w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 40x40x160 mm, wykonane z normowej zaprawy zawierającej badany cement, piasek normowy i wodę.

Beleczi cementowe wyjąć z wody nie wcześniej niż na 15 minut przed badaniem. Usunąć osad z ich powierzchni i do chwili badania przykryć wilgotną ściereczką. Wytrzymałość beleczek badać w następujących przedziałach czasu:

- po 1 dniu – 24 h  $\pm$  15 min,
- po 2 dniach – 48 h  $\pm$  30 min,
- po 7 dniach – 7 dni  $\pm$  2 h,
- po 28 dniach – 28 dni  $\pm$  8 h.

#### Wytrzymałość na zginanie:

Przygotowaną beleczkę umieścić na rolkach podporowych w urządzeniu przedstawionym na poniższym rysunku.



Obciążenie na beleczkę przenosić za pomocą rolki obciążającej. Siłę obciążającą zwiększać równomiernie o  $50 \pm 10$  N/s aż do złamania beleczki.

Połówki beleczek trzymać przykryte wilgotną ściereczką aż do wykonania badania na ściskanie. Wytrzymałość na zginanie  $R_f$  obliczyć według następującego równania:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \text{ [MPa]}$$

$F_f$  – obciążenie łamiące na środku beleczki [N],

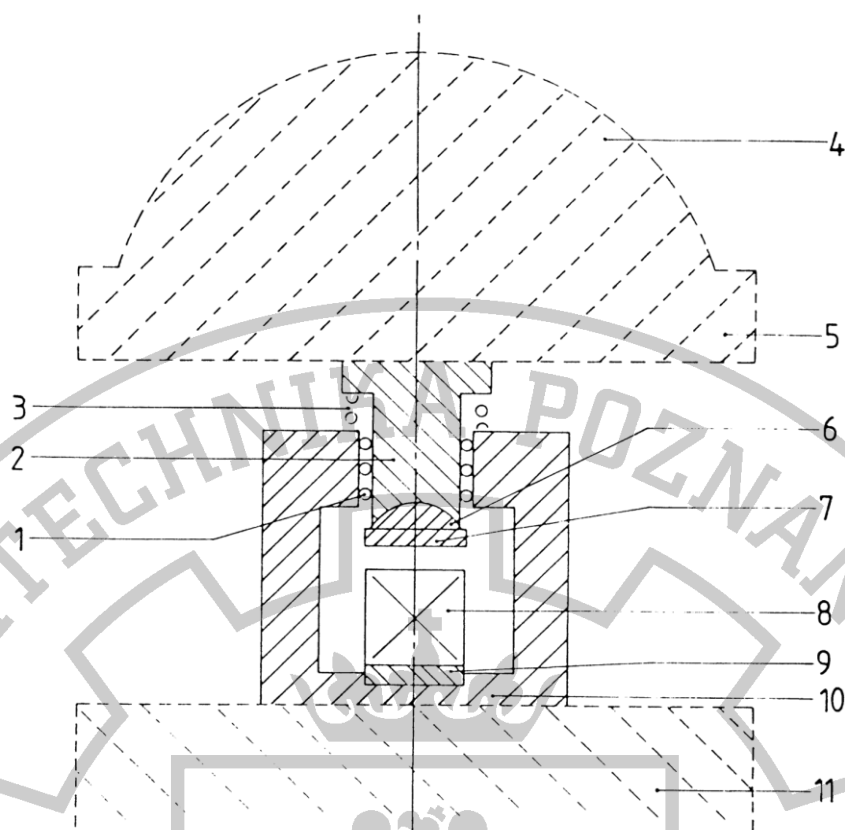
$b$  – długość boczna przekroju beleczki [mm],

$l$  – odległość między podporami [mm].

Wynik badania wytrzymałości na zginanie jest średnią arytmetyczną trzech pomiarów po zaokrągleniu do 0,1 MPa.

#### Wytrzymałość na ściskanie:

Badanie wykonać na połówkach beleczek poddanych wcześniej np. badaniu wytrzymałości na zginanie. Należy określić wytrzymałość na ściskanie każdej połówki beleczki. Połówkę beleczki umieścić w specjalnej wkładce zaopatrzonej w kwadratowe płytki ściskające, wykonane z utwardzonej stali, o boku  $40,0 \pm 0,1$  mm. Płytki powinny dociskać centralną część badanej beleczki. Obciążenie zwiększać równomiernie z prędkością  $2,4 \pm 0,2$  kN/s, aż do zgniecenia próbki.



Wytrzymałość na ściskanie obliczyć według następującego równania:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad [MPa]$$

$R_c$  – wytrzymałość na ściskanie,

$F_c$  – siła niszcząca [N]

1600 – powierzchnia płytek ściskających [40x40 mm].

Wynik badania wytrzymałości na ściskanie jest średnią arytmetyczną sześciu pomiarów po zaokrągleniu do 0,1 MPa. Jeśli jeden z sześciu wyników różni się więcej o  $\pm 10\%$  od średniej, należy go odrzucić i obliczyć wartość średnią z pozostałych pięciu pojedynczych wyników. Jeśli jeden z pozostałych pięciu wyników różni się więcej niż o  $\pm 10\%$  od ich średniej wartości, należy odrzucić cały wynik badania i powtórzyć oznaczenie.

