

cza głębszych, a zarazem dla większych prześł most składany o typie, jaki wojsko posiada do dyspozycji. Mosty składane posiadają zazwyczaj rozpiętość do mniej więcej 80 m. Dlatego też większe rozpiętości w mostach mających większe znaczenie strategiczne - komunikacyjne są niewskazane.

Już same usytuowanie mostu w terenie ma duże znaczenie pod kątem obrony przeciwlotniczej. Wskazane jest tak go usytuować, by w razie zniszczenia go, jeszcze przed choćby prowizoryczną rekonstrukcją, był możliwy dojazd do ewentualnego promu lub i brodu. Most powinien być możliwie mało widoczny i możliwie łatwy do zamaskowania. Jednakowoż z reguły będzie to trudne do uzyskania i da się uzyskać raczej pod kątem ostrzeliwania artyleryjskiego. Most bowiem znajduje się najczęściej na skrzyżowaniu drogi komunikacyjnej z rzeką. Maskowanie bezpośrednio możliwe jest tylko w ograniczonym stopniu. Przy locie niskim wzdłuż linii komunikacyjnej nie da zresztą wielkiego rezultatu. Lepsze skutki daje maskowanie sztuczną mgłą, ograniczone zresztą co do czasu.

Streszczając wszystko powyżej powiedziane, dochodzimy do następujących wniosków pod kątem obrony przeciwlotniczej.

Przy budowie mostu należy rozważyć konstrukcję jego również pod kątem obrony przeciwlotniczej, a ostateczny wybór powinien być pow-

zięty na podstawie zdrowego kompromisu wymagań — ekonomicznych, estetycznych oraz wymagań obrony przeciwlotniczej.

Większe mosty wykonywać należy jako mosty stalowe, przy czym na pierwszym miejscu postawić należy mosty kratowe o kracie podwójnej, dalej blaszane, jeszcze dalej kratowe o kracie pojedynczej. Korzystniejsze są spawane od nitowanych. Najkorzystniejsze są belki ciągle bezprzegubowe, dalej wolnopodparte, lukowe (z zastosowaniem filarów wytrzymałych na parcie jednostronne łuku) oraz ciągle przegubowe z belką wystającą na trzech oporach; mniej korzystne są ciągle przegubowe. Mosty wiszące nie są specjalnie niekorzystne. Duże walory mają kratownicę trójpasowe. Mosty powinny być, o ile to tylko możliwe, o pomoście górą, i posiadać większą ilość belek głównych. Pomost powinien być dobrą płytą detonacyjną, korzystny jest więc zwłaszcza żelazobetonowy oraz stalowy (np. nieckowy); duże walory posiadałby pomost złożony z dwu płyt, górnej i dolnej. Przęsła nie powinny być większe od ok. 80 m ze względu na możliwość ustawienia mostu prowizorycznego. Dla rekonstrukcji mostów powinny być zorganizowane drużyny spawalnicze.

Przy mniejszych mostach, rozpatrywanych pod kątem obrony przeciwlotniczej, wchodzi w grę również konstrukcje żelazobetonowe, przy czym najkorzystniejsze są ustroje lukowe.

Prof. Dr Inż. STEFAN BRYŁA

Referat zgłoszony na IV Zjazd Inżynierów Budowlanych

ZACHOWANIE SIĘ BETONÓW GLINOWYCH POD WPŁYWEM CZYNNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH

Beton zawdzięcza szybkie rozpowszechnienie w konstrukcjach budowlanych wybitnym swoim zaletom: wytrzymałości, trwałości, ognioodporności itp., oraz łatwości przystosowywania do dowolnych kształtów i warunków konstrukcyjnych. Równoległe z rozwojem budownictwa betonowego i żelazobetonowego doskonalila się również produkcja cementów we wszystkich krajach.

Polska posiadająca bogate złoża surowców do wyrobu cementu wzięła wybitny udział w tworzeniu tego postępu. Produkowany obecnie u nas i w innych krajach cement portlandzki stoi na bardzo wysokim poziomie i pozwala na wytwarzanie betonów o dużej wytrzymałości. Wyrabiane są również wysokowartościowe gatunki cementu portlandzkiego, które dzięki odpowiednim metodom fabrykacji, jak np. drobniejszy przemiał, posiadają walory cementu normalnego w stopniu jeszcze bardziej zwiększonym. Niemcy produkują ponadto jeszcze specjalne gatunki cementu o innym składzie chemicznym jak np. cement żelazisty lub cement żuźlowy.

Przy swoich dużych walorach wytrzymałościowych i innych, posiadają jednak wyroby z cementu portlandzkiego kilka słabych stron a mianowicie:

- 1) wrażliwość na niskie temperatury poniżej i w pobliżu zera;
- 2) brak odporności na chemiczne działanie kwasów, niektórych zasad, niektórych związków

organicznych i roztworów soli, w szczególności na wpływ wody morskiej;

3) konieczność długiego stosunkowo utrzymania świeżego betonu w deskowaniu bez obciążania dalszymi elementami konstrukcji;

4) psucie się cementu przy dłuższym przechowywaniu na składzie.

Tym ujemnym cechom cementów portlandzkich starano się zaradzić w rozmaity sposób. Najskuteczniejszym środkiem zaradczym okazało się jednak stosowanie zamiast cementu portlandzkiego takiego gatunku cementu, który powyższych ujemnych stron albo wcale nie posiada albo przynajmniej posiada je w tak zmniejszonym stopniu, że praktycznie są bez znaczenia. Warunkom tym odpowiadają przede wszystkim cementy glinowe.

Cementy glinowe różnią się od portlandzkich składem chemicznym. Zawierają one kilkakrotnie więcej tlenku glinowego, a mniej tlenku wapnia i krzemionki niż cement portlandzki. Procentowa zawartość tlenku glinu, która w cemencie portlandzkim stanowi średnio 1/10 część zawartości tlenku wapnia, w cementach glinowych wyrównywa się w przybliżeniu z tą ostatnią. Poza tym cementy glinowe różnią się również sposobem fabrykacji, mianowicie surowce są wytapiane, a nie prażone i przemiał jest drobniejszy niż w zwykłym cemencie portlandzkim. Jako surowiec do wyrobu cementów służy bauksyt (produkt wietrzenia skał zawie-

rających duży procent glinu, jak np. granit, gnejs, diabaz, dioryt lub bazalt) zmieszany w odpowiednim stosunku z wapnem. W Polsce cement glinowy wyrabiany jest pod nazwą Alca Elektro Cement (A.E.C.).

Przeprowadzone ostatnio u nas i zagranicą doświadczenia porównawcze wykazują dobitnie wysokie walory cementów glinowych pod względem odporności na wymienione na wstępie szkodliwe wpływy czynników zewnętrznych a mianowicie na:

- 1) mróz i chłód;
- 2) wpływy chemiczne;
- 3) wczesne terminy rozdeskowania;
- 4) zleżenie.

1. Beton glinowy pod wpływem mrozu i chłodu

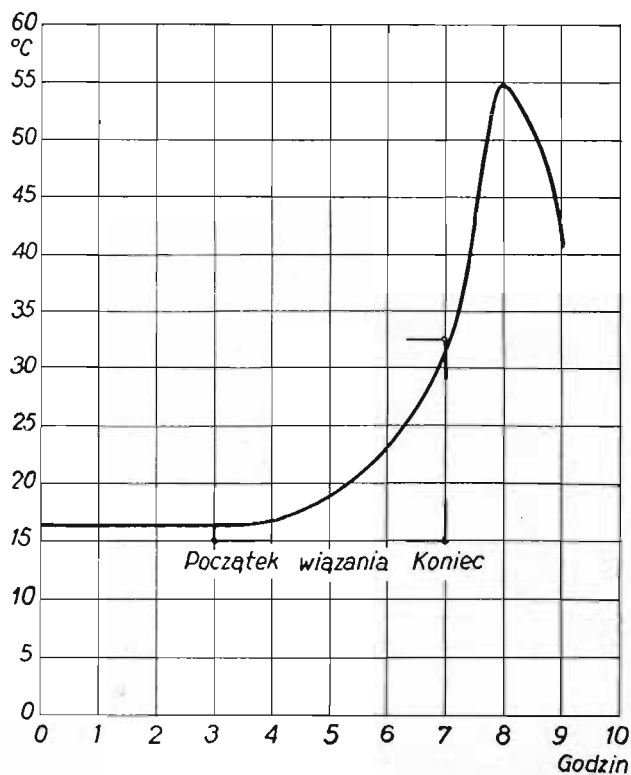
Świeży beton z cementu portlandzkiego jest, jak wiadomo, bardzo wrażliwy na mróz, a nawet na temperaturę nieco powyżej zera. Mróz nie tylko wstrzymuje całkowicie proces wiązania i twardnienia betonu, ale nawet często, zwłaszcza w razie wahań temperatury, niweczy raz na zawsze siłę wiążącą cementu. Z tego powodu betonowanie na mrozie jest zasadniczo niedopuszczalne i może być uskuteczniane przy temperaturze niezbyt niskiej i przy zastosowaniu odpowiednich zabiegów ochronnych.

Dodawanie soli do zarobu obniża tylko w pewnych granicach temperaturę zamarzania, ale nie usuwa zmniejszenia wytrzymałości betonu całkowicie, zaś sole wietrzejąc z biegiem czasu pozostawiają w betonie pory, które zmniejszają jego szczelność. Znacznie lepszy jest chlorek wapnia z którym otrzymuje się wcale dobre wyniki.

Temperatura od 0 do 5°, która zwykle występuje jednocześnie ze znacznym zwilgotnieniem powietrza, nie jest tak katastrofalnie szkodliwa jak mróz, lecz również opóźnia znacznie proces wiązania i twardnienia betonu.

Cementy glinowe wykazują daleko większą odporność na mróz, a niskie temperatury powyżej zera są dla nich w ogóle nieszkodliwe. Wynika to z właściwej im wielkiej energii twardnienia i z wysokiej temperatury, jaka się wytwarza przy wiązaniu. W jednym z doświadczeń zakładów badawczych przez O. Hohla (Von der Prüfung und Verarbeitung des Tonerdezements) temperatura wiązania osiągnęła 116°. Przeciętnie przy próbkach z samego cementu, temperatura wiązania dochodzi do 50 — 60°. Temperatura ta wzrasta stopniowo, na początku wiązania wolniej, przy końcu coraz szybciej, a po zakończeniu wiązania wzrasta jeszcze przez pewien czas w szybkim tempie do swego maximum (rys. 1.).

W Polsce przeprowadzono w roku 1936 — 1937 szczegółowe badania nad zachowaniem się betonu z cementu Alca w czasie mrozu i w temperaturach w pobliżu zera¹⁾. Wyniki doświadczeń były następujące.



a) Temperatury poniżej zera

W temperaturze od —6 do —15° wiązanie betonu było całkowicie zahamowane. Walce betonowe, włożone od razu do chłodni i bezpośrednio po wyjęciu z niej zgietane, po upływie 2 dni wykazały wytrzymałość równą zero; walce badane w tych samych warunkach, lecz z podgrzewaniem kruszywa i wody miały wytrzymałość ok. 37 kg/cm². Jeżeli przed włożeniem do chłodni walce były trzymane przez 3½ godziny w temp. pokojowej, wytrzymałość wynosiła 47 kg/cm². Jeżeli ponadto w czasie pobytu w chłodni walce były owinięte w worek jutowy, wytrzymałość podnosiła się do 152 kg/cm². Próbki trzymane 7 godzin w temperaturze pokojowej, a następnie 2 dni na mrozie —10° miały wytrzymałość 146 kg/cm², a po 10 dniach pobytu w chłodni 160 kg/cm². Jeżeli natomiast po 2, 3, 10-dniowym pobycie w chłodni w —10° przeniesiono próbki na 3 dni do temp. pokojowej wytrzymałość podnosiła się do 320—350 kg/cm². O ile przechowanie w chłodni było poprzedzone 7-godzinnyim pobytym w temp. pokojowej, to po następnych 3. dniach ponownego ogrzania w temp. pokojowej wytrzymałość osiągała 380—400 kg/cm². Wytrzymałość walców przechowywanych cały czas w temp. pokojowej wynosiła po 3. dniach 408 kg/cm², a po 28. dniach 440 kg/cm².

H. Vierheller twierdzi, że jedyną przyczyną powstrzymującą wiązanie cementu przy mrozie jest zamarzanie wody, gdyż między samymi ciałami stałymi (a takim jest lód) nie może nastąpić reakcja chemiczna. Cement glinowy wytwarzający przy wiązaniu (hydratacji) duże ilości ciepła przeciwdziała zamarzaniu wody. Chodzi tylko o to, aby woda w betonie nie zamarzła przed rozpoczęciem wiązania. Zapobiega temu ciepło wewnętrzne betonu, które musi wypromieniować, zanim woda zamieni się w lód. Małe próbki stosowane zazwyczaj przy bada-

1) St. Bryła. Doświadczenia z betonami wykonanymi z polskiego cementu glinowego Alca Elektro. Przegląd techniczny 1938. Nr. 1—2, 4 i 6.

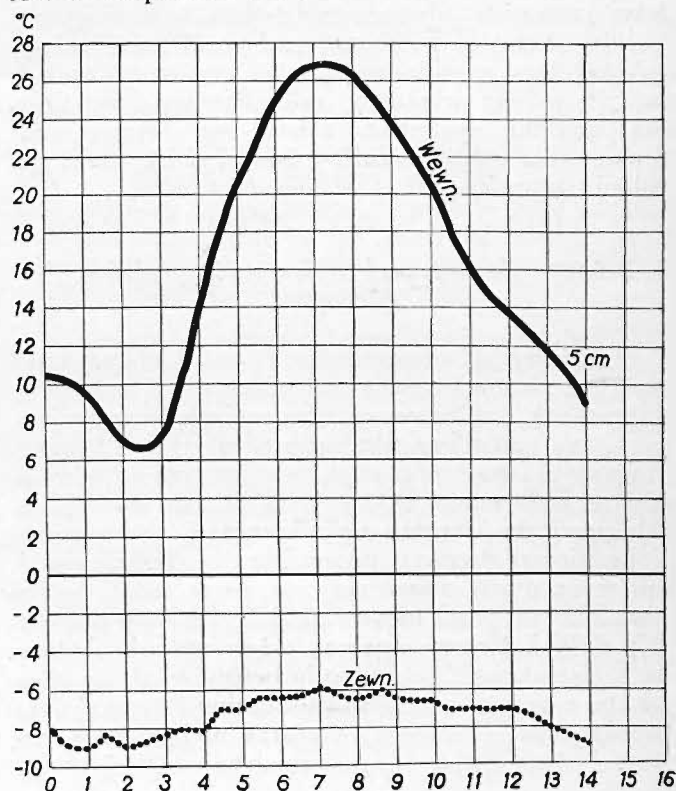
niach, zwłaszcza nieosłonięte mają zbyt mały zapas ciepła, aby przeszkodzić zamarznięciu wody i z tego powodu dają ujemne rezultaty. Natomiast większe masy betonu z cementu glinowego w dostatecznie tłustej mieszance z podgrzany kruszywem, wodą i zbrojeniem, osłonięte ze wszystkich stron, wiążą i twardnieją normalnie przy mrozie dochodzącym do -12° . Na dowód przytacza doświadczenie, w którym kostka o wymiarach $30 \times 30 \times 30$ cm z zaprawy z cementu glinowego 1:3 zabetonowana w temperaturze $+15,5^{\circ}$ i wystawiona na mróz -8° do -6° w deskowaniu 5-stronnym i nakryta z wierzchu papierem i warstwą piasku wykazała po 24. godzinach przebywania na mrozie doskonale stwardnienie a zgnieciona po 10. dniach zamrażania wytrzymałość 350 kg/cm^2 . Na rys. 2 pokazano przebieg temperatury zewnętrznej i wewnętrznej w czasie wiązania.

b) Temperatury w pobliżu zera

Próbki przechowywane 1 — 28. dni w temp. 0° miały wytrzymałość $110 - 190 \text{ kg/cm}^2$, zaś po 2. dniach przechowywania w zmiennej temperaturze od $+2^{\circ}$ do -1° wytrzymałość 236 kg/cm^2 .

H. Vierheller podaje w Nr 23 czasopisma „Zement“ z roku 1928 na podstawie doświadczeń własnych i prof. Rühla następującą tabelę porów-

nawczą zachowania się zaprawy z różnych cementów w temp. 0 do $+4^{\circ}$.



T A B E L A 1

| Rodzaj cementu | Temperatura | Czas wiązania | | Wytrzymałość na | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------|---------|--------------------|--------|---------|
| | | początek | koniec | ściskanie po | | | rozciąganie po | | |
| | | | | 3. dn. | 7. dn. | 28. dn. | 3. dn. | 7. dn. | 28. dn. |
| | | h | h | kg/cm ² | | | kg/cm ² | | |
| portlandzki zwykły | normalna | 3 ⁰⁰ | 9 ⁰⁰ | 105 | 187 | 280 | 12,3 | 19,2 | 26,5 |
| | 0° do $+4^{\circ}$ | 8 ⁰⁰ | 30 ⁰⁰ | 56 | 125 | 267 | 7,5 | 15,0 | 24,8 |
| | różnica w %% | + 128 | + 243 | - 47 | - 33 | - 4,6 | - 39 | - 22 | - 6,4 |
| portlandzki wysokowartościowy | normalna | 2 ⁰⁰ | 5 ⁰⁰ | 229 | 368 | 523 | 23,4 | 29,3 | 34,5 |
| | 0° do $+4^{\circ}$ | 6 ⁰⁰ | 14 ⁰⁰ | 74 | 248 | 447 | 8,6 | 24,3 | 33,4 |
| | różnica w %% | + 200 | + 180 | - 68 | - 33 | - 14,5 | - 63 | - 17 | - 3,2 |
| glinowy | normalna | 3 ⁴⁰ | 4 ⁴⁰ | 511 | 560 | 643 | 24,8 | 26,7 | 30,3 |
| | 0° do $+4^{\circ}$ | 4 ³⁰ | 5 ⁵⁰ | 413 | 438 | 532 | 21,8 | 22,9 | 26,7 |
| | różnica w %% | + 23 | + 25 | - 19 | - 22 | - 17 | - 12 | - 14 | - 11,5 |

Z powyższych doświadczeń polskich i zagranicznych wynika, że betonowanie przy niskich temperaturach powyżej 0° , które tak znacznie opóźnia wiązanie i twardnienie betonów z cementu portlandzkiego, zwłaszcza wysokowartościowego, dla betonów z cementu glinowego jest najzupełniej bezpieczne.

W temperaturze równej zeru można również betonować bez obaw, gdyż wiązanie cementu gli-

nowego odbywa się bez przeszkód; tylko z rozdeskowaniem trzeba być ostrożnym, gdyż proces twardnienia w tej temperaturze może ulec wstrzymaniu.

Mróz w granicach do -12° nie powstrzymuje wiązania, o ile nie przeniknie do betonu przed rozwinieniem się temperatury wiązania. W tym celu betonując cementem glinowym w czasie mrozów należy odpowiednio podgrzewać kruszywo, wodę i

zbrojenie, a przede wszystkim osłaniać beton od strony nieokrytej deskowaniem za pomocą worków jutowych lub innego materiału izolującego. Gdyby mimo to beton zamarzał przed związaniem, to i tak jego energia wiążąca nie zaniknie i po odtażeniu proces wiązania odbędzie się normalnie. Na wszelki wypadek zaleca się termin rozdeskowania odpowiednio przedłużyć na okres po ustaniu mrozów.

2. Betony glinowe pod wpływem czynników chemicznych

Wrażliwość cementów portlandzkich na działanie chemiczne kwasów, roztworów soli zwłaszcza siarczanych i chlorowych oraz związków organicznych, tak szkodliwa dla budowli morskich i kanałizacyjnych, pochodzi stąd, że głównym ich składnikiem jest wapno, które jako zasada ma wielką skłonność do łączenia się z kwasami. Szczególne niebezpieczeństwo ze strony kwasu siarczanego i soli siarczanych polega na tym, że w połączeniu z wydzielanym przez cement wodorotlenkiem wapnia ($Ca(OH)_2$) tworzy się gips, który rozsądza beton. W konstrukcjach żelazobetonowych działanie chemiczne roztworów soli prowadzi ponadto do rdzewienia stali, a w następstwie do odprysków betonu i stopniowego zniszczenia konstrukcji.

Cementy glinowe, których zasadniczym składnikiem jest obojętny chemicznie glin, nie posiadają skłonności do łączenia się z kwasami w takim stopniu jak cementy portlandzkie i z tego powodu jest bardziej odporny na działanie wód szkodliwych. Nie jest on oczywiście absolutnie kwasoodporny; ale żądanie od jakiegokolwiek cementu zupełnej kwasoodporności jest w dzisiejszych warunkach niemożliwe do spełnienia.

W Niemczech przeprowadzono szereg badań co do wpływu różnych związków chemicznych na betony z cementu portlandzkiego, glinowego i innych rodzajów cementu.

K. Biehl podaje następujące wyniki zgniatania próbek zaprawy z cementu glinowego, przechowywanych w wodzie względnie w roztworach niektórych soli i kwasów (podają tylko główne wyniki):

TABELA 2

| Przechowanie w | Mieszanka 1:3 | | | | | Mieszanka 1:5 | | | | |
|--------------------|--------------------------------|--------|---------|-------|--------|---------------|--------|---------|-------|--------|
| | Wytrzymałość kg/cm^2 w wieku | | | | | | | | | |
| | 7 dni | 28 dni | 6 mies. | 1 rok | 2 lata | 7 dni | 28 dni | 6 mies. | 1 rok | 2 lata |
| Wodzie | 594 | 651 | 669 | 658 | — | 239 | 247 | 64 | 237 | 236 |
| 3% H_2SO_4 | 560 | 429 | 396 | 294 | 81 | 183 | 159 | 50 | 72 | 47 |
| 5% $MgCl_2$ | 500 | 543 | 633 | 603 | 713 | 181 | 256 | 239 | 185 | 218 |
| 5% $MgSO_4$ | 530 | 620 | 568 | 628 | 788 | 210 | 238 | 223 | 229 | 231 |
| 5% $NaSO_4$ | — | — | — | — | — | 236 | 263 | 258 | 236 | 228 |
| $CaSO_4$ (nasyce.) | 588 | 728 | 786 | 702 | 622 | 172 | 265 | 291 | 234 | 209 |

Doświadczenia Huty Rolanda przeprowadzone przez Instytut Badawczy Związku Niemieckich Fabryk Cementów Portlandzkich Żelazistych dały dla próbek z cementu glinowego następujące wyniki.

TABELA 3

| Sposób przechowania | Zaprawa | | | Beton | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-----|------|-----------------|----------|-------------|----------|
| | 1:3 | 1:5 | 1:10 | 300 kg cem. | | 400 kg cem. | |
| | Wytrzymałość po 2. latach | | | Wytrzymałość po | | | |
| | | | | 28. dn. | 6. mies. | 28. dn. | 6. mies. |
| 7 dni w wodzie potem na powietrzu | 798 | 653 | 342 | — | — | — | — |
| W wodzie . . . | — | — | — | 521 | 558 | 563 | 653 |
| Na powietrzu . . | — | — | — | 592 | 552 | 627 | 620 |
| W 1% H_2SO_4 . . | 358 | 175 | 18 | — | — | — | — |
| W 10% $MgCl_2$. . | 560 | 502 | 140 | 503 | 498 | 420 | 523 |
| W 10% $MgSO_4$. . | 692 | 515 | 0 | 508 | 543 | 567 | 643 |
| W 10% $NaSO_4$. . | — | — | — | 498 | 315 | 543 | 448 |

Próbki zaprawy z cementu glinowego z piaskiem w stosunku 1 : 3, badane w r. 1929 przez zakłady badawcze Huty „Lubeka“ wykazały po przechowaniu w różnych cieczach następujące wytrzymałości na rozzerwanie i ściskanie.

TABELA 4

| Sposób przechowania | Wytrzymałość na rozzerwanie | | | | | Wytrzymałość na ściskanie | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------|---------|-------|--------|---------------------------|---------|---------|-------|--------|
| | 28 dni | 3 mies. | 6 mies. | 1 rok | 2 lata | 28 dni | 3 mies. | 6 mies. | 1 rok | 2 lata |
| | wiek próbek | | | | | wiek próbek | | | | |
| W wodzie | 32.2 | 36.5 | 37.0 | 45.0 | 44.0 | 745 | 727 | 740 | 733 | 744 |
| Na powietrzu | 45.5 | 45.0 | 46.0 | 48.7 | 54.8 | 872 | 925 | 837 | 1020 | 1068 |
| 1% roztwór Na_2SO_4 | 41.7 | 37.3 | 33.3 | 34.3 | 37.8 | 649 | 629 | 623 | 664 | 701 |
| Nasycon. roztw. $CaSO_4$ | 38.2 | 33.5 | 35.2 | 43.0 | 46.0 | 589 | 654 | 796 | 760 | 788 |
| 5% roztwór $(NH_4)_2SO_4$ | 36.3 | 38.8 | 37.3 | 47.3 | 46.0 | 668 | 799 | 680 | 741 | 829 |
| 5% roztw. kwasu garbnikow. | 40.7 | 34.3 | 38.7 | 39.5 | 37.0 | 640 | 693 | 657 | 523 | 549 |
| 5% roztw. kwasu mlecznego | 34.0 | 29.7 | 26.0 | 26.7 | 28.7 | 643 | 643 | 449 | 477 | 512 |
| 5% roztwór cukru | 36.2 | 31.5 | 30.0 | 29.7 | 31.2 | 536 | 704 | 597 | 603 | 630 |

M. Dorsch badał szczegółowo zachowanie się różnych rodzajów cementów w roztworach różnych soli. Pierwszą serię badań przeprowadził na próbkach z czystego zaczynu cementowego. Następująca tabela podaje w jakich terminach następował początek rozpadania się próbek.

TABELA 5

| Roztwór | Początek rozpadania w dniu | | | | |
|--------------------|----------------------------|--------|-----------|---------|---------|
| | Rodzaj cementu | | | | |
| | portlandzki | | żelazisty | żużlowy | glinowy |
| | wysokowartość. | zwykły | | | |
| Woda destylowana | — | — | — | — | — |
| 15% $MgCl_2$. . . | — | — | — | — | — |
| „ $MgSO_4$. . . | 97 | 210 | 77 | 362 | — |
| „ Na_2SO_4 . . . | 63 | 97 | 227 | — | 185 |
| „ $CaSO_4$. . . | 500 | — | — | — | — |
| „ $(NH_4)_2SO_4$. | 7 | 15 | 12 | 59 | 112 |

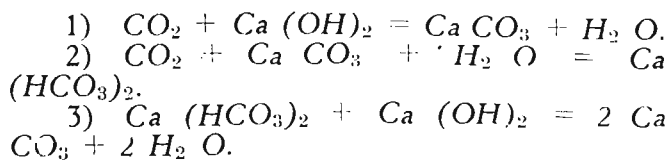
Brak cyfry w danej rubryce oznacza, że do końca badań, tj. do 536 dni nie stwierdzono na próbce żadnych uszkodzeń.

Na próbkach z cementu wysokowartościowego początek rozpadania zaznaczał się włoskowatymi rysami od zmiany objętości. W siarczanie amonu rozpadały się próbki z cementów portlandzkich i z cementu żelazistego po 125. dniach zupełnie, częściowo na proszek, częściowo na większe okruchy. Zupełny rozkład próbek z cementu żużlowego następował po roku, przy czym nie tworzył się proszek, lecz kilka większych ziarn. W innych roztworach uszkodzenia były mniejsze. Odporność poszczególnych cementów według tych doświadczeń wzrasta w następującej kolejności:

1. cement portlandzki wysokowartościowy,
2. cement portlandzki zwykły,
3. cement żużlowy,
4. cement glinowy.

Cement żelazisty stoi pod względem zachowania w roztworze siarczanu sodu pomiędzy 2 i 3, a w roztworach soli magnezjowych pomiędzy 1 i 2. Cement glinowy jest na działanie siarczanu sodu mniej odporny od cementu żużlowego, poza tym zajmuje zawsze najwyższe miejsce.

Osobne badania poświęcił Dorsch kwasowi węglowemu. Okazało się, że nawet destylowana woda powoduje karbonatację wapna wchodzącego w skład cementu. W roztworze kwasu węglowego rozkład próbek następował stosunkowo szybko i kończył się zupełnym rozsypaniem cementu, jednak bez objawów pęcznienia, a jedynie przez wypłukiwanie wapna z coraz głębszych warstw. Rozkładowi temu towarzyszyły następujące reakcje chemiczne:



Próbki z cementu glinowego dają prawie takie same wyniki jak z cementu portlandzkiego.

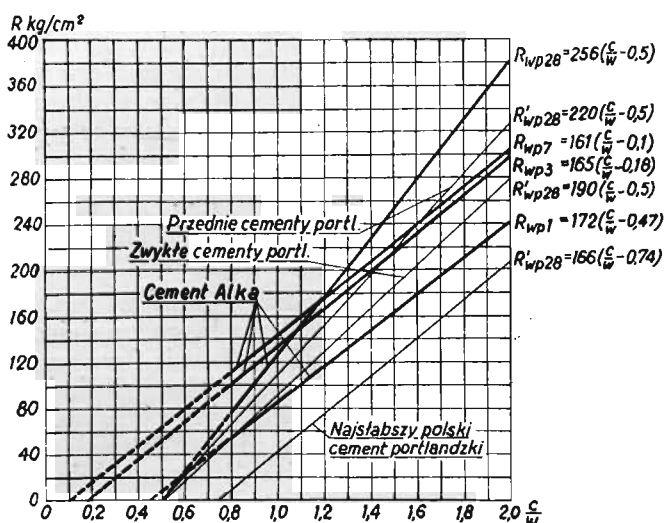
Druga seria badań Dorscha dotyczyła próbek na rozerwanie z zaprawy 1:3 przy użyciu dwóch

rodzajów piasku. Na podstawie tych doświadczeń ustala Dorsch następujące uszeregowanie odporności cementów: cement portlandzki wysokowartościowy, zwykły, cement żelazisty, cement żużlowy, portlandjurament — i na najwyższym miejscu cement glinowy.

Mała odporność wysokowartościowych cementów portlandzkich tłumaczy się tym, że cementy te z powodu drobniejszego przemiału mają większą powierzchnię zbiorową niż cementy zwykłe portlandzkie i dlatego na większej powierzchni stykają się z cieczą atakującą je chemicznie.

Związki zasadowe mogą również silnie atakować cementy, jak tego dowiodły doświadczenia kalfornijskiego Laboratorium Drogowego przy zastosowaniu ługu sodowego i potasowego. Można przypuszczać, że reakcja polega na zaatakowaniu nie wapna, które jest związkiem również zasadowym, lecz glinianów wapnia. Wobec tego reakcja jest tym silniejsza, im więcej glinu zawiera cement. Tym się tłumaczy także zmniejszona odporność cementu glinowego na działanie siarczanu sodu, o której była wyżej wzmianka. (Na potwierdzenie swojej hipotezy zbadał Dorsch próbki na rozerwanie wykonane z różnych cementów (zaprawa 1 : 3) przechowywane w $NaOH$ i stwierdził znaczne obniżenie wytrzymałości właśnie cementu glinowego. Jednak bezwzględna wartość wytrzymałości na rozciąganie tych próbek przy odpowiednim kruszywieniu była i tak stosunkowo duża, gdyż po 700 dniach wynosiła jeszcze bez mała 40 kg/cm^2).

Na zasadzie wszystkich wyżej opisanych doświadczeń dochodzi się do wniosku, że cement glinowy nie będąc całkowicie kwasoodpornym i podlegając w pewnym stopniu szkodliwym wpływom związków kwasowych i zasadowych jest jednak bez porównania bardziej odporny na działanie chemiczne roztworów od wszystkich innych cementów. Wobec tego cement glinowy nadaje się przy zachowaniu odpowiednich ostrożności jak dobór uzianienia, obfitsze dozowanie w betonie, zastosowanie karbotacji powietrznej przed zalaniem budowli wodą itd. do stosowania w budowlach morskich i innych narażonych na zetknięcia z wodami szkodliwymi.



3. Terminy rozdeskowania

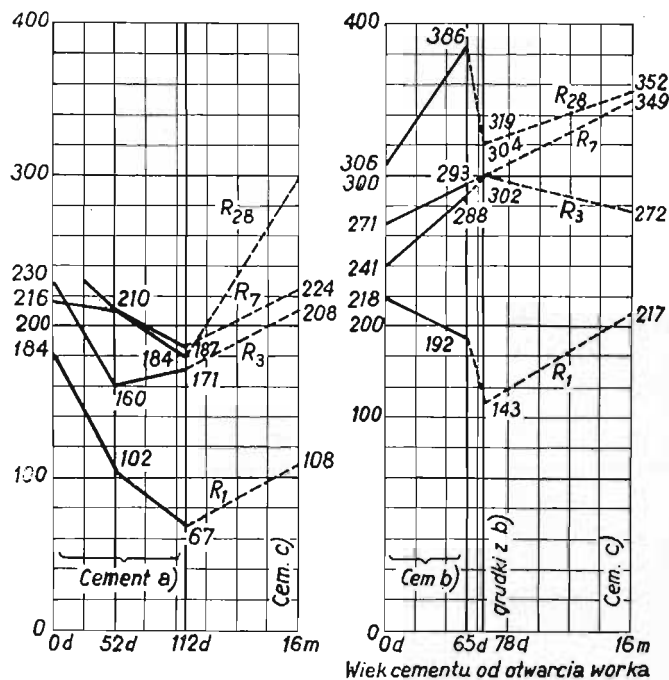
Powolne twardnienie betonów z cementu portlandzkiego prowadzi do różnych niedogodności, jak przerwy w robocie, duża potrzebna ilość materiału drzewnego wobec konieczności utrzymywania przez dłuższy czas deskowań itp.

Pod tym względem cement glinowy daje również bardzo duże korzyści. Podczas gdy beton z cementu portlandzkiego dopiero po 28 dniach osiąga swą miarodajną wytrzymałość, która ponadto podlega dużym wahaniom zależnie od wilgotności i temperatury powietrza, to beton z cementu glinowego już po 3 dniach niezależnie od tych czynników dochodzi prawie do granicznej wytrzymałości i to leżącej na bezwzględnie bardzo wysokim poziomie. Na rys. 3 przedstawiono wyniki doświadczeń polskich z r. 1936 i 37 z betonami z cementu glinowego w porównaniu z odpowiednimi wartościami podanymi przez dr Bukowskiego dla betonów z cementów portlandzkich. Grube linie odnoszą się do cementu glinowego, a cienkie do cementów portlandzkich. Wykresy podają zależność wytrzymałości betonu od współczynnika cementowo-wodnego. Obok wykresów wypisano odpowiadające im wzory analityczne, przy czym cyfra w indeksie oznacza wiek badanego betonu a litery „wp.” — wodno-powietrzne przechowanie próbek. Z wykresów widać, że wytrzymałość po 1 dniu ($R_{wp\ 1}$) jest w betonach z cementu glinowego wyższa niż 28-dniowa niektórych słabszych cementów portlandzkich, a po 3 dniach dorównuje 28-dniowej wytrzymałości betonów z cementów portlandzkich przednich (wysokowartościowych), a przewyższa wytrzymałość betonów z cementów zwykłych. Wobec tego terminy rozdeskowania betonów z cementu glinowego mogą być znacznie skrócone, a postęp robót może odbywać się prawie bez przerwy.

Wpływ zleżenia cementu

Cementy portlandzkie wykazują bardzo małą odporność na zleżenie. Chłoną one wilgoć i kwas węglowy z powietrza, wskutek czego już w opakowaniu następuje proces wiązania cementu. Tworzą się grudki skamieniałego cementu, który już potem siły wiążącej nie posiada. Po 3 miesiącach cement portlandzki traci jak wiadomo do 20% swojej energii wiążącej, a po upływie roku nie nadaje się z reszty do użytku. Cement glinowy nie posiada tej skłonności do łączenia się z wilgocią i kwasem węglowym powietrza i z tego powodu nie podlega tak szybko zniszczeniu. Tylko przy bardzo drobnym przemiale mogą się tworzyć grudki, zwłaszcza przy wewnętrznej powierzchni ścianek opakowania. Grudki te mają jednak zupełnie inny charakter niż zleżeniowe grudki cementu portlandzkiego; dają się łatwo rozgniatać i nie mają wpływu na wytrzymałość cementu.

Doświadczenia z cementem „Citodur“ po 10 miesiącach leżenia nie wykazały żadnego zmniejszenia wytrzymałości próbek na zgniatanie i rozzerwanie. Badania przeprowadzone przez Hutę „Lubeka“ dały następujące wyniki: w składzie w którym cementy portlandzkie z powodu niekorzystnych warunków już po kilku tygodniach były zupełnie zepsute, przechowywano worek cementu glinowego i po upływie 3 lat stwierdzono na sicie o 25 oczkach



na 1 cm² — 14% grudek, z których 82% dało się z łatwością rozgnieść w rękę. Pozostałe grudki były twardsze. Próbkę wykonaną z cementu sypkiego i z miękkich grudek rozgniecionych wykazały 97%, a z rozdrobnionych twardych grudek 94% pierwotnej wytrzymałości na zgniecenie.

We wzmiankowanych wyżej polskich doświadczeniach z roku 1936 i 1937 zastosowano 3 rodzaje cementu zleżającego, a mianowicie:

- a) cement, który w dniu otwarcia worka miał 120 dni,
- b) cement, który w dniu otwarcia worka miał 168 dni,
- c) cement, którego wiek w dniu otwarcia worka był nieznan, lecz który w otwartym worku przeleżał 16 miesięcy (480 dni).

Cementy a) i b) trzymano następnie jeszcze przez pewien czas w otwartych workach i w różnych okresach pobierano do badań. Na rys. 4 i 5 przedstawiono graficznie zależność wytrzymałości R próbek betonowych od czasu przez jaki cement leżał w otwartym worku. Rys. 4 dotyczy betonów o mieszaninie 1:2:4:0,8 (cement : piasek : żwir : woda) wykonanych z cementu a) i c); rys. 5 betonów 1:2:3:0,52 wykonanych z cementu b) i c) oraz z rozdrobnionych twardych grudek cementu b). Jak widać z przedstawionych na powyższych rysunkach wyników, tylko początkowe wytrzymałości R_1 i R_3 (po 1 i po 3 dniach) wykazują obniżenie na skutek zleżenia cementu. Natomiast już w 7 dniu nie ma większej różnicy pomiędzy wytrzymałością betonów z cementu zleżającego w porównaniu ze znacznymi wytrzymałościami analogicznych betonów ze świeżego cementu glinowego. Nawet stwardniałe grudki po rozdrobnieniu dały beton o stosunkowo wysokiej wytrzymałości. Szczególnie znamienne są wysokie wytrzymałości próbek z betonu który przeleżał 16 miesięcy w otwartych workach.

Opisane wyżej doświadczenia dowodzą wielkiej odporności cementów glinowych na zleżenie, co ma wielkie znaczenie dla organizacji zakupów cementu.

Biehl. Der Tonerde - Schmelzzement — Charlottenburg.
Bryła. Doświadczenia z betonami wykonanymi z polskiego cementu glinowego Alka - Elektro — „Przegląd Techniczny“ rok 1938.
Dorsch. Erhärtung und Korrosion der Zemente — Berlin 1932.
Höhl. Von der Prüfung und Verarbeitung des Tonerdezements.
Kragen. Technologia cementu glinowego — Warszawa 1935.

Marcotte. La corrosion des bétons armés — Chimie et Industrie 1935.
Roscher Lund. Ueber die Ursachen der Abbindestörungen eines Tonerdeschmelzzementes „Zement“ 1929.
Vierheller. Betonieren bei Frost mit Schmelzzement — 1926.
Vierheller. Die Verarbeitung von Tonerde - Schmelzzement — Berlin.
Craddock. Deterioration of concrete structures in alkaline and sea - water — Cement and Cement Manufacture 1935.

Prof. Dr Inż. STEFAN BRYŁA

Referat zgłoszony na IV Zjazd Inżynierów Budowlanych

KATASTROFA MOSTU W HASSELT

W marcu br. zawalił się stalowy most spawany w Hasselt w Belgii. Katastrofa ta wzbudziła liczne echa w literaturze technicznej całego świata. Wprawdzie katastrofy mostów — i stalowych i żelazobetonowych — nie są niestety zjawiskiem wyjątkowym, niemniej była to pierwsza i jedyna dotąd katastrofa mostu spawanego mimo młodego wieku tych konstrukcyj. Przyznać należy, że ani jeden z wielu autorów omawiających daną katastrofę, nie podszedł do tej sprawy pod kątem jakiegokolwiek umniejszania walorów spawania i w żadnym artykule nie pojawiła się nuta na temat osłabienia tego niezmiernie szybkiego tempa, w jakim spawanie wchodzi w życie w konstrukcjach mostowych. Wszyscy podeszli do niej jedynie pod kątem możliwego zbadania przyczyn i wyciągnięcia wniosków na przyszłość.

Oczywiście, jest to droga jedyna. Każdemu postępowi musi towarzyszyć i niejedno nieudanie. Może ono pochodzić z nieświadomości, może pochodzić z nieuwagi, z braku ostrożności, może powodem jego być licha robota. W każdym razie zawsze ono uczy jak postępować, by w przyszłości podobnych wypadków nie było.

Most w Hasselt był mostem drogowym, parabolicznym, bezprzekątniowym o rozpiętości 74,52 m wysokości dźwigarów głównych 10,20 m i ich rozstawie 10,50 m. Dźwigary główne miały po dwaście pól. Jako materiał przepisana była stal Thomasowska o wytrzymałości $R_r = 4200$ do 5000 kg/cm², a granica plastyczności Q_r większej od 2800 kg/cm² i takąż stal zastosowano.

Podczas katastrofy pękł najpierw pas dolny w pobliżu jednego z węzłów i w pobliżu styku. W drugim dźwigarze utworzyło się pęknięcie w spoinie, po czym nastąpiło przerwanie pasów dolnych. Z tą chwilą ustrój zaczął pracować jako łuk paraboliczny; oddziaływania poziome tego łuku ścięły jednak przyczółki, a tym samym łuk paraboliczny stał się z kolei belką wolnopodpartą o kształcie parabolicznym, która to belka było oczywiście zbyt słaba, by przenieść momenty zginające, i załamała się.

Zapytywany bezpośrednio po katastrofie o możliwe jej przyczyny, wydałem następującą opinię na podstawie nadesłanego mi materiału¹⁾:

¹⁾ Ustępy w cudzysłowie są powtórzeniem owej mojej opinii, ustępy nie zaopatrzone cudzysłowem dodaję obecnie.

1. „Stal zastosowana mogła mieć niewystarczające własności spawalnicze²⁾. To przypuszczenie zdaje się być o tyle prawdopodobne, że szybkie zawalenie się mostu świadczy o kruchości materiału, materiał zaś nadający się dobrze do spawania, np. stal handlowa, nie podlega tym ujemnym skutkom, powodującym kruchość materiału w pobliżu miejsca spawania“.

Już doświadczenia przeprowadzone dziesięć lat temu, m. in. i moje, wykonane przed przystąpieniem do budowy mostu pod Łowiczem na rzece Słudwi, stwierdziły bezspornie, iż stal gatunku handlowego (zarazem stal 010W, wzgl. A35) nadaje się doskonale do spawania. Jest to stal, jak w ogóle stale polskie, Martinowska. Kwalifikacje jej spawalnicze określił wyraźnie II. Kongres Mostów i Konstrukcyj Inżynierskich odbyty w Berlinie w r. 1936, stwierdzając jednomyślną uchwałą na wniosek komisji³⁾ w mojej redakcji, że stal ta nadaje się bez żadnych wątpliwości do spawania. Zarazem jednak uchwała ta stwierdzała, że inne stale należy przed stosowaniem ich badać na własności spawalnicze. Wśród różnych gatunków stali wyrabianych w Polsce i używanych nie tylko wyłącznie do celów konstrukcyjnych, produkowano niektóre, które nadawały się gorzej do spawania. Spawanie bowiem w konstrukcjach budowlanych w Polsce jest tak dominującą i zmierzającą do wyłączności metodą, że stale gorzej spawalne, któreby mogły ewentualnie znaleźć zastosowanie w budownictwie, nie mają u nas w ogóle zbytu i zastępuje się je stalami spawalnymi.

Należy ponadto pamiętać, że miarą dobroci połączenia spawanego nie jest bardzo wielka wytrzymałość elektrody, ale jednorodność spoiny i materiału konstrukcyjnego, (na co zwracano wielokrotnie uwagę⁴⁾). Obecnie np. na podstawie wielu doświadczeń przeprowadzonych przez Tow. Air Liquide pod kierunkiem prof. Brillie wysuwa się propozycje przeprowadzenia prób spawania i w tym kie-

²⁾ Obecnie można stwierdzić, że rzeczywiście tak było.

³⁾ W komisji zasiadali: Bierett, Combournac, Karner, Schaper i ja.

⁴⁾ Por. np. Spawanie i Cięcie Metali 1938. Nr 6., zaś w dziale spawania konstrukcyjnego moje artykuły i wykłady.