

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
ZAKŁAD BADAWCZY BUDOWNICTWA

ZESZYT 3.

STEFAN BRYŁA

# BETON WIBROWANY



691,3

Odbitka z „Czasopisma Technicznego“ Nr 10. R. 1938.  
LWÓW.

BIBLIOTEKA  
WYDZ.  
ARCHITEKTURY

2453

STEFAN BRYŁA

## Beton wibrowany.

Wibrowanie polega na poddawaniu świeżego betonu periodycznym drganiom o dużej częstotliwości. Drgania te powodują raptowne przesuwanie się ziarn kruszywa względem siebie, przez co siła tarcia międzycząstkowego ulega znacznemu zmniejszeniu lub nawet całkowitemu zanikowi. Wówczas poszczególne ziarna pod wpływem siły ciężkości opadają w dół, zapelniając formy i zagęszczając strukturę betonu.

Przesuwanie się ziarn może być uskutecznione także przez nadmiar wody w betonach ciekłych lub półciekłych, który również dzięki zmniejszeniu tarcia międzycząstkowego umożliwia samoczynne (lub z niewielką pomocą ręcznych narzędzi) układanie się betonu w formach. Dzieje się to jednak kosztem zmniejszenia wytrzymałości betonu, i to nieraz znacznego. By uzyskać to samo w betonie o małej zawartości wody, ubija się go ręcznie lub mechanicznie. Ubijanie jednak nie zawsze daje gwarancję dokładnego wypełnienia form i należytego zagęszczenia betonu, a poza tym nie wszędzie może być stosowane.

Przy wibrowaniu odpadają powyższe niedostatki betonów układanych ręcznie. Dla uzyskania potrzebnego stopnia urabialności można stosować mieszaninę o mniejszej zawartości wody

i dzięki temu otrzymywać beton o większej wytrzymałości. Przy tym nawet wybitnie suche betony o wielkości opadu zaledwie 2—3 cm, można przy użyciu odpowiednio mocnych przyrządów tak wibrować, że wypełnią formę całkowicie nie zostawiając miejsc pustych, ani „rakowatych“.

Równoległe ze wzrostem wytrzymałości zwiększa się również wodoszczelność betonu dzięki dobremu i jednolitemu zagęszczeniu masy. — Szczelność jest tu nawet w pewnym stopniu niezależna od uziarnienia, gdyż wibrowanie zmusza cząstki betonu do jak najgęściejszego układania się.

Obok większej wytrzymałości, większej wodoszczelności i jednolitości zagęszczenia, daje wibrowanie jeszcze następujące korzyści: skraca czas betonowania, zmniejsza zapotrzebowanie siły roboczej i koszt betonowania, nadaje powierzchni betonu równy i gładki wygląd, a wreszcie ułatwia kontrolę. Mianowicie przy wibrowaniu sprawdzianem należytego zagęszczenia jest pojawienie mleka cementowego na górnej powierzchni betonu.

W jakim stosunku przez wibrowanie wzrasta wytrzymałość betonu, nie da się jeszcze zupełnie dokładnie określić, za mało bowiem wykonano dotychczas doświadczeń. Autorzy omawiający ten temat niezupełnie są zgodni między sobą i przyjmują wielkość wzrostu w granicach od 10—30%, niekiedy nawet znacznie więcej. Zdaje się, że wielkość ta zależy między innymi także od rodzaju betonu, tak np. w betonach ubijanych można osiągnąć znacznie większe zwiększenie wytrzymałości niż w plastycznych (np. w konstrukcjach żelbetowych). Doświadczenia Związku Belgijskich Producentów Portlandcementu wykazały przy wibrowaniu wzrost wytrzymałości kostek i słupów na zgniatanie w stosunku 1,50—1,80, na zginanie natomiast tylko 1,02.

Przyuszczalnie bez obawy można liczyć średnio na przyrost wytrzymałości do 15%, tym bardziej, że dzięki jednolitemu zagęszczeniu i wyższej niezależności od różnic uziarnienia nie ma w betonie wibrowanym miejsc słabszych, któreby obniżały bezpieczeństwo całości. Ponieważ zwiększenie wytrzymałości betonu wibrowanego wynika z zastosowania mniejszej ilości wody, przeto dla przyjętego wzrostu o 15% można wyliczyć odpowiadające mu zmniejszenie zawartości wody. Posługując się równaniem

$$R = 20 + 80 \frac{c}{w},$$

otrzymujemy wzór

$$p \% = \frac{15}{1,15 - \frac{20}{R}}$$

w którym  $p$  oznacza procent zmniejszenia zawartości wody odpowiadający zwiększeniu wytrzymałości o 15%. Z wzoru tego wypada dla  $R = 100$ ,  $p = 15,6\%$ , dla  $R = 200$   $p = 14,3\%$ , a dla  $R = \infty$  jako wartość graniczna  $p = 13\%$ . Średnio można przyjąć w normalnych warunkach  $p = 15\%$ .

Zamiast powiększać wytrzymałość, o ile to nie jest potrzebne, możemy dać mniej cementu i przez wibrowanie osiągnąć wytrzymałość taką samą jak w betonie zwykłym z większą ilością cementu. Ponieważ wytrzymałość jest prostoliniową funkcją spólcynnika cementowo-wodnego  $\frac{c}{w}$ , a wody dajemy o ok. 15% mniej, przeto ilość cementu można zmniejszyć również o ok. 15%. Tak np. zamiast 300 kg cementu w betonie zwykłym wypadłoby 255 kg w betonie wibrowanym. Wprawdzie dla żelazobetonu normy nie pozwalają stosować cementu mniej niż 270 kg na 1 m<sup>3</sup>, ale ograniczenie to wprowadzono ze względu na wodoszczelność konieczną dla zapewnienia wy-

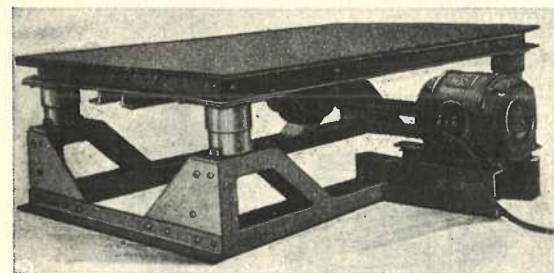
starzejacej ochrony od korozji. Skoro zaś przez wibrowanie uzyskujemy w ogóle większą wodoszczelność betonu, to i dolną granicę dozowania cementu można odpowiednio obniżyć. Ścisłejsze określenie tej granicy musiałyby być poparte specjalnymi badaniami. Nie jest pewne, czy można by zejść do  $230 \text{ kg/m}^3$  odpowiadających według powyższego rachunku  $270 \text{ kg}$  cementu w betonie zwykłym, ale  $250 \text{ kg/m}^3$ , jako dolną granicę, można przyjąć a priori bez obawy.

Zwiększona wodoszczelność betonu wibrowanego jest według doświadczeń wykonywanych w Rożnowie następstwem nie zmniejszania ogólnej objętości próżni w betonie, lecz ich rozdrobnienia. Co się tyczy wpływu uziarnienia kruszywa na szczelność betonu, to odgrywa ono pewną rolę w betonach o małej zawartości cementu. Z doświadczeń Niewęgłowskiego i Sznuka (Wiadomości Drogowe r. 1937 str. 361 do 366) wynika, że nadmierne spęcznienie masy występujące w razie zastosowania piasku o dużym procencie ziarn grubszych od  $1 \text{ mm}$ , może spowodować nierównomierne uszczelnienie betonu, a co ztym idzie obniżyć również wytrzymałość konstrukcji. Należy przeto zdaniem wymienionych autorów stosować taki piasek, któryby miał niewielki procent frakcji  $1-2 \text{ mm}$ , w razie potrzeby piasek będący do dyspozycji odpowiednio odsiać, a gdyby to się nie opłacało, dodać więcej cementu.

Ważną zaletą wibrowania jest umożliwienie zagęszczenia betonu w miejscach trudno dostępnych. Miejsca takie trafiają się w konstrukcjach żelbetowych o gęstym uzbrojeniu, w głowicach słupów, na skrzyżowaniach belek z podciągami itp. Przy betonowaniu ręcznym, takie skupienia zbrojeń nastroczały wykonawcom wiele kłopotów i pomimo najbardziej starannego wykonania nie było pewności czy beton dojdzie wszędzie. Ostatecznie tak ważne węzły konstrukcyjne miały zazwyczaj zmniejszoną wytrzymałość. Nato-

miast należyte wypełnienie takich miejsc można osiągnąć zawsze pod warunkiem zastosowania odpowiednich wibratorów.

Wibratory są to aparaty służące do wywołania drgań o wysokiej częstotliwości. Najmniejsza ilość drgań, nadająca się do wibrowania betonu, wynosi 3000 okresów na minutę. Jednak im większa częstotliwość tym skuteczniejsze działanie wibratora. Dlatego we Francji, która jest ojczyzną betonu wibrowanego, stosowane są wibratory o częstotliwości 4000 do 10.000 okresów.

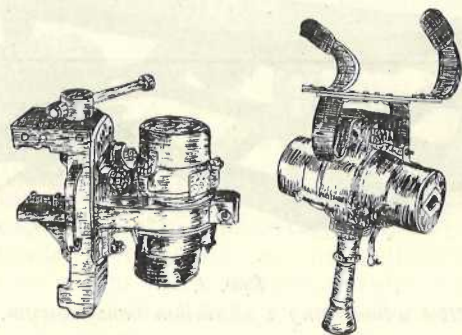


Ryc. 1.  
*Stół wibracyjny z silnikiem benzynowym.*

Od wibratorów należy odróżnić młotki pneumatyczne i inne podobne przyrządy, którymi trzymając je w ręku, obstukuje się deskowania. Przy ich pomocy możemy osiągnąć ułożenie się betonu w deskowaniu, ale zwiększenia wytrzymałości lub szczelności w porównaniu z betonem zwykłym nie uzyskamy. Różnią się te przyrządy od prawdziwych wibratorów zasadniczo tym, że częstotliwość uderzeń jest znacznie mniejsza od 3000 na minutę, zwykle 1200—1600, a więc niedostateczna do zwibrowania betonu i że działanie ich nie jest kontrolowane. Mianowicie robotnik przesuwając przyrząd ręcznie po deskowaniu, może to robić prędzej lub wolniej, a w konsekwencji, albo nie doprowadzić do całkowitego

ułożenia się betonu, albo spowodować jego rozsegregowanie.

Wibratory dzielą się na udarowe (tłokowe) i mimośrodowe (obrotowe). Napęd może być pneumatyczny, elektryczny lub spalinowy. Wibratory udarowe mają zazwyczaj napęd pneumatyczny. Pierwsze wibratory były tego właśnie typu. Wibratory udarowe z napędem elektrycznym są rzadziej stosowane, ponieważ zużywają się dość szybko i podlegają częstym uszkodzeniom. Działanie wibratorów udarowych polega na okresowych ruchach tłoka w cylindrze tam i z powrotem.

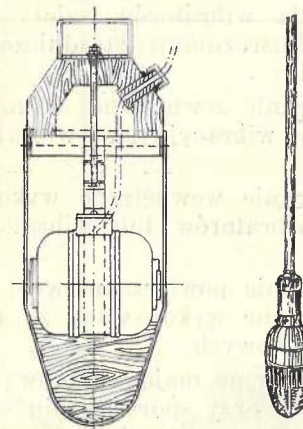


Ryc. 2.

- a) wibrator przyczepny,  
b) " prętowy.

Wibratory mimośrodowe mają napęd elektryczny lub spalinowy. Elementem wywołującym drgania jest tutaj mimośrod obracający się na wale maszyny. Waga mimośrodu wynosi zwykle 0,5—2 kg. Im większa waga mimośrodu i im większy jego promień, tym drgania są bardziej intensywne. Ponieważ w przeciwieństwie do wibratorów udarowych kierunek uderzeń jest styczny, a nie prostopadły do kierunku ruchu, więc efekt wibrowania jest przy wibratorach mimośrodowych stosunkowo mniejszy i chcąc osiągnąć efekt taki jak przy wibratorach udarowych,

trzeba stosować aparaty cięższe. Dlatego to waga wibratorów mimośrodowych jest zazwyczaj znacznie większa niż udarowych. Najnowsze typy wibratorów pneumatycznych ważą zaledwie 4 kg przy średnicy cylindra 45 mm, a 7 kg przy średnicy 60 mm, zaś elektryczne wibratory mimośrodowe około 15 kg. Mała waga uchodzi za zaletę wibratorów, ponieważ ułatwia manipulowanie nimi i zmniejsza niebezpieczeństwo uszkodzenia deskowań. Mimo to elektryczne wibratory mimośrodowe zdobyły sobie największe rozpowszechnienie i są stosowane prawie wyłącznie tam, gdzie jest prąd na miejscu. Są one bowiem najtańsze i najmniej zużywają energii, zwłaszcza przy pobieraniu prądu zmiennego.



Ryc. 3.

- a) perwibrator pływakowy,  
b) perwibrator.

Rozchód energii wynosi zależnie od rodzaju konstrukcji 200—500 watogodzin na  $1 m^3$  betonu, a zatem przy cenie 35 gr za kWh, prąd do zwibrowania  $1 m^3$  kosztuje od 7 do 18 gr. Natomiast wibratory pneumatyczne pracują bardzo nieekonomicznie i wymagają kosztownej instalacji

do sprężania powietrza. Stosowanie ich może się opłacić tylko przy dużej ilości aparatów, ewentualnie w łączności z innymi urządzeniami pracującymi na sprężone powietrze, albo przy użyciu bardzo suchego betonu, który wymaga szczególnie intensywnego wibrowania.

Wibratory z silnikami spalinowymi są droższe od elektrycznych i kosztowniejsze w eksploatacji, ale są stosowane z konieczności wszędzie tam, gdzie nie ma prądu na miejscu, a doprowadzenie go byłoby zanadto kosztowne. Różnią się one zasadniczo tym od elektrycznych, że silnik nie jest wbudowany w wibrator, lecz stoi oddzielnie i łączy się z wibratorem za pomocą giętkiego wału.

Konstrukcja wibratorów zależy od metody wibrowania. Rozróżniamy zasadniczo trzy metody wibrowania:

- 1) wibrowanie zewnętrzne wykonywane za pomocą stołów wibracyjnych i wibratorów przyczepnych,
- 2) wibrowanie wewnętrzne wykonywane za pomocą perwibratorów lub wibratorów prętowych,
- 3) wibrowanie powierzchniowe i powierzchniowo-wewnętrzne wykonywane za pomocą wibratorów żelazkowych.

Stoły wibracyjne mają zastosowanie głównie w betoniarstwie przy sporządzaniu wyrobów cementowych, w budownictwie zaś tylko wyjątkowo: przy szkieletach montowanych z gotowych elementów lub przy wznoszeniu ogrodzeń, słupów oświetleniowych itp. Stół wibracyjny składa się z podstawy, blatu osadzonego na resorach i wibratora właściwego z silnikiem (ryc. 1).

Wibratory przyczepne (ryc. 2 a) stanowią typ wibratorów mający najszersze zastosowanie w budowlanych konstrukcjach żelbetowych, których grubość nie jest nadmiernie duża. Nadają się zarówno do słupów jak do belek i do ścian żel-



betowych. Wibratory tego typu przymocowuje się do deskowań od zewnątrz za pomocą imadeł, które przytwierdza się do łat, tworzących ramki wzgl. rygle deskowań. Ważną rzeczą jest mocne nieprzesuwne przytwierdzenie aparatu, aby drgania przenosiły się na deskowanie w całości bez ruchów jałowych. Deskowanie winno być wykonane solidnie i jak najszczelniej z desek niezbyt szerokich. Specjalne wzmocnienie deskowań zwykle nie jest konieczne.



Ryc. 4.  
Perwibrator benzynowy.

Perwibratory (buławy wibracyjne) składają się ze stożkowo zakończonego cylindra, stanowiącego właściwy element wibracyjny, silnika

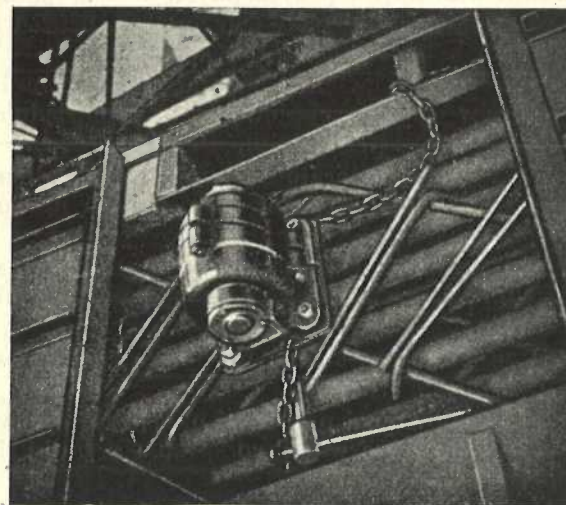
i drąga z amortyzowanymi rękojeściami dla robotnika. Silnik może być umieszczony wewnątrz wibratora (ryc. 3 b) lub zewnątrz, łącząc się z wibratorem właściwym za pomocą giętkiego wału (ryc. 4). Cylinder wibracyjny zanurza się w beton i w ten sposób przez bezpośrednie zetknięcie się powoduje wibrację betonu. Perwibratory nadają się głównie do większych maszywów betonowych. W żelazobetonie istnieje niebezpieczeństwo przenoszenia się drgań przez wkładki na beton twardniejący lub jeszcze wiążący, ale w tym stadium, gdy wstrząsy są już szkodliwe.

Odmianą tego typu są perwibratory pływające, bez rękojeści, które w miarę zagęszczania się betonu wznoszą się w górę samoczynnie na zasadzie wyporu cieczy (ryc. 3 a).

Wibrator prętowy (ryc. 2 b) ma u spodu pancerza silnika nadlew wewnątrz nagwintowany, w który wkręca się końcówki robocze o różnych kształtach i przekrojach. Wibrowanie odbywa się za pośrednictwem prętów zbrojenia, do których wibrator jest przyczepiony, lub na nich ustawiony. Stosuje się go do wibrowania dolnej warstwy płyt podwójnie zbrojonych, w węzłach nad kolumnami i w ogóle w miejscach trudno dostępnych dla innych wibratorów wewnętrznych. Promień działania tych wibratorów jest mały, skutkiem czego trzeba je często przestawiać, ale i czas wibrowania odpowiednio krótki (8—10 sek.). Przy nieumiejętnym zastosowaniu mogą spowodować rozwibrowanie betonu. Istnieją też wibratory uniwersalne, którymi można się posługiwać, zmieniając końcówki, jako wibratorami prętowymi (ryc. 5), perwibratorami (ryc. 7), wibratorami powierzchniowymi i przyczepnymi (ryc. 6).

Wibrator powierzchniowy składa się z płyty (żelazka), umieszczonego na niej elementu wibracyjnego z silnikiem i rękojeści amortyzowanych (ryc. 8). Robotnik trzymając wibrator za

rękojeści przesuwa go po powierzchni betonu. Drgania wibratora wprowadzają w wibrację beton. Tego rodzaju wibratory nadają się szczególnie do robót drogowych, ale mogą być zastosowane również w budownictwie przy betonowaniu cienkich płyt. Większe masywy betonowe można wibrować warstwami za pomocą wibratorów powierzchniowych, których płyty powinny mieć wówczas na powierzchni roboczej karby do wyciskania w powierzchni betonu wgłębień,



Ryc. 5.  
Uniwersalny elektrowibrator zastosowany jako wibrator prętowy.

sprzyjających lepszemu wiązaniu się warstw betonu między sobą. Wibratory powierzchniowe wymagają betonu szczególnie suchego. W betonie zanadto ciekłym mogą spowodować rozmieszanie składników.

Jeżeli zamiast płyty zastosować element o przekroju klinowym, to powstanie wibrator po-

wierzchniowo - wewnętrzny, który częściowo zanurza się w betonie, a częściowo ślizga się po jego powierzchni.

Czas wibrowania zależy od typu wibratora, od składu i konsystencji betonu, od rodzaju konstrukcji i wreszcie od kształtu i konstrukcji deskowań, oraz od gęstości zbrojenia. Średnio można przyjąć następującą wydajność godzinową wibrowania:

w słupach o przekroju  $30 \times 30$  cm przy zastosowaniu wibratorów przyczepnych  $3-6$  m<sup>3</sup>/godz.,

w cienkich ściankach żelbetowych przy wibratorach j. w. —  $0,5-1,5$  m<sup>3</sup>/godz.,

w masywach betonowych, przy zastosowaniu wibratorów powierzchniowych i odpowiedniej organizacji dostawy betonu,  $10-20$  m<sup>3</sup>/godz.

Konstrukcja wibratorów musi uwzględniać następujące warunki pracy tych maszyn na budowie:

1) drgania o dużej częstotliwości działają destrukcyjnie na wszelkie urządzenia mechaniczne;

2) zapotrzebowanie mocy do rozruchu jest stosunkowo duże;

3) wibrator musi pracować przez całą duiówkę, z krótkimi przerwami, co sprzyja grzaniu się silników;

4) kurz unoszący się na budowie, bryzganie betonu, przesuwanie kabla po ziemi i kamieniach itp. narażają wibrator na zanieczyszczenia; zatarcia i uszkodzenia;

5) obsługa jest zazwyczaj niefachowa i przeciążona ubocznymi obowiązkami;

6) nie ma warunków, ani czasu na właściwą konserwację i drobne naprawy;

7) zatrzymanie wibratora grozi zmarnowaniem przygotowanego betonu;

8) terminowość robót budowlanych z jednej strony, a kosztowność wibratorów z drugiej,

skłania wykonawców do przeciążania nielicznych urządzeń wibracyjnych, zainstalowanych na budowie;

9) łatwość i bezpieczeństwo obsługi jest nieodzownym warunkiem stosowalności wibratorów na budowie.

Z powyższych warunków wypływają następujące zasady konstrukcji wibratorów budowlanych<sup>1)</sup>:

1) Konstrukcja wibratorów powinna być mocna i pewna. Wszystkie urządzenia powinny być odporne na przypadkowe uderzenia zewnętrzne i na nieumiejętną obsługę.

2) Powinno być jak najmniej połączeń rozluźniających się w czasie pracy.

3) Połączenia na śruby, sworznie lub kliny powinny być zaopatrzone we wszelkie urządzenia zabezpieczające je przed rozluźnianiem.

4) Najlepsze jest łączenie części za pomocą spawania lub przez wprasowanie.

5) Moc silników powinna być conajmniej o 50% wyższa od normalnego zapotrzebowania.

6) Wszystkie części ruchome, a także silniki i łożyska muszą być szczelnie osłonięte z pozostawieniem otworów do wentylacji we właściwych miejscach.

7) Doprowadzenie prądu winno być skuteczne za pomocą odrutowanego kabla z grubszym ogumieniem, który wg. norm SEP-u określa się jako przewód giętki przemysłowy normalny S. P.

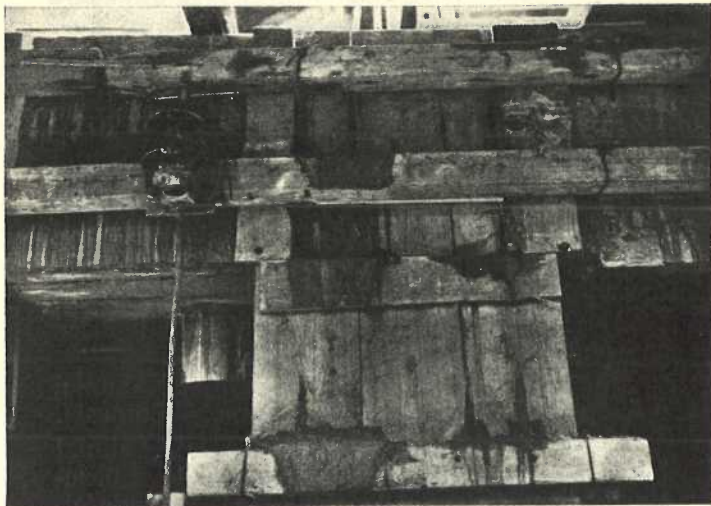
8) Wibrator powinien być tak skonstruowany, aby nie było potrzeby częstego smarowania łożysk, dokręcania śrub i zdejmowania osłon ochronnych.

<sup>1)</sup> Zasady te podane są na podstawie pracy „Wibratory w budownictwie“ (uzupełniona odbitka artykułów z „Cementu“ opracowanych przez inż. J. Choroszczuchę i inż. S. Gładkicha), z której korzystałem również w innych częściach niniejszego artykułu.



9) Rękojeście wibratorów prowadzonych muszą być doskonale amortyzowane, aby wibracje nie przenosiły się na ciało robotnika.

10) Wibratory wewnętrzne powinny ważyć nie więcej niż 15 kg i mieć powierzchnię gładką nie przywierającą do betonu, aby robotnik mógł bez trudności wibrator wyjmować z betonu.



*Ryc. 6.*

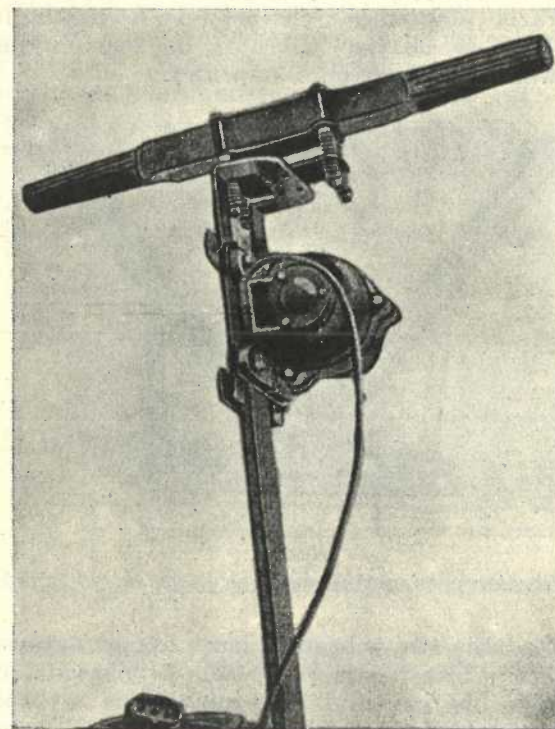
*Elektrowibrator jako wibrator przyczepny.*

11) Wibratory muszą być proste i łatwe w obsłudze i wygodne do uruchomienia i zatrzymania w czasie pracy.

12) W związku z rozruchem wibratora należy zastosować odpowiednio zabezpieczone gniazdko z wtyczką i samoczynnym wyłącznikiem.

13) Budowa wibratorów powinna być taka, aby drobne naprawy i wymiana części zapasowych mogła się odbywać na budowie bez specjalnych warsztatów.

14) Smarowanie części trących się powinno odbywać się bez rozbiórki poszczególnych części i nie częściej niż raz na miesiąc.

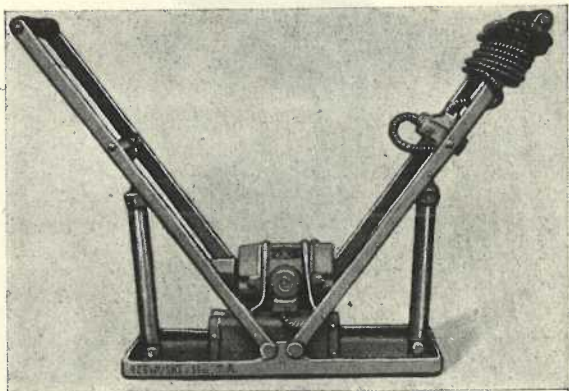


*Ryc. 7.*

*Elektrowibrator jako perwibrator.*

Najwłaściwszą próbą odbiorczą wibratorów na trwałość jest przepracowanie nimi pewnej ilości godzin w specjalnie dobranych uciążliwych warunkach. Tak np. dla wibratora powierzchniowego typ Rzewuskiego Nr 35/75 (ryc. 8) stosuje się jako próbę 120 godzin pracy przy ustawieniu na kostce granitowej. Po próbie wibrator

ma być zdalny do dalszej pracy w warunkach normalnych. Wibratory powinny być dostarczone z gwarancją pracy w normalnych warunkach, zależnie od typu, na przeciąg do 2000 godzin. W razie poważniejszych usterek w działaniu powinno się odsyłać wibrator do macierzystej wytwórni dla kontroli i naprawy.



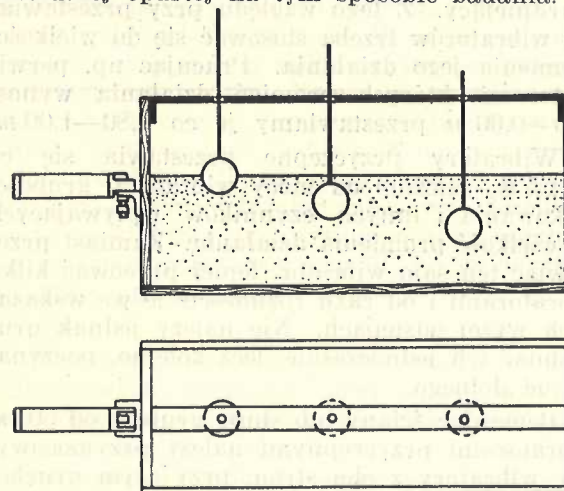
Ryc. 8.

Wibrator powierzchniowy typu Rzewuskiego 35/75.

Badanie siły wibratora może być przeprowadzone w następujący sposób<sup>2)</sup>, pozwalający określić oba czynniki siły, mianowicie szybkość wibrowania i promień zasięgu: Do podłużnej skrzynki (ryc. 9) napełnionej betonem przytwierdzamy na jednym końcu badany wibrator, a do betonu wstawiamy w różnych odstępach kilka dętych kul zaopatrzonych w prowadnice. — W pierwszej chwili wszystkie kule osiadają na dnie skrzynki. Po uruchomieniu wibratora stopniowo podnoszą się w górę, w miarę zagęszczania się dolnych warstw betonu. Ponieważ wpływ

<sup>2)</sup> Etienne Tréves: Beton vibré — Génie Civil 1935, str. 366—371.

wibrowania jest silniejszy w pobliżu wibratora niż w dalszych odległościach, przeto szybkość wznoszenia się kul jest niejednakowa. Notując czas wznoszenia się kul, który zresztą jest zależny także od konsystencji i od składu betonu, otrzymujemy dane porównawcze do określenia siły wibratora. Jeżeli w identycznych warunkach przeprowadzimy powyższe badanie dla kilku wibratorów i jeżeli ponadto zbadamy wytrzymałość zwibrowanych bloków betonu, to będziemy mieć dokładne porównanie efektu pracy tych wibratorów. Pożądane byłoby ustalenie pewnej skali absolutnej opartej na tym sposobie badania.



Ryc. 9.

Badanie siły wibrowania.

Praca wibratorami wymaga zachowania pewnych prawideł i ostrożności zarówno ze względu na należyty wynik wibrowania, jak i ze względu na bezpieczeństwo obsługi, oraz konserwację przyrządów. Przed przystąpieniem do pracy należy opracować dokładny program oznaczając na planach typy wibratorów i miej-

sca, w których mają być zastosowane. Przewidzieć należy również wibratory rezerwowe. Nieumiejętne zastosowanie wibratorów i niedbały nadzór może spowodować zamiast zamierzonego zagęszczenia — rozwarstwienie masy betonowej.

Konsystencja betonu wibrowanego w zależności od typu wibratora ma odpowiadać opadowi od 2—5 cm przy wibratorach wewnętrznych i powierzchniowych, a 6—7 cm przy wibratorach przyczepnych.

Szczególne uwagi należy zwracać na to, aby drgania wibracyjne nie przenosiły się na beton twardniejący. Z tego względu przy przestawianiu wibratorów trzeba stosować się do wielkości promienia jego działania. Pracując np. perwibratorami, których promień działania wynosi 0,45—0,60 m przestawiamy je co 0,80—1,00 m.

Wibratory przyczepne przestawia się co 1—1,5 m, zależnie od mocy wibratora, grubości deskowania i innych czynników wpływających na wielkość promienia działania. Zamiast przestawiać ten sam wibrator, lepiej pracować kilku wibratorami i od razu rozmieścić je we wskazanych wyżej odstępach. Nie należy jednak uruchamiać ich jednocześnie, lecz kolejno, poczynając od dolnego.

Betonując ściany lub słupy grubsze od 50 cm wibratorami przyczepnymi należy przymocowywać wibratory z obu stron, przy czym uruchomienie ich nie powinno następować jednocześnie, lecz kolejno, podobnie jak w kierunku pionowym.

W razie dłuższej przerwy w wibrowaniu, wznowienie pracy może nastąpić dopiero po dostatecznym stwardnieniu betonu, albo po ręcznym zabetonowaniu takiej warstwy betonu, by promień działania wibratora nie sięgał do betonu zwibrowanego przed przerwą. Przy zastosowaniu wibratorów wewnętrznych do żelazobetonu trzeba ponadto uwzględnić w razie przer-

wy przenoszenie się drgań przez wkładki na znacznie większą odległość.

Jak widać z powyższego, przerwy w pracy wibratora są w następstwie bardzo kłopotliwe. Trzeba więc przede wszystkim zapobiegać, aby o ile możliwości nie było nieprzewidzianych w programie przerw, które mogą powstawać na skutek defektów w samych wibratorach. W czasie pracy należy uważać, czy wibrator nadmiernie się nie grzeje. Jeśli temperatura na powierzchni silnika przekracza 40—50° C, co można rozpoznać dotykiem, gdy trudno już utrzymać rękę na nagrzanym powierzchni, wówczas należy wibrator wyłączyć, aż ostygnie. W ogóle nie wolno pracować wibratorem elektrycznym bez przerwy po kilkanaście godzin. Należy go wyłączać przy każdej nadarzającej się przerwie w nanoszeniu betonu. Najlepiej co 1—1,5 godzin pracy dawać wibratorowi 5—10 min. odpoczynku i wówczas przełączać się na wibrator zapasowy. Jeżeli wibrator elektryczny po godzinie pracy rozgrzewa się do temperatury powyżej 50°, to świadczy to o jakimś niedomaganiu i trzeba go oddać do naprawy.

Najczęściej stosowane w konstrukcjach żelazobetonowych wibratory przyczepne należy ze względów bezpieczeństwa, niezależnie od umocowania imadłem przywiązywać do deskowania łańcuchami. Ponadto w czasie pracy należy śledzić stan deskowania, gdyż skutkiem drgań wibracyjnych deskowanie może się rozluźnić. Z tego powodu wypada czasem stosować gęściej ramy usztywniające przy deskowaniu, zwłaszcza dla wibratorów o mocy większej od 0,5 kW. Wibratorów o dużej mocy można używać do jednoczesnego wibrowania 2 elementów, umieszczając je na środku belki przywiązanej końcami do obu deskowań.

Czas wibrowania w jednym miejscu wynosi: przy perwibratorach 20—25 sek., przy wibrato-

rach przyczepnych 1—2 minut, dla małych przekrojów, a 3—5 minut dla dużych, przy wibratorach powierzchniowych 15—20 sek, a przy prętowych 8—10 sek. Dla dokładnego określenia czasu dostateczne zagęszczenie betonu, które się charakteryzuje ustaniem obfitego wydzielania się pęcherzyków powietrza na powierzchni betonu.

Perwibratory pływające podnoszą się samoczynnie z szybkością 1,5—4 m na minutę, zależnie od swej wagi i mocy, oraz od konsystencji betonu. Należy tylko uważać, aby nie przysypać z góry betonem takiego perwibratora, gdyż mógłby ugrzęznąć w masie betonowej.

Podczas pracy przy pomocy wibratorów elektrycznych konieczne jest przestrzeganie następujących warunków bezpieczeństwa:

Wibrator elektryczny powinien być stale uziemiony, tj. powinien mieć połączenie z ziemią, z betonem lub z dowolnym przewodnikiem, przez który prąd może spływać do ziemi.

Uziemienie naturalne ma miejsce w tych chwilach, kiedy końcówka wibratora pogrążona jest w betonie, jednak jest to uziemienie chwilowe i nie może zadośćuczynić w zupełności stawianym wymaganiom bezpieczeństwa. W celu urządzenia stałego uziemienia niezależnie od tego, czy wibrator jest pogrążony w betonie czy też nie, konieczne jest dołączyć do korpusu wibratora przewód specjalny. Przewód ten powinien być trwale uziemiony.

Jeszcze lepiej jest, gdy ten przewód doprowadza się do najbliższego słupa, gdzie mieści się tabliczka rozdzielcza i od niej odprowadza się w rurce do ziemi.

Robotnik pracujący wibratorem elektrycznym powinien być zaopatrzony w rękawice i buty gumowe. Wskazane jest, aby ręce robotnika były w suchym stanie.

Robotnik nie powinien dotykać rękoma obnażonych przewodów, zacisków itp.

Działanie wyłączników samoczynnych należy co jakiś czas sprawdzać.

Nie wolno pod żadnym warunkiem włączać silnika wibratora bezpośrednio do sieci, np. w razie zepsucia się wyłącznika, lub przepalenia bezpieczników.

W razie konieczności jakiegokolwiek naprawy silnika, wibratora lub kabla, konieczne jest uprzednie wyłączenie prądu.

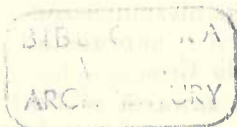
Na wypadek porażenia prądem należy natychmiast porażonego położyć na ziemi i zastosować sztuczne oddychanie. W ciężkich wypadkach wezwać pogotowie lekarskie<sup>3)</sup>.

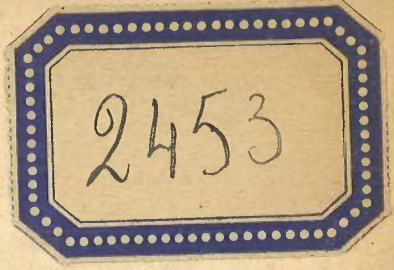
W zakończeniu uważam za konieczne podkreślić następujące najważniejsze zasady wykonywania robót z wibrobetonu, które powinny znaleźć wyraz w normach:

1. Stosując w konstrukcjach betonowych i żelazobetonowych wibrowanie, można zmniejszyć dozowanie cementu do 15%, albo w razie zachowania niezmnieszonej ilości cementu podwyższyć naprężenie dopuszczalne w granicach do 15%.
2. Ilość cementu zawarta w 1 m<sup>3</sup> gotowego betonu z uwagi na wodoszczelność betonu nie powinna w konstrukcjach żelbetowych schodzić poniżej 250 kg.
3. Przy wibrowaniu należy zwracać uwagę, aby drgania wibracyjne nie przenosiły się na beton twardniejący lub znajdujący się w końcowym stadium wiązania.
4. Wybór typu wibratora powinien być w miarę możliwości dostosowany do rodzaju roboty. Tak np. nadają się najbardziej:

<sup>3)</sup> Powyższe warunki są wzięte z broszury „Wibratory w budownictwie“ inż. Choroszczuchy i Gładkicha.

- a) do słupów i ścian żelbetowych — wibratory przyczepne,
- b) do belek żelbetowych niskich — wibratory prętowe, wysokich — przyczepne,
- c) do cienkich płyt żelbetowych — wibratory powierzchniowe, lub powierzchniowo-wewnętrzne,
- d) w węzłach z krzyżującymi się wkładkami — wibratory przyczepne, lub prętowe,
- e) do masywów betonowych — perwibratory, lub wibratory powierzchniowe z karbowanymi żelazkami,
- f) do fundamentów żelbetowych — perwibratory.





2453