

Knapik, Stefan

Rozwój urzędzeń do wibrowania betonu w polskim budownictwie do 1939 r.

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 30/2, 297-320

1985

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Stefan Knapik
(Kraków)

ROZWÓJ URZĄDZEŃ DO WIBROWANIA BETONU W POLSKIM BUDOWNICTWIE DO 1939 R.

1. WPROWADZENIE

Polepszenie własności mieszanki betonowej pod względem zwiększenia jej szczelności, gęstości, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie oraz jednorodności, a co za tym idzie gładkości i przyczepności do wkładek zbrojeniowych, a także zwiększenie stopnia wypełnienia form, było zawsze problemem o pierwszorzędym znaczeniu.

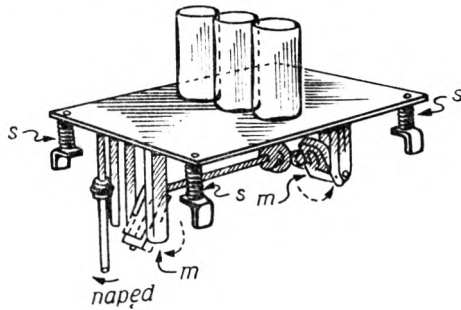
Pierwotnie zagadnienie to usiłowano rozwiązać na drodze ręcznego ubijania mieszanki betonowej umieszczonej w formie. Wkrótce jednak stwierdzono nieekonomiczność tego zabiegu — stosunkowo niewielkie efekty końcowe przy znacznych kosztach. Wówczas zamiast ręcznego wprowadzono ubijanie mechaniczne. Używano do tego celu młotków pneumatycznych. Jednakże i ten system okazał się w praktyce niezbyt skuteczny, a przede wszystkim kosztowny i pracochłonny.

Pierwsze próby zastosowania metody wibrowania do prac w tym zakresie datują się z 1890 r., kiedy przeprowadzono w Stanach Zjednoczonych doświadczenia polegające na ubijaniu betonu za pomocą stołów wibracyjnych¹. Były to stoły wibracyjne wstrząsane, wykonujące wstrząsy w płaszczyźnie poziomej z częstotliwością 100—150 drgań/min.² (ryc. 1).

W 1915 r. przeprowadzone zostały przez National Bureau of Standards badania porównawcze cech betonu ubijanego ręcznie i zagęszczanego metodą wibrowania. Otrzymane wyniki nie wykazały różnic pomiędzy tymi sposobami zagęszczania, co można wytłumaczyć zbyt małą częstotliwością zastosowanych do prób wibratorów. Za właściwe narodziny metody wibrowania zastosowanej do zagęszczania mieszanki betonowej uważać można jednak dopiero wprowadzenie w 1917 r. do przemysłu budowlanego

¹ L. Suwałski: *Beton wibrowany*. Warszawa 1939 s. 5.

² S. Gładkich: *Wibratory w betoniarstwie*. „Cement” 1936 s. 180.



Ryc. 1. Stół wibracyjny, zastosowany w badaniach amerykańskich, L. Suwałski: *Beton wibrowany*. Warszawa 1939

nego urządzenia wynalezione go przez inż. Eugène'a Freyssinet'a. Spostrzeżenia jego, dokonane przy budowie mostu w Elores dotyczyły interesującego zjawiska. Zauważył on mianowicie, że ilekroć robotnicy zatrudnieni przy budowie uderzali młotami przy ustawianiu zbrojenia, tyłekroć mieszanka betonowa osiadała coraz niżej i nie wymagała już ręcznego ubijania. Zjawisko to robotnicy wykorzystywali podczas zalewania form z wkładkami zbrojeniowymi w ten sposób, że uderzali młotami w deskowanie. To właśnie naprowadziło inż. Freyssinet'a na myśl zastosowania młota pneumatycznego jako przyczepnego do formy urządzenia zagęszczającego. Było to więc raczej utrząsanie mieszanki betonowej niż wibrowanie. Zastosowane urządzenie dawało wstrząsy w płaszczyźnie poziomej o znacznej amplitudzie i bardzo małej częstotliwości. Należy jednak przyznać, że ten prymitywny sposób, dający niezłe wyniki, stał się podstawą rozwoju właściwych urządzeń zagęszczających tj. wibratorów³.

Warto tu może przypomnieć bogaty życiorys prekursora techniki zagęszczania mieszanki betonowej metodą wibrowania. Marie Eugène Léon Freyssinet urodził się 13 lipca 1879 r. w Objat w departamencie Corrèze w środkowej Francji. Odbił klasyczne w tym kraju studia inżynierskie, kończąc najpierw paryską Szkołę Politechniczną, a następnie sławną Szkołę Dróg i Mostów. W 1905 r. rozpoczął pracę jako inżynier dróg i mostów w Moulins. Był śmiałym projektantem, umiejącym wyzyskać zalety żelbetu w stosunku do tradycyjnych ogólnie stosowanych materiałów budowlanych. Jego największym dziełem inżynierskim był wielki, trójprzęsłowy, żelbetowy most łukowy na rzece Elorn w Plougastel, zbudowany w latach 1928—29. Most ten miał rekordową, jak na owe czasy, rozpiętość przęseł żelbetowych, wynoszącą 180 m. Był ponadto autorem wielu pomysłów wynalazczych, które na trwałe wpisały jego nazwisko do historii budownictwa. Zaliczyć do nich można takie wynalazki jak:

³ L. Gradowski: *O wibracji betonów i wyrobów betonowych*. W: *Materiały II Zjazdu Inżynierów Budowlanych w Katowicach 15—17.II.1936* s. 215.

wspomniany wyżej pomysł poddawania betonu mechanicznemu wibrowaniu i wibroprasowaniu, pomysł betonu sprężonego (1928 r.) i łączącego się z nim pomysłu urządzenia do naciągania strun. Opracował między innymi, klasyczną już dzisiaj, technikę zdejmowania krążyn łuków przez zwieranie konstrukcji łukowej za pomocą sztucznego rozporu. Był pionierem stosowania betonu uzwojonego, wprowadził bowiem zwoje sinusoidalne własnego pomysłu oraz specjalne maszyny do nadawania im tego kształtu. Z późniejszego okresu jego działalności inżynierskiej pochodzą tzw. przeguby Freyssinet'a. Był również autorem oryginalnego systemu naciągania ściągów, umożliwiającego realizację wielu niezwykle śmiałych sklepień. Wynałazł także nowe rodzaje podnośników budowlanych: podnośnik płaski i podnośnik podwójnego działania. Zmarł 8 czerwca 1962 r. w St. Martin-Vèsubie w departamencie Alpes Maritimes⁴.

Metoda zagęszczania i formowania mieszanki betonowej, zapoczątkowana przez inż. Freyssinet'a znalazła szerokie zastosowanie w budownictwie światowym. Z ważniejszych budowli, zrealizowanych przy pomocy tej metody, można wymienić: we Francji — hangary lotnicze w Orly pod Paryżem, wiadukt Saint Pierre-de-Vouvray, most w Plougastel, zaporę wodną w Marèges, w górnym biegu rzeki Dordagne, most La Fayette'a w Paryżu; w Belgii — pierwszy pawilon wystawowy „Grand Hall” w Brukseli, w Szwajcarii — most na drodze Mortigny—Salvan, w Stanach Zjednoczonych — zaporę wodną Pine-Canyon-Damm w Kalifornii (wysokość 100 m, szerokość 244 m), zaporę wodną Chut à Charon w Quebecu, most im. J. Waszyngtona w Nowym Yorku, most Bayonne w New-Jersey, gmach urzędu pocztowego w Filadelfii, most łukowy nad wąwozem Carnel-San-Simeon w Kalifornii, roboty betonowe przy moście wiszącym San Francisco-Oakland, w ZSRR — prace betonowe przy budowie Dnieprostroju, Swirstroju, kanału moskiewskiego i wielu innych⁵.

2. WPROWADZENIE METODY WIBROWANIA DO BUDOWNICTWA POLSKIEGO

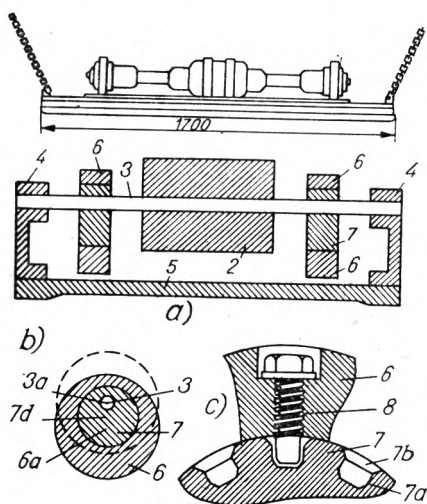
W Polsce, pierwszej próby zastosowania metody wibrowania do zagęszczania i formowania mieszanki betonowej dokonano w 1935 r. przy produkcji kostki drogowej „Saturnit” w betoniarni Towarzystwa Górniczo-Przemysłowego „Saturn” w Czeladzi koło Sosnowca. Użyty do tego

⁴ B. Orłowski: *Sylwetki miesiąca*. „Młody Technik” 1979 nr. 7, s. 5.

⁵ W. Lenkiewicz: *Wpływ wibrowania na wytrzymałość betonu*. Praca kandydacka, wykonana pod kierunkiem prof. L. Suwalskiego w Krakowie w latach 1955—1957, oraz L. Gradowski: dz. cyt. s. 214—217.

celu wibrator był urządzeniem mechanicznym, bezwładnościowym o napędzie elektrycznym, produkcji belgijskiej, typu Trillor ⁶.

Cechą charakterystyczną tego urządzenia, była możliwość zmiany jego częstotliwości poprzez regulację mimośrodów. Wibrator ten (ryc. 2) składał się z: wirnika (2), wału (3), mimośrodów (6), „kułaków czyli garbów” (7). Mimośrodki (6) osadzone na „kułakach” (7), mogły być nastawiane i zamocowywane na nich pod różnymi kątami odchylenia. Nastawianie i mocowanie mimośrodu realizowano przy pomocy „sworznia” (8), wkręcając go w otwory znajdujące się na obwodzie „kułaka” tak, by swoim końcem mógł się schować w otworze. Odchylenie mimośrodu względem „kułaka”, było prawie takie same, jak odchylenie „kułaka” względem wału. Częstotliwość drgań tych urządzeń wynosiła 2500—5000 drgań na minutę. Czas wibrowania trwał 1—3 min. Zasięg działania na deskowaniu 1—1,5 m, a zasięg wgłębny — około 40 cm ⁷.



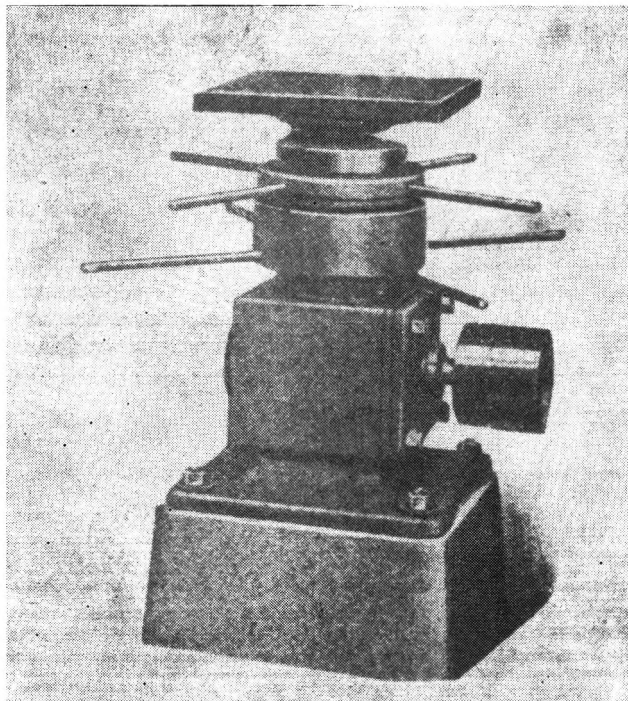
Ryc. 2. Podłużny przekrój wibratora Trillor. J. Choroszczucha i S. Gładkich: *Wibratory w budownictwie*. Warszawa 1937

Pierwszy polski patent na wibrator służący do zagęszczania betonu, zgłosił do Urzędu Patentowego R. P. inż. Symeon Gładkich, na początku 1936 r. Zgłoszenie to, noszące tytuł: *Urządzenie drganiowe zwiększające zwartość betonu*, dotyczyło wibratora wgłębny, bezwładnościowego z napędem elektrycznym. Istotę tego wynalazku, stanowiło oddzielenie właściwego wibratora od silnika napędowego, podczas gdy w analogicznych urządzeniach wibrator stanowił jedną całość z silnikiem. Oddzielenie wi-

⁶ S. Jarzabek: *Beton wibrowany a utrzęsany*. „Przegląd Budownictwa” 1938 nr 8 s. 441—450.

⁷ L. Suwałski: dz. cyt. s. 8.

bratora od silnika napędowego zapewniało większą trwałość silnika oraz umożliwiało znaczne zmniejszenie zewnętrznych gabarytów samego wibratora, co z kolei pozwalało na zastosowanie go do niewielkich form o skomplikowanych kształtach⁸.



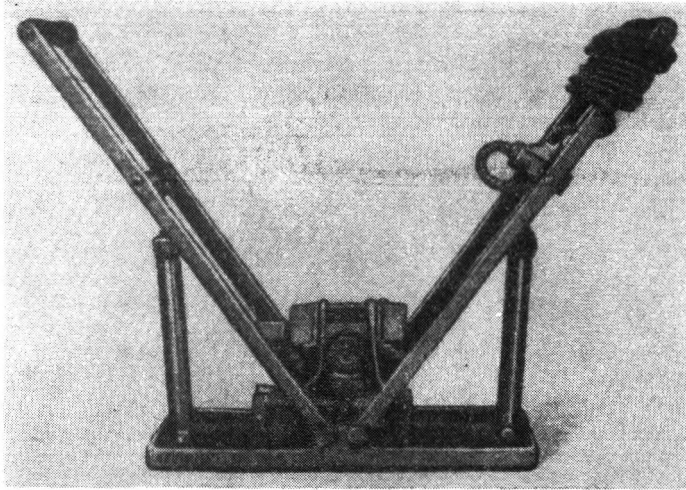
Ryc. 3. Aparat wibracyjny. J. Choroszczucha i S. Gładkich: dz. cyt.

W oparciu o patent inż. S. Gładkicha Mechaniczna Fabryka Słupów Stalowo-Betonowych „Wibrobeton” w Dąbrowie Górniczej — Strzemieszycach zastosowała w 1936 r. stoły wibracyjne do masowej produkcji słupów betonowych, ogrodzeń żelbetowych i innych wyrobów z betonu. W tym samym roku firma „Smołobit”, po raz pierwszy w Polsce, zastosowała do budowy dróg łatę wibracyjną i płyty wibracyjne. Użyte do tego celu wibratory sprowadzono z Belgii. Otrzymane wyniki zdecydowały o użyciu urządzeń wibracyjnych przy wznoszeniu zapory wodnej na Dunajcu w Rożnowie. Zastosowano tu wibratory pneumatyczne udarowe produkcji zagranicznej, o częstotliwości około 7000 drgań na minutę i niewielkiej amplitudzie. Ogółem w latach 1936—38 ułożono na tej budowie — posługując się wyłącznie metodą wibrowania — około 125.000 m³ betonu⁹.

⁸ J. Choroszczucha i S. Gładkich: *Wibratory w budownictwie*. Warszawa 1937 s. 4.

⁹ S. Jarząbek: dz. cyt.

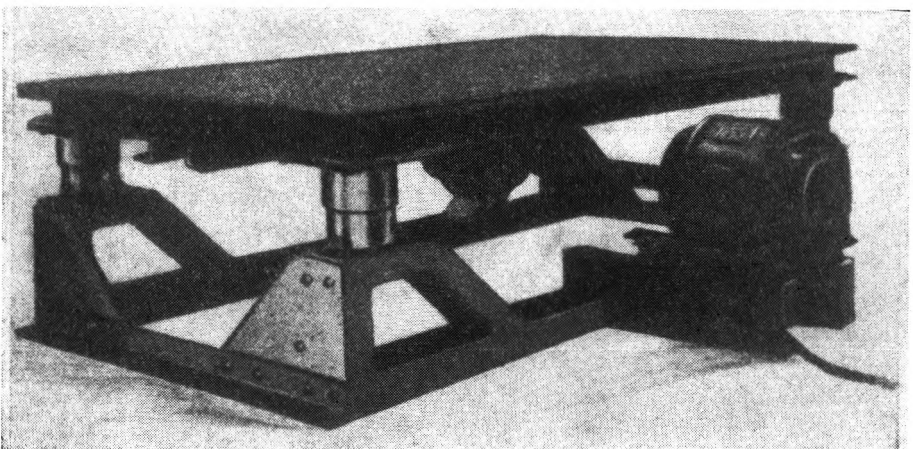
Towarzystwo Handlowo-Przemysłowe — spółka E. Brygiewicz i J. Wolff — nabyło — również w 1936 r. — prawa wyłącznej eksploatacji patentu inż. S. Gładkicha. Umożliwiło to jej podjęcie — w kooperacji z Fabryką Maszyn Rzewuski i Ska z Warszawy — seryjnej produkcji krajowych wibratorów o konstrukcji opartej na wyżej wspomnianym



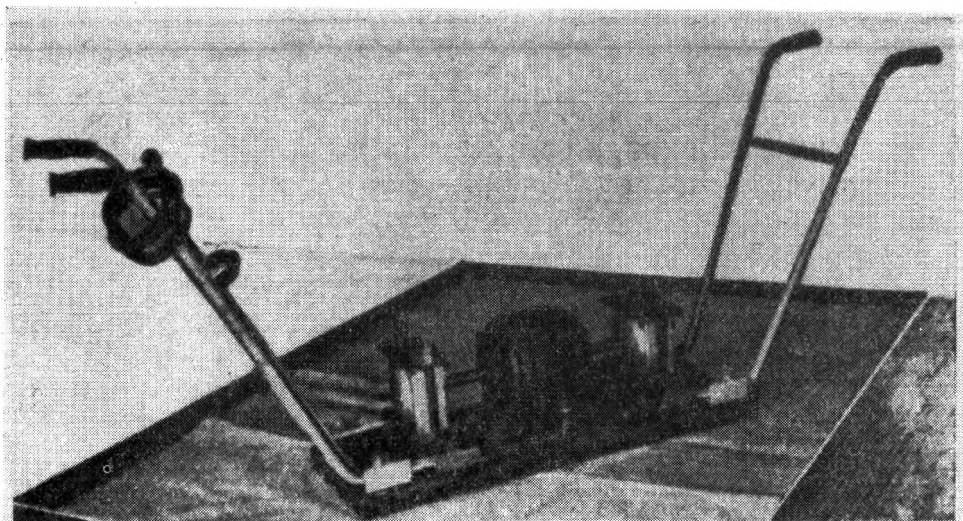
Ryc. 4. Wibrator powierzchniowy typu Rzewuskiego 35/75. S. Bryła: *Beton wibrowany*. Lwów 1938

patencie. Napęd tych urządzeń był głównie spalinowy lub elektryczny. Częstotliwość stołów wibracyjnych wynosiła 1800—2500 drgań/min. zaś wibratorów płytowych-powierzchniowych 500—1000 drgań/min.

Do chwili wybuchu II wojny światowej, oprócz wymienionych firm zajmujących się produkcją rodzimych wibratorów przeznaczonych do

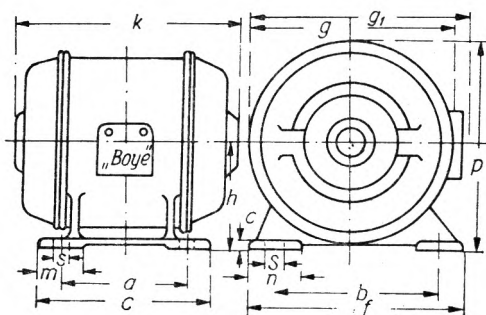


Ryc. 5. Stół wibracyjny z silnikiem benzynowym. S. Bryła: dz. cyt.



Ryc. 6. Wibrator elektromechaniczny produkcji polskiej. J. Choroszczucha i S. Gładkich: dz. cyt.

prac w betoniarstwie, istniały w Polsce Zakłady Elektrotechniczne inż. J. Boye i Ska z Warszawy, wytwarzające „elektro-wibratory” różnych typów, Fabrykę Maszyn B-ci Hoffmann w Łodzi oraz dwa przedstawicielstwa firmy Robert Wacker z Drezna: w Warszawie (Hipolit Bassis) i w Krakowie inż. J. Weingrüna.



Ryc. 7. Elektrowibratory blokowe firmy Boye i Ska (Polska). W. Bukowski: *Technologia betonów i zapraw*. Część III. Gdańsk 1941.

Ciekawostką techniczną rozwiązania konstrukcyjnego wibratorów przyczepnych typu SW-I-2-2 produkcji inż. Boye, było przeniesienie napędu od silnika elektrycznego (mocy 3 KM i 2870 obr/min.), poprzez pasek klinowy na wał z dwoma mimośrodkami ciężarkowymi o przeciwnych obrotach. Rozwiązanie to, zastosowane po raz pierwszy w 1937 r., pozwalało na eliminację drgań poziomych i nakładanie się drgań pionowych¹⁰.

¹⁰ „Przegląd Budownictwa” 1938 s. 135.

W 1936 r. została zorganizowana w Warszawie Wielka Wystawa Betoniariska, na której pokazano wibratory i demonstrowano ich zastosowanie. Szereg publikacji i publicznych wystąpień z tego okresu, jak np.: referat inż. Leona Gradowskiego *O wibracji betonów i wyrobów betonowych* — wygłoszony na II Zjeździe Inżynierów Budowlanych, który odbył się w Katowicach w lutym 1936 r., referat inż. S. Gładkicha *Wibratory w betoniarstwie* — wygłoszony na Zjeździe Betoniariskim, artykuł S. Kądziołka *Uwagi i obserwacje na temat betonu wibrowego* — zamieszczony w 1936 r. w „Przeglądzie Budownictwa”, czy wreszcie próby laboratoryjne podjęte w celu przebadania efektywności wibratorów w procesie zagęszczania masy betonowej, prowadzone przez zespół prof. Wacława Paszkowskiego w laboratorium Drogowym Instytutu Budownictwa Politechniki Warszawskiej, świadczą dobitnie, że 1936 r. był przełomową datą w rozwoju metody wibrowania betonu w polskim przemyśle budowlanym.

3. PIŚMIENICTWO

Pierwsza wzmianka, jaka ukazała się w polskim piśmiennictwie technicznym na temat nowej metody zagęszczania mieszanki betonowej, zwanej według ówczesnego nazewnictwa „utrząsaniem” oraz urządzeń służących do tego celu, to niewielki artykuł, będący tłumaczeniem z francuskiego czasopisma „Construction de Ciment Arme” nr 119 z 1929 r., zamieszczony w 11-tym numerze „Przeglądu Technicznego” z 1930 r. — w rubryce: *Przegląd pism technicznych* pod tytułem *Uszczelnianie masy betonowej za pomocą drgań*. W notatce tej, znajduje się informacja o nowym sposobie „ubijania” masy betonowej metodą wibrowania pneumatycznego zamiast dotychczas stosowanego ubijania sposobem ręcznym lub ubijakiem pneumatycznym. Zamieszczone tam informacje, sprowadzają się do ogólnych opisów wibratorów przyczepnych „wywołujących drgania zewnętrzne i powierzchniowe”, wibratorów wgłębnych wytwarzających „drgania wewnętrzne” oraz do podania zalet nowej metody.

Ciekawostką, jest tu następujące zdanie: „Jeden robotnik może jednocześnie przestawiać, doglądać, otwierać i zamykać zawory do powietrza zgęszczonego w kilku przyrządach”, mówiące w sposób jednoznaczny o ręcznym sterowaniu zaworami wibratora.

Następna pozycja, którą należy wymienić to zamieszczony w „Przeglądzie Budowlanym” z 1934 r. artykuł Z. Białeckiego *Beton utrząsany i przetrząsany*, godny uwagi ze względu na to, że autor, obok opisu wibratorów pneumatycznych, poświęca dość sporo miejsca rozważaniom teoretycznym, rozpatrującym istotę procesu wibrowania betonu. Inne ciekawe pozycje okresu międzywojennego, poświęcone problemowi zagęszczania betonu przy pomocy drgań mechanicznych, stanowią wydane

w formie odrębnych broszur przedruki artykułów zamieszczonych uprzednio w różnych czasopismach. Należą do nich m.in. prace: J. Choroszczuchy i S. Gładkicha *Wibratory w budownictwie* z 1937 r. i S. Bryły *Beton wibrowany* z 1938 r. Na szczególną uwagę zasługuje oryginalna praca L. Suwalskiego *Beton wibrowany* z 1939 r., w której autor zamieszcza wnikliwie uwagi na temat teoretycznych podstaw procesu zagęszczania mieszanki betonowej na drodze wibrowania oraz podaje bogaty zestaw bibliografii zarówno krajowej, jak i zagranicznej.

4. ROZWÓJ TEORII WYJAŚNIAJĄCEJ ISTOTĘ PROCESU ZAGĘSZCZANIA MIESZANKI BETONOWEJ PRZEZ WIBROWANIE

Zagadnienie to najlepiej ilustrują wypowiedzi zawarte w polskich pracach z lat 1934—1939, dotyczących zagęszczania mieszanki betonowej przez wibrowanie. W 1934 r. Z. Białecki¹¹ pisał: „Pod nazwą beton utrząsany rozumiemy układanie betonu przez wprowadzenie masy jego w ruch drgający, wywołany przez wibratory-utrząsacze pneumatyczne lub elektryczne, umocowane na zewnętrznej stronie deskowań lub ścian formy. Skutkiem utrząsania jest bardzo duża szczelność betonu. Pod wpływem utrząsania, poszczególne składniki betonu wprowadzane są w drgania, przez co tarcie wewnętrzne betonu zostaje zmniejszone, poszczególne ziarna kruszywa własnym ciężarem usuwają się i układają jedno obok drugiego, zapełniając sobą puste przestrzenie. Części cięższe opadają w dół, a powietrze i woda zbierają się w górnej części betonu i wydzielają się na zewnątrz. Przez to ściśle układanie się kruszywa, usunięcie powietrza i nadmiaru wody, powstaje zagęszczanie masy betonowej. Najlepsze rezultaty pod tym względem, otrzymuje się przy suchym — mało wilgotnym betonie. Utrząsanie betonu, wpływa na jego wszystkie charakterystyczne cechy, głównie jednak zwiększa jego wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie”.

W pracy J. Choroszczuchy i S. Gładkicha¹² z 1937 r. czytamy: „Proces ten, tj. proces wibracji, nie jest jeszcze dokładnie zbadany i nie mamy w tej dziedzinie ustalonych wyników. W mieszance betonowej rolę plastycznego składnika gra lepiszcze cementowe, a co za tym idzie wytrzymałość betonu jest funkcją jego szczelności. Ideałem może być zbliżenie szczelności betonu do szczelności kamienia-tłucznia, z którego został wykonany beton. Aby zwiększyć wytrzymałość betonu, należy: 1) dobrać tak składniki, by pustych miejsc w kruszywie pozostawało jak najmniej, 2) zastosować zagęszczanie betonu. Zastosowanie wibracji w tym wypadku, daje doskonale rezultaty. Zwartość plastycznego betonu przy rzad-

¹¹ Z. Białecki: *Beton utrząsany i przetrząsany*. „Przegląd Budowlany” 1934 nr 4 s. 96—98.

¹² J. Choroszczucha i S. Gładkich: dz. cyt.

kich chociaż nawet i mocnych wstrząsach jest stosunkowo niewielka, dopiero przy zwiększeniu szybkości wstrząsów przechodzących w nieprzerwane drgania wibracji, dochodzących do kilku tysięcy na minutę, przy małej amplitudzie drgań, zagęszczanie masy betonowej następuje bardzo szybko. Masa betonu osadza się, a nadmiar wody z powietrza zostaje usunięty, szczeliny zapełniają się lepiszczem, beton staje się jednolitą i ściśłą mieszanką. Gdy proces osadzania kończy się, następuje równowaga sił tarcia pomiędzy cząsteczkami masy betonowej i sił dynamicznych wywołujących wibrację. Im mocniejszy jest wibrator, tym większa zwartość wyrobionego na nim betonu. Zastosowanie do wibracji prasy (ciężaru) zwiększa jeszcze znacznie zwartość betonu. Dla otrzymania betonu o żądanych cechach, wystarczająca jest wibracja około 3000 drgań/min o amplitudzie około 0,4 mm.”

W 1938 r. S. Bryła¹³ pisał: „Wibrowanie polega na poddawaniu świeżego betonu periodycznym drganiom o dużej częstotliwości. Drgania te powodują raptowne przesunięcia ziarn kruszywa względem siebie, przez co siła tarcia międzycząsteczkowego ulega znacznemu zmniejszeniu lub nawet całkowitemu zanikowi. Wówczas poszczególne ziarna pod wpływem siły ciężkości opadają w dół zapełniając formę i zagęszczając strukturę betonu... obok większej wytrzymałości, większej wodoszczelności i jednolitości zagęszczenia wibrowanie daje jeszcze następujące korzyści: skraca czas betonowania, nadaje powierzchni betonu równy i gładki wygląd, a wreszcie ułatwia kontrolę. Mianowicie przy wibrowaniu sprawdzianem należytego zagęszczenia jest pojawienie się mleka cementowego na górnej powierzchni betonu...”

Zestawienie powyższych cytatów wskazuje, że rozważania autorów na temat teorii zagęszczania mieszanki betonowej poprzez jej wibrowanie opierają się głównie na opisie obserwacji zachodzących zjawisk i wynikających z nich spostrzeżeń, a jedynie w niewielkim stopniu na wyjaśnianiu zachodzących procesów w oparciu o prawa fizyczne. W publikacjach swoich nie rozpatrują oni bliżej wartości amplitudy, częstotliwości, czasu wibrowania, kierunku, rodzaju i rozkładu drgań w masie betonowej, czyli tych wszystkich podstawowych parametrów, które decydują o efektywności omawianej metody procesu zagęszczania.

Wyjątkiem jest tu opublikowana w 1939 r. praca prof. L. Suwalskiego¹⁴, która na miarę ówczesnej znajomości zagadnień z zakresu teorii wibroakustyki, stara się w naukowy sposób wyjaśnić przebieg procesu zagęszczania mieszanki betonowej poprzez jej wibrowanie. Bardzo obszernie rozważania L. Suwalskiego na ten temat wymagają odrębnego studium.

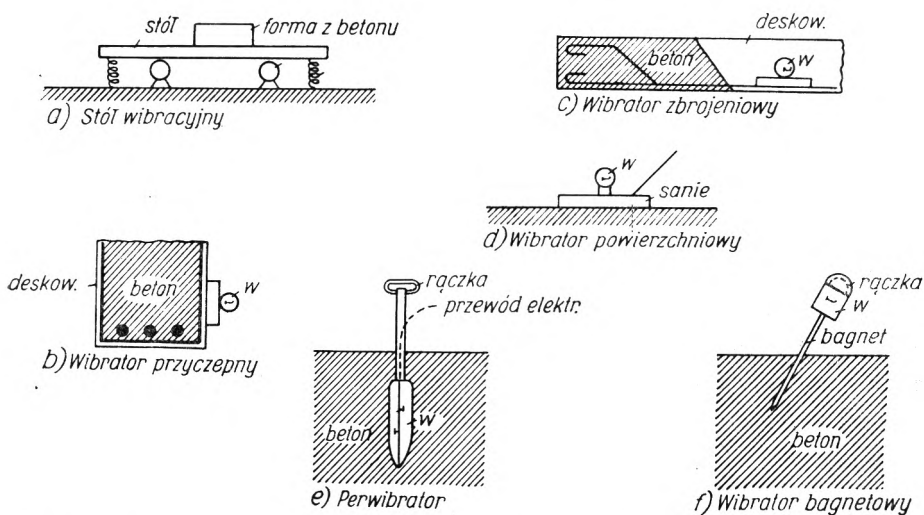
¹³ S. Bryła: *Beton wibrowany*. Politechnika Warszawska. Zakład Badawczy Budownictwa. Zeszyt 3 — odbitka z „Czasopisma Technicznego” 1938 nr. 10 s. 1—2.

¹⁴ L. Suwalski: dz. cyt.

Znamienną cechą piśmiennictwa okresu międzywojennego, poświęconego zagęszczaniu i formowaniu mieszanki betonowej metodą wibrowania, jest brak zainteresowania ochroną przed hałasem i drganiami, wytwarzanymi przez wibratory. Rozwój ochrony wibroakustycznej, stosowanej przy zagęszczaniu i formowaniu mieszanki betonowej metodą wibracyjną stanowi ważny problem, któremu autor ma zamiar poświęcić odrębne opracowanie.

5. RODZAJE WIBRATORÓW STOSOWANYCH DO 1939 R. I ICH NAPĘD

Do zagęszczania i formowania mieszanki betonowej stosuje się cztery typy wibratorów, a mianowicie: 1) wibratory wgłębne, 2) wibratory powierzchniowe, 3) wibratory przyczepne, 4) stoły wibracyjne.

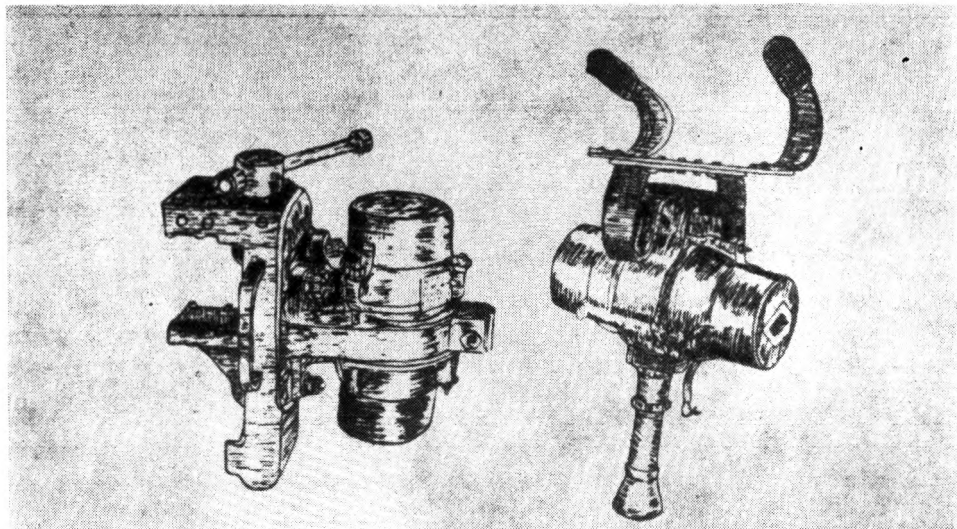


Ryc. 8. Schematy zasadniczych typów wibratorów. B. Bukowski: dz. cyt.

Ze względu na rodzaj napędu urządzenia wibracyjne dzieli się na: 1) wibratory elektromagnetyczne, 2) wibratory elektromechaniczne (które dzielą się z kolei ze względu na mechanizm wytwarzający drgania, na kinematyczne i dynamiczne), 3) wibratory spalinowe (napędzane silnikami spalinowymi), 4) wibratory pneumatyczne, 5) wibratory hydrauliczne. Dwa ostatnie typy wibratorów występują w wersji tłokowej lub wirnikowej.

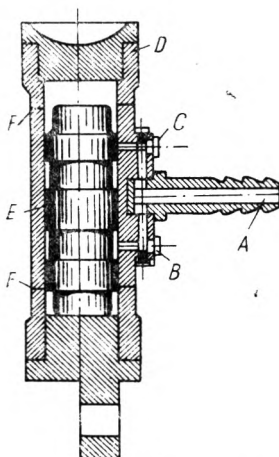
W oparciu o dane z literatury można stwierdzić, że pierwszymi wibratorami używanymi do zagęszczania bądź formowania mieszanki betonowej, były wibratory o napędzie pneumatycznym, głównie tłokowo-udarowe, wykonywane zrazu wyłącznie jako przyczepne, a następnie wgłębne.

Budowę typowego wibratora tłokowego z napędem pneumatycznym przedstawia załączony rysunek (ryc. 10). Działanie jego jest następujące: Sprężone powietrze, doprowadzone pod ciśnieniem 4,5 do 5 atm. przewodem, przedostaje się kanałem B do cylindra D. Powietrze rozprężając się przesuwa tłok E, który uderza o górne dno cylindra. Ruch tłoka ku gó-



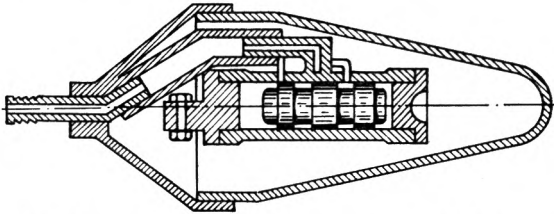
Ryc. 9. Wibratory: przyczepny i prętowy. S. Bryła: dz. cyt.

rze, powoduje zamknięcie (swoją ścianką) otworu kanału wlotowego B, przy równoczesnym otwarciu kanału C. W pozycji tej sprężone powietrze, przedostające się do cylindra przez kanał C od drugiej strony tłoka, rozprężając się popycha tłok w kierunku przeciwnym tj. ku dołowi. Tłok

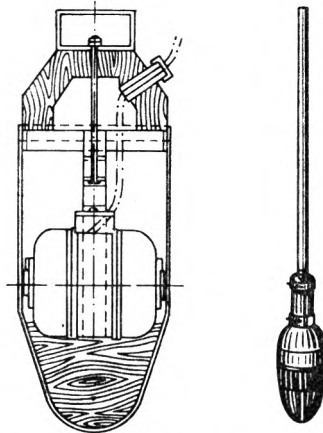


Ryc. 10. Schemat wibratora pneumatycznego. B. Bukowski: dz. cyt.

uderza wówczas o dolne dno cylindra. Przy posuwie tym tłok ponownie zamyka otwór C, a otwiera otwór B itd. W ten sposób sprężone powietrze porusza tłok na przemian to w jedną, to w drugą stronę, powodując uderzenia i wstrząsy. Powietrze z cylindra wydostaje się na zewnątrz poprzez otwory wylotowe F. Parametry techniczne tego wibratora, przedstawiały się następująco: średnica tłoka 45—60 mm, ciężar 5—12 kg, zużycie powietrza od 30—100 m³/godz. przy ciśnieniu 4,5—45 atm (5×101325 N/m²). Częstotliwość uderzeń tłoka wynosiła 1500—3600 na minutę, amplituda zaś 1,5—2 mm¹⁵.



Ryc. 11. Schemat perwibratora pneumatycznego. B. Bukowski; dz. cyt.



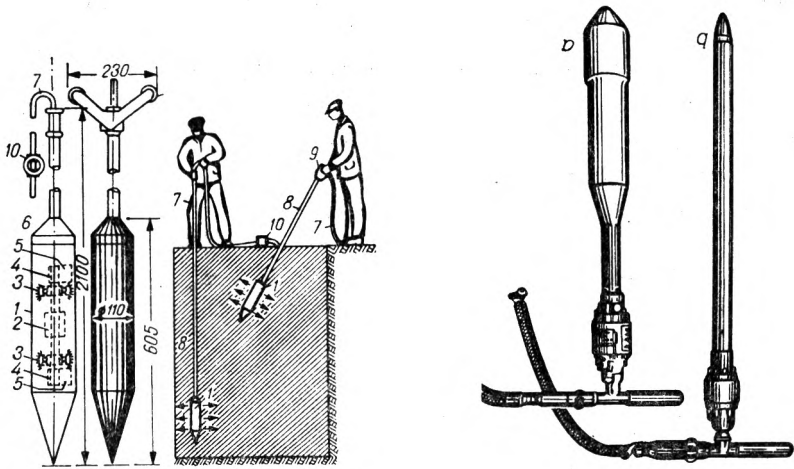
Ryc. 12. Perwibrator pływający i perwibrator. B. Bukowski; dz. cyt.

Pneumatyczne wibratory udarowe produkowane były również w wersji odmiennej, jako tzw. wibratory wznoszące się czyli perwibratory. Wibrator taki (ryc. 11—13) składał się ze stożkowego balonu żelaznego, w którym mieścił się właściwy wibrator. Wznoszące się perwibratory miały balony o średnicy 140 mm, duże 510 mm, ciężar 10,5 kg przy objętości 9,8 dm³¹⁶.

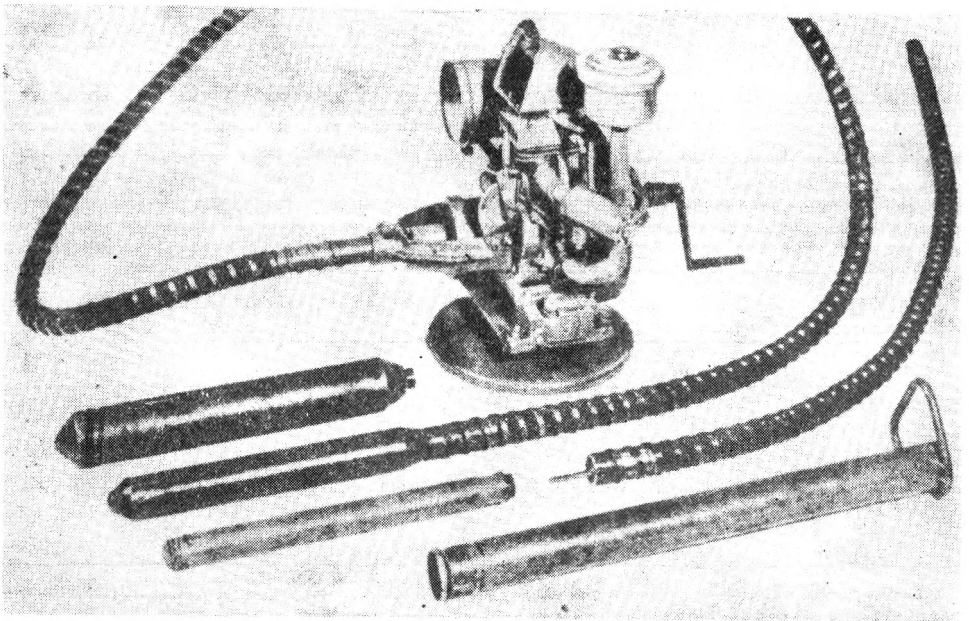
Jeden lub więcej wibratorów mocowanych do wspólnej płyty, tworzyły wibrator powierzchniowy zaś poprzez umocowanie specjalnej koń-

¹⁵ J. Choroszczucha i S. Gładkich; dz. cyt. s. 33.

¹⁶ Tamże s. 36.



Ryc. 13. Perwibrator i końcówki perwibratora pneumatycznego. B. Bukowski; dz. cyt.



Ryc. 14. Wibrator benzynowy z różnymi końcówkami do betonu. J. Choroszczycha i S. Gładkich; dz. cyt.

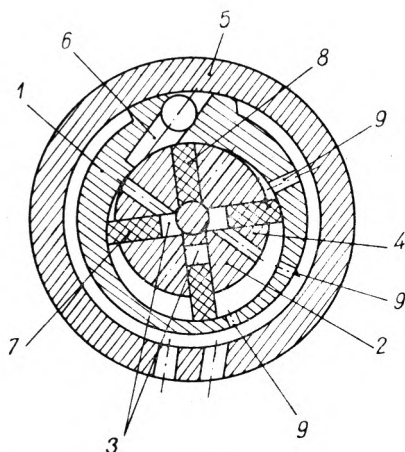
kówki roboczej do wibratora pneumatycznego otrzymywano wibratory: prętowe, bagnetowe, igłowe itp.

Wibratory pneumatyczne tłokowo-udarowe, dawały — według S. Bryły — uderzenia prostopadłe do kierunku ruchu tłoka, co gwarantowało dużą skuteczność ich działania. Charakteryzowały się prostą kon-

strukcją, dużą wytrzymałością ruchową, łatwością i bezpieczeństwem obsługi, dużym zakresem częstotliwości i łatwą jej regulacją. Z ważniejszych wad tych urządzeń, należy wymienić znaczny koszt eksploatacji, na który składały się: koszt specjalnego kompresora zasilającego urządzenie, duże godzinowe zużycie energii — sprężonego powietrza, konieczność budowy i stałej doraźnej konserwacji rurociągu powietrznego, konieczność częstego przesmarowywania urządzenia (przeciętnie co dwie godziny) oraz duży stopień głośności w postaci hałasu wytwarzanego przez urządzenie podczas pracy.

Czasami — aczkolwiek w literaturze fachowej stosunkowo niewiele jest wzmianek na ten temat — stosowano, zamiast wibratorów pneumatycznych tłokowych, wibratory wirnikowe. Budowę takiego wibratora przedstawia załączony rysunek. Działanie jego jest następujące: wewnątrz szlifowanego cylindra-stojana — 1, mimośrodowo względem osi obraca się bęben-wirnik — 2 z podłużnymi wycięciami — 3, w których poruszają się swobodnie płytki tekstolitowe — 4. Sprężone powietrze doprowadzone kanałem — 5, przedostaje się przez otwór — 6 do cylindra i naciska na wystające z wirnika płytki. Ponieważ płytka — 7 wystaje z wirnika bardziej niż płytka — 8, ciśnienie powietrza na nią staje się większe, co powoduje obroty wirnika. W starych typach wibratorów typu wgłębnego, stosowanych w USA używano jako napędu zamiast sprężonego powietrza sprężonej oliwy¹⁷.

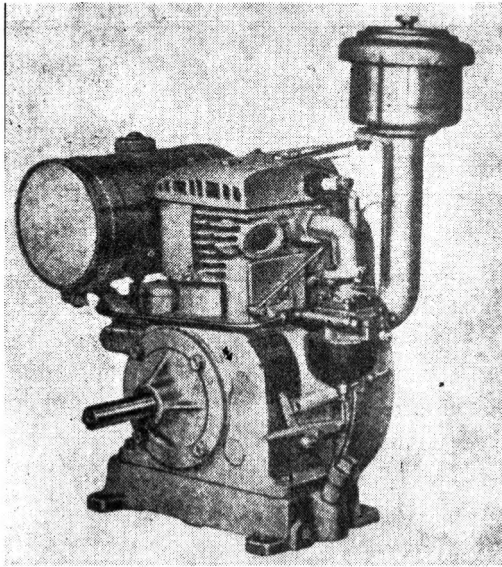
Napęd pneumatyczny został wkrótce zastąpiony energią cieplną, przetwarzaną na mechaniczną w silniku spalinowym, oraz energią elektrycz-



Ryc. 15. Urządzenia wibratora pneumatycznego typu wirnikowego. A. E. Diesow i in.: *Zagęszczanie mieszanki wibratorami*. Warszawa 1955

¹⁷ B. Bukowski: *Technologia betonów i zapraw*. Część III. Gdańsk 1947 s. 90.

ną. Pomimo stosunkowo niedługiego czasu dzielącego okres tamtych lat od czasów nam współczesnych, trudno w sposób jednoznaczny określić daty powstania poszczególnych konstrukcji, jak również zastosowania wymienionych źródeł napędu. Można jedynie w oparciu o dane zaczerpnięte z literatury podać przybliżone okresy pojawienia się różnych typów wibratorów z napędem spalinowym (około 1925 r.), elektrycznym (lata 1930), czy elektromagnetycznym (wprowadzonym po raz pierwszy w połowie 1935 r.).



Ryc. 16. Silnik benzynowy do wibratora. J. Choroszczucha i S. Gładkich: dz. cyt.

Wibratory z napędem spalinowym, dominowały w przemyśle budowlanym do 1935 r. Typowy silnik benzynowy-spalinowy do napędu wibratorów, używany przy zagęszczaniu betonu w latach 1930—1940, przedstawia załączony rysunek (ryc. 16). Był to silnik nie wymagający specjalnej obsługi, jednocylindrowy, czterosurowy, chłodzony powietrzem. Oliwienie jego było mieszane, rozbryzgowo-ciśnieniowe, gaźnik pływakowy. Zaopatrzony był w mokry (olejowy) oczyszczacz powietrza. Ilość obrotów takiej jednostki, wynosiła przeciętnie 1000—3600 na minutę. Silniki te produkowane były o różnych mocach od 0,5 do 5 KM ($5 \times 735,49875$ Nm/s). Wał silnika umieszczony w łożyskach kulkowych, wykonany był ze stali chromowoniklowej. Przeniesienie napędu z silnika na wibrator odbywało się za pomocą elastycznego wałka długości 2 m w jednym odcinku. Odcinki wałków można było łączyć po 3—4.

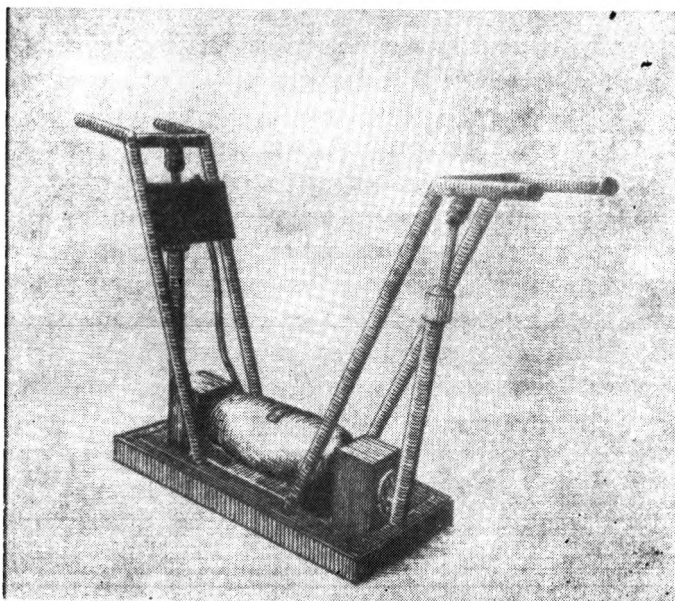
Do niewątpliwych zalet wibratorów z napędem spalinowym, należały 1) możliwość regulacji szybkości obrotów silnika, a przede wszystkim możliwość szybkiego przejścia z jednej częstotliwości drgań wibratora na in-

ną, co ma szczególnie ważne znaczenie na początku i końcu wibrowania mieszanki betonowej, 2) uniezależnienie od dopływu energii z zewnątrz, koniecznego np. w przypadku wibratorów napędzanych silnikami elektrycznymi, 3) prosta budowa, 4) łatwa i bezpieczna obsługa, 5) stosunkowo niskie koszty eksploatacyjne.

Z istotniejszych wad, należy wymienić: 1) znaczny ciężar i wymiary silnika, 2) stosunkowo niewielka sprawność silnika¹⁸.

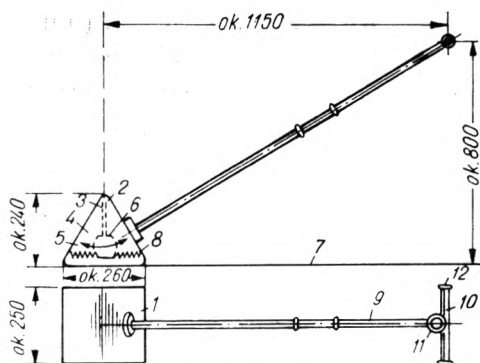
Opisany silnik spalinowy służył do napędu wibratorów wszystkich typów, a mianowicie: wibratorów powierzchniowych — płytowych, sancenkowych, belkowych, walcowych, stołów wibracyjnych, wibratorów przyczepnych, oraz wgłębnych — prętowych, bagnetowych, igłowych kapiturowych, buławowych i zanurzeniowo-wznoszących, czyli perwibratorów.

Oprócz napędu spalinowego, stosowano również — począwszy od lat trzydziestych — napęd elektryczny. To, zrazu dość sporadycznie wprowadzane, nowe źródło napędu wibratorów, stosowanych w budownictwie, w krótkim czasie zostało — z uwagi na swoje bezsporne zalety — powszechnie przyjęte. Używano do tego celu głównie silników asynchronicznych różnej mocy od 0,15 do 2 kW (2×10^3 W). W przypadku małych silników, były one podłączane wprost do sieci prądu przemianego przemysłowego o częstotliwości 50 Hz wprost, a w przypadku większych jednostek — poprzez przełącznik trójkął-gniazda. Napędowe silniki stanowiły albo całość z wibratorem, przy czym wał wibratora, na którym znaj-



Ryc. 17. Wibrator elektryczny o dwóch mimośrodkach. B. Bukowski: dz. cyt.

¹⁸ J. Choroszczucha i S. Gładkich: dz. cyt. s. 9.



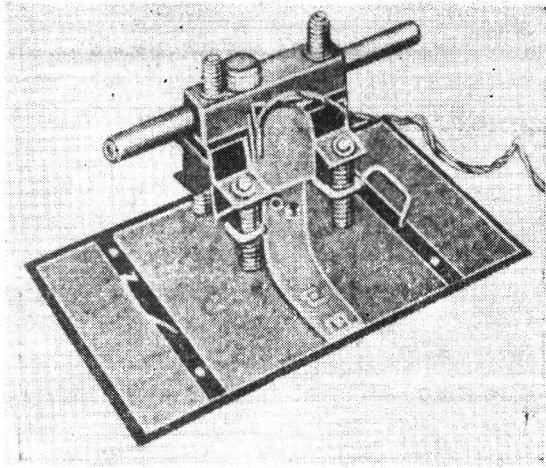
Ryc. 18. Wibrator elektryczny powierzchniowy. B. Bukowski: dz. cyt.

dowały się mimosrody, jednocześnie był wałem silnika napędowego, bądź też stanowiły oddzielną jednostkę, połączoną z wibratorem wałem giętkim. Prekursorem w tej dziedzinie był jak już wspomniano, inż. Gładkich. Przy wibratorach napędzanych za pośrednictwem giętkiego wałka, należało zwracać szczególną uwagę na właściwe połączenie wałka ze względu na kierunek obrotów silnika napędowego. Do niewątpliwych zalet wibratorów napędzanych energią elektryczną można zaliczyć: 1) niskie koszty eksploatacji, 2) łatwość stosowania, 3) łatwość obsługi, 4) dużą sprawność, 5) wysoką częstotliwość drgań wibratora.

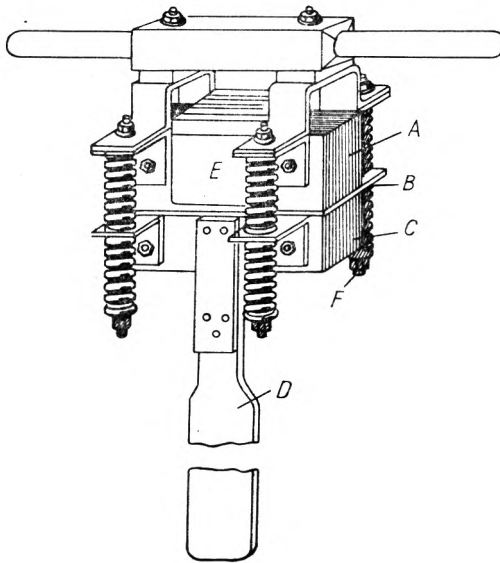
Z istotniejszych wad należałoby wymienić: 1) brak możliwości regulacji częstości drgań wibratora, 2) częste uszkodzenia silników napędowych, szczególnie w przypadku wibratorów mających wspólny wał z silnikiem; dotyczy to głównie wibratorów starszych typów z przed 1936 r. 3) obrywanie się przewodów elektrycznych (również w przypadku wspólnego wału), 4) małą granicę przeciążalności — nadmierne grzanie silników¹⁹.

W 1935 r. pojawiły się pierwsze konstrukcje wibratorów elektromagnetycznych. Zasada działania wibratora tego typu, była następująca: (ryc. 20) przepływający przez uzwojenia elektromagnesu E jednofazowy prąd przemienny powodował cykliczne namagnesowanie i roznamagnesowanie rdzenia A. Wskutek tego umieszczona pod elektromagnesem na sprężynach F kotwica C była na zmianę przyciągana i odpychana w kierunku pionowym z szybkością około 5500 razy na minutę, przy amplitudzie 0,5—0,75 mm. Przeciętna moc takiego wibratora, wynosiła od 0,2 do 0,5 kW. Nakrętki F służyły do regulacji naciągu sprężyn, a tym samym do regulacji wielkości szczeliny pomiędzy elektromagnesem a kotwicą, czyli do regulacji wartości amplitudy. Warto przypomnieć, że rzeczą istotną było tu zestrojenie drgań sprężyny utrzymującej kotwicę z drganiami samej kotwicy (drżania rezonansowe). W braku takiego zestrojenia urządzenie wykazywało małą sprawność. Górna część opisanego wibratora zaopa-

¹⁹ Tamże s. 37 oraz S. Bryła: dz. cyt. s. 6; L. Suwałski: dz. cyt. s. 10.



Ryc. 19. Wibrator powierzchniowy elektromagnetyczny. E. Diesow i inni: dz. cyt.



Ryc. 20. Schemat wibratora elektromagnesowego. B. Bukowski: dz. cyt.

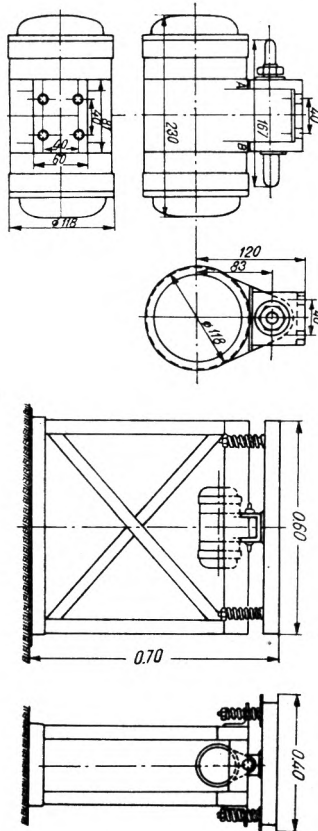
trzona była w poprzeczną rękojeść, służącą do trzymania i prowadzenia wibratora przez obsługującego pracownika. Do kotwicy przymocowywano końcówkę roboczą. W zależności od potrzeb. W przypadku prowadzenia prac, przy których w zagęszczanym betonie umieszczone były wkładki zbrojeniowe, stosowano bagnet — tj. okrągły lub płaski pręt o przeciętnej grubości 5 mm, szerokości 5—12 cm i wysokości 70—125 cm, a w przypadku prowadzenia prac zagęszczających masę betonową, w której

występowała bardzo duża ilość wkładek zbrojeniowych układanych blisko siebie stosowano końcówkę igłową o przeciętnej grubości 3 mm, szerokości 25 mm i długości 1,5—2 m. Jak widać, wibratory elektromagnetyczne, służyły głównie jako wibratory wgłębne lub jako powierzchniowe.

Do ich zalet, zaliczyć można: 1) niewielki ciężar (5—30 kg), 2) łatwość obsługi, 3) dużą zdolność manewrowania urządzeniem, 4) stosunkowo dużą sprawność urządzenia — „brak” tarcia, 5) dużą częstotliwość drgań.

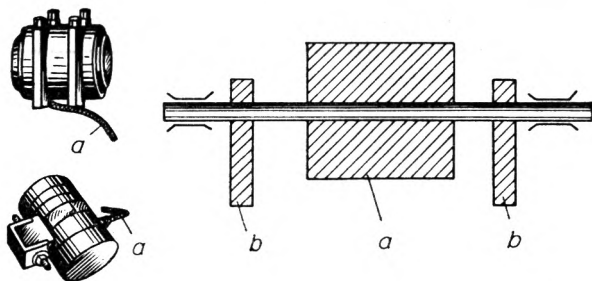
Ważniejsze wady wibratorów tego typu, to: 1) konieczność częstej regulacji sprężyn, 2) konieczność zapewnienia dobrej izolacji elektromagnesu od warunków zewnętrznych — wilgoci, brudu itp., 3) dość znaczne grzanie się elektromagnesu, szczególnie przy dużym skoku kotwicy²⁰.

Spośród wibratorów produkcji zagranicznej stosowanych w Polsce do 1939 r. można wymienić wibratory produkcji francuskiej „Microdyne” i „Vibrodyne”. Były to urządzenia mimoosiowe (do wymuszeń kinema-



Ryc. 21. Wibrator „Miecodyne” w trzech rzutach i stół wibracyjny z wibratorkiem „Mierodyne”. J. Choroszczucha i S. Gładkich: dz. cyt.

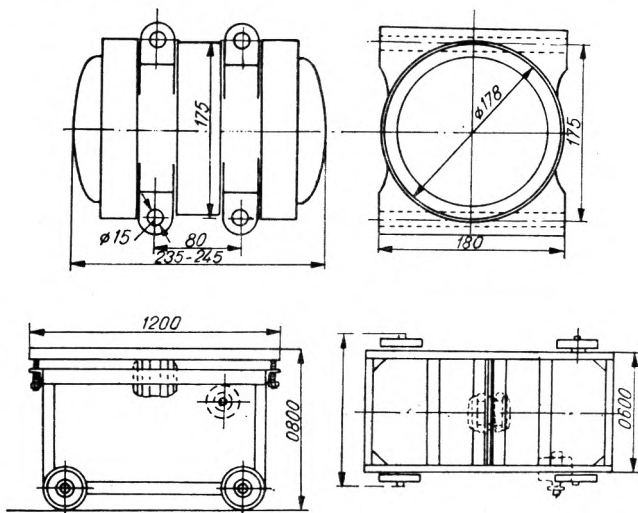
²⁰ L. Suwalski: dz. cyt. s. 14.



Ryc. 22. Wibratorki typu „Vibrodyne” i schematyczny przekrój podłużny wibratora „Vibrodyne”. J. Choroszczucha i S. Gładkich; dz. cyt.

tycznych) i bezwładnościowe (do wymuszeń dynamicznych), o napędzie głównie spalinowym i elektrycznym oraz sporadycznie pneumatycznym. Wykonywały one drgania o częstotliwości 1200—3600 drgań/min i amplitudzie 0,3—0,5 mm (wartości podanych parametrów, są wartościami uśrednionymi dla wszystkich typów). Przeciętny ciężar wibratorów od 50—200 kg¹².

Używane były również wibratory austriackiej firmy Flottnann, produkowane jako stoły wibracyjne, ręczne wibratory powierzchniowe tzw. lekkie, oraz wibratory przyczepne. Posiadały one napęd spalinowy lub elektryczny. Częstotliwość wytwarzanych drgań wahała się w granicach 1200—3000 na min.²²



Ryc. 23. Wymiary zewnętrzne wibratora „Major” i wózek wibracyjny z wibratorkiem „Major”. J. Choroszczucha i S. Gładkich; dz. cyt.

²¹ S. Gładkich; dz. cyt. s. 15, 17, 21 oraz S. Bryła; dz. cyt. s. 14.

²² J. Nechay: *Nowoczesne maszyny do budowy dróg betonowych*. „Cement” 1935 nr. 10 s. 149.

Do rzadziej spotykanych urządzeń należały powierzchniowe wibratory produkcji niemieckiej typu lekkiego Vibromax A-200, o ciężarze około 40 kg, napędzie elektrycznym silnikiem o mocy 0,2 kW i częstotliwości drgań 3600 na min²³, wibratory firmy H. Frischa, produkowane głównie jako powierzchniowe-sankowe (stosowane przy budowie dróg kołowych), lub prętowe. Posiadały one napęd spalinowy silnikiem o mocy 2—4 KM i wytwarzały drgania o częstotliwości 3600 drgań min.²⁴. Używano również — szczególnie przy produkcji drobnych elementów — stołów wibracyjnych produkcji francuskiej napędzanych elektrycznie i noszących nazwę „Major”.

6. PODSUMOWANIE

Rozpatrując rozwój metody wibrowania, służącej do zagęszczania i formowania mieszanki betonowej, w polskim przemyśle budowlanym do 1939 r. można stwierdzić:

1) że istniało wśród polskich inżynierów duże zainteresowanie metodą wibrowania betonu, świadczyć o tym może:

a) zastosowanie powyższej metody przez niektóre betoniarnie i firmy budowlane, produkujące elementy betonowe i żelbetowe, aczkolwiek o powszechnym stosowaniu omawianej metody w polskim przemyśle budowlanym można mówić dopiero po II wojnie światowej, z chwilą podjęcia masowej produkcji elementów i konstrukcji prefabrykowanych i sprężonych;

b) zastosowanie metody wibrowania przy wznoszeniu zapory wodnej na Dunaju, olbrzymiej inwestycji ówczesnych czasów;

c) podjęcie krajowej produkcji wszystkich czterech podstawowych typów wibratorów, których parametry techniczne nie odbiegały poziomem od analogicznych urządzeń produkcji zagranicznej oraz tworzenie na terenie Polski przedstawicielstw firm zagranicznych;

d) dużą inwencję twórczą polskich konstruktorów wyrażającą się w modernizacji konstrukcji zagranicznych: (m.in. pomysły S. Gładkicha i L. Suwalskiego);

e) znaczną ilość artykułów krajowych poświęconych omawianej metodzie; w tym miejscu, godnym podkreślenia jest fakt bardzo szybkiego przepływu informacji z zagranicznych pism dotyczących nowości technicznych z różnych dziedzin, do polskich pism fachowych.

2) że 1936 r. należy uznać za przełomowy w rozwoju metody wibrowania betonu w polskim przemyśle budowlanym;

²³ J. Choroszczucha: *Nowoczesne wibratory w betoniarstwie i budownictwie żelbetowym*. „Cement” 1937 nr. 1 s. 4.

²⁴ Tamże.

3) że parametry wytwarzanych drgań przez wibratory okresu międzywojennego charakteryzowały się niewielką częstotliwością, a stosunkowo dużą amplitudą.

4) że w okresie tym brak było w Polsce zainteresowania ochroną pracowników i otoczenia (środowiska) przed szkodliwym wpływem hałasu i drgań tj. zakłóceniami wytwarzanymi przez wibratory.

Recenzent: Tomasz Kluz

C. Кнапик

РАЗВИТИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ БЕТОНА В ПОЛЬСКОМ СТРОИТЕЛЬНОМ ДЕЛЕ ДО 1939 ГОДА

В статье обсуждается развитие метода виброуплотнения бетона в польском строительном деле до 1939 года. В ней приводится развитие польской библиографии на эту тему, теоретические мнения, старающиеся выяснить физическую сущность происходящего процесса, распространение новой технологии, типичное строение применяемых вибраторов, виды их приводов и параметры образуемых ими колебаний.

S. Knapik

THE DEVELOPMENT OF THE CONCRETE VIBRATION EQUIPMENT IN POLAND TILL 1939

The author discusses the method of vibrating concrete in Polish building industry till 1939. He presents in the article the evolution of the respective literature on this subject in this country, the theoretical knowledge trying to explain the nature of the process in physical terms, the application of this technology in Polish building industry, the typical structure of the vibrators then in use, their driving gear and the parameters of the vibrations they produced.

