

Czesław Domaniewski

ARCHITEKT

NOWY SYSTEM  
**GŁĘBOKIEGO FUNDAMENTOWANIA**

na gruntach niepewnych.

---

NAPISAŁ

Marjan Lutosławski.

---

*Odbitka z „Przeglądu Technicznego”; r. 1907.*

---

WARSZAWA.

Druk Rubieszewskiego i Wrotnowskiego.

1907.

A  
704

NOWY SYSTEM  
**GŁĘBOKIEGO FUNDAMENTOWANIA**

na gruntach niepewnych.

---

NAPISAŁ

Marjan Lutosławski.

---

*Odbitka z „Przeglądu Technicznego“; r. 1907.*

---



624,15

WARSZAWA.

Druk Rubieszewskiego i Wrotnowskiego.

1907.

BIBLIOTEKA  
WYDZ.  
ARCHITEKTURY

2352

Ilekróć wypadnie stawiać budowlę wielkich rozmiarów, o wielkich, ześrodkowanych obciążeniach, sprawa fundamentów stanowi zadanie najtrudniejsze do rozwiązania.

Co należy uważać za „grunt dobry“, na jakiej głębokości on się w danym wypadku znajduje, jakich niespodzianek oczekiwać należy przy docieraniu do owego „dobrego gruntu“, co począć z naporem wód, jak pogodzić niepomierne skoki kosztów i zwłoki przy lada nowej trudności, napotkanej w ciągu robót, ze ściśle określonym ich budżetem i terminem wykończenia — są to pytania, na które bez trudnych i zawitych prób odpowiedzieć nie można, a które, po dokonaniu przedwstępnych badań, nawet doświadczonemu projektodawcy lub kierownikowi robót sprawiają wiele trudności.

O ile pokłady gruntu ścisłego, skały, złoża gliny, grube warstwy żwiru i t. p. podłoża, które można uznać za nieustęp-  
liwe znajdują się na głębokości poniżej 3 m od poziomu, na którym ma się wznosić budowla, o ile są zalane wodami gruntowymi, o ile nad nimi są warstwy osuwliwe, iły, torfy i t. p., zwykły system fundamentowania: mur wzniesiony w rozkopie jest nie do zastosowania. Tak wznoszą koszty uszczelnienia rozkopu, doprowadzenia go do odpowiedniej głębokości, przy szerokości, zapewniającej z uwzględnieniem ciężaru samych fundamentów należyte zmniejszenie ciśnienia na grunt, że technik musi szukać innych dróg do rozwiązania. O ile stały poziom wód gruntowych jest wysoki, zabija się pale drewniane, kładzie się na nich „ruszty“, a na tych rusztach stawia się fundamenty. Ale jeżeli poziom stałych wód leży nisko, jeżeli grunt ilowaty zawiera dużo kamieni lub cienkie pokłady żwiru, założenie rusztów podwodnych jest nadzwyczaj trudne.

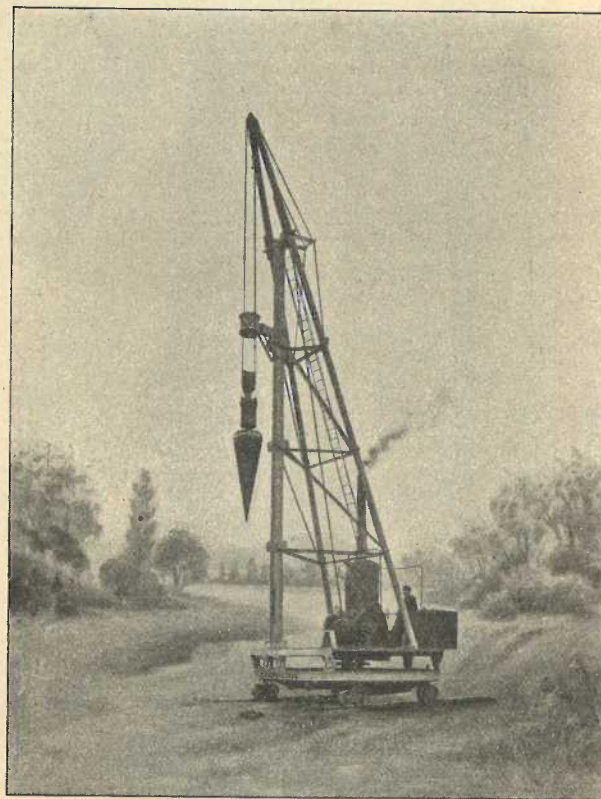
Zresztą poziom wód może uleść zmianie, a dziś znajdujące się w handlu gatunki drzewa coraz mniej dają pewności, że pale i ruszty, choćby stałe pokryte wodą, będą trwałe; wiecznemi zaś nie są, jak wiadomo, nawet takie roboty palowe, które wykonane były znakomicie i długie lata przetrwały. To też w wielu wypadkach zaczęto już dawniej, a dziś coraz częściej, unikać rusztów drewnianych nawet tam, gdzie są stosunkowo łatwe do założenia; a nieraz musiano koniecznie znaleźć inny sposób fundamentacyi, z powodu trudności założenia palowań drewnianych.

Postępem w tym kierunku nazwać należy ułatwienia, jakie wprowadzono w budowie studzien: zapuszczanie kregów od góry, murowanych lub betonowych, ulepszone metody podmurowywania, oczyszczania i t. p., dały możność szerszego zastosowania systemu fundamentacyi, polegającego na tem, że zapuszcza się szereg studni aż „do dobrego gruntu“ i wypełnia się je następnie betonem. Ciśnienie na grunt dopuszczalne na dnie studni stanowi o jej dopuszczalnym obciążeniu. Ale gdy przybór wody w studniach jest silny, sposób ten jest trudny do zastosowania, zbyt silne bowiem pompowanie osłabia grunt; układanie zaś betonu w wodzie, jeżeli ma być dobre, wymaga zupełnego jej spokoju, co nie jest do osiągnięcia podczas działania pomp. Jest to metoda niepewna i bardzo kosztowna. Często już po wybudowaniu kosztownych studzien okazuje się, iż niepodobna im zaufać i użytkować do wykonania w nich fundamentów. Przy szczelnych i dobrze zapuszczonych studniach można do obniżenia poziomu wód użyć zgęszczonego powietrza, czyli stosować metodę kesonową, co powoduje jednak bardzo znaczne koszty i wymaga wprawnych robotników.

Technik rosyjski STRAUSS starał się zastąpić cembrowną studni przez rury żelazne, zapuszczone na wzór studni wierconych; w rury leje beton, wyciągając równocześnie rurę. Jest to system dający wyniki bardzo niezauważalne. Beton, spuszczone z znacznej wysokości w wązki stosunkowo otwór, dochodzi do spodu już nie jako równomierna mieszanina, ale podzielony na części twardsze i bardziej miękkie; trudność ubicia takiego betonu sprawia, iż wytrzymałość jego jest bardzo wątpliwa. Brak przytem wszelkiej kontroli nad tem jak się zachowuje grunt otaczający rurę przy jej wyciąganiu, o ile i jak silnie zetknął się z betonem. Szczególnie w miejscach mokrych, sposób ten jest trudny do zastosowa-

nia i może być zaliczony raczej do ciekawych pomysłów niż do praktycznych sposobów głębokiego fundamentowania na gruntach niepewnych.

*Kafar systemu „Compressol“.*

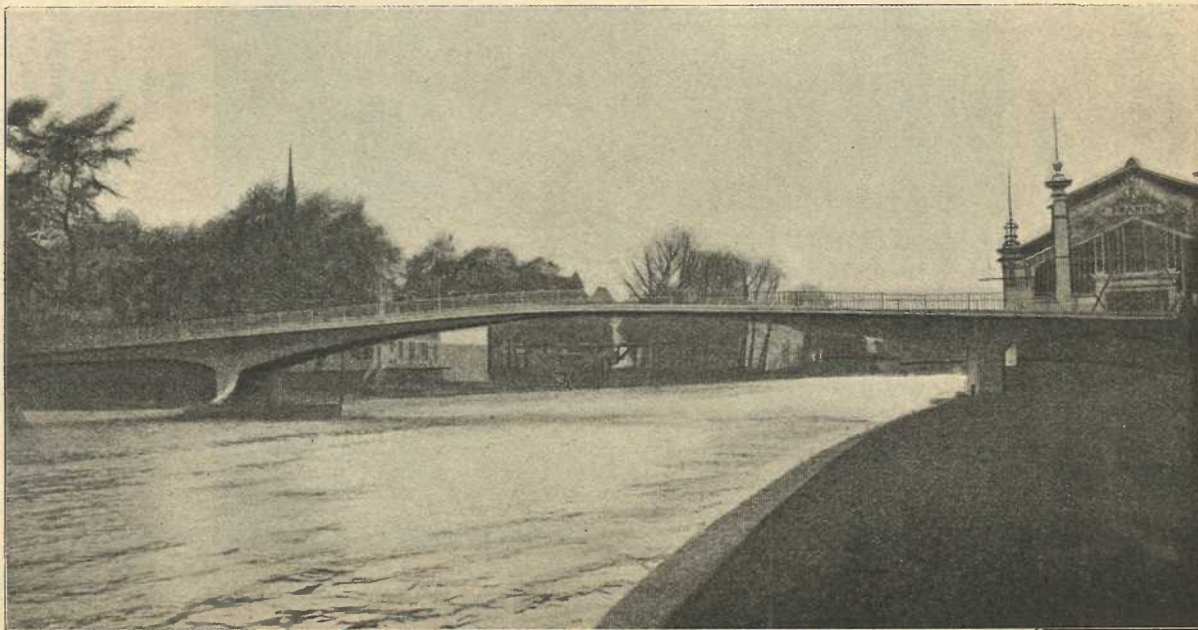


Rys. 1.

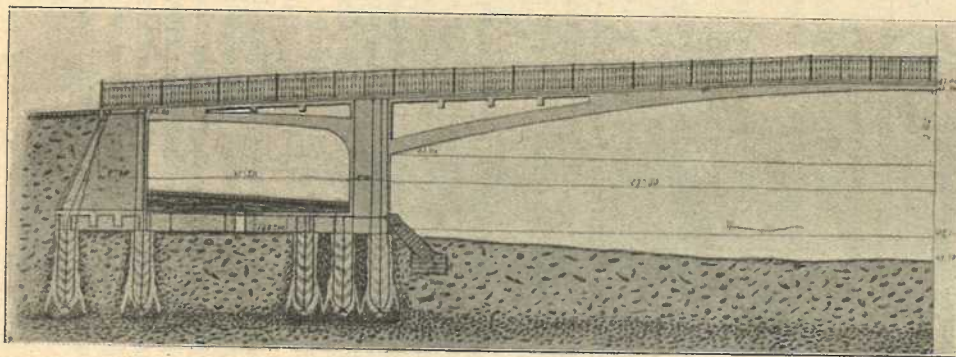
Najlepszym i najpewniejszym systemem są pale żelazno-betonowe HENNEBIQUE'A, zabijane kafarem do 200 pudów (= 3,3 t) wagi na dowolną głębokość (wykonane do 30 m). Jest to sposób niezbyt tani, ale pewny i niezniszczalny. Ponieważ jednak 1 pal doprowadzić można w praktyce do bezpiecznej

*Most miejski w Leodyum (Liège), żelaznobetonowy,  
wybudowany w r. 1905; długość ogólna 86 m, rozpiętość łuku środkowego 55 m.*

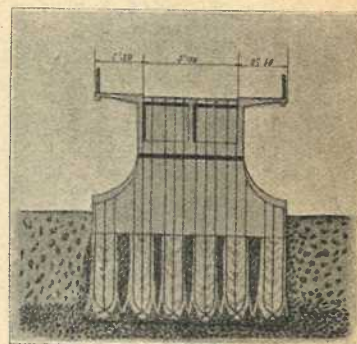
a) Widok z boku.



b) Przecięciej podłużne.



c) Przecięcie poprzeczne.



Rys. 2.

nośności najwyżej 40 t, przeto wielkie obciążenia ześrodkowane wymagają zabicia dużej ilości pali w jednym miejscu, co przedstawia znaczne trudności, ze względu na zboczenia, powodowane ścieśnieniem gruntu między palami.

Temu lat kilka francuz DULAC wynalazł nowy sposób głębokiego fundamentowania, polegający na zapuszczaniu słupów betonowych w grunt silnie zbity i zgęszczony przez wtłoczenie w ziemię dokoła słupa odpowiednich materyałów.

System ten został ochrzczony nazwą „Compressol“ według skrócenia nazwy firmy, która powstała do jego eksploatacji (Société de fondations par compression mécanique du sol).

Fundamenty systemu „Compressol“ stanowią potężne słupy betonowe, ubite ze słabo zwilżonego betonu pod bardzo silnym ciśnieniem, zapuszczone do właściwej głębokości i połączone przez odpowiednie uzbrojenie z silną płytą żebrową żelaznobetonową, stanowiącą żądanych rozmiarów podłoże dla wznoszonej budowli.

Aby zapuścić słup betonowy w głąb gruntu bez robót ziemnych i wodnych, wybija się w ziemi otwór 85 cm średnicy i dowolnej (do 20 m) głębokości za pomocą ciężkiego (2200 kg) i długiego (2,5 m) stożka o stalowym końcu, który spada swobodnie z wysokości 8–12 m. Specjalny uchwyt, spuszczały na łańcuchu parową dźwigarką, przyczepia się samoczynnie do trzonu stożka i podnosi go do góry, aż póki nie oprze się o zapórę pierścieniową, przymocowaną u góry do kafaru (rys. 1).

Pierścień obejmuje, naciska i otwiera samoczynnie łapy uchwytu, który spada w to samo miejsce, pogłębiając otwór.

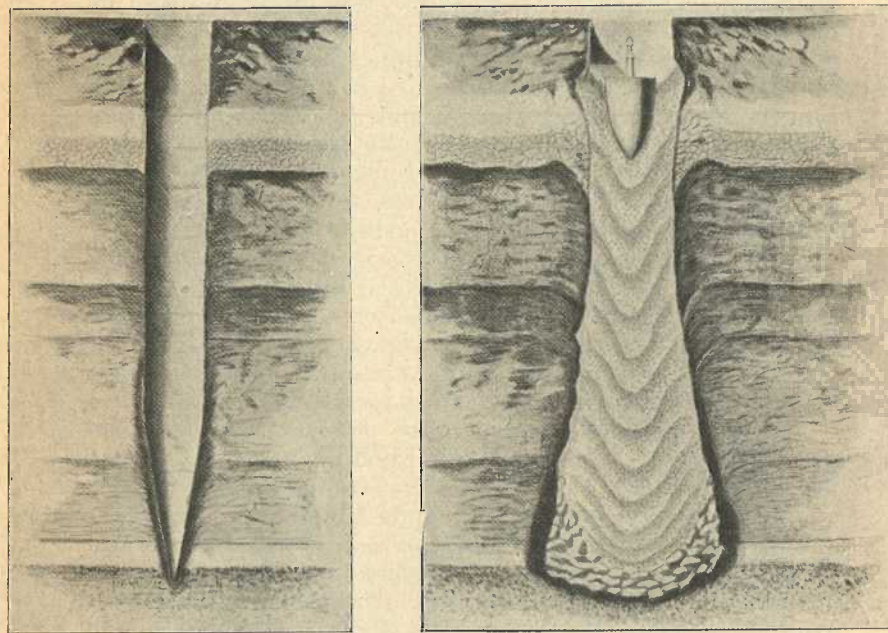
Siła spadania jest tak wielka, że rozbija lub usuwa kamienie i zapory, napotymane po drodze. Stożek, wciskając się w grunt, rozpiera go dokoła, ścieśnia i wzmacnia tak, iż ściany otworu stają się nieprzepuszczalne dla wody podskórnej. Przy większym naporze wód, wysypuje się po paru uderzeniach stożka, trochę gliny do otworu. Stożek wtłacza ją w ściany otworu, zalepia ich pory i zmniejsza ich przepuszczalność. Zależnie od ilości i jakości materyału, sypanego do otworu, począwszy od zwyczajnej bielicy i ziemi gliniastej, skończywszy na czystej glinie i betonie, można doprowadzić grubość i ścisłość ścianek otworu do granic dowolnych i otrzymać zawsze otwór zupełnie suchy, nawet w wodzie płynącej i przy wielkim naporze. W ten sposób zapuszczano funda-

menty mostów i budowli na 7 do 12 m poniżej poziomu wód, jak np. w przyczółkach mostu w Leodyum (Liège), którego widok ogólny i przecięcia przedstawia rys. 2. W rzekach, w wodzie bieżącej, robi się sztuczną wysepkę, ustawia się na niej kafar, wybija się otwór i wyklada się go betonem. Zасыpując częściowo wybity otwór i przebijając go stożkiem po-

Pilon „Compressol“

a) przed zabetonowaniem

b) po zabetonowaniu



Rys. 3.

wtórnie, uzyskuje się nie tylko szczelność ścianek, a zatem pełne osuszenie otworu, ale nadto wtłacza się w ziemię, otaczającą otwór, sporą ilość materyału, ścieśnia się ją i ubija do dowolnych granic, co niezmiernie korzystnie wpływa na stateczność fundamentów.

Gdy otwór jest gotów, zawiesza się zamiast stożka na kafarze ciężkie ubijadło tej samej średnicy, lecz krótsze niż

stożek (1,25 m, 2000 kg), zaokrąglone owalnie u spodu. Na dno otworu wysypuje się beton, zaprawiony wielkimi kamieniami (brukowcem), które wtłacza się w ziemię (pod otworem) potężnymi ciosami ubijadła (rys. 3).

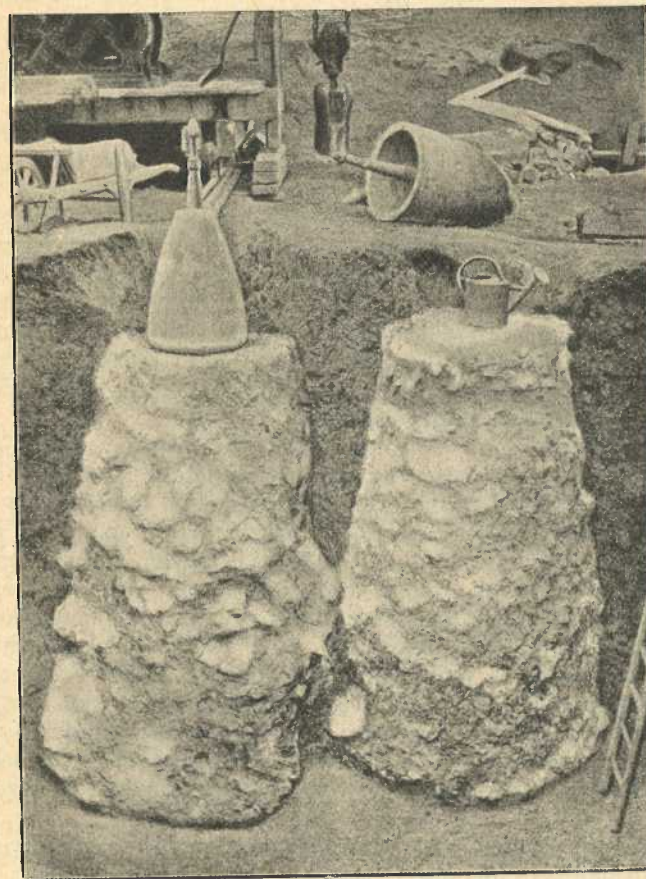
Gdy grunt pod spodem jest tak silnie ubity, że już nie ustępuje, przekrój powstającego w ten sposób fundamentu wzrasta; ubijadło rozłacza beton wokoło, wybija w nim owalne zagłębienie, świeże porceje betonu, wsypane w to zagłębienie, ulegają temu samemu losowi. Otrzymujemy w ten sposób podstawę słupa betonowego czyli pilonu około 2 m<sup>2</sup> powierzchni. Zwiększając stopniowo ilość wsypywanego do otworu betonu i mając ciągłą kontrolę kształtu powstającego pilonu, przez porównanie pozostałej głębokości otworu i ilości zużytego betonu, doprowadzamy pilon do poziomu, w którym zaczęliśmy wybijać otwór; średnica jego zmniejsza się ku górze, przekrój wynosi około 1 m<sup>2</sup>. Na głębokości 3—4 m zapuszcza się do otworu kilka silnych prętów żelaznych, których końce wystają u góry i służą do połączenia pilonu z uzbrojeniem płyty, stanowiącej podłoże budowli.

Po ukończeniu betonowania zawieszają się na kafarze płaski młot, 1 m średnicy i 1 m wysokości, ważący 1500 kg, spuszcza się go na pilon z 10 m wysokości, mierzy się pogłębienia i oblicza się według nich wytrzymałość pilonu, biorąc pod uwagę wysokość spadu, ciężar młota i ciężar zużytego betonu, według t. zw. wzoru holenderskiego (p. niżej).

Wielokrotnie wykonano próbę odkopania zapuszczonego pilonu (rys. 4). Ziemię dokoła i pod pilonem znajdowano tak silnie ubitą, że oskardem ją trudno było poruszyć, a beton pod wpływem nadzwyczajnie silnych uderzeń wykazywał twardość i wytrzymałość nieoczekiwaną. Chropowatości powierzchni pilonu, pełnej wyskoków i nierówności, zależnych od prędkości betonowania i właściwości otaczającego gruntu, zapewniają nadzwyczaj wielką przyczepność pilonu do ziemi, w której jest zapuszczony. Licząc jak przy zwykłych palach tylko 0,3 kg/cm<sup>2</sup> przyczepności suwnej, otrzymamy przy obwodzie 3,5 m opór 10 t na 1 m głębokości. Dodając do tego 6 kg dopuszczalnego parcia na 1 cm<sup>2</sup> podstawy, co przy tak silnie ubitym gruncie, pracującym solidarnie z otoczeniem, na głębokości 8—10 m, jest prawie zawsze bezwzględnie dopuszczalne, otrzymujemy ogólną nośność pilonu, zapuszczonego na 8 m głębokości: 200 t, co odpowiada naprężeniu 20 kg/cm<sup>2</sup> przekroju betonu. W praktyce

bezpieczna nośność jednego pilonu liczy się nie wyżej 100—120 t, co daje nadzwyczajną pewność, nawet przy znacznie

*Wygląd zewnętrzny pilonów „Compressol“ po ich odkopaniu.*



Rys. 4.

słabszych gruntach i nieoczekiwanie zwiększonych obciążeniach.

Przy powyżej wyliczonej nośności  $R = 200 t$ , ciężarze pilonu  $P = 20 t$ , ciężarze młota probierczego  $p = 1,5 t$  i wysokości spadu  $H = 10 m$ , dopuszczalne zagłębienie byłoby według wzoru holenderskiego po 10 uderzeniach:

$$h = \frac{10}{6} \cdot \frac{H}{R} (p + P) = 1,8 mm.$$

W praktyce, zagłębienia są ledwie dostrzegalne, co świadczy o znacznie większej pewności osiągniętych wyników, niżby wynikało z powyższych założeń.

Dla określenia ilości potrzebnych pylonów przy projektowaniu fundamentu należy przedewszystkiem zdecydować, jakie jest dopuszczalne ciśnienie na grunt w tej jego warstwie, na której chcemy oprzeć pilony. Obciążenie, obliczone z uwzględnieniem ciężaru własnego pylonów i ziemi pomiędzy pilonami, podzielone przez owe dopuszczalne ciśnienie, daje nam *powierzchnię*, na której rozmieszczamy pilony tak, aby obciążenie na pilon nie przekraczało 80—120  $t$ . Przy takim obliczeniu uwzględniamy boczne tarcie pylonów tylko o tyle, o ile ono przyczynia się do równomiernego rozkładu obciążenia na całą przestrzeń między pilonami.

Zgodnie z powyżej przytoczonym opisem, system „Compressol“ daje możliwość otrzymania zupełnie pewnych i bezpiecznych fundamentów tam, gdzie wszelkie inne metody zawodzą. Zgęszczenie i ubicie gruntu, zupełne usunięcie wody nawet w gruntach mokrych, znajdujących się pod naporem lub nawet pod prądem wód, nadzwyczaj silne ubicie betonu i stworzenie potężnych monolitów o szerokiej podstawie, statecznym ciężarze i olbrzymiej wytrzymałości daje system fundamentowania technicznie doskonały. Nadto zasługuje na uwagę: nadzwyczajna prędkość wykonania i przystępna cena, niższa od ceny wszelkich innych systemów studzien mурowanych, kesonów, pali i rusztów drewnianych, pali żelazobetonowych i wreszcie zwyczajnych wykopów i opuszczonych do znacznych głębokości fundamentów.

To też zyskał sobie ten nowy system fundamentowania prędko należyte uznanie.

Do najwybitniejszych zwolenników nowego systemu fundamentowania należą:

1) Wielki bank przemysłowy Empain w Brukselli, którego twórca sfinansował dr. ż. miejską „Metropolitain“ w Paryżu, całą sieć dróg żel. podjazdowych we Francji i Belgii, buduje obecnie kilka-

dziesiąt stacji elektrycznych w Belgii, całą dzielnicę w Kairze i t. p. Firma ta poddała system „Compressol“ wszechstronnym próbom, a przekonawszy się o jego zaletach, stosuje go obecnie wszędzie: do przyczółków i filarów mostów kolejowych, do fundamentów pod budynki fabryczne, domy dochodowe, maszyny i t. p.

2) Tow. Akc. „La Parisienne Electrique“, które przeprowadza skup i przekształcenie wszystkich stacji elektrycznych w Paryżu i stosuje po wielu próbach z innymi systemami wyłącznie system „Compressol“ do budowy fundamentów, zapuszczanych na kilka metrów poniżej poziomu Sekwany.

3) Główny inżynier Rascol, dr. żel. P. L. M. (Paris-Lyon-Mediterranée) w Lugdunie, tej głównej arterii sieci dróg żel. francuskich, który zalecił na wszystkich oddziałach stosowanie systemu „Compressol“, po próbach przez siebie dokonanych. Szczególnie ciekawe są tu fundamenty mostów wzniesionych na moczarach o kilkunastu metrach głębokości.

4) Inż. Bauduin m. Maastricht, pod którego kierunkiem wybudowano rzeźnię miejskie tego miasta, oparte całkowicie na pilonach „Compressol“. Ten sam inżynier kieruje obecnie robotami przy fundamentacji olbrzymich zbiorników gazu w Maastricht i stosuje również pilony „Compressol“.

5) Główny inżynier m. Leodyum (Liège), Mahiels, na którego zlecenie wykonano fundamenty całego szeregu wielkich budowli, między innymi mostu przedstawionego na rys. 2.

6) Zarząd znanej firmy „John Coquerill“ w Seraing pod Leodyum, stojącej na złym gruncie, gdzie obecnie wszystkie fundamenty pod maszyny, budynki i kominy fabryczne są wykonywane z pomocą pylonów „Compressol“.

7) Zarząd miejski w Stuttgardzie, który przeprowadził zawile badania i próby wobec trudnych warunków fundamentacji przy budowie centralnej rzeźni miejskiej. Skorzystano tu z doświadczenia cytowanego powyżej miasta Maastricht.

8) Prof. Ribourt Szkoły Centralnej w Paryżu, któremu rząd polecił zbadać różne alternatywy fundamentacji olbrzymiego budynku „Imprimerie Nationale“ w Paryżu. Budynek ten, obciążony na obciążenie  $15 t/m^2$  stropów, wznosi się na wiekowym nasypie  $15 m$  grubości w pobliżu Sekwany. Było to jedno z pierwszych zastosowań systemu „Compressol“. Prof. Ribourt poddał pilony, zapuszczone w liczbie przeszło 1000 sztuk, bardzo ścisłym próbom, o czym napisał szczegółowe sprawozdanie.

Są to poważne referencje. Dziś, kiedy wskutek rozwoju techniki i wzrostu zaludnienia coraz mniej ludzie krępiją się trudnościami technicznymi przy wyborze miejsca na budowle monumentalne, postęp w kierunku uniezależnienia się od właściwości gruntu, na którym ma być wzniesiona budowla, powitany być powinien przychylnie. Pilonom „Compressol“ należy się w tym względzie miejsce nieposłednie.



2352