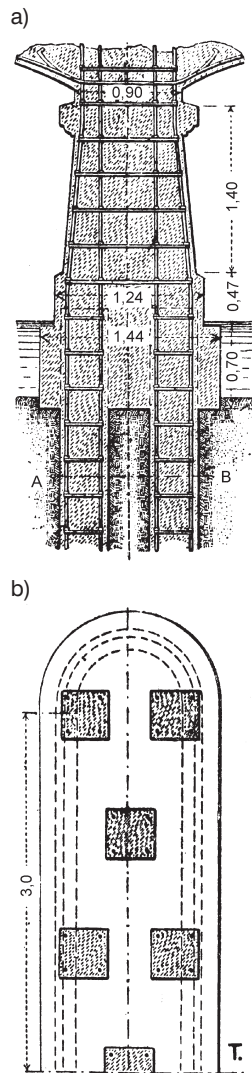


Fundamenty na palach. Część II

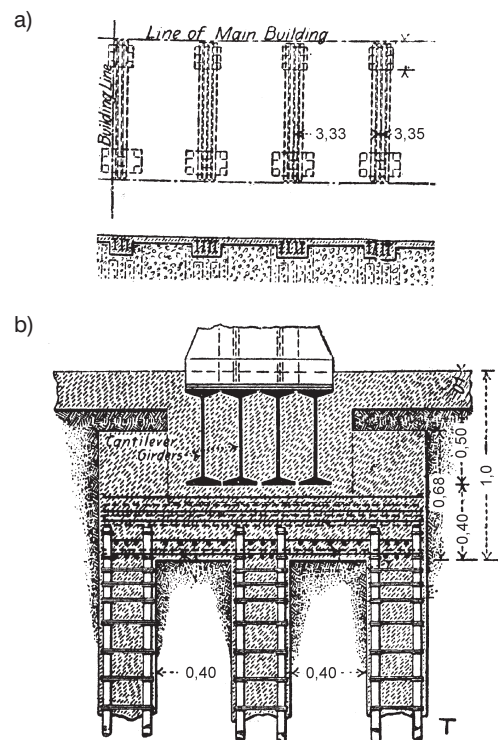
Pale żelazobetonowe (żelbetowe) gotowe (w latach 50. nazwane prefabrykowanymi) wykonywano dawniej w formach drewnianych lub żelaznych stojących, wypełnianych betonem lanym. Później formy zaczęto wypełniać w pozycji poziomej betonem suchszym, często wibrowanym. Z reguły pale zbrojono prętami okrągłymi, umieszczonymi przy narożach i przewiązаныmi strzemionami w odstępach malejących przy obu końcach, gdzie powstają największe naprężenia. Ale nie od razu tak było... Zbrojenie obliczano jak w przypadku słupa żelbetowego z tym jednak, że drgania powstałe podczas wbijania zwiększały naprężenia wynikające z obciążeń statycznych. Pręty zbrojenia na dolnym końcu zbierano razem i skuwano lub łączono na nity z ostrzem, czyli zakończeniem pala. Działo się to wtedy, gdy jeszcze nie rozpowszechniło się spawalnictwo! Głowicę pala zwięzowano, aby można było na nią nałożyć kołpak ze stali zlewnej, pod który podkładano wióry, piasek lub pakuty. Na wierzchu dawano klocek z twardego drewna (niektórzy preferowali drewno miękkie!). Najczęściej stosowane pale miały wymiary $25 \times 25 \div 35 \times 35$ cm, ze ściętymi narożami. W Indiach, w budowłach morskich dawano pale o przekroju znacznie większym – $65,5 \times 65,5$ cm, przy długości 26 m i masie 24 t. W 1894 r. Hennebique, idąc za wzorem naturalnych pali drzewnych, przeprowadził próby z palami okrągłymi, zakończonymi metalowym okuciem w formie stożka. Były to jego pierwsze doświadczenia. Strzemiona ustawiał rzadko. Na ogół używał pali o przekrojach kwadratowych (ze ściętymi narożami) 20×20 , 35×35 a nawet 40×40 cm, o długościach do 16 m. Buty dawał z grubej blachy, niekiedy płaskowniki po bokach, a strzemiona nie po obwodzie tylko po przekątnych. Zbrojenie dawał z prętów okrągłych $20 \div 35$ mm, po $4 \div 8$ sztuk, strzemiona $\varnothing 5 \div 8$ mm, zagęszczanie tylko u góry. Wprowadzenie drewnianego pieńka, łagodzącego uderzenia młota i chroniącego gło-



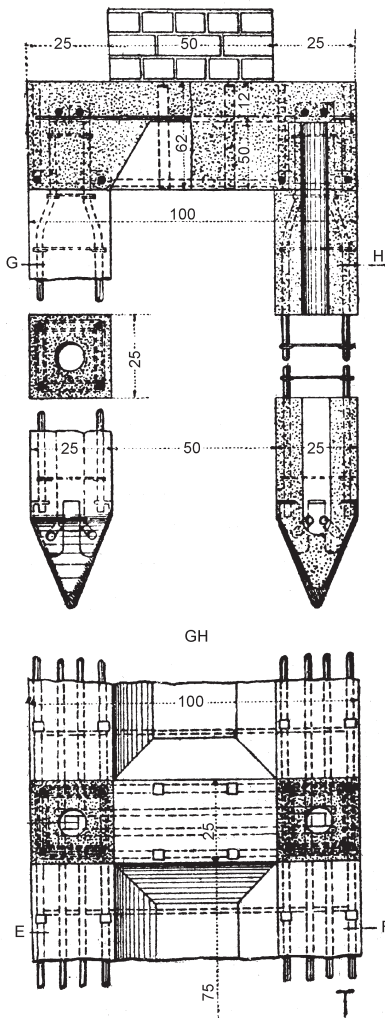
Rys. 12. Filar mostu pod Brumat w Alzacji, oparty na palach Hennebique'a; a) przekrój pionowy, b) rzut

wicę pala przed roz biciem, powodowało stratę w pracy kafara. Z czasem tego zaniechano, mimo że w pierwszych próbach w Rotterdamie pokruszono niemało pali i czapek. Młoty dobierano o masie $1,5 \div 4$ t, o skoku 1,5 m, przy $6 \div 8$ uderzeniach na minutę.

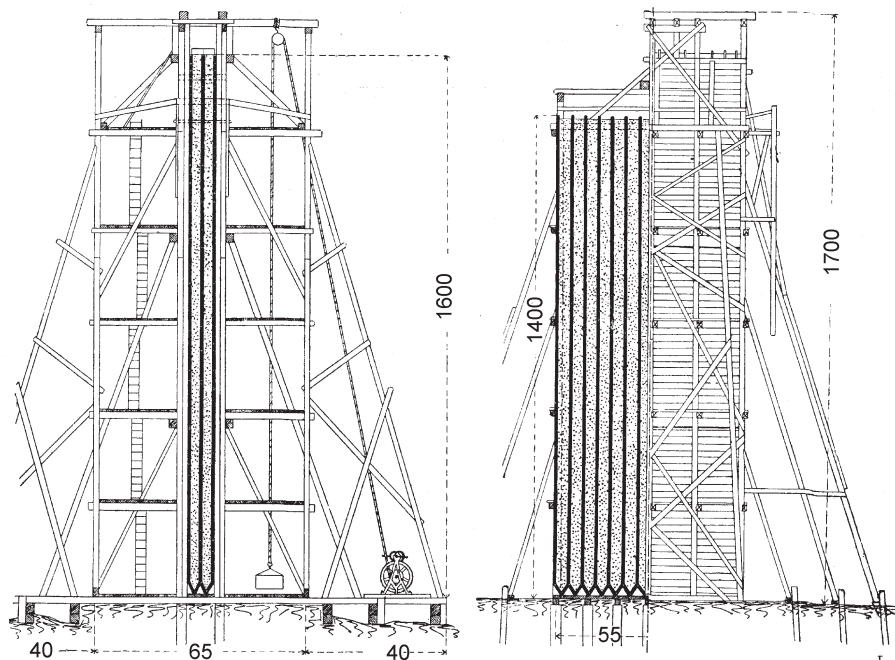
Na palach Hennebique'a oparto filary mostu pod Brumat (rys. 12) w Alzacji w 1904 r. I w tymże roku oddano do użytku budynek Hallenbeck w Nowym Jorku o 10 piętrach, posadowiony na palach Hennebique'a (rys. 13). Pale pograżano pod strumieniem wody. Na palach ułożono płytę żelbetową, a pod słupami dano 4 dwuteowniki T500, zatopione w betonie. Na palach żelazobetonowych, naprzemian prostych i pochyłych, oparto bulwar w porcie Düsseldorfu (1907 r.). Były one długie na 8 i 12 m i miały przekrój 32×32 cm. W osi pala, w celu wplukania go w grunt, umieszczano rurkę o średnicy co najmniej $25 \div 50$ mm, która na końcu rozgałęziała się w otwory umieszczone na każdej ścianie pala. Na rysunku 14 pokazano połączenie głowic pala Hennebique'a z płytą żelazobetonową. Firma ze Lwowa „Sosnowski i Zachariewicz” realizowała fundament pod kolumnę Mickiewicza we Lwowie (rys. 15), wbijając pale systemu Hennebique'a o długości 11 m aż do margla kredowego. Ta sama firma, na budowie mostu drogowego w Przeworsku (1908 r.) zastosowała do produkcji



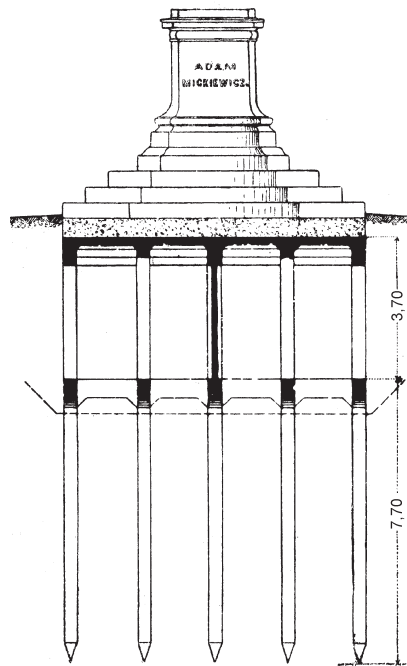
Rys. 13. Budynek w Nowym Jorku posadowiony na palach Hennebique'a; a) rzut, b) przekrój pionowy



Rys. 14. Połączenie głowic pali Hennebique'a z rusztem żelbetowym



Rys. 16. Palownica zastosowana do produkcji pali systemu Hennebique'a przez firmę „Sonsnowski i Zachariewicz” we Lwowie

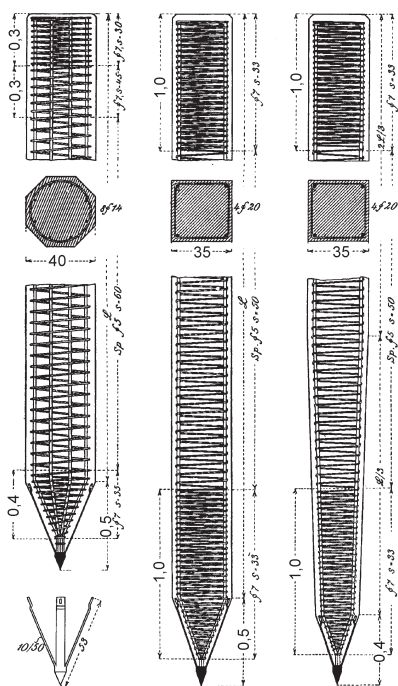


Rys. 15. Pali systemu Hennebique'a zastosowane pod kolumną Mickiewicza we Lwowie

pali Hennebique'a palownicę (rys. 16), tj. rusztowanie utrzymujące pionowe formy. Obejmowała ona 14 pali długości 14 m i 12 pali długości 16 m. Stosowano beton żwirowy (bez piasku) w stosunku 1:3, bardzo słabo ubijany tłuczkiem żelaznym, warstwami grubości 20÷25 cm. Wskutek ubijania grubość warstwy zmniejszała się do 10 cm. Powierzchnię ubitej warstwy zaciosywano drewnem i układano następną warstwę. Pali trzymane były na sucho przez 12÷24 godzin, zależnie od wilgotności powietrza, a potem przez 7 dni zwilżano je obficie wodą. Następnie wyciągano z formy pionowo w górę i ustawiano pionowo między kleszczami na dalsze 8÷10 dni, wciąż je zwilżając. Wreszcie za pomocą żurawia przenoszono na skład. Po 4 tygodniach były przydatne do wbijania.

Wbijanie pali w położeniu pionowym było uciążliwe i kosztowne. Wbijanie w położeniu poziomym powiodło się najpierw w Metz z palami Züblich'a (1906 r.), gdzie na 3000 wbitych pali nie pękło nawet 0,5%. Podobnie było w czasie budowy portu w Ruhrort.

Znacznie późniejsze pali Considère'a miały przekrój ośmioboczny i ze zbrojeniem uzwojonym (rys. 17a). Takie pali wbijał on pod budynek fabryczny w Noissiel pod Paryżem. Tak samo jak pal Considère'a, zakończony butem żelaznym był pal firmy „Wayss u. Freytag Allgemeine Gesellschaft”, także uzwojony. Takie pali wbijano od 1913 r. pod płaskie magazyny podłogowe w konstrukcji żelbetowej w Dreźnie. W ślad za Considère'em uznawano zbrojenie nie tylko pali wielobocznych, ale i kwadratowych w przekroju (rys. 17b), a także zwężających się stożkowo (rys. 17c). Typów pali było mnóstwo – o różnym przekroju, zwężającym się u dołu, nawet były stosowane pali trójkątne ze ściętymi narożnikami. Firma „Weirich u. Reinken” wykonywała pali o przekroju kwadratowym 35 × 35 cm, bardzo silnie zbrojone. Poza strzemiionami zbrojenie główne było owinięte siatką cięto-ciągnioną i zakończone żelwnym butem. Wbijane były one pod spichrze podłogowe w Kolonii oraz bunkry i silosy na węgiel w Hamburgu. Było to w pierwszym dziesięcioleciu XX w. W Kolonii długość pali nie przekraczała 6 m, przy nośności 0,6 MN. Wbijano je młotem o masie 5 t, spadającym z wysokości 1 m. W Hamburgu długość pali dochodziła do 15 m. Firma „Ed. Züblich i Spółka” ze Strassburga wymyśliła pali sześciokątne o nierównych bokach i wbijała je m.in. przy przebudowie dworca kolejowego w Hamburgu (1904 r.) oraz wspólnie z firmą „Wayss, Westermann i Spół-



Rys. 17. Odmiany prefabrykowanych pali żelbetowych typu Considère'a

„company” z Nowego Jorku. Miały one przekrój kwadratowy 35×35 cm, były zaopatrzone w ciężki but żelazny; wbijane były w koszulce z dwóch ceowników, połączonych u góry poprzeczką (uchwytem), ułatwiającą wyciągnięcie koszulki po wbiciu pala. Szczelina powstała po wyjęciu koszulki szybko wypełniała się gruntem. Do ciężkich gruntów nadawał się także pal Wolle'a o przekroju pięciokątnym, w którym silne zbrojenie główne związane było z butem śrubą z podkładką zaciskową, trochę przypominającą współczesne stożki zaciskowe, używane do kotwienia prętów w belkach sprężanych. Na palach Wolle'a posadowiono „Niemieckie Muzeum” w Monachium. Wbito ich tam o całkowitej długości 3 500 m. Zagłębiano tam też pale Straussa i Züblina. Działo się to wszystko na przełomie XIX i XX w. oraz w pierwszym dwudziestolecu XX w.

W czasie posadowienia domu towarowego w Stanach Zjednoczonych firma „R.A. Cummings” użyła pali o przekroju ośmiokątnym, zwężających się stożkowo u dołu, wbijanych w grupach kolistych do 15 sztuk, a potem nakrywanych grubą jakby czapą w kształcie wieloboku foremego o średnicy 3,25 m. Średnice pali nie przekraczały 40 cm. U dołu zaopatrzone były w żelazne buty, z uzwojonym zbrojeniem głównym żelazem okrągłym $\varnothing 5,2$ mm. Głowicę pala opasywano 8 płaskownikami 25×6 mm, skuwanymi w robocie kowalskiej i jeszcze łączonymi skuwaniem w każdym rogu ze strzemiionami. Niezależnie, aby bardziej uodpornić głowicę pala na uderzenia młota kafarowego, u góry głowicy dano 4 warstwy w spiralę zwiniętego żelaza $\varnothing 5$ mm (zwijanego współśrodkowo). Całkowita wysokość głowicy wynosiła 38 cm. W celu skrócenia okresu dojrzewania betonu, pale poddawano obróbce parą, w specjalnych pojemnikach.

Przy budowie drogi nadbrzeżnej, w bardzo miękkich gruntach, zagłębiano pale szersze u dołu niż u góry (z 30 do 76 cm) na bardzo dużej głębokości – 20, a nawet 40 m. Zagłę-

ka” wykonywała fundamenty na palach pod hotel „Excelsior” w Trieście w 1910 r.

Pale Chenoweth, Bignella, Gilbretha – lansowane przez firmę amerykańską „Pilin Company of Lincoln” – zagłębiane były drogą wptukiwania. Te ostatnie miały w środku okrągły otwór, kształt stożkowy i były kanelowane (osiem kaneli na obwodzie), podobnie jak kolumny greckie. Kaneli ułatwiały wtłaczanie wody pod ciśnieniem w czasie zagłębiania pala. W ciężkich gruntach dobrze zdawały egzamin pale Giant firmy „Giant Concrete Piling Company” z Nowego Jorku. Miały one przekrój kwadratowy 35×35 cm, były zaopatrzone w ciężki but żelazny; wbijane były w koszulce z dwóch ceowników, połączonych u góry poprzeczką (uchwytem), ułatwiającą wyciągnięcie koszulki po wbiciu pala. Szczelina powstała po wyjęciu koszulki szybko wypełniała się gruntem. Do ciężkich gruntów nadawał się także pal Wolle'a o przekroju pięciokątnym, w którym silne zbrojenie główne związane było z butem śrubą z podkładką zaciskową, trochę przypominającą współczesne stożki zaciskowe, używane do kotwienia prętów w belkach sprężanych. Na palach Wolle'a posadowiono „Niemieckie Muzeum” w Monachium. Wbito ich tam o całkowitej długości 3 500 m. Zagłębiano tam też pale Straussa i Züblina. Działo się to wszystko na przełomie XIX i XX w. oraz w pierwszym dwudziestolecu XX w.

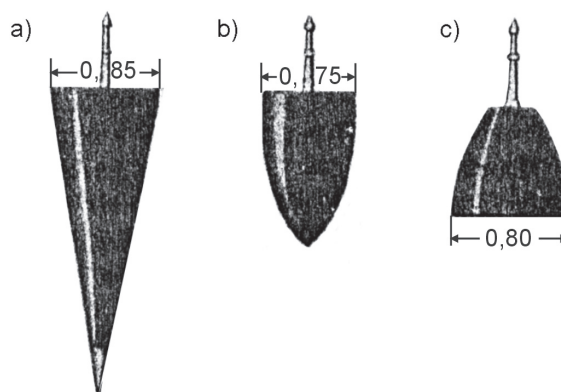
bianie pali, z reguły przez wptukiwanie, ograniczone było do specjalnych warunków: w gruntach bardzo podatnych.

Nieraz zachodziła konieczność użycia pali, pracujących także na wyciąganie, stanowiących rodzaj kotwy. Tego rodzaju pale, o zmiennej szerokości boku od 25 do 30 cm (wręby miały wymiar 2,5 cm) wypróbowano na budowie chłodni kominowej, której fundament przy silnym wietrze mógł być narażony na odrywanie od podłoża. Nie były to pale długie, przeważnie 5-metrowe, zagłębiane swoim końcem w gruncie zwartym; stosowano je w Niemczech, w Hirschfelde.

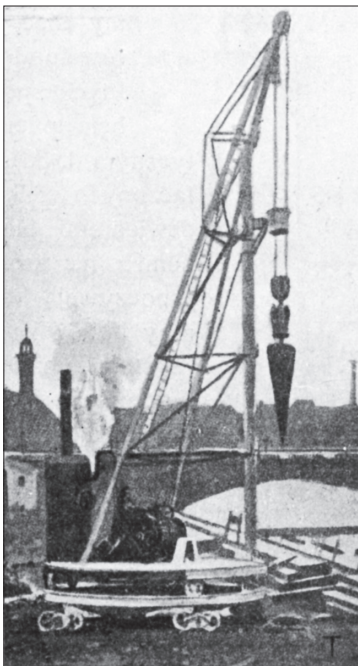
Większość tych pali, w takim czy innym stopniu, wykonywano na ziemiach polskich i inżynierowie polscy stykali się z takimi rodzajami budowania, jeśli nie w kraju to zagranicą. Tak więc nie była to znajomość tylko z literatury, ale i z autopsji. Dla ilustracji tej uwagi przytoczymy opinię Mariana Lutosławskiego [7] o palach Hennebique'a z 1907 r.: „*Jest to sposób niezbyt tani, ale pewny i niezniszczalny* (takie było ówczesne przekonanie o żelbecie – dopisek autora). *Zabijane kafarem 200-pudowym (= 33 kN) na dowolną głębokość (wykonane do 30 m)*”.

Niezwykle obszerną dziedziną są pale betonowe formowane w gruncie. Są z samego betonu, w miarę jednak potrzeby mogą być zbrojone. Zasadniczy ich walor polega na silnym związaniu z otaczającym gruntem. Pale te pracują jakby w symbiozie z gruntem i wskutek swojej nieregularnej powierzchni tak są z nim związane, że tarcie – w czasie obciążenia pala – nie przebiega właściwie między płaszczem pala a gruntem, a raczej wewnątrz gruntu, według tworzących stycznych do jakiejś większej średnicy tego pala. Sprawa komplikuje się, gdy u dołu pewnego typu pali formuje się bryła betonu, przypominająca stopę słupa. Według niektórych opinii pal pracuje wtedy jak słup zagłębiony w ziemi i przenoszący obciążenie na uformowaną u dołu bryłę betonu.

Zacnijmy od najbardziej swego czasu popularnego i najstarszego systemu inżyniera francuskiego de Dulaca – pala Compressol. Ta nazwa jest skróconą nazwą firmy powołanej do jego stosowania – *Société de fondations par compression mécanique du sol*. Demonstrowany był na wystawie w Paryżu w 1900 r. Pal formuje się przez zrzucenie z dużej wysokości (8, 10, a nawet 15 m) ciężkiego przebijaka żelaznego (*perforateur*) i wybijanie w gruncie coraz to głębszego otworu. Przebijak miał kształt wydłużonego stożka o największej średnicy 0,85 m, długości 2,5 m i masie 2200 kg (rys. 18a). Podwieszają-



Rys. 18. Obciążniki do formowania pala systemu de Dulaca: a) przebijak, b) ubijak (tłoczniak), c) ubijak (baba)



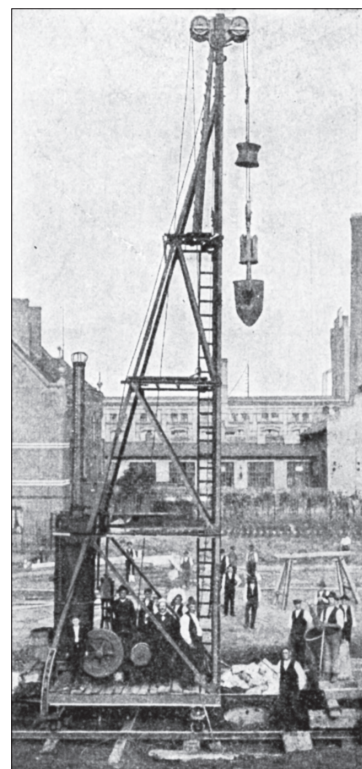
Rys. 19. Kafar z zawieszonym przebija-
jakiem

ny był do silnego i wysokiego bardzo kafara (rys. 19). Specjalny uchwyt, spuszczone na łańcuchu parową dźwigarką, przyczepiany był samoczynnie do trzonu stożka i podnoszony do góry, aż pal nie oparł się o zapórę pierścieniową, przymocowaną u góry do kafara. Pierścień obejmował, naciskał i otwierał samoczynnie łapy uchwytu i stożek spadał. Siła spadania była tak wielka, że rozbijała lub usuwała kamienie i zapory. We Francji i w Niemczech były w użyciu kafary żelazne o konstrukcji kratowej; na ziemiach polskich nie stroniono od drewnianych. Stożek wciskając się w grunt, rozpieierał go dookoła, ście-

śniał grunt i wzmacniał tak, że ściany otworu stawały się nieprzepuszczalne dla wody podziemnej. Przy większym naporze wody wsypywano trochę gliny do otworu. Stożek wtłaczał ją w ściany otworu, zalepiał pory i zmniejszał ich przepuszczalność. Zależnie od jakości i ilości wsypanego materiału, począwszy od zwyczajnej bielicy i ziemi gliniastej a skończywszy na czystej glinie i betonie, można było doprowadzić grubość i ścisłość ścianek otworu do granic dowolnych oraz otrzymać otwór zupełnie suchy, nawet w wodzie płynącej i przy dużym jej naporze. W ten sposób wykonywano fundamenty na 5÷12 m poniżej poziomu wód, jak np. pod fundamentami pawilonu Creusot na Wystawie Światowej w 1900 r., gdzie słupy (pale) sięgały poziomu 5 m poniżej normalnego stanu Sekwany, lub pod filarami i przyczółkami łukowego mostu żelbetowego o rozpiętości największego przęsła 55 m, stawianego na rzece Mozie w Leodium (Liège) w 1905 r., według projektu inżyniera Mahielsa. Doszli tam z palami do 5,3 m poniżej średniego stanu wody, przy jej silnym naporze, bez pompowania lub innych przeszkód ze strony wody. Po wybi-
ciu otworu na żadaną głębokość wrzucano do otworu najpierw głązy narzutowe. Wtedy przebijał zastępowany był ubijakami, które uderzeniami rozpychały głązy na boki i u spodu. Były dwa rodzaje ubijaków – jeden w kształcie pocisku karabinowego z I wojny światowej (rys. 18b), masy 2 000 kg i największej średnicy 0,8 m, a drugi o tej samej średnicy i masie 1 500 kg, u dołu płaski, a u góry w kształcie wyniosłej kopuły (rys. 18c). Zawieszenie ich na kafarze było takie same (rys. 20). Jakiej grubości miała być warstwa kamieni i jakiej miały one być średnicy – zależało to od warunków miejscowych. Karol Pomianowski [12] orientacyjnie podaje grubość takiej warstwy 40÷60 cm, średnicę kamieni 10÷20 cm. Potem szły warstwy betonu z kruszywem stopniowo zmniejszającym swoją średnicę, ubijane z początku ubijakiem jednego rodzaju (tłucznią), a później drugiego rodzaju (babą). Wychodził po tych zabiegach pal o zwiększonej

stopie i bardzo nierównej powierzchni bocznej. W celu połączenia pala ze zbrojeniem płyty fundamentowej wpuszczano do otworu na głębokość 3÷4 m (są to najdawniejsze wskazówki) kilka silnych prętów żelaznych, a wystające ich końce związane były ze zbrojeniem płyty. Niektóre pale wymagały zbrojenia na całej ich długości – tak było ze słupami pod pawilon Creusota, pod elektrownią w Meudon i fabrykę Forest w Brukseli oraz pod most na Mozie w Liège.

Pale Compressol na początku XX w. cieszyły się niezwykłym powodzeniem. Można jeszcze wymienić kilka innych zastosowań. W Maastricht pod kierunkiem tamtejszego inżyniera miejskiego Bauduina zbudowano na tych palach rzeźnię oraz zbiorniki gazu. Profesor Ribourt ze Szkoły Centralnej w Paryżu zastosował je pod olbrzymim budynkiem „*Imprimerie Nationale*” (Drukarni Narodowej) w Paryżu, na wiekowym nasypie grubym na 15 m (1 000 pali – jedno z pierwszych zastosowań). W Niemczech w 1904 r. posadowiono na palach de Dulaca fundamenty dworca Plochingen w Wirtembergii, a w Berlinie w 1905 r. – zbiorniki na gaz. Duże doświadczenie osiągnięto z palami de Dulaca w Warszawie w 1904 r., z okazji budowy wieloprzęstowego żelbetowego wiaduktu Trzeciego Mostu, później nazwanego mostem im. ks. Józefa Poniatowskiego. Próby z tymi palami wyglądały następująco: w piasku gliniastym 80 uderzeniami przebijał wykonano otwór głębokości 5,6 m; warstwę kamienia ubijano razem z zaprawą cementową, a potem beton w składzie 1:3:6 warstwami grubości 25 cm. Ubijanie kamieni i betonu trwało 8 godzin oraz wymagało 105 uderzeń tłucznią o masie 2 200 kg. Po 158 dniach przystąpiono do próbnego obciążenia pala ciężarem o masie 180 280 kg, większym o 50% od projektowanego obciążenia pala. Pal osiadł 4,4 mm, a po jego odciążeniu odczyt wynosił tylko 2,2 mm. Ale na tym nie poprzestano i pal został odkopany, aby na całej swojej wysokości mógł być sprawdzony. Największa średnica pala wynosiła 1,50 m. Okazało się, że narzut kamienny w stopie nie za wiele wcisnął się w grunt. Stopa nie była właściwie szersza od pala, jak to zwykle bywa z palami de Dulaca. Odkopany pal ponownie obciążono, aby ustalić pod jakim ciężarem osiadzie na taką samą głębokość jak otoczony gruntem i w ten sposób ustalić wartość tarcia o płaszczyznę pala. Różnica wynosiła 22 700 kg masy, a powierzchnia odkopanego pala 15,09 m². Tarcie więc o płaszczyznę pala wyniosło 22 700 : 15,09 = 15 kN/m² = 0,015 N/mm². Inżynierowie obserwujący doświadczenie zaskoczeni byli tak małym wpły-



Rys. 20. Kafar z zawieszonym ubija-
kiem

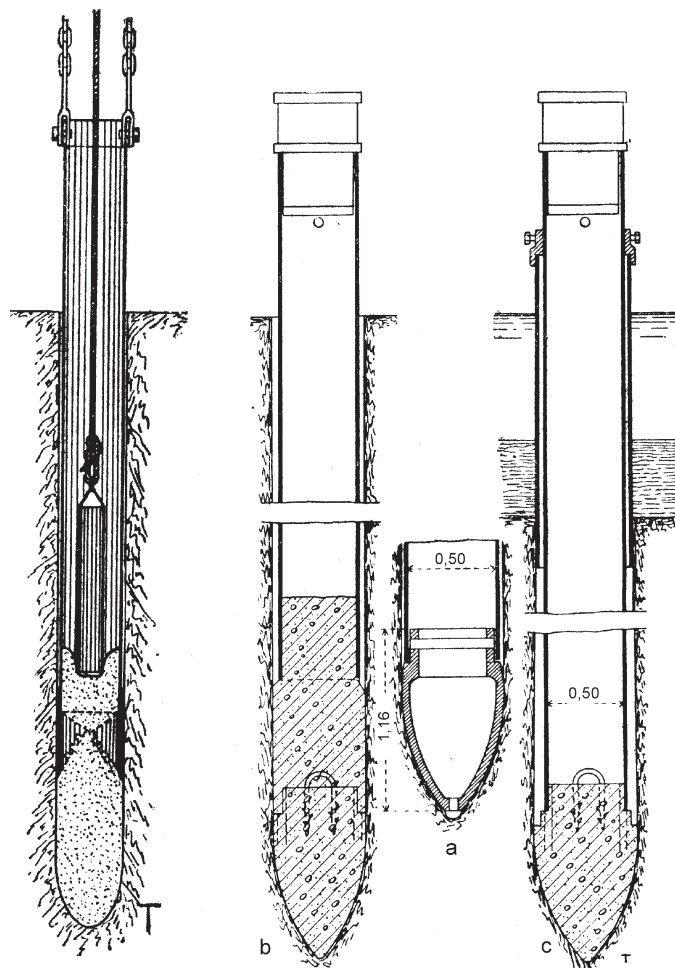
wem tarcia bocznego pala o grunt na jego nośność. Przypisywano to okoliczności, iż był „osamotniony”, tj. pracował pojedynczo, a nie w grupie, a ponadto w gruncie nasypowym, a nie w „dziewiczym” piasku, nietkniętym przed tym ubijakiem. Obciążenie gruntu pod stopą pala, przyjmując rzut poziomego przekroju pala, wyniosło 0,053 N/mm².

Na tle tych doświadczeń warszawskich, mimo woli przychodzi na myśl pogląd znanego badacza pali i jednego z autorów statycznego uzasadnienia ich nośności, inż. Ryszarda Kafki z Berlina („Die Theorie der Pfahlgründungen”, Berlin, 1912 r.). Twierdził on, że pale systemu de Dulaca to właściwie słupy i pracują jak słupy. W każdym bądź razie jest to chyba najprostszy z pali formowanych w gruncie i w tym poniekąd przejawia się geniusz francuskiego konstruktora. Stosowano je także pod fundamenty Pałacu Sprawiedliwości w Paryżu, przebijając się przez 3-metrowy nasyp piasku zmieszanego z gruzem, 2-metrową warstwę piasku gliniastego i metrową warstwę żwiru, aby dojść do pokładu żwiru z piaskiem. W Tunisie wbijano je pod fundamenty zbiornika.

Udoskonalić pale de Dulaca próbował niemiecki przedsiębiorca Lolat, znany też w Polsce, chroniąc je w złożach silnie nawodnionych rurą żelazną przed wciskaniem się płynnego gruntu do wybitego otworu. Wynalazek ten opatentowano, ale jakoś relacje o próbach nie dotarły do prasy.

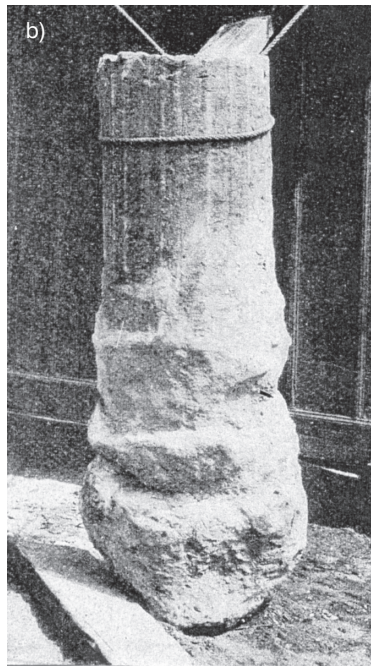
Do formowania pali w gruncie pierwszy zastosował rurę żelazną (pal Simplex) amerykański inżynier Frank Shuman z Filadelfii (relacje z 1904 r.), opatrzoną na końcu tzw. „paszczą aligatora”. Jest to właściwie dalekie skojarzenie z łopatą indyjską, ale z całkiem odwróconym zadaniem. To ostrze w formie stożka składa się z dwóch połówek, zawiasowo umocowanych na końcu rury, a dających się rozsunąć w celu przepuszczenia betonu, z tym że ostrze służyło do przebijania gruntu. Po dobitciu na właściwą głębokość wsypywano beton i ubijano go w rurze warstwami, równocześnie podciągając rurę do góry. Pod naciskiem ubijanego betonu paszcza się otwierała, beton wypełniał otwór pod rurą oraz wchodził w słabsze podłoża gruntu, tworząc pal o powierzchni bardzo nierównej (rys. 21). Urządzenie to zawodziło jednak w cięższych gruntach. Konstrukcja paszczy nie wytrzymywała odporu gruntu, odrywała się i pozostawała w gruncie. Nie było to tragedią, bo proces betonowania szedł dalej – ubijak uderzał we wsypywany beton, a rurę podciągano stopniowo do góry, w miarę uzyskiwania poziomu ubijanego betonu. Inną słabą stroną tych pali było to, że młot uderzał w wierzch rury, potrzeba więc było rur silnych, zbyt kosztownych, aby je zostawiać w gruncie, jeśli pochwa ochronna była konieczna w gruntach dających osyp, oraz w pokładach torfu, gdzie świeży beton nie powinien był stykać się z torfem. Jakimś wyjściem z sytuacji był pieniek dębowy nasadzony na rurę. Do ubijania betonu służył podłużny ubijak o masie około 300 kg. W Niemczech używano rur grubości 20 mm, o średnicy wewnętrznej przeważnie 40 cm, także 30 cm a nawet 66 cm. Pierwsze próby w Niemczech z tymi palami przeprowadzała firma Köncke i S-ka z Bremy. Stosowała je też firma Wayss u. Freytag (1907 r.). Pod budowę stoczni w Hamburgu wykonano 3 000 takich pali, nie stosując ubijania betonu i zbrojąc je 6 prętami Ø 22 mm (strzemiona w odstępach 30 cm). Taki pal pod naciskiem 800 kN osiadł 2,7 mm.

Później system ten zmieniono na tyle, iż – szczególnie w miękkich gruntach – zamiast paszczy dawano stożek żel-



Rys. 21. Fazy wykonania pali Simplex

betowy (rys. 21b) lub żelazny (rys. 21a), który po wbiciu pala pozostawał w gruncie. Zagłębiano też rury pod strumieniem wody – podwójne rury, w których strumień płuczący poruszał się między płaszczami rur, a wyplukiwany materiał wznosił się w rurce wewnętrznej (rys. 21c). Po wykonaniu pala wyciągano rurę wewnętrzną. Rurę zewnętrzną dawano też do uszczelnienia otworu, gdy pale wbijano w wodzie albo w pokładzie wybitnie wodonośnym, o ile mógł on dojść do warstwy nieprzepuszczalnej. Stożek żelazny (trzewik) był przystosowany do włączania wody lub sprężonego powietrza przez otwór u góry pala, pod klockiem dębowym. Miał on u spodu otwór zamknięty luźno wstawionym nitem, działającym jak wentyl. Wody używano do płukania piasku, aby ułatwić pogrążenie rury, zaś sprężonego powietrza w razie silnego napływu wody wgłębnej (w celu wypchnięcia wody i wtłoczenia betonu). Jeśli wyjątkowo trzeba było trzewik wyciągnąć, wentyl opadał i wpuszczając powietrze ułatwiał wyciągnięcie trzewika. Na rysunku 22 pokazano pal Simplex odkopany, a na rysunku 23 pieniek na wierzchu pala, amortyzujący uderzenia młota. Amerykańska firma Concrete Pile Co. z Filadelfii, będąca właścicielem patentu na pal Simplex, wprowadziła w nim ulepszenia i nazwała palem Peerless. Wprowadzono tam but z występami – zewnętrznym i wewnętrznym (rys. 24). Zewnętrzny występ przedzielony był od wewnętrznego pierścieniem pionowym (kryzą). Na występie zewnętrznym oparta była rura, którą wbijano w grunt za pośrednictwem drewnia-

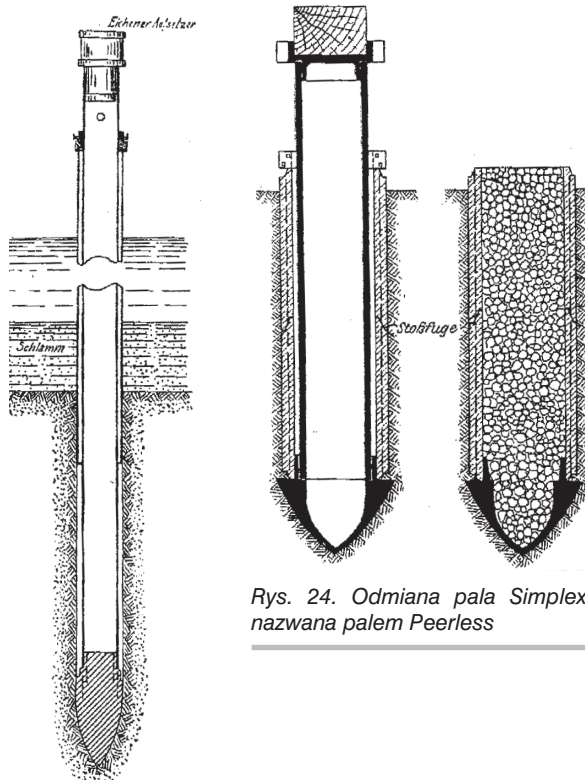


Rys. 22. Pale Simplex; a) próbne obciążenie, b) po odkopaniu

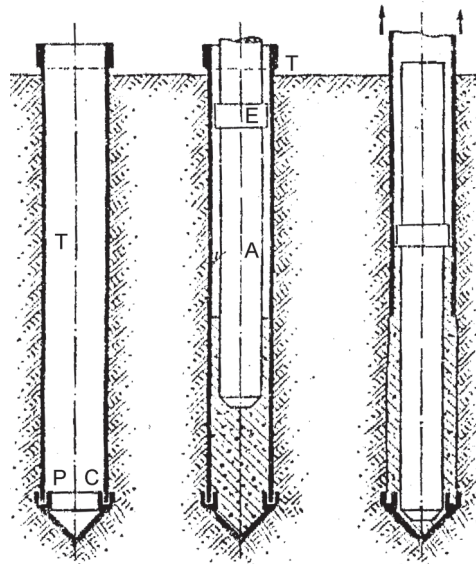
negu pieńka (pachołka). Pierścień zewnętrzny stworzono po to, by oprzeć na nim prefabrykowaną (gotową) rurę żelbetową, mieszczącą się między gruntem a rurą żelazną. Po osiągnięciu odpowiedniej głębokości rurę żelazną wyciągano, a but z żelaza lanego zostawał. Wtedy wlewano beton w koszulkę żelbetową. Zależnie od głębokości wbicia pała, koszulkę żelbetową nasadzano na pał, jedna za drugą. Każda z koszulek zaopatrzona była w rowek (felc) i obejmę. Obejma była po to, by w czasie wbijania pała mogła na nią naciskać

kryza wystająca z głowicy pała żelaznego i wtaczać dzięki temu koszulkę żelbetową razem z pałem żelaznym w grunt. Głowica nie była na stałe połączona z pałem – była właściwie nasadą na pał. Koszulki żelbetowe wykonywano w ten sposób, aby suma ich długości równała się długości pała żelaznego.

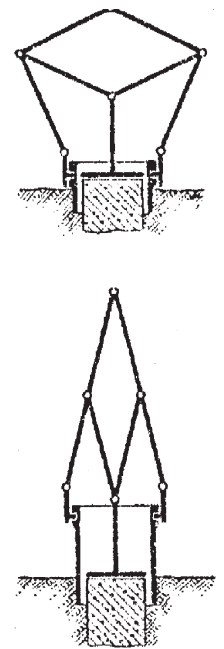
Pał Ridleya miał też but z żelaza lanego ze żłobkiem dla rury żelaznej wbijanej w grunt, wzmocnionej u góry kryzą (rys. 25). But pozostawał w gruncie. Po wbiciu rury z butem na odpowiednią głębokość, rurę wypełniano rzadką zaprawą cementową, do pewnej wysokości, i wprowadzano do środka gotowy pał żelbetowy, niczym tłok do cylindra, o mniejszej średnicy od światła rury zaopatrzonej w pierścień regulujący umiejscowienie pała w osi rury. Jednocześnie ze stopniowym podnoszeniem rury tłok wtaczał na dół zaprawę i wciskał ją w grunt za pomocą urządzenia tłoczno-wyciągowego, działającego na zasadzie nożyc (rys. 26). Zmniejszenie kąta między nożycami powodowało nacisk z góry na jądro żelbetowe, za pośrednictwem płyty żelaznej z prowadnicą połączoną koncentrycznie z rurą, z jednoczesnym podnoszeniem rury żelaznej dzięki zaczepom wprowadzonym w rowek idący dookoła głowicy rury żelaznej. Wokół jądra tworzyła się otoczka z zaprawy cementowej i powsta-



Rys. 24. Odmiana pała Simplex nazwana pałem Peerless

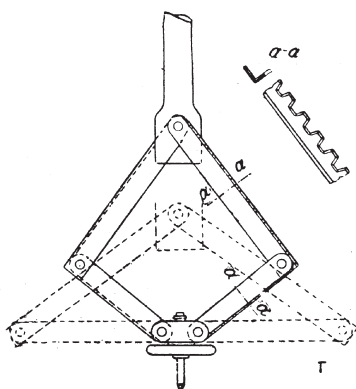


Rys. 25. Pał Ridleya – trzy etapy jego formowania



Rys. 26. Pał Ridleya – wtaczanie zaprawy urządzeniem tłoczno-wyciągowym działającym na zasadzie nożyc

Rys. 23. Zastosowanie pieńka drewnianego do pała Simplex w celu amortyzacji uderzenia

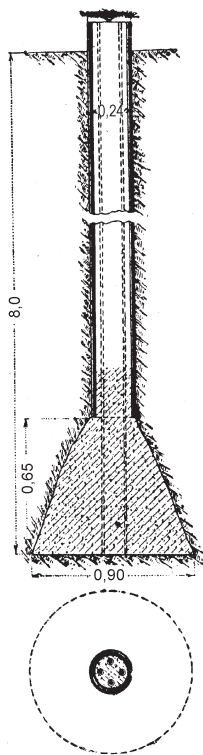


Rys. 27. Pal systemu Gow i Palmer – nożyce służące do wyrobienia w wolnej przestrzeni w kształcie stożka, w celu wypełnienia jej betonem u spodu pala

wało większe tarcie o grunt niż bezpośrednio od pala żelbetowego czy żelaznego. Wykluczało to uszkodzenie głowicy pala, które zawsze towarzyszyło prefabrykowanym (gotowym) palom żelbetowym. Bezspornie był to bardzo pomysły sposób wykonania pali.

Relacje amerykańskie o tym systemie pochodzą z 1914 r. Wszakże rodzi się tu pytanie, czy działanie mechanizmu, nastawionego na stałą regulację zagłębienia pala żelbetowego (jądra) i podnoszenia rury, odpowiadać będzie warunkom powstałym w warstwach gruntu bardzo ustępliwego. Tam płynna zaprawa może być w przeważającej ilości wchłonięta w grunt otaczający, a szczelina między powierzchnią pala (jądra) a gruntem niezupełnie będzie wypełniona po wyciągnięciu rury żelaznej.

Pal systemu Gow i Palmer pierwszy raz zastosowany był przy budowie wysokościowca w Bostonie w 1904 r. Miał on specjalnie wykształconą stopę. Kłopot był tam taki, że posadowienie drapacza chmur zagrożone było budową tunelu. Na warstwie ciężkiej gliny jako na warstwie nośnej, luźno zalegał nasyp, który przebito rurą kowalskiej roboty. Zawartość rury usunięto pod ciśnieniem wody, po czym do pustej rury wprowadzono urządzenie w kształcie nożyc (rys. 27), połączone z żelaznym drągkiem i centrycznie w stosunku do rury utrzymane dzięki wbiciu w grunt ostrza (szpindla) umieszczonego na jego końcu. To urządzenie rozszerzało się pod naciskiem z góry. Obracając drągkiem kształtowało u dołu wolną przestrzeń w kształcie ściętego stożka. Pozostający tam jeszcze grunt usuwano pod ciśnieniem wody. Po wyjęciu drąga, razem ze złożonym urządzeniem (nożycami), zaczynało się betonowanie tak uformowanego otworu, z przestrzenią u dołu na stopę słupa, z jednoczesnym stopniowym podnoszeniem rury (rys. 28). Beton pala wzmocniono zbrojeniem w postaci 4 prętów żelaza kantowego $\varnothing 30$



Rys. 28. Pal systemu Gow i Palmer – formowanie pala w gruncie

mm. Wyjątkowo, w pojedynczych wypadkach, pozostawiano rurę żelazną w gruncie. Sposób ten – poszerzania pala u dołu z zastosowaniem nożyc – pozwalał na uformowanie podstawy (stopy) nieraz o średnicy 15 razy większej od średnicy pala.

Pale Wilhelmi formowano przy użyciu materiałów wybuchowych. U podstawy tej techniki leżało usiłowanie stworzenia możliwie największej podstawy pala. Zamiast ubijaka kafarowego działał tu ładunek wybuchowy, który błyskawicznie wytwarzał znaczną wklęsłość, do której – po wyczerpaniu się siły wybuchu – wchłonięty był z góry wlewany beton. W grunt wbięto rurę średnicy 40 cm i grubości ścianki 20 mm, z jądrem drewnianym w środku czyli zwykłym palem drewnianym, zakończonym butem żelaznym. Rura żelazna wewnątrz u dołu (na końcu) zaopatrzona była w rodzaj kołnierza (kryzę), o który opierał się górny pierścień żelaznego buta i tym samym wbijany pal drewniany (jądro) pociągał za sobą rurę żelazną. Po osiągnięciu żądanej głębokości, pal drewniany razem z butem wyciągano z rury żelaznej i na dno opuszczano urządzenie detonacyjne. Urządzenie to składało się z dwóch grubych blach, połączonych na gwint okrągłymi prętami żelaznymi. Między blachy, dzięki grubości których siła wybuchu rozchodziła się na boki a nie do góry, wkładano materiał wybuchowy (astralit, neoastralit, dynamon, telsit) ze spłonką detonacyjną i przewodnikiem do zapłonu detonacyjnego (naturalnie ze sterowaniem z góry). Potem wlewano beton ciekły w stosunku 1:6 i podciągano rurę na wysokość około 1,2 m od urządzenia detonacyjnego, aby jej dolna krawędź była bezpieczna od działania wybuchu. Na urządzenie naciskał słup betonu wysokości 3÷4 m. Wybuch momentalnie rozpychał przestrzeń pod rurą, tworząc tam jakby wielościan, w który wlewano beton z wyraźnie słyszalnym szumem. Po dalszym wypływie betonu z rury i po jej wyciągnięciu pal był już uformowany.

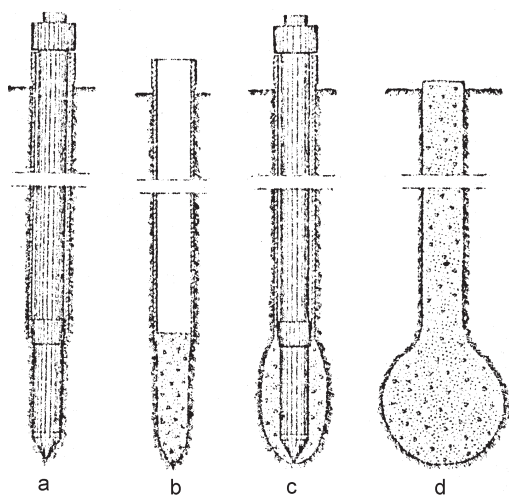
Masa ładunku wahała się od 400 do 800 g. Urządzenie podczas eksplozji było rozrywane, ale nie zdarzyło się, aby beton w rurze czy grunt wysadziło do góry lub żeby rura była uszkodzona. Wybuchowi towarzyszył znaczny wstrząs gruntu. Liczne jednak obserwacje dowiodły, że brak było ujemnych skutków tych wstrząsów na sąsiadujące z budową obiekty budowlane lub uprzednio wbite pale z jeszcze nie związanym zupełnie betonem.

Pal krzaczasty jest udoskonaleniem pala formowanego wybuchem. Wynalazcą jego jest także inż. Wilhelmi. Nie wchodziły tam w rachubę materiały wybuchowe. Patent na ten system posadowienia przejęła firma Wayss u. Freytag, wspólnie z towarzystwem produkującym belki Siegwarta z Lucerny (był to pierwowzór pospolitych dziś stropów kanałowych). Proces był mniej więcej taki (relacje z 1919 r.): rurę żelazną wkręcano lub wbijano kafarem i wypełniano ją aż po wierzch mieszkanką betonową (ale płynną, a nie o wilgotności gruntu), aby zaraz podnieść ją na określoną wysokość H . I wtedy w ten wolny u dołu beton wbijano kafarem rurę opatrzoną drewnianym klockiem (pachołkiem). I ten uwolniony od rury beton napierał na boki. Powtarzano uderzania kafarem, uzupełniając beton w rurze, aby ostatecznie wykształciła się u dołu stopa pala w kształcie bulwy.

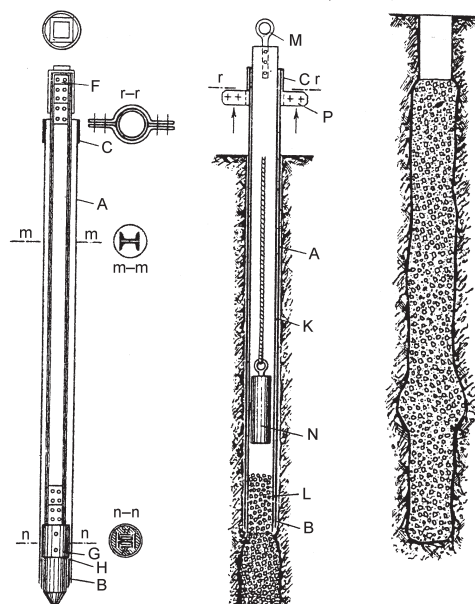
Pale „Pedestal” Hunley-Abbott zastosowano z okazji posadowienia zbiornika na gaz o średnicy 50,5 m, dla New Haven Gas Light Company, w 1912 r. W podłożu zalegał tam szlam i trzeba było sięgnąć fundamentem do piasku. Wbito

olbrzymią liczbę tych pali w rozstawie kwadratowym 1,52 m. Rurę o bardzo grubych ściankach (9 mm) razem z tłukiem kafarowym, napierającym na nią rozszerzonym u góry wieńcem i wystającym z niej u dołu na ok. 1,2 m, wbijano w grunt kafarem. Tłuk pracujący wewnątrz rury składał się z dwóch części: jego dolną część stanowiła tylko ta tkwiąca w gruncie, łącznie z głowicą spoczywającą na wewnętrznym pierścieniu. Skoro była osiągnięta odpowiednia głębokość wbijanego pala, to wyciągano tłuk razem z jego zakończeniem i wypełniano rurę betonem. Beton wypełniający ubijany był tłukiem kafarowym kilkakrotnie, przez co u dołu, w miejscu wolnym od rury, rozpychany był na boki, dzięki czemu – wskutek długotrwałego nacisku – tworzyła się u dołu stopa pala. Na rysunku 29 przedstawiono wszystkie cztery fazy formowania pala „Pedestal”.

Pal systemu Aleksiejewa (z Moskwy) jest bardziej skomplikowany. Długa na 25÷35 m rura żelazna o mocnej ściance wbijana była kafarem za pośrednictwem znajdującego się wewnątrz niej trzonu żelaznego, zakończonego butem. Po wbiciu rury trzon razem z butem wyjmowano. Rurę wzmacniano u góry przynitowanym kołnierzem, szerokim na 30 cm, a wewnątrz na końcu była także żelazna wkładka grubości 20 mm, szeroka na 30 cm. Sam trzon żelazny składał się z dwóch ceowników, znitowanych w ten sposób ze sobą przerwami, że przekrój miał jednakowy moment bezwładności w obu osiach. U dołu trzon zakończony był okrągłym żelaznym butem, wypełniającym przekrój rury, a u góry miał przynitowaną do ceówek okrągłą głowicę, przyjmującą bezpośrednio na siebie uderzenia młota kafara (bez pośrednictwa drewnianego pachotka). Sam but był wykonany z odlewu stalowego (staliwny) i swoim występem kolistym, w czasie wbijania trzonu, naciskał na wewnętrzny pierścień rury i wprowadzał ją coraz głębiej w grunt. Luz między butem trzonu a rurą wynosił od 5 do 8 mm. Po osiągnięciu żądanej głębokości rdzeń (trzon) był usuwany i była wprowadzana wewnętrzna rura, światło której było takie samo jak wewnętrznego pierścienia rury zasadniczej (zewnętrznej). Ta druga rura była niejako prowadnicą dla ubijaka betonu i zabezpieczeniem, by ubijak ten nie trafiał w pierścień wewnętrzny i nie wpychał głębiej rury zewnętrznej, zamiast ubijać beton.



Rys. 29. Cztery fazy formowania pala Pedestal-Hunley-Abbott



Rys. 30. Pal Aleksiejewa – trzy fazy formowania pala

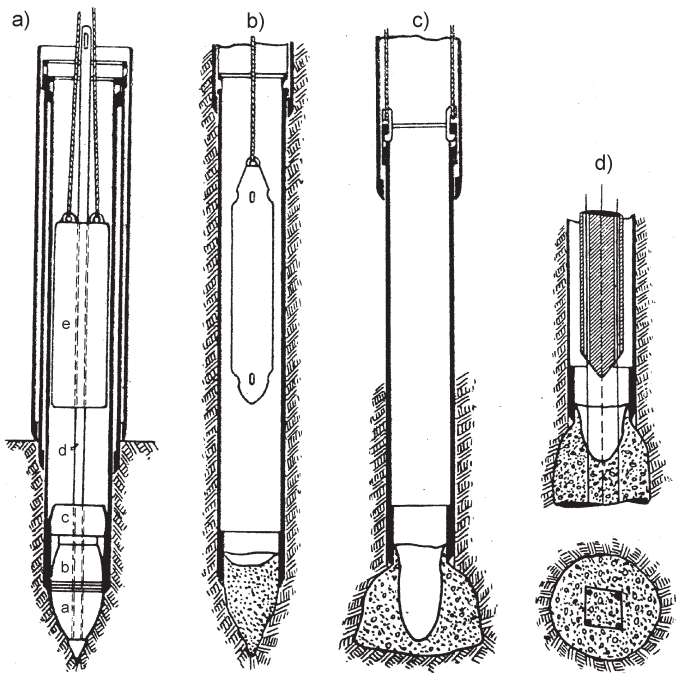
W miarę postępów betonowania pala za pomocą ubijaka kafarowego podciągano do góry obie rury (rys. 30).

Niebawem Aleksiejew opatentował inne rozwiązanie rdzenia – zamiast kształtowników żelaznych wprowadził pal drewniany, pozostałe części zostawiając takie same. Zauważono, że drgania wewnętrznej rury w czasie ubijania betonu (między rurami była mała szczelina) wyraźnie zmniejszały tarcie betonu o wewnętrzną powierzchnię rury.

Pale Franki (Frankignoul) zainicjowano w Belgii. Zasada ich była podobna do pali Simplex w ich późniejszej wersji, tj. wtedy gdy paszczę aligatora zastępowano stożkiem żelaznym czy nawet żelbetowym, który po dobieciu pala na odpowiednią głębokość, przy stopniowym podciąganiu rury, był wbijany i pozostawał w gruncie, podczas gdy sypany z góry i ubijany beton tworzył pal właściwy.

System pali Franki przeszedł daleko idącą ewolucję. Dawna jego konstrukcja polegała na wbijaniu w grunt teleskopowo w siebie wchodzące rury zakończone stożkiem. W nowszej metodzie stosowana jest tylko jedna rura długości przysięgo pala. Ale wróćmy do pierwotnej wersji...

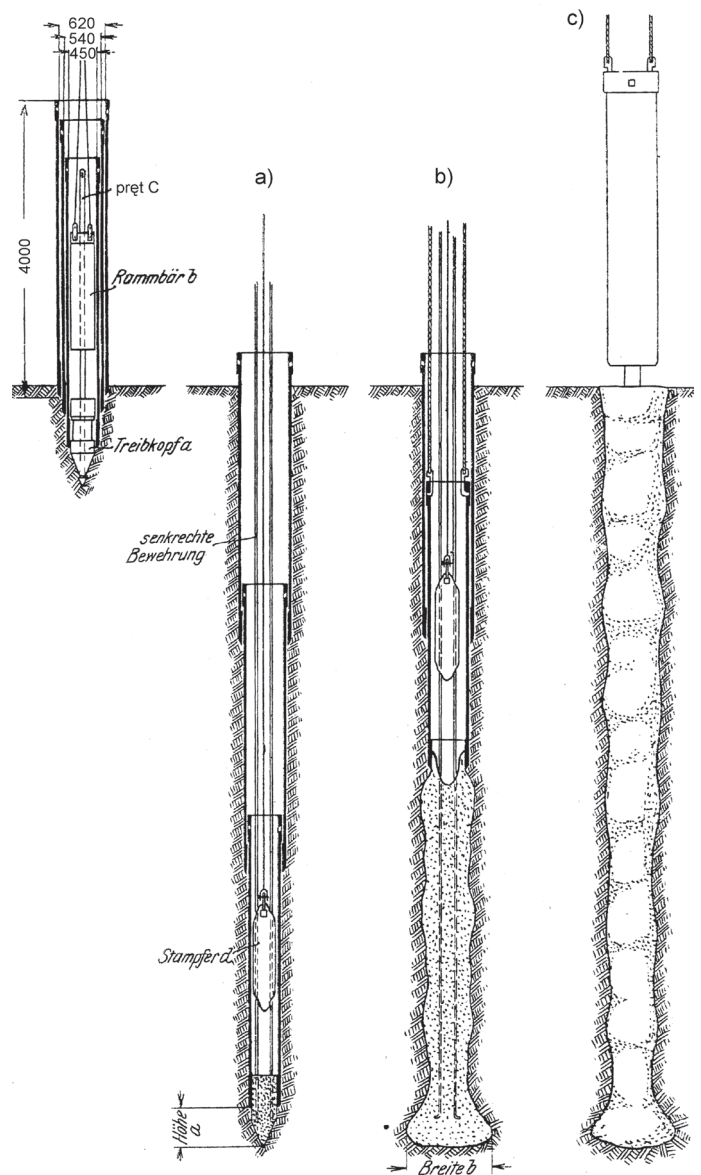
Pale Franki osiągnęto przez wbijanie rury od wewnątrz uderzeniami w trzpień stożkowy i zależnie od głębokości pala stosowano mniej lub więcej rur, teleskopowo na siebie nasadzonych. Trzpień stożkowy opierał się przy tym na wewnętrznym kołnierzu dolnej (pierwszej) rury o średnicy zewnętrznej 40 cm. Całe to urządzenie składało się z odlewu żelaznego (rys. 31a), stanowiącego jej dolny człon a, zakończony szpicem ze stali chromowej – do rozbijania i spychania kamieni czy drewna skamieniałego. Na tym pierwszym z żelaza odlanego członie spoczywał następny człon b, oddzielony od pierwszego uszczelniającą przekładką ze skóry, niedopuszczającą do przecieku wody, dźwigający kowadło c. Kowadło brało na siebie uderzenia od młota kafarowego e, chodzącego na prowadnicy d o długości 4,5 m. Prowadnica przechodziła przez całą dolną głowicę i zakotwiona była bardzo silnie w szpiczastym stalowym zakończeniu. Pręt ten miał na końcu



Rys. 31. Pale Franki (Franki gnuł) – pierwotna wersja wykonywania tych pali z użyciem kilku rur żelaznych

wydrążone ucho, umożliwiające wyciągnięcie całego urządzenia do wbijania. Odbywało się to wtedy, gdy rura osiągała żądaną głębokość, a na dole uformowało się wgłębienie około 0,5 m do wypełnienia betonem. Przypomnieć należy, że nie była tu jedna rura, ale cały ich zespół. Każda z tych rur o długości 4,0 m, z mocnej blachy stalowej, dzięki wewnętrznym i zewnętrznym pierścieniom ciągnęła następną w czasie wbijania pala i ta każda następna miała o 100 mm większą średnicę. Tak też osiągało się, zależnie od potrzeby, stosowną głębokość wbicia pala, przy tym przekrój pala powiększał się stopniowo w górę (rys. 31c). Betonowanie pala następowało natychmiast po wyjęciu urządzenia do wbijania, bo zachodziła zawsze obawa wdarcia się wód wgłębnych. Dziurę u dołu napełniano betonem (rys. 31b). Przybierała ona odpowiedni kształt pod działaniem ubijaka o długości 1,5 m i średnicy 30 cm. Ubijak u dołu uformowany był w kształcie kuli, aby mógł rozpychać na boki beton w gruncie. Potem szła następna partia betonu, tym samym ubijakiem ubijana i proces ten się powtarzał dopóki grunt nie przestawał ustępować (rys. 31c).

Ubijak miał cztery albo i więcej otworów podłużnych, do przewleczenia zbrojenia głównego dla ubijaka (rys. 32a,b). Aby robotę jeszcze bardziej skomplikować, dawano strzemiona w odstępach 50 cm, które u góry zakładano na zbrojenie główne i na dół przeciągano po ubijaku (rys. 31d, rzut). Naturalnie perforacje pionowe w ubijaku musiały być odpowiednio szerokie, aby umożliwić przedłużanie prętów. Z każdym waniem partii betonu dolną rurę podciągano na odpowiednią długość. Usuwano ją dopiero wtedy, gdy jej zakończenie spotkało się z zakończeniem następnej rury. Zachowywano przy tym ostrożność, aby u dołu rura była napełniona betonem na długości około 40 cm, ażeby zapobiec wtargnięciu gruntu w miejsce odsonięte w chwili podnoszenia rury. Doświadczenie pouczało o zwężeniach albo zatrzymaniu ko-



Rys. 32. Zbrojenie formowane w gruncie pala Franki

lumny betonu przy podnoszeniu rury wskutek silnego parcia bardzo płynnych mas ziemnych, będących pod ciśnieniem. Jednak ubijak, spadający z wysokości 3÷4 m, był w stanie napierający grunt natychmiast z powrotem wtłoczyć. Ostatnie serie uderzeń powodowały komprimowanie betonu w górnych partiach i tym samym rozszerzenie pala u jego głowicy (rys. 32c). Nie trzeba dodawać, iż główne zbrojenie pala powinno było wystawać ponad jego głowicę, w celu związania pala z oczepem.

Aż do wybuchu I wojny europejskiej, zwanej później światową, ogólną liczbę wykonanych pali Franki oceniano na 2 500. Nośność pali opierano wówczas na następujących założeniach. Ustalano wartość dopuszczalnego nacisku na grunt pod stopą pala, ubijanego aż do średnicy 60 cm (taką przeważnie średnicę u dołu uzyskiwano przy palu o średnicy 40 cm), oraz niezależnie dla każdego rodzaju gruntu, przez który pal przechodził. Zatem na nośność pala składały się: nacisk na grunt pod stopą i tarcie o płaszczyznę pala w każdej napotkanej warstwie gruntu, wynoszące jedną czwartą

wartości dopuszczalnego obciążenia gruntu. Wyrazić to można wzorem:

$$P = A \cdot K + \pi \cdot d \cdot 0,25 \cdot (h_1 \cdot k_1 + h_2 \cdot k_2 + h_3 \cdot k_3 + \dots) \quad (9)$$

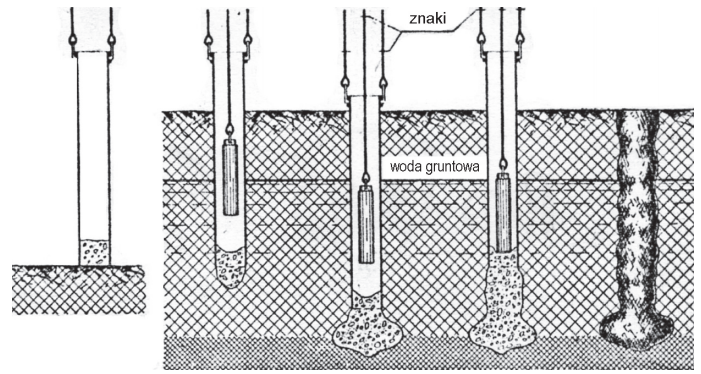
w którym A oznacza powierzchnię stopy, d – średnicę pala, K – dopuszczalne obciążenie pod stopą; k_1, k_2, k_3, \dots – dopuszczalne obciążenia gruntów w poszczególnych warstwach, stykających się z palem; h_1, h_2, h_3, \dots – odpowiednie grubości warstw.

Próbne obciążenia pali, wykonane przez firmy „John Cockerill” i „Ougrée-Marihaye”, wskazywały na ich bardzo dobre wyniki (rys. 33).

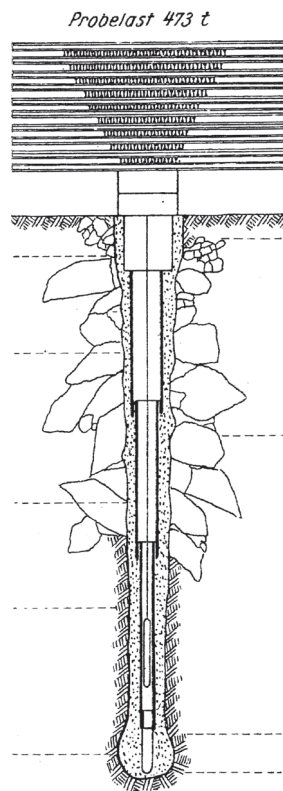
Pal wykonany przez firmę „John Cockerill” w Seraing obciążony był na 150 kN nośności. Obciążano go do 300 kN i niwelator typu Lenoir nie wykazał żadnego osiadania. Zaczęto więc dodawać po 100 kN co 18 godzin, dochodząc do 700 kN obciążenia! I tym razem nie stwierdzono żadnego osiadania. Pal ten potem odgrzebano na całej 7-metrowej długości.

Pal firmy „Ougrée-Marihaye”, o przeciętnej średnicy 100 cm i długości 11,5 m, był obciążony próbnie do 4,73 MN. Przyjęto dopuszczalny nacisk pod stopą 12 atm i tarcie o płaszcz pala o wartości 1 atm, co dawało w sumie 4,55 MN. Naturalnie, te wszystkie obliczenia są przybliżone, natrafiając na trudny do ustalenia stosunek między obciążeniem płaszczka i stopy pala.

Jak wyżej się rzekło, później zarzucono sposób teleskopowego wbijania rur i ograniczono się do jednej rury o długości równej długości przewidzianego pala. O tej ostatecznej wersji pisze Karol Pomianowski [13] w skrypcie wydanym w czasie okupacji, w 1942 r.: „Rurę wbija się w grunt, korzystając z właściwości, że pod tępyym końcem pala wytwarza się samoczynnie stożek materiału sprężystego torujący sobie przy biciu drogę przez materiał ulegający odkształceniom plastycznym. W tym celu stawia się rurę na poziomie gruntu, wsypując w nią pewną ilość betonu i ubija. Beton zaciska się tak silnie między ścianami rury, że przy dalszym biciu pociąga za sobą rurę, która wchodzi w grunt. Równocześnie wytwarza się samoczynnie stożek betonowy na końcu pala. Po dobieciu do właściwej głębokości, zaczyna się rurę podciągać do góry, dosypując od góry wciąż nowy beton i ubijając go. Na lince, na której jest zawieszony ubijak, jest zaznaczona marka i podobnie na linkach, na których jest zawieszona rura. Marki te powinny w czasie ubijania leżeć na jednym poziomie, gdyż wtedy mamy pewność, że między powierzchnią ubijanego betonu a końcem rury jest dostatecznie gruba warstwa betonu, która nie dopuszcza do zalania jej wodą gruntową (rys. 34). Średnica tych zmodyfiko-



Rys. 34. Późniejsza, uproszczona wersja pala Franki z zastosowaniem jednej rury



Rys. 33. Próbne obciążenie pala Franki

wanych pali Franki, zwykle stosowana, wynosi 60 cm. Długość jest zależna od wysokości kafaru, zwykle wynosi około 10,00 m. W betonie pala może być utopione zbrojenie, które podczas ubijania betonu niewątpliwie ulegnie pewnym odkształceniom, dla pracy pala zbrojonego jednak mało szkodliwym. W wypadku potrzeby dłuższych pali, po dobieciu rury na całą długość 10 metrów przebija się w środku rury odpowiednio długi pal żelbetowy (prefabrykowany), przez beton zacisnięty na dolnym końcu rury, i następnie wypełnia betonem przestrzeń między palem a rurą.”

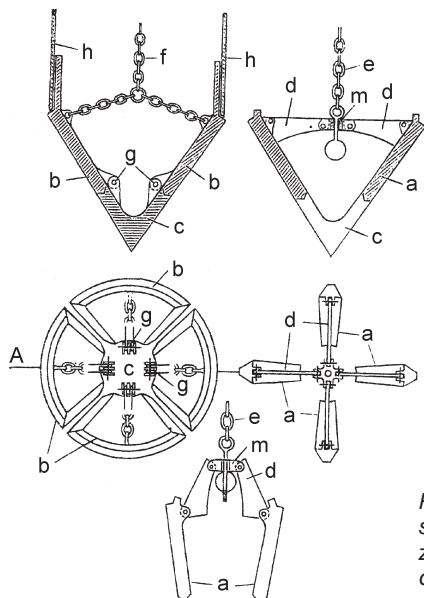
Czy pale Franki powodują w czasie ubijania betonu silne wstrząsy i przekazują je na otaczający grunt...? Po ostatniej wojnie można było spotkać się z zapewnieniami oferentów pali Franki, jakoby te pale nie dawały znaczących drgań! Możliwe, że w szlamie... Pamiętam, gdy w czasie okupacji w 1941 r. znalazłem się w połowym biurze firmy Rudzkiego, mieszczącym się w starej kamienicy przy ulicy Chmielnej, zaraz obok budowy Dworca Poczтового związanego z Dworcem Głównym. Cała ta kamienica popękana była na wszystkie strony, a szpary w ścianach przekraczały niektóre i 5 mm. „Co to takiego – pytałem się – to chyba skutki bombardowania!?” – „Nic podobnego – odpowiedziano mi – tuż obok bito pale Franki pod Dworzec Pocztowy!” – Chyba nie trzeba komentarza.

Z czasem, w celu ustalenia nośności pali Franki, zaczęto używać wzoru Haagsma (Holandia), opartego na zasadzie dynamicznej nośności pala:

$$P = \frac{1}{n} \cdot \frac{H}{e} \cdot \frac{Q^2}{Q + G} \quad (10)$$

w którym n oznacza współczynnik pewności, wahający się w granicach od 2 do 4; H – wysokość spadu ubijaka; Q – ciężar ubijaka; G – ciężar rury.

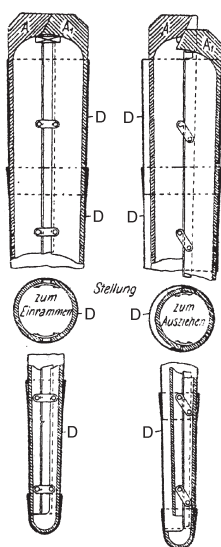
Pal systemu dra inż. Probsta nie tyle był nowym rozwiązaniem pala, ile samego zakończenia pala, to znaczy buta. Relacje o tym palu pochodzą z 1911 r., z berlińskiego „Zentralblatt der Bauverwaltung”. Nawiasem mówiąc, o podobnej konstrukcji buta palowego donosi z tego samego roku „Ciment Armé”. Omawiane ostrze pala (but) składało się z czterech części, które razem złożone tworzyły stożek (rys. 35), a za pociągnięciem łańcucha do góry były zwalniane i wyciągane z rury wiertniczej. Ale to nie wszystko... W szczeliny między poszczególnymi częściami tego stożka wchodził inny



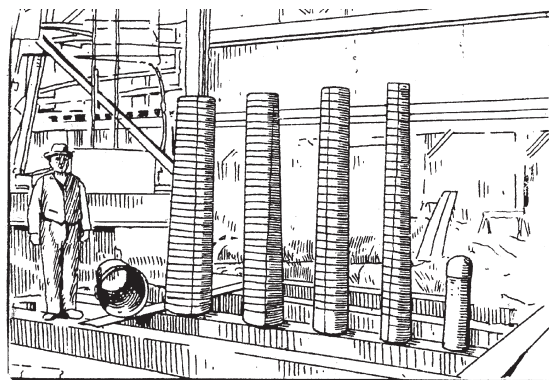
Rys. 35. Pal systemu Probst – całkiem nowe rozwiązanie zakończenia pala, czyli tzw. buta

element składany, także czterocłonowy, który również za pociągnięciem łańcucha był zwalniany i wyciągany do góry. Na początku wbijania pala but był całkowicie zamknięty, tak że oba zespoły elementów przylegały do siebie i tworzyły zamkniętą oraz szczelną całość. But wciskany był przez rurę wiertniczą *h*, dzięki występowi u góry buta. Skoro rura dochodziła do odpowiedniej głębokości, to przez pociągnięcie łańcucha *e* dźwigienki *d* otrzymywały pionowe położenie i mogły być całkowicie wyciągnięte. Drugi łańcuch *f* uwalniał z dolnego końca rury – przez zbliżenie górnych części czterech kwadrantów *b* (razem także tę główną część buta) – główny czterocłonowy element buta. Zatem cały but mógł być wyciągnięty z rury wiertniczej. Zwrócone ku sobie powierzchnie styku składanych części i urządzenia zestawczego były klinowo sformowane i to w ten sposób, że w położeniu zestawu tych części szpary były całkowicie wypełnione (zakryte). Także te zwrócone do ostrza pala *c* płaszczyzny styku były sfazowane w ten sposób, że wchodziły w odpowiednie wycięcia ostrza pala. Tego rodzaju zakończenie pala znajdowało odpowiednie zastosowanie w procesach z palami betonowymi podczas przebiegu robót kafarowych, w czasie których albo rura wbijana pozostawała w gruncie (but był zawsze na koniec wyjmowany), albo była powtórnie używana.

Stożkowe pale systemu Raymonda znane są od 1901 r. „Był on jednym z pierwszych wyjątkowym specjalistą w dziedzinie techniki zabijania pali i to z dużymi osiągnięciami. Miał za sobą liczne wynalazki i ulepszenia, które nie miały wpływu na późniejsze działania techniczne, szczególnie na próby z palami Frankignoul. Raymond był pierwszym, który zwrócił uwagę na dużą

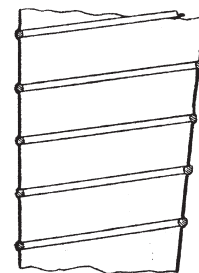


Rys. 36. Pal systemu Raymonda, dwuczłonowy



Rys. 37a. Gotowe płaszcze z blachy pali systemu Raymonda

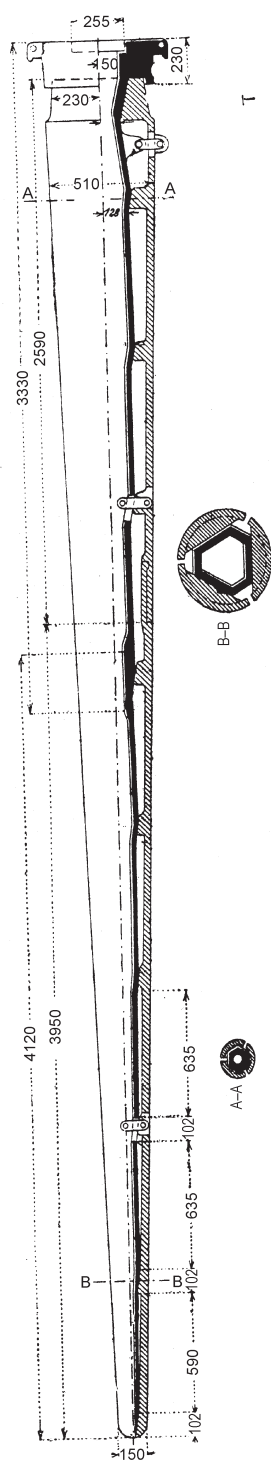
wartość zmniejszającego się kształtu pala”, co w sposób naukowy uzasadnili: O. Stern (1908 r.) i jego dawniejszy współpracownik Richard Kafka (1912 r.); także Karl Zimmermann (1915 r.), który duży sukces odniósł z palami tego systemu („Deutsche Bauzeitung”, Berlin, 1917; *Beton u. Eisen*, 1921), i dr ing. Leske (1916 r.). W starym rozwiązaniu pali Raymonda ustrój stalowy w postaci rdzenia składał się z dwóch części połączonych na zawiasy (rys. 36). Podczas wbijania pala klin *c* utrzymywał obie części w położeniu



Rys. 37b. W palu systemu Raymonda płaszcz z blachy usztywniony spiralą z drutu stalowego

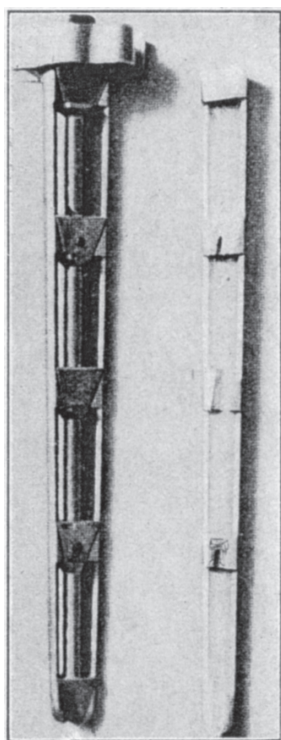
przedstawionym po lewej stronie rysunku. W miarę potrzeby, szpara między nimi mogła być zamknięta blachą. Po wyjęciu klina i przy wyciąganiu rdzenia obie połówki zbliżały się do siebie i tym samym ułatwiały wydobycie pala. Zaraz potem otwór wypełniano betonem. W przypadku wykonywania otworu w gruntach słabych, w których otwór ulegał zasypaniu, trzon był umieszczany w gilzie z blachy grubości $0,6 \div 1,0$ mm. Później gilza, czyli płaszcz z blachy, otrzymywała usztywnienie z drutu stalowego grubości 6 mm, zwiniętego spiralnie i przytwierdzonego do blachy fabrycznie (rys. 37). To wzmocnienie płaszcza blaszanego było wprowadzone z obawy o wgniecenie rury pod wpływem parcia gruntu. Inne było rozwiązanie, gdy rdzeń składał się z trzech części (rys. 38), trzymany podczas wbijania w naprężonym położeniu przez trójścienny klin wewnątrz rdzenia (oznaczony na rysunku na czarno, rdzeń właściwy jest zakreskowany) tak długi jak rdzeń. Z przekroju pionowego widać, że zbieżność obu części nie jest jednostajna, lecz złożona z wielu pochyłych stopni. Zawiasowe połączenie klina z rdzeniem, podobne jak w poprzednim rozwiązaniu, pozwalało na przesunięcie obu części w kierunku podłużnym. Młot kafara uderzał w głowę klina. Aby wzruszyć klin po ukończeniu wbijania, wystarczyło lekkie uderzenie w głowę rdzenia. Pochwa blaszana mogła być zastosowana jak w poprzednim rozwiązaniu. Bardzo dobrze pomyślane ustawienie jądra gwarantowało całkowicie pewny jego dystans od blaszanego płaszcza.

Pal Raymonda przystosowany do opuszczania, z użyciem strumienia wody, w warstwach np. miękkiego piasku miał – zamiast rdzenia – wstawioną rurkę średnicy zewnętrznej



Rys. 38. Pal systemu Raymonda, trzyczęściowy

63 mm do tłoczenia wody pod ciśnieniem. Zamiast ciągłej pochwy stosowano bębny o długości około 2,50 m. Rura tłoczająca umocowana była u spodu pierwszego bębna (rys. 39) w trzewiku lanym. Rura była utrzymywana w osi na wierzchołku każdego bębna za pomocą odpowiednich rozpór. Kolejne bębny szepiano nawzajem za pomocą wąskich kołnierzy. W ten sposób każdy z nich pociągał za sobą następny. Gdy bęben opuszczono, wypełniano go zaraz betonem, który stawał opór ciśnieniu zewnętrznemu. Według relacji z 1903 r. z Brukseli, w ten sposób opuszczono słup o wysokości (głębokości) 22,9 m, nie stosując ciśnienia większego niż 2,8 at. Podobnie jak w poprzednich przykładach, ubijanie betonu



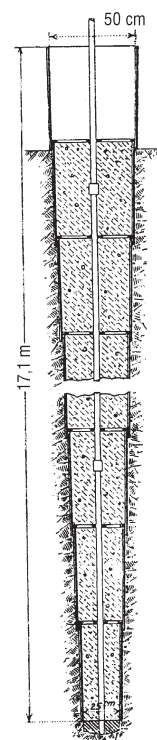
było niezbędne. Grubość pala mogła być zwiększona u góry do 1,2 m, a u dołu do 0,6 m.

W ogólnym przekonaniu otulina blaszana była ujemną stroną pali Raymonda. Mniejsze było bowiem tarcie na ścianach bocznych i połączeniu tych ścian z gruntem. Wprawdzie kilka występów powiększało opór, tym niemniej w bardzo miękkich warstwach bębny zapadały się pod własnym ciężarem i ciężarem betonu. W razie narażenia pali na zginanie, możliwe było ich uzbrojenie tak jak w palach Simplex.

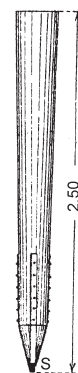
Raymond miał swoje przedstawicielstwo w Polsce, gdzie w 1928 r. dyrektorem był inż. Edward Romański (1886–1952). Oficjalna nazwa tego przedstawicielstwa: Sp. Akcyjna Towarzystwo Fundamentowe Raymond. Inż. Romański wprowadził do pali Raymonda własne ulepszenia. Większe zastosowanie znalazły u nas na budowie fundamentów pod Bank Gospodarstwa Krajowego w Warszawie, przy zbiegu Nowego Świata i Alei Jeruzolimskich, a także przy pracach fortyfikacyjnych na Helu. Na Helu współpracował z Romańskim mjr Sobieśław Zaleski.

Relacje o swoich palach ogłosił Stern w 1908 r. w Berlinie („Das Problem der Pfahl Belastung”), uzasadniając światu technicznemu ich racjonalność. Dzieło to dało asumpt do intensywniejszego zainteresowania wciąż jeszcze niedostatecznie wyjaśnionym zjawiskiem oporu gruntu przy wbijaniu pali i zaliczało się do znaczących naukowych osiągnięć w dziedzinie techniki palowania. Nie zmienia to jednak postaci rzeczy, że wytażane były takie czy inne zarzuty w stosunku zarówno do samego dzieła, jak i do jego ujęcia. Stern uprościł sprawę rdzenia w systemie Raymonda. Zamiast żelaznego składanego, dał rdzeń jednolity z drzewa dębowego, który nie dopuszczał do wgnieceń blaszanej gilzy.

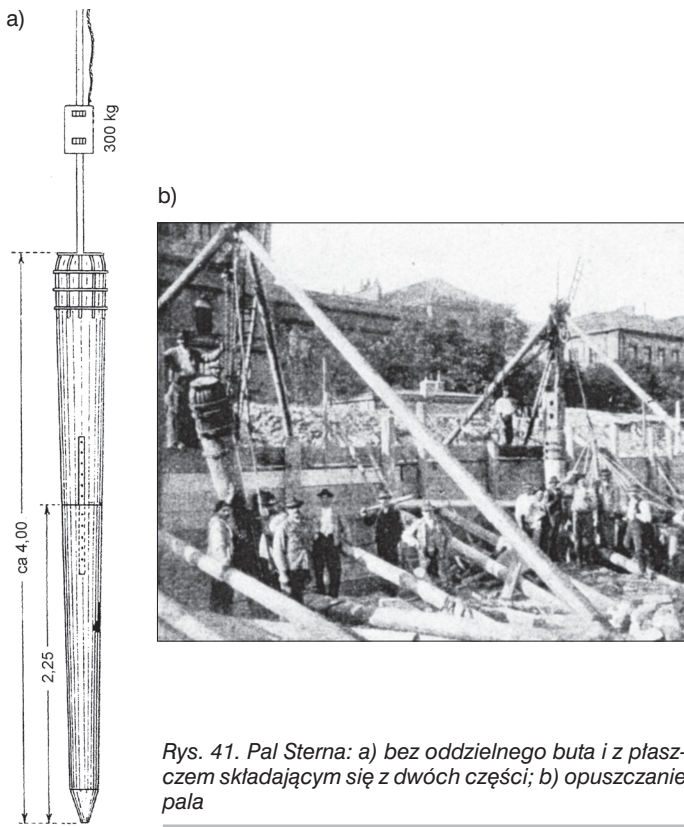
Konstrukcja pala przechodziła ewolucję! Najpierw płaszcz u dołu zakończony był ostrzem, przynitowanym do płaszcza za pomocą płaskownika (rys. 40). Potem dolną część płaszcza inaczej wykształcono, gdy oddzielny but u dołu przestał być potrzebny i tak jak dawniej z butem u dołu, to teraz z górną częścią (płaszcz podzielono na dwie części) połączono 4 przynitowanymi płaskownikami i jeszcze specjalnie uformowanym wewnętrznym kołnierzem (rys. 41). Pale te wbijano w sposób bardzo tradycyjny, dzięki urządzeniom zawieszonym na trójnogu. Kafar był sznurowy, z młotem na sznurze. Młot chodził na przechodzącej przez jego środek iglicy, opartej o głowicę pala (podnosił się i opadał) (rys. 41). Zależnie od zachowania się gruntu, po wbiciu



Rys. 39. Pal systemu Raymonda przystosowany do formowania przy użyciu strumienia wody



Rys. 40. Pal Sterna z płaszczem jednolitym i z butem przynitowanym do płaszcza



Rys. 41. Pal Sterna: a) bez oddzielnego buta i z płaszczem składającym się z dwóch części; b) opuszczanie pala

pala trzon razem z gilzą wyciągano albo wyciągano tylko sam trzon, a gilza zostawała w gruncie. Jedna z późniejszych modyfikacji nie miała ostrego zakończenia (rys. 42) i dolną część od górnej różniło inne pochylenie płaszcza. Był też pal wprowadzany wodą pod ciśnieniem, z grubej 3-milimetrowej blachy, też o różnym pochyleniu obu części płaszcza (rys. 43).

W tych wszystkich modyfikacjach uczestniczył współpracownik Sterna, Rychard Kafka. W większych robotach do wbijania pali Sterna nadawał się najlepiej kafar parowy firmy

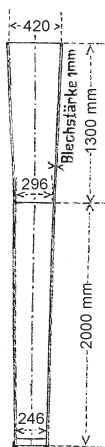
Menck u. Hembrock w Altonie (rys. 44), z łańcuchem powrotnym, w którym po każdym uderzeniu baba była odczepiona. Informacja ówczesna o tych palach trochę zawodziła. Wyjaśnienia prof. O. Colberga z Hamburga, który razem z prof. A. Nowakiem z Pragi opracowali trzeci tom olbrzymiego podręcznika dr F. Empergera, nie są pełne, a prof. Józef Rychter z Lwowa, mimo zabiegów, nie mógł otrzymać rysunków tych pali. Wbijane one były m.in. kafarem sznurowym pod czteropiętrowy dom przy placu Maryackim we Lwowie. Prof. Colberg uważał, iż opłacalność tych pali jest bezwzględnie dowiedziona.

Pale słupowe Mast należały do bardzo ekonomicznie uzasadnionych palowań. Rura blaszana średnicy 32 cm, w formie walca lub nawet stożka, przy grubości blachy 1÷2 mm, zakończona była u dołu ostrzem z drewna, a w celu uszczelnienia – oblewana asfaltem. Szpic drewniany zacięty był czworokątnie i chroniony 4 płaskownikami – u dołu wywiniętymi na stępione ostrze i przymocowanymi do drewna trzpieniem, a u góry do rury blaszanej (rys. 45 i 46). Rura, złączona z ostrzem, wpędzana była w grunt za pośrednictwem wprowadzonego do niej pala drewnianego, który wystawał z rury i brał na siebie uderzenia od młota kafarowego, przekazując energię u dołu na ostrze drewniane. Dzięki temu drgania były przenoszone w małym stopniu na sąsiednie zabudowania. Według inż. H. Struifa („O systemie pali betonowych słupowych”) dolne, a nie górne warstwy gruntu były w tym przypadku narażone na drgania, a przecież to górne warstwy gruntu dźwigają bankiety sąsiadujących budynków. Po wbiciu rury, pal pomocniczy był wydobywany a rura wypełniana betonem (zależnie od potrzeby wprowadzano zbrojenie). Rury, po ich fabrycznym wykonaniu, przetransportowywano na miejsce budowy. Do przeniesienia ich wystarczyło dwóch ludzi, nawet w przypadku rury 10-metrowej (rys. 47).

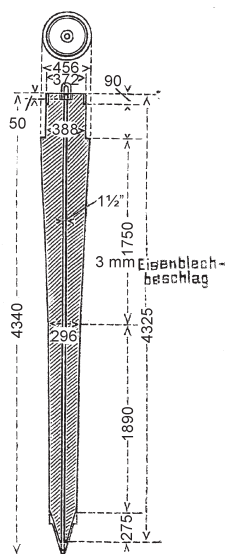
Przewidując ewentualne zgniecenie rury, w razie przechodzenia pala przez kamienne uwarstwienia, firma „Mast” wprowadziła wariant płaszcza z grubej blachy.

Prof. Colberg znał wiele realizacji, gdzie stosowano pale Mast prawie w styku z zewnętrznymi murami budowli, niezwykle wrażliwymi na wstrząsy i w dodatku ze słabymi bankietami. Nie stwierdzono żadnych deformacji w czasie wbijania pali. Nadawały się też te pale do wprowadzania w grunt z wodami zakwaszonymi. W miejscu styku drewnianego ostrza z rurą zawsze dawano, jako izolację od wszelkiej wody, asfaltową masę zalewową. W razie wód zakwaszonych uciekano się do użycia papy. Starano się chronić świeży beton, uważając, że nie należy oczekiwać specjalnie szkodliwego działania na stary beton wód zakwaszonych.

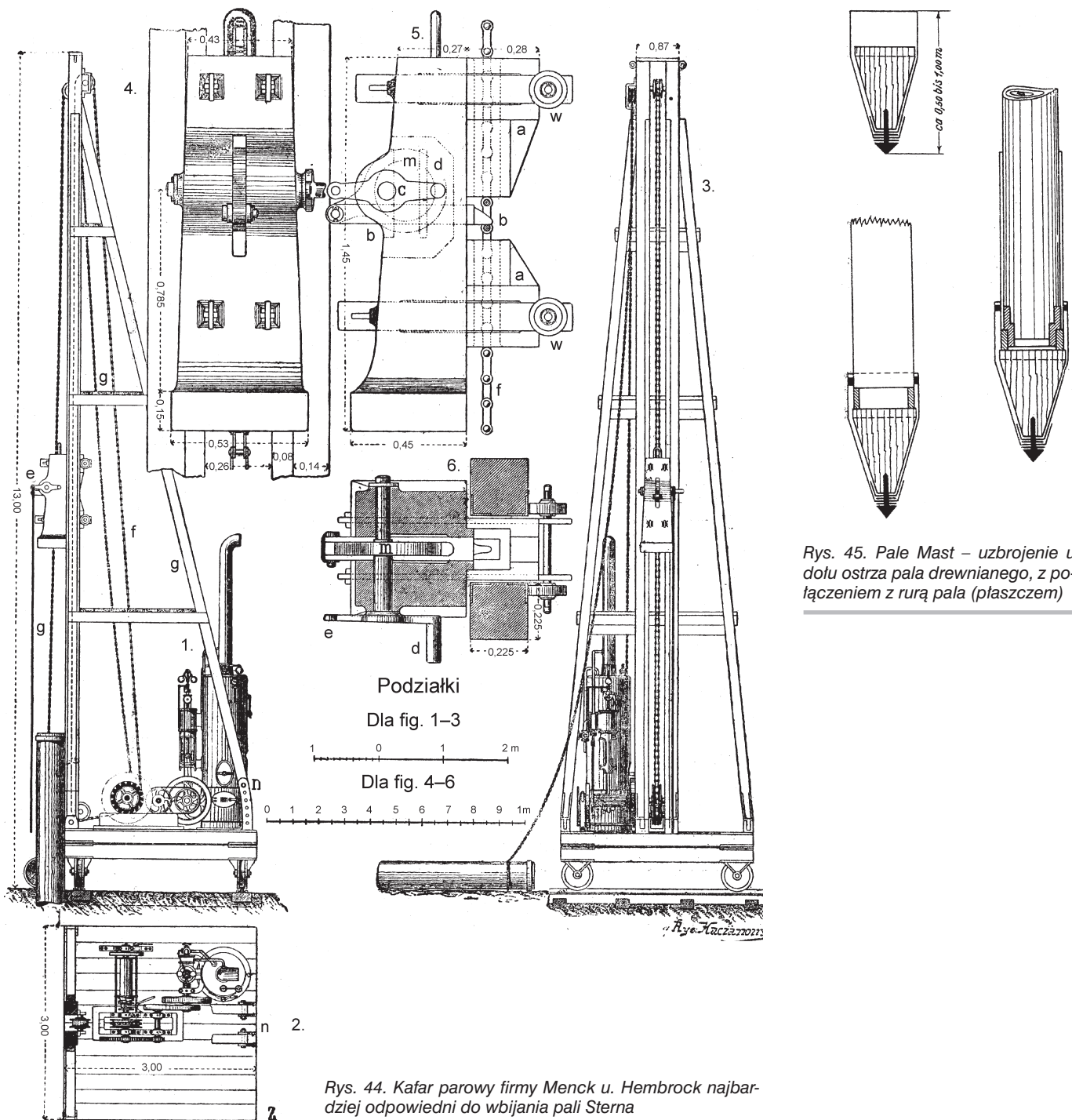
Pale systemu Mast szybko się rozpowszechniły. Liczba ich zastosowań zwiększała się z roku na rok. Gdy w 1909 r. wykonano ich 5000 m.b., to w 1912 r. liczba ta sięgnęła 41 000. Na palach Mast oparto kościół w Berlinie-Neukölln (rys. 48). Grunt nośny zalegał tam 8 m poniżej ulicy, a poziom wód gruntowych wahał się między 3 i 4 metrami. Pale częściowo pracowały jako słupy. Pod posadzką kościoła było bowiem około 2 m pustki (oczepy na palach znajdowały się znacznie nad gruntem). Wieża, ze swoją masą 1 800 ton, spoczywała na grubej metrowej ramie, związanej żelazem okrągłym z głowicami 54 pali. Na jeden pal przypadało obciążenie 335 kN. Pod samym kościołem odstępek pali pod rusztem z że-



Rys. 42. Pal Sterna bez ostrego zakończenia i z różnym pochyleniem płaszcza



Rys. 43. Pal Sterna o różnym pochyleniu płaszcza, przystosowany do opuszczania przy użyciu wody pod ciśnieniem



Rys. 45. Pale Mast – uzbrojenie u dołu ostrza pala drewnianego, z połączeniem z rurą pala (płaszczem)

lazobetonowych oczepów wynosi 5÷6 m. Całe palowanie trwało raptem 30 dni.

Inny przykład z użyciem pali Mast to wtedy, gdy trzeba było budować na bardzo słabych, nawodnionych gruntach nową stację wodociągów dla gminy Berlin-Pankow. Przyrost ludności w tej gminie był tak gwałtowny, wskutek napływu ludzi i wielkiej liczby urodzeń, że dotychczasowy wodociąg nie był w stanie zaspokoić zapotrzebowania na wodę. W 1893 r. liczba tamtejszej ludności wynosiła 9 200, a w 1900 r. doszła do 42 400. Wskutek nadmiernej eksploatacji (ujęcie wody było ze studzien) poziom wód gruntowych z 12 m opadł do 16 m, w stosunku do korony ulicy. (Wypada tu wtrącić, iż po-



Rys. 46. Pale Mast – ochrona blaszana u dołu ostrza pala drewnianego



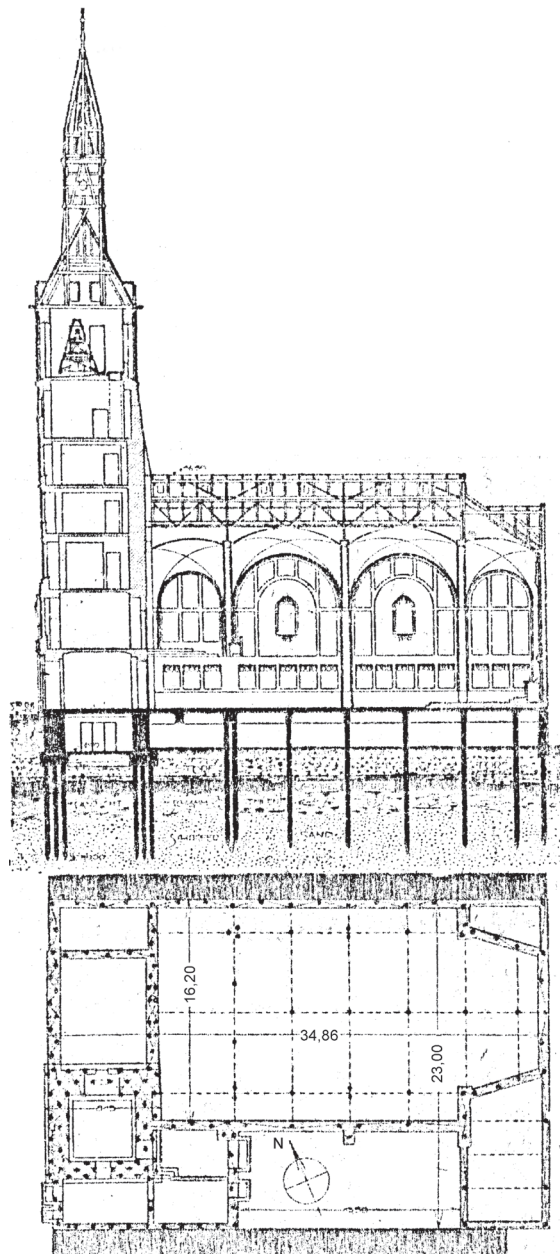
Rys. 47. Pale Mast – transport rur blaszanych

dobna historia zdarzyła się w Łodzi w XX w. i w związku z tym postanowiono wykonać ujęcie wody w Pilicy i przeprowadzić ją kanałem do miasta. Ale zapomniano zwrócić wodę rzece po jej wykorzystaniu i – po pewnym czasie – w Pilicy zabrakło wody. Głębokie posadowienie na nowych gruntach, nabytych od właściciela ziemskiego Stolpe'a, miało sięgać 8,0 m, odpowiadających pokładom gruntu nośnego. Termin pilii i nie było czasu na produkcję pali żelazobetonowych, a zastosowanie drewnianych było wykluczone wobec spodziewanego obniżenia się po latach wód gruntowych (nowe ujęcie wody było także ze studni). Wobec tego wybór padł na pale Mast. Palowanie wykonano w ciągu 35 dni.

Stożkowe pale Mast zdecydowała się stosować firma, gdy powierzono jej posadowienie domu towarowego na rogu ulic Augusta i Strelitz w Berlinie-Wimersdorfie. Było tam bardzo nierówne ukształtowanie terenu, gdzie z jednej strony projektowanego budynku grunt miał dostateczną nośność, a w dalszej partii gwałtownie uskakiwał na dużą głębokość, tak że trzeba było uciec się do fundamentów mieszanych. Pod północnym skrzydłem budynku dano zwykle płaskie fundamenty, opierając ściany na bankietach żelazobetonowych, a w skrzydle południowym pod bankiety dano pale stożkowe. Roboty przebiegały pomyślnie, wbrew wątpliwościom niektórych inżynierów co do użycia fundamentów mieszanych.

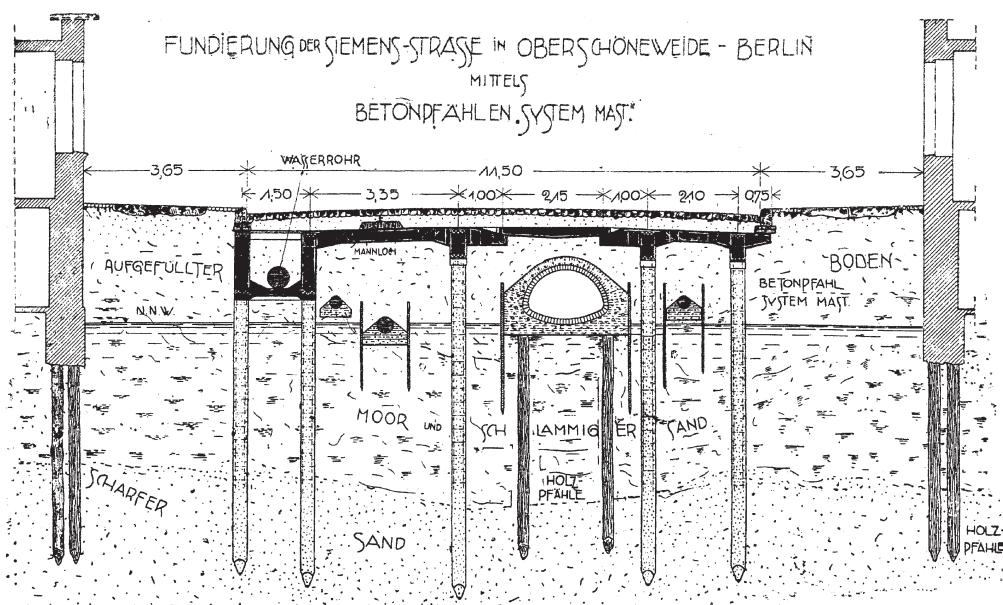
Z ciekawszych zastosowań pali Mast warto jeszcze wymienić posadowienie zbiornika gazowego w Magdeburgu oraz jezdni i kanału ulicznego na ulicy Siemens w Oberschöne-weide koło Berlina (rys. 49).

Firma, kierując się względami oszczędnościowymi co do żelaza, wprowadziła do prób pewną odmianę pala Mast, nazwaną wzorem „B”. Ten nowy pomysł polegał na tym, że rura żelazna – w miarę betonowania – windowana była do góry bądź specjalnym urządzeniem kafarowym, bądź przez tłoczenie do niej sprężonego powietrza, przy szczelnej na rurze pokrywie. O ile rura wyciągana była do powtórnego użycia, to w gruncie pozostawała żelazna tulejka wysokości $0,5 \div 1,0$ m, trwale połączona z ostrzem drewnianym (rys. 50). Naturalnie rura zasadnicza, którą nazwiemy prowadzącą, była z grubej blachy i długość jej odpowiadała długości pala.

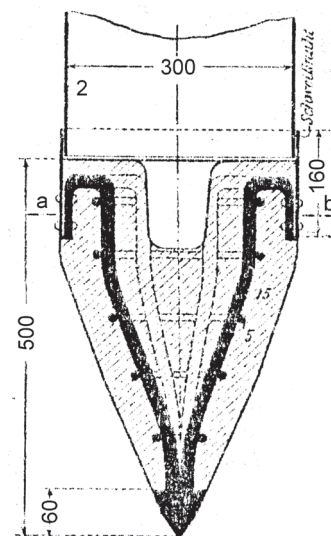


Rys. 48. Oparty na palach Mast kościół w Berlinie-Neukölln

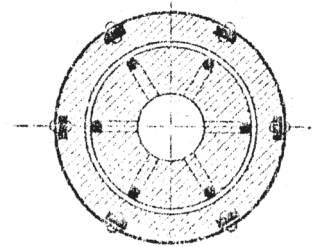
Ostrze drewniane pala, z jego krótką tulejką (długość jej zależna była od stosunków gruntowych), była nasadzona na rurę prowadzącą, której średnica zewnętrzna była trochę mniejsza od średnicy wewnętrznej tulejki, czyli rury buta palowego. Bardzo wąską szparę między tulejką a rurą prowadzącą uszczelniano kaolinem, gliną lub asfaltem. Wprowadzona do tulejki rura prowadząca miała na dolnym końcu mocny pierścień, na którym wprowadzony do rury pal drewniany (rdzeń) opierał się w czasie wbijania swoim dolnym żelaznym okuciem. W ten sposób mógł on być jednocześnie wciskany w grunt wraz z ostrzem pala z tulejką i rurą prowadzącą. W razie występowania wód zakwaszonych dawano tulejkę odpowiednio dłuższą, aby jej koniec wystawał ponad poziom wody wgłębnej. Po usunięciu rdzenia (pala drewnianego) następowało wypełnienie rury wraz z tulejką ciekłym betonem, po uprzednim ewentualnym wstawieniu zbrojenia,



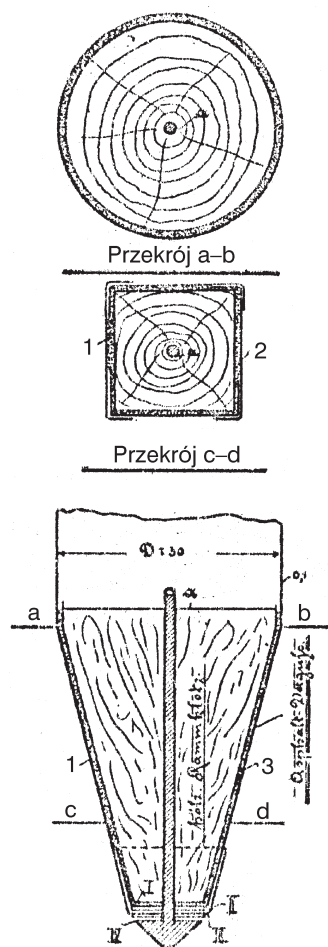
Rys. 49. Pale Mast – oparcia na palach Mast jezdni i kanału ulicznego w ulicy Siemensa w Oberschöneweide



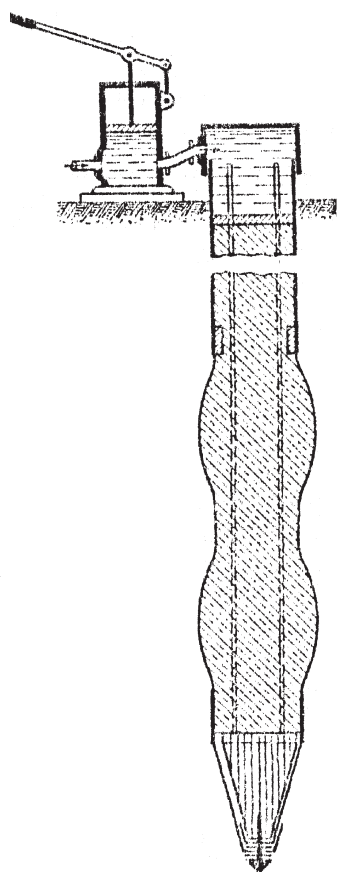
Przekrój poprzeczny a-b



Rys. 52. Pale systemu Janssena – ostrze z żelbetonu z końcówką z rury żelaznej



Rys. 50. Połączenie zakończenia drewnianego z tulejką żelazną, z pokazaniem przekrojów przez ostrze i przez bęben pala z wewnętrznym palem drewnianym



Rys. 51. Wypełnienie przestrzeni betonem po usunięciu rury żelaznej (widoczne zbrojenie oraz pielęgnacja betonu wodą od góry)

z jednoczesnym podnoszeniem do góry rury prowadzącej. Dając na rurę szczelną przytwierdzoną do niej pokrywą można było, za pomocą urządzenia sprężającego powietrze, wepchnąć płynny beton do spodu rury, przy stopniowym podnoszeniu się rury, podczas gdy beton wprowadzony w zagłębienie powstałe po rurze wciskał się w mniej lub bardziej ustępujący grunt, tworząc obłe zagęszczenia (rys. 51). Wyjaśnić należałoby pewne elementy z rysunku 51. W tamtych czasach dużą wagę przywiązywano do długotrwałego utrzymania wilgoci mieszanki betonowej w celu jej dalszego utwardzenia. I dlatego na rysunku widać pompę, pompującą „wodę krystaliczną” na wierzch wykonanego pala. Ale w takim razie niepotrzebna jest, pokazana na rysunku, uszczelka położona na betonie.

Wiadomości o palach systemu Janssena pochodzą z 1910 r. Zbliżone one były do pali Mast, tyle że ostrze było wykonane z żelazbetonu (rys. 52). Do tego ostrza przytwierdzono wodoszczelnie króciec z rury żelaznej, przyspawany z kolei autogenem (przy użyciu palnika acetylenowego – wtedy jeszcze nie było rozpowszechnione spawanie elektryczne), również wodoszczelnie do gільzy (rury żelaznej). Do wbicia pala mógł być zastosowany dowolny system. Ponadto ostrze tego rodzaju dawało się zastosować i do pali walcowanych i w kształcie stożka. Tak jak w systemie Mast czy Sterna, rura żelazna była wbijana w grunt za pomocą jądra, wprowadzonego do jej wnętrza. Po ukończeniu wbijania jądro wyjmowano, a rurę wypełniano betonem. W przypadku naporu wody uszczelnienie było bardzo ważne. Specjalne znaczenie miało w razie istnienia w podłożu gruntowym wód szkodliwych.

(Wykaz pozycji bibliograficznych będzie opublikowany na zakończenie części III) ■