Podstawy energetyki.

Napisał H. Czopowski, inż.

(Ciąg dalszy do str. 370 w № 31 r. b.).

Stopień zmienności układu. 40. Dotychczas, rozpatrując warunki równowagi, doszliśmy do wniosku, iż, ażeby równowaga nastąpiła, powinna ilość zmiennych, ilość waryacyi (t. j. pojemności) oraz ilość równań odpowiadać następującemu równaniu:

$$z = w - r + 2,$$

gdyż w tym wypadku nastąpić może równowaga w danym układzie energetycznym, t. j. będziemy w stanie za pomocą danych równań oznaczyć wszystkie zmienne, t. j. napięcia.

Lecz w zadaniu zdarzyć się może, iż liczba zmiennych jest większą niż: $w - r + 2$; wtedy, jeśli przypuścimy, iż liczba równań i waryacyi jest prawidłowo wprowadzona do rachunku, pozostanie nam pewna ilość zmiennych, które możemy *dowolnie obrać*. Zmienne te nazywamy swobodnemi i ilość ich nazywamy *stopniem zmienności układu*. Wypadek powyższy uzewnętrzni się algebraicznie w ten sposób, iż dostaniemy w końcu naszego rachunku jedno równanie z wieloma niewiadomemi; równanie takie posiada nieskończoną ilość rozwiązań, geometrycznie zaś przedstawi się w postaci linii, powierzchni lub też postaci wielowymiarowych, jeżeli w ostatnim wypadku zechcemy uogólniać wymiary geometryczne.

Oznaczając ilość wszystkich zmiennych w układzie przez z_w, zaś przez z_s oznaczając ilość swobodnych zmiennych, t. j. stopień zmienności układu, otrzymamy:

$$z_s = z_w - (w - r + 2) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (29).$$

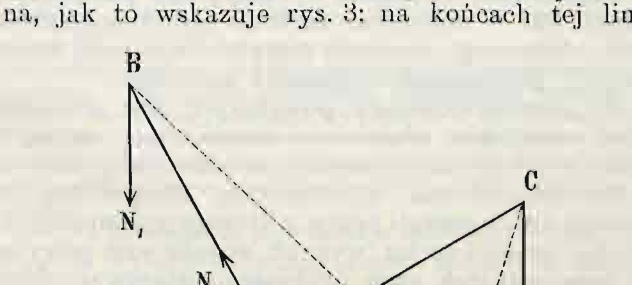
Jeżeli $z_s = 0$, to znaczy się, iż mamy do działania z układem *bezzmiennym*; jeżeli $z_s = 1$, to układ taki nazywamy *jednozmiennym*; jeżeli $z_s = 2$ — układ *dwuzmienny* i t. d.— Nazwy te nie oznaczają bynajmniej, iż układ dany posiada jedną, dwie lub więcej zmiennych, układ może posiadać rozmaitą ilość zmiennych, a niezależnie od tego może być bezzmiennym, jednozmiennym i t. d., jedynie zależnie od ilości znajdujących się w układzie swobodnych zmiennych.

41. Jeżeli chcemy znaleźć warunki równowagi np. dla 10-ciu sił, które przytknięte są do jednego punktu, to zauważymy, iż posiadamy w tym wypadku: $w = 20$; $z_w = 20$; $r = 20$, a więc:

$$z_s = 20 - (20 - 20 + 2) = 18,$$

czyli jest swobodnych 18 zmiennych, którym muszę nadać pewne wartości, lub którym samo zadanie nadaje te wartości, ażeby w tych warunkach nastąpiła równowaga układu, t. j. ażeby wszystkie zmienne mogły być obliczone.

42. Weźmy przykład rzeczywisty. Przez dwa koła obracające się na osiach nieruchomych B i C przerzucona jest lina, jak to wskazuje rys. 3: na końcach tej liny zawieszone są ciężary N_1 i N_3, na części zaś swobodnej liny pomiędzy kołami zawieszony jest ruchomo ciężar N_2; zbadajmy ten układ, czy on może być w równowadze, ewentualnie w jakich warunkach to może nastąpić.



Rys. 3.

Układ ten będzie w równowadze, gdy:

$$\sum_{k=1}^{k=3} N_k \,.\, \partial\,[P_k] \,.\, \cos(\nu_k - \partial\,[\varphi_k]) = 0 \quad . \; . \; . \quad (30).$$

Z warunków zadania wynika, iż: ν_2 — jest znane (w przypuszczeniu, iż N_2 jest ciężarem i cały układ podlega ciążeniu, w tym wypadku $\nu_2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{3}{4}$), wszystkie inne parametry są zmienne, otrzymuję więc: $z_w = 20 - 1 = 5$; $w = 6$, t. j. trzy — $\partial\,[P_k]$ oraz trzy — $\partial\,[\varphi]$, $r = 6$, gdyż, ze względu na to, że siły przecinają się w jednym punkcie, winno być: $\partial[P_1] = \partial[P_2] = \partial[P_3] = \partial[P]$ oraz $\partial[\varphi_1] = \partial[\varphi_2] = \partial[\varphi_3] = \partial[\varphi]$; po podstawieniu otrzymamy:

$$z_s = 5 - (6 - 6 + 2) = 3.$$

Ponieważ w danem zadaniu posiadamy pięć zmiennych: N_1, N_2, N_3, ν_1, ν_3, to po nadaniu trzem pewnych wartości, dwie pozostałe zmienne będą mogły być obliczone, t. j. stan równowagi danego układu będzie wtedy ściśle określony; stan równowagi zależny jest więc w danym razie od trzech zmiennych swobodnych, którym mogę nadać nieskończoną ilość wartości.

Przesunięcie równowagi. 43. Rozpatrując ten ostatni przykład, jak i poprzednio wygłoszone uwagi co do układów posiadających swobodnie zmienne, możemy wypowiedzieć następujący wniosek: jeżeli pewien układ energetyczny posiada chociaż jedną swobodną zmienną, to może on posiadać nieskończoną ilość stanów równowagi, zależnie od przyjętych wartości dla swobodnych zmiennych; zmianę wartości swobodnych zmiennych nazywamy *przesunięciem równowagi*.

Mechanicznie przedstawi się nam przesunięcie równowagi jako — *rzeczywiste* przesunięcie. Jeżeli np. w układzie przedstawionym na rys. 3 i znajdującym się chwilowo w równowadze, zmienimy np. wielkość N_2, przez dodanie ciężaru ΔN_2, nastąpi wtedy przesunięcie punktu A', t. j. nastąpią zmiany kątów ν_1 i ν_3, wyrażające się przez przyrostki $\Delta\nu_1$ i $\Delta\nu_3$, i utworzy się taki nowy układ, że wielkości: $N_2 + \Delta N_2$, $\nu_1 + \Delta\nu_1$, oraz $\nu_3 + \Delta\nu_3$ będą zaspakajały równanie (30), t. j. nastąpi *nowy* stan równowagi.

44. Nasuwa się teraz pytanie, czy przesunięcie równowagi wymaga ($\pm$) pracy? Jeśli weźmiemy tę kwestyę ze strony powierzchownej, nasuwają się nam odpowiedzi: tak i nie; przesunięcie równowagi wymaga nakładu pracy, gdyż, jak w poprzednim przykładzie, ciężar ΔN_2 opisze pewną drogę, t. j. w celu przesunięcia punktu A wykonywamy pewną pracę; zapatrując się zaś z tego punktu widzenia, że równanie energetyczne nowego położenia wyraża, iż suma pracy jest $= 0$, możnaby stąd wywnioskować, iż praca przesunięcia równowagi $= 0$; pozostaje jeszcze jedno przypuszczenie, że pomiędzy dwoma położeniami równowagi, w których suma energii równa jest zeru, zaszła czynność wykonania dodatniej i następnie ujemnej pracy (lub odwrotnie), i rzeczywiście, ażeby przejść z jednego położenia równowagi do drugiego potrzebny jest ruch, t. j. należy *nadać* układowi pewną kinetyczną energię, w celu zaś zatrzymania danego układu w punkcie równowagi należy *odebrać* tę energię, jeżeli zaś jej nie odbierzemy, to układ dany, zaopatrzony w energię, jak w naszym wypadku w energię kinetyczną, nie przyjdzie wcale do równowagi; w tym ostatnim wypadku układ pozostanie w ruchu prostolinijnym do nieskończoności, lub też pozostanie w ruchu wahadłowym (oscylacyjnym) nieskończenie trwającym.

Przesunięcie więc równowagi połączone jest z czynnością udzielenia układowi absolutnie jednakowych ilości energii dodatniej i ujemnej. Zobaczmy jak się przedstawi to rozumowanie w postaci matematycznej.

45. Weźmy za przykład układ przedstawiony na rys. 3, i zróbmy N_1 i N_3 stałemi wielkościami, N_2' — swobodnie zmienną, ν_3' i ν_1' będą wtedy zależnie zmiennemi; warunkiem równowagi jest równanie energetyczne:

$$\Sigma N_k' \cos(\nu_k' - \delta[\varphi]) . \delta[P] = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (31).$$

Przesuńmy następnie punkt A' do miejsca oznaczonego przez punkt A''; równanie równowagi w tym punkcie będzie posiadało postać:

$$\Sigma N_k'' \cos(\nu_k'' - \delta[\varphi]) . \delta[P] = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (32).$$

Przesunięcie to uskuteczniliśmy zmieniając ciężar N_2', nadając mu wielkość N_2'',—to ostatnie więc równanie będzie miało postać:

$$N_1 . \cos(\nu_1'' - \delta[\varphi]) . \delta[\varphi] + N_2'' . \cos(\nu_2'' - \delta[\varphi]) . \delta[\varphi] +$$
$$+ N_3 . \cos(\nu_3'' - \delta[\varphi]) . \delta[\varphi] = 0,$$

gdzie N_1' i N_2' pozostają stałemi wielkościami, N_2' zaś zmieniło się na N_2'', jak również wszystkie ν' na ν'' — jako zależnie zmienne.

Przejście układu z położenia A' do A'' wymagało pewnej pracy, gdyż pomiędzy tymi punktami układ tych sił *nie był* w równowadze; oznaczając wszystkie wielkości podczas tego przejścia jako zmienne bez kresek, przypisując x— jako wielkościom zależnie zmiennym i zauważywszy, iż przechodząc z położenia A' do A'' nadaliśmy wielkościom $\delta[\varphi]$ i $\delta[P]$ wielkości oznaczone φ'' i P'', otrzymamy wyraz na energię pracy przesunięcia:

$$\int_0^{P''} N_1 . \cos(\nu_{1x} - \varphi'') . dP_x + \int_0^{P''} N_2'' . \cos(\nu_2 - \varphi'') \, dP_x +$$
$$+ \int_0^{P''} N_3 . \cos(\nu_{3x} - \varphi'') \, dP_x = E_r . \quad . \quad . \quad . \quad (33).$$

Nie mogłem tu wprowadzić wprost iloczynu:

$$N . \cos(\nu_x - \varphi) . P_x,$$

gdyż ν_x i P_x są geometrycznie zależne, należało więc wprowadzić całki; E_r oznacza energię potrzebną do przeprowadzenia punktu z A' do A''.

W danym przykładzie przesunięcie równowagi odbywa się za pomocą rzeczywistego ruchu, E_r jest więc w danym przykładzie energią kinetyczną, t. j. $E_r = m \dfrac{v^2}{2}$.

W równaniu 33-em ν_x i P_x są połączone pewną funkcyą, wyrażającą geometryczną ich zależność; należy tu zauważyć, iż jest to funkcya pomiędzy napięciami i pojemnościami w szczegółowym ich wypadku, E_r wyrazi się więc po zcałkowaniu przez funkcyę z (P_x).

46. Chcąc następnie znaleźć położenie punktu A, w którym następuje max E_r, należy uczynić: $\dfrac{dE_r}{dP_x} = 0$, co uskuteczniwszy, otrzymamy zamiast lewej strony równania (32), następujące:

$$\Sigma N . \cos(\nu - \varphi) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34);$$

jest to równanie równowagi dla wypadku, gdy $\delta[\varphi] = \varphi$, możemy więc to równanie wyrazić w następujący sposób: *przy przesunięciu równowagi układ otrzymuje max. energii w położeniu, w którem zachodzi równowaga układu,* przytem równowaga, w danym wypadku, może zachodzić *tylko* odnośnie do przyjętego kierunku φ, znaczy się, iż w kierunku innym, np. prostopadłym do φ, równowaga może dla danego wypadku nie zachodzić.

Równanie: $\Sigma N . \cos(\nu - \varphi) = 0$ wyraża w mechanice składu i rozkładu *sił*, iż suma rzutów wszystkich sił działających na pewien kierunek jest w równowadze; w naszem zapatrywaniu równanie $\Sigma N . \cos(\nu - \varphi) = 0$ posiada szersze znaczenie, gdyż powiada nam jeszcze, iż układ w danym punkcie posiada maximum energii, którą należy odjąć, ażeby pozostał on w równowadze.

47. Rozpatrywanie powyższe można jeszcze rozszerzyć. W naszym przykładzie $E_r = m \dfrac{v^2}{2}$; zauważmy, iż: $\dfrac{d\left(m \frac{v^2}{2}\right)}{dP}$ = iloczynowi przyspieszenia ruchu i masy poruszanej, gdyż:

$$\frac{d\left(m \frac{v^2}{2}\right)}{dP} = mv \frac{dv}{dP} = mv \frac{dv}{dt} . \frac{dt}{dP} = mv . p . \frac{1}{v} = m . p,$$

gdzie p — przyspieszenie, P zaś oznacza drogę przebytą (zwykle oznaczana przez s); gdy więc wzór:

$$\Sigma N'' . \cos(\nu_x - \varphi) \gtreqless 0,$$

to się znaczy, iż układ znajduje się w ruchu, którego przyspieszenie oznaczyć można z następującego równania:

$$m . p = \Sigma N'' . \cos(\nu_x - \varphi).$$

W punkcie gdzie $p = 0$, $E_r = \max.\ E_r$, co jest charakterystyką ruchów wahadłowych, i w temże miejscu występuje równowaga układu. Jasnem stąd jest, iż, chcąc dany układ przyprowadzić do równowagi, należy mu odebrać max. E_r.

48. W powyższych wywodach rozpatrywaliśmy przebieg przesunięcia gdy N_2' *odrazu* przybrało inną wielkość $= N_2''$, wskutek tego: $\Sigma N'' . \cos(\nu_x - \varphi) \gtreqless 0$, w tym wypadku stany *przejściowe* układu *nie były* w równowadze; lecz możemy sobie *wyobrazić* taki przebieg przesunięcia, w którym wszystkie *stany pośrednie* będą znajdowały się w *równowadze*, t. j. N'' uczynimy zmienną wielkością i zależną od ν_x; przebieg ten wyrazi się przez wzór:

$$\Sigma N_x . \cos(\nu_x - \varphi) . \delta[P] = 0,$$

lub też:

$$\Sigma N_x . \cos(\nu_x - \varphi) = 0.$$

Pierwsze z tych równań wyraża, iż w każdym punkcie A_x suma energii = 0, i równanie to stosowane być może do wszystkich postaci energii, równanie drugie, które jest szczegółowym wynikiem pierwszego, stosuje się do energii ruchu i wyraża, iż wszystkie siły muszą być w równowadze.

Przebieg przesunięcia równowagi układu za pomocą *stanów pozostających w równowadze*, charakteryzuje się jeszcze tem, że przebieg ten jest fizycznie niewykonalny, gdyż wymaga nieskończenie małych przyrostków napięć i trwać musi nieskończenie długo; biorąc pod uwagę nasz przykład, wyżej rozpatrywany, powiemy, iż prędkość przesunięcia przy *omawianym* sposobie przejścia układu z A' do A'' powinna być = 0, czas trwania więc musi być = ∞, dla przebycia określonej drogi $A' A''$.

Pojęcie więc tego rodzaju przesunięcia zdaje się być tylko idealnem pojęciem, nie znajdującem zastosowania w świecie fizycznem, lecz tak nie jest, staje się ono dogodnym sposobem rozumowania, i stoi w tym stosunku do świata fizycznego jako pojęcie figury geometrycznej w znaczeniu ściśle matematycznem do tejże figury w rzeczywistości; idealnych figur nie mamy, a jednakże stosujemy do nich idealne wzory. Na tego rodzaju przesunięciu oparte jest idealne doświadczenie Carnot'a, z którego wnioski stały się podwaliną dzisiejszej teoryi ciepła. Jest tu jasnem, iż prawa, oparte na tego rodzaju oderwanem doświadczeniu, posiadać będą charakter *graniczny*, t. j. prawa te będą o tyle zgodne z rzeczywistością, o ile rzeczywistość zbliżona jest do tego oderwanego doświadczenia; w miarę tego zbliżenia prawa graniczne będą zgodniejsze ze zjawiskami.

Uogólnienie równania wyrażającego przesunięcie równowagi. 49. W niniejszym oddziale będę rozpatrywał przesunięcie równowagi, powstałe wskutek raptownej zmiany napięcia, t. j. przesunięcie związane z wahaniem.

W wyprowadzeniach powyższych nie schodziłem do żadnych szczegółów właściwości energii pracy, mogących się wyrażać w ich geometrycznem przedstawieniu, nie stosowałem również żadnych spółrzędnych, korzystałem jedynie z ogólnego wzoru energii pracy, z którego powinniśmy wszystkie prawa pracy i ruchu wysnuć; sposób więc powyższy pozwoli nam, wskutek swej ogólności, zastosować zdobyte tutaj prawa do innych postaci energii, gdyż pojęcia: energii, napięcia i pojemności posiadają też same znaczenia we wszystkich zjawiskach jedynie funkcye łączące te wielkości są różne.

Jako ogólniejszy przykład tego rodzaju przesunięcia równowagi, a stąd i ruchów wahadłowych, może służyć wyładowanie kondensatora elektrycznego [1]).

W zjawisku tem obserwujemy zmiany pewnych właściwości, występujących w przestrzeni otaczającej przewodniki, które przedstawiają pewną analogię z ruchem wahadłowym; analogia ta tyczy się przebiegu tych zjawisk *w czasie.* Gdy opór przewodników butelki lejdejskiej będzie zni-

[1]) Szczegóły tego rachunku znajdzie czytelnik w pracy prof. Henryka Merczynga „Teorya prądu elektrycznego“ str. 29 oraz w artykule p. St. Bouffała: „Telegraf bez drutu“, Prz. Techn. № 31, r. 1905.

komo mały, otrzymamy zmiany te, inaczej „ruchy“ peryodyczne; matematycznie wyrazi się ta właściwość przez wyraz, iż: napięcie będzie funkcyą trygonometryczną czasu, co oznacza, iż w równych odstępach czasu wielkości napięć będą też same, czyli w ten sposób wahania muszą trwać do ∞.

(C. d. n.).

ZABEZPIECZANIE ŻELAZA OD OGNIA.

Według **H. Hagn'a**.

(Ciąg dalszy do str. 364 w № 30 r. b.).

Ochrony z porowca (n. Kunsttuffstein). Firma dr. L. Grote w Uelzen wykonywa, opatentowany w Niemczech, materyał porowaty pod powyższą nazwą, w postaci płyt, cegieł i łupin półkolistych. Materyał ten składa się z okrzemkówki, kwaśnej ziemi gliniastej, marglu i gipsu. Ciężar jej gatunkowy wynosi 0,25—0,40; daje się piłować i przybijać gwoździmi.

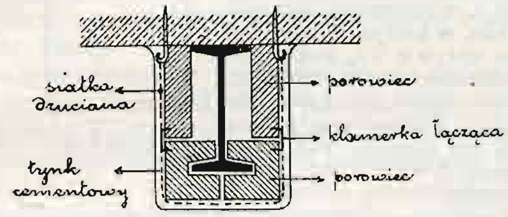
Grubość ochron, łącznie z 1 *cm* otynkowaniem, powinna wynosić 4—5 *cm*.

Próby ogniowe, wykonane w Hanowerze w r. 1901 z ochronami z porowca, wykazały bardzo dobre rezultaty pod względem ogniotrwałości i złego przewodnictwa ciepła; natomiast części ochron, które dłuższy czas pozostawały pod działaniem silnego strumienia wody, uległy zniszczeniu.

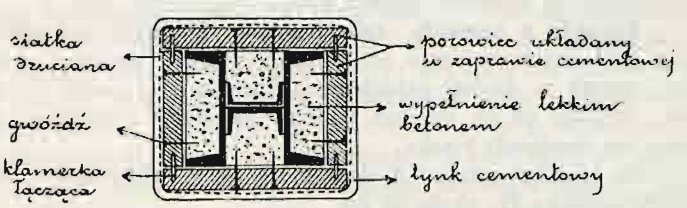
Materyał powyżej opisany bywa również w kraju naszym wyrabiany, w najrozmaitszych kształtach, przez fabrykę inż. Z. Białeckiego „Porowiec“ w Grodzisku.

Rys. 30 i 31 przedstawiają przykłady zabezpieczenia podciągów i słupów, wykonywanych przez fabrykę „Porowiec“.

W celu zwiększenia odporności ochron na działanie strumienia wody z sikawek, zalecić można owinięcie ich siatką drucianą, a dopiero następnie otynkowanie.



Rys. 30.



Rys. 31.

Ochrony z betonu ubijanego. Ochronę z betonu ubijanego podaje rys. 32.

Do betonu używa się żwiru zwykłego lub pumeksowego. Grubość warstwy betonu, dla otrzymania dostatecznej trwałości, przy użyciu żwiru zwykłego, powinna wynosić do 8 *cm*; wtedy zdolność izolacyjna jest już dostateczna. Jednakże przy tych wymiarach ochrona jest bardzo ciężka, to też, w celu otrzymania mniejszego ciężaru, tam, gdzie pumeks jest tani, stosuje się z pożytkiem beton pumeksowy.

Rys. 32 przedstawia tego rodzaju ochronę podciągu. Rys. 33 podaje sposób wykonania ochrony słupa z żelaza walcowanego według wzorów amerykańskich, a zarazem, używaną przy ubijaniu, rozłamującą się na dwie części, formę drewnianą. Rys. 34 wyobraża również zwykłą w Ameryce ochronę słupa z żelaza walcowanego; wykonanie tej ostatniej uskutecznia się bez pomocy form drewnianych. W pewnej, zależnej od grubości, jaką chcemy nadać ochronie, odległości od rdzenia żelaznego, znajduje się szkielet, wytworzony z poziomo i pionowo ułożonych prętów żelaznych, w odpowiedni sposób przymocowany do słupa. Szkielet ten otacza się siatką drucianą. W powstałej w ten sposób pomiędzy rdzeniem żelaznym a siatką wolnej przestrzeni ubija się beton, a następnie wszystko się otynkowuje.

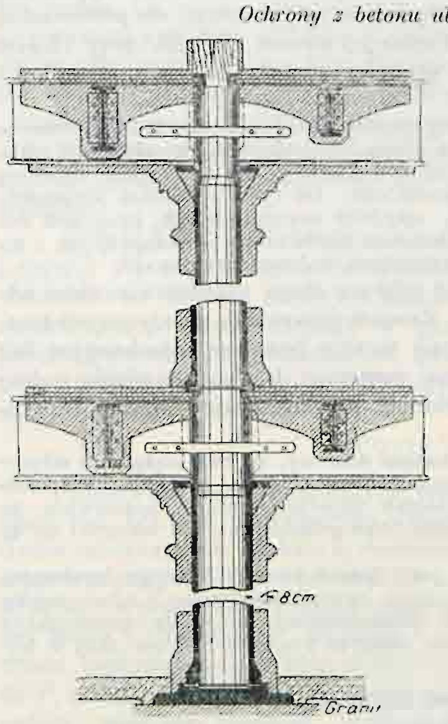
Ochrony Monier'a i Rabitz'a. Sposób wykonania jest znany powszechnie, tak, że nie wymaga szczegółowego opisu. Na to tylko należy zwrócić uwagę, żeby ochrona, około 4 *cm* gruba, nie była wykonywana warstwami, lecz odrazu w całej swej grubości, gdyż to nadaje jej większą trwałość.

Ochrony Monier'a wykonywują się również przez złożenie gotowych już płyt lub łupin o większych wymiarach. Ten ostatni sposób jest wygodniejszy i nie wymaga specyalnie obeznanych robotników, ale co do trwałości ustępuje stanowczo ochronom jednolitym. Użycie jego zaleca się w tych przypadkach, gdzie chodzi raczej o prędkie wykończenie, niż o trwałość ochrony.

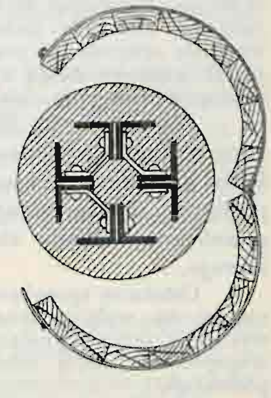
Zamiast wkładek z prętów żelaznych okrągłych, można, trzymając się systemu Rabitz'a, używać siatek drucianych, stosując jednakże wyłącznie zaprawę cementową.

W czasie prób ogniowych w Hamburgu, badano ochrony systemu Monier'a, o grubości 3, 4 i 4,5 *cm*. Część wykonana była z płyt gotowych i w sposób pozwalający na odejmowanie, część zaś z ma-

Ochrony z betonu ubijanego.



Rys. 32.



Rys. 33.

Rys. 34.

teryału surowego, przygotowanego na miejscu. Osłonięte słupy wytrzymały tutaj przez kilka godzin ogień, dochodzący 1100—1400° C. Rozgrzanie u jednych ochron nie wywołało żadnych zmian, w innych zaś mniejsze lub większe uszkodzenia, polegające na odpryśnięciu pojedynczych warstw, lub popękaniu. W chwili gdy słupy żelazne, wskutek rozgrzania przy tak wysokiej temperaturze, straciły wytrzymałość, zaczęto polewać ochrony wodą, przez co część z nich została uszkodzona, część zaś zupełnie zniszczona.

W każdym razie, ogólnie biorąc, wynik doświadczenia musi być uważany za zadawalający.

Ochrony z siatki cegiełkowej. Ochrony z siatki cegiełkowej różnią się od ochron systemu Rabitz'a tylko odmiennym rodzajem wkładek. Siatkę cegiełkową stanowi siatka druciana, tkana w kwadraty, której węzły oblepione zostały gliną w kształcie krzyżyków, wypaloną następnie na twardo (rys. 35). Ciężar jej wynosi 4,5 kg/m^2, zwykła wielkość: 5 × 1 *m*.

Najodpowiedniejszy sposób postępowania przy zakładaniu tego rodzaju ochron, jest następujący:

Dokoła słupa, tuż nad jego powierzchnią, nakłada się siatkę cegiełkową; dla utrzymania jej w równej odległości od słupa podkłada się pojedyncze paski, wykrajane z tejże siatki. Na to daje się