PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

Tom XLVI. *Warszawa, dnia 9 stycznia 1908 r.* № 2.

Zwisanie przewodników napowietrznych.

Napisał **Stanisław Wysocki**, inżynier.

I.

Przyjęły się u nas bardzo pierwotne i niedokładne sposoby wyprężania przewodników napowietrznych „na oko“, „na siłę“ i „na dźwięk“. Najbardziej doświadczony technik nie ma tak wprawnego oka, by mógł bez żadnych przyrządów ocenić zwisanie drutu. Strzałka zwisania zmienia się w zależności od temperatury, rozpiętości i od gatunku przewodnika. Żeby bez pomocy tablic utrafić na właściwe zwisanie przy trzech zmiennych warunkach, trzeba mieć chyba wyjątkową pamięć wzrokową. Jeszcze trudniej mierzyć zwisanie „na siłę“. Naprężenie przewodnika zależne jest oprócz trzech wyżej wymienionych czynników, jeszcze od czwartego — przekroju. Ręka naciągająca przewodnik przy pośrednictwie wielokrążków, nie może nawet wyczuć tych drobnych różnic w naprężeniu, jakie muszą być zachowane przy różnych zmiennych warunkach. Również i dźwięk nie może być probierzem zwisania. Tony wydawane przez przewodnik o właściwem ugięciu bynajmniej nie są zawsze jednakowe, lecz zależą tak jak naprężenie od rozpiętości, przekroju, materyału i temperatury.

Rys. 1.

Można byłoby przypuszczać, iż zwisanie przewodników założonych „na oko“ jeżeli nie odpowiada ściśle przepisom, to w każdym razie pozostaje w granicach, wyłączających wszelkie złe następstwa. Tak jednak nie jest. Wypadki takie, jak pękanie przewodników, łączenie się ich między sobą, pochylanie sworzni izolatorów, zginanie słupów i konstrukcyi, ścinanie główek od izolatorów— nie należą do wyjątkowych. Pociągają one za sobą zwykle przerwy w działaniu, które w małych instalacyach mogą być krótkotrwałe, lecz przy sieciach rozległych bywają przeciągłe i bardzo kłopotliwe. Co gorsza, przy napięciu wysokiem wynikają z tego wypadki porażeń elektrycznych. Są to wszystko skutki wadliwego wyprężania przewodników.

Rys. 2.

Wielokrotnie badaliśmy zwisanie przewodników, naciągniętych „na oko“ przez bardzo wprawnych techników i zawsze znajdowaliśmy duże odstępstwa od normalnego. Dla przykładu przytoczymy wyniki oględzin jednej z takich instalacyi bynajmniej nie wyjątkowej, lecz przeciętnej i uznanej za zupełnie poprawną (por. tablicę oboczną).

Widzimy przedewszystkiem, iż strzałka zwisania w porównaniu z normalną prawie wszędzie jest zamała, czyli innemi słowy przewodniki są zbyt silnie naciągnięte. Przy — 30° C. zamiast 5 *kg* otrzymujemy średnie naprężenie od 6,6 do 8,9 kg/mm^2. Są to liczby przeciętne, poszczególne przewodniki mają naprężenie jeszcze większe, niemal dwukrotne. Porównajmy wielkości strzałek różnych drutów w jednym i tym samym przelocie. Różnice ogromne, a jednak oko ich nie odczuwało!

Czy jednak ścisłe przestrzeganie przepisów i mierzenie zwisania jest tak uciążliwe w praktyce? Bynajmniej. Przypuszczamy nawet, iż daleko mniej czasu zajmie rzucenie okiem na wskazówkę *dynamometru sprężynowego*, niż wpatrywanie z pewnej odległości i ocenianie, czy przewodnik „ma już dosyć“, czy go jeszcze ciągnąć. Trzeba tylko, żeby technicy przywykli do mierzenia. Musi im to nawet wejść w nałóg, na równi z czyszczeniem końców przewodnika, lutowaniem i t. p. Dynamometr należy uważać poniekąd za nierozłączną część przyrządu do naciągania przewodników i za rzecz równie niezbędną przy budowie sieci napowietrznej, jak słupołazy, szczypce i t. p. Dynamometr włącza się pomiędzy żabkę a wielokrążki. Rys 1 i 2 przedstawiają zwykle używane dynamometry w postaci wagi sprężynowej i zegara.

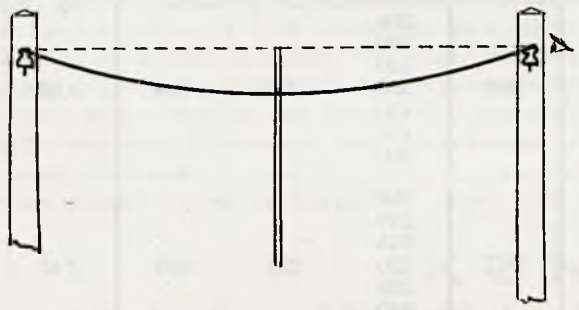
Tablica I.

Przekrój przewodnika miedzianego w mm^2	Rozpiętość w *m*	Strzałka w *mm* przy $t = +1\frac{1}{2}^0$			Naprężenie średnie w kg/mm^2 wyliczone	
		zmierzona	średnia	normalna podł. Herzog'a Feldman'a	przy temper. $+1\frac{1}{2}^0$ C.	przy temper. -30^0 C.
50—95	23	170	165	250	3,57	7,8
		200				
		120				
6—35		130				
50—95	25,5	130	212	290	3,40	7,3
		150				
		160				
		170				
		200				
		230				
50—95	26,0	300	270	300	3,03	6,6
		320				
		330				
		350				
6—35		150				
		170				
		200				
50—95	26,7	200	231	320	3,43	7,2
		210				
		215				
		220				
		230				
		240				
6—35		300				
50—95	27,4	200	208	325	4,00	8,15
		250				
		300				
		120				
6—35		150				
		170				
		200				
50—95	31	200	228	400	4,65	8,9
		230				
		200				
6—35		250				
		300				
50—95	32	250	260	415	4,40	8,45
		270				
		300				
		320				
6—35		150				
		200				
		300				
50—95	39,6	270	365	580	4,70	8,43
		280				
		350				
		400				
		450				
		500				
6—35		300				
		400				

Co prawda, i bez dynamometru można nadać przewodnikom zwisanie właściwe. Uważa się wówczas na *wielkość strzałki*. W tym celu, odmierza się na zwykłym drążku pożądaną strzałkę i wbija się gwóźdź. Pomocnik zawiesza drążek na przewodniku (na środku przelotu), sam zaś technik przykłada oko do izolatora i sprawdza, czy wierzchołek drążka przypada na jednej linii z główkami, względnie szyjkami izolatorów (rys. 3). Sposób ten ma tę stronę dodatnią, że nie wymaga żadnego przyrządu i że jedno odmierzenie nadaje się dla wszystkich przewodników bez różnicy przekroju. Lecz natomiast pociąga za sobą dużo zachodu. Można się nawet obawiać, że po założeniu kilku przelotów odejdzie robotnikom ochota do dalszego zmudnego mierzenia i wrócą do dawnego sposobu naciągania „na oko".

Naszem zdaniem, daleko lepiej posiłkować się dynamometrem. Nie zachodzi nawet potrzeba mierzenia naprężenia w każdym przelocie. Przy równych rozpiętościach można naciągać przewodniki po kilka przelotów naraz. Dynamometr nadaje się też doskonale przy liniach spadzistych, t. j. idących pod górę, na dachy i t. p. W tych wypadkach mierzenie strzałki jest utrudnione, gdy tymczasem dynamometr umieszczony w punkcie poziomu wyższego pokazuje odrazu naprężenie największe.

Natomiast do sprawdzenia wykonanej już linii dynamometr zwyczajny jest nieprzydatny i pozostaje albo mierzenie wielkości strzałek, albo posiłkowanie się specyalnym *dynamometrem drążkowym systemu Nicolaus'a* (rys. 4). Działanie takiego dynamometru jest następujące. Ciężarek *d* przy po-



Rys. 3.

mocy drążka *f* i tłoka *b* wywiera na przewodnik pewne parcie. Wskutek tego, na małej rozpiętości *AB* (np. 300 *mm*) przewodnik ulega nowej sile i wygina się. Strzałka ugięcia *CD* jest stałą (np. 10 *mm*), a zmienia się tylko siłą parcia przez przesuwanie ciężarka *d* wzdłuż drążka, na którym wprost oznaczone są odpowiednie naprężenia drutu. Siła bowiem, jakiej trzeba użyć do wyboczenia naciągniętego przewodnika jest proporcyonalna do jego naprężenia. Mierzenie odbywa się bardzo prędko. Ramię *AB* przykłada się do przewodnika obok izolatora, a ciężarek *d* przesuwa się, aż przewodnik dojdzie do punktu *C*. Przyrząd ten [1]) dotychczas nie znalazł w praktyce szerszego zastosowania, a przytem nadaje się wyłącznie do przewodników cienkich, przedewszystkiem telefonicznych i telegraficznych.

Tymczasem, przy sprawdzaniu linii możemy posiłkować się pierwszym sposobem, nie wymagającym żadnych przyrządów, t. j. bezpośredniem wymierzaniem wielkości strzałek.

II.

Główne obciążenie przewodnika, t. j. jego ciężar własny, parcie wiatru i ciężar osadu rozkłada się równomiernie na całej długości. Wskutek tego, naciągnięty przewodnik przybiera kształt linii łańcuchowej (rys. 5), o równaniu

$$y = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}\right) = h \,.\, \cos\text{hyp}\,\frac{x}{h} =$$

$$= h\left(1 + \frac{1}{2!}\frac{x^2}{h^2} + \frac{1}{4!}\frac{x^4}{h^4} + \frac{1}{6!}\frac{x^6}{h^6} + \ldots\right)$$

gdzie *h* jest parametrem. Dla uproszczenia rachunku opuścimy wszystkie wyrazy z wyższą potęgą współrzędnej *x* i otrzymamy

$$y \simeq h\left(1 + \frac{x^2}{2h^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

[1]) Dokładny opis w *E.-T. Z.* 1906, str. 129.

t. j. równanie paraboli. Przyjęcie paraboli zamiast linii łańcuchowej równa się przypuszczeniu, iż obciążenie rozkłada się proporcyonalnie do rzutów poziomych przewodnika. Wobec małej krzywizny (strzałka wynosi najwyżej 3% rozpiętości) błąd wynikający z tego przypuszczenia jest bardzo mały.

Oznaczmy przez

a — rozpiętość (przelot) w *m*,
f — strzałkę zwisania (ugięcie) w *m*,
p — obciążenie drutu na 1 *m* długości i 1 mm^2 przekroju w *kg*,
S_p — naprężenie drutu w punkcie *P* w kg/mm^2,
S_{min} — „ „ „ *C* „
S_{max} — naprężenie drutu w punktach *A* i *B* w kg/mm^2,
S — średnie naprężenie drutu.

Naprężenie drutu w punkcie *P* wyraża się ogólnym wzorem

$$S_p = py \quad . \quad . \quad (2).$$

Wobec tego najmniejsze naprężenie mamy w punkcie *C*

$$S_{min} = ph \quad . \quad . \quad (3)$$

a największe w punktach zawieszenia *A* i *B*

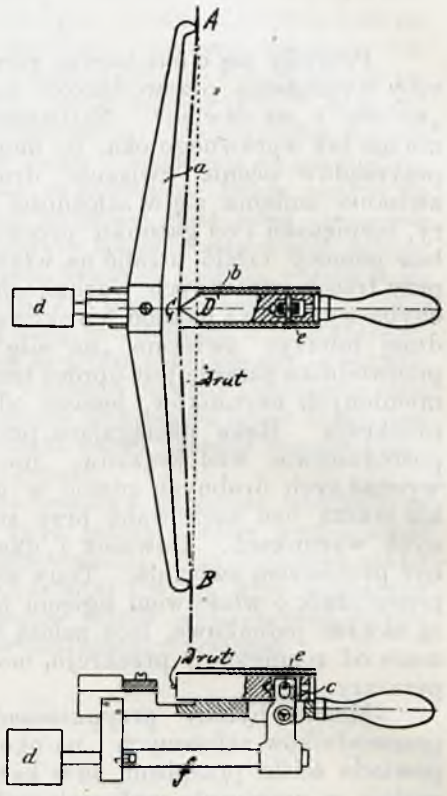
$$S_{max} = p\,(h + f) = S_{min} + pf \quad . \quad (4).$$

Różnica jest tak mała (*pf* jest zawsze drobnym ułamkiem), że możemy przyjąć w przybliżeniu

$$S_{min} \simeq S_{max} \simeq S \quad . \quad (5).$$

Wielkość strzałki *f* otrzymamy z równania (1), wstawiwszy

$$x = \frac{a}{2}\,;\; y = h + f,$$



Rys. 4.

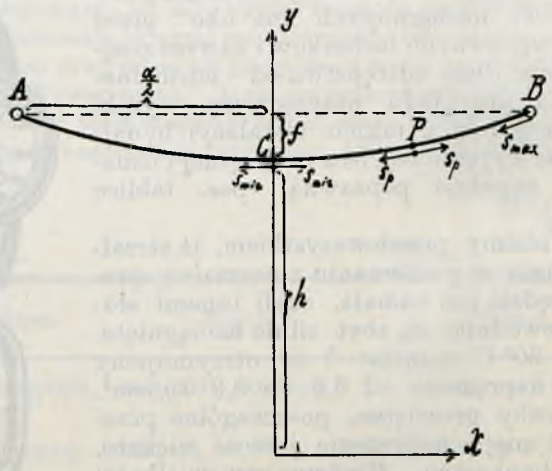
czyli

$$h + f = h\left(1 + \frac{\left(\frac{a}{2}\right)^2}{2h^2}\right)$$

$$f = \frac{a^2}{8h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Z równania (3) i (6) wypada

$$f = \frac{a^2 p}{8 S_{min}} \simeq \frac{a^2 p}{8 S} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$



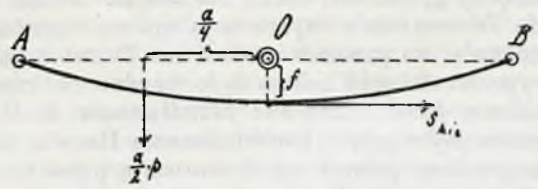
Rys. 5.

To samo równanie da sie wyprowadzić wprost z momentów obrotu (rys. 6) względem punktu *O*

$$\frac{a}{2}\,p \,.\, \frac{a}{4} = S_{min} \,.\, f.$$

Całkowita długość przewodnika L, jako długość łuku paraboli o cięciwie a, wynosi

$$a\left\{1+\frac{2}{3}\left(\frac{2f}{a}\right)^2-\frac{2}{5}\left(\frac{2f}{a}\right)^4+\ldots\right\}$$



Rys. 6.

Ponieważ nie zależy nam na wielkiej dokładności, zadowolnimy się wzorem przybliżonym

$$L=a\left\{1+\frac{2}{3}\left(\frac{2f}{a}\right)^2\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (8).$$

Wstawiwszy w to równanie znaczenie f podług wzoru (7), otrzymamy

$$L=a\left\{1+\frac{a^2p^2}{24\,S^2_{min}}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (9)$$

a uwzględniwszy równanie (5)

$$L \cong a\left\{1+\frac{a^2p^2}{24\,S^2}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (10).$$

Długość L odnosi się do przewodnika wyciągniętego z naprężeniem średniem s. Przed zawieszeniem przewodnik musiał być nieco krótszy, oznaczmy jego długość pierwotną przez l, wówczas

$$L=l\,(1+\lambda s) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (11),$$

gdzie λ jest spółczynnikiem rozciągliwości danego materyału (t. j. wartością odwrotną spółczynnika sprężystości).

(C. d. n.)

Doświadczenia Bach'a co do ciągliwości betonu i betonu wzmocnionego.

Considère wygłosił w r. 1899 pierwszy na podstawie doświadczenia na złamanie zdanie, że ciągliwość betonu wzmocnionego jest znacznie, prawie 20 razy większą, niż betonu nieuzbrojonego. Considère znalazł dla betonu zwykłego przedłużenie przy przerwaniu 0,10 *mm/m* a dla betonu uzbrojonego 1,98 *mm/m*. Dziwne to zjawisko starano się tłumaczyć analogicznie do większej wytrzymałości na ciągnienie w zwężeniu przy doświadczeniach na przerwanie prętów żelaznych, gdy Kleinlogel w zeszycie I „Forscherarbeiten" 1904 r. ogłosił swe doświadczenia, według których przedłużenie przy pierwszem pęknięciu wahało się między 0,12 i 0,24 *mm/m*, a więc wynosiło przeciętnie niespełna dwa razy tyle, co dla betonu nieuzbrojonego.

Amerykańskie doświadczenia Turneaure'a i Talbot'a (Eng. News 1904 r.) potwierdziły doświadczenie Kleinlogl'a. Z drugiej strony otrzymał Considère przy dalszych doświadczeniach przedłużenia dla jednej belki do 1,5 *mm/m*, dla drugiej 0,625 *mm/m*. Doświadczenie komisyi francuskiej ministeryalnej i doświadczenie Schüle'go potwierdziły zdanie Considère'a. Schüle znalazł przedłużenie aż do 1,25 *mm/m*. Doświadczenia Rudeloff'a w Berlinie dały jednak wynik wprost przeciwny: przedłużenie betonu wzmocnionego było nawet mniejsze, niż niewzmocnionego.

W celu wyjaśnienia tych sprzeczności przedsięwziął prof. Bach w Stutgardzie szereg doświadczeń, które ogłosił w Zeitsch. des Ver. deut. Ing. 1907, a których wyniki pokrótce omówię.

Nim się objawią pęknięcia w zginanej belce żelaznobetonowej utrzymywanej w wilgoci, spostrzedz się dają plamy mokre (n. Wasserflecken), a to w tych samych miejscach, w których później powstają pęknięcia. Plamy mokre zauważył najpierw Turneaure, potem Feret i Bach. Plamy te okazują, że w odpowiednich miejscach belki nastąpiło rozluźnienie materyału. Po takiem rozluźnieniu następuje w belce betonowej ciągnionej bezpośrednio przerwanie, w zginanej nieco później, bo to rozluźnienie występuje tu tylko w warstwie skrajnej, a warstwy najbliższe, mniej pracujące, przeszkadzają jeszcze pojawieniu się pęknięcia. W belkach żelaznobetonowych wkładki żelazne pracują w rozluźnionych miejscach więcej, więc może być przedłużenie jeszcze większe, nim powstaną pęknięcia. Różnica między przedłużeniami w belkach uzbrojonych i nieuzbrojonych nie jest jednak tak wielką, jak to otrzymał Considère.

W belkach betonowych ciągnionych spostrzeżono przy pierwszem pęknięciu przedłużenie 0,065 do 0,09 *mm/m*, w zginanych plamy mokre przy 0,08 *mm/m*, w belkach uzbrojonych plamy mokre okazały się przy 0,06 do 0,10 *mm/m*. Liczby te dosyć się zgadzają. Pierwsze pęknięcia występują w belkach betonowych przy przedłużeniu 0,125 *mm/m*, w belkach uzbrojonych przy 0,109 do 0,367 *mm/m*. Wpływ uzbrojenia jest tem większy, im lepiej pręty żelazne są w szerokości przekroju rozmieszczone, im bliżej znajdują się krawędzi. Dla jednej wkładki żelaznej i szerokiej belki jest wpływ ten rozumie się mniejszy, niż dla trzech wkładek.

Należy tu wspomnieć jeszcze o wpływie przechowywania belek. Jeżeli beton przechowuje się pod wodą lub przynajmniej wilgotno, to zwiększa on swoją objętość. Wkładki żelazne są wtedy ciągnione, a beton przylegający do nich ciśniony. Przy zginaniu beton jest z jednej strony ciągniony, a wtedy trzeba dopiero pewnego ciągnienia, aby skrócenie sprowadzić do zera, poczem dopiero rozpoczyna się przedłużenie. Jeżeli więc mierzymy ciągnienie od początku obciążenia, to wydaje się ono nam do pierwszego pęknięcia większem, niż jest w rzeczywistości i niż występuje w belce nieuzbrojonej.

Jeżeli przechowujemy belkę betonową w miejscu suchem, to zmniejsza ona swą objętość, ściąga się; mierzone przedłużenie przy pierwszem pęknięciu jest wtedy mniejsze w belce uzbrojonej niż w nieuzbrojonej.

Zachodzi teraz pytanie, dlaczego Considère, komisya francuska i Schüle zauważyli znacznie większe przedłużenia przed pierwszem pęknięciem. Bach przypuszcza, że te pęknięcia były tak małe, że ci badacze ich nie zauważyli. Considère nie twierdzi zresztą sam, że nie było wcale pęknięć, lecz że w niektórych punktach były widoczne powierzchowne pęknięcia, zresztą jednak beton był nietknięty [1]). A więc były przecież pęknięcia choć tylko w warstwach skrajnych.

Plamy mokre, które jako poprzedniczki pęknięć uwidoczniają początek rozluźnienia betonu, spostrzegali, jak to Bach sam przyznaje, przed nim Turneaure i Feret. Początek rozluźnienia betonu zaznaczają też punkty załamania w wykresach ugięcia, które zwiastują koniec fazy pierwszej. Dr. Emperger udowodnił już w r. 1902 (Beton u. Eisen 1902, zesz. IV) wykresami ugięcia, że pierwsza faza kończy się wcześniej przed pierwszemi pęknięciami. Początek fazy IIa oznacza zmianę w zachowaniu się betonu ciągnionego. Wtedy sądzono jeszcze, że jak Considère twierdził, ciągnienie betonu w tej fazie pozostaje stałem. To samo obserwował Talbot. Mówi on: „Podczas drugiej fazy (IIa) powstaje znaczna zmiana w rozkładzie sił. Beton traci część swego ciągnienia, które przenosi się na żelazo. W czasie tej fazy zapewne powstają bardzo małe pęknięcia, których jednak tak łatwo nie można odkryć" [2]).

Turneaure wykonał w r. 1904 (Eng. News, str. 213) liczne doświadczenia właśnie dla wyjaśnienia tej kwestyi i jest on pierwszym, który opisał pojawianie się plam mokrych. (Feret może wcześniej je spostrzegał, ale później dopiero ogłosił wyniki swych badań).

[1]) Comptes rendus des sciences de l'Académie des sciences t. 127, 1898, str. 492. „J'ai constaté, s'il y avait *en certains points quelques petites fissures superficielles*, le mortier était généralement inatact... en détachant du reste du prisme et des armatures métalliques les fibres les plus allongées et en prouvant que, *sauf en un très petit nombre de points*, elles étaient intactes..."

[2]) Engineering News 1904 str. 122. During the second or readjustment stage there is a marked change in distribution of stresses, the neutral axis rises, the concrete loses part of its tensional value, and tensile stresses formerly taken by the concrete are transferred to the steel. During this stage minute crack probably exist, quite well distributed and not easily detected.