

FRANCISZEK SZYMIK

Instytut Energetyki
Katedra Sieci i Układów ElektroenergetycznychBADANIA OBCIĄŻEŃ WIATROWYCH LINII NAPOWIETRZNYCH
NA TERENIE POLSKI^{*)}

Streszczenie. Przedstawiono metodę praktycznego określania wielkości siły parcia wiatru na przewody w liniach napowietrznych. Na podstawie wielkiej ilości pomiarów wykonanych w różnych liniach 110 i 220 kV na terenie całego kraju, uzyskano materiał statystyczny, na podstawie którego przeprowadzono analizę zmienności wskaźnika wiatrowego w zależności od charakterystycznych danych linii oraz warunków terenowych i meteorologicznych. Wyniki posłużą do rewizji istniejących norm obliczeniowych przede wszystkim w odniesieniu do linii najwyższych napięć.

W ostatnich latach prowadzone są w wielu krajach badania (Szwecja, Francja, Belgia, Australia, Związek Radziecki, Niemcy Zachodnie), mające na celu uzyskanie materiałów, pozwalających na przeprowadzenie rewizji dotychczas obowiązujących norm dla obciążeń wiatrowych linii napowietrznych.

Na podstawie wyników badań wprowadziły niektóre kraje obniżenie wartości zredukowanego parcia wiatru na przewody do rzędu 35-40 kg/m^2 (Belgia, Australia), a nawet 25 kg/m^2 (Szwecja). Wartości parcia wiatru zależą w bardzo znacznym stopniu od lokalnych warunków klimatycznych i od ukształtowania terenu, zatem określone one winne być w oparciu o badania prowadzone w każdym kraju oddzielnie.

^{*)} W programie prac CIGRÉ Kom. Studiów Nr 6 (ref.CSC-60-9).

W Polsce określa się wielkość parcia wiatru na przewody według stosowanego powszechnie wzoru

$$W = \alpha \cdot K \frac{v^2}{16} \cdot S = w \cdot S \text{ [kG]} \quad (1)$$

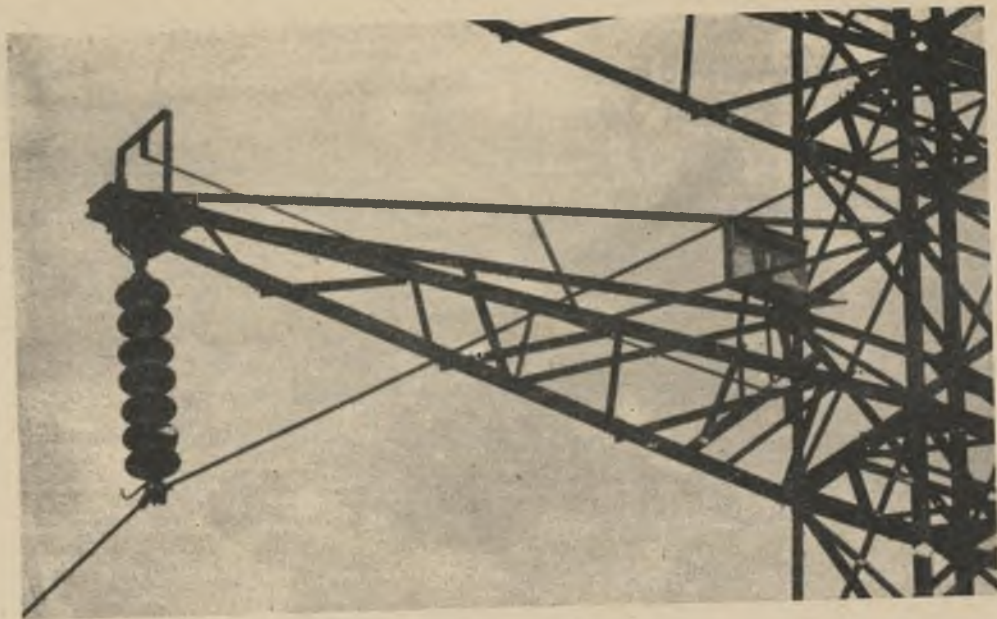
w którym v oznacza szybkość wiatru w m/sek, S powierzchnię rzutu przewodu na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru, zaś α oraz K są współczynnikami: pierwszy uwzględnia nierównomierność parcia wiatru wzdłuż całego przęsła przewodu, zaś drugi jest tzw. współczynnikiem kształtu.

Zasada badań prowadzonych w Polsce przez Instytut Energetyki pod kierunkiem autora polega na mierzeniu z jednej strony wielkości siły parcia wiatru W na przewód w warunkach terenowych oraz z drugiej strony szybkości wiatru v odpowiadającej temu parciu. Dla danego przęsła można w ten sposób określić wielkość iloczynu obydwu współczynników

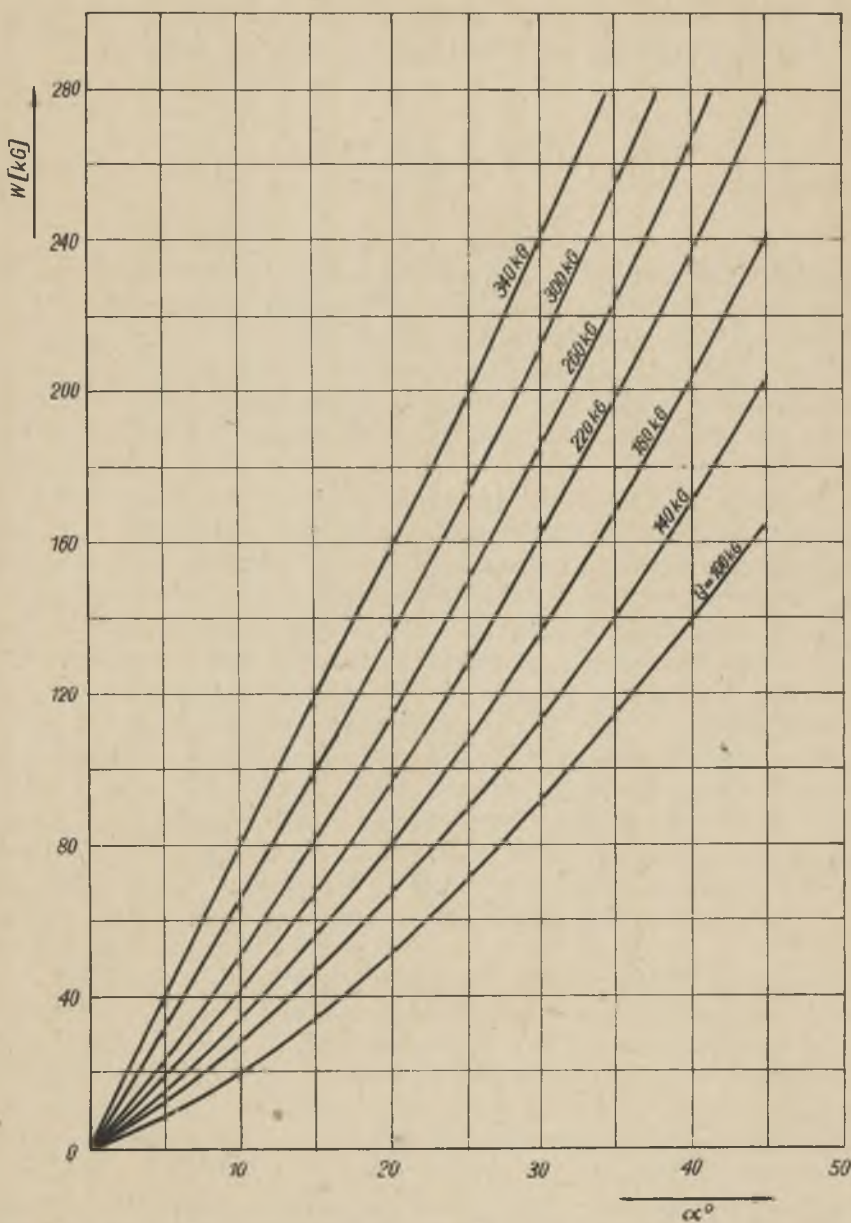
$$C = \alpha \cdot K \quad (2)$$

i jego zależność statystyczną od zmieniającego się wiatru.

Siła parcia wiatru W określana jest w badaniach z wielkości kąta wychylenia łańcucha izolatorowego, na którym zawieszony jest przewód. Urządzenie do mierzenia kąta wychylenia łańcucha przedstawia zdjęcie - rys.1. Wychylenie łańcucha przenoszone jest za pomocą układu dźwigniowego na ruchomą wskazówkę kątomierza umieszczonego w blaszanej skrzyni. Wskazówki maksymalne (martwe) rejestrują maksymalne kąty wychylenia w okresach miesięcznych. Przynrządy takie zainstalowano w 84 punktach sieci 110 i 220 kV na terenie całego kraju. Zależność siły W od kąta wychylenia łańcucha $W = f(\alpha^\circ)$ dla różnych układów łańcucha wyznaczono nie obliczeniowo lecz doświadczalnie. Uwzględniony został w ten sposób wpływ giętkości łańcucha izolatorowego, który jak się okazuje nie może być pomijany. Charakterystyki $W = f(\alpha^\circ)$ przykładowo dla łańcucha złożonego z 7 izolatorów kołpakowych K3 podaje rys.2. Na podstawie takich charakterystyk dla



Rys.1. Widok układu pomiarowego na słupie linii 110 kV



Rys.2. Przykład charakterystyki $W = f(\alpha)$ dla łańcucha izolatorowego 7K3

każdego punktu pomiarowego w terenie (na linii) sporządzone zostały charakterystyki dla parcia jednostkowego.

$$\frac{W}{S} = w = f'(\alpha^{\circ}) \quad (3)$$

Pozwalają one na bezpośrednie określenie współczynnika C dla znanych wielkości szybkości wiatru v . Szybkości te uzyskane są z pomiarów przyrządem Wilda na terenowych stacjach Instytutu Meteorologicznego. Chodzi oczywiście o szybkości maksymalne w danym okresie i wartości odpowiednio przeliczone na kierunek prostopadły do kierunku linii.

Otrzymane w wyżej podany sposób wartości współczynnika C wykazują znaczne odchylenia od wartości przeciętnych. Odchylenia te są wynikiem nieregularnego i nierównomiernego przepływu strumieni wiatrowych. Silny wpływ na wielkość współczynnika charakteryzującego działanie wiatru mają warunki klimatyczne, ukształtowanie terenu i dane przęsła (długość i przekrój przewodu). W zależności od przypadkowo kształtujących się w danym momencie czynników, współczynnik C przyjmować będzie różne wartości dla jednego i tego samego przęsła, zaś dla różnych przęseł różnice będą bardzo znaczne i istotne. Pewien wpływ na rozrzut punktów może mieć również niedokładność prowadzonych badań, a w szczególności niezupełna współmierność mierzonych wychyleń łańcucha z wartościami maksymalnej szybkości wiatru.

Wyniki z okresu pierwszych 2 lat badań prowadzonych w wyżej opisany sposób na terenie kraju ujęte zostały wykreślnie na rys.3. Na rysunku tym przedstawiono zbiór punktów pomiarowych wartości parcia wiatru otrzymanych przy różnych szybkościach wiatru. Badania dotyczą 6 różnych linii w dwóch okręgach energetycznych: południowym (ZEOPd) oraz centralnym (ZEOC). Dane linii (średnica przewodu stalowo-aluminiowego oraz rozpiętość przęsła) podano na wykresie. Na wykresie pokazano również teoretyczną krzywą parcia dynamicznego $p = \frac{v^2}{16}$ oraz obwiednie obejmujące zbiór otrzymanych punktów pomiarowych, jak również obwiednie dla wyników uzyskanych w innych krajach.

Na rys.4 pokazano porównanie odpowiednich maksymalnych wielkości współczynnika C .

Należy mieć na uwadze, że szybkości wiatru w Polsce (również w ZSRR) mierzone są za pomocą przyrządów skrzydełkowych (Wilde'a), które dają nieco za niskie wartości mierzonych szybkości. Tłumaczy to w pewnym stopniu położenie krzywych - które przebiegają nieco wyżej w stosunku do krzywych pochodzących z innych badań.

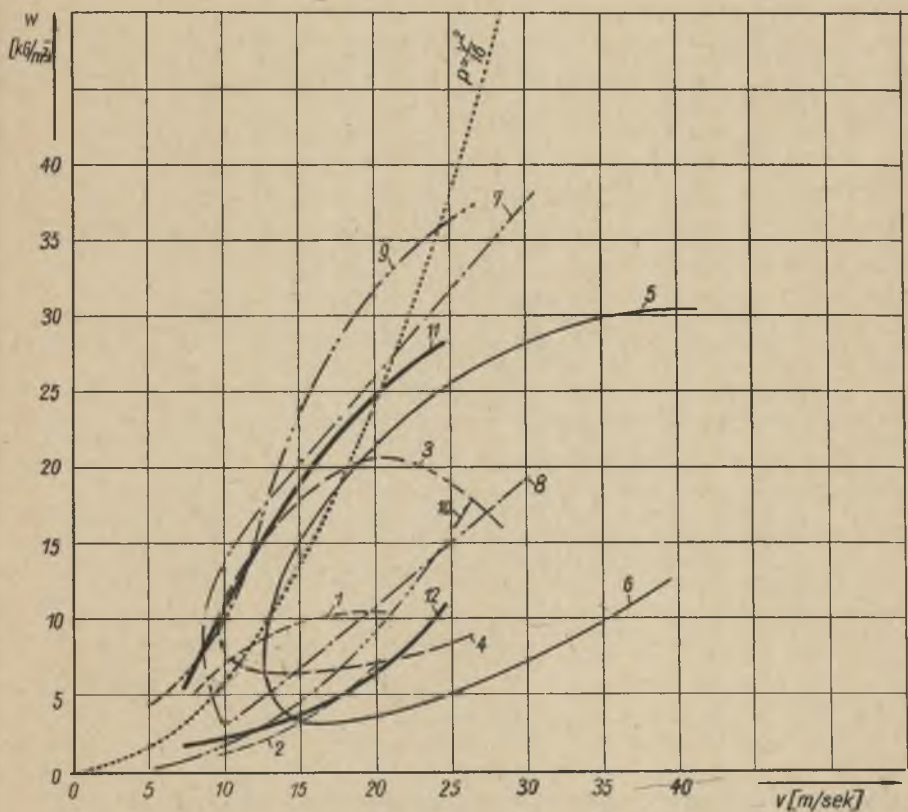
Na rys.5 pokazano wykresy $C = f(v)$ dla 6 różnych przęseł. Poszczególne przebiegi na tym rysunku są prostymi regresyjnymi punktów uzyskanych z badań na różnych przęsłach. Aczkolwiek liczba punktów, z których wyznaczono proste regresyjne, była mała, wobec czego w przebiegach widoczna jest dość znaczna nieregularność, to można jednakże stwierdzić wyraźny wpływ wielkości średnicy przewodu i długości przęsła, a także zdecydowany wpływ pokrycia terenu.

Na rys.6 pokazano zmieniającą się wartość współczynnika C w zależności od iloczynu $S = d a$ (średnicy i długości przęsła) dla 3 wielkości szybkości wiatru v . Krzywe te uzyskano z przeciętnych wartości odnoszących się do 6-ciu różnych przęseł, przebiegających w mniej więcej jednakowych warunkach terenowych (teren otwarty niezalesiony).

Wpływ warunków terenowych oraz danych przęsła (przekroju i długości przewodu) widoczny jest z wykresu na rys.7. Pokazane tam zostały 2 pary krzywych zależności przeciętnych wartości współczynnika C od szybkości wiatru v . Widzimy, że dla przęseł przebiegających w terenie zalesionym (linie kreskowane) wartości współczynnika C są wyraźnie mniejsze od wartości odnoszących się do mniej więcej takich samych przęseł przebiegających w terenie otwartym (linie ciągłe).

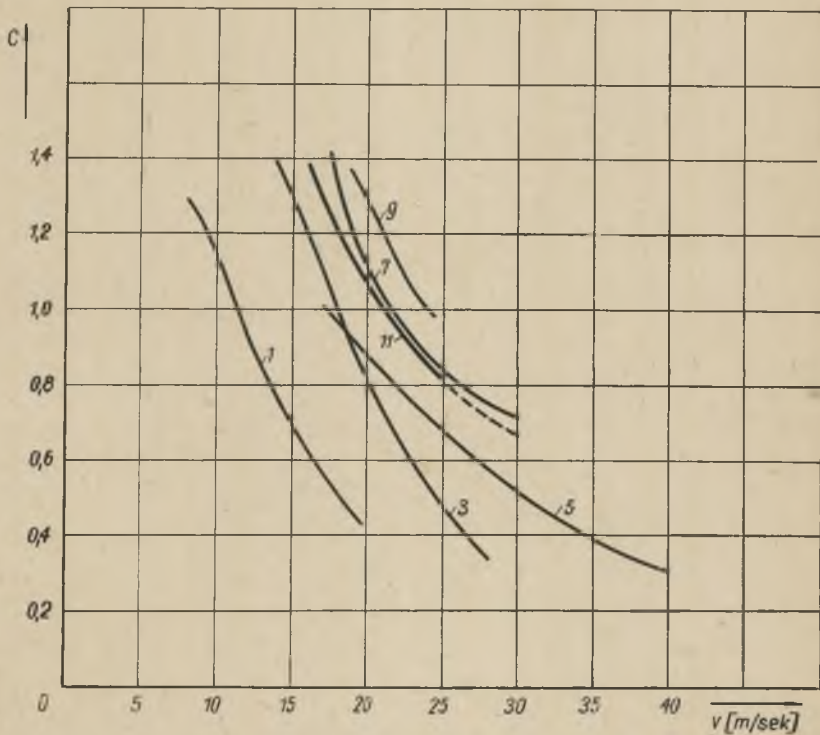
Dotychczas zebrane materiały statystyczne z badań prowadzonych w Polsce nie pozwalają jeszcze na wszechstronne ilościowe ujęcie zagadnienia działania wiatru na przewody linii napowietrznych w warunkach naturalnych. Będzie to możliwe po uzyskaniu większej liczby punktów pomiarowych, co pozwoli nam na wyznaczenie odpowiednich zależności statystycznych dla różnych warunków pracy linii. Możemy jednakże już dzisiaj wysnuć następujące wnioski ogólne dla warunków panujących w naszym kraju.

1. Jak wynika z dotychczasowych badań normalnie spotykane wiatry wykazują szybkości nie przekraczające wartości 30 m/sek. (W przepisach polskich przyjęto dla obliczeń wartość 35 m/sek).

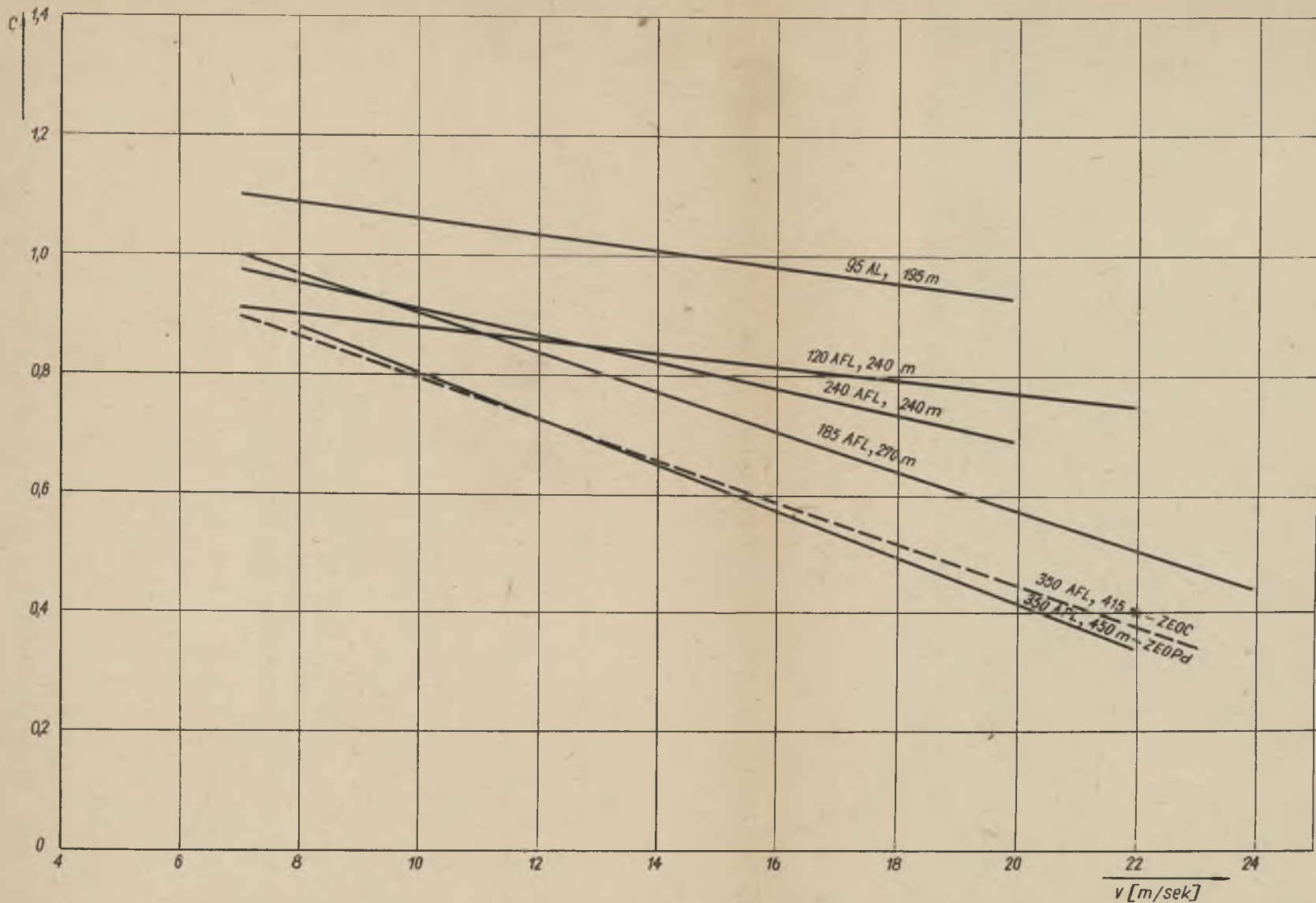


Rys.3. Porównanie wyników uzyskanych w kraju z wynikami badań obcych (obwiednie punktów pomiarowych)

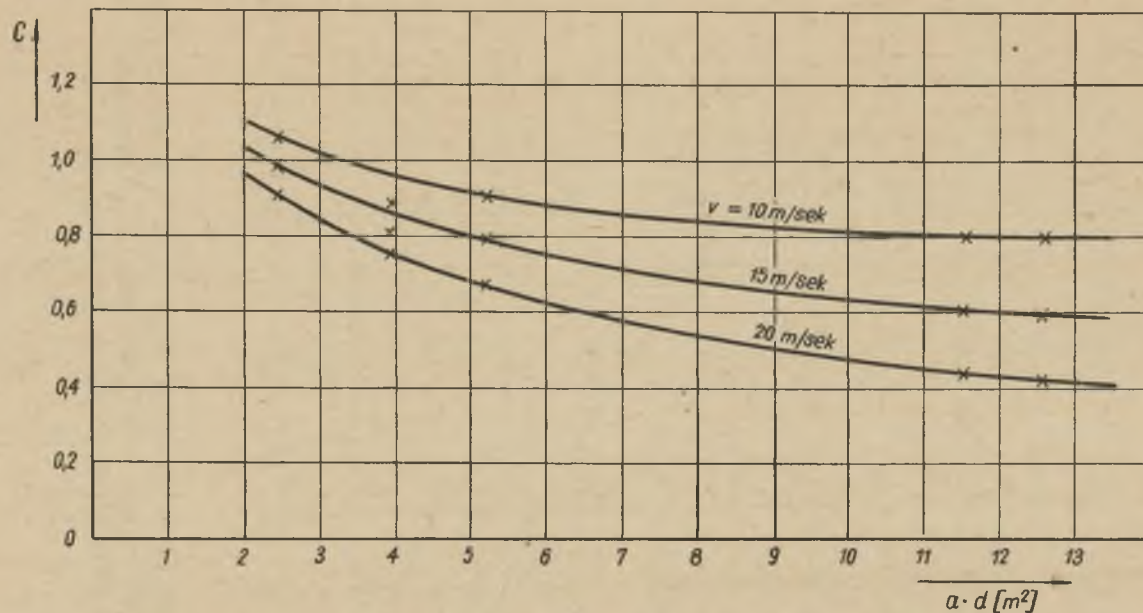
Oznaczenia: 1-2 Szwecja, 3-4 Szwecja rejon nadmorski, 5-6 Francja, 7-8 Belgia, 9-10 ZSRR, 11-12 Polska badania własne.



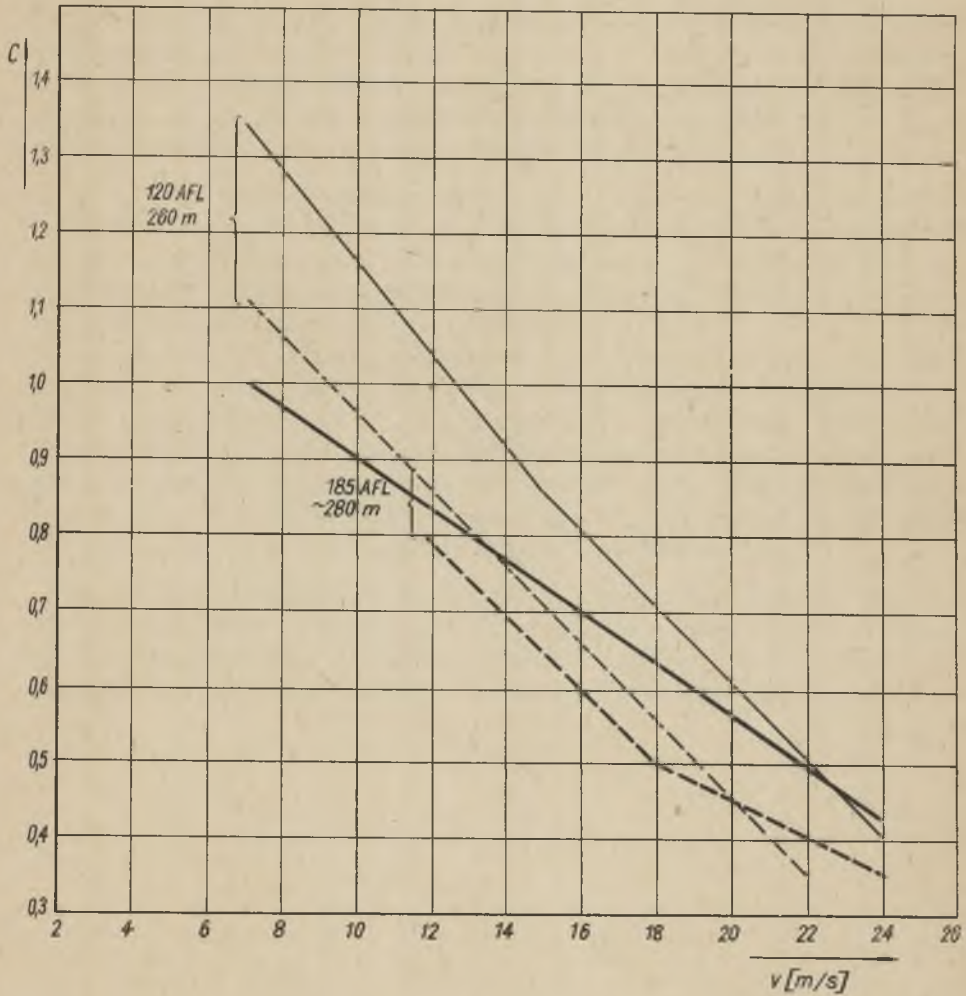
Rys.4. Krzywe maksymalnych wartości współczynnika redukcyjnego $C = f(v)$. Porównanie wyników własnych uzyskanych w kraju z wynikami obcymi. Oznaczenia jak na rys.3.



Rys.5. Zmienność współczynnika redukcyjnego C (wartości średnie) dla różnych linii (rozpiętości, przekroje) w Energetycznych Okręgach - Południowym i Centralnym



Rys.6. Zmienność współczynnika redukcyjnego C (wartości średnie) w zależności od iloczynu $S = d a$



Rys.7. Zmienność $C = f(v)$ jak na rys.5. Przykłady wpływu warunków terenowych. Linia ciągła - teren otwarty.
Linia kreskowana - teren zalesiony

2. W zależności od długości przęsła oraz średnicy przewodu, wielkość efektywnego parcia wiatru na jednostkę powierzchni rzutu przewodu - przy danej szybkości wiatru - waha się w dużym zakresie. Wartości przeciętne współczynnika redukcyjnego $C = \alpha K$ dla dużych szybkości wiatru (25-30 m/sek) wynoszą od 0,9 (małe średnice przewodu ok. 12,5 mm i małe rozpiętości ok. 200 m) do 0,3 (średnice ok. 28 mm i rozpiętości ok. 450 m).

3. Wielkości współczynnika C jakie należy przyjmować w obliczeniach linii muszą być oczywiście większe od wartości przeciętnych o których mowa w p.2. Muszą one uwzględniać odpowiedni rozrzut naturalny otrzymanych statystycznych wartości z pomiarów.

Wstępne obliczenia przeprowadzone na niewielkiej posiadanej liczbie punktów pomiarowych (teoria "wielkich liczb") wykazują, że z prawdopodobną pewnością 95% wielkości współczynnika C należałoby przyjąć dla podanych wyżej zakresów w granicach od 1,2 do 0,5. Niezależnie od tego należy zauważyć, że wartości te dla omawianych szybkości wiatru nie były dotychczas przekraczane.

4. Znaczny wpływ na działanie wiatru ma rodzaj pokrycia terenu. Dla terenów zalesionych otrzymuje się wartości współczynnika C o ok. 15-25% niższe od wartości obowiązujących dla terenów otwartych niezalesionych.

РЕЗЮМЕ

В работе изложен практический метод определения величины ветровой нагрузки на провода воздушных линий. На основании большого количества измерений в разных сетях 110 и 220 кв во всей стране, получился статистический материал, подвергнутый анализу для определения зависимости ветрового показателя от характеристик передач и районных и метеорологических условий.

Результаты представляют материал для ревизии существующих проектных норм, главным образом относительно сетей самых высоких напряжений.

RÉSUMÉ

L'auteur a démontré une méthode pratique pour la détermination du valeur de la charge du vent des lignes aériennes. Après un nombre considérable des essais, éxeentés sur les diverses ligne de transmission 110 et 220 kV dans le paysentier, on est en possession d'un matériel statistique, qui fut analyté pour déterminer le coefficient de la charge du vent en rélation avec les données caractéristiques de la ligne et des conditions locales et météorologiques. Les résultats seront utilisés pour la révision des normes, en premier lieu pour très hautes tensions.