

## DO PISKI

### DO PRZEPISÓW TECHNICZNYCH NA NAPIOWIETRZNE LINJE ELEKTRYCZNE PRĄDU SILNEGO.

Ziniany w porównaniu z wydaniem poprzedniem.

Przepisy niniejsze, tak samo, jak i poprzednie przepisy z 1923 r., są wzorowane na niemieckich. Ostatnie wydanie przepisów niemieckich z 1930 r. poczyniło kilka ważnych zmian i uzupełnień, które wprowadziliśmy również i do naszych przepisów.

W porównaniu z poprzednią redakcją, przepisy niniejsze różnią się zasadniczo w kilku punktach, które omówimy nieco obszerniej.

*Naprężenie dopuszczalne w przewodach.* Naprężenia charakterystyczne dla przewodów możemy uszereżować w następującej kolejności:

- 1) normalne naprężenie dopuszczalne,
- 2) granica płynności,
- 3) wytrzymałość długotrwała i
- 4) naprężenie rozrywające (wytrzymałość probiercza).

Trzy ostatnie naprężenia dla każdego materiału można ustalić zapomocą doświadczeń laboratoryjnych. Co się zaś tyczy naprężenia dopuszczalnego, to pojęcie to jest umowne i wymaga pewnego określenia. Określenie naprężenia dopuszczalnego trzeba oprzeć na tem czy innem naprężeniu stałym, a więc na naprężeniu granicy płynności, na naprężeniu wytrzymałości długotrwałej lub też na naprężeniu rozrywającym. Przepisy niemieckie z 1914 r. opierały to określenie na granicy płynności (dla drutów 33,3%, a dla linek 50% granicy płynności), przepisy z 1923 r. — na naprężeniu rozrywającym (dla drutów — 25%, a dla linek 40% naprężenia rozrywającego), wreszcie ostatnie przepisy z 1930 r. oparły na wytrzymałości długotrwałej (dla drutów 35%, a dla linek 50% wytrzymałości długotrwałej).

Nowością w przepisach niniejszych jest sam termin „wytrzymałości długotrwałej” (rocznej), który przeciwstawia się „wytrzymałości probierczej” (minutowej). Rów-

niez nowością zaczerpniętą z ostatnich przepisów niemieckich, jest uzależnienie „normalnego” naprężenia dopuszczalnego” od „wytrzymałości długotrwałej”.

Dawniej było tylko jedno „naprężenie dopuszczalne”. Obecnie przewody musimy liczyć dwukrotnie: 1) na warunki normalne i 2) na katastrofalne. W pierwszym przypadku naprężenie może dojść do wartości dawnego „naprężenia dopuszczalnego”, które obecnie musieliśmy przemianować na „normalne naprężenie dopuszczalne”, w drugim zaś przypadku naprężenie może osiągnąć znacznie wyższą wartość, którą nazwaliśmy „krawcowym naprężeniem dopuszczalnym”.

*Warunki normalne i katastrofalne.* W poprzednich przepisach temperatura  $-30^{\circ}$  C była mrozem największym, a osad 0,8 kg na metr bieżący przewodu był najobfitszą sadzią. Wprawdzie wiedzieliśmy, że mrozy bywają czasami większe i że zdarzają się obfitsze sadzie, to jednak liczyliśmy na pozostawioną rezerwę, na odstęp między naprężeniem dopuszczalnym a rozrywającym.

W przepisach obecnych trzeba było przemianować dawny „mroz największy” na „mroz normalny”, a dawną sadię najobfitszą na „sadię normalną”. Natomiast rzeczywiście największy mroz nazwaliśmy „mrozem katastrofalnym”, a rzeczywiście najobfitszą sadię — „sadią katastrofalną”.

Pojęcie „mrozu katastrofalnego” jest nowością, wprowadzoną tylko do przepisów polskich. Niemcy nie liczą na ten przypadek. Jakkolwiek w przepisach niemieckich zwisy liczone są tylko jeden raz, na warunki normalne, a następnie rozpiętości są tylko „sprawdzane”, to jednak „sprawdzanie” tych rozpiętości jest niczem innym, jak obliczeniem na katastrofalną sadię. W przepisach niniejszych rzecz jest nazwana po imieniu. W dopiskach do § 12 (p. t. „Przewody z miedzi normalnej”) podajemy również tabelę rozpiętości, analogiczną do tabeli z przepisów niemieckich, która co prawda jest obliczona nie na podwójną, lecz na potrójną sadię katastrofalną.

*Sadź.* W przepisach niemieckich już kilka razy zmieniano wzór empiryczny, który ma wyrażać zależność normalnej sadi od średnicy przewodu. Do roku 1914 liczono, że sadi jest proporcjonalna do kwadratu średnicy, potem, że jest prawie proporcjonalna do średnicy, wreszcie — że jest proporcjonalna do pierwiastka drugiej potęgi ze średnicy.

Przepisy polskie 1923 r. oparły się na przepisach szwajcarskich, które uważały, że osady lodowe zupełnie nie zależą od średnicy. Przyjęliśmy, że ciężar sadi wynosi 0,8 kg na metr bieżący przewodu, bez względu na przekrój, i tylko dla bardzo cienkich przewodów (do 16 mm<sup>2</sup> włącznie) uczyniliśmy wyjątek, licząc dla nich po 0,6 kg.

W wydaniu obecnem również nie zastosowaliśmy wzoru niemieckiego

$$0,180 \sqrt{d},$$

gdyż nie opiera się on na żadnych pomiarach, ani doświadczeniach. Skorzystaliśmy natomiast z badań, przeprowadzonych na stacji meteorologicznej na górze Brocken (w górach Harcu, na południe od Hanoweru), które to badania wykazały, że waga osadów lodowych jest proporcjonalna do

$$\sqrt[1,55]{d}.$$

Do przepisów niniejszych wprowadziliśmy wzór

$$0,155 \sqrt[1,55]{d},$$

przyczem współczynnik liczbowy (0,155) został tak obliczony, aby waga sadzi wypadła dla drutu o przekroju 6 mm<sup>2</sup> taka sama, jaką daje wzór niemiecki (0,3 kg).

Dla sadzi katastrofalnej współczynnik liczbowy będzie inny i prawdopodobnie różny dla różnych części kraju. Dopóki badania nie dadzą nam liczb pewnych, dopóty będziemy liczyli, że sadz katastrofalna jest dwa razy obfitsza od normalnej.

*Mróz.* W poprzednich przepisach nazwaliśmy „największym mrozem” temperaŕurę — 30° C. Dziś mamy dwa pojęcia: „mrozu normalnego” i „mrozu katastrofalnego”. Mróz katastrofalny podają pomiary meteorologiczne. W roku 1929 w dziewięciu stacjach meteorologicznych zanotowano temperatury poniżej — 40° C. Co się tyczy „mrozu normalnego”, to wyznaczenie tej sztucznej zresztą granicy zależy od naszego wycucia. Temperatura — 30° C miała rację bytu w poprzednich przepisach, jako temperatura największego mrozu, na mróz zaś normalny jest za niska. Przepisy niemieckie podają temperaŕurę — 20° C. Ponieważ w Polsce klimat jest bardziej surowy, przeto ostatecznie zdecydowaliśmy się na wyznaczenie, jako mrozu normalnego, temperatury — 25° C.

*Odstęp między przewodami.* Wzór empiryczny na odstęp między przewodami składa się z dwóch członów: 1) członu, zależnego od zwisu i 2) zależnego od napięcia linjowego. Ostatnie przepisy niemieckie zmieniły ten drugi człon, który poprzednio był proporcjonalny do drugiej potęgi napięcia, a dziś jest proporcjonalny do pierwszej potęgi. I słusznie. W miarę wzrostu napięcia względ na przeskok iskrowy wymaga zwiększenia odstępu w stosunku linjowym (po 0,67 cm na każdy kilowolt), a nie kwadratowym.



Poprzednia redakcja naszych przepisów miała stary wzór niemiecki, obecna — wzór nowy. Wzór ten daje wartości większe, niż poprzedni.

*Obliczanie słupów.* W sprawie obliczania słupów w ostatnich latach nastąpił przewrót, który odbił się w przepisach Zw. Elektr. Niem. Dawne sposoby obliczania pozostawiono nadal tylko dla słupów mniejszych. Słupy zaś do wielkich linii dalekosiężnych, jak praktyka wykazała, trzeba będzie liczyć na innych zupełnie podstawach. Przedewszystkiem wypadło wytknąć granicę między słupami I-ej kategorii, obliczanymi na obciążenie normalne, a słupami II-ej kategorii, obliczanymi na wypadek pęknięcia przewodu. Okazała się przytem potrzeba wystawienia dwóch granic dopuszczalnego naprężenia: wartości normalnej dla obliczenia normalnego i wartości zwiększonej dla obliczenia na pęknięcie przewodu.

Jakkolwiek cały ten rozdział przepisów niemieckich ma punkty słabe, pewne niekonsekwencje i pewne niedociągnięcia, to jednak wprowadziliśmy go do przepisów niniejszych prawie bez żadnych zmian.

*Dopuszczalne naprężenia dla drzewa.* Przedostatnie przepisy niemieckie wyznaczyły daleko większe naprężenia dla drzewa nasyconego, niż dla nienasyconego. Ulga ta odbyła się kosztem stopnia bezpieczeństwa. Właściciel instalacji wzamian za koszty nasycania drzewa miał pewną rekompensatę w postaci oszczędności na samem drzewie (mniejsze objętości). Takie postawienie sprawy sprzyjało impregnacji.

Ostatnie natomiast przepisy niemieckie wycofały się z tego stanowiska. Powrócono do zasady, że drzewo przez nasyconie jest tylko trwalsze, ale nic nie zyskuje na wytrzymałości; a stopień bezpieczeństwa zawsze powinien być ten sam.

Te same wahania przepisów niemieckich odbiły się w przepisach polskich; redakcja z 1923 roku uprzywilejowała drzewo nasycone, redakcja obecna cofnęła przywileje.

*Wyboczenie.* W dawnych przepisach niemieckich i polskich wyboczenie kształtowników żelaznych ujęte było w dwa wzory: Eulera i Tetmajera — w przepisach niemieckich, a Eulera i Karasińskiego — w przepisach polskich. Naprężenie bezpieczne, obliczone czy to z przepisów niemieckich, czy polskich, miało przebieg niespokojny z raptownym spadkiem na granicy wyboczenia niesprężystego z wyboczeniem sprężystym. Ten spadek spowodowany był założeniem, że w sferze niesprężystej wystarcza stopień bezpieczeństwa 2, podczas gdy w sferze sprężystej liczone z trzykrotnem bezpieczeństwem. Słowem, obliczenie na wyboczenie było trochę sztuczne. Zresztą, operowanie wzorami byłoby uzasadnione, gdyby chodziło o różnorakie

materiały. W tym przypadku wchodzi w grę tylko jeden materiał i wystarczy dla obliczenia na wyboczenie jedna jedyna tablica.

W przepisach niemieckich z 1930 roku podano taką tabelę dla stali zlewnej; tę samą tabelę podają niniejsze przepisy.

Poza zmianami zasadniczymi, wyliczonemi wyżej, wprowadzono jeszcze kilka uzupełnień tudzież zmian redakcyjnych i liczbowych.

## I. Przepisy ogólne i określenia.

Określenie pojęć zasadniczych, jako to określenie „napięcia niskiego i wysokiego”, określenie „uziemiaenia”, „zwarcia” i t. d. podają „Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego” PNE—10, wydane przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

Przepisy powyższe podają również pewne ogólne wytyczne dla linii napowietrznych.

§ 1. *Zakres ważności.* Przepisom niniejszym nie podlegają: 1) linie prądu słabego, 2) linie prądu silnego o napięciu linjowem poniżej 100 V, 3) linie prądu silnego o napięciu wyższym od 100 V, lecz założone przy rozpiętościach, mniejszych od 20 m (np. przewody pod gołem niebem do oświetlenia dziedzińców, ogrodów i t. p., a także „przyłącza domowe”, krótsze od 20 m), wreszcie 4) przewody ślizgowe (np. do tramwajów).

Wyliczone powyżej linie podlegają innym przepisom, przyczem niektóre z nich są już opublikowane, a pozostałe — są w robocie. „Przepisy techniczne na przyłączanie urządzeń elektrycznych do sieci rozdzielczych zakładów elektrycznych użyteczności publicznej” („Monitor Polski” Nr. 269 z dnia 21 listopada 1930 roku), podają wskazówki co do przyłączy domowych, a „Przepisy budowy i ruchu” PNE—10 omawiają między innymi przewody gołe i izolowane pod gołem niebem, na rozpiętości do 20 m.

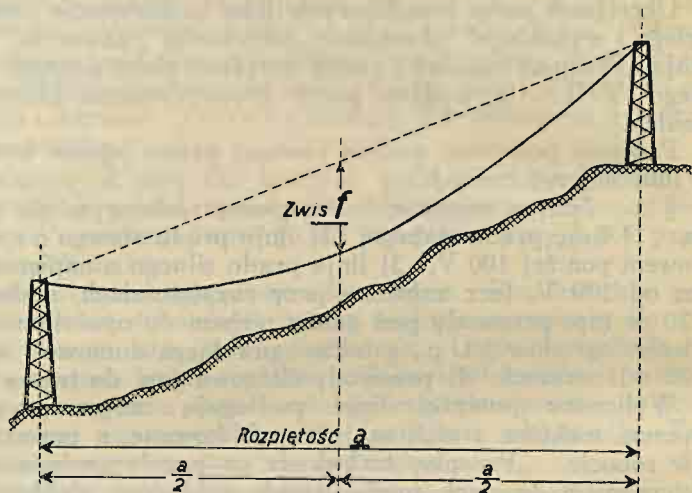
Przepisom niniejszym (§§ 3—17) podlegają wszelkie przewody, zawieszone na wspólnych słupach z linią napowietrzną prądu silnego, a więc zarówno przewody prądów słabych, jak przewody odbojowe, odgromowe, odciągowe i t. p. Przewody prądów słabych korzystać z pewnych ulg, wymienionych w §§ 5, 6. O przewodach tych obszerniej mówią „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 28, 36—39 i dopiski do nich.

W zasadzie do linii napowietrznych używa się przewodów gołych. Przewody izolowane stosowane są tylko wyjątkowo, głównie w sieciach miejskich na skrzyżowaniach i zbliżeniach („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 31, 35, 64, 67). Przewody izolowane są dozwolone tylko w linjach niskiego napięcia (§ 4).

## § 2. Określenie pojęć.

1. *Przewód odbojowy* p. „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 2 p. 1. Przewód odgromowy, zawieszony nad przewodami roboczymi, ma na celu ochronę od przepięć atmosferycznych. Przewód odciągowy (odciążka), rozpięty między słupami, ma na celu przeniesienie naciągu mechanicznego z jednego słupa na drugi.

2. 3. *Rozpiętość i zwis*. Określenie rozpiętości i zwisu jest zupełnie ogólne. Rys. 4 podaje rozpiętość i zwis przy punktach wsporczych, umieszczonych na różnych poziomach.



Rys. 4. Rozpiętość i zwis.

4. *Sadź* p. § 10.

5. *Mróz* p. § 11. tabl. XIII.

6. *Największym zwisem* w przepisach nazywa się w skróceniu „największy zwis w warunkach normalnych” w przeciwstawieniu do „największego zwisu w warunkach katastrofalnych”, który uwzględniałby, zamiast sadzi normalnej, sadzi katastrofalną (p. § 13, tudzież „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 2 p. 10, 30-d, 37-d, 46, 64, 65).

7. *Wytrzymałość drutu*. Dawne przepisy uzależniały naprężenie dopuszczalne od wytrzymałości probierczej, obecne — uwzględniają czynnik „starzenia się materiału” i wyznaczają naprężenia dopuszczalne według wytrzymałości długotrwałej (tabl. IV-a).

8. *Dopuszczalne naprężenie dla przewodów*. Zwisy tak się oblicza, aby przy normalnym mrozie i normalnej sadzi na-



prężenie przewodu nie przekraczało normalnego naprężenia dopuszczalnego, a zwisy przewodów wysokiego napięcia tak się oblicza, aby pozatem przy katastrofalnym mrozie i katastrofalnej sady naprężenie przewodu nie przekraczało krańcowego naprężenia dopuszczalnego.)

Wartości normalnego i krańcowego naprężenia dopuszczalnego podaje § 8.

Dla zabezpieczenia przewodu od pęknięcia na skrzyżowaniu z „obostrzeniem 3-go stopnia” („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 20, 31, 47, 57, 66), a także przy prowadzeniu dwóch torów na wspólnym słupie („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 38) przewody muszą być słabiej naprężane ze z m n i e j s z o n e m dopuszczalnym naprężeniem. Wartości dopuszczalne — p. przepisy niniejsze § 8, „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 3, tabl. IVa, IVb.

9. *Dopuszczone naprężenie w przewodach*, już zawieszonych, jest miarą słabszego, czy silniejszego wyprężenia tych przewodów.

10. *Napięcie linjowe*. W układzie trójprzewodowym prądu stałego napięciem linjowym jest napięcie podwójne, w układzie gwiezdowym — napięcie skojarzone.

11 i 12. *Określenia napięcia niskiego i wysokiego* podają również „Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego” PNE-10, wydane przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

13. *Dopuszczalne naprężenie dla konstrukcyj wsporczych*. Słupy I-ej kategorii (§ 2 p. 14) oblicza się na obciążenie normalne (§ 2 p. 15) i dopuszcza się normalne naprężenie dopuszczalne. Słupy II-ej kategorii oblicza się na obciążenie w razie pęknięcia przewodu i dopuszcza się zwiększone naprężenie dopuszczalne. Na skrzyżowaniu i zbliżeniu przy obostrzeniu 2-go i 3-go stopnia słupy nawet I-ej kategorii oblicza się na pęknięcie przewodu z dopuszczeniem naprężenia zwiększonego („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 14, 24).

14. *Słupy*. Do I-ej kategorii zaliczono słupy do napięć niezbyt wysokich, przy których stosuje się jeszcze izolatory stojące albo tak krótkie izolatory wiszące, że mogą się zmieścić na pojedynczym słupie drewnianym. Kategoria II obejmuje zatem słupy większe, wyższe, tudzież wieże wsporcze.

15. *Obciążenie słupa* p. § 23 i dopisek do tego paragrafu.

---

\*) Dla przewodów z normalnej miedzi twardej to dodatkowe obciążenie nie jest wymagane.

## II. Przewody.

§ 3. *Materiał.* Tablice IVa i IVb zawierają współczynniki fizyczne i wytrzymałościowe różnych materiałów przewodowych. Waga przewodów i rozciągliwość w tablicy IVa obliczone są względem przekroju rzeczywistego, w tablicy zaś IVb — względem przekroju nominalnego (rachunkowego). Wskutek tego w tablicy IVb znajdujemy inne wartości poszczególnych współczynników dla przewodów jednodrutowych, a inne dla wielodrutowych.

Tablica IVa została ułożona na podstawie źródeł niemieckich, IVb — na podstawie źródeł austriackich.

Miedź może być w z o r o w a, czyli chemicznie czysta, i r y n k o w a. Rynkowa miedź pod względem własności mechanicznych dzieli się na miękką (wyżarzona), p ó ł t w a r d ą i t w a r d ą.

Do przewodów napowietrznych najbardziej nadaje się miedź twarda. W przepisach niniejszych podane jest określenie normalnej miedzi twardej, która powinna mieć pewną wyznaczoną wytrzymałość mechaniczną:

dla drutów do 2,8 mm  $\varnothing$  co najmniej 39,2 kg/mm<sup>2</sup>,

dla drutów grubszych co najmniej 37,6 kg/mm<sup>2</sup>

i pewną wyznaczoną przewodność właściwą:

co najmniej 54,45 m/ $\Omega$  mm<sup>2</sup> przy 20° C.

Dla porównania podajemy, że przewodność właściwa „wzorowej miedzi wyżarzanej” wynosi 58 m/ $\Omega$  mm<sup>2</sup> (Normy „Miedź wzorowa wyżarzona” PNE-4).

Tabl. V podaje ciężar probierczy, oporność i wagę drutów z miedzi twardej wg norm niemieckich. Z wartości podanych w tej tablicy wynika, że normy niemieckie wyznaczają wytrzymałość mechaniczną:

dla drutów 1,35—2,8 mm  $\varnothing$  co najmniej 39,3 kg/mm<sup>2</sup>,

dla drutów 3,00—4,5 mm  $\varnothing$  co najmniej 37,73 kg/mm<sup>2</sup>

a przewodność właściwą:

co najmniej 54,13 m/ $\Omega$  mm<sup>2</sup>.

W porównaniu z niniejszymi przepisami polskimi — różnice bardzo nieznaczne.

Glin n o r m a l n y (rynkowy) w przepisach niniejszych jest określony przez wyznaczenie wytrzymałości mechanicznej:

dla drutów do 3,6 mm  $\varnothing$  co najmniej 17,64 kg/mm<sup>2</sup>,

dla drutów grubszych co najmniej 16,92 kg/mm<sup>2</sup>



i przewodności właściwej:

co najmniej  $31,36 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ .

Tabl. V podaje ciężar probierczy, oporność i wagę drutów z glinu wg norm niemieckich. Z wartości, podanych w tej tablicy wynika, że normy niemieckie wyznaczają wytrzymałość mechaniczną:

dla drutów  $1,7\text{—}3,6 \text{ mm } \varnothing$  co najmniej  $17,88 \text{ kg/mm}^2$ ,

dla drutów  $4,0\text{—}4,55 \text{ mm } \varnothing$  co najmniej  $16,97 \text{ kg/mm}^2$ ,

a przewodność właściwą:

co najmniej  $31,44 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ .

W porównaniu z niniejszemi przepisami polskimi — różnica bardzo nieznaczna.

Ze względu na trwałość glin używa się w elektrotechnice tylko w postaci linek. Przepisy austriackie idą dalej i wymagają, aby średnica drutów, wchodzących w skład linki, wynosiła co najmniej  $2 \text{ mm}$ . Przepis ten nie tyczy się jednak linek stalowo-glinowych, w których druty glinowe mogą być cieńsze.

Glinu nie należy używać tam, gdzie grożą wpływy chemiczne od alkali i chloru. Natomiast w pobliżu pieców koksowych glin lepiej się zachowuje od miedzi.

W obostrzeniu 3-go stopnia dla miejscowości z obfitą sadzą przewody glinowe są zabronione („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 16).

Materiały pozanormalne muszą być badane laboratoryjnie. Wybór laboratorium i decyzja, czy dany materiał kwalifikuje się na przewody napowietrzne — należy do władzy, udzielającej pozwolenia na budowę linii.

Miedź miękka nie nadaje się do linii napowietrznych, natomiast półtwarda, może być zastosowana do rozpiętości niewielkich.

Przepisy austriackie dopuszczają stosowanie miedzi półtwardej tylko do napięcia niskiego.

Bronz nadaje się do wielkich rozpiętości. W zasadzie należy unikać bronzu o wytrzymałości probierczej  $70 \text{ kg/mm}^2$ , gdyż materiał ten jest nietrwały i kruchy. W obostrzeniu 3-go stopnia gatunki bronzu o wytrzymałości ponad  $70 \text{ kg/mm}^2$  są zabronione („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 16).

Z licznych stopów glinu, używanych w elektrotechnice („sprealuminium”, „duraluminium”, „aludur”, „montegal”, „almelec” i t. d.), w ostatnich czasach najwięcej się rozpowszechnił „aldrey”.

Aldrey jest to stop  $98,7\% \text{ Al}$ ;  $0,5\% \text{ Mg}$ ;  $0,5\% \text{ Si}$ ;  $0,3\% \text{ Fe}$ . Wg danych fabrycznych (Selve & Co, Thun w Szwajcarii)

spółczynniki fizyczne i wytrzymałościowe tego stopu są następujące:

przewodność właściwa przy  $20^{\circ}\text{C}$  dla drutu  $30\text{ m}/\Omega\text{ mm}^2$ , dla linki  $31\text{ m}/\Omega\text{ mm}^2$ ;

waga 1 m przewodu na  $1\text{ mm}^2$  dla drutu  $g = 0,0027$ , dla linki splecionej z 7 drucików  $g = 0,00274$ , z 19 drucików  $g = 0,00278$ , z 37 drucików  $g = 0,0028$ ;

wydłużalność cieplna na  $1^{\circ}\text{C}$   $\alpha = 0,000023$ ;

rozciągliwość mechaniczna dla drutu  $\beta = 0,000161\text{ mm}^2/\text{kg}$ , dla linki  $\beta = 0,000179\text{ mm}^2/\text{kg}$ ;

wytrzymałość probiercza dla drutu  $31,5\text{ kg}/\text{mm}^2$ , dla linki  $30\text{ kg}/\text{mm}^2$ ;

wytrzymałość długotrwała  $26\text{ kg}/\text{mm}^2$ ;

normalne naprężenie dopuszczalne dla linki wg przepisów polskich  $13\text{ kg}/\text{mm}^2$ .

Przewody z miedziostali (rdzeń ze stali, powłoka z miedzi) występują w dwóch wykonaniach: 1) z grubą powłoką miedzianą i 2) z cienką powłoką. Pierwsze — odgrywają rolę zwykłych przewodów do przesyłania prądu, przyczem rdzeń stalowy ma na celu wzmoczenie wytrzymałości. Przewody zaś z cienką powłoką nadają się na przewody odbojowe, odgromowe, pomiarowe i t. p., przyczem powłoka miedziana służy jako ochrona stali od rdzewienia.

Linka stalowo-glinowa (wewnętrzna linka ze stali, sploty zewnętrzne z glinu) znajduje co raz to większe zastosowanie. W Niemczech znormalizowano linki stalowo-glinowe, przyczem oznaczono je numerami w ten sposób, że np. w lince Nr. 35 przewodność samych drutów glinowych jest taka sama, jak linki miedzianej o przekroju  $35\text{ mm}^2$ . Tablice VI, VII i VIII, zaczerpnięte z norm niemieckich, podają ustrój linek stalowo-glinowych, średnice zewnętrzne, przekroje, wagę tudzież dla pojedynczych drucików stalowych — ciężar probierczy i wagę.

Spółczynniki fizyczne, potrzebne do obliczania zwisów (waga przewodu na 1 m długości i  $1\text{ mm}^2$  przekroju, wydłużalność cieplna, rozciągliwość mechaniczna) i współczynniki wytrzymałościowe (wytrzymałość, dopuszczalne naprężenie) dla przewodów dwumetalowych (linka stalowo-glinowa, miedziostal i t. d.) oblicza się jako wartości średnie ze współczynników poszczególnych metali, uwzględniając przytem stosunek przekrojów jednego metalu do drugiego. Takie wartości średnie podają dla linek stalowo-glinowych tabl. IVa i IVb. W obostrzeniu 3-go stopnia jednak należy liczyć zwis linek stalowo-glinowych nie wg tych wartości średnich, lecz z przypuszczeniem,

że właściwą linką jest tylko rdzeń stalowy, glin zaś uważać za obciążenie dodatkowe, narówni z sadzią („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 20).

*Stal*, jako materiał magnetyczny, ma bardzo małe zastosowanie w linjach napowietrznych prądu silnego. Nadaje się właściwie tylko do prądów słabych, na przewody odbojowe, odciągowe i odgromowe. Poza tem, wymaga trwałej powłoki (z cynku, miedzi), któraby chroniła od rdzy. Jak uczy doświadczenie, średnica drutu stalowego albo średnica poszczególnych drutów w lince nie powinna być cieńsza od 3 mm, każdy drut powinien być ocynkowany w ogniu (inne sposoby cynkowania, jak elektroliczny lub przez natryski dają gorsze wyniki), wreszcie cała linka powinna być pociągnięta specjalnym lakierem. Ponieważ przewody stalowe pomimo tych zabiegów z biegiem czasu rdzewieją, przeto trzeba je od czasu do czasu rewidować i lakierować.

W zasadzie, stal używa się do prądów silnych w postaci linki. Stosowanie drutów stalowych jest ograniczone przepisem § 6. W obostrzeniu 3-go stopnia stal może być stosowana tylko w postaci linek uziemieńnych i tylko w miejscach, nienarażonych na wyziewy chemiczne.

Gatunki stali miękkiej o małej wytrzymałości, które dotychczas nazywano żelazem, obecnie noszą ogólną nazwę stali.

Powłokę cynkową w przewodach stalowych bada się dwoma sposobami.

Sposób 1-szy. Drut ocynkowany nawija się na walec o średnicy równającej się 10-ciokrotnej średnicy drutu. Powłoka nie powinna pękać ani odpryskiwać.

Sposób 2-gi. Drut ocynkowany myje się szczotką w wodzie, zanurza w roztworze siarczanu miedzi (1 część  $\text{Cu SO}_4$  na 5 części  $\text{H}_2\text{O}$ ) na przeciąg jednej minuty, znów myje się, zanurza i t. d. Po kilkakrotnem powtórzeniu tego zabiegu powłoka nie powinna przeświecać. Przepisy niemieckie wymagają od drutów o średnicy do 2,5 mm włącznie 6-ciokrotnego zanurzenia, od drutów o większej średnicy — 7-miokrotnego. Przepisy austriackie są łagodniejsze; liczba zanurzeń wg nich ma wynosić dla drutów o średnicy do 1,6 mm włącznie — 2, do 2 mm — 3, do 2,5 mm — 4, do 3,1 mm — 5, do 4,2 mm — 6, wreszcie do 6 mm — 7.

§ 4. *Przewód izolowany*. Wg norm PNE przewód ogumowany i odporny na wpływy atmosferyczne oznacza się literami DGa (drut) LGa (linka).

Przewód izolowany przy wysokiem napięciu jest zabroniony, gdyż wobec nietrwałości warstw izolacyjnych, wystawionych na wpływy atmosferyczne, byłby niebezpieczny i zdradli-



wy. Natomiast przewód goły może być pomalowany np. lakierem odpornym na wpływy zewnętrzne (gazów żrących).

Zastosowanie przewodu izolowanego p. „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 31, 64.

§ 5. *Najmniejszy dozwolony przekrój.* Przygodne obciążenia dodatkowe (np. spadający z dachów śnieg, oberwane gałęzie i t. p.) bardziej są dotkliwe dla przewodów cienkich, niż dla grubych. Stąd wynika przepis, wyznaczający pewne najmniejsze przekroje dozwolone.

Najmniejszy dozwolony przekrój zależy nie tylko od wytrzymałości, ale i od kruchości danego materiału. Jakkolwiek brąz ma większą wytrzymałość od miedzi twardej, a stopy glinu (np. aldrej) mają większą wytrzymałość od glinu, to jednak, ze względu na kruchość, najmniejszy dozwolony przekrój dla brązu jest taki sam, jak dla miedzi twardej, a dla stopów glinu — taki sam, jak dla glinu.

Praktyka ostatnich lat dała niekorzystne wyniki dla przewodów stalowych, które pomimo wielkiej wytrzymałości probierczej pękały wskutek kruchości materiału, a częściowo wskutek rdzewienia. To też przepisy niniejsze przy wyznaczaniu najmniejszego dozwolonego przekroju są dla stali wyjątkowo surowe.

Dla wysokich napięć najmniejsze dozwolone przekroje mają wartości większe, niż dla napięć niskich, ze względu na to, że pęknięcie przewodu wysokiego napięcia grozi niebezpieczeństwem życia ludzkiemu.

Najmniejsze dozwolone przekroje dla miedzi pozanormalnej (np. miękkiej lub półtwardej) mogą być obliczone z wytrzymałości probierczej. Np. miedź miękka o wytrzymałości probierczej  $22 \text{ kg/mm}^2$  wymaga przekroju co najmniej

$$380 : 22 = 17,3 \approx 16 \text{ mm}^2,$$

a przy napięciu niskim i przy rozpiętościach do 35 m, co najmniej

$$228 : 22 = 10,4 \approx 10 \text{ mm}^2.$$

Przewody prądu słabego z brązu i stali, zawieszone na wspólnych słupach z przewodami prądów silnych, korzystają z ulg i mogą być obliczone z wytrzymałości probierczej. Np. dla brązu o wytrzymałości probierczej  $64 \text{ kg/mm}^2$  najmniejszy dozwolony przekrój przewodu prądu słabego wyniesie

$$380 : 64 = 5,9 \approx 6 \text{ mm}^2,$$

a dla stali o wytrzymałości  $150 \text{ kg/mm}^2$

$$380 : 150 \approx 2,5 \text{ mm}^2.$$

Tabl. IX podaje najmniejsze dozwolone przekroje dla różnych przewodów. Dozwolone przekroje na skrzyżowaniu i zbliżeniu podają „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 5, 10, 17.

Przewody miedziane gołe niskiego napięcia pod gołem niebem, przy rozpiętości nie większej od 20 m, mogą mieć wg „Przepisów budowy i ruchu” PNE-10 przekrój 4 mm<sup>2</sup>. Przepisy rządowe na przyłączenia urządzeń do sieci rozdzielczych są ostrzejsze; dla miedzianych przewodów gołych niskiego napięcia wymagają bez względu na rozpiętość przekroju 6 mm<sup>2</sup>, a dla izolowanych — 4 mm<sup>2</sup> (§ 4 punkt 1).

§ 6. *Przewód jednodrutowy.* Druty grubsze wytrzymują większe naprężenie, niż cieńsze. Linki, skręcone z wielu cienkich drucików, są mniej narażone na pęknięcie, niż drut o tym samym przekroju. Wskutek tego, przepisy ograniczają zastosowanie przewodów jednodrutowych, szczególnie przy większych rozpiętościach.

Tabl. X podaje granice dozwolonych przekrojów dla przewodów jednodrutowych. Na skrzyżowaniach i zbliżeniach przepisy obostrzające jeszcze bardziej ograniczają zastosowanie drutów („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 6, 11, 18).

§ 7. *Przewód wielodrutowy.* Tabl. XI zaczerpnięta z norm niemieckich, podaje ustrój i wagę linek z miedzi, glinu i stali.

§ 8. *Dopuszczalne naprężenie.* Dla przykładu obliczymy naprężenie dopuszczalne dla drutu z brązu o wytrzymałości probierczej 64 kg/mm<sup>2</sup> i o wytrzymałości długotrwałej 52 kg/mm<sup>2</sup>.

Dopuszczalne naprężenie normalne	0,35.52=18,2 kg/mm <sup>2</sup> ,
a naprężenie krańcowe	1,00.52=52 kg/mm <sup>2</sup> .

Inny przykład: stal o wytrzymałości probierczej 70 kg/mm<sup>2</sup> i o niewiadomej wytrzymałości długotrwałej. Wytrzymałość długotrwałą szacujemy w przybliżeniu na 0,8.70=56 kg/mm<sup>2</sup>.

Dopuszczalne naprężenie normalne	0,35.56=19,6 kg/mm <sup>2</sup> ,
a naprężenie krańcowe	1,00.56=56 kg/mm <sup>2</sup> .

Dopuszczalne naprężenia dla różnych materiałów przewodowych podaje tabl. IVa.

§ 9. *Złącze.* Złącza mogą być wykonane przez obwój drutem wiążątkowym, przez splecenie obu końców linek lub przez zastosowanie złączek. Złącza, wystawione na naciąg, nie mogą być lutowane, gdyż miedź twarda, półtwarda, tudzież brąz przy nagrzaniu tracą na wytrzymałości. Wymaganą wytrzymałość 90% można z łatwością osiągnąć zapomocą złączek nitowanych, karbowanych lub złączek stożkowych.

Złączka powinna być wykonana z tego samego metalu co przewód albo z takiego stopu, który w zetknięciu z przewodem nie tworzy ogniwa galwanicznego. Miedź z brązem, miedź z cyną, a także stal z cynkiem nie tworzą ogniwa, natomiast miedź z glinem i miedź ze stałą podczas wilgoci wytwarzają prąd gal-

waniczny, który niszczy przewód i zmniejsza jego wytrzymałość mechaniczną.

Do łączenia przewodu glinowego z miedzianym służą specjalne złączki, wykonane z obu tych metali, przyczem miejsce styku jest specjalnie zabezpieczone od wilgoci.

§ 10. *Sadź.* Przy niewielkich mrozach przewody, tak jak gałęzie drzew, pokrywają się osadami śnieżnymi lub lodowymi. Zjawisko to <sup>1)</sup> nazywamy *sadzią*. Waga osadów bywa rozmaita. Ostatnie badania, przeprowadzone w tej sprawie w jednej ze stacyj meteorologicznych <sup>2)</sup> w Niemczech, wykazały, że waga osadów dochodzi do kilku kilogramów na 1 metr długości rozpiętego przewodu. W porównaniu do wartości, obliczonych ze wzoru przepisów niemieckich, rzeczywista waga osadów była kilkanaście razy większa. Badania te wykazały, że ze wzrostem średnicy przewodu  $d$  wzrasta waga osadów proporcjonalnie do

$$1,55 \sqrt{d}.$$

Opierając się na tych wynikach, wprowadzono do przepisów niniejszych następujący wzór do obliczania (w kg) wagi osadów lodowych na 1 m długości przewodu o średnicy  $d$  (w mm):

$$k \cdot \sqrt[1,55]{d},$$

przyczem  $k$  jest pewnym stałym współczynnikiem liczbowym.

Sadzią *normalną* w niniejszych przepisach nazwano taką, przy której waga osadów oblicza się ze wzoru

$$0,155 \sqrt[1,55]{d}.$$

Jeżeli porównamy wzór ten ze wzorem przepisów niemieckich na *sadź normalną*, to przekonamy się, że dla drutów o przekroju 6 mm<sup>2</sup> oba te wzory dają akurat te same wartości (0,3 kg). Przy większych natomiast przekrojach wzór polski daje nieco większe wartości, niż wzór niemiecki; przy 120 mm<sup>2</sup> różnica dochodzi już do 27%.

Tabl. XII podaje wagę *sadzi normalnej*, obliczoną wg przepisów niniejszych.

<sup>1)</sup> Meteorolodzy rozróżniają cztery zjawiska: 1) szron (Reif), 2) *sadź nieszkodliwa* (Rauhreif) — ciężkość właściwa osadu około 0,2, 3) *sadź* (Raufrost) i 4) *gołoledź* (Raueis) — ciężkość właściwa osadu około 0,8.

<sup>2)</sup> Stacja meteorologiczna na górze Bröcken, w górach Harcu, na południe od Hannoveru.



Zależnie od warunków klimatycznych, w różnych częściach kraju sędź katastrofalna ma rozmaitą obfitość. Innemi słowy, współczynnik  $k$  do obliczania sędzi katastrofalnej ma różne wartości dla różnych części kraju.

Sędź występuje obficie w okolicach obszernych wód, na terenach błotnistych i w górach na poziomie obłoków zimowych.

Dopóki nie będą pomierzone wagi sędzi krytycznej dla różnych części kraju, dopóty będziemy liczyli, że sędź katastrofalna jest w całej Polsce dwa razy obfitsza od normalnej.

Przepisy austriackie wymagają, aby napężenie przewodu nie przekraczało wytrzymałości probierczej przy sędzi katastrofalnej o wadze pięciokrotnej w porównaniu z sędzią normalną.

§ 11. *Mróz.* W okresie od 1886 do 1928 r. na ziemiach polskich rzadko kiedy notowano temperaturę niższą od  $-25^{\circ}\text{C}$ , a temperatura  $-32^{\circ}\text{C}$  mogła być uważana za mróz najsilniejszy („Zależność urządzeń elektrycznych od klimatu”. Stanisław Wysocki; „Przegl. Techn.” 1906 r. Nr. 25). Rok 1929 przyniósł mrozy wyjątkowo wielkie. W okresie od 8 do 11 lutego w dziewięciu stacjach meteorologicznych zanotowano temperatury poniżej  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Tabl. XIII podaje najniższe temperatury, jakie zanotowano dotychczas w 112 powiatach. Dane te opierają się na obserwacjach, prowadzonych w 185 stacjach meteorologicznych. Zamiat nazw powiatów, podano odpowiednie nazwy miast, a więc np. „Białystok” ma oznaczać „powiat białostocki” i t. d.

Przy projektowaniu linii można korzystać z tabl. XIII w sposób następujący. Jeżeli linja przechodzi przez kilka powiatów, odczytuje się z tablicy temperatury, podane dla tych powiatów, i wybiera się z nich temperaturę najniższą. Będzie to mróz katastrofalny dla całej linii. Jeżeli niema w tablicy żadanego powiatu, odczytuje się temperaturę powiatu sąsiedniego lub najbliższego.

§ 12. *Zwis.* Przewody można wyprężać silniej lub słabiej, byleby tylko napężenie w warunkach normalnych nigdy nie przekroczyło normalnego napężenia dopuszczalnego, a w warunkach katastrofalnych — krańcowego napężenia dopuszczalnego. Gdy przewody są wyprężone najsilniej, to „napężenie dopuszczone” (§ 2 p. 9) równa się „normalnemu napężeniu dopuszczalnemu”. Przewody są tem słabiej wyprężone, im większa jest różnica między napężeniem dopuszczalnym, a napężeniem dopuszczonym.

Jeżeli chodzi o zabezpieczenie pewnego przewodu od pęknięcia, to wyprężamy go słabiej. Np. w przesłach skrzyżowania wszystkie przewody, podlegające obostrzeniu 3-go stopnia, tak wyprężamy, aby „napężenie dopuszczone” równało się lub było mniejsze od „zmniejszonego napężenia dopuszczalnego” („Przep. techn. na zbliz. i skrzyż.” §§ 3, 20).



stan 2 (montaż):

$$p_2 = ? \text{ kg/mm}^2; g_2 = 0,0089 \text{ kg/m. mm}^2; t_2 = +10^\circ \text{C.}$$

Z równania

$$p_2 - \frac{35^2 \cdot 0,0089^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot p_2^2} = 19 - \frac{35^2 \cdot 0,0089^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot 19^2} - \frac{0,000017}{0,000077} (10 + 25)$$

znajdujemy naprężenie  $p_2 = 11,52 \text{ kg/mm}^2$ .

Przypadek b) Obliczenie na sadź normalną:

$$g \text{ z sadzią normalną} = 0,0089 + \frac{0,510}{25} = 0,0293 \text{ kg/m. mm}^2;$$

stan 1 (sadź norm.):

$$p_1 = 19 \text{ kg/mm}^2; g_1 = 0,0293 \text{ kg/m. mm}^2; t_1 = -5^\circ \text{C};$$

stan 2 (montaż):

$$p_2 = ? \text{ kg/mm}^2; g_2 = 0,0089 \text{ kg/m. mm}^2; t_2 = +10^\circ \text{C.}$$

Z równania

$$p_2 - \frac{35^2 \cdot 0,0089^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot p_2^2} = 19 - \frac{35^2 \cdot 0,0293^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot 19^2} - \frac{0,000017}{0,000077} (10 + 5)$$

znajdujemy naprężenie  $p_2 = 14 \text{ kg/mm}^2$ .

Z dwóch obliczonych wartości  $p_2$ , mniejsza wartość decyduje, a więc

$$p_2 = 11,52 \text{ kg/mm}^2;$$

odpowiedni zwis wynosi

$$f_2 = \frac{35^2 \cdot 0,0089}{8 \cdot 11,52} = 0,119 \text{ m.}$$

*Rozpiętość przełomowa* jest to taka rozpiętość, przy której przewód osiąga to samo naprężenie przy mrozie, co przy sadzi. Przy rozpiętości mniejszej od przełomowej większe naprężenia występują podczas mrozu, przy rozpiętości zaś większej od przełomowej — występują podczas sadzi.

Inne są rozpiętości przełomowe przy obliczaniu na normalny mróz, normalną sadź i normalne naprężenie dopuszczal-



ne, a inne — przy obliczaniu na katastrofalny mróz, katastrofalną sadź i krańcowe naprężenie dopuszczalne.

Tabl. XIV podaje rozpiętości przełomowe dla normalnej miedzi twardej przy obliczaniu na  $-25^{\circ}\text{C}$ , normalną sadź i normalne naprężenie dopuszczalne.

Powyższy przykład liczbowy można byłoby rozwiązać z daleko mniejszym nakładem pracy, znając rozpiętość przełomową. A mianowicie, posiłkując się tabl. XIV, znaleźlibyśmy, że rozpiętość przełomowa dla linki z normalnej miedzi twardej wynosi 60,8 m. Ponieważ rozpiętość w naszym przykładzie wynosi 35 m, a więc jest mniejsza od przełomowej, przeto większe naprężenie występuje przy mrozie, niż przy sadzi. Niema zatem potrzeby obliczania na przypadek b), a obliczenie na przypadek a) od razu daje odpowiedź.

*Przykład 2-gi. Zwis przy napięciu wysokiem.* Buduje się linja wysokiego napięcia z przewodu wielodrutowego (linki) z normalnej miedzi twardej o przekroju  $25\text{ mm}^2$ ; rozpiętość 35 m; montaż odbywa się przy temperaturze  $+10^{\circ}\text{C}$ ; z jak wielkim zwisem należy linkę wyprężyć przy montażu?

Pierwszy etap obliczenia jest taki sam, jak przy napięciu niskiem (p. przykład 1-szy).

Drugi etap. Sprawdzamy, czy krańcowe naprężenie dopuszczalne —  $34\text{ kg/mm}^2$  (tabl. IVa) nie będzie przekroczone ani przy mrozie katastrofalnym — przypuścmy  $-40^{\circ}\text{C}$ , ani przy sadzi katastrofalnej —  $2 \times 510 = 1020\text{ g}$  na metr bieżący.

P r z y p a d e k c) Mróz katastrofalny:

stan 1 (mróz norm.):

$$p_1 = 19\text{ kg/mm}^2; g_1 = 0,0089\text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2; t_1 = -25^{\circ}\text{C};$$

stan 2 (mróz katastrofalny):

$$p_2 = ?\text{ kg/mm}^2; g_2 = 0,0089\text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2; t_2 = -40^{\circ}\text{C}.$$

Z równania

$$p_2 - \frac{35^2 \cdot 0,0089^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot p_2^2} = 19 - \frac{35^2 \cdot 0,0089^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot 19^2} - \frac{0,000017}{0,000077} (-40^{\circ} + 25^{\circ})$$

znajdujemy  $p_2 = 22,5\text{ kg/mm}^2$ .

P r z y p a d e k d) Sadź katastrofalna:

$$g \text{ z sadzią katastr.} = 0,0089 + \frac{1,020}{25} = 0,0497\text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2;$$

stan 1 (mróz norm.):

$$p_1 = 19\text{ kg/mm}^2; g_1 = 0,0089\text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2; t_1 = -25^{\circ}\text{C};$$

stan 2 (sadz katastr.):

$$p_2 = ? \text{ kg/mm}^2; \quad g_2 = 0,0497 \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2; \quad t_2 = -5^\circ \text{C}.$$

Z równania

$$p_2 - \frac{35^3 \cdot 0,0497^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot p_2^2} = 19 - \frac{35^3 \cdot 0,0089^2}{24 \cdot 0,000077 \cdot 19^2} - \frac{0,000017}{0,000077} (-5^\circ + 25^\circ),$$

znajdujemy  $p_2 = 22,2 \text{ kg/mm}^2$ .

Ponieważ naprężenie ani przy katastrofalnym mrozie ( $22,5 \text{ kg/mm}^2$ ), ani przy katastrofalnej sadzi ( $22,2 \text{ kg/mm}^2$ ) nie przekracza dopuszczalnego naprężenia  $34 \text{ kg/mm}^2$ , przeto znalezione wyniki z przykładu 1-go będą ważne również i dla naprężenia wysokiego.

Podczas montażu przy  $+10^\circ \text{C}$  naprężenie ma wynosić  $11,52 \text{ kg/mm}^2$ , a zwis —  $0,119$  metra.

*Przewody z normalnej miedzi twardej.* W przykładzie 2-im wypadło, że zwis obliczony na warunki normalne był wystarczający i na warunki katastrofalne. Można dowieść, że przewód z normalnej miedzi twardej, który w warunkach normalnych nie przekracza normalnego naprężenia dopuszczalnego, nigdy nie przekroczy krańcowego naprężenia przy podwójnej sadzi w warunkach krytycznych. Stąd wypływa wniosek, że przy założeniu podwójnej sadzi dla przewodów z miedzi twardej wystarczy tylko jedno obliczenie na warunki normalne. Podane niżej tabele naprężeń i zwisów (XV—XIX), ważne są wobec tego zarówno dla prądów niskiego napięcia, jak wysokiego.

Inaczej rzecz się będzie miała z temi samymi przewodami z miedzi twardej, jeżeli dopuścimy możliwość obfitszej sadzi katastrofalnej. W tym przypadku dla każdego przekroju będziemy mogli obliczyć taką rozpiętość (oznaczymy ją literą  $a_w$ ), poniżej której wystarczy obliczenie na warunki normalne, a powyżej — wystarczy obliczenie na warunki krytyczne. Innemi słowy, przy rozpiętościach mniejszych od  $a_w$  warunki katastrofalne nie są groźne, a przy rozpiętościach większych — naprężenie montażowe musi być obliczone właśnie na katastrofalną sadź.

Dla przykładu podajemy, że przy potrójnej sadzi katastrofalnej i przy krańcowem naprężeniu dopuszczalnym  $34 \text{ kg/mm}^2$  rozpiętości  $a_w$  dla linek z normalnej miedzi twardej są następujące:

$$\begin{aligned} s \text{ w mm}^2 &= 16; \quad 25; \quad 35; \quad 50; \quad 70; \quad 95; \quad 120. \\ a_w \text{ w m} &= 112,7; \quad 157,4; \quad 203; \quad 270,6; \quad 370,8; \quad 523,2; \quad 787. \end{aligned}$$

Dla bezpieczeństwa poleca się nie wyznaczać większych rozpiętości niż  $a_w$ .

§ 13. *Wysokość zawieszenia.* Przepis omawia najmniejszą dopuszczalną wysokość przewodu, będącego pod napięciem; przewody zaś pozbawione napięcia (uziemione zerowe lub uziemione odbojowe) mogą być zawieszone niżej. Jeżeli na wspólnych słupach wiszą przewody wysokiego napięcia tudzież niskiego napięcia lub prądów słabych, to przewód położony najniżej, chociażby prowadził niskie napięcie lub prądy słabe musi odstawać od powierzchni ziemi co najmniej o 6 m w warunkach normalnych i co najmniej o 4,5 m podczas sady katastrofalnej.

Paragraf niniejszy omawia również wysokość zawieszenia przewodów nad „drogami o ruchu kołowym”. Jest tu mowa o wszelkich drogach lądowych, zarówno publicznych, jak niepublicznych. Przepisy austriackie w drodze wyjątku dopuszczają odstęp 5-cio metrowe nad drogami, po których nie jeżdżą wozy „wysoko naładowane”.

W „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” omówione są wysokości zawieszenia przewodów nad publicznymi drogami komunikacyjnymi (§ 65 — nad publicznymi drogami lądowymi, § 46 — nad publicznymi torami kolejowymi, § 56 — nad publicznymi drogami wodnymi, wreszcie § 64 — nad budynkami). Zestawienie najmniejszych dozwolonych wysokości zawieszenia podaje tabl. XXVI.

Wysokości, podane w niniejszym paragrafie, są ważne dla napięć linowych do 100 kV włącznie. Przy wyższych napięciach należy wysokości powiększyć, licząc na każdy dodatkowy kilowolt po 0,67 cm.

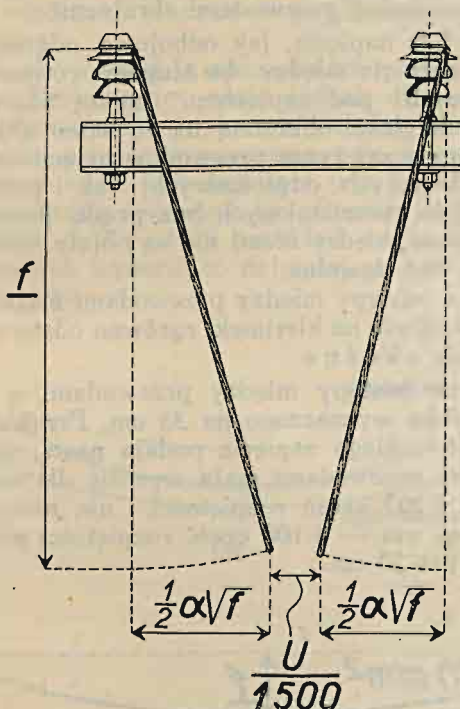
Przewody gołe niskiego napięcia pod gołym niebem, przy rozpiętości nie większej od 20 m. mogą wg „Przepisów budowy i ruchu” PNE-10 (§ 25 p. 13) odstawać od ziemi na wysokość 3 m, a nad chodnikiem lub jezdnią — 5 m. Tych samych odstępów wymagają przepisy rządowe od napowietrznych przyłączy niskiego napięcia na rozpiętości do 20 m (§ 4 p. 2). Na tym punkcie przepisy austriackie są daleko łagodniejsze. Przy wejściu bowiem do niskich domków na skrzyżowaniu z chodnikiem dla pieszych lub z ogródkiem domowym, dopuszczają odstęp 3,5 m od ziemi. Dzięki temu unika się kosztownych stojaków domowych.

§ 14. *Odstęp między przewodami.* Poziomy odstęp między przewodami powinien być tak wielki, aby nie mógł powstać przeskok iskrowy w warunkach nawet najniekorzystniejszych (rys. 5): przy największym zwisie  $f$ , przy najsilniejszym wietrze i przy niezgodnym kołysaniu się obu przewodów (jeden — w lewo, drugi — w prawo). Rys. 5 przedstawia przekrój



na środku przęsła dwóch sąsiednich przewodów w chwili największego zbliżenia.

Wzór empiryczny na obliczenie odstepu  $b$  składa się z dwóch członów; pierwszy z nich, zależny od zwisu  $f$ , jest przeznaczony na pokrycie podwójnej amplitudy (p. rys. 5) kołysania się przewodu na środku przęsła; drugi człon, proporcjonalny do napięcia  $U$ , wyznacza po 0,67 cm na każdy kilowolt napięcia międzyprzewodowego i ma zabezpieczyć linię od przeskoków iskrowych.



Rys. 5. Odstęp poziomy między przewodami.

Spółczynnik  $\alpha$  w pierwszym członie wzoru przewiduje silniejsze kołysanie się przewodów lekkich w porównaniu z ciężkimi; stosunek amplitudy przewodu lżejszego do amplitudy przewodu cięższego oszacowano na 10:7,5. Linki stalowo-glinowe, w których waga rdzenia stalowego wynosi więcej niż 30% wagi całej linki, zalicza się do przewodów ciężkich. Linki wydrażone, a więc puste w środku, należy traktować jak przewody lekkie.

Wartość  $f$  jest właściwie długością wahadła. Dla linii o izolatorach stojących — jest zwisem samego przewodu, dla

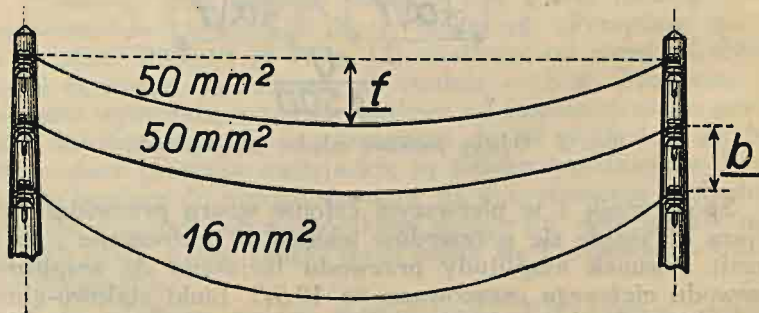
linji zaś o izolatorach wiszących — jest sumą długości łańcucha izolatorowego i zwisu samego przewodu.

Co się tyczy napięcia  $U$ , występującego w drugim członie wzoru, to ma ono być napięciem linjowym (§ 2 p. 10). A więc np. odstęp między przewodem skrajnym a zerowym w układzie trójprzewodowym prądu stałego musi być obliczony na napięcie podwójne, panujące między przewodami skrajnymi. W układzie gwiazdowym odstęp między przewodem skrajnym a zerowym musi być obliczony na napięcie skojarzone tak samo, jak odstęp między przewodami skrajnymi.

Przewody bez napięcia, jak odbojowe, odgromowe i odciągowe, o ile są rozpięte między obu słupami, równoległe do przewodów, będących pod napięciem, muszą odstawać od tych ostatnich na odległość, obliczoną na to samo napięcie linjowe (§ 2 p. 10). Co się zaś tyczy przewodów uziemionych, będących bez prądu (odbojowych, odgromowych), jak i pod prądem (zerowych), a także nieuziemionych bez prądu (odciągowych), to odstępy wzajemne między nimi nie są objęte niniejszemi przepisami i mogą być dowolne.

Zasadniczo, odstępy między przewodami mają mieć te same wartości, bez względu na kierunek, zarówno *o d o s t ę p y* *p o z i o m e*, jak *s k o ś n e*.

Najmniejsze odstępy między przewodami o napięciu poniżej 3000 woltów wyznaczono na 35 cm. Przepisy austriackie dla przewodów niskiego napięcia podają następujące prawidło. Odstępy między przewodami mają wynosić dla miedzi, brązu, stali i żelaza  $1/100$  część rozpiętości, nie mniej jednak, niż 20 cm, dla glinu zaś —  $1/100$  część rozpiętości plus 10 cm, nie mniej jednak, niż 30 cm.



Rys. 6. Linja o przewodach, zwisających niejednakowo.

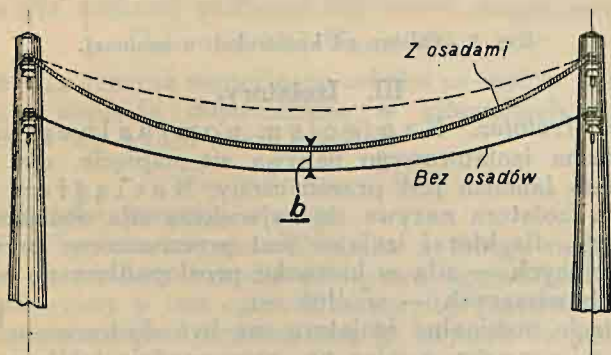
Gdy wypadnie zawiesić na wspólnych słupach przewody o różnych zwisach, to w zasadzie należy prowadzić przewód bardziej zwisający — dołem (rys. 6). W tym przypadku odstęp

pionowy między temi przewodami może być nawet obliczony na zwis mniejszy (na rys. — *f*).

Gorzej będzie przy odwrotnym układzie, gdy przewód bardziej zwisający znajdzie się nad przewodem mniej zwisającym. W tym przypadku trzeba będzie przewody tak rozmieścić, aby odstęp pionowy między nimi, mierzony na środku przęsła, przy największych zwisach, wynosił co najmniej wartość *b*, obliczoną ze wzoru na zwis większy.

Odstęp pionowy między obcemi sobie przewodami, zawieszonemi na wspólnych słupach — p. „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 37.

Przepisy nie wymagają sprawdzania odstępów na wypadki katastrofalne. Projektujący może jednak dla większego upewnienia się obliczyć odstęp pionowy między przewodami, mierzony na środku przęsła w momencie, gdy przewód górny ugnie się pod ciężarem sady katastrofalnej (rys. 7), a przewód dolny uwolni się od osadów lodowych (p. „Dopiski do przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 2 p. 10 i przykład 4-ty). Odstęp powinien w tych warunkach wynosić co najmniej po 0,67 cm na kilowolt napięcia linjowego.



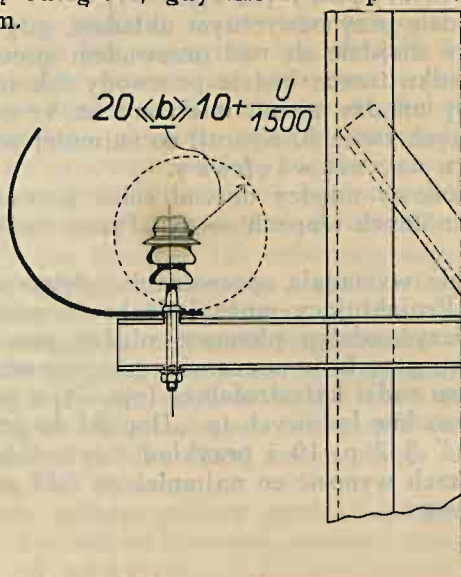
Rys. 7. Odstęp pionowy przy opadaniu osadów lodowych.

§ 15. *Odstęp między przewodem a konstrukcją wsporczą.* Przy samym słupie przewód jest unieruchomiony, to też odstęp między przewodem a konstrukcjami wyrażają się wzorem, niezależnym od zwisu. Chodzi tu głównie o odległość między przewodem a samym słupem, poprzecznikiem, kabłąkiem chwytynym (rys. 8), odciążką skośną i t. d.

W paragrafie niniejszym jest mowa o odstępach między przewodem a konstrukcją wsporczą. Takie same odstępy powinny być zachowane między konstrukcją wsporczą a każdym punktem, będącym pod napięciem. A więc np. kraweźdź górnego



klosza w stojącym izolatorze musi być oddalona od konstrukcji na przepisaną odległość, gdy klosz ten podczas deszczu jest pod napięciem.



Rys. 8. Odstęp od konstrukcji uziemionej.

### III. Izolatory.

§ 16. *Izolator.* Napięciem nominalnem izolatora lub łańcucha izolatorowego nazywa się napięcie, dla którego izolator lub łańcuch jest przeznaczony. Naciągami nominalnymi izolatora nazywa się największa siła obciążenia mechanicznego, dla której izolator jest przeznaczony; przy izolatorach stojących — siła w kierunku prostym do osi, przy izolatorach wiszących — wzdłuż osi.

Napięcie nominalne izolatora ma być dostosowane do napięcia linjowego, a więc np. przy prądzie trójfazowym — do napięcia skojarzonego. W pracy normalnej izolator jest wystawiony na napięcie niższe od linjowego, np. przy prądzie trójfazowym — na napięcie gwiazdowe, gdyż między przewodem a uziemionym trzonem (w izolatorze stojącym) lub uziemionym wieszakiem (w izolatorze wiszącym) panuje napięcie gwiazdowe. Przepis wymaga jednak dostosowania izolatora do napięcia skojarzonego, licząc na wypadek zwarcia z ziemią jednego z przewodów. W tym bowiem wypadku izolatory obu pozostałych przewodów będą wystawione na pełne napięcie skojarzone (przy założeniu, że punkt zerowy prądnicy lub transformatora nie jest bezpośrednio uziemiony).

Ponieważ spadek napięcia w liniach dochodzi do 10%, przeto wartości napięcia linjowego przyjmuje się z tolerancją

10%. To też dla linii o napięciu, dochodzącem np. do 6600 woltów, nadają się izolatory o napięciu nominalnem 6000 woltów.

Izolatory wraz z okuciem (z trzonami, kołpakami i t. d.) podczas próby mechanicznej bada się na dwukrotną wartość naciągu nominalnego (normy polskie § 27). Ponieważ przepis niniejszego paragrafu dopuszcza stosowanie izolatorów o naciągu nominalnym, wynoszącym 90% wytrzymałości probierczej danego przewodu, przeto stopień bezpieczeństwa izolatorów wraz z okuciem względem wytrzymałości probierczej przewodu ma wynosić co najmniej 1,8. Przepisy austriackie inaczej ujmują sprawę: wymagają, aby izolatory wraz z okuciem wykazywały co najmniej 2,5-krotne bezpieczeństwo względem sił, na które oblicza się słupy.

Wytrzymałość probierczą materiałów przewodowych podaje tabl. IVa.

Szczegóły badania izolatorów podają normy polskie na „Izolatory wysokiego napięcia” PNE-8.

Tablice XX i XXI podają wymiary, wagę i napięcia charakterystyczne dla izolatorów stojących i wiszących, wyrobu fabryki w Merklinie (Merkelsgrün pod Karlsbadem). Co się tyczy napięcia dopuszczalnego, to wartości, podane w tablicach, obliczono dla większej pewności wg wzoru niemieckiego

$$U_{pm} = 1,1 (2,2 U_{dzw} + 20),$$

w którym  $U_{pm}$  oznacza napięcie przeskoku na mokro w kilowoltach  $U_{dzw}$  — napięcie dopuszczalne w kilowoltach. Napięcie dopuszczalne wg wzoru norm polskich:

$$U_{pm} = 2 U_{dzw} + 10$$

miałoby wartości znacznie większe.

§ 17. *Przywiązywanie.* Wiązałka z innego metalu tworzyłaby z przewodem i wodą deszczową ogniwo galwaniczne. Prąd, wytworzony w tem ogniwie, niszczyłby przewód i zmniejszał jego wytrzymałość mechaniczną (p. dopisek do § 9). Linki glinowe częstokroć umocowuje się do izolatorów zapomocą zacisków; zaciski te muszą być także wykonane z glinu.

Przewód można przywiązywać na główce izolatora albo na szyjce. Ten ostatni sposób jest najbardziej rozpowszechniony. Na zakrętach przewód powinien być koniecznie przymocowany do szyjki i to w ten sposób, aby przyciskał porcelaną do trzona (porcelana na ściskanie jest wytrzymała), a nie ciągnął wiązałki.

Wiązałka przytrzymuje przewód i nie pozwala mu przesunąć się czy to wdół, czy wgórę. Na słupach odporowych, krańcowych i narożnych, wiązałka przytrzymuje przewód „na moc”, a więc nie pozwala mu przesunąć się nietylko wdół i wgórę, ale i wzdłuż swojej osi.



#### IV. Urządzenia wsporcze.

Cały rozdział o „Urządzeniach wsporczych” jest obszernie omówiony i objaśniony przykładami w podręczniku prof. St. Odrowąż Wysockiego „Obliczanie słupów elektrycznych”.

Zmiany i uzupełnienia, wprowadzone do przepisów niniejszych w porównaniu z przepisami z 1923 roku będą omówione niżej.

§ 18. *Siły.* („Obl. słupów elektr.” § 1). Wagę sadzi uwzględniamy tylko na przewodach i na łańcuchach izolatorów wiszących (§ 10). Natomiast nie uwzględniamy ciężarów osadów lodowych na słupie, poprzecznikach, ani na izolatorach stojących. Przepisy austriackie każą uwzględniać wagę sadzi zarówno na izolatorach wiszących, jak na izolatorach stojących, przyczem na sadz dodają 25% wagi izolatora.

Naciąg przewodu działa nieco skośnie tak, że możemy go rozłożyć na dwie składowe: a) pionową, odpowiadającą ciężkości przewodu i b) poziomą. Pozioma składowa tak nieznacznie różni się od wypadkowej, że przy obliczaniu słupa przyjmujemy, że równa się naciagowi. Ponieważ naciąg nie powinien przekraczać iloczynu dopuszczalnego naprężenia przez przekrój, przeto powyższy iloczyn nazywamy największym naciągiem.

Parcie wiatru na przewody działa na słup za pośrednictwem przewodów, a więc w postaci naciągu. Jeżeli liczymy pewien słup, np. słup krańcowy, na największy naciąg, to w tym naciągu mamy już wliczoną siłę parcia wiatru na przewody. Przy obliczaniu zaś słupa przelotowego bierzemy pod uwagę siłę parcia na przewody, która to siła jest w rzeczywistości wypadkową naciągu przewodów z obu stron słupa.

§ 19. *Parcie wiatru.* Rvs. 9 przedstawia poglądowo rozkład parcia wiatru na różnych wysokościach („Obl. słupów elektr.” § 1). Gdy wiatr wieje skośnie na pewną powierzchnię o obszarze  $s$  m<sup>2</sup>, to strumień wiatru  $F$  (w kg), padający na tę powierzchnię wyrazi się wzorem

$$F = s \cdot \sin \alpha \cdot w,$$

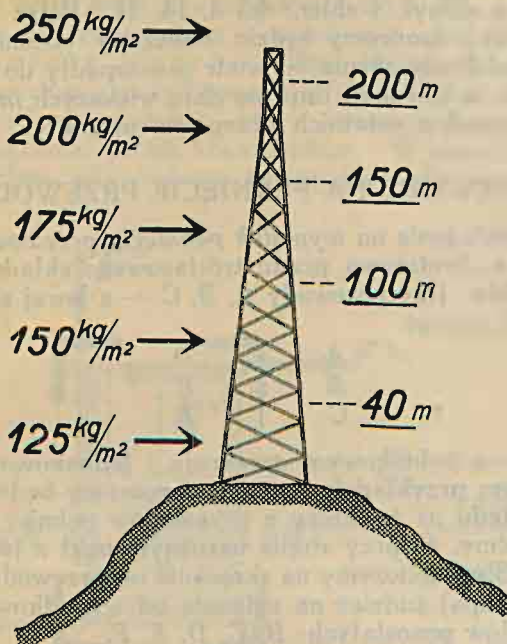
gdzie  $\alpha$  jest kątem między kierunkiem wiatru a płaszczyzną (albo między kierunkiem wiatru a osią powierzchni walca), a  $w$  — naprężeniem wiatru w kg/m<sup>2</sup> wg danych § 19.

Ponieważ strumień  $F$  pada na powierzchnię nie prostopadle, lecz pod kątem  $\alpha$ , przeto możemy go rozłożyć na dwie składowe: jedną prostopadłą do powierzchni  $F \cdot \sin \alpha$ , a drugą równoległą do niej  $F \cdot \cos \alpha$ . Tak więc siła parcia wiatru, prostopadłego do powierzchni, wynosi

$$F \cdot \sin \alpha = (s \cdot \sin^2 \alpha) \cdot w.$$



A zatem przy skośnym wietrze należałoby obliczoną powierzchnię mnożyć przez  $\sin^2 \alpha$ . Dla większego jednak bezpieczeństwa mnożymy (jak przepisuje § 19) przez  $\sin \alpha$ .



Rys. 9. Parcie wiatru na różnych wysokościach.

§ 20. Naciąg p. dopisek do § 18.

§ 21. Rodzaje słupów („Obl. słupów elektr.” § 2).

§ 22. Słupy odporowe („Obl. słupów elektr.” § 2).

§ 23. Obliczanie słupów. Praktyka ostatnich lat wykazała, że obliczanie słupów na obciążenie normalne bez uwzględnienia naprężeń występujących w razie pęknięcia przewodu, daje dobre wyniki tylko przy słupach mniejszych, objętych kategorią I-szą (§ 2 p. 14). Natomiast wielkie słupy i wieże, obliczane normalnie, w razie pęknięcia przewodu skręcały się i łamały. W słupach bowiem II-ej kategorii odstęp przewodu od słupa wskutek wyższego napięcia jest większy, a więc i moment skręcania jest znacznie większy, niż w słupach I-ej kategorii.

Patrz tabl. XXIV.

## OBLICZANIE NORMALNE.

§§ 24—28. Obliczanie na obciążenie normalne. („Obl. słup. elektr.” § 2). Obliczanie na obciążenie normalne z dopuszczalnym naprężeniem normalnym pozostało takie samo, jak w prze-

pisach z 1923 roku. Jedyna zmiana zaszła tylko przy obliczaniu słupów krańcowych — § 29.

Obliczanie słupów na skrzyżowaniach i zbliżeniach p. „Przepisy techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 4, 14, 24. Patrz tabl. XXIV.

§ 29. *Słup krańcowy* będzie obliczany obecnie tylko na jeden przypadek obciążenia — wiatr prostopadły do linii. Przypadek 2-gi — w kierunku linii nie daje większych naprężeń, niż pierwszy i został z ostatnich przepisów usunięty.

## OBLICZANIE NA PĘKNIĘCIE PRZEWODU.

§ 30. *Obliczanie na wypadek pęknięcia przewodu.* Przykład. Linja dwutorowa prądu trójfazowego składa się z sześciu przewodów: trzy przewody *A, B, C* — z lewej strony i trzy *D, E, F* — z prawej.

<i>A</i>		<i>D</i>
<i>B</i>		<i>E</i>
<i>C</i>		<i>F</i>

Wszystkie — o jednakowym przekroju i jednakowo odległe od słupa. W tym przykładzie moment skręcający będzie jednakowy, bez względu na to, który z przewodów pęknie.

Przypuśćmy, że przy słupie narożnym pękł z jednej strony przewód *A*. Słup obliczymy na skręcanie od przewodu *A* (z drugiej strony słupa) tudzież na zginanie od wypadkowej z naciągów przewodów pozostałych: *B, C, D, E, F*.

Przypuśćmy teraz, że przewód *A* pękł przy słupie krańcowym. Słup obliczymy na skręcanie od przewodu *D* (położonego symetrycznie względem *A*), a jednocześnie na zginanie wzdłuż osi linii od sumarycznego naciągu przewodów *B, C, E, F*.

Słupy kratowe, obliczone na pęknięcie przewodu różnią się zazwyczaj od słupów, obliczonych normalnie, mocniejszymi ukośnikami i nieco słabszymi krawężnikami.

Poprzeczniki w razie pęknięcia przewodu nie podlegają skręcaniu i dlatego obliczanie ich jest w zasadzie takie samo, jak na słupach, obliczanych normalnie. Poprzeczniki jednak na słupach przelotowych i narożnych, obliczone tylko normalnie, mogłyby nie wytrzymać pęknięcia jednego przewodu i dlatego muszą być jeszcze dodatkowo obliczone na ten wypadek, z dopuszczeniem naprężenia zwiększonego.

Obliczanie słupów na skrzyżowaniach i zbliżeniach p. „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 4, 14, 24. Patrz tabl. XXIV.

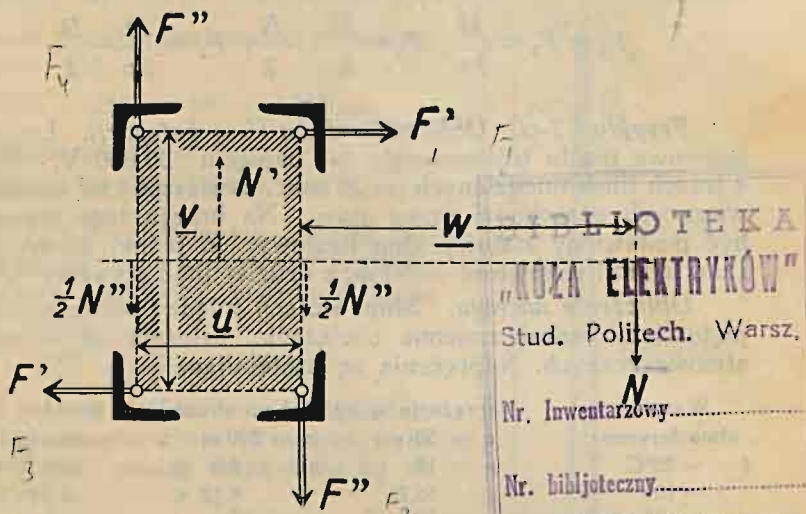
§ 31. *Słup przelotowy.* W razie pęknięcia przewodu, izolator wiszący wychodzi z położenia pionowego w skośne i staje się izolatorem odciągowym. Przewód wskutek tego obwisa, a naciąg słabnie (p. przykład 4-ty; wypadek katastrofalny 2-gi).

Przypuszczamy, że naciąg w tym wypadku wyniesie nie więcej nad połowę naciągu pełnego.

§ 32. *Słup narożny* p. dopisek do § 30.

§ 35. *Słup krańcowy* p. dopisek do § 30.

§ 36. *Skrećanie słupa o przekroju prostokątnym.* Wyprowadzenie wzorów. Rys. 10 przedstawia przekrój słupa na poziomie przyłożenia siły skręcającej  $N$ . W przekrój słupa wkreślono prostokąt, który wierzchołkami opiera się o środki ciężkości profili krawężników. W obciążeniu słupa nic się nie zmieni, gdy dodamy następujące siły, znoszące się nawzajem:



Rys. 10. Siły skręcające słup.

1) siłę  $N'$ , równającą się naciągowi  $N$ , równoległą do niego, skierowaną odwrotnie, a przyłożoną w osi słupa i

2) siły:  $\frac{1}{2} N''$ ,  $\frac{1}{2} N''$ , każda równająca się połowie naciągu  $N$ , równoległe do niego, skierowane w tę samą stronę, a przyłożone wzdłuż obu bocznych ścianek wkreślonego prostokąta.

Para sił  $N - N'$  o ramieniu  $\frac{u}{2} + w$  daje moment skręcający

$$M = N \left( \frac{u}{2} + w \right).$$

Połowę tego momentu zastępujemy momentem pary umyślonych sił  $F' - F'$ , przyłożonych wzdłuż krótszych boków prostokąta, przyczem ramieniem tej pary sił będzie bok  $v$  —



$$\frac{M}{2} = F' \cdot v,$$

a drugą połowę momentu  $M$  zastępujemy momentem pary umyślonych sił  $F''$  —  $F''$ , przyłożonych wzdłuż większych boków prostokąta, przyczem ramieniem tej pary sił będzie bok  $u$  —

$$\frac{M}{2} = F'' \cdot u$$

Dodając algebraicznie siły  $\frac{N''}{2}$ ,  $\frac{N''}{2}$  do sił  $F'$ ,  $F'$ ,  $F''$ ,  $F''$ , otrzymamy w wyniku siły  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$  (rys. 1)

$$F_1 = F_3 = \frac{M}{2v}; \quad F_2 = \frac{M}{2u} + \frac{N}{2}; \quad F_4 = \frac{M}{2u} - \frac{N}{2}.$$

*Przykład 3-ci. Obliczanie słupa II-ej kategorii.* Linja jednotorowa prądu trójfazowego o napięciu 30 000 V, złożona z trzech linek miedzianych po 35 mm<sup>2</sup>, zawieszona na izolatorach wiszących przechodzi przez staw. Na brzegu tego stawu ma być postawiony stalowy słup kratowy. Z jednej strony słupa (nad ładem) rozpiętość — 50 m, z drugiej (nad stawem) — 200 m.

*Obliczenie naciągu.* Słup, stojący między nierównymi rozpiętościami, znosi zmienne obciążenie, zależnie od warunków atmosferycznych. Naprężenia są następujące:

Warunki atmosferyczne	Naprężenie w kg/mm <sup>2</sup> po stronie:		Różnica naprężeń
	$a = 50 \text{ m}$	$a = 200 \text{ m}$	
$t = -25^{\circ}\text{C}$	$p = 19$	$p = 8,6$	$< 10,4$
$-10^{\circ}$	15,76	8,12	$< 7,64$
$-5^{\circ}$ z sadzią normalną	17,2	19	1,8 $\longrightarrow$
$0^{\circ}$	13,75	7,85	$< 5,9$
$+20^{\circ}$	9,88	7,36	$< 2,52$
$+30^{\circ}$	8,18	7,15	$< 1,08$
$+40^{\circ}$	6,75	6,95	0,2 $\longrightarrow$

Z powyższego zestawienia widać, że słup jest ciągniemy przeważnie w stronę mniejszej rozpiętości i że największy naciąg

$$N = 3 \cdot 35 \cdot 10,4 = 1092 \text{ kg.}$$

wypada przy normalnym mrozie.

Słup o różnych naciągach musi być zaopatrzony z obu stron w izolatory odciągowe.

*Wyznaczenie wysokości.* Na rozpiętości 200 m największy zwis wypada (tabl. XIX) przy  $-5^{\circ}\text{C}$  podczas normalnej sadzi

$$f_{\text{max}} = 665 \text{ cm.}$$

Odstęp między przewodami ma wynosić co najmniej

$$b = 7,5 \sqrt{665 + \frac{30000}{1500}} \approx 215 \text{ cm.}$$

Przewody rozmieszczamy na słupie (rys. 11); przewody  $R$ ,  $S$ ,  $T$  (w postaci trójkąta równobocznego, ustawionego skosem).

Odstęp zwierciadła wody od poziomu ładu wynosi 190 cm. Odstęp najniższego punktu przewodu od zwierciadła wody ma wynosić 800 cm. Wobec tego wysokość punktu zawieszenia przewodu  $R$  względem poziomu ładu wyniesie

$$665 + 800 - 190 = 1275 \text{ cm,}$$

wysokość punktu zawieszenia przewodu  $S$  (p. rys. 11)

$$1275 + 215 \cdot \cos 68^\circ = 1355 \text{ cm,}$$

a wysokość punktu  $T$  —

$$1355 + 215 \cdot \cos 52^\circ = 1487 \text{ cm.}$$

Licząc, że wierzchołek słupa będzie wystawał ponad punkt wsporczy  $T$  o 43 cm, otrzymamy całkowitą wysokość słupa ponad ziemią

$$1487 + 43 = 1530 \text{ cm.}$$

*Wyznaczenie konturów.* Projektujemy słup o przekroju kwadratowym. Sprowadzamy naciąg słupa 1092 kg do wierzchołka

$$F = \frac{1092 \cdot (1275 + 1355 + 1487)}{3 \cdot 1530} = 980 \text{ kg;}$$

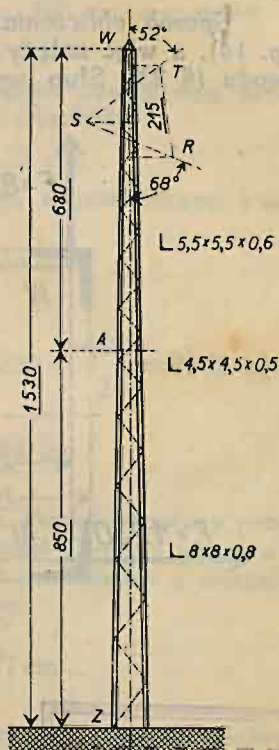
na podstawie tabl. III podręcznika „Obl. słupów elektr.” wyznaczamy dla słupa o naciągu  $F = 980 \text{ kg}$  i wysokości  $h = 1530 \text{ cm}$ , szerokość słupa u wierzchołka

$$u_w = v_w = 20 \text{ cm}$$

i przyrost szerokości  $\Delta = 0,039 \text{ cm/cm}$ ; wobec tego szerokość słupa u poziomiu ziemi wyniesie

$$u_z = v_z = 20 + 0,039 \cdot 1530 = 80 \text{ cm.}$$

*Wyznaczenie profilów.* Dla zaoszczędzenia materiału projektujemy słup dwupiętrowy (rys. 11): 1) górne piętro  $WA$



Rys. 11. Słup kratowy

Dr. Inżynier...

Dr. Inżynier...

Dr. Inżynier...

o wysokości 680 cm i 2) dolne piętro AZ o wysokości 850 cm.

Wyznaczamy na krawężniki górnego piętra — kątownik

$$5 \frac{1}{2} \times 5 \frac{1}{2} \times 0,6 \text{ cm};$$

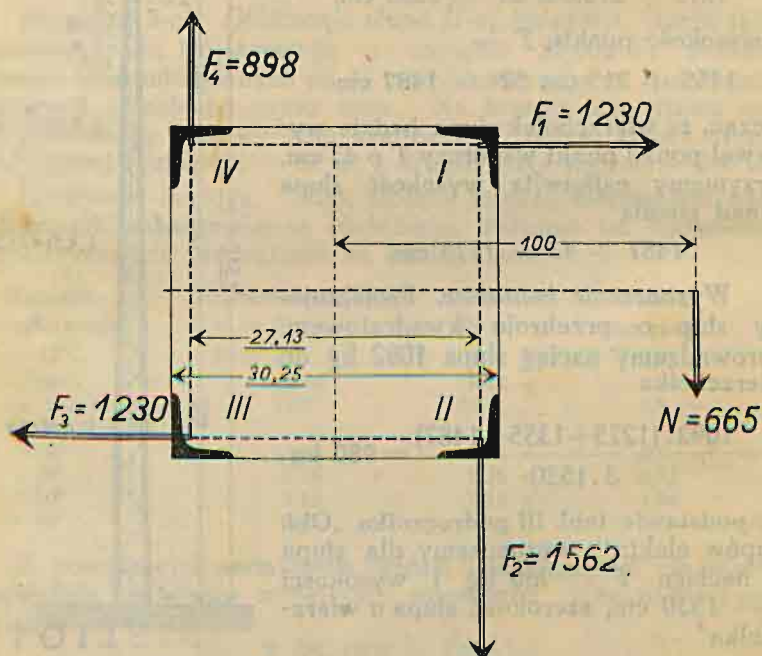
na krawężniki dolnego piętra — kątownik

$$8 \times 8 \times 0,8 \text{ cm},$$

a na ukośniki obu pięter — kątownik

$$5 \frac{1}{2} \times 5 \frac{1}{2} \times 0,6 \text{ cm}.$$

*Sposób obliczania.* Słup należy do kategorii II-ej (§ 2 p. 14), a więc należy go obliczyć na wypadek pęknięcia przewodu (§ 23). Słup. wystawiony na naciąg jednostronny oblicza



Rys. 12. Siły poziome na wysokości 1275 cm.

się tak, jak narożny (§ 32), a więc na skręcanie słupa, wywołane naciągiem jednego przewodu

$$35,19 = 665 \text{ kg},$$

a jednocześnie na zginanie, wywołane różnicą naciągów dwóch przewodów pozostałych



$$2. 35. 10,4 = 728 \text{ kg.}$$

Wypadek taki może nastąpić przy  $-25^{\circ}\text{C}$ , gdy pęknie jeden z przewodów od strony większej rozpiętości.

*Siły pionowe.* Waga krawężników (ok. 460 kg), ukośników (ok. 275 kg), poprzeczników z izolatorami (ok. 230 kg), przewodów (120 kg) i sadzi normalnej na przewodach (ok. 215 kg) daje w sumie

$$Q \approx 1300 \text{ kg.}$$

*Siły poziome na wysokości 1275 cm.* Największy moment skręcania wystąpi w razie pęknięcia przewodu  $R$  (rys. 11); naciąg wynosi 665 kg, ramię skręcania — 100 cm, a moment

$$M = 665 \cdot 100 = 66\,500 \text{ kg.cm.}$$

Rys. 12 podaje przekrój słupa na wysokości zawieszenia przewodu  $R$ . Szerokość ścianek słupa na tej wysokości

$$80 - 0,039 \cdot 1275 = 30,25 \text{ cm;}$$

środkci ciężkości profili krawężników są wierzchołkami kwadratu o bokach

$$30,25 - 2 \cdot 1,56 = 27,13 \text{ cm.}$$

Cztery umyślone siły:

$$F_1 = F_3 = \frac{66500}{27,13} = 1230 \text{ kg; } F_2 = 1230 + \frac{665}{2} = 1562 \text{ kg;}$$

$$F_4 = 1230 - \frac{665}{2} = 898 \text{ kg.}$$

*Siły poziome na wysokości 1421 cm.* Punkt wsporczy przewodu  $S$  leży na wysokości 1355 cm, a punkt  $T$  — na wysokości 1487 cm. Wypadkowa z naciągu obu tych przewodów o wartości 728 kg znajduje się na średniej wysokości

$$\frac{1}{2} (1355 + 1487) = 1421 \text{ cm.}$$

*Krawężniki w przekroju przyziemnym  $Z$ .* Środkci ciężkości profili krawężników w przekroju przyziemnym są wierzchołkami kwadratu o bokach

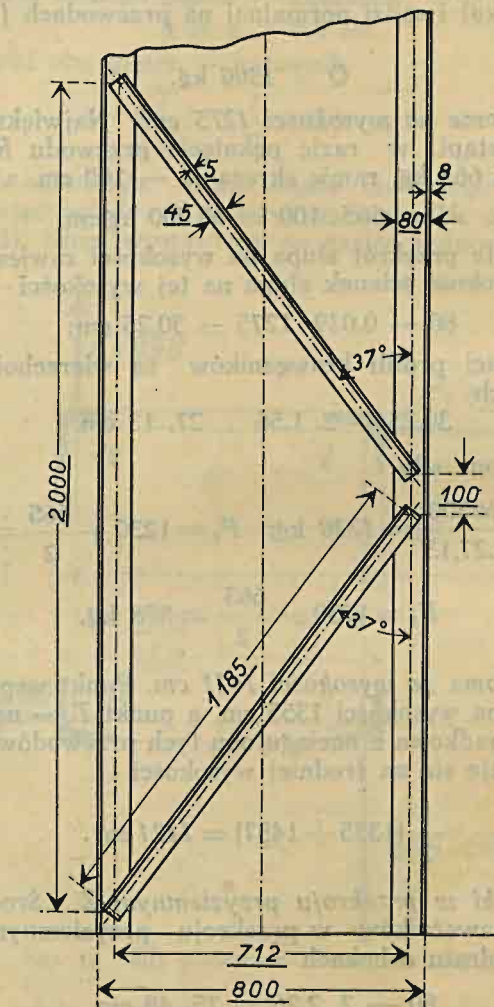
$$80 - 2 \cdot 2,26 = 75,48 \text{ cm.}$$

Pod wpływem siły  $F_1$  krawężnik I (rys. 12) jest ściskany, a krawężnik IV — rozciągany wysiłkiem

$$\frac{1230 \cdot 1275}{75,48} \approx 20\,800 \text{ kg;}$$

pod wpływem siły  $F_2$  krawężnik II jest ściskany, a I — rozciągany wysiłkiem

$$\frac{1562 \cdot 1275}{75,48} \approx 26\,400 \text{ kg;}$$



Rys. 13. Przyziemne przęsło słupa (wymiary w mm).

pod wpływem siły  $F_3$  krawężnik III jest ściskany, a II — rozciągany wysiłkiem

$$20\,800 \text{ kg;}$$

wreszcie pod wpływem siły  $F_4$  krawężnik IV jest ściskany, a III — rozciągany wysiłkiem

$$\frac{898 \cdot 1275}{75,48} \approx 15\,200 \text{ kg}.$$

Siła wypadkowa z naciągu obu niepeknitych przewodów S i T — 728 kg, działająca na wysokości 1421 cm, ściska krawężniki II i III, a rozciąga krawężniki I i IV wysiłkiem

$$\frac{728 \cdot 1421}{2} \cdot \frac{1}{75,48} \approx 6\,850 \text{ kg}.$$

Wreszcie wszystkie cztery krawężniki są ściskane pionową siłą ciężkości Q, a więc na każdy krawężnik przypada siła

$$\frac{1300}{4} = 325 \text{ kg}.$$

Sumując algebraicznie otrzymane wysiłki, znajdujemy, że krawężniki I i IV są rozciągane wysiłkami

$$12\,125 \text{ kg},$$

a krawężniki II i III — ściskane wysiłkami

$$12\,775 \text{ kg}.$$

Obliczamy krawężniki II i III na wyboczenie (§ 47). Rys. 13 przedstawia przyziemne przęsło słupa. Odstęp poziomy między osiami nitów w tem przęśle

$$80 - 2 \cdot \left( 0,8 + \frac{8 - 0,8}{2} \right) = 71,2 \text{ cm};$$

długość wyboczenia krawężnika —

$$l = 2 \cdot 71,2 \operatorname{ctg} 37^\circ + 10 = 200 \text{ cm};$$

smukłość

$$\lambda = \frac{200}{\sqrt{72,3 : 12,3}} = 82,5;$$

spółczynnik  $\omega$  z tablicy III dla  $\lambda = 82,5$  — przez interpolację

$$\omega = 1,66;$$

naprężenie umyślone

$$p_z = \frac{1,66 \cdot 12\,775}{12,3} \approx 1730 \text{ kg/cm}^2 < 2000 \text{ kg/cm}^2;$$

a więc wyboczenie nie grozi.



*Krawężniki w przekroju międzypiętrowym A.* Bieg obliczenia taki sam, jak wyżej. W wyniku otrzymujemy naprężenie umyślone

$$p_A = 1900 \text{ kg/cm}^2 < 2000 \text{ kg/cm}^2;$$

a więc wyboczenie nie grozi.

*Ukośniki.* Z porównania sił:  $F_1$ ;  $F_2$ ;  $F_3$ ;  $F_4$  wynika, że największa jest siła  $F_2 = 1562 \text{ kg}$ , działająca wzdłuż ścianki I—II (rys. 12). Na ściance tej ukośniki będą najbardziej obciążone. Oprócz siły  $F_2$  wzdłuż tej ścianki działa na wyższym poziomie połowa siły wypadkowej z naciągu przewodów  $S$  i  $T$ .

$$\frac{728}{2} = 364 \text{ kg}.$$

Największy wysiłek, który mógłby panować w ukośniku tej ścianki, oblicza się wg podręcznika „Oblicz. słupów elektr.” wzór (30) —

$$F_u < \frac{1562 + 364}{\sin 37^\circ} = 3205 \text{ kg}.$$

Najdłuższy ukośnik znajduje się w prześle przyziemnym (rys. 13); długość wyboczenia tego ukośnika

$$l = \frac{71,2}{\sin 37^\circ} = 118,5 \text{ cm};$$

smukłość

$$\lambda = \frac{118,5}{\sqrt{7,24 : 6,31}} = 111;$$

spółczynnik  $\omega$  z tablicy III dla  $\lambda = 111$  — przez interpolację

$$\omega = 2,91;$$

naprężenie umyślone

$$p = \frac{2,91 \cdot 3205}{6,31} \approx 1490 \text{ kg/cm}^2 < 2000 \text{ kg/cm}^2;$$

a więc wyboczenie nie grozi.

Ze względu na wyboczenie wystarczyłby może profil mniejszy, jednak nie dało się go zastosować ze względu na średnicę nitu, która, jak wynika z dalszego obliczenia, musi wynosić 16 mm; (patrz „Obl. słupów elektr.”, Tabl. XII. Nity).

Nity. Średnica nitu  $d$  obliczona na ścinanie

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot 1600 \geq 3205; \quad d = 1,6 \text{ cm.}$$

Nacisk nita na ściankę ukośnika

$$p = \frac{3205}{1,6 \cdot 0,6} = 3340 \text{ kg/cm}^2 < 5000 \text{ kg/cm}^2.$$

## SŁUPY DREWNIANE.

§ 37. *Dopuszczalne naprężenie dla drzewa.* Koncepcja poprzednich przepisów wyznaczania większych dopuszczalnych naprężeń dla drzewa nasyczonego, niż dla surowego — upadła. Wytrzymałość drzewa nie zależy od nasycenia. Nasycanie czy nienasycanie jest sprawą gospodarczą. Drzewo musi być zdrowe; drzewo surowe prędzej zaczyna gnić i prędzej musi być zamienione na nowe, niż drzewo nasyczone.

Z drzew iglastych w Polsce używana jest do budowy słupów sosna, jodła, świerk, a z drzew liściastych twardych: dąb i buk.

Ze względu na trwałość poleca się drzewo nasycać. Spis nasycalni podają dopiski do § 15 „Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.”. Na skrzyżowaniach i zbliżeniach w obostrzeniu 2-go i 3-go stopnia słupy muszą być obowiązkowo nasyczone („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 15 i 25).

§ 38. *Wymiary* („Obl. słupów elektr.” § 3). Na skrzyżowaniach i zbliżeniach obostrzenia co do wymiarów drzewa idą jeszcze dalej („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” §§ 9, 15, 25).

§ 39. *Pojedynczy słup przelotowy* („Obl. słupów elektr.” § 3). Gdyby słup był z drzewa twardego, to należałoby współczynnik liczbowy w drugim członie zmniejszyć z 0,22 do 0,19.

§ 40. *Wyboczenie* („Obl. słupów elektr.” § 3). Sprężystość  $E$  drzewa iglastego i dębowego wynosi 106 000 kg/cm<sup>2</sup>, a bukowego 166 000 kg/cm<sup>2</sup>.

§ 41. *Słup bliźniaczy* („Obl. słupów elektr.” § 5). Warunek 2) wzorowego zespolenia słupów mówi, że punkty zaklinowania nie powinny być umieszczone w większym odstępzie od krańców, niż 50 cm. Z innych znów względów wycięcia w belkach drewnianych nie powinny być bardziej zbliżone do krańców, niż na odstęp półtorakrotnej grubości belki. Obie te wskazówki określają położenie krańcowych punktów zaklinowania dość ściśle.

§ 42. *Słup A-owy* („Obl. słupów elektr.” § 6).

§ 44. *Odciążka.* Wyszczególnione zabiegi mają na celu

ochronę życia ludzkiego w razie zetknięcia się zerwanego przewodu z odciażką.

Na skrzyżowaniach i zbliżeniach w obostrzeniu 3-go stopnia odciażki są zabronione („Przep. techn. na skrzyż. i zbliż.” § 25).

## SŁUPY ZE STALI I INNYCH MATERJAŁÓW.

Gatunki stali, nazywane dotychczas żelazem zlew-nem, obecnie noszą nazwę ogólną stali zlewnej.

§ 46. *Słup kratowy* („Oblicz. słupów elektr.”, §§ 8, 9, 10). Przy wyborze nitów do kątownika lub korytka najlepiej posil-kować się tabl. XII z podręcznika „Oblicz. słupów elektr.”.

§ 47. *Wyboczenie*. Przepisy obecne podają inny sposób obliczania na wyboczenie, niż poprzednie.

Belka może znieść większe napięcie przy rozciąganiu, niż przy ściskaniu, gdyż w drugim przypadku wchodzi w grę nietylko niebezpieczeństwo zmiążdżenia, lecz i niebezpieczeń-stwo wyboczenia. Stosunek niebezpiecznego naprężenia przy rozciąganiu do niebezpiecznego naprężenia przy ściskaniu ozna-czamy literą  $\omega$ . Ina belka jest bardziej smukła, a więc bardziej wystawiona na wyboczenie, tem spółczynnik  $\omega$  jest większy.

Mnożąc naprężenie ściskania przez spółczynnik  $\omega$ , otrzy-mujemy pewne umyślane naprężenie rozciągania, innemi słowy zastępujemy naprężenie ściskania równowartem naprężeniem rozciągania.

Dawne przepisy dawały wzory (Eulera, Tetmajera, Kara-sińskiego), według których obliczało się dopuszczalne wysiłki ściskające, natomiast przepisy obecne podają tablicę spółczyn-ników  $\omega$  (tabl. III) dla różnych smukłości  $\lambda$ . Tablica III jest obliczona z założeniem, że sprężystość  $E = 2\,100\,000\text{ kg/cm}^2$ , a granica płynności —  $2400\text{ kg/cm}^2$ .

Rys. 14 przedstawia dla stali zlewnej zależność umyślo-nego naprężenia dozwolonego od smukłości wg przepisów daw-nych i obecnych.

Przy smukłości od 100 do 250 kresa przepisów dawnych (linja cienka) i przepisów obecnych (linja tłusta) ma przebieg zupełnie jednakowy. Jest to hyperbola Eulera.

Różnica między jednymi a drugimi przepisami występuje tylko w strefie wyboczenia niesprężystego (przy smukłości od 0 do 100). Kresa prosta Tetmajera (punktowana, oznaczona literą  $T$ ) tudzież hyperbola Karasińskiego (pełna, oznaczona literą  $K$ ) rozpoczynają się przy małej smukłości (gdzie decy-duje naprężenie dopuszczalne) prostą poziomą, a kończą się przy  $\lambda = 100$  — prostą pionową. Ten ostatni raptowny spad wynikał z brzmienia przepisu, wyznaczającego bezpieczeństwo



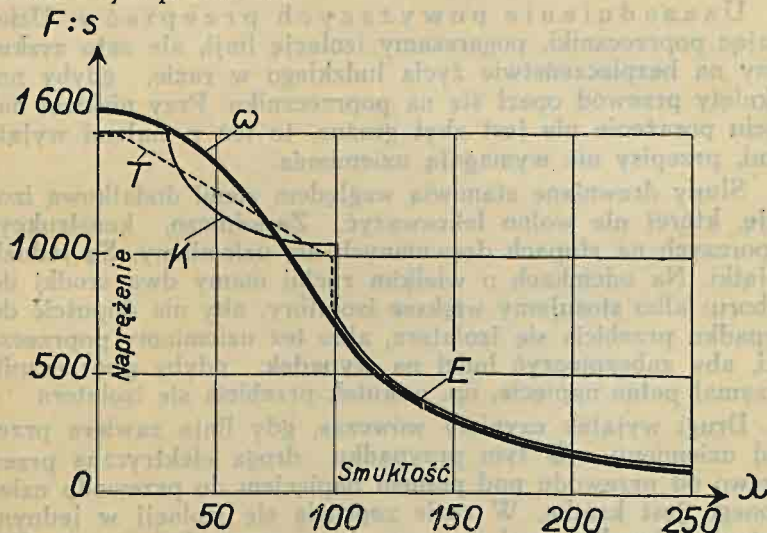
dwukrotne w strefie wyboczenia niesprężystego, a trzykrotne — w strefie wyboczenia sprężystego.

Wreszcie kresa nowych przepisów (linia tłusta, oznaczona literą  $\omega$ ) ma przebieg łagodny, zaczyna się od naprężenia, uwarunkowanego dopuszczalnym naprężeniem i stopniowo przechodzi w hyperbolę Eulera.

*Przykład obliczenia na wyboczenie* — p. przykład 3-ci, obliczanie słupa II-ej kategorii.

*Uziemianie słupów i konstrukcyj wsporczych.* Przepisy państwowe nie omawiają sprawy uziemień. Wzorując się na wydawnictwach niemieckich i austriackich, można powyższą sprawę ująć następującymi przepisami.

*Słupy drewniane.* Prowadząc przewody wysokiego napięcia na izolatorach stojących w pobliżu dróg o wielkim ruchu, należy dać izolatory o większej wytrzymałości na przebiecie, niż na sąsiednich słupach, albo też uziemić stalowe konstrukcje wsporcze (poprzeczники, trzony). Jeżeli wzdłuż linii wysokiego napięcia biegnie przewód uziemiony (odgromowy, odbojowy), to powyższe konstrukcje należy uziemić przez połączenie z tym przewodem.



Rys. 14. Zależność umyślonego naprężenia dozwolonego od smukłości.

Poza temi dwoma przypadkami, nie należy uziemiać stalowych konstrukcyj wsporczych, założonych na słupach drewnianych. W szczególności nie należy ich uziemiać w linii niskiego napięcia.

*Słupy stalowe i żelazobetonowe.* W liniach wysokiego napięcia słupy stalowe, szkielety słupów żelazobe-

tonowych i konstrukcje wsporcze (poprzeczники, trzony) na tych słupach wymagają uziemienia. Jeżeli wzdłuż linii biegnie przewód uziemiony (odgromowy, odbojowy), to wszystkie słupy muszą być z tym przewodem połączone; w tym przypadku wystarczy, jeżeli uziemienia będą wykonane nie przy każdym słupie, lecz w odstępach mniej więcej równomiernych, nie przekraczających jednak 1-go kilometra.

Stosując izolatory wiszące, można zaniechać uziemienia słupów, jeżeli zastosujemy środki, utrudniające powstawanie na słupie trwałych zwarć z ziemią, np. samoczynne wyłączanie zwarć ziemnych, zawieszenie górnych przewodów na dłuższych poprzecznikach, niż dolne, powiększenie liczby ogniw łańcucha izolatorowego i t. p.

Słupy stalowe i żelazobetonowe w liniach niskiego napięcia mogą być nieuziemione. Jeżeli jednak obok słupa stalowego znajduje się w odległości dosięgu konstrukcja metalowa o małej oporności względem ziemi (rynna dachowa wpuszczona w ziemię, filar metalowy, studnia i t. p.), należy konstrukcję tę połączyć ze słupem i uziemić.

Uzasadnienie powyższych przepisów. Uziemiacz poprzeczники, pogarszamy izolację linii, ale zato zyskujemy na bezpieczeństwie życia ludzkiego w razie, gdyby np. pęknięty przewód oparł się na poprzeczniku. Przy niskim napięciu porażenie nie jest zbyt groźne, to też z małymi wyjątkami, przepisy nie wymagają uziemiania.

Słupy drewniane stanowią względem ziemi dodatkową izolację, której nie wolno lekceważyć. Zasadniczo, konstrukcyj wsporczych na słupach drewnianych nie uziemiamy. Są jednak wyjątki. Na odcinkach o wielkim ruchu mamy dwa środki do wyboru: albo stosujemy większe izolatory, aby nie dopuścić do wypadku przebicia się izolatora, albo też uziemiamy poprzeczniki, aby zabezpieczyć ludzi na wypadek, gdyby poprzecznik otrzymał pełne napięcie, np. wskutek przebicia się izolatora.

Drugi wyjątek czynimy wówczas, gdy linia zawiera przewód uziemiony. W tym przypadku droga elektryczna przez drzewo od przewodu pod pełnym napięciem do przewodu uziemionego jest krótka. W razie zepsucia się izolacji w jednym biegunie, płynąłby prąd skróconą drogą przez drzewo i mógłby pociągnąć za sobą spalenie się drzewa.

W słupach stalowych niema, poza izolatorem, żadnej warstwy izolacyjnej. Uziemiacz poprzeczники, nie pogarszamy izolacji linii. To też przepisy żądają w zasadzie uziemień. Wyjątek stanowią tylko takie linie, w których zwarcia ziemne albo nie mogą powstać, albo wyłączają się samoczynnie i momentalnie.

§ 51. *Obsada podziemna* („Obl. słupów elektr.” §§ 14, 15).

§ 52. *Fundamenty betonowe o przekroju prostokątnym* („Obl. słupów elektr.” przykład 30-ty).

§ 53. *Obliczenia*, p. Rozporządzenie Ministra Robót Publicznych z dnia 18 czerwca 1929 r., zawierające przepisy o granicach wytrzymałości materiałów i konstrukcyj budowlanych („Dziennik Ustaw”. rok 1929. Nr. 54, pozycja 431).