

Stanisław Szpor, Zenon Hirsch

Ochrona odgromowa zabytkowych budynków drewnianych

Ochrona Zabytków 25/2 (97), 67-76

1972

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

OCHRONA ODGROMOWA ZABYTKOWYCH BUDYNKÓW DREWNIANYCH

I. WSTĘP

Praca niniejsza ogranicza się do rozpatrzenia ochrony odgromowej drewnianych zabytków budownictwa ludowego, ze szczególnym uwzględnieniem ich strony architektonicznej, ażeby nie zatracić ich charakteru. Ochrona taka może objąć zarówno pojedyncze budowle, jak i ich większe skupiska (np. skanseny).

Instalacja odgromowa budowli, szczególnie zaś budowli drewnianych z palnymi pokryciami dachowymi, wykonana według zaleceń polskiej normy zakłóca zabytkowy charakter budynku, szpecąc go różnymi widocznymi przewodami, szczególnie jeśli wykonana jest przez zakład rzemieślniczy pracujący według ustalonego i przyjętego szablonu, bez zwracania uwagi na zagadnienia estetyczne. Poprawne rozwiązanie można osiągnąć przy współpracy architekta z elektrykiem-specjalistą od zagadnień ochrony odgromowej.

Polska norma przy opisie zasad prowadzenia przewodów wspomina, że *sposób prowadzenia przewodów powinien uwzględniać architekturę budowli, jednak decydującym czynnikiem powinna być zawsze skuteczność działania urządzenia piorunochronnego*. Ażeby sprostać tym dwóm warunkom należy rozpatrzyć teoretyczne zagadnienia ochrony odgromowej, wyniki badań laboratoryjnych oraz dotychczasowe doświadczenia praktyczne.

W ochronie odgromowej zabytkowych budowli można stosować dwa rodzaje piorunochronów: 1) piorunochrony odizolowane, ze zwodami i przewodami odprowadzającymi obok chronionego budynku, przy wykorzystaniu w tym celu stojących w nieznaczonej odległości drzew, 2) piorunochrony nieodizolowane, ze zwodami i przewodami odprowadzającymi bezpośrednio na budynku, bez większej izolacji. W obu tych wypadkach ochrona wykonana będzie za pomocą zwodów pionowych prętowych. Przepisy polskie o zwodach pionowych (masztach odgromowych) można znaleźć w dwóch opracowaniach:

Polska Norma: PN-55/E-05003 „Ochrona budowli od wyładowań atmosferycznych” i Instytut Energetyki: „Wskazówki ochrony urządzeń elektro-energetycznych od przepięć”. Te dwa źródła, oparte na różnych wzorach radzieckich, są zgodne w zakresie pojedynczego zwodu pionowego, a bardzo rozbieżne w zakresie dwóch zwodów pionowych.

II. STREFY OSŁONOWE ZWODÓW PIONOWYCH

1. Pojedynczy zwód pionowy. Ilustracja 1 przedstawia zasadę wyznaczania strefy osłonowej przy pojedynczym zwodzie pionowym o wysokości h . Strefa ta wyznaczona jest dwoma odcinkami prostoliniowymi. Te dwa odcinki zastępują łuk kołowy, wynikający z dość niepewnych badań laboratoryjnych na modelach. Dla obiektów o wysokości h_x mamy strefę osłonową kołową przedstawioną w dolnej części rysunku ($x-x$).

2. Dwa zwody pionowe według przepisów piorunochronowych. Na il. 2a przedstawiono strefę osłonową między dwoma zwodami pionowymi według przepisów polskiej normy. Odstęp między zwodami jest a , wysokość h . Strefa osłonowa wyznaczona jest przez łuk kołowy o promieniu R i środku na wysokości $4h$. Strzałka ugięcia f wynosi:

$$f = h - h_0 = \sqrt{(3h)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - 3h \quad (1)$$

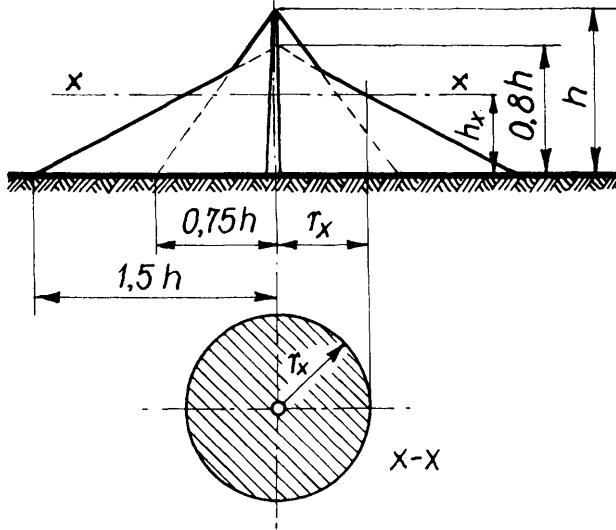
Wzór przybliżony dla $3h \gg \frac{a}{2}$, $\frac{a}{h} \ll 6$:

$$f = \frac{a^2}{24h} \quad (2)$$

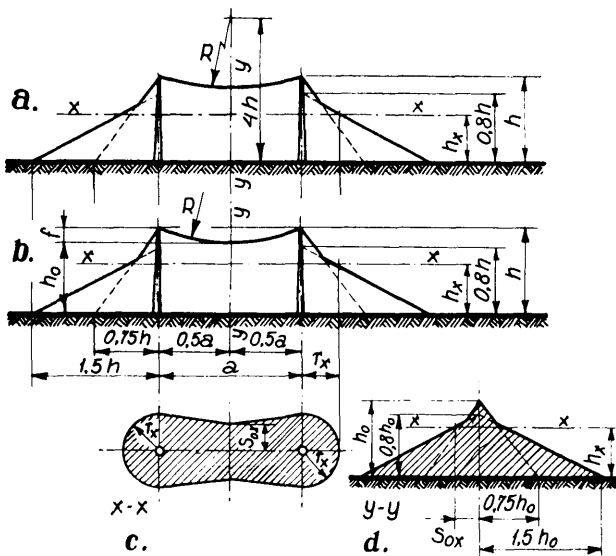
dla $3h \ll \frac{a}{2}$, $\frac{a}{h} \gg 6$:

$$f = \frac{a}{2} - 3h \quad (3)$$

Dla obiektów o wysokości h_x mamy strefę osłonową przedstawioną na il. 2c dla przekroju $x-x$ oraz na il. 2d dla przekroju pionowego $y-y$.



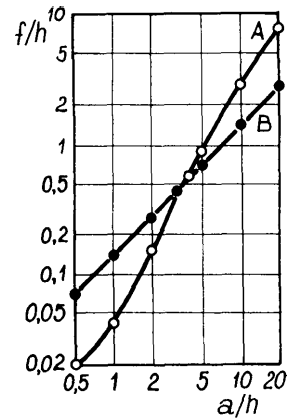
1. Strefa osłonowa pojedynczego zwodu pionowego
1. The zone of protection of a single vertical lightning rod



2. Strefa osłonowa dla 2 zwodów pionowych o jednakowej wysokości: a — według przepisów Polskiej Normy, b — wg wskazówek Instytutu Energetyki, c — strefa osłonowa w przekroju x-x na wysokości h_x , d — strefa osłonowa w przekroju y-y

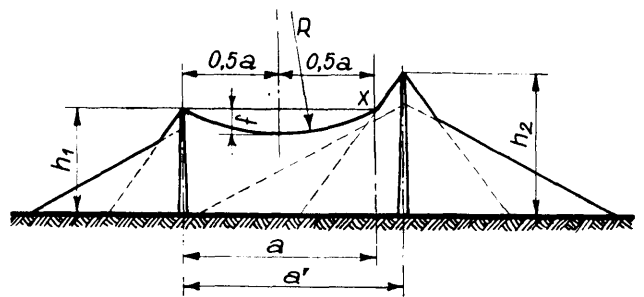
2. The zone of protection of two vertical lightning rods of the same height: a — according to the Polish Standards, b — according to the indications of the Institute of Power Engineering, c — the (x-x) section of the zone of protection at the height h_x , d — the (y-y) section of the zone of protection

3. Dwa zwody pionowe według wskazówek energetycznych. Strefa osłonowa dla dwóch zwodów pionowych o jednakowej wysokości według wskazówek Instytutu Energetyki wyznaczona jest przez łuk kołowy; przedstawia ją il. 2b.



3. Charakterystyki f/h w funkcji a/h : A — według warunków Polskiej Normy, B — według wskazówek Instytutu Energetyki

3. Characteristics f/h in function a/h : A — according to the Polish Standards, B — according to the indications of the Institute of Power Engineering



4. Strefa osłonowa przy różnych wysokościach dwóch zwodów pionowych

4. The zone of protection while the heights of the two vertical lightning rods differ

Strzałka ugięcia wynosi $f = \frac{a}{8}$

W źródłach radzieckich można znaleźć trochę ostrzejszy warunek:

$$f = \frac{a}{7} \quad (4)$$

i ten warunek należałoby przyjąć do obliczeń.

Strefa osłonowa dla obiektów chronionych o wysokości h_x przedstawiona jest na ilustracjach 2c i 2d.

4. Porównanie warunków określonych w polskiej normie i we wskazówkach energetycznych. Zgodność obu warunków (1) i (4) zachodzi przy

$$\sqrt{(3h)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - 3h = \frac{a}{7} \quad \text{skąd} \quad h = 0,292a$$

Przy $h < 0,292a$ ostrzejszy jest warunek (1); przy $h > 0,292a$ ostrzejszy jest warunek (4). Przy projektowaniu ochrony decydujemy się na przyjmowanie ostrzejszego warunku.

Na il. 3 przedstawiono graficznie charakterystyki f/h w funkcji a/h .

5. Różne wysokości 2 prętów odgromowych. Na il. 4 przedstawiono sposób wyznaczania strefy osłonowej między dwoma zwodami o różnych wysokościach $h_2 > h_1$.

Górną część strefy osłonowej dla zwodu o wysokości h_2 określa się jak dla pojedynczego zwodu pionowego h_2 , tj. według il. 1.

W tej strefie osłonowej otrzymuje się punkt pośredni x na wysokości h_1 . Punkt ten traktuje się jako wierzchołek drugiego zwodu o wysokości h_1 . Między dwoma zwodami o tej samej wysokości h_1 określa się strefę osłonową według il. 2a lub 2b.

III. ZAGROŻENIE PIORUNOWE

W załączniku do polskiej normy opisano metodę rachunkową określenia zagrożenia budowli i według tej zasady należy podejmować decyzję o założeniu instalacji odgromowej. Jak wynika z analizy tej metody, budynki większej wartości naukowej, kulturalnej, zabytki architektoniczne powinny mieć ochronę odgromową, szczególnie gdy są konstrukcji drewnianej. Według danych statystycznych najbardziej zagrożone są budynki wiejskie z dachami wykonanymi z materiałów łatwopalnych; w wypadku uderzenia pioruna notuje się tu najwięcej poza-

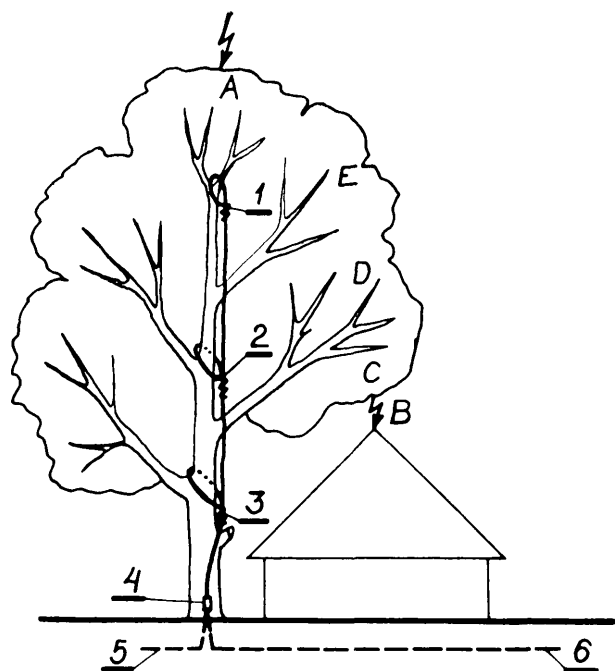
rów. Do grupy tej należą zabytki drewnianego budownictwa ludowego.

Ustalając parametry piorunowe należałoby przyjąć roczną liczbę piorunów około 1—2 na 1 km². Pioruny w otoczeniu wiejskim biją głównie w drzewa. Prawdopodobnie około 10% piorunów przypada na budynki. Stąd można przyjąć 1 piorun na 1 do 10 lat o udarze około 150 kA a 1 piorun przekraczający 150 kA na 250—500 lat.

IV. WYKORZYSTANIE DRZEW — PIORUNOCHRONY ODIZOLOWANE

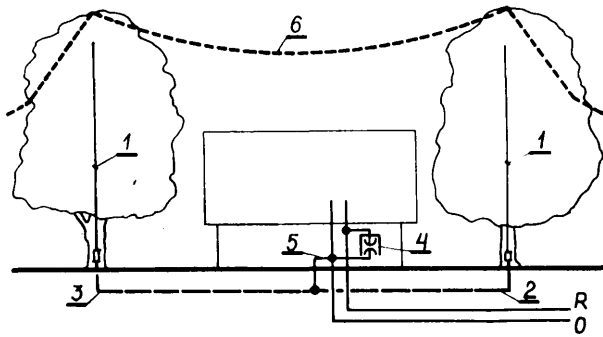
6. Drzewa przy budynku. Gdy piorun uderza w drzewo stojące obok budynku, zachodzi niebezpieczeństwo zapalenia się tzw. iskry wtórnej od tego drzewa do budynku. Iskra ta może zapalić słomę czy drewno, z których zbudowany jest budynek, albo zapalić materiały łatwopalne (siano, słomę) przechowywane w budynku. Na il. 5 widzimy, że kiedy piorun uderza w drzewo w punkcie *A*, to iskra wtórna może wystąpić od gałęzi *EDC* do budynku na drodze *B*. Ażeby do tego nie dopuścić, koniecznym uzupełnieniem piorunochronu na budynku są piorunochrony na drzewach wokół budynku. Piorunochron taki zawieszony jest swobodnie na pętlach 1, 2, 3; dokładny jego opis znajduje się poniżej.

7. Drzewa jako zwody pionowe. Drzewa z piorunochronami znajdujące się przy budynku mogą być wyzyskane jako zwody pionowe dla budynku. Strefę osłonową obliczamy według zasad omówionych w części II. Najwyższy punkt drzewa (*A*) można traktować jako wierzchołek zwodu pionowego (il. 5), pomimo że sam zwód nie dochodzi do wierzchołka. Nie uwzględniamy także szerokości korony drzewa. Zwód można wykonać z drutu stalowego 10 mm² ocynkowanego lub z linki aluminiowej 10 mm². Na jednej z najwyższych gałęzi zakładamy pętlę (1) skrecając drut i prowadzimy najkrótszą drogą do wyjścia uziomu (4) znajdującego się przy pniu drzewa. Dla lepszego przymocowania przewodu, jak i dla odciążenia górnej pętli (1), zakładamy dodatkowe pętli (2, 3) wzdłuż pnia drzewa. Należy zwracać uwagę, ażeby piorunochron nie spowodował zahamowania wzrostu drzewa i jego uschnięcia. Może to szybko nastąpić na skutek okaleczenia pnia, szczególnie w górnej części drzewa, gdzie gałęzie pokryte są cienką warstwą kory. Stały nacisk pętli zwodu może spowodować zahamowanie normalnego krążenia soków i dlatego wskazane byłoby pod pętlę z drutu podłożyć podkładkę z papy bitumicznej lub kilkakrotnie złożonej tkaniny (np. worka), która likwidowałaby naciski punktowe i ewentualne wrastanie przewodu w drzewo. Przewód zwodu należy prowadzić bez naprężeń, z rezerwą dla wzrostu drzewa, z uwzględnieniem kołysania się drzewa, oraz dbając o równomierne obciążenie pętli. Pętli



5. Pionowy zwód założony na drzewie z drutu stalowego ocynkowanego lub linki aluminiowej (10 mm²): 1, 2, 3 — pętli ze skreconego drutu, 4 — zacisk kontrolny śrubowy, 5, 6 — uziom

5. Vertical lightning rod from the galvanized steel wire or aluminium 10 mm² cable mounted on a tree: 1, 2, 3 — loops from the twisted wire, 4 — control screw terminal, 5, 6 — earth electrode



6. Ochrona budynku przy pomocy piorunochronów założonych na drzewach: 1 — zwód pionowy, 2, 3 — uziom, 4 — odgromnik niskonapięciowy, 5 — podłączenie przewodu zerowego instalacji niskonapięciowej z systemem uziomów, 6 — strefa osłonowa

6. Protection of buildings by means of the lightning conductor system mounted on trees: 1 — vertical lightning conductor, 2, 3 — earth electrode, 4 — low-voltage lightning arrester, 5 — connection of the neutral conductor of the low-voltage installation with the system of earth electrodes, 6 — the zone of protection

powinny być długie, z dużym zapasem na zwiększenie się obwodu obejmowanych gałęzi.

Zakładanie w górnej części drzewa zwodu pionowego w postaci pręta, którego górny koniec wystaje ponad koronę drzewa, nie jest wskazane, głównie ze względu na trudności przy jego zamocowaniu. W dolnej części pnia przewód odprowadzający należy prowadzić tak, ażeby był jak najmniej widoczny od strony podejść do budynku.

Proponuje się w miejscach połączenia przewodu odprowadzającego z uziomem (5—6) za pomocą zacisku kontrolnego śrubowego (4) zasać krzewy, które zakryją instalacje.

Na il. 6 przedstawiono budynek z dwoma drzewami, na których założono zwody pionowe (1). Strefę osłonową (6) należy wyznaczyć tak jak dla 2 zwodów pionowych.

Ze względów architektonicznych stosowanie zwodów pionowych na drzewach jest bardzo wskazane — na chronionych budynkach nie są wówczas prowadzone żadne instalacje.

8. Ogólne wskazówki o uziemieniach. Uziomy wykonujemy z materiałów i według zasad podanych w polskiej normie (np. bednarke ocynkowaną 4×20 mm). Przy drzewach ze zwodami wyprowadzamy dwa końce uziomów zwracając uwagę na to, ażeby nie łączyły się ze sobą w części podziemnej, co umożliwi późniejszą kontrolę stanu skorodowania uziomów metodą elektryczną. W części nadziemnej końcówki uziomów są połączone ze zwodem pionowym śrubowym zaciskiem kontrolnym.

V. ZWODY I PRZEWODY ODPROWADZAJĄCE INSTALOWANE BEZPOŚREDNIO NA MATERIAŁACH — PIORUNOCHRONY NIEODIZOLOWANE

9. Założenia ogólne. Gdy w najbliższym sąsiedztwie budynku nie ma drzew, musimy prowadzić piorunochrony nieodizolowane bezpośrednio na obiekcie. Polega to na założeniu niskich prętowych piorunochronów na górnej krawędzi dachu w ten sposób, ażeby pręty te były możliwie mało widoczne. Staramy się to osiągnąć przez zmniejszenie ich wysokości i przez odpowiednie zwiększenie ich rozstawu.

Łączenia zwodów i przewody odprowadzające prowadzimy bezpośrednio na materiałach, z jakich zbudowany jest budynek, przeważnie wewnątrz budynku (oprócz samych końców zwodów wystających nad dachem), gdyż przewód prowadzony zewnątrz na uchwytych nie tylko sam jest bardzo widoczny, ale także widoczny jest jego cień. Usunięcie tych dwóch linii — przewodu i jego cienia — jest ważne dla estetyki budynku. We współczesnych budowlach można przewody odprowadzające ukryć (np. pod postacią rynien i rur spustowych), lecz w ludowym budownictwie drewnianym nie mamy żadnych przydatnych do tego celu elementów metalowych. Strefę osłonową oblicza się tak jak dla dwóch zwodów pionowych.

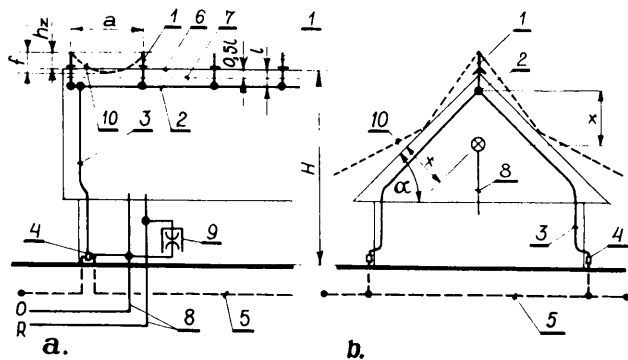
W ten sposób założony piorunochron nie obejmuje strefą osłonową całego budynku, podobnie jak i piorunochron niski przewodowy, którego zwód wykonany jest w postaci przewodu ze wspornikami na górnej krawędzi dachu. Pomimo to, jak wykazuje praktyka, pioruny nie trafiają w nieosłonięte części dachu. Można to wytłumaczyć tym, że spadki napięć powstające na dużych opornościach elektrycznych źle przewodzących części dachu oddziałują odpychająco na czoło pioruna, który kieruje się do zwodu, pomimo że zwód tylko nieznacznie wystaje nad powierzchnią dachu.

10. Niebezpieczeństwo pożarowe. W zwykłych instalacjach piorunochronnych mocuje się zwody i przewody odprowadzające na małych wspornikach stalowych. W ten sposób usuwa się niebezpieczeństwo zapalenia słomy czy drewna od rozgrzanego zwodu lub przewodu odprowadzającego. Niestety wsporniki te sprawiają, że piorunochron jest bardziej widoczny, niżby był bez wsporników.

Jedną z zasad niewidoczności piorunochronów na budynkach zabytkowych polega na instalowaniu zwodów i przewodów odprowadzających wprost na drewnie i słomie. W tym celu należy dobrze ograniczyć nagrzewanie się przewodów od prądów piorunowych, tj. stosować przewody o odpowiednio wielkich przekrojach.

11. Przekroje zwodów i przewodów odprowadzających. Do obliczenia przekrojów przewodów można skorzystać z obliczeń przedstawionych w książce S. Szpora pt. *Ochrona odgromowa*, tom I rozdział 28, s. 277 i następnym.

Przyjmując parametry piorunowe: 1 udar 150 kA i 50 μ s plus 5 uderzeń 50 kA i 50 μ s,



7. Ochrona odgromowa założona na budynku bezpośrednio na materiałach: a — widok z boku, b — przekrój poprzeczny; 1 — niski zwód prętowy, 2 — poziomy przewód łączący zwody pionowe, 3 — przewód odprowadzający, 4 — zacisk kontrolny, 5 — system uziołów, 6 — kalenica dachu, 7 — umowny poziom kalenicy dachu, 8 — instalacja niskonapięciowa, 9 — odgromnik niskonapięciowy, 10 — strefa osłonowa, α — kąt nachylenia połaci dachowych, x — minimalna odległość instalacji elektrycznych od instalacji piorunochronowych i połaci dachowych

7. Lightning protection mounted on the building directly on materials: a — side view, b — cross-section: 1 — low lightning conductor, 2 — horizontal cable, connecting the vertical lightning conductors, 3 — down conductor, 4 — control terminal, 5 — system of earth electrodes, 6 — the ridge of the roof, 7 — conventional level of the ridge of the roof, 8 — low voltage installation, 9 — low voltage lightning arrester, 10 — the zone of protection, α — the angle of the inclination of the roofs, x — minimum distance between electric installations, lightning conductor system and the roofs

przy dopuszczalnym przyroście temperatury około 200°C, otrzymuje się:

dla	miedzi	glinu	stali
Wymagany przekrój	9,8	14,8	23,6 mm ²

Dla budynków z przewodami położonymi bezpośrednio na materiałach konstrukcyjnych należy przyjąć niższy dopuszczalny przyrost temperatury — około 100°C.

W takim razie wymagany przekrój:

dla	miedzi	glinu	stali
wypada około	20	30	50 mm ²

Przyjęty do obliczeń prąd 150 kA nie jest największy, gdyż parę procent piorunów przekracza tę granicę. Jednakże dalsze obostrzenie obliczeń z tego tytułu (z uwzględnieniem wyjątkowych parametrów piorunowych) wydaje się niesłuszne.

Ze względów oszczędnościowych są trudności w korzystaniu z miedzi. Za wyborem glinu zamiast stali może przemawiać jego większa trwałość i mniej rażąca widoczność (dzięki mniejszemu przekrojowi). Przy stali należy stosować ocynkowanie.

12. Wysokości oraz rozstaw niskich zwodów prętowych. Obliczenia strefy osłonowej dla niskich zwodów prętowych należy wykonać według wskazówek energetycznych, gdyż mały odstęp między zwodami a i duża proporcjonalnie wysokość h dają h większe od 0,292 a .

Zależność między strzałką ugięcia f a rozstawem

a według wymienionych wskazówek $f = \frac{a}{7}$

wynosi:

a	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00 m
f	14,3	17,9	21,5	25,0	28,6	31,9	35,8	39,3	43,0 cm

Z zależności tej wynika, iż im większy stosujemy rozstaw zwodów, tym większa jest ich wysokość. Przyjmując średnio rozstaw zwodów prętowych (ze względu na wysokość pręta) około 2 m otrzymujemy strzałkę ugięcia 28,6 cm, stąd wysokość pręta zwodu 30 cm.

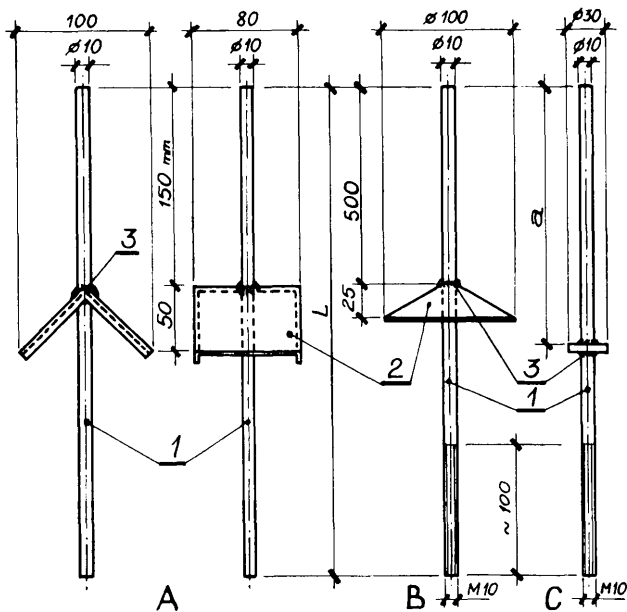
Uwzględniając wpływ prowadzonego w odległości l (około 40 cm) pod kalenicą dachu poziomej szyny lub przewodu łączącego niskie zwody prętowe oraz to, że pokrycie dachu przyjmujemy jako półprzewodnik w niekorzystnych warunkach, możemy przyjąć umowny poziom kalenicy (7) w odległości 0,5 l pod istniejącą kalenicą (il. 7a). Odliczając tę odległość, która wynosi około 20 cm, od długości pręta poprzednio obliczonego, otrzymamy 10 cm pręta wystającego ponad kalenicę. Dla zwiększenia bezpieczeństwa przyjmujemy długość pręta wystającego nad poziom kalenicy $h_z = 15$ cm. Przy dachach pokrytych słomą należy h_z zwiększyć do 50 cm, ażeby odsunąć iskrę piorunową z otaczającymi jej rdzeń gorącymi gazami od materiału palnego.

Strefa osłonowa w przekroju poprzecznym budynku (il. 7b) wypada korzystniej wówczas, gdy kąt nachylenia połaci dachowych α jest większy lub równy 53°.

Kształty niskich zwodów prętowych wykonanych ze stali i dostosowanych do różnych pokryć dachowych pokazano na il. 8. Zwód taki wykonuje się z pręta stalowego ocynkowanego Φ 10 (12) mm. Przedstawiona wersja A i C wskazana jest dla dachów krytych gontem, natomiast wersja B dla dachów krytych słomą ze snopkami stykającymi się przy kalenicie lub słomą nasyconą gliną. Wersja ta wskazana jest też dla strzech, gdzie łączenia słomy do więzby wykonane są za pomocą drutu. W przypadku strzechy słomianej z zamocowaniem wilkami na kalenicie stosuje się piorunochron według wersji pokazanych na il. 10.

Pręty wraz z przyspawaną blachą okapu należy ocynkować, a następnie pomalować zestawem farb podkładowych odpornych na korozję — warstwę zewnętrzną w kolorach: dla blachy okapu na kolor zbliżony do koloru pokrycia dachowego, pręt zwodu natomiast takim kolorem, ażeby był najmniej widoczny na tle otoczenia. Nie należy stosować farb pokostowych, gdyż ulegają one szybkiemu niszczeniu pod wpływem kwasów, dymów kwaśnych, zasad i pary wodnej.

13. Zamocowanie niskich zwodów prętowych.



8. Przykłady niskich zwodów pionowych — prętowych:
1 — pręt stalowy ocynkowany, 2 — daszek — blacha stalowa 2,5 mm ocynkowana, 3 — miejsce spawania; wymiary L oraz a ustalić należy indywidualnie wg grubości pokrycia na kalenicy dachu

8. Examples of low vertical lightning conductors: 1 — galvanized steel rod, 2 — penthouse — galvanized steel 2,5 mm, 3 — welded place; the dimensions L and a are to be fixed individually according to the roofing at the roof ridge

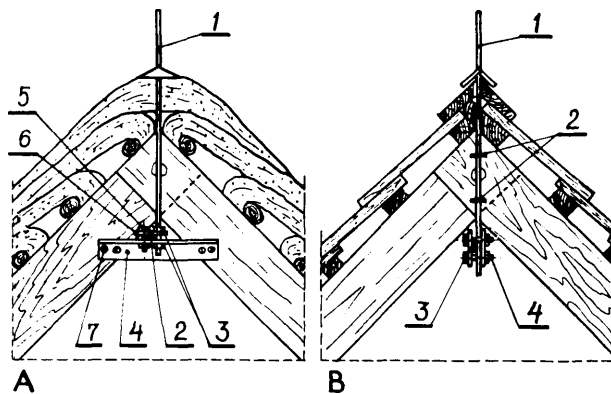
Niskie zwody prętowe mocujemy bezpośrednio do krokwi dachowych, gdy rozmieszczenie zwodów pokrywa się z rozstawem krokwi. Przykłady takie pokazano na il. 9 A i B. Gdy rozstaw krokwi jest inny, aniżeli projektowany rozstaw zwodów, te ostatnie mocujemy na kątowniku, jak pokazano na il. 9 C, który wykorzystujemy jako szynę łączącą zwody.

Wersja A pokazuje zwód (1) przykręcony nakrętką M10 (3) do kątownika $40 \times 40 \times 4$ $l = 30$ cm (4), który z kolei przykręcony jest wkrętami (7) do krokwi. Poziomy przewód łączący (2) przymocowany jest zaciskiem śrubowym wykonanym z podkładki stalowej 30×5 $l = 55$ (6), śruby M10 (5) i śruby zwodu pionowego.

Wersja B pokazuje połączenie zwodu pionowego (1) z przewodem poziomym (3) zaciskiem śrubowym (4) składającym się z dwóch śrub M10 oraz z dwóch podkładek. Sam zwód przybity jest skobelkami (2) do krokwi.

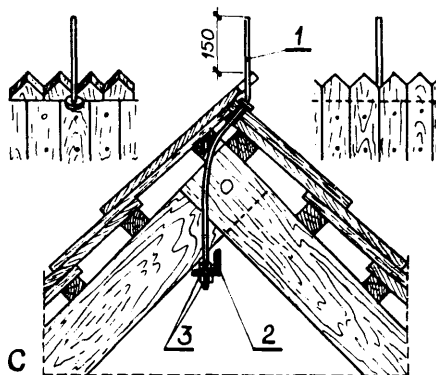
Wersja C przedstawia pręt zwodu (1) przymocowany do kątownika $40 \times 40 \times 4$ (2) dwiema nakrętkami M10 (3). Kątownik wykorzystany jest tutaj jako pozioma szyna łącząca zwody.

W wymienionych przykładach zwodów można stosować różne sposoby zamocowania, zależnie od sytuacji. Zamocowanie zwodów w wersji A i C wykonujemy w ten sposób, że pręt zwodu



A

B



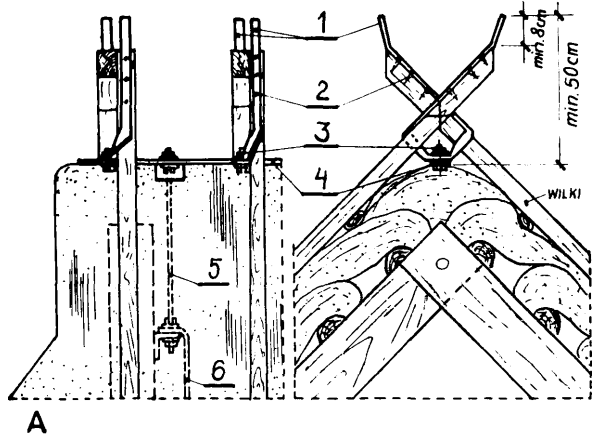
C

9. Przykłady zamocowań niskich zwodów pionowych na dachu pokrytym: A — słomą, B, C — gontami (opis w tekście)

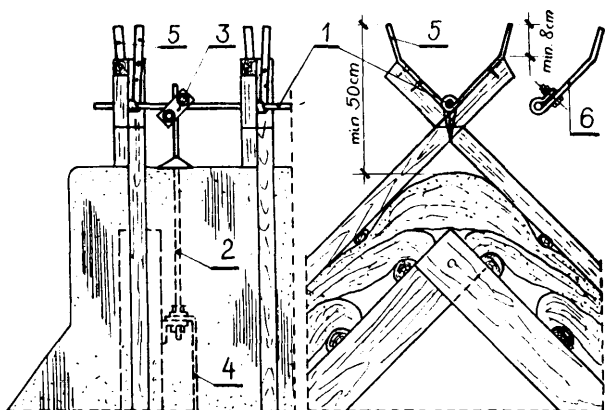
9. Examples of mountings of low vertical lightning conductors: A — on the thatched roof, B, C — on the shingled roof (description in the text)

bez nakrętek wkładamy z góry przez otwór w kalenicy. Następnie od wewnątrz wkręcamy górną nakrętkę do najwyższego górnego położenia (w wersji A dodatkowo zakładamy podkładkę — 6 — i wsuwamy w otwór kątownika). Od dołu przykręcamy do oporu nakrętkę dolną, a następnie górną. W wersji A łączymy przykręcenie górnej nakrętki zwodu z zamocowaniem linki lub pręta łączącego zwody pionowe za pomocą śruby (5) i podkładki (6). W wersji C po zamocowaniu do kątownika (2) przyginamy koniec zwodu tak, ażeby był w pionie. Wskazane jest w przejściach pręta przez pokrycie drewniane uszczelnić otwór kitem.

Przy dachach krytych słomą, która przymocowana jest przy kalenicy wilkami (il. 10 A), możemy te ostatnie wykorzystać jako wsporniki zwodów, przymocowując do nich płaskownik stalowy ocynkowany (1) minimum 50 mm^2 (np. ocynkowaną bednarkę 25×2 lub grubszą) za pomocą gwoździ lub wkrętów (2). Śrubami M10 (3) zwody te mocujemy do szyny łączącej (4), wykonanej z ocynkowanego płaskownika 25×4 mm. Połączenie z przewodami odprowadzającymi (6) wykonujemy na końcach kalenicy na poddaszu, tak jak zwodu pionowego wg il. 9 A bez daszku prętem pionowym $\varnothing 10$



A



B

10. Piorunochrony na dachach krytych słomą z wykorzystaniem wilków (opis w tekście)

10. Lightning conductor systems on the thatched roofs with utilization of „wolfs” (description in the text)

(5), z obu stron nagwintowanym (M10). Pręt ten łączymy z płaskownikami na kalenicach za pomocą nakrętek M10 i podkładek — daszku blaszanego. Wersja B pokazana na il. 10 przedstawia zwód poziomy jako ocynkowany stalowy pręt $\varnothing 12$ (1) ułożony między ramionami wilków, do których przybite są dodatkowe zwody w postaci bednarki stalowej ocynkowanej 2×25 mm (5). Pręt zwodu możemy przymocować przewiązkami z ocynkowanego drutu. Można także wykonać połączenie bednarki z prętem za pomocą zacisku z śruby M8 (6). Najwyższa część zwodu powinna wystawać ponad pokrycie dachu minimum 50 cm, tak w wersji A jak i B.

Połączenie z przewodami odprowadzającymi (4) wykonujemy za pomocą pręta stalowego (2), podobnie jak zamocowanie zwodu pionowego przedstawione na il. 9 A. Połączenie tego pręta ze zwodem wykonane jest za pomocą zacisku śrubowego (3) z dwóch śrub M10 i podkładek. Wszystkie wymienione części malujemy według poprzednio podanych wskazówek.

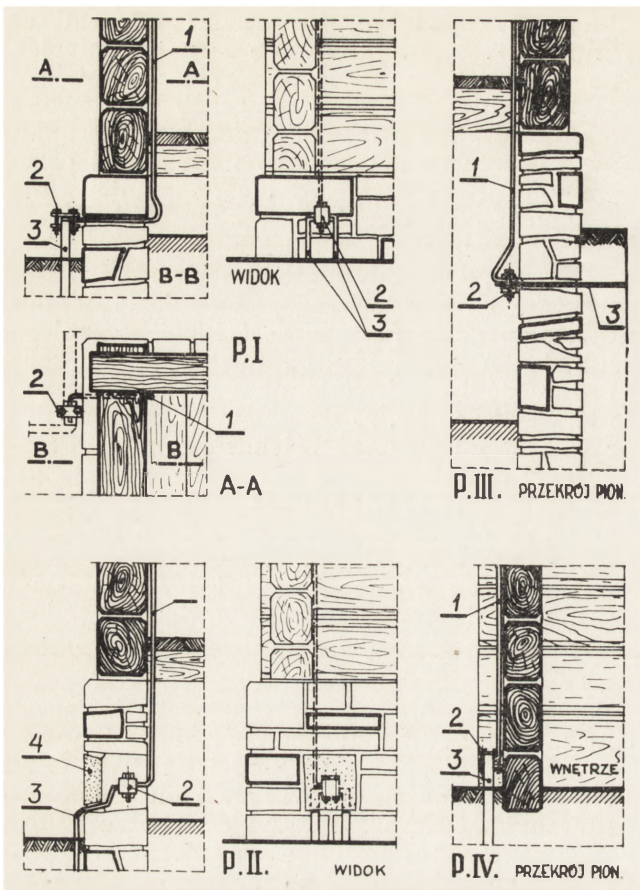
14. Przewody odprowadzające. Przewody odprowadzające łączymy z przewodem poziomym

biegącym pod kalenicą dachu zaciskami ze śrub M10. Gdy zastosowane są połączenia jak na il. 9 A i B, to można wykorzystać istniejący zacisk. Od tych zacisków prowadzimy przewody odprowadzające pod połacią dachu w kierunku naroży budynku. Stosujemy minimum 4 przewody odprowadzające, dążąc do zmniejszenia spadku napięć. Gdy budynek ma podłogi wykonane z materiałów nieprzewodzących (np. z drewna), przewody możemy prowadzić w wewnętrznych narożach aż pod podłogę. W budynkach, gdzie podłogą jest klepisko, polepa lub beton przewody odprowadzające trzeba prowadzić bezpośrednio na ścianie zewnętrznej, kryjąc je np. za wystającymi zewnętrznymi narożami połączeń belek. Przewody te mocujemy skobelkami lub wkrętami do konstrukcji drewnianych. W narożach pomieszczeń mogą one być ukryte poprzez malowanie na kolor wnętrza, zakrywanie listwą drewnianą lub prowadzenie ich w szczelinach między pionowymi elementami konstrukcji. Odpowiednio zwiększone przekroje usuwają niebezpieczeństwo pożarowe.

Wyprowadzenie przewodów odprowadzających na zewnątrz budynku spod podłogi powinno być wykonane w sposób najbardziej niewidoczny. Na il. 11 pokazano przykłady różnych proponowanych rozwiązań. Przykład I przedstawia budynek, w którym fundament nieznacznie wystaje nad poziomem terenu. Przewód odprowadzający (1) przechodzi między spoinami kamieni, zacisk kontrolny (2) znajduje się na zewnątrz budynku. W przykładzie II mamy fundament z kamienia wystający nad poziom terenu tak, że umożliwia usytuowanie zacisku kontrolnego (2) łączącego przewód odprowadzający (1) z uziomem (3), we wnęce zakrytej kamieniem (4), wmurowanym na zaprawie wapienno-gipsowej. W przykładzie III wykorzystano piwnicę lub wysoką przestrzeń pod podłogą na połączenie przewodu odprowadzającego (1) z uziomem (3) za pomocą zacisku kontrolnego (2). Uziom wychodzi tu przez spoiny fundamentu bezpośrednio do ziemi. W przykładzie IV pokazano sytuację, gdzie wewnątrz nie ma podłogi, a znajduje się np. klepisko. Przewód odprowadzający (1) połączony z uziomem (3) zaciskiem kontrolnym (2) znajduje się na zewnątrz budynku.

W miejscach, gdzie przewód odprowadzający łączy się z uziomem, wskazane jest zasadzenie odpowiednich do charakteru budynku krzewów. Dzięki temu złącza stają się mniej widoczne; ponadto krzewy, uniemożliwiają przypadkowe krycie się ludzi pod okapem dachu w tych niebezpiecznych miejscach. Należy także pomalować widoczne części przewodu odprowadzającego złącza i uziomów, dobierając kolor najbardziej zbliżony do tła.

15. Uziomy. Uziomy wykonujemy według zaleceń polskich norm, uwzględniając wskazówki wymienione uprzednio. Zwraca się uwagę na



11. Połączenie przewodów odprowadzających z uziomami: P.I — na zewnątrz budynku, P.II — w cokole fundamentu, P.III — w podpiwniczeniu, P.IV — na zewnątrz gdy w pomieszczeniu podłoga jest klepisko, 1 — przewód odprowadzający, 2 — zacisk kontrolny, 3 — uziom, 4 — kamień zakrywający połączenie

11. Connection of down conductors and earth electrodes: P.I — outside the building, P.II — in the socle of foundation, P.III — at the cellar level, P.IV — outside the building when the trashing floor is inside, 1 — down conductor, 2 — control terminal, 3 — earth electrode, 4 — stone covering the joints

to, ażeby nie prowadzić uziomów od strony wejścia do budynku, ze względu na napięcia krokowe.

Gdy w budynku mającym podłogi, w części znajduje się klepisko lub posadzka betonowa, to należy otoczyć ją dodatkowym uziomem i przyłączyć do ogólnego systemu uziomów poprzez zacisk kontrolny. Podobnie należy postąpić wówczas, gdy taka posadzka wystąpi w narożu budynku, a zastosowano wewnętrzne prowadzenie przewodów odprowadzających.

VI. SIĘĆ ENERGETYCZNA NISKIEGO NAPIĘCIA

16. Sieć kablowa. Sieć energetyczną niskonapięciową wykonuje się w tego typu budynkach kablami podziemnymi. Przy mniejszych przekrojach stosuje się zwykle izolację igelitową i rezygnuje się z osłon metalowych. Traci się w ten sposób korzyści z osłon uziemionych dla ochrony odgromowej.

17. Koordynacja instalacji niskonapięciowych oraz instalacji piorunochronnych. Koordynację należy wykonać według zasad wprowadzonych dla piorunochronów lekkich.

Na il. 6 przedstawiono budynek z piorunochronami umieszczonymi na drzewach. Przewody niskonapięciowe: fazowy R oraz zerowy O są doprowadzone przewodami podziemnymi i wchodzi do budynku przy jednym z fundamentów. Przewód zerowy jest połączony z uziemieniem piorunochronnym (5), co daje duże korzyści przy tzw. zerowaniu (środek na uniknięcie niebezpiecznych napięć dotykowych w instalacjach elektrycznych). Ponadto dla uniknięcia iskier wtórnych w budynku potrzebny jest jeszcze iskiernik lub odgromnik niskonapięciowy (4), zamocowany na wejściu przewodów niskonapięciowych do budynku. Najodpowiedniejszy będzie opracowany ostatnio przez jednego z autorów odgromnik niskonapięciowy magnetyczno-wydmuchowy.

Ilustracja 7 przedstawia budynek z piorunochronem zamocowanym bezpośrednio do elementów drewnianych i słomianych; koordynacja przewodów piorunochronnych przedstawia się podobnie jak na il. 6.

18. Instalacje elektryczne na poddaszu. Ewentualne instalacje elektryczne na poddaszu należy prowadzić w podłużnej płaszczyźnie symetrii budynku, nie zbliżając się do połąci bocznych pokrycia dachowego, przewodów odprowadzających oraz poziomego przewodu łączącego zwody pionowe, w celu uniknięcia iskier wtórnych. Minimalną odległość x (il. 7b) instalacji elektrycznej od wymienionych elementów możemy obliczyć ze wzoru uwzględniającego liczbę przewodów odprowadzających oraz spadek indukcyjności $u_{i\max}$:

$$x = \frac{u_{i\max}}{W_u} \quad (5)$$

gdzie:

$u_{i\max}$ — napięcie indukcyjne [kV],
 W_u — wytrzymałość udarowa przerwy powietrznej.

O spadku indukcyjnym $u_{i\max}$ decyduje indukcyjność $l \times L$ (mikrohenry) i stromość wzrostu prądu udarowego i'_{\max} (kA/ μ s) według wzoru:

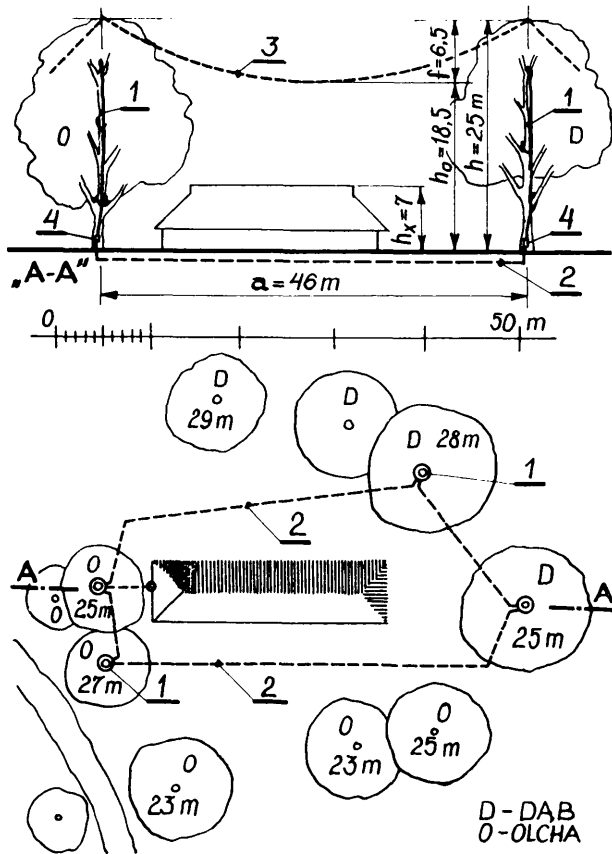
$$u_{i\max} = l \cdot L \cdot i'_{\max} \quad (6)$$

$$L = \frac{2\mu H/m}{n} \cdot w \quad (7)$$

gdzie:

l — czynna długość przewodu [m]
 L — indukcyjność wypadkowa na jednostkę długości [μ H/m]
 n — ilość przewodów odprowadzających
 w — współczynnik niejednostajności podziału prądu = 1,5.

Przykład: W budynku przy 4 przewodach odprowadzających



12. Przykład ochrony odgromowej założonej na drzewach: 1 — zwód pionowy, na drzewie, 2 — system uzio-
mów, 3 — strefa osłonowa, 4 — zacisk kontrolny

12. Example of lightning conductor system mounted on trees: 1 — vertical lightning conductor on the tree, 2 — system of earth electrodes, 3 — the zone of protection, 4 — control terminal

$$L = 0,75 \mu\text{H/m}$$

$$u_{i\text{max}} = 5 \text{ m} \times 0,75 \mu\text{H/m} \times 100 \text{ kA}/\mu\text{s} = 375 \text{ kV}$$

$$x = \frac{375 \text{ kV}}{500 \text{ kV/m}} = 0,75 \text{ m.}$$

VII. NAPIĘCIA KROKOWE I DOTYKOWE

Na zewnątrz budynku duże napięcia krokowe występują w pobliżu uzio-
mów; są one nieuniknione. Niebezpieczeństwo to łagodzi mała oporność uziemienia i głębokie położenie elektrod uzio-
mów. Uziomy należy sytuować w mniej uczęszczanych, możliwie wilgotnych miejscach (np. pod trawnikami, grzędami itp.), pamiętając o tym, żeby nie instalować ich po stronie wejścia do budynku, ulicy, drogi, w bramach i miejscach, gdzie mogą się chronić ludzie w czasie burzy.

Szpeciallynie niebezpieczna jest dla człowieka dolna część przewodu odprowadzającego w miejscu połączeń z uzio-
mami, gdyż przejście prądu piorunowego od dłoni lub głowy do stóp jest groźniejsze, niż przepływ prądu między nogami pod działaniem napięcia krokowego. Dla-

tego też należy uniemożliwić dostęp do tych miejsc np. przez sadzenie krzewów.

Wewnątrz budynku przy posadzkach nieprzewodzących lub półprzewodzących nie ma prze-
ważnie wielkiego niebezpieczeństwa napięć krokowych, szczególnie na wyższych poziomach. Większe niebezpieczeństwo występuje na posadzkach betonowych, ułożonych bezpośrednio na gruncie lub klepiskach. Wskazane jest ułożenie w takim wypadku pierścienia uziemie-
niowego dookoła budynku. Jeszcze bardziej można poprawić bezpieczeństwo przez dodanie poprzecznych przewodów w pierścieniu pod budynkiem.

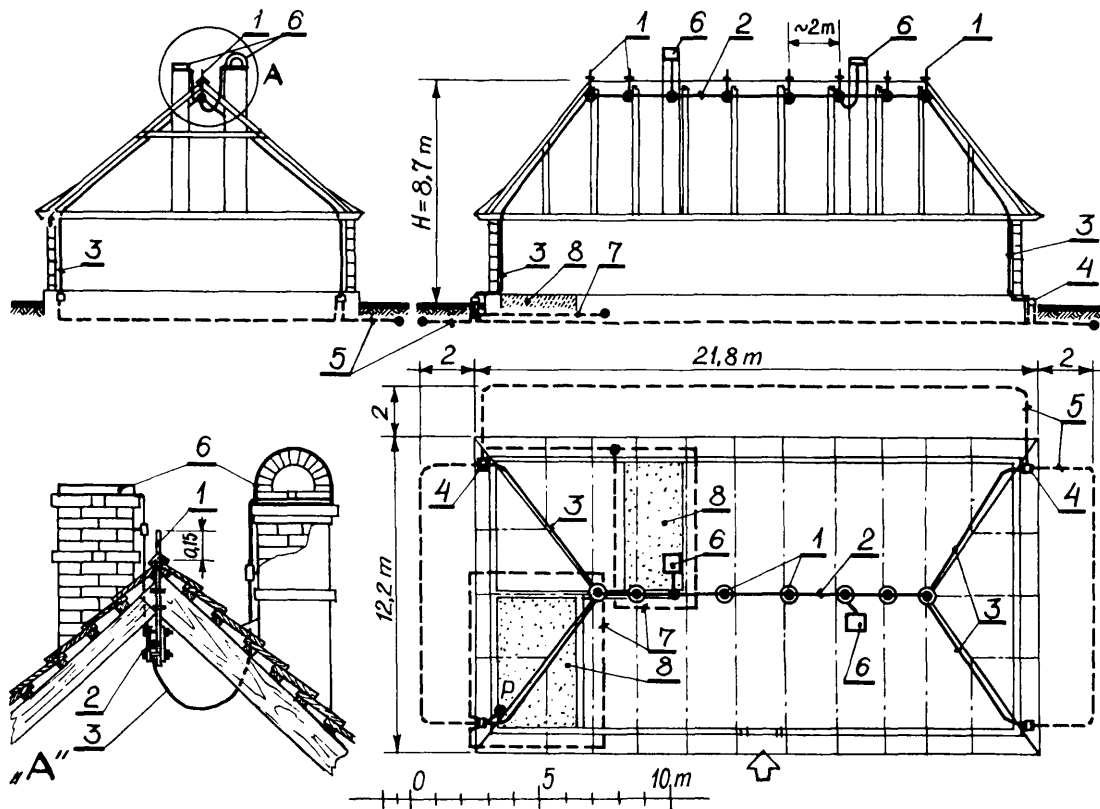
Największe niebezpieczeństwo występuje w pod-
piwniczeniach budynków, szczególnie gdy pro-
wadzone są tam przewody odprowadzające. Z tego względu należy unikać przebywania w tych pomieszczeniach w czasie burzy, podobnie jak i na strychach.

VIII. PRZYKŁADY PROJEKTOWANYCH ROZWIĄZAŃ

19. Przykład ochrony odgromowej na drzewach. Na il. 12 pokazano sytuację wiejskiej chałupy otoczonej drzewami. Ochrona odgromowa projektowana jest na najbliższych drzewach. Strefę osłonową sprawdzono w najbardziej niekorzystnym przekroju „A—A”. Jak wynika z wymiarów a i h należało przyjąć do obliczeń ostrzejsze warunki, według wskazówek energetycznych dla dwóch zwodów pionowych. Z obliczeń wynika, że obiekt jest całkowicie chroniony. W punkcie P proponuje się przyłączenie przewodu zerowego instalacji niskonapięciowej z uziemieniem piorunochronnym oraz miejsce założenia odgromnika niskonapięciowego. Szczegóły zwodów i uzio-
mów należy wykonać tak, jak w opisach szczegółowych.

20. Przykład ochrony odgromowej założonej bezpośrednio na materiałach. Chałupę z zaprojektowanymi niskimi zwodami prętowymi przedstawiono na il. 13. Dach kryty jest gontem, konstrukcja ścian drewniana, podłogi drewniane, w dwóch małych pomieszczeniach betonowe, budynek bez podpiwniczenia, fundament z kamienia. Rozstaw niskich zwodów pionowych (1) wynosi około 2 m; przytwierdzone są one bezpośrednio do krokwi według il. 9 B. Na kominach należy założyć ramki zewnętrzne (6) ze wstęgi ocynkowanej minimum 100 mm^2 (np. 25×5), które łączymy z przewodem odprowadzającym przez spawanie lub zaciski śrubowe. Drugi koniec przewodu łączymy z poziomym przewodem biegnącym pod kalenicą (2) dodatkowym zaciskiem śrubowym (z dwóch śrub M10 i podkładek) lub z najbliższym zaciskiem na zwodzie pionowym.

Przewody odprowadzające (3) łączymy na istniejących zaciskach przy zwodach pionowych i prowadzimy wewnątrz poddasza i wewnątrz



13. Przykład ochrony odgromowej założonej bezpośrednio na materiałach: 1 — zwody pionowo-prętowe, 2 — przewód poziomy łączący zwody, 3 — przewody odprowadzające, 4 — zaciski kontrolne, 5 — system uziomów, 6 — ramki na kominach, 7 — dodatkowe uziomy wokół posadzek przewodzących, 8 — posadzka betonowa

13. Example of lightning conductor system mounted on the materials: 1 — vertical lightning rods, 2 — horizontal cable connecting the lightning rods, 3 — down conductors, 4 — control terminals, 5 — system of earth electrodes, 6 — frames on chimneys, 7 — additional earth electrodes round conducting floors, 8 — concrete floor

(wszystkie rysunki wyk. autorzy)

naroży budynku. Wyjścia na zewnątrz i połączenia z uziomami (4) wykonujemy wg il. 11, PI lub PII. Uziomów (5) nie prowadzimy od strony wejścia.

Posadzkę betonową (8), znajdującą się w części jednego z pomieszczeń, należy otoczyć dodatkowym uziomem (7) i połączyć z systemem uziomów (5) przez zacisk kontrolny (4). W związku z tym, że w jednym z naroży posadzka jest betonowa, należy ją także otoczyć dodatkowym uziomem, który przyłączamy do ogólnego systemu uziomów. Po tak wykonanej ekwipoten-

cjalizacji w narożu można prowadzić przewód odprowadzający wewnątrz budynku.

W punkcie P przewiduje się przyłączenie przewodu zerowego instalacji niskonapięciowej z uziemieniem piorunochronnym oraz miejsce założenia odgromnika niskonapięciowego. Grubości przewodów oraz szczegóły konstrukcyjne należy wykonać według opisów w rozdziale V.

prof. dr inż. Stanisław Szpor
Gdańsk.
mgr inż. arch. Zenon Hirsch
Instytut Matematyki Politechniki Gdańskiej

THE LIGHTNING PROTECTION OF MONUMENTAL WOODEN BUILDINGS

This paper deals with problems of lightning protection of monumental wooden folk buildings with special concern for the architectural aspect. The authors suggest a new method of laying the down conductors on the buildings directly on the inflammable materials, because the standard lightning conductor

system mounted on monumental buildings disturbs their monumental character. The correct solution in such cases may be reached exclusively by the cooperation of an architect and an electrical expert on lightning protection problems.