

FLORIAN KRASUCKI

OKREŚLENIE PODSTAWOWYCH KRYTERIÓW BEZPIECZENSTWA  
RAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W PODZIEMIACH KOPAŁŃ

Streszczenie. Wpływ warunków pracy w górnictwie na zagrożenie rażeniowe.

Kształtowanie się wskaźników wypadkowości elektrycznej w latach 1954-1963. Analiza i podział wypadków porażen zależnie od rodzaju prądu i wartości napięcia, rodzaju urządzeń i przyczyn oraz kwalifikacji pracowników. Przegląd, porównanie i omówienie krytyczne, na podstawie nowszego piśmiennictwa, najistotniejszych wyników badań reakcji ludzi na działanie prądu elektrycznego oraz fibrylacji komór serca zwierząt doświadczalnych. Analiza cech i właściwości organizmu żywego jako elementu obwodu elektrycznego. Specyficzne właściwości atmosfery i ruchu górniczego oraz ich wpływ na odporność organizmu na działanie prądu elektrycznego. Propozycje granicznych wartości prądu i czasu rażenia oraz oporności człowieka. Obliczenie dopuszczalnych napięć dotyku dla prądu zmiennego i stałego. Wytyczne dla bezpiecznych konstrukcji urządzeń i zabezpieczeń.

## 1. UWAGI WSTĘPNE

Działanie prądu na organizm żywy może być bezpośrednie lub pośrednie. Rażeniem prądem elektrycznym nazywamy przypadek bezpośredniego przepływu prądu przez organizm żywy.

Prąd elektryczny przepływając przez organizm ludzki wywołuje w nim szereg zmian fizycznych, chemicznych oraz biologicz-

nych, które ogólnie nazywamy porażeniem elektrycznym. Zmiany patologiczne w organizmie ludzkim mogą być również wynikiem pośredniego działania prądu elektrycznego. Są to między innymi oparzenia łukiem lub iskrą elektryczną przy zwarciach, oparzenia rozgrzanyimi przewodnikami lub osłonami, oparzenia energią pola elektromagnetycznego dużej częstotliwości, uszkodzenia oczu promieniowaniem ultrafioletowym, obrażenia mechaniczne wskutek rozerwania obudów i podmuchu, upadki w wyniku udarów elektrycznych i in.

Rażenie elektryczne następuje zwykle w przypadku dotknięcia co najmniej dwóch punktów o różnych potencjałach i odpowiedniej mocy źródła. W warunkach górniczych mogą to być następujące przypadki:

1. Dotyk gołych części urządzeń elektrycznych, przez które w normalnych warunkach przepływa prąd i które znajdują się pod napięciem względem otoczenia (np. drut ślizgowy w trakcji elektrycznej przewodowej).
2. Dotyk przewodzących części urządzeń elektrycznych, nie należących do obwodu prądu (np. kadłuby maszyn, osłony aparatów i przewodów), a które znalazły się pod napięciem zabłąkanym w przypadku uszkodzenia izolacji.
3. Dotyk przedmiotów przewodzących, nie będących częścią urządzeń elektrycznych a które przypadkowo znalazły się pod napięciem zabłąkanym (np. maszyny górnicze, rurociągi, lutnie, konstrukcje żelazne tras przenośników itp.).

Napięciem dotyku  $U_d$  będziemy nazywali różnicę potencjałów, występującą między dwoma punktami, z którymi mogą się zetknąć dowolne dwa punkty organizmu rażonego - najczęściej dwie ręce bądź też ręka i stopa człowieka.

Spadek napięcia na oporności  $Z_c$  ( $R_c$ ) organizmu żywego, który znalazł się pod działaniem prądu elektrycznego o natężeniu  $I_r$  będziemy nazywali napięciem rażenia  $U_r$ . Napięciem uszkodzenia  $U_u$  bądź napięciem względem ziemi  $U_z$  nazwiemy napięcie zabłąkane, jakie może się pojawić między dwoma biegunami uszkodzonego urządzenia elektrycznego lub między jednym biegunem a ziemią odniesienia.

Napięcia rażenia i dotyku są zazwyczaj tylko częścią całkowitego napięcia względem ziemi (napięcia uszkodzenia). Ogólnie

$$U_r = \alpha_r U_d = \alpha_r (\alpha_d U_z) \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha_r$  = współczynnik rażeniowy uwzględniający spadek napięcia na oporności przejścia (obuwie, dodatkowa izolacja, podłoga itp.),

$\alpha_d$  = współczynnik dotykowy uwzględniający rozkład potencjału na powierzchni ziemi (lub innego przewodnika) oraz wewnętrzny spadek napięcia.

## 2. WYPADKI PORAŻEŃ ELEKTRYCZNYCH W GÓRNICTWIE

Prawdopodobieństwo rażenia ludzi prądem elektrycznym w górnictwie, a w szczególności w podziemiach kopalń, jest znacznie większe niż w innych przemysłach.

Duże zagrożenie w podziemiach kopalń wynika ze specyficznych ruchowo-górnicznych warunków otoczenia i eksploatacji urządzeń elektrycznych:

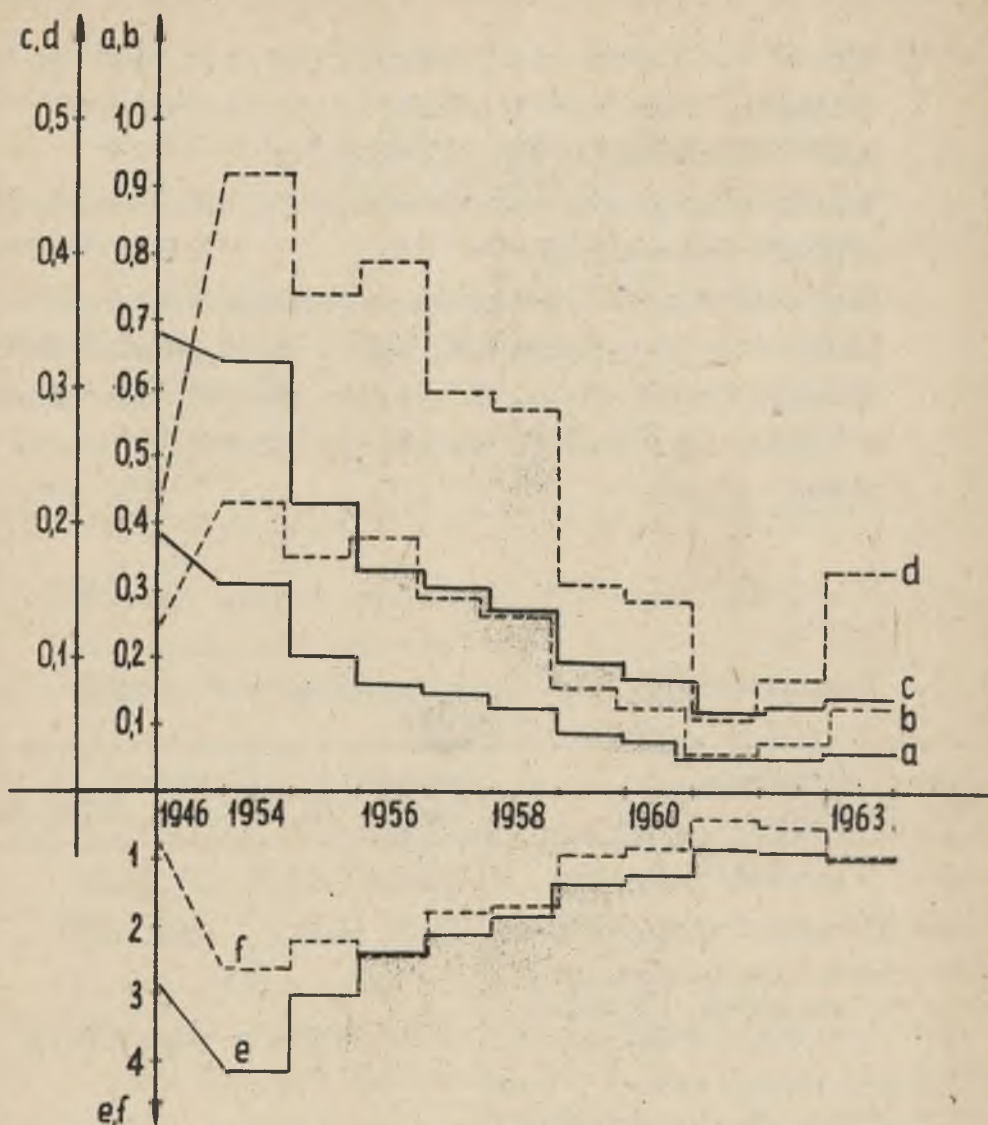
1. Podwyższona temperatura otoczenia, duża wilgotność i zapylenie, ciasnota wyrobisk i duże prawdopodobieństwo mechanicznych uszkodzeń izolacji.

2. Duża rozciągłość sieci elektroenergetycznych, których od cinki końcowe eksploatowane w najtrudniejszych warunkach wykonywane są przewodami oponowymi mało odpornymi na uszkodzenia.
3. Obecność nisko zawieszonych gołego przewodu jezdnego trakcji elektrycznej.
4. Wzrastające moce maszyn górniczych, wymagające wysokich napięć zasilania. Duże i zmienne obciążenia powodują przeciążenie silników elektrycznych i uszkodzenie ich izolacji.
5. Stały dotyk urządzeń i maszyn, które mogą znaleźć się pod napięciem uszkodzenia.
6. Obecność dużych mas metalowych w ograniczonej przestrzeni, niedostateczne oświetlenie oraz duży wysiłek fizyczny połączony z poceniem się.
7. Utrudniony stały nadzór i prawidłowa konserwacja urządzeń elektrycznych, które w większości wypadków znajdują się w pomieszczeniach ogólnie dostępnych.

Kształtowanie się liczby i wskaźników wypadków elektrycznych w polskich kopalniach węgla kamiennego przedstawiono na rys. 1. W wyniku przeprowadzonej analizy wypadków elektrycznych zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w latach 1954-1963 [20] otrzymano następujące uogólnienia:

1. Liczba wypadków elektrycznych w kopalniach jest względnie mała w porównaniu z wypadkami pozostałych grup czynowych.

W analizowanym okresie wypadki elektryczne stanowiły średnie 0,309% wypadków wszystkich i zmniejszyły się o 0,365% w stosunku do 1946 r. [38].



Rys. 1. Wypadkowość elektryczna w kopalniach węgla kamiennego  
 a - wskaźnik wypadków I-IV kat. przypadających na 1 mln ton wydobywania, b - wskaźnik wypadków śmiertelnych przypadających na 10 mln. ton wydobywania, c - wskaźnik wypadków I-IV kat. przypadających na 100 tys. dniówek, d - wskaźnik wypadków śmiertelnych przypadających na 1 mln dniówek, e - względna liczba wypadków I-IV kat. w stosunku do 1963 r., f - względna liczba wypadków śmiertelnych w stosunku do 1963 r.

2. Wypadki elektryczne charakteryzują się największą śmiertelnością, która wynosi średnio 17,9% w porównaniu z 0,951% śmiertelności wypadków wszystkich.
- Wypadki porażen śmiertelnych stanowią 6,06% wszystkich wypadków śmiertelnych.
3. Większość wypadków elektrycznych zachodzi w podziemiach kopalń - 80,3% wypadków kat. I-IV i 85,5% wypadków śmiertelnych. Więcej niż połowa wypadków porażen śmiertelnych w podziemiach kopalń ma miejsce przy prądzie stałym - średnio 57,5%.

Tablica 1

Podział wypadków elektrycznych według grup urządzeń i przyczyn

Rodzaj urządzenia lub przyczyna	Wypadki kat. I [%]	Wypadki kat. II-IV [%]
Kable i przewody izolowane	23,15 (6,2)	20 (2,86)
Drut ślizgowy trakcji elektr.	46,35 (25)	13,6 (20)
Urządzenia rozdzielcze, aparatura łączeniowa, bezpieczniki i przyrządy pomiarowe	16,65 (37,5)	51,9 (68,59)
Silniki, transformatory i inne elektryczne urządzenia górnicze	13,85 (41,3)	14,5 (8,55)
Brak ochrony oraz zły stan urządzeń	27,28 (25)	26,5 (14)
Nieodpowiedni sposób pracy, nieprzestrzeganie przepisów i instrukcji	72,2 (75)	73,5 (86)

Uwaga: w nawiasach podano wartości za lata 1945-1946.

Tablica 2

## Podział wypadków elektrycznych według wartości napięć znamionowych

Wartości napięcia V	Wypadki kat. I %	Wypadki kat. II-IV %
poniżej 127	2,78	4,65
220	49	14,75
500	32,42	67,80
powyżej 1000	15,80	12,80

4. Względny podział wypadków elektrycznych według grup urządzeń i przyczyn ich powstawania jest taki, jak podano w tablicy 1 (w nawiasach wartości za okres 1945-1946 [38]).

5. Wypadkom porażen śmiertelnych ulegają najczęściej pracownicy postronni nie zatrudnieni bezpośrednio przy obsłudze i konserwacji urządzeń elektrycznych (górnicy i pracownicy niewykwalifikowani) - 67,3%.

Natomiast wypadkom elektrycznym kat. II-IV częściej ulegają elektromonterzy i ich pomocnicy - 61,8%.

6. Większość wypadków elektrycznych zachodzi przy urządzeniach o napięciu znamionowym 500 V (duża liczba urządzeń) i 220 V (drut jezdny); tablica 2.

### 3. ODDZIAŁYWANIE ELEKTRYCZNEGO PRĄDU PRZEMIENNEGO NA ORGANIZM LUDZKI

Skutki działania prądu elektrycznego na organizm żywy są różnorodne i zależą od cech właściwych źródła prądu, oraz paramet-

trów elektrycznych i biofizycznych ustroju rażonego [14, 15, 18, 23, 25, 27] .

Są to głównie następujące czynniki: rodzaj prądu i jego natężenie, kształt krzywej i częstotliwość, droga i czas przepływu prądu oraz osobnicze właściwości konstytucjonalne i kondycyjne organizmu rażonego (między innymi zmęczenie fizyczne i psychiczne, przyzwyczajenie do udarów elektrycznych, napięcie emocjonalne i czynnik zaskoczenia lub uwagi) .

Systematyczne badania reakcji organizmu ludzkiego na działanie prądu elektrycznego prowadzone są od przeszło 70 lat. Przeprowadzone w następnych latach w USA i Europie badania statystyczne na ludziach [1, 7, 9, 12, 23, 26, 29, 34] oraz analizy skutków porażen [14, 15, 22, 23, 28, 34, 35] pozwalają na względnie dokładne określenie reakcji organizmu ludzkiego.

W tablicy 3 zestawiono typowe reakcje i skutki działania prądu sinusoidalnie zmiennego 50÷60 Hz w zależności od jego natężenia oraz czasu przepływu, na podstawie badań źródłowych oraz ustaleń analitycznych różnych autorów. Jednocześnie podano przeciętną wartość natężenia prądu, obliczoną jako średnią z wartości podawanych we współczesnej literaturze.

Z punktu widzenia oceny stopnia niebezpieczeństwa porażen elektrycznych, istotne są dwie wartości natężenia prądów rażeniowych:

- prąd graniczny długotrwały (tzw. prąd "bezwzględnie" bezpieczny)
- prąd graniczny krótkotrwały (tzw. prąd "względnie" bezpieczny).

Według obecnych poglądów, jako prąd bezpieczny długotrwały można przyjąć taką wartość natężenia prądu rażenia, przy któ-



Tablica 3

Odczucie i reakcja na prąd zmienny 50+60 Hz  
przepływający przez ciało człowieka

Charakter odczuwanego wrażenia, reakcja organizmu i skutki	Wykaz poz. literatury	Natężenie prądu mA	
		zakres	średnio
Próg wyczuwania przepływu prądu w miejscu styku z elektrodą o małej powierzchni; mrowienie w palcu	7, 9, 14, 15, 26, 35	0,1-0,6	0,4
Wyczuwalność wyraźna, kaskota- nie i swędzenie, lekkie skurcze mięśni dłoni	7, 9, 12, 14, 16, 23, 26, 29, 35	0,8-2	1,2
Wyczuwalność bolesna, ukłucie "igłą", cierpięcie dłoni i przegubów, lekkie usztywnienie rąk i nieznaczny wzrost ciśnie- nia tętniczego krwi	23, 26, 29, 35	2-4	3,5
Silna reakcja nerwowa, nerwobóle przedramienia, lekkie skurcze dłoni, usztyw- nienie i drżenie rąk	12, 14, 29	4-5	4,5
Skurcze przedramienia i ramię dochodzące do palców; badany może jeszcze samodzielnie oder- wać się od elektrod; wzrost ciśnienia tętniczego krwi na skutek skurczu mięśni; zaburze- nia rytmu serca i oddechu wy- stępują po czasie kilku minut	1, 4, 7, 9, 12, 15, 16, 25, 26, 29, 35, 39	5-15	12,5
Bardzo silne i bolesne skurcze mięśni rąk; samodzielne uwol- nienie się rażonego bez pomocy jest niemożliwe; możliwość za- trzymania czynności serca w fa-	9, 10, 12, 15, 25, 29, 35	15-30	19

cd. tablicy 3

Charakter odczuwanego wrażenia, reakcja organizmu i skutki	Wykaz poz. literatury	Natężenie prądu mA	
		zakres	średnio
zie rozkurczu, przy czasie przepływu powyżej 20 sek następuje migotanie komórek sercowych			
Skurcze tężcowe mięśni rąk i klatki piersiowej, niemożliwość dokonania wydechu, arytmia serca i duże prawdopodobieństwo odruchowego zatrzymania jego czynności, utrata świadomości	15, 25, 26, 35	22-50	40

rym człowiek badany może sam oderwać ręce od elektrod - tzw. prąd uwolnienia samodzielnego. Zgodnie z tablicą 3 wartość ta może być przyjęta jako 12,5 mA; dolne wartości są następujące [1,7]: mężczyźni - 9 mA, kobiety - 7 mA, dzieci - 5 mA.

Porażenia śmiertelne mogą być powodowane zakłóceniem rytmu pracy serca w wyniku migotania (fibrylacji) jego komórek, zatrzymaniem oddechu, szokiem lub oparzeniami. Badania wykazują, że w przypadku rażenia elektrycznego, niezależnie od sposobu dotyku (przyłożenia elektrod), w wyniku niejednorodności elektrycznej ciała człowieka, zawsze część prądu popłynie przez serce. Z analizy danych statystycznych [23] wynika, że 96% porażań nieśmiertelnych zaszło przy jednoczesnym zatrzymaniu pracy serca i oddechu, a 56% porażań śmiertelnych nastąpiło w wyniku fibrylacji serca.

W przypadku rażenia prądem zmiennym o częstotliwości przemysłowej następuje tężcowy skurcz mięśni szkieletowych.

Tablica 4

Wykaz badań na organizmach żywych,  
których wyniki wykorzystano w pracy

Poz.li- teratury	Obiekt badań	Rodzaj i zakres badań
1	Grupa 200 ludzi (mężczyzn, kobiet i dzieci)	Odczucie i reakcja organizmu na prąd zmienny 50 Hz w zakresie wartości do prądów "uwolnienia".
7,9	Grupa 162 ludzi, w tym 28 kobiet	Badania statystyczne odczucia i reakcji na prąd zmienny 60 Hz, prąd stały oraz wysokiej częstotliwości do 10 kHz. Badania oporności organizmu człowieka.
12 (26)	Grupa 60 ludzi - 2600 doświadczeń	Badania statystyczne oporności organizmu ludzkiego przy przepływie prądu zmiennego 50 Hz.
19	Grupa 48 studen- tów	Badania wartości oporności czynnej i pojemnościowej ciała człowieka przy przepływie prądu zmiennego 50 Hz małych napięć.
23,24	Grupa 282 ludzi - 3000 doświadczeń Grupa 22 ludzi - 300 doświadczeń	Odczucie prądu zmiennego 50 Hz i prądu stałego; badania oporności organizmu ludzkiego. Badania wpływu natężenia pola i prądów odkształconych.
11	7 grup ssaków: świnki morskie, króliki, koty, 10 cieląt, 10 psów, 9 świń, 9 owiec	Graniczny prąd fibrylacji; prąd zmienny 60 Hz przepływający między przednią a tylną łapą w zakresie czasów 0,03 - 3 sek.
13	Grupa 172 psów - 217 doświadczeń	Pełne badania kliniczne wpływu natężenia i czasu przepływu prądu zmiennego 50 Hz i prądu wyprostowanego; graniczny prąd fibrylacji w zakresie czasów 0,1 - 1,46 sek.

cd. tablicy 4

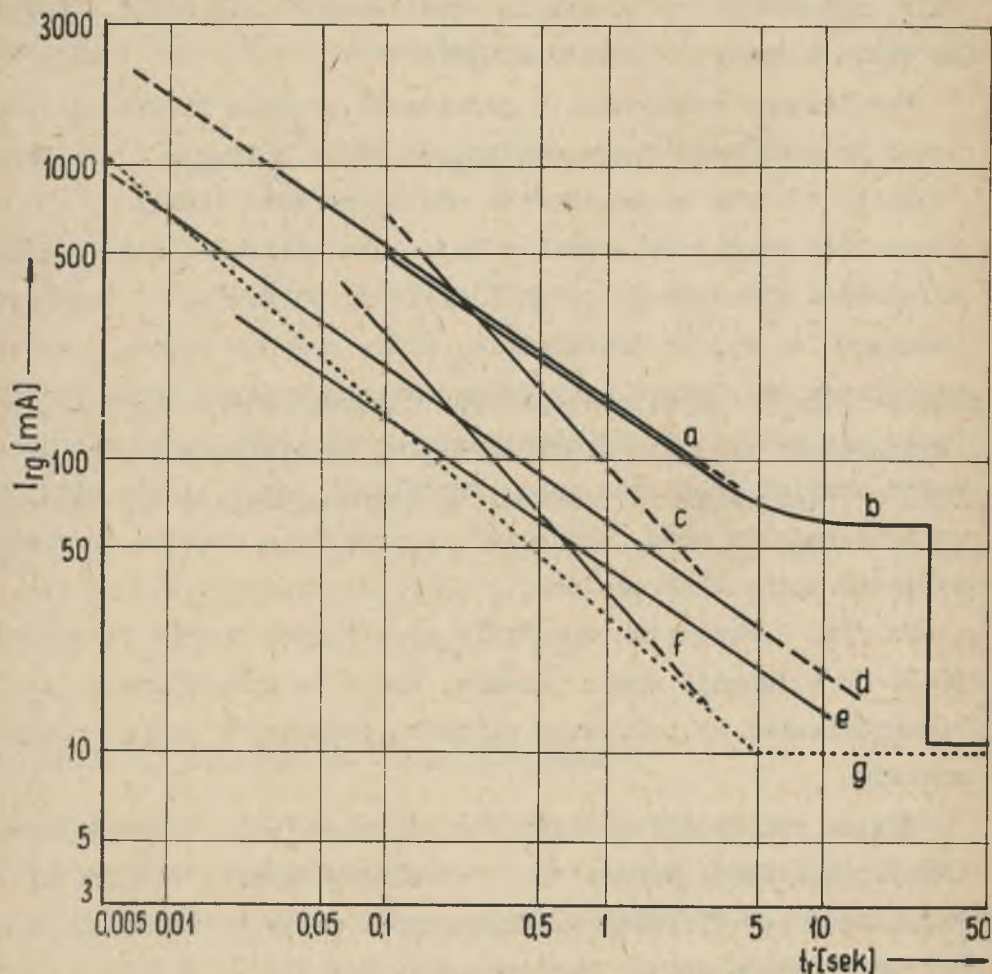
Poz. literatury	Obiekt badań	Rodzaj i zakres badań
17	Grupa 107 psów o ciężarze 8 do 16 kg 191 doświadczeń	Badania granicznego prądu fibrylacji w zakresie czasów 0,0085 - 5 sek.; przepływ prądu zmiennego 60 Hz między przednią lewą i tylną prawą łapą.

Mięsień sercowy normalnie pobudzany jest do pracy rytmicznej z częstotliwością 60÷70 razy na minutę przez węzeł zatokowy [18]. W czasie trwania skurczu serce nie reaguje na bodźce. Stan taki dla mięśnia sercowego trwa 8-10 msek.

Jeżeli w okresie rozkurczu zadziała na serce zewnętrzny impuls elektryczny, to reakcją jest ponowny skurcz mięśnia sercowego. W wyniku następują bezładne, niezsynchronizowane skurcze pojedynczych włókien mięśniowych komór serca, z częstotliwością 500÷1000 drgań na minutę. Stan taki określa się mianem fibrylacji komór serca.

W czasie migotania komory nie zmieniają swojej objętości. Prowadzi to do ostrego niedotlenienia serca (co podtrzymuje fibrylację) i kory mózgowej, zaniku jej czynności biologicznych i zatrzymania oddechu. Śmierć następuje szybko, jeżeli nie przywróci się normalnej pracy serca (defibrylacja) i dopływu tlenu w ciągu 3÷4 minut. Jest to możliwe, jeżeli prąd nie był tak duży (kilka amperów), że nastąpiło fizykochemiczne lub termiczne uszkodzenie serca (maks. temp. 44÷45°C).

Często następstwem urazu elektrycznego jest osłabienie kurczliwości serca. Stan taki nazywamy oczynnością serca nieskuteczną [18]. W takim przypadku śmierć następuje w kilka go



Rys. 2. Graniczne wartości i czasy przepływu prądów rażeniowych o częstotliwości (50±60)Hz

a - linia graniczna prądów, dla których wg Dalziela [6, 8] na podstawie badań zespołu Ferrisa [11] istnieje 0,5% prawdopodobieństwa fibrylacji serca, b - linia graniczna dopuszczalnych rażeniowych wg Bodier [5], c - linia graniczna dopuszczalnych prądów rażeniowych wg Freibergera [12, 30], d - linia graniczna prądów, dla których wg Kouvenhovena [17] istnieje 0,5% prawdopodobieństwa fibrylacji serca psów, e - linia graniczna Kuźniecowa [21] wg badań Webera [35], f - linia graniczna prądów bezpiecznych wg badań zespołu Kizimowa [13], g - linia graniczna proponowana

dzin, a nawet dni po pozornie skutecznej resuscytacji. Przypadki takie znane są w praktyce [28].

Współczesne wiadomości o granicznym prądzie fibrylacji używano na podstawie przeprowadzonych badań różnych zwierząt (tablica 4) oraz szczegółowych analiz porażen ludzi. W analizie większości wyników badań nie stwierdza się wyraźnej zależności granicznego prądu fibrylacji od ciężaru organizmu badanego (za wyjątkiem Dalziela, który przyjął prostą zależność prądu od ciężaru przy opracowywaniu wyników badań Ferrisa). Uważa się natomiast, że uwzględniając wielkość serca człowieka można przyjąć graniczne prądy fibrylacji takie, jakie otrzymano przy badaniu psów. Jednocześnie przyjmuje się, że otrzymane wartości można ekstrapolować w zakresie czasów 0,01 - 5 sek.

Na rys. 2 przedstawiono linie granicznych prądów fibrylacji 50÷60 Hz w funkcji czasu rażenia. Linie te wykreślono w skali logarytmicznej na podstawie wartości podawanych przez różnych autorów.

Ogólne zależności funkcyjne natężenia prądu, wywołującego określoną reakcję organizmu w określonym czasie, zostały sformułowane przez fizjologów. Najbardziej znane są następujące wzory podane przez Weissa oraz Nernsta:

$$I_r = \frac{a}{t_r} + b \quad (2)$$

$$I_r = \frac{a}{\sqrt{t_r}} + b \quad (3)$$

gdzie:

- a, b - stałe uwzględniające wartość napięcia,
- $t_r$  - czas przepływu prądu.

Również graniczne prądy fibrylacji przedstawione na rys. 2 dadzą się w określonych przedziałach czasu wyrazić tymi wzorami:

$$a - I_{rg} = \frac{165}{\sqrt{t_r}}, \quad b - I_{rg} \approx \frac{162}{\sqrt{t_r}}, \quad c - I_{rg} = \frac{70}{t_r} + 30$$

$$d - I_{rg} = \frac{65}{\sqrt{t_r}}, \quad e - I \approx \frac{43}{\sqrt{t_r}}, \quad f - I_{rg} = \frac{27}{t} + 10$$

Zdaniem badaczy radzieckich (Nasonow, Rozental) wzory Weissa i Nernsta obowiązują tylko w pewnych określonych przedziałach czasowych i są szczególnymi przypadkami następującej postaci ogólnej:

$$I_r = \frac{a}{t_r^n} + b \quad (4)$$

#### 4. OPORNOŚĆ ELEKTRYCZNA CIAŁA LUDZKIEGO

Ciało człowieka, jako element obwodu elektrycznego, nie stanowi przewodnika jednorodnego w sensie elektrycznym, lecz ma charakter półprzewodnika anizotropowego. Właściwości elektryczne warunkowane są przez naskórek oraz wewnętrzne drogi przewodzenia w tkankach żywych (tkanka mięsna, krew, nerwy i in.). Oporność zależy więc tak od właściwości fizycznych, jak i szeregu czynników biofizycznych i biochemicznych.

Nieliniowość oporności występuje przede wszystkim względem rodzaju i wartości napięcia, natężenia prądu i czasu jego przepływu oraz częstotliwości. Badania wykazują, że na oporność mają znaczny wpływ podnieci zewnętrzne takie jak: ukłucie, uderzenie, silny dźwięk i światło. Spadek oporności w takim

przypadku może osiągnąć 50% wartości początkowej oraz utrzymuje się przez dłuższy czas [23]. Stan psychiczny i fizjologiczny człowieka badanego ma również duży wpływ na wartość oporności jego ciała.

Oporność elektryczna tkanki żywej posiada charakter pozorny tzn. zawiera dwie składowe: czynną i pojemnościową [18, 19, 23 31]. Składowa pojemnościowa jest również zmienną i występuje w zakresie "małych" napięć (do 50 V) zarówno dla skóry jak i organów wewnętrznych. Oporności czynne i pojemnościowe w tkankach tworzą złożone układy połączeń szeregowo-równoległych.

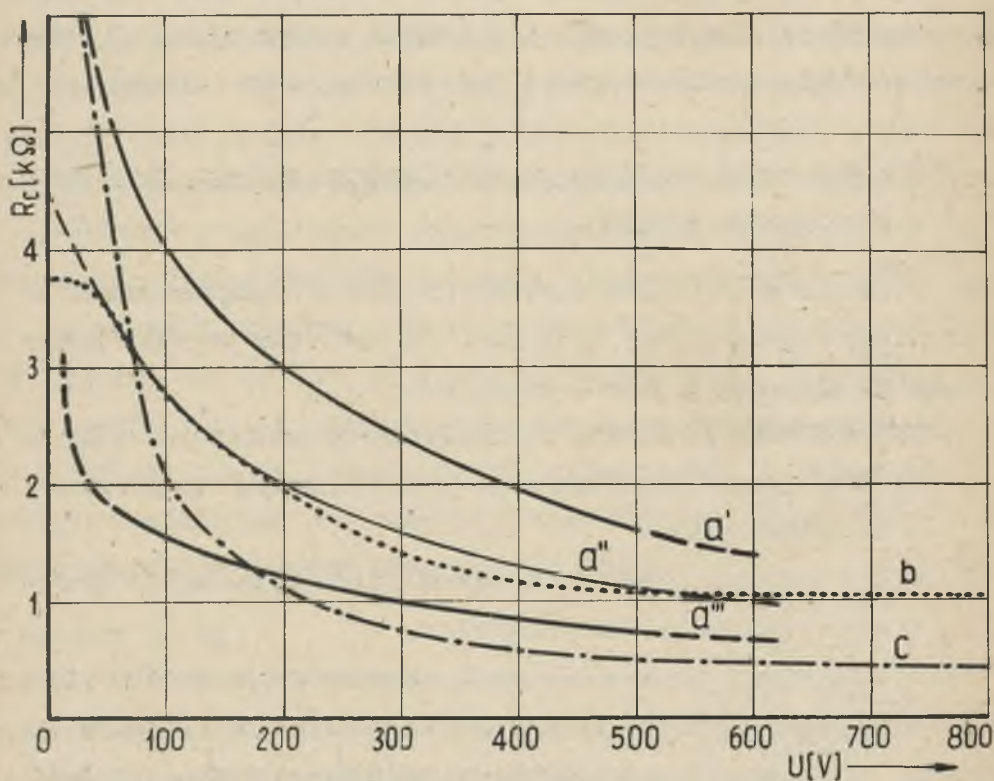
Najbardziej stałe wartości oporności elektrycznej podawane są dla skóry właściwej wraz z naskórkiem, która stanowi główną część oporności całkowitej. Naskórek zrogowaciały zachowuje się jak dielektryk.

Opór skóry zależy przede wszystkim o jej zawilgocenia, temperatury i stanu naskórka oraz powierzchni zetknięcia się i siły docisku elektrod. I tak np. po zmoczeniu skóry roztworem soli jej oporność spada więcej niż 3-krotnie. Orientacyjne wartości oporności jednostkowych przy prądzie zmiennym 220 V 50 Hz poszczególnych składników organizmu żywego są następujące [18, 23]: naskórek suchy -  $100 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ , skóra wilgotna -  $5 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ , skóra bez naskórka i tkanki wewnętrzne -  $200 \Omega\text{cm}$ , tkanka tłuszczowa i kości -  $1 \text{ k}\Omega\text{cm}$ , krew -  $150 \Omega\text{cm}$ .

Dla praktycznych celów ustalania środków ochrony przed porażeniami konieczna jest znajomość choćby przybliżonych wartości wypadkowej oporności ciała ludzkiego.

Istotny wpływ na praktyczne wartości oporu wypadkowego ma wartość napięcia oraz czas jego przyłożenia. Zmiana oporności następuje tak na skutek przebicia naskórka ( $10\div 50 \text{ V}$ ) jak i zmian biofizycznych w organizmie żywym [18, 23]. Z tych powodów war-





Rys. 3. Oporność ciała ludzkiego w funkcji napięcia

a - wg Freibergera [12] (a' - a'': skóra sucha, przeguby cienkie, słaby docisk elektrod, a'' - a''', skóra wilgotna, przeguby grube, silny docisk elektrod), b - wg Nahasa i Prąglowskiego [18, 27], c - wg Manojłowa [24]

tość napięcia rażenia przyjmowana jest najczęściej jako zmienna niezależna funkcji oporu. Na rys. 3 przedstawiono wykreślenie opór wypadkowy ciała człowieka w funkcji napięcia prądu zmiennego 50 Hz dla przypadku najczęściej występującej praktycznie drogi przepływu prądu (ręka - ręka, ręka - noga).

#### 5. OKREŚLENIE DOPUSZCZALNYCH PRĄDÓW I NAPIĘĆ RAŻENIA PRZY PRACY W PODZIEMIACH KOPALNÍ

Przy ustalaniu granicznych wartości prądów i napięć rażenia w podziemiach kopalń należy uwzględnić specyficzne warunki pracy i ruchu górniczego, a przede wszystkim:

1. Wpływ składu powietrza kopalnianego na zakres reakcji i odczucia prądu elektrycznego przepływającego przez organizm człowieka.
2. Wpływ warunków pracy na oporność ciała ludzkiego i prawdopodobieństwo rażenia prądem.

Zawartość tlenu w powietrzu ma istotny wpływ na wartość prądu powodującego określoną reakcję. Zmniejszenie procentowej zawartości tlenu zwiększa uczulenie na działanie prądu. Czułość prądowa wzrasta również ze wzrostem zawartości dwutlenku węgla w składzie powietrza kopalnianego.

I tak stosunkowo nieznaczny wzrost zawartości  $\text{CO}_2$  powoduje zmniejszenie wartości prądu odczucia średnio o 30-40% [23], a przekroczenie dopuszczalnej granicy 1%  $\text{CO}_2$  [39] zwiększa czułość prądową przeszło 2-krotnie. Ilość azotu w powietrzu nie ma bezpośredniego wpływu na zagrożenie rażeniowe, ale należy uwzględnić, że wzrost zawartości azotu w powietrzu kopalnianym odbywa się zwykle kosztem zmniejszenia zawartości tlenu [39].

Występująca w podziemiach kopalni jonizacja powietrza może mieć również ujemny wpływ na bezpieczeństwo przeciwporażeniowe.

Zwiększenie zagrożenia w podziemiach kopalń powodują również następujące czynniki: duża wilgotność względna i podwyższona temperatura, obecność wody zasolonej i zakwaszonej, stały dotyk (o dużym nacisku i dużej powierzchni) urządzeń na których może pojawić się napięcie dotyku, duże prawdopodobieństwo uszkodzeń mechanicznych naskórka, możliwość dotyku częściami ciała o dużej czułości prądowej i małej oporności (skronie, przedramię, ramiona, plecy) na skutek pracy bez odzieży.

Podwyższona temperatura ma wpływ na pocenie się i zasolenie miejsca dotyku jak i na zmniejszenie się oporności wewnętrznej ciała człowieka. Wpływ temperatury na wypadkowość wykazują statystyki zagraniczne - w okresie trzech miesięcy letnich zachodzi średnio 40% porażen śmiertelnych [40].

#### Prąd zmienny 50 Hz

Dla warunków pracy w podziemiach kopalń należy założyć, że istnieje konieczność utrzymania możliwości samodzielnego przerwania obwodu prądu rażącego przez osobnika rażonego nawet w przypadku dokonania uchwytu całą dłonią. Graniczny prąd rażenia dopuszczalny długotrwale nie powinien więc być większy od tzw. prądu uwolnienia.

Jako dopuszczalne wartości przepływu długotrwałego proponuje następujące:

$$I_{rd} \leq 10 \text{ mA}, \quad t_{rd} \geq 5 \text{ sek}$$

Wartości te są zgodne z ustaleniami tzw. "I poziomu bezpieczeństwa" projektu normy państwowej PNE-05009 [37].

Dopuszczalne, odpowiednio większe wartości natężenia prądów rażeń krótkotrwałych (poniżej 5 sek) można przyjąć tylko przy założeniu, że czas przepływu prądu zostanie niezawodnie ograniczony do odpowiedniej wartości przez właściwe zabezpieczenie. Określenie wartości tych prądów i czasów przepływu należy oprzeć na granicznym prądzie fibrylacji serca.

Wielu autorów przyjmuje za Dalziellem prostą zależność skutków rażeń od energii wydzielonej w organizmie. Zasadę taką przyjęto również w projekcie PNE-05009 określając prąd dopuszczalny krótkotrwałe jako:

$$I_{rgI} = \frac{22}{\sqrt{t_r}} \quad (5)$$

Przyjęcie takiej zasady nie tłumaczy jednak wielu przypadków praktycznych, między innymi następujących: nie śmiertelne rażenia prądami o dużych natężeniach w sieciach NN (w sieciach WN można tłumaczyć to przeskokiem łukowym powodującym duże oparzenia i natychmiastowe zniszczenie dużej liczby zakończeń nerwowych - receptorów), różne wartości natężeń prądu stałego i zmiennego, wpływ zniekształcenia krzywej prądu zmiennego, mniejsze odczucie przy mokrych rękach i dużym prądzie niż przy suchych rękach i małym prądzie. Według Manojłowa [23] więcej przypadków można wytłumaczyć teorią natężenia pola elektromagnetycznego.

Również wyniki szczegółowych badań klinicznych reakcji organizmu i granicznych prądów fibrylacji serca psów przeprowadzone ostatnio w ZSRR [13] są niezgodne z teorią energii cieplnej.

W projekcie PNE-05009 uwzględniono również II poziom bezpieczeństwa. Jeżeli przyjęcie dopuszczalnego prądu rażenia dłu

gotrwałego o wartości 25 mA jest dyskusyjne, to zupełnie niezrozumiałe jest przyjęcie dla tego poziomu innych wartości prądów rażenia krótkotrwałego:

$$I_{rg II} = \frac{56}{\sqrt{t_r}} \quad (6)$$

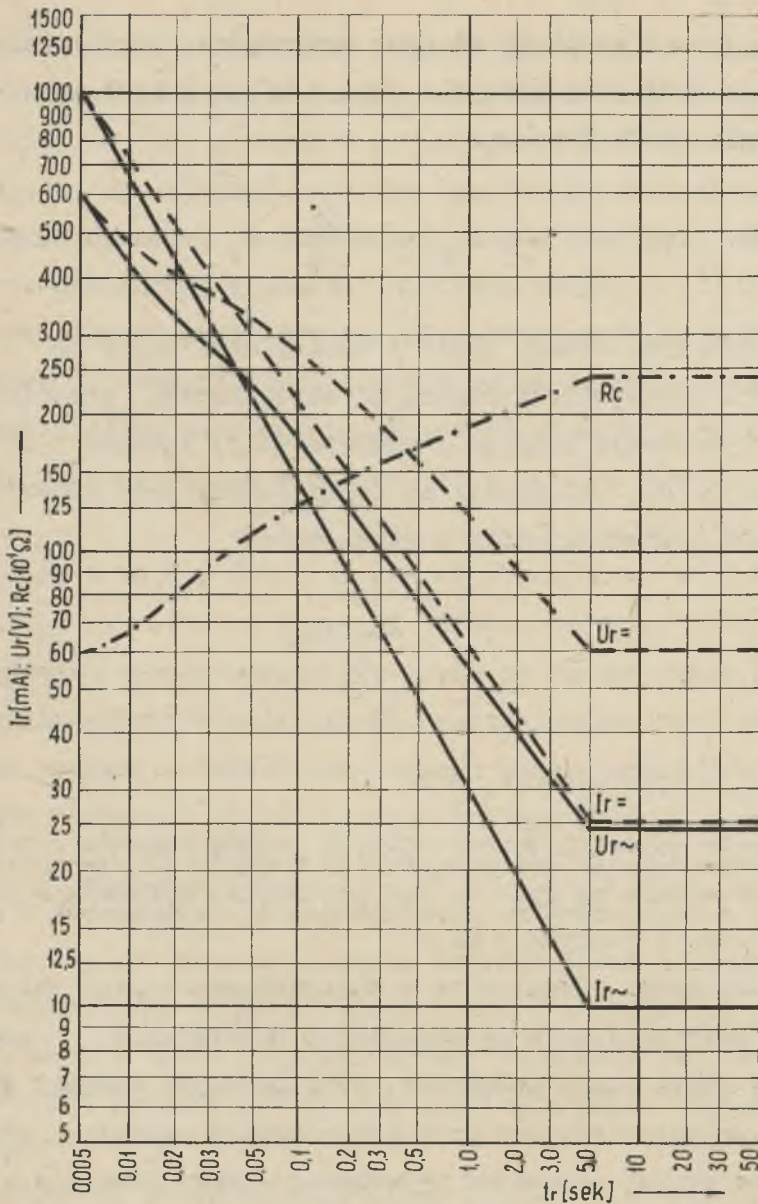
Uwzględniając wyniki badań i analiz oraz mając na uwadze możliwości praktycznych rozwiązań zabezpieczeń przeciwporażeniowych, proponuję przyjęcie następującej, zgodnej z wzorem uogólnionym (4), zależności na dopuszczalny prąd rażenia krótkotrwałego prądem zmiennym w górnictwie:

$$I_{rg} = \frac{30}{t_r^3} \text{ (mA)} \quad (7)$$

gdzie:  $t_r$  - czas rażenia, sek.

Proponowane wartości dopuszczalnych prądów rażenia przedstawiono wykreślnie na rys. 4. Dla porównania wykreślono je również na rys. 2 (krzywa - g).

Dla obliczenia granicznie dopuszczalnych napięć rażenia konieczne jest przyjęcie najmniejszych praktycznie możliwych wartości oporu ciała człowieka. Uwzględniając warunki górnicze oraz czasy odpowiadające granicznym prądom rażenia, proponuję przyjęcie stałej oporności wypadkowej równej  $2400 \Omega$  w zakresie napięć do 24 V. Dla napięć większych proponuję przyjęcie oporności zmiennej, do 150 V zgodnej z krzywą Freibergera dla skóry wilgotnej (rys. 3), a następnie o wartościach pośrednich między danymi Freibergera i Manojłowa ( $600 \Omega$  przy 500 V).



Rys. 4. Proponowane dopuszczalne wartości prądów i napięć rażenia jako funkcje czasu rażenia

$I_{r\sim}$   $U_{r\sim}$  - natężenie i napięcie prądu zmiennego 50 Hz,  $I_{r=}$ ,  $U_{r=}$  - natężenie i napięcie prądu stałego,  $R_c$  - oporność ciała człowieka

Określona w ten sposób zależność oporności w funkcji napięcia, prądu i czasu rażenia została przedstawiona graficznie na rys. 4.

Dotychczas do obliczeń napięć dotyku w podziemiach kopalń przyjmowana jest powszechnie stała wartość oporności człowieka dla wszystkich napięć:  $2000\ \Omega$  w Polsce [39] oraz  $1300\ \Omega$  w ZSRR, NRF i Anglii. W literaturze spotyka się również mniejsze minimalne oporności zalecane w warunkach górniczych: [10] - 200 do  $500\ \Omega$ , [26] - 200 do  $800\ \Omega$ , [30] - 300 do  $600\ \Omega$ . Wartości te należy uznać jako zaniżone wyniki z przyjęcia zbyt dużych prądów granicznych.

Na podstawie przyjętych wartości prądów i oporności obliczono dopuszczalne (graniczne) napięcia rażeniowe. Wartości tych napięć wykreślono na rys. 4. Uwzględniając szczególnie niekorzystne przypadki, prawdopodobieństwo których pod ziemią kopalń jest bardzo duże, oporność przejścia  $R_p$  należy założyć równą zero.

W takim przypadku obliczone wartości dopuszczalnych napięć rażeniowych można uważać za równoznaczne z bezpiecznymi napięciami dotyku.

### Prąd stały

Według badań amerykańskich i zachodnioeuropejskich [7, 25] reakcja organizmu człowieka na prąd stały jest podobna jak na prąd zmienny o natężeniu 2-5 krotnie mniejszym, natomiast według badań radzieckich [23] współczynnik ten wynosi 2,8. Badania wykazują, że reakcja organizmu jest większa gdy "minus" jest na górnej części ciała a "plus" na dolnej. Tłumaczy się to tym [36], że wówczas węzeł zatokowy (źródło impulsów serco-

wych) znajduje się pod przyspieszonym działaniem procesów jonowych, powstających w strefie katody.

Ustalając graniczne wartości rażenia prądem stałym, należy brać pod uwagę następujące czynniki:

- o reakcji organizmu decyduje nie wartość skuteczna natężenia prądu a jego amplituda [23],
- skurcz mięśni przy przepływie prądu stałego pojawia się zasadniczo tylko w chwili włączenia i wyłączenia obwodu, natomiast uszkodzenia powstają w związku z procesem elektrolizy [18],
- opór ciała człowieka zwiększa się w wyniku SEM polaryzacji [25],
- różnica w działaniu prądu stałego i zmiennego zmniejsza się z upływem czasu i zanika zupełnie przy czasach 5 msek.

Uwzględniając powyższe, proponuję przyjąć mnożnik 2,5 dla określenia długotrwałych ( $\geq 5$  sek) bezpiecznych prądów i napięć dotyku przy prądzie wyprostowanym wygładzonym. Wartości prądów i napięć krótkotrwałych proponuję przyjąć takie jak je wykreślono na rys. 4.

## 6. ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI

Wypadki porażen elektrycznych w górnictwie zachodzą względnie rzadko, jednak śmiertelność wśród osób rażonych jest bardzo duża. Wypadki to problem przede wszystkim humanitarny, ale również i ekonomiczny. Obliczenia analityczne wykazują, że całkowite wydatki i straty związane z jednym wypadkiem śmiertelnym wynoszą ponad 1 mil. złotych, a z jednym wypadkiem II-IV kat. średnio 250 tys. złotych [2].



W ostatnich latach obserwuje się spadek liczby wypadków elektrycznych mimo wzrostu współczynnika elektryfikacji. Jest to wynik stałego doskonalenia urządzeń elektrycznych, stosowania nowych ochron przeciwrażeńowych oraz szerokiej akcji szkoleniowej. W dalszym ciągu niepokojąca jest duża liczba wypadków zawinionych przez obsługę oraz wśród pracowników ruchu elektrycznego.

Powszechnie przyjmuje się, że rażenie prądem elektrycznym w podziemiach kopalni może nastąpić w przypadku pojawienia się napięcia uszkodzenia na obudowach i osłonach względem podłoża lub obcych mas metalowych. Analiza wypadków wykazuje, że należy uwzględnić również dotyk bezpośredni jednej a nawet dwóch faz. Za niezadowalający w warunkach górniczych należy więc uznać sposób ochrony, zakładający niedopuszczenie do przepływu prądu przez ciało człowieka.

Poznanie reakcji organizmu żywego na przepływ prądu elektrycznego, pozwala na bardziej racjonalne określanie metod zapobiegawczych. Jako podstawę przyjmuje się wartości dopuszczalnych prądów rażenia i napięć dotyku. Pogląd taki znajduje odbicie w wielu już obowiązujących lub aktualnie opracowywanych w różnych krajach przepisach.

Wprowadzają one zasadę nieprzekraczania dopuszczalnych wartości napięć dotyku i uważają ją za podstawowy warunek ochrony od porażeń.

Wydaje się, że konieczna jest również rewizja poglądów na wartości bezpiecznych prądów i napięć dotyku oraz sposobów zabezpieczeń przeciwporażeńowych w podziemiach kopalń. Wypadki porażeń przy napięciu 65 V prądu zmiennego i stałego nie należą do rzadkości w kraju i za granicą [3, 23, 40]. Również nie

wyjątkowe są wypadki porażen, w tym śmiertelnych, przy napięciu 42 V prądu zmiennego [23, 40]. Znane są także sporadyczne wypadki porażen, w szczególnie niesprzyjających okolicznościach pracy i dotyku, przy napięciu 12 V prądu zmiennego [3, 23]. Jak wykazuje statystyka porażen, stosowane dotychczas w podziemiach kopalni rodzaje ochrony przeciwrazeniowych (uziemia, system przewodów ochronnych, zerowanie, napięcia obniżone) należy uznać w większości przypadków praktycznych jako środki dodatkowe a nie podstawowe. Jako ochronę podstawową można by uznać odpowiednie niezawodnie działające urządzenia przeciwporażeniowe.

#### WNIOSKI I PROPOZYCJE KONCOWE

1. Przyjąć następujące maksymalne wartości prądów i napięć dotyku, dopuszczalnych długotrwale: 10 mA i 24 V dla prądu zmiennego 50 Hz oraz 25 mA i 60 V dla prądu stałego.
2. Przy ocenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej posługiwać się liniami granicznymi przedstawionymi na rys. 4.
3. Do obliczeń dopuszczalnych napięć dotyku przyjąć zależność wartości oporu ciała człowieka od wartości napięcia rażenia:  $2400 \Omega$  dla napięć do 24 V oraz  $600 \Omega$  dla napięć powyżej 500 V.
4. Dla urządzeń nie wyposażonych w ochrony przeciwrazeniowe przyjąć jako napięcia znamionowe znormalizowane wartości napięć bezpiecznych - 24 V przy prądzie zmiennym i 42 V przy prądzie stałym.
5. Opracować odpowiednie zabezpieczenia przeciwporażeniowe, które odpowiadałyby wymaganiom linii granicznych z rys. 4 i mogłyby być uznane za ochronę podstawową.

W pierwszej kolejności zabezpieczenie powinno być opracowane dla sieci trakcyjnych prądu stałego.

6. Dla doraźnej poprawy bezpieczeństwa przeciwporażeniowego proponuję:

- w sieciach izolowanych prądu zmiennego stosować przewody z ekranami indywidualnymi na każdej żyłce roboczej wraz z urządzeniami kontroli stanu izolacji,
- przewód jezdny trakcji elektrycznej łączyć z anodą prostownika,
- przeprowadzać systematyczne okresowe badania stanu ochrony dodatkowych i występujących napięć dotyku.

#### LITERATURA

- [1] Adams K.A.: Sensistve current - balance earth leakage protection. S. Afric. Elektr. Rev. 1962, t. 53, Nr 525, s. 31-32.
- [2] Anasiewicz A.: Skutki ekonomiczne wypadków w górnictwie. GIG, Komunikat A279, WGH - Katowice 1961 r.
- [3] Anons: Bergbau - Rundschau, 1959 z 9, Wiestnik Elektromyszlenosti, 1957, Nr 4, Elektro-Anzeiger, 1962, z. 12, Bull. SEV, 1958, z. 5, s. 165.
- [4] Bładowski S.: Zabezpieczenia przed porażeniami w urządzeniach elektrycznych w górnictwie. WGH, Katowice, 1954 r.
- [5] Bodier G.: La securite des personnes et la question des mises a la terre des postes distribution. Bull. Sac. Franc. Elektr., 1947, t. 74, s. 545-562.

- [6] Dalziel C.F.: Effect of electric shock on man. *Trans. Med. Electronics*, 1956, z. 7, s. 44-62.
- [7] Dalziel C.F.: Massoglia, Let go currents on voltages. *AIEE - Trans.*, cz. II, 1956, t. 75, s. 49-56.
- [8] Dalziel C.F.: Threshold 60-cycle fibrillating currents. *AIEE - Trans.*, cz. III, 1960, s. 667-673, *AIEE Conference Paper*, 1960, 60-40.
- [9] Dalziel C.F.: Electricity - good and faithful servant. *Nat. Safety News*, 1961, t. 84, Nr 3, s. 28-29, 76-84.
- [10] Emerson S.J.: Safety in the utilisation of electricity. *Scott. Electr. Engr.*, t. 32, 1961, z. 7, s. 422-438.
- [11] Ferris L.P., King B.G., Spence P.W., Williams H.B.: Effect of Electric Shock on the heart. *Electrical Engineering*, 1936, t. 55, s. 498-514.
- [12] Freiburger H.: *Der elektrische Widerstand des Menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom*. Springer - Verlag, Berlin, 1934.
- [13] Kizimow N.A.: *Issledowanie zawisimosti wielicziny biezo-pasnogo elektriczieskogo toka ot wriemiennogo wozdiejstwija na organizm*. Mak NII, Gosgortiechizdat, Moskwa, 1963; *Nauczno-issledowatielskije raboty za 1961 g.* s. 65-68.
- [14] Koeppen S.: *Elektrische Einwirkungen im Bereich niedriger Stromstärken*. *ETZ-A*, 1954, z. 3, s. 81.
- [15] Koeppen S., Panse F.: *Klinische Elektropatalogie*. Georg Thieme - Verlag, Stuttgart, 1955.
- [16] Kouwenhoven W.B., Langworthy O.R.: Effect of electric currents. *AIEE - Trans.*, 1930, t. 49; An experimental study of abnormality in the organism by electricity. *Journ of Ind Hyg.* 1930, nr 2; What are Effects of Electric Shock. *Electrical Engineering*, 1931, z. 6, s. 406.

- [17] Kouwenhoven W.B., Kinckerbocker G.G., Chesnut R.W., Milnor W.R., Sass D.J.: AC - Shocks on varying parameters affecting the heart. AIEE - Transactions, 1959, cz. I, s. 163-169.
- [18] Kozłowski W.: Z zagadnień patofizjologii "śmierci klinicznej" w przypadkach rażenia prądem elektrycznym. Przegląd Elektrotechniczny, 1964, z. 2, s. 98-101.
- [19] Kracmar F.: Elektrounfall und vegetative Konstitution. Elektrotechnik und Maschinenbau, 1961, t. 78, z. 9, s. 327-329; Messung des Körperwiderstandes und der Körperkapazität mittels einer Wechselstrombrücke. E u. M., 1961 t. 78, z. 9, s. 333.
- [20] Krasucki F.: Analiza wypadków porażień elektrycznych w kopalniach. Katedra Elektryfikacji Kopalń, Politechnika Śląska, 1964, (maszynopis).
- [21] Kuzniecowa A.I.: Zamulenie kak miera zaszchity w sietiach do 1000 V. (rozprawa kandydacka, Mosk. Inst. Energet., 1955).
- [22] Löbl O.: Messungen über die tödliche Stromstärke. ETZ-A, 1959, t. 80, s. 97-99.
- [23] Manojłow W.Ie.: Problemy elektrobezopasnosti. GEJ, Moskwa Leningrad, 1961.
- [24] Manojłow M.Ie.: Issledowanie osobiennostiej elektroprowodnosti tiela czelowieka. Elektrichestwo, 1963, z. 11, s. 9-12.
- [25] Niebrój S.: Rażenia elektryczne. PWT, Katowice, 1951.
- [26] Picken D.A.: The effects of electricity on human beings (Abstract). Proc. Instn. Electr. Engrs. 1961, t. 108 Nr 37, s. 19-20.

- [27] Pragłowski T.: Zmiany histopatologiczne poszczególnych narządów w rażeniach prądem elektrycznym i ich znaczenie. *Post. Hig. i Med. Doświadcz.*, 1962, t. 16, z. 3, s. 433.
- [28] Schneider O.: Wiederbelebungversuche nad Unfällen durch elektrischen Strom. *ETZ-A.* 1959, t. 80, s. 100.
- [29] SEV: Beitrag zur Kenntniss der Vorgänge bei Stromdurchgang durch den menschlichen Körper. *Bull. Schweiz. Elektrotechn. Vereins.*, 1929, t. 20, s. 431.
- [30] Smith H.P.: Earth leakage protection on mines and collieries for alternating current circuits up to 660 Volts. *S. Afric. Electr. Rev.*- 1962, t. 53, Nr 526.
- [31] Söderbaum C.E.: Experimentelle Untersuchungen über den elektrischen Widerstand des menschlichen Körpers. *Bull. SVE*, 1952, t. 43, z. 4, s. 110.
- [32] Streich R.: Zur Frage der Sicherheit im elektrischen Betrieb unter Tage. *Glückauf.* Nr 98, 1962, z. 9, s. 482-489.
- [33] Sziszkin N.F., Mindieli G.W.: Elektrobiezopasnost w szach tach i wzrywoopasnych pomieszczienijach. *CODNA*, Tbilisi, 1960.
- [34] Uszinskaja O.F.: Zawisimost opasnosti porażenia elektri- ozeskim tokom ot jego czastoty. *Sb. Naucz. rabot in-tow ochrany truda WCSPS*, 1961, Nr 3, s. 48-55.
- [35] Weber L.: Welche Spannung ist für den Menschen gefährlich *Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver.*, 1928, t. 19, s. 703.
- [36] Wilke, Broghammer: Die Wirkung des Gleichstromes auf das Herz bei spannungen bis 600 V. Berlin, 1958.
- [37] Wołkowiński K.: Wyłączniki różnicowoprądowe jako środek ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach elektroenerge- tycznych na napięcie do 1000 V. *Przegląd Elektrotechnicz- ny*, 1963, z. 4, s. 153-157.

- [38] Zarański T.: Analiza wypadków porażení prądem w górnictwie węglowym. Bezpieczeństwo i Higiena Pracy, Nr 7, 1947, s. 14.
- [39] Technika bezpieczeństwa w górnictwie (praca zbiorowa). Górnictwo tom XVIII, PWT, Katowice, 1953, s. 129, 398.
- [40] Zentralstatistik elektrischer Unfälle. E u. M., 1959, t. 78, z. 9, s. 339-340, 1962, t. 79, z. 3, s. 64-66, 1963, t. 80, z. 3, s. 60-62.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ПОПАДАНИЯ ЛИЦ ПОД НАПРЯЖЕНИЕ В ПОДЗЕМЕЛЬЕ ШАХТ

### Р е з ю м е

Влияние условий работы в горном деле на угрозу поражения током.

Формирование указателей количества несчастных случаев в электричестве в 1954-1963 годах. Анализ и подразделение случаев поражения в зависимости от рода тока и величины напряжения, рода оборудования причин и квалификации рабочих. Обзор, сравнение и критическая оценка на основании новейшей литературы, наиболее существенных результатов обследования реагирования людей на воздействие электрического тока и фибрилляции желудочков сердца опытных животных.

Анализ особенностей живого организма как части электрической цепи. Специфические свойства окружающей среды и горного движения и их влияние на устойчивость организма на воздействие электрического тока. Предложения касающиеся предельных величин тока, времени поражения и стойкости человека. Расчёт допускаемых напряжений соприкосновения для переменного и постоянного тока. Рекомендации для безопасного конструирования оборудования и предохраняющих средств.

#### BASIC CRITERIONS DETERMINATION OF ELECTRIC SHOCK SECURITY IN MINING UNDERGROUNDS

##### S u m m a r y

Influence of work conditions in mining on electric shock hazard. Shapeing of electric accident rate since 1954 to 1963. Analysis and division of electric shock accidents in dependence on kinds of current and voltage level, on kinds of installations and workes professional qualifications. Review, comprasion and critical discussion on the base of newer literature, the most substantial results of the human reaction testing, on electric current action as well as heart chambers fibrillation of testing animals.

Analysis features and propriety of alive organism as element of electric circuit. Specific propriety of atmosphere and mining trafic as well as their influence on electrical re-



sistance of alive organism. Sugestion to peak value of current and time of shock as well as resistance of man. Calculation of touch applied voltage for alternating current and direct current. Informations for security designs of installations and protections.