

WYŁĄCZNIKI OCHRONNE RÓŻNICOWOPRĄDOWE. NIEZAWODNOŚĆ

Streszczenie

W artykule podkreślono, że niezawodność wyłączników różnicowoprądowych jest najważniejszym problemem związanym z doskonaleniem ich konstrukcji i technologii produkcji, a także z ich stosowaniem i zasadami nadzoru w eksploatacji. Zakrojone na wielką skalę w licznych krajach świata wieloletnie badania zawodności wyłączników w rzeczywistych warunkach użytkowania nadal wykazują trudny do zaakceptowania odsetek aparatów niesprawnych. Przedstawiono różnorodne działania podejmowane bądź zamierzone na poziomie norm przedmiotowych i konstrukcji wyłączników oraz przepisów budowy i przepisów eksploatacji instalacji, zmierzające do znaczącej poprawy parametrów niezawodnościowych wyłączników różnicowoprądowych, których właściwości ochronne są nie do przecenienia, wszakże pod warunkiem, że wyłączniki pozostają sprawne.

1. Pojęcie niezawodności

Przez niezawodność aparatu elektrycznego lub innego urządzenia rozumie się zdolność do poprawnego wypełniania przypisanych mu funkcji, spełniania stawianych mu wymagań, w określonym czasie i w określonych warunkach sieciowych oraz środowiskowych. Pojęcie niezawodności i wszelkie jego liczbowe wskaźniki są związane z określonym zadaniem i utrzymaniem mierzalnych parametrów w przepisanych granicach, z określonymi warunkami działania i z określonym przedziałem czasowym.

Niezawodność jest jedną z cech określających jakość aparatów, cechą o tyle kłopotliwą, że pełna, udokumentowana jej ocena jest możliwa dopiero w wyniku długotrwałych badań i to na próbie o dużej liczebności; decyduje wartość iloczynu liczebności próbki i czasu badań statystycznych. Nie ma czasu na tak zakrojone badania przy wdrażaniu do produkcji nowego wyrobu i z konieczności poprzestaje się na próbach skróconych: obowiązkowych, przepisanych normami i ewentualnie fakultatywnych, podejmowanych z inicjatywy konstruktora albo technologa. Czy i na ile są one miarodajne, zależy od programu prób, przyjętych kryteriów oceny wyników oraz kompetencji i intuicji ekspertów, którzy te wyniki oceniają.

Liczbowej oceny niezawodności dokonuje się w oparciu o wartości zespołu wielkości definiowanych probabilistycznie i charakteru ich rozkładu losowego. Chodzi o takie wielkości, jak wskaźnik zawodności lub wskaźnik niezawodności, intensywność uszkodzeń, trwałość zapewniona, średni czas pracy do uszkodzenia bądź średni czas pracy między uszkodzeniami. Praktyczne wykorzystywanie matematycznych metod analizy bądź prognozowania niezawodności wymaga operowania wartościami liczbowymi parametrów niezawodnościowych, które pochodzą z doświadczenia, z obserwacji urządzeń w eksploatacji. Otóż te dane liczbowe, uzyskane choćby najbardziej poprawnie i uczciwie dotyczą:

- próbki jednorodnej, wyłączników określonej generacji, o określonej koncepcji konstrukcyjnej, wyprodukowanych w określonym reżimie technologicznym i przy określonych zasadach kontroli jakości,
- wyłączników dobranych oraz instalowanych z zachowaniem określonych zasad wiedzy technicznej, przy przestrzeganiu określonych przepisów,
- wyłączników użytkowanych w określonych warunkach sieciowych (narażenia zwarciove, narażenia przepięciowe) i określonych narażeniach środowiskowych (wilgoć, woda, atmosfera korozyjna, zapylenie, drgania i wstrząsy, kultura techniczna użytkowników),

- wyłączników podlegającym określonym czynnościom kontrolnym i okresowemu badaniu stanu technicznego bądź nie poddawanych takim zabiegom.

Bezkrytyczne przenoszenie wartości liczbowych parametrów niezawodnościowych nawet tych samych urządzeń do innego kraju, o innym klimacie, o innym poziomie kultury technicznej, może sprawić, że wyniki oceny nie będą przedstawiały większej wartości.

Wielka jest pokusa operowania wartościami liczbowymi, choćby szacunkowymi, i przetwarzania tych danych metodami, jakie oferuje **matematyka niezawodności**. Nie należy tego ograniczać do opisu rzeczywistości, ale trzeba też wykorzystywać do prognozowania i kształtowania niezawodności. Wielce pomocna okazuje się **fizyka niezawodności**, analiza fizykalnych przyczyn różnych uszkodzeń i zakłóceń, prowadząca do zrozumienia ich pierwotnych przyczyn i mechanizmu procesów destrukcyjnych, a w następstwie do właściwych środków zaradczych zmieniających poziom parametrów niezawodnościowych kolejnych generacji urządzeń.

Od wyłącznika różnicowoprądowego, podobnie jak od innego urządzenia ochronnego bądź zabezpieczającego, wymaga się, aby skutecznie interweniował, ilekroć zachodzi potrzeba, i aby nie interweniował zbędnie, bez ważnego powodu, zwłaszcza jeżeli jest to związane z wyłączeniem chronionego obwodu, z przerwą w jego działaniu. Inaczej mówiąc, wymaga się jak najmniejszej intensywności (względnej częstości) zarówno **zadziałań brakujących**, jak i **zadziałań zbędnych**.

Od pierwszych lat stosowania wyłączników różnicowoprądowych kwestia ich niezawodności budziła najwyższe zainteresowanie, była uznawana za problem fundamentalny, pierwszoplanowy. Od kilkudziesięciu lat prowadzi się pogłębione badania *in situ*, tzn. w miejscu zainstalowania, w rzeczywistych warunkach użytkowania, czasem uzupełnione badaniami laboratoryjnymi zdemontowanych niesprawnych wyłączników, aby rozpoznać fizykę uszkodzeń, a nie tylko je odnotowywać. Takie badania, prowadzone w różnych krajach świata, objęły już łącznie ponad milion wyłączników. Stanowią impuls do doskonalenia konstrukcji i technologii produkcji wyłączników, do nowego spojrzenia na zasady ich stosowania i użytkowania, nawet do formułowania pewnych ograniczeń odnośnie do zakresu ich stosowania w obawie przed skutkami działań zbędnych. Poziom niezawodności współczesnych wyłączników wcale nie jest lepszy niż tych sprzed 40 laty, a nawet bywa gorszy. Nadal jest uważany wśród specjalistów za problem palący, wymagający radykalnych środków poprawy.

Bodaj jedynym krajem, w którym wyłączniki różnicowoprądowe są stosowane na dużą skalę i cieszą się nieskazitelną opinią absolutnie niezawodnych, jest Polska. Na forach internetowych i na szkoleniach o niezawodności wyłączników wypowiadają się samonominowani specjaliści, głęboko przekonani o ich „bezawaryjności”, bo żadnych statystyk zawodności nie widzieli i widzieć nie chcą, swoje wiedzą, sami z siebie. Przytoczone dalej wyniki ważniejszych zagranicznych badań statystycznych i związane z nimi wnioski ekspertów są zatem przeznaczone dla czytelników zainteresowanych prawdziwym opisem rzeczywistości, choćby był on odległy od ich wcześniejszych wyobrażeń i zmuszał do rewizji poglądów.

2. Zadziałania brakujące wyłączników różnicowoprądowych

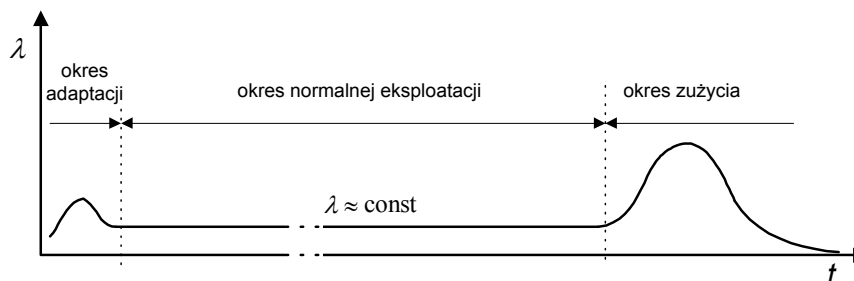
2.1. Prawdopodobieństwo działań brakujących

Jedną z miar zawodności jest **intensywność uszkodzeń** $\lambda(t)$, którą można interpretować jako stosunek szybkości uszkodzania się wyłączników $dn(t)/dt$ do liczby wyłączników $[N-n(t)]$, działających poprawnie w badanym przedziale czasu dt . Obliczenia można uprościć do skończonych przyrostów liczby uszkodzonych wyłączników Δn oraz czasu Δt . Jeżeli zachodzi nierówność $\Delta n \ll N$, to liczba wyłączników działających poprawnie w badanym przedziale czasu Δt jest w przybliżeniu równa pierwotnej liczebności ich populacji N . Prowadzi to do wyniku:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N-n(t)} \frac{dn(t)}{dt} \approx \frac{1}{(N-n)} \frac{\Delta n}{\Delta t} \approx \frac{\Delta n}{N \Delta t} \quad (1)$$

W **okresie normalnej eksploatacji** urządzeń o złożonej budowie, kiedy dominują uszkodzenia losowe elementów z przyczyn zewnętrznych, intensywność uszkodzeń na ogół można uważać

za stałą w czasie: $\lambda(t) = \text{const}$. Inaczej jest w **okresie wstępnej eksploatacji** (rys. 1), zwanym też okresem adaptacji, kiedy ujawniają się wady wrodzone wyrobu i kiedy odbywa się jego „docieranie” i „odpluskwianie” (ang. *debugging*), na przykład poprzez dostatecznie długi ruch próbny. Inaczej jest też w **okresie zużycia**, końcowym etapie trwałości urządzenia, kiedy ujawniają się efekty kumulacji zmian starzeniowych.



Rys. 1. Przykład zmienności intensywności uszkodzeń λ w różnych okresach eksploatacji

Przy wspomnianym założeniu ($\lambda = \text{const}$) **funkcja niezawodności** $P(t)$, nazywana też funkcją przeżycia, obrazująca prawdopodobieństwo zdatności funkcjonalnej obserwowanych wyłączników w chwili t ma postać:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa uszkodzeń ma wtedy przebieg wykładniczy, jest wykładniczo zależna od czasu eksploatacji:

$$f(t) = -P'(t) = -(e^{-\lambda t})' = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3)$$

a **intensywność uszkodzeń** wyłączników w funkcji czasu wynikająca z ogólnej zależności:

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (4)$$

okazuje się niezmienna w rozpatrywanym czasie normalnej eksploatacji. Całkowite pole pod wykresem funkcji niezawodności $P(t)$ jest to **oczekiwany czas pracy do uszkodzenia**:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{-\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = 0 + \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda}. \quad (5)$$

Przy założeniu wykładniczego przebiegu funkcji gęstości prawdopodobieństwa uszkodzeń oczekiwany (średni) czas pracy wyłącznika T , średni czas jego zdatności funkcjonalnej jest po prostu odwrotnością intensywności uszkodzeń λ , wyrażonej w równoważnych jednostkach. Na przykład, jeżeli intensywność uszkodzeń wynosi: $\lambda = (5 \dots 10) \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$, to średni czas poprawnej pracy wynosi $T = 1/\lambda = 200 \dots 100 \text{ a}$. Ten wynik można by uznać za doskonały, bardzo optymistyczny, gdyby zapomnieć, że dotyczy on wartości średniej i dotyczy urządzeń zapewniających bezpieczeństwo. Czas, o którym mowa w skali międzynarodowej nazywa się i interpretuje dwojako:

- MTTF – średni czas do uszkodzenia (ang. *mean time to failure*) w przypadku elementów i urządzeń nienaprawialnych,
- MTBF – średni czas między uszkodzeniami (ang. *mean time between failures*) w przypadku elementów i urządzeń naprawialnych.

Wyłączniki różnicowoprądowe należą do pierwszej grupy, bo poza drobnymi uszkodzeniami (styków głównych, rezystora członu kontrolnego) nie podlegają naprawom przez użytkowników.

Z kolei **funkcja zawodności**, czyli prawdopodobieństwo niezdatności funkcjonalnej wyłączników w chwili t , jest dopełnieniem do jedności funkcji niezawodności, bo chodzi o układ zupełny zdarzeń:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

W przypadku małych przedziałów czasu Δt , kiedy zachodzi warunek $\lambda \Delta t \ll 1$, można posługiwać się prostą zależnością:

$$Q(t) \approx \lambda \Delta t \quad (7)$$

Wielkość tę na ogół wyraża się w procentach. Oznacza ona prawdopodobieństwo uszkodzenia w czasie Δt , oznacza wartość oczekiwaną odsetka wyłączników, które ulegają uszkodzeniu w rozpatrywanym przedziale czasu Δt (ang. *failure quota*).

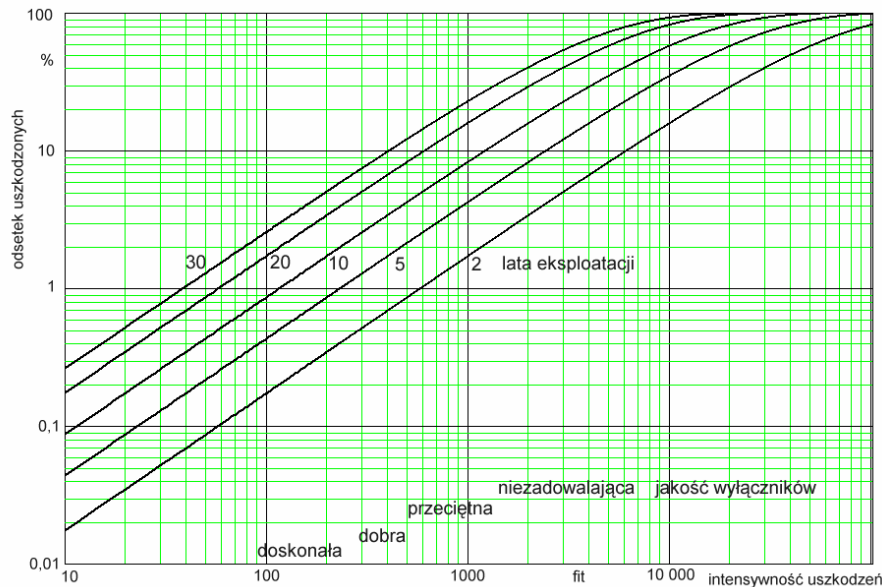
Intensywność uszkodzeń wyraża się odwrotnością jednostek czasu: $[a^{-1}]$ lub $[h^{-1}]$. Aby operować poręcznymi liczbami, a nie drobnymi ułamekami, w literaturze aparatuwej wyraża się ją również w fitach (ang. *failure in time*), przy czym $1 \text{ fit} = 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ (jedno uszkodzenie na jeden miliard elemento-godzin pracy).

Na przykład, jeżeli w populacji tysiąca wyłączników różnicowoprądowych ($N = 1000$) rocznie ($t = 1 \text{ a}$) uszkadza się ich $n = 5 \dots 10$, to przy liczbie godzin w roku 8760 h/a intensywność uszkodzeń wynosi:

$$\lambda = \frac{(5 \dots 10)}{1000 \cdot 1 \text{ a}} = (5 \dots 10) \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1} \approx (570 \dots 1140) \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1} = (570 \dots 1140) \text{ fit} \quad (8)$$

Jeśli te wyłączniki nie podlegają okresowym badaniom kontrolnym, pozwalającym wymienić lub naprawić uszkodzone egzemplarze, to po 10 latach użytkowania wartość oczekiwana odsetka niesprawnych wyłączników wynosi:

$$\frac{n}{N} 100 = \lambda t \cdot 100 = (5 \dots 10) \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1} \cdot 10 \text{ a} \cdot 100 = (5 \dots 10) \% \quad (9)$$

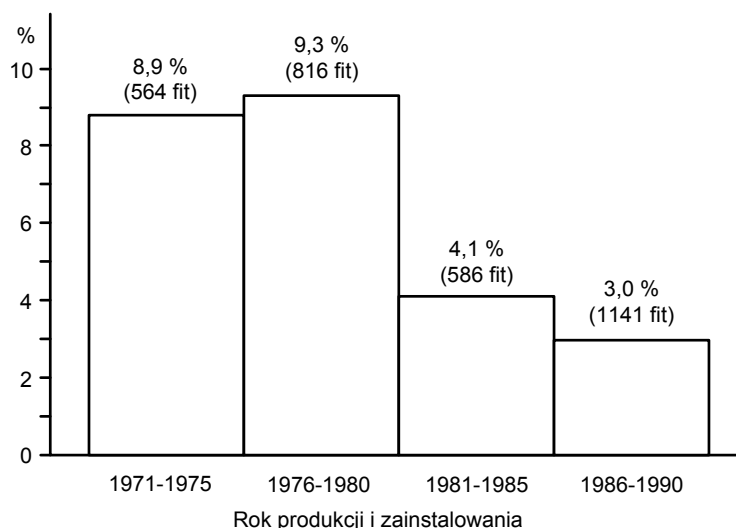


Rys. 2. Odsetek niesprawnych wyłączników różnicowoprądowych w zależności od ich intensywności uszkodzeń (w fitach) i czasu trwania eksploatacji (w latach)

Na rys. 2 przedstawiono, jak kształtuje się odsetek uszkodzonych wyłączników (w procentach obserwowanej populacji) w zależności od ich intensywności uszkodzeń (w fitach) i czasu eksploatacji (w latach). Poszczególne krzywe dotyczą, idąc od dołu: 2 – 5 – 10 – 20 – 30 lat eksploatacji. Przy osi odciętych wartościom intensywności uszkodzeń przypisano jakość wyłączników jako miarę ich niezawodności: od doskonałej (100÷300 fitów) do niezadowalającej (ponad 1200 fitów).

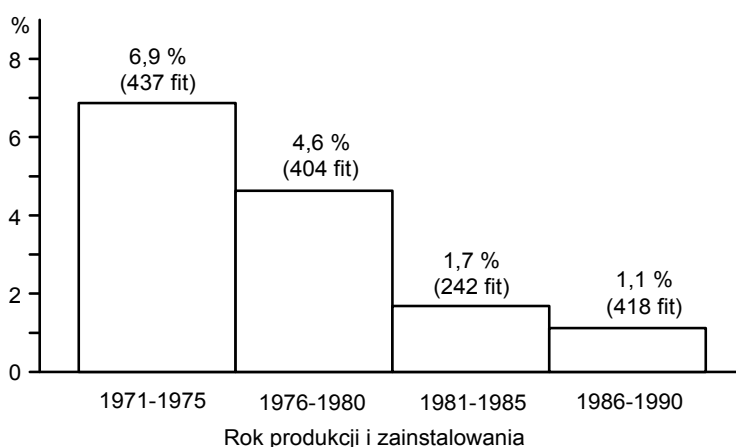
Ta kwalifikacja wynika z aktualnych poglądów na pożądaną i rzeczywiście osiąganą niezawodność wyłączników różnicowoprądowych.

Przykładem wdrożenia takiego rozumowania do interpretacji wyników badań eksploatacyjnych jest rys. 3. Przedstawiono na nim wyniki badań przeprowadzonych w Austrii w latach 1989-1991, głównie (80 %) w instalacjach mieszkaniowych. Badano wyłączniki różnicowoprądowe zainstalowane w latach 1971÷1990, określając odsetek wadliwych w procentach oraz intensywność uszkodzeń w fitach. Badania objęły 3231 wyłączników, wśród których wykryto 207 wadliwych, co daje średni odsetek niesprawnych 6,4 %, przy czym stwierdzono rozpiętość tego wyniku na obszarach czterech spółek dystrybucyjnych od 3,8 % (Burgenland), poprzez 5,9 % (Steiermark) i 7,5 % (Austria Górna) do 8,3 % (Wiedeń).



Rys. 3. Wyniki badania w Austrii [1] w latach 1989-1991 zawodności 3231 wyłączników zainstalowanych w latach 1971÷1990 – odsetek wadliwych w procentach oraz intensywność uszkodzeń w fitach

Równolegle wykonywane podobne badania w Niemczech, dotyczące tych samych przedziałów czasowych, dały korzystniejsze wnioski (rys. 4). Wśród badanych 11 000 wyłączników różnicowoprądowych wykryto 274 uszkodzone, co daje średni odsetek niesprawnych 2,5 %. Stwierdzona intensywność uszkodzeń, zbliżona do 400 fitów, kwalifikuje badane wyłączniki do grupy o dobrej jakości (rys. 2).



Rys. 4. Wyniki badania w Niemczech [3] w latach 1989-1991 zawodności 11 000 wyłączników zainstalowanych w latach 1971÷1990 – odsetek wadliwych w procentach oraz intensywność uszkodzeń w fitach

Z badań i oszacowań wynika, że w większych krajach, w których jest zainstalowanych kilkanaście milionów wyłączników różnicowoprądowych, są stale w instalacjach co najmniej setki tysięcy wyłączników niesprawnych. Brzmi to groźnie, ale – w przypadku ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) – bynajmniej nie oznacza zagrożenia śmiertelnym porażeniem dla podobnej liczby użytkowników elektryczności, a to z powodów następujących:

- a) Za wyłączniki wadliwe uznaje się takie, które nie spełniają podstawowych wymagań normy, również takie, które mają rzeczywisty prąd różnicowy zadziałania nieco za duży, co dla ochrony dodatkowej może być bez większego znaczenia.
- b) W najbardziej rozpowszechnionym w wielu krajach układzie TN zamiast niesprawnego wyłącznika różnicowoprądowego samoczynnego wyłączenia zasilania może w wymaganym czasie dokonać zabezpieczenie nadprądowe obwodu, niejako stanowiące redundancję.
- c) Wystąpienie niesprawności wyłącznika różnicowoprądowego samo przez się nie wprowadza zagrożenia porażeniem. Do porażenia dochodzi dopiero przy zbiegu trzech zdarzeń niezależnych: uszkodzenia wyłącznika różnicowoprądowego, uszkodzenia izolacji podstawowej i zetknięcia się człowieka z częściami przewodzącymi dostępnymi. Jest gorzej, jeżeli jedno z tych zdarzeń utrzymuje się długotrwale, tzn. nie wymienia się niesprawnego wyłącznika albo chodzi o zasilanie urządzenia ręcznego.

Analogiczne rozumowanie daje konkluzje mniej pomyślne, jeżeli rozważać zastosowanie wyłączników różnicowoprądowych w roli ochrony uzupełniającej przy dotyku bezpośrednim.

2.2. Przegląd wyników badań statystycznych

Prawie wszystkie przytoczone niżej statystyki europejskie dotyczą wyłączników o działaniu niezależnym od napięcia sieci, o wyzwaniu bezpośrednim *sensu stricto* bądź impulsowym. Wyłączniki o działaniu zależnym od napięcia sieci są powszechnie stosowane w Stanach Zjednoczonych i w Republice Południowej Afryki, ale z tych krajów nie ma pełnowartościowych statystyk zawodności, pochodzących z badań *in situ*.

Wyłącznik różnicowoprądowy jest tylko jednym z elementów – co prawda elementem najważniejszym – środka ochrony przeciwporażeniowej, który można nazwać układem ochronnym różnicowoprądowym [18, 19]. Układ ten obejmuje ponadto przewody ochronne i ich uziemienia. Przeglądając przytoczone dalej statystyki uszkodzeń trzeba odróżniać odsetek bądź intensywność **uszkodzeń wyłączników różnicowoprądowych** od odsetka bądź intensywności **uszkodzeń układów ochronnych różnicowoprądowych** obejmujących ponadto inne wadliwości, zwłaszcza przewodów ochronnych i uziemień.

Obwody gniazd wtyczkowych do zasilania urządzeń ruchomych, zwłaszcza ręcznych, są szerokim i szczególnie odpowiedzialnym zakresem stosowania wyłączników różnicowoprądowych. Międzynarodowe sprawozdanie z roku 2001 niemieckiej *Komisji Ochrony Pracy i Normalizacji KANN* [15] podaje, że wypadki porażenia przy użytkowaniu narzędzi elektrycznych w miejscach pracy (przemysł, rzemiosło, usługi, rolnictwo) są w 75 % powodowane przez uszkodzenia samych narzędzi i ich przewodów przyłączeniowych; tylko 25 % ma inną przyczynę: uszkodzenia w gniazdach wtyczkowych i przedłużaczach oraz zetknięcie z przewodem pod napięciem podczas wiercenia w ścianie. Około 35 % wszystkich uszkodzeń przypadających na narzędzia ręczne to uszkodzenia przewodów ruchomych, łącznie z uszkodzeniami w miejscu ich wprowadzenia do narzędzia, tzn. uszkodzenia odciażki i/lub odgiętki.

Wypada też przypomnieć, że wyłączniki różnicowoprądowe mogą nie reagować na pojawienie się prądu różnicowego w chronionym obwodzie, nie w wyniku uszkodzenia, lecz z powodu niewłaściwego doboru, zwłaszcza niewystarczającego uczulenia na kształt przebiegu prądu różnicowego. Grozi to wyłącznikowi o typie wyzwania AC zastosowanemu w obwodzie, gdzie jest potrzebny wyłącznik A lub B. Takich zdarzeń nie zalicza się do zdarzeń brakujących, nie zalicza się do wadliwości wyłącznika, lecz do ułomności projektanta. Nie są one zatem ujmowane w cytowanych niżej wynikach badań statystycznych zawodności wyłączników.

1968-1971, Niemcy

Przepisy VDE 0100/12.65 wprowadziły od roku 1966 obowiązek stosowania wyłączników różnicowoprądowych w instalacjach tymczasowych **na placach budowy**. W roku 1968 rzeczoznawcy *Elektroberatung Bayern* przeprowadzili niezapowiedziane kontrole stanu technicznego instalacji elektrycznych na 281 placach budowy w Bawarii. Poza oględzinami wykonywano pomiary w celu sprawdzenia skuteczności różnych środków ochrony.

Na 7499 zbadanych układów ochronnych różnicowoprądowych wykryto 1878 (25 %) niesprawnych, tzn. z różnych powodów niezapewniających ograniczenia długotrwanie występującego napięcia dotykowego poniżej podówczas dopuszczalnej granicy 65 V [25, 26, 27]. Większość usterek to naruszenie ciągłości przewodów ochronnych i wadliwe uziemienia albo ich brak.

Tak duży odsetek usterek uznano za niepokojący. Były to pierwsze lata szerokiego stosowania wyłączników różnicowoprądowych i zasady prawidłowego ich użytkowania jeszcze nie były powszechnie znane. Zarazem w wyniku kontroli wykryto i usunięto aż 1878 potencjalnych źródeł zagrożenia bezpieczeństwa pracy. Zapewne to sprawiło, że już w pierwszym roku badań (1968) na placach budowy Bawarii odnotowano tylko jeden śmiertelny wypadek porażenia prądem, wynik najlepszy od 20 lat, a w roku następnym (1969) nie było ani jednego śmiertelnego porażenia. Te wyniki zachęciły do kontynuowania kontroli w latach następnych; ich wyniki zestawiono w tabl. 1.

Tablica 1. Wyniki kontroli układów różnicowoprądowych na placach budowy Bawarii w latach 1968-1971

Rok	1968	1969	1970	1971
Liczba badanych układów różnicowoprądowych	7499	6366	8544	8139
Liczba układów niesprawnych	1878	1274	1237	981
Odsetek układów niesprawnych [%]	25	20	14,5	12

1970-1971, Francja

Badania niezawodności wyłączników różnicowoprądowych podjęte w latach 70. przez INRS¹, zostały po roku 1980 przejęte przez LCIE². Oznacza to, że od początku były firmowane przez najbardziej kompetentne instytuty badawcze.

Na początku lat 70. przebadano 17 400 wyłączników wysokoczułych (30 mA oraz 16 mA), użytkowanych od 2-3 lat [33]. Okazało się [30], że 3,7 % (466 sztuk) było niesprawnych, w tym 1,05 % (182 sztuk) z powodu uszkodzeń mechanicznych, 2,6 % (449 sztuk) z powodu nadmiernego rzeczywistego prądu różnicowego zadziałania, 0,1 % (15 sztuk) z powodu innych niesprawności elektrycznych. Dokładniejsze badanie grupy wyłączników 30 mA o nadmiernym rzeczywistym prądzie różnicowym zadziałania dało następujące wyniki:

- 60 % wyłączników wyzwała przy prądzie różnicowym $30 \text{ mA} < I_{\Delta n} \leq 35 \text{ mA}$,
- 25 % wyłączników wyzwała przy prądzie różnicowym $35 \text{ mA} < I_{\Delta n} \leq 50 \text{ mA}$,
- Pozostałe 15 % wyłączników nie wyzwała przy prądzie zwiększonym do 50 mA, ale prawie 2/3 spośród nich zaczyna działać poprawnie po ręcznym otwarciu i zamknięciu wyłącznika, co świadczy o zacięciu mechanicznym, np. o przywarciu zwory wyzwalacza różnicowego.

1970-1971, Polska

Pierwsze i bodaj jedyne w Polsce badania niezawodności wyłączników różnicowoprądowych, prowadzone w latach 1970-1971 [29], dotyczyły trzech populacji: 125 czterobiegunowych użytkowanych 3 lata, 111 czterobiegunowych użytkowanych 1,5 roku i 86 dwubiegunowych użytkowanych 5 lat. Wyłączniki były stosowane w najsurowszych warunkach środowiskowych – w instalacjach tymczasowych na statkach w budowie, w Stoczni im. Komuny Paryskiej w Gdyni. Były to wyłączniki wysokoczułe 30 mA o działaniu bezpośrednim, z wbudowanym członem nadprądowym, produkcji francuskiej firmy *L'Industrie Électrique de la Seine*.

¹ INRS – Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

² LCIE – Laboratoire Central des Industries Électriques

Stwierdzona wówczas intensywność uszkodzeń, nie mniejsza niż 12 000 fitów była co najmniej o rząd wielkości większa niż wartości cytowane w literaturze. Po prostu wyłączniki nie były konstrukcyjnie przystosowane do instalowania w rozdzielnicach przenośnych, narażonych na wstrząsy i uderzenia, na działanie wody, a nawet na akty wandalizmu. Kontrola stanu technicznego odbywała się co tydzień. Z pierwszej najliczniejszej grupy 125 wyłączników 3 lata eksploatacji bez żadnej naprawy przetrzymało tylko 13 aparatów (10,4 %), a 72 aparaty (57,6 %) co najmniej dwukrotnie wymagało naprawy. W statystyce uszkodzeń dominowała obudowa (25 % wszystkich uszkodzeń) oraz zamek (20 %).

1976-1977, Niemcy

Od 1 lipca 1976 do 31 grudnia 1977 roku zbadano doraźnie 7 292 instalacji wiejskich z wyłącznikiem różnicowoprądowym. Instalacje w obiektach rolnych podlegały podówczas okresowej kontroli stanu technicznego co 7÷10 lat. Jak wskazuje tytuł sprawozdania [22], badano stan techniczny układów ochronnych różnicowoprądowych obejmujących – poza wyłącznikiem – uziemienia i przewody ochronne (ciągłość, poprawność połączeń, zwarcia PE–N).

Układ ochronny różnicowoprądowy uważano za niesprawny, a ochronę za nieskuteczną, jeżeli były przekroczone dopuszczalne długotrwałe wartości napięcia dotykowego. Powodem mogły być: uszkodzenia wyłącznika, usterki w instalacji, w tym nadmierna wartość rezystancji uziemienia przewodu ochronnego. Wyniki badań zestawiono w tablicach 2, 3 i 4.

Badane wyłączniki pochodziły z różnych wytwórni. Odsetek uszkodzonych zależnie od dostawcy wahał się od 2,03 % do 5,5 %, czyli niemal jak 1:3.

Tablica 2. Ogólne wyniki badań, w tym odsetek wadliwych wyłączników różnicowoprądowych i odsetek instalacji z innymi usterkami

Wyszczególnienie	Liczba	Odsetek [%]
Liczba badanych instalacji (obwodów) z wyłącznikiem różnicowoprądowym	7292	100
Układ różnicowoprądowy sprawny, ochrona skuteczna	6685	91,85
Układ różnicowoprądowy niesprawny, ochrona nieskuteczna, w tym:	607	8,32
wyłącznik różnicowoprądowy uszkodzony ¹⁾	246	3,37
usterki instalacji poza wyłącznikiem ¹⁾	418	5,73
¹⁾ Suma nie daje wartości w wierszu poprzedzającym, bo w 57 instalacjach występowały obie usterki.		

Tablica 3. Usterki wyłączników różnicowoprądowych

Wyszczególnienie	Liczba	Odsetek ¹⁾ [%]	Odsetek ²⁾ [%]
Wyłącznik różnicowoprądowy uszkodzony, w tym:	246	3,37	100
zbyt duży rzeczywisty prąd różnicowy zadziałania	91	1,25	37,0
nie wyzwala po naciśnięciu przycisku kontrolnego T	155	2,13	63,0
¹⁾ odniesiony do ogólnej liczby badanych wyłączników			
²⁾ odniesiony do liczby uszkodzonych wyłączników			

Tablica 4. Usterki instalacji poza wyłącznikami różnicowoprądowymi

Wyszczególnienie	Liczba	Odsetek ¹⁾ [%]	Odsetek ²⁾ [%]
Usterki w instalacji poza wyłącznikami, w tym:	418	5,73	100
zbyt duża rezystancja uziemienia przewodu PE	219	3,00	52,39
zwarcia lub celowe połączenia przewodów PE i N	169	2,32	40,43
inne przyczyny	30	0,41	7,18
¹⁾ odniesiony do ogólnej liczby badanych wyłączników			
²⁾ odniesiony do liczby uszkodzonych wyłączników			

1977, Austria

Przeprowadzono badania [28] w instalacjach odbiorczych, zasilanych przez operatora STE-WEAG, losowo wybranych na terenach wiejskich i na terenach uprzemysłowionych. Zbadano 330 instalacji, z których 60 % miało więcej niż 10 lat. W tej liczbie 274 instalacji (83 %) było wyposażonych w wyłączniki różnicowoprądowe i miało łącznie 376 wyłączników, stanowiących populację poddaną badaniom. Wykryto 24 niesprawne wyłączniki, czyli 6,4 % ogólnej liczby.

1979-1988, Austria

W latach 1979-1988 w 5 049 instalacjach zbadano 6 288 wyłączników różnicowoprądowych [32]. Wykryto 4,4 % niesprawnych wyłączników, przy czym określone wadliwości stwierdzono u następującego odsetka badanej populacji:

- 1,4 % – nie wyzwała przy naciśnięciu przycisku kontrolnego; niesprawność członu kontrolnego wykrywano zwłaszcza w wyłącznikach starszej konstrukcji,
- 0,1 % – wyzwała przy prądzie różnicowym przekraczającym górną dopuszczalną granicę (podówczas $1,2I_{\Delta n}$),
- 2,9 % – w ogóle nie wyzwała przy wystąpieniu nawet dużego prądu różnicowego.

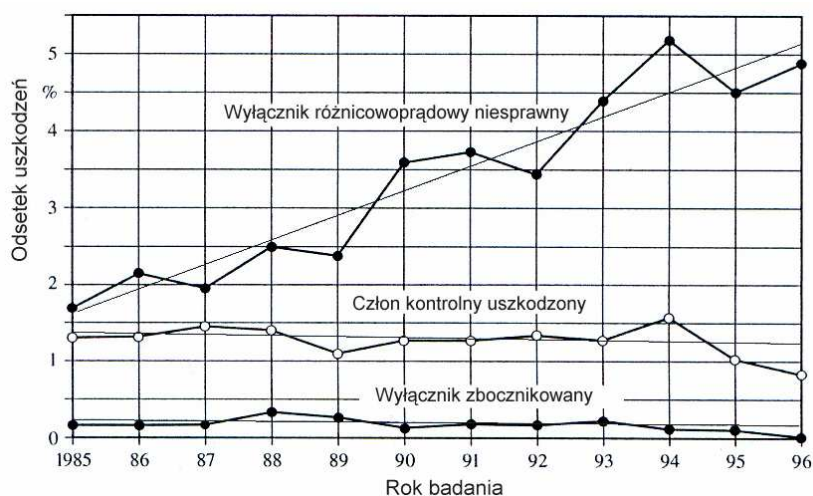
1985-1986, Algieria

Przeprowadzono badania stanu ochrony przeciwporażeniowej m.in. w 80 instalacjach mieszkaniowych w Oranie [30], mających tylko główny (przyłączeniowy) wyłącznik różnicowoprądowy, o czułości 650 mA (50 sztuk), 500 mA (29 sztuk) i 1000 mA (1 sztuka). Wykryto 3 wyłączniki niesprawne (3,8 %). W dużej części instalacji ochrona przeciwporażeniowa była nieskuteczna ze względu na brak przewodu ochronnego bądź błędy w połączeniach ochronnych.

1985-1996, Niemcy

Elektroberatung Bayern (EBB) badał co roku ponad 20 000 wyłączników w gospodarstwach wiejskich uzyskując z tak dużej populacji (łącznie około 300 000 wyłączników) miarodajne wyniki (rys. 5, tabl. 5). W prezentacji wyników wyróżniono (rys. 5) trzy rodzaje uszkodzeń:

- wyłącznik celowo zbocznikowany (0,2÷0,7 % badanej populacji wyłączników), przy czym nie odnotowywano powodu tego zdarzenia ani stanu wyłącznika,
- człon kontrolny uszkodzony (0,8÷1,6 % badanej populacji wyłączników), co na ogół oznacza przepalenie rezystora,
- wyłącznik różnicowoprądowy niesprawny z innych powodów, co na ogół oznacza niesprawność układu wyzwalającego różnicowoprądowego (1,7÷5,2 % badanej populacji wyłączników).



Rys. 5. Ewolucja w latach 1985-1996 odsetka trzech rodzajów uszkodzeń wyłączników różnicowoprądowych badanych przez Elektroberatung Bayern [3]

W tabl. 5 zestawiono badaną corocznie liczbę wyłączników oraz liczbę i odsetek wykrytych wyłączników wadliwych. Za wadliwe uznawano wyłączniki wykazujące co najmniej jedną z wadliwości wyróżnionych na rys. 5.

Tablica 5. Wyniki badania wyłączników różnicowoprądowych w gospodarstwach wiejskich przez Elektroberatung Bayern w latach 1985-1996

Rok badania	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Razem
Liczba badanych	26361	25736	22433	23327	23963	23843	24234	24799	24451	24484	23819	23819	291335
Liczba wadliwych ¹⁾	742	866	757	716	585	741	822	881	964	1145	943	990	10152
Odsetek wadliwych ¹⁾	2,81	3,36	3,37	3,07	2,44	3,10	3,39	3,55	3,94	4,67	3,96	4,15	3,5

¹⁾ Obejmuje łącznie trzy wadliwości przedstawione na rys. 5.

1988-1991, Niemcy

Podjęte w lipcu 1988 roku przez BG F&E¹ w Kolonii dogłębne badania niezawodności wyłączników różnicowoprądowych objęły 43 000 instalacji w różnorodnych obiektach (przemysł, rolnictwo, rzemiosło, usługi). Odnotowywano zarówno zadziałania brakujące, jak i zadziałania zbędne z powodu wyładowań atmosferycznych. Wyłączniki wadliwe były badane *in situ*, a następnie w laboratoriach probierczym i uczelnianym. Wykryto i opisano 1100 niesprawnych wyłączników (2,6 % badanej populacji).

Treść raportu z tych badań zrobiła takie wrażenie na forum IEC, że postanowiono zwiększyć wymagania odnośnie do niezawodności wyłączników [17] i dla przygotowania odpowiednich zaleceń przy podkomitecie (*Sub-Committee*) SC 23E² powołano doraźną grupę roboczą (*Working Group*) WG 2 o nazwie *Ad-hoc-WG „Reliability”*. Poza akcją uświadamiającą doniosłość problemu, efekty jej działania nie są imponujące, bo brzemienne w skutkach zmiany w normach wymagają trudnego konsensu zainteresowanych stron. Rozważa się m.in. obowiązkową próbę odporności na wnikanie do wnętrza zarówno pyłu, jak i wilgoci.

Nie czekając na ustalenia międzynarodowe amerykańska komisja bezpieczeństwa wyrobów (*Consumer Product Safety Commission*) powiadomiła [41] producentów wyłączników GFCI na rynek amerykański o wprowadzeniu przez UL³ z początkiem roku 2003 nowych wymagań bezpieczeństwa zmierzających do poprawy niezawodności wyłączników. Chodzi o zaostrzenie warunków niektórych dotychczasowych prób (odporności na przepięcia i prądy udarowe) oraz o dodatkowe próby odporności na działanie wilgoci i na korozję. Zarazem komisja wystąpiła o włączenie tych wymagań przy najbliższej nowelizacji normy ANSI/UL 943 *Standard for Safety for Ground-Fault Circuit Interrupters*.

1989-1990, Austria

Przy okazji okresowej wymiany liczników badano w latach 1989-1990 stan wyłączników różnicowoprądowych u odbiorców zasilanych z sieci operatora STEWEAG [28]. Zbadano łącznie 1232 wyłączników, które miały od 1 do 34 lat (średnia ważona 12,1 lat) i były zainstalowane: w mieszkaniach (986 sztuk), w obiektach rolniczych (185 sztuk) i w warsztatach rzemieślniczych (61 sztuk). Wyniki przedstawiono w tabl. 6.

¹ *Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik* – ośrodek badawczy i opiniotwórczy w zakresie mechatroniki, najważniejszy w świecie ośrodek badania i kształtowania niezawodności wyłączników różnicowoprądowych.

² Podkomitet SC 23E *Circuit-breakers and similar equipment for household use* działa przy Komitecie (*Technical Committee*) TC 23 *Electrical accessories*.

³ UL – *Underwriters Laboratories Inc.*, Chicago, USA, istniejący od roku 1894 zespół laboratoriów badawczych; opracowuje normy jakości, wydaje atesty bezpieczeństwa dla różnorodnego sprzętu.

Tablica 6. Wyniki badania 1232 wyłączników różnicowoprądowych w Austrii (lata 1989-1990)

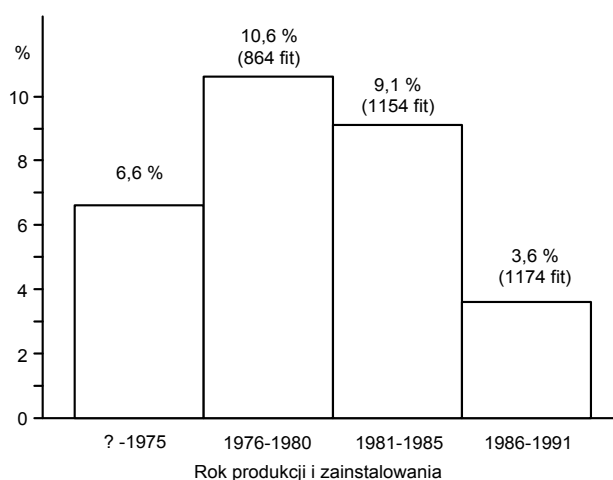
Liczba wyłączników	Rok 1989	Rok 1990	Razem	
poddanych badaniu	595	637	1232	100 %
w pełni sprawnych	547	598	1145	92,9 %
niesprawnych	48	39	87	7,1 %
niesprawny człon kontrolny	12	4	16	1,3 %
nieskuteczny układ ochrony	36	35	71	5,8 %
niesprawny układ wyzwalający		21 (3,3 %)		
wadliwe uziemienie przewodu ochronnego		14 (2,2 %)		

Ochrona okazała się nieskuteczna w 5,8 % przypadków, w 1,3 % przypadków ochrona wprawdzie była skuteczna, ale człon kontrolny był niesprawny, co uniemożliwiało wykrycie ewentualnego przyszłego uszkodzenia wyłącznika.

1989-1991, Włochy

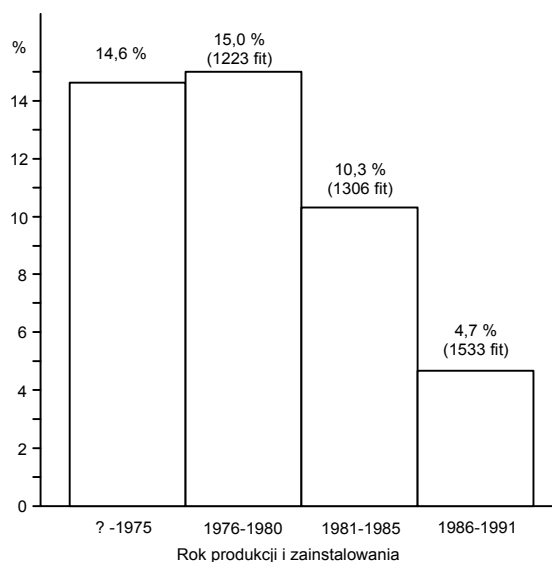
Badania wykonane przez naukowców z politechniki w Turynie [6], objęły 21 019 wyłączników różnicowoprądowych instalowanych przed rokiem 1991, z czego około 4000 znajdowało się w mieszkaniach, a pozostałe w innych instalacjach. Badacze mieli w czym wybierać, bo ogólna liczba wyłączników zainstalowanych we Włoszech, kiedy badania rozpoczynali, wynosiła około 45 mln, w tym 30 mln wysokoczułych.

Badano wyłączniki elektromechaniczne, o działaniu niezależnym od napięcia sieci. Celowo wybierano do badań aparaty instalowane przed laty w różnych warunkach środowiskowych, aby zbadać wpływ tych warunków na wskaźniki zawodnościowe, a w szczególności na zjawisko adhezyjnego przywarcia zwory wyzwalacza różnicowego po dłuższym okresie bezczynności.



Rys. 6. Wyniki badania we Włoszech w latach 1989-1991 zawodności wyłączników zainstalowanych do roku 1991 w instalacjach mieszkaniowych – odsetek wadliwych w procentach oraz intensywność uszkodzeń w fitach. Wśród przebadanych 3 866 wyłączników wykryto 274 wadliwe (7,1 %)

Jako wadliwe uznawano wyłączniki nie spełniające wymagań normy IEC odnośnie do wartości prądu niezadziałania i prądu zadziałania oraz czasu wyłączenia. Stwierdzono średnio 7,1 % wadliwych wyłączników w instalacjach mieszkaniowych (rys. 6) i 7,5 % w innych instalacjach (rys. 7). We wnętrzach, w których wyłączniki nie były narażone na nasłonecznienie, drgania, wilgoć, atmosferę korozyjną ani zapylenie, stwierdzono 6,0 % wadliwych, zarówno w instalacjach mieszkaniowych, jak i innych. Wyższy ogólny odsetek wadliwości w instalacjach poza mieszkaniami był spowodowany właśnie bardziej niekorzystnymi narażeniami środowiskowymi. Wyłączniki instalowane na wolnym powietrzu w obiektach niemieszkalnych miały odsetek wadliwych 11,0 %, a w przypadku narażenia na rozbryzgi wody aż 25,5 % – aż co czwarty był uszkodzony!



Rys. 7. Wyniki badania we Włoszech w latach 1989-1991 zawodności wyłączników zainstalowanych do roku 1991 w przemyśle, rzemiośle i rolnictwie – odsetek wadliwych w procentach oraz intensywność uszkodzeń w fitach. Wśród przebadanych 15 869 wyłączników wykryto 1184 niesprawnych (7,5 %)

Wyłączniki zaopatrzone w znak jakości (KEMA¹, VDE itd.) wykazują mniejszy odsetek wadliwości, np. w instalacjach mieszkaniowych: 4,4 % w porównaniu z 8,4 % w przypadku wyłączników bez znaku jakości.

Wśród wyłączników instalowanych w miejscach wilgotnych wykryto w instalacjach mieszkaniowych 8,7 % wadliwych. Poza mieszkaniami znaleziono około 20 % wadliwych w miejscach, gdzie wyłączniki były narażone na wnikanie zarówno pyłu, jak i wilgoci.

Aż 24 % wadliwych wyłączników można by zawczasu wykryć poprzez samo naciśnięcie przycisku kontrolnego, bo ich uszkodzenie polegało na niesprawności członu zabezpieczeniowego różnicowoprądowego. Regularne sprawdzanie stanu wyłączników za pomocą tego przycisku ma duży wpływ na stwierdzony odsetek wadliwości w porównywalnych warunkach środowiskowych: 2,8 %, jeżeli wyłącznik sprawdzano co najmniej raz w miesiącu, ale 8,9 % jeżeli sprawdzano tylko raz w roku albo wcale.

1989-2002, Australia

W roku 1989 *Electricity Regulatory Services* należące do SECWA² przeprowadziły badania zawodności wyłączników różnicowoprądowych w Australii Zachodniej [36]. Aż 14 % wyłączników nie spełniało stawianych wymagań. W przypadku jednego z producentów wynik negatywny dotyczył 83 % wyłączników; co prawda jego wyroby były atestowane przed nowelizacją normy AS3190³ w roku 1980, a potem były stopniowo wycofywane z rynku.

Rozczarowanie niepomysłnymi wynikami badań było łągodzone innymi uzyskanymi informacjami. Otóż 79 % badanych wyłączników co najmniej raz wyłączało uszkodzony obwód. W budynkach mieszkalnych zbudowanych przed lipcem 1992 roku i wyposażonych w wyłączniki różnicowoprądowe okazało się, że 63 % wyłączników wyzwalalo, a w 68 % tych przypadków udało się ustalić jakiemu zagrożeniu to zapobiegło.

Z ostatnio wykonywanej serii badań *in situ* na Tasmanii nie ma jeszcze pełnego raportu. Wiadomo jednak, że na 250 przebadanych wyłączników niesprawny był tylko jeden (0,4 %), co może świadczyć o poprawie jakości od poprzednich badań w roku 1989.

¹ KEMA – *Keuring Electrotechnisch Materieel Arnhem*, założona w roku 1927 w Arnhem (Holandia) instytucja doradczą, badawczą i atestującą w zakresie sprzętu elektrycznego.

² SECWA – *State Energy Commission of Western Australia*.

³ AS 3190 *Approval and test specification – Residual current devices*.

1996, Republika Południowej Afryki

Wyniki badań 17 000 wyłączników referował autor [7] zatrudniony u ich producenta. Potwierdził odsetek wadliwych aparatów 2,5÷7,5 %, zbliżony do podawanego w badaniach europejskich, ale podkreślał niższy odsetek wad wyłączników o działaniu zależnym od napięcia sieci, z wyposażeniem elektronicznym. Podkreślał, że w wyłącznikach elektromechanicznych o wyzwaniu bezpośrednim łatwo dochodzi do przywarcia zwory wyzwalacza różnicowego w razie osadzania się pyłu i/lub wilgoci na współpracujących polerowanych powierzchniach zwory i jarzma.

2000, Niemcy

W kwietniu 2000 roku eksperci austriaccy przekazali Komitetowi IEC IPEL64, WG No. 9 dokument zawierający wyniki badań niezawodnościowych 150 000 wyłączników różnicowoprądowych, o działaniu niezależnym od napięcia sieci, zainstalowanych w bawarskich gospodarstwach rolnych. Odsetek wadliwych wynosił około 5 %. Stwierdzono, że nie ma podstaw sądzić, że nowsze wykonania wyłączników będą bardziej niezawodne. Wadliwości przypisano zjawiskom starzeniowym zarówno w wyzwalaczu różnicowym o magnesie trwałym, jak i w mechanizmie wyłącznika.

W tymże dokumencie stwierdzono, że nie ma wiarygodnych danych o zawodności wyłączników o działaniu zależnym od napięcia sieci, ze wzmacniaczem elektronicznym. Jednakże, bazując na wskaźnikach zawodnościowych elementów elektronicznych, można spodziewać się intensywności uszkodzeń tego rzędu, co w przypadku wyłączników o działaniu niezależnym od napięcia sieci.

2000, Holandia

Również eksperci holenderscy przekazali w roku 2000 Komitetowi IEC IPEL64, WG No. 9 wyniki badań niezawodnościowych wyłączników. Przebadano *in situ* 624 wyłączniki o działaniu zależnym od napięcia sieci, z wbudowanym członem nadprądowym (RCBO), pochodzące od jednego wytwórcy. Wyniki badań zostały poświadczony przez KEMA. Odsetek wadliwych wyniósł zaledwie 0,16 % (tylko jeden z wyłączników nie wyzwał).

2001, USA

Niezależne stowarzyszenie NEMA¹ przeprowadziło badania 2860 wyłączników standardu amerykańskiego GFCI zainstalowanych w latach 1974÷1998 w 1090 budynkach mieszkalnych, położonych w 12 miastach [40]. W sprawozdaniu wyróżniono dwie odmiany wyłączników: wtykowe oraz instalowane w rozdzielnicach. Obie odmiany to wyłączniki z wyposażeniem elektronicznym o działaniu zależnym od napięcia sieci. Wadliwe wyłączniki demontowano w celu poddania szczegółowym badaniom w laboratoriach UL.

Miasta tak wybierano, aby objąć wszelkie warunki klimatyczne, przy czym czynnikiem najważniejszym okazała się wilgotność powietrza. W klimacie suchym stwierdzono odsetek wadliwości 7,5 % (7,3 % wtykowych i 11 % stałych), a w klimacie wilgotnym: 11,1 % (10,5 % wtykowych i 17,5 % stałych). W laboratorium stwierdzono, że w obu odmianach wyłączników większość uszkodzeń dotyczyła elementów i układów elektronicznych.

2006, Wielka Brytania

*Electrical Safety Council*² zamówiła w międzynarodowej firmie konsultingowej *ERA Technology* ekspertyzę na temat niezawodności wyłączników różnicowoprądowych w budynkach mieszkalnych [23]. Chodziło o uzyskanie przesłanek skłaniających lub nie do propagowania szerszego stosowania wyłączników różnicowoprądowych. Celem opracowania ERA było:

- określić, poprzez studia literaturowe, mechanizmy sprawiające, że wyłączniki przestają poprawnie działać po dłuższym czasie ich bezczynności, tzn. braku jakichkolwiek czynności manipulacyjnych (otwarcie-zamknięcie, sprawdzanie przyciskiem kontrolnym T),

¹ NEMA – *National Electrical Manufacturers Association* (USA), założone w roku 1926 stowarzyszenie wytwórców sprzętu elektrycznego; opracowuje normy, wydaje atesty.

² ESC – *Electrical Safety Council*, organizacja użyteczności publicznej promująca bezpieczne użytkowanie energii elektrycznej.

- sprawdzić na ile te mechanizmy dotyczą wyłączników aktualnie oferowanych na rynku brytyjskim,
- przygotować program badań, które miałyby być wykonywane w kolejnym etapie ekspertyzy.

Za pierwotną przyczynę wielu uszkodzeń wyłączników elektromechanicznych (o działaniu niezależnym od napięcia sieci) uważa się wnikanie drobnych cząstek pyłu i wilgoci powodujących trwałe przywarcie części ruchomych albo spowolnione ich działanie.

Chociaż wytwórcy wyłączników o działaniu pośrednim, ze wzmacniaczem elektronicznym, przypisują swoim wyłącznikom większą niezawodność, niż mają wyłączniki elektromechaniczne, to ERA nie znalazła podstaw, by potwierdzić tę opinię. Badania prowadzone w USA sugerują zbliżoną niezawodność obu odmian wyłączników.

Raport ERA cytuje wiele relacji firm elektroinstalacyjnych zrzeszonych w NICEIC¹ na zapytanie dotyczące spostrzeżeń z ich własnej praktyki na temat niezawodności wyłączników różnicowoprądowych, a wśród nich następujące.

- Technik z Cambridge związany głównie z instalacjami w obiektach przemysłowych i handlowych: Oceniamy, że nie wyzwała 5÷8 % wyłączników różnicowoprądowych zainstalowanych przed czterema i więcej laty. Spotykamy więcej wyłączników, które w ogóle nie wyzwalają niż takich, które wyzwalają w czasie większym niż wymagany. Największym problemem jest brak nawyku systematycznego sprawdzania stanu wyłączników z powodu niewiedzy użytkowników albo obawy przed wywołaniem krótkotrwałej przerwy w zasilaniu i wymazaniem pamięci programatorów.
- Przedsiębiorca z Nottinghamshire: Nie jest rzeczą roztropną zbytnio polegać na wyłącznikach różnicowoprądowych. Nawet regularne ich sprawdzanie nie załatwia sprawy. Bywa, że manipulowanie przyciskiem T nie daje oczekiwanego wyniku. Natomiast ręczne otwarcie i ponowne zamknięcie wyłącznika może sprawić, że zacznie on ponownie działać poprawnie.
- Przedsiębiorca z Dunstable: Jeżeli wyłączniki nie są sprawdzane przynajmniej co kwartał, odbija się to niekorzystnie na ich niezawodności. Wtedy, przy pierwszym sprawdzaniu według *BS 7661:2001/Notes of Guidance 3*, czas wyłączania przekracza przepisane granice, ale po jednokrotnym otwarciu i zamknięciu wyłącznika czasy wyłączania wracają do wymaganego poziomu.
- Technik z ekipy eksploatacji budynków: Wcześniejsze doświadczenia wykazały, że wyłączniki niesprawdzone systematycznie miały zwiększony czas wyłączania bądź w ogóle nie wyzwalają. Wobec tego wprowadziliśmy zasadę sprawdzania ich co 3 miesiące. Zważywszy jednak, że potem wykrywaliśmy bardzo mały odsetek wadliwych, okres między kolejnymi badaniami wydłużyliśmy do 4 miesięcy.
- Przedsiębiorca z York regularnie testujący wyłączniki różnicowoprądowe: Główny wyłącznik różnicowoprądowy całej instalacji jest sprawdzany niechętnie, wobec czego zwiększa się jego czas wyłączania. Po kilku latach bezczynności bywa, że wyłącznik wprawdzie otwiera się po naciśnięciu przycisku T, ale nie daje się już zamknąć.

Przypomniano ostrzeżenie (*Health and Safety Warning Alert*) z roku 2002 wydane przez organ nadzoru rynku (*UK's Office of Government Commerce*) o wpisaniu na listę produktów niebezpiecznych określonej serii wyłączników różnicowoprądowych z wbudowanym członem nadprądowym. Wykryto 66 wyłączników niespełniających wymagań odnośnie do czasu wyłączania.

ESC Consumer Survey z marca 2006 roku wykazał brak rozeznania społeczeństwa w kwestiach bezpiecznego użytkownika elektryczności. Spośród przepytanych użytkowników:

- u 42 % nigdy nie poddawano urządzeń elektrycznych kontroli stanu technicznego,
- 59 % do wykonania robót elektrycznych nigdy nie wzywało wykwalifikowanego elektryka,
- 32 % wykonujących samodzielnie prace elektryczne co najmniej raz doznało porażenia prądem,
- 78 % przyznało, że spośród „robót domowych” prace elektryczne są najbardziej niebezpieczne,
- 35 % przyznało, że ich instalacja ma więcej niż 15 lat, a 21 % nic nie wie o wieku swojej instalacji elektrycznej,

¹ NICEIC – *The National Inspection Council for Electrical Installation Contracting*, m.in. występuje jako niezależna strona trzecia przy odbiorze jakościowym robót elektroinstalacyjnych.

- 58 % przyznało, że nie wie do czego służy wyłącznik różnicowoprądowy.

Poza studiami literaturowymi i ankietami ERA przeprowadziła badania własne. Poddano badaniom *in situ* 607 wyłączników 30 mA w budynkach mieszkalnych należących do czterech zarządców (*Housing Associations* and *Local Housing Authorities*). Wszystkie badane wyłączniki były elektromechaniczne, o działaniu niezależnym od napięcia sieci.

Próby wykonywano jak najbliżej zacisków odpływowych wyłączników. Najpierw badano czynność wyzwalań 172 wyłączników na przemian przy prądzie $I_{\Delta n} = 30$ mA i przy prądzie $5I_{\Delta n} = 150$ mA, aby sprawdzić czy wartość prądu różnicowego przy pierwszej próbie wpływa na odsetek wyłączników uznawanych za niesprawne. Następnie każdy wyłącznik sprawdzano znamionowym prądem różnicowym zadziałania $I_{\Delta n} = 30$ mA trzykrotnie przy dodatniej i ujemnej biegunowości pierwszego półokresu napięcia zasilającego, po czym podobną próbę wykonywano przy prądzie $5I_{\Delta n} = 150$ mA. Na koniec sprawdzano działanie członu kontrolnego.

Za niesprawne uznawano wyłączniki, które – niezależnie od domniemanej przyczyny – wykazywały czas wyłączenia przekraczający wartość wymaganą przez normy. Oczywiście, obejmowało to również wyłączniki, które w ogóle nie wyzwalały. Wykryto pewną liczbę (1,0 %) wyłączników umyślnie zbocznikowanych albo wyłączonych z obwodu przez przyłączenie przewodów zasilających i odpływowych do tych samych zacisków. Rzecz jasna uznawano je za wadliwe, ale dla pełnej przejrzystości wniosków wyróżniano je w prezentacji wyników.

Spotykano też wyłączniki niedające się zamknąć po badaniu. Wymieniano je od razu, ale nie wliczano do grupy wyłączników wadliwych. Podobnie postępowano z wyłącznikami, w których po pomyślnym przebiegu wszystkich badań okazywało się, że nie działa człon kontrolny. Postąpiono tak, bo jedna ani druga wadliwość nie oznacza bezpośrednio zagrożenia porażeniowego.

Wśród przebadanych 607 wyłączników stwierdzono 23 wadliwe, co stanowi odsetek:

- 3,8 %, uwzględniając 6 wyłączników zbocznikowanych,
- 2,8 % bez uwzględnienia 6 wyłączników zbocznikowanych.

Badaniom w laboratorium poddano 10 zdemontowanych wadliwych wyłączników, ale wyniki tych badań nie są w pełni miarodajne. Nieraz okazywało się po demontażu i transporcie, że w laboratorium wyłącznik działał poprawnie. Podobnie, otwieranie obudowy, w celu obejrzenia styków i innych części ruchomych, powoduje przemieszczenie pyłu i innych zanieczyszczeń w stopniu utrudniającym poprawną ocenę niesprawności wyłącznika.

Jako najbardziej prawdopodobne przyczyny niesprawności wyłączników ERA uznała:

- umyślne bocznikowanie wyłącznika,
- wnikanie wilgoci i zanieczyszczeń,
- naruszenie współosiowości elementów bądź innego rodzaju postępujące niedopasowanie,
- uszkodzenia powierzchni styków prowadzące do ich szepienia.

Okresowe operowanie przyciskiem kontrolnym ma korzystny wpływ na eksploatacyjną niezawodność wyłączników. Oczywiście pod warunkiem, że wyłącznik zidentyfikowany jako niesprawny jest natychmiast wymieniany. To jeden z głównych wniosków z badań.

Panuje przekonanie, że czynność wyzwalań może być zakłócona w wyniku wnikania wilgoci powodującego przywarcie (ang. *sticktion*) części ruchomych. Gdyby tak było, wtedy należałoby oczekiwać, że przeprowadzana trzykrotnie raz po raz próba wyzwalań wykaże najwolniejsze działanie w pierwszej próbie i najszybsze w ostatniej. Jednakże analiza średnich czasów wyłączenia nie pozwoliła w sposób niewątpliwy potwierdzić tej hipotezy. Nie potwierdzono przypuszczenia, by na działanie wyłączników poprawnie dobranych i prawidłowo zainstalowanych niekorzystny wpływ miała długotrwała bezczynność.

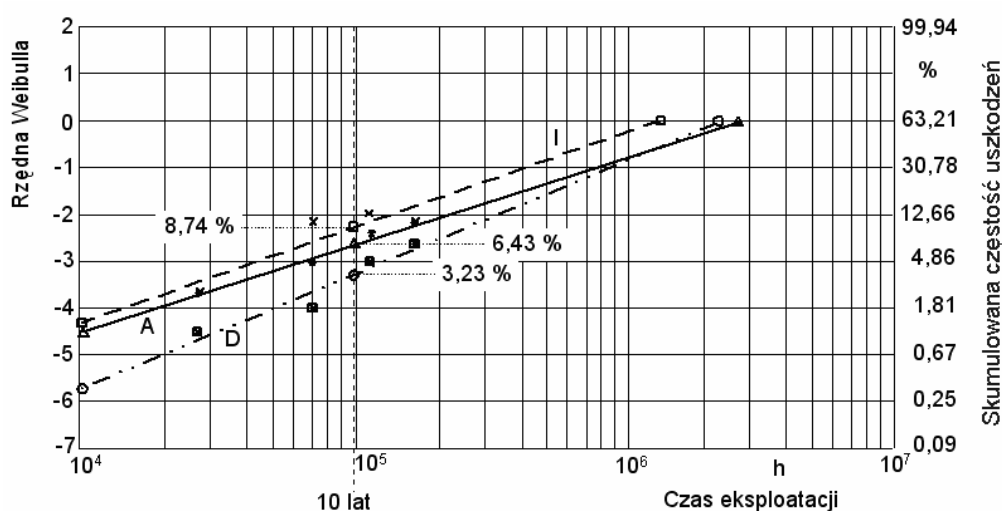
Wytwórcy, których wyłączniki wykazywały wadliwości przypisywane usterkom konstrukcji lub technologii produkcji, zostali zaproszeni do skomentowania tych konkluzji.

Badania wykazały, że wyłączniki różnicowoprądowe w instalacjach domowych są na dłuższą metę niezawodne pod warunkiem, że są poprawnie dobrane i zainstalowane, a także że są regularnie sprawdzane przyciskiem kontrolnym. Ponad 96 % badanych wyłączników okazało się w pełni sprawnych, zdolnych do zapewnienia przewidzianych funkcji ochronnych. Ogólne wnioski z eks-

pertyzy są bardzo pozytywne, zachęcające do promowania szerszego stosowania wyłączników różnicowoprądowych, ale i do uświadamiania użytkowników o potrzebie regularnego ich testowania.

2.3. Wnioski z badań statystycznych – możliwości poprawy niezawodności wyłączników

Wyłączniki różnicowoprądowe są produkowane na dużą skalę od 50 lat i zapewne są coraz lepsze, są ładniejsze i mniejsze niż dawniej, są też bardziej funkcjonalne: wykrywają prądy różnicowe o przebiegu dawniej niewykrywalnym i lepiej przetrzymują różne stany przejściowe, czyli są bardziej odporne na zadziałania zbędne. Niestety, i jest to największy paradoks, nie są bardziej niezawodne. Gorzej, niektóre mają intensywność uszkodzeń, intensywność zadziałań brakujących, nawet większą (rys. 5) niż dawne wyłączniki prostej konstrukcji i niezminiaturyzowane, nie tak ciasno „upakowane”.



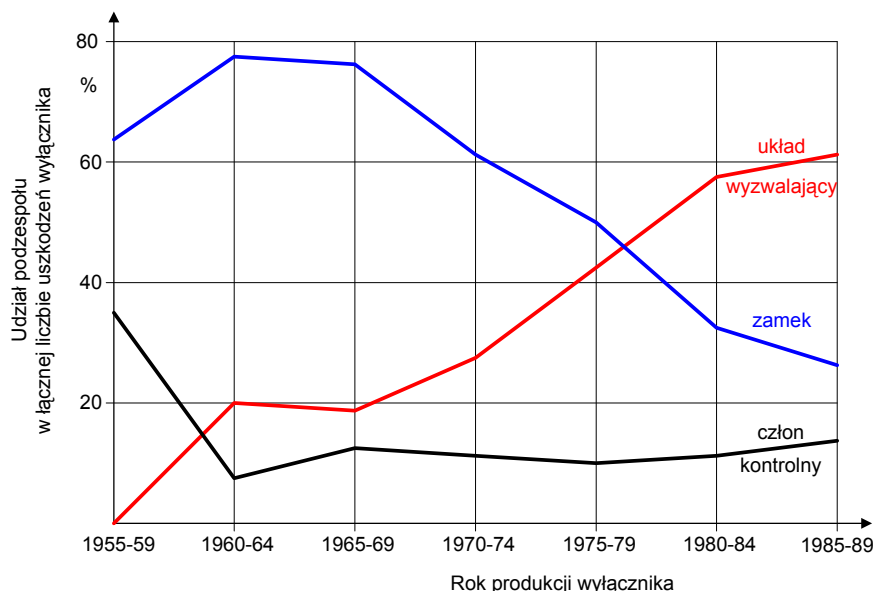
Rys. 8. Dystrybuanty empiryczne zawodności wyłączników różnicowoprądowych na siatce funkcyjnej rozkładu Weibulla – zbiorcze zestawienie wyników badań w trzech krajach (Włochy – I, Austria – A, Niemcy – D)

Przedstawione w rozdz. 2.1 i 2.2 wyniki badań statystycznych z różnych krajów niezupełnie się pokrywają i nie ma w tym nic dziwnego, zwłaszcza jeżeli jednorodność i/lub liczebność porównywanych próbek nie była dostatecznie duża. Zbieżność wyników jest lepsza, jeżeli wspomniane warunki są spełnione. W celu porównania wyników wieloletnich badań dużych populacji wyłączników, przeprowadzonych w trzech krajach (Włochy – I, Austria – A, Niemcy – D), na rys. 8 zestawiono je na siatce funkcyjnej rozkładu Weibulla [11, 12, 13]. Wyniki badań przedstawione znacznikami dotyczą czasu eksploatacji nieprzekraczającego 20 lat (około $2 \cdot 10^5$ h), a przebieg poszczególnych linii powyżej tej granicy jest ekstrapolowany. Można wnioskować, że trwałość wyłączników różnicowoprądowych ma rozkład Weibulla, bo obserwowane w każdym z krajów częstości uszkodzeń w funkcji czasu eksploatacji układają się wzdłuż prostej na siatce funkcyjnej tego rozkładu. Z badań włoskich (I) wynika szczególnie duża częstość (8,74 % niesprawnych po 10 latach), ale cechował je szczególnie duży udział wyłączników zainstalowanych w miejscach o szczególnych narażeniach środowiskowych (wilgoć, zasolenie bądź zapylenie atmosfery).

Zwiększenie intensywności uszkodzeń wyłączników dobrej jakości z początkowego poziomu 200÷300 fitów do ponad 400 fitów w końcu lat 70. było wynikiem miniaturyzacji konstrukcji, zwiększenia skali produkcji, a następnie – komplikacji układu wyzwalającego. Wiele odmian aktualnie produkowanych wyłączników różnicowoprądowych ma intensywność uszkodzeń na poziomie 600÷1100 fitów. Wyłączniki nadprądowe instalacyjne, podobne z wyglądu i spełnianej funkcji aparaty zabezpieczające, mają intensywność uszkodzeń na poziomie 5 fitów. Oznacza to, że źródłem niepokojąco dużej intensywności uszkodzeń wyłączników różnicowoprądowych trzeba szukać w podzespołach konstrukcyjnych, których nie mają wyłączniki nadprądowe instalacyjne.

Żadne statystyki od dawna nie odnotowują, by uszkodzeniom ulegał **przekładnik sumujący**. Zdarzało się to dawniej w wyniku przegrzania izolacji ciasno nawiniętych licznych zwojów uzwojenia pierwotnego, jeśli wyłącznik był przeciążony prądem większym niż znamionowy albo umieszczony w ciasnej rozdzielnicy bez korekty prądu znamionowego. Problem ustąpił po wprowadzeniu takich ferromagnetyków na rdzenie przekładników, które – przy większych prądach znamionowych – pozwoliły poprzestać na jednozwojowych uzwojeniach pierwotnych, na pojedynczych przewodach przelotowo przechodzących przez okno toroidalnego rdzenia.

Za dużą intensywność uszkodzeń wyłączników różnicowoprądowych solidarnie odpowiadają: **układ wyzwalający** łącznie z wyzwalaczem różnicowym zawierającym magnes trwały oraz delikatnej konstrukcji, czuły **zamek** wyłączników o wyzwalaniu bezpośrednim, o działaniu niezależnym od napięcia sieci. Niemal od zarania historii wielkoseryjnej produkcji wyłączników te dwa podzespoły odpowiadają za ponad 80 % łącznej liczby uszkodzeń [12, 24], chociaż z upływem lat w różnej proporcji (rys. 9). W miarę jak doskonalono konstrukcję zamka, technologię produkcji jego elementów, czy wprowadzano suche smarowanie i dzięki temu poprawiano jego niezawodność, równocześnie komplikowano konfigurację obwodu wyzwalającego, w celu polepszenia walorów funkcjonalnych wyłącznika, kosztem niezawodności.



Rys. 9. Względny udział poszczególnych podzespołów w łącznej liczbie usterek dużych populacji wyłączników różnicowoprądowych o wyzwalaniu bezpośrednim [12]

Montaż wyzwalaczy różnicowych odbywa się w pomieszczeniu czystym¹. Wszystkie części składowe wyzwalacza są zawczasu czyszczone metodą ultradźwiękową, a po montażu szczelnie zamknięte [16]. Jeżeli rzeczywisty prąd różnicowy zadziałania wyłącznika ma się zawierać w przepisanych granicach, to muszą być precyzyjnie skoordynowane następujące parametry wyzwalacza:

- wartość iloczynu energetycznego² $(BH)_{\max}$ magnesu trwałego,
- długość szczelin „powietrznych” w obwodzie bocznika magnetycznego,
- sztywność sprężyny zwrotnej.

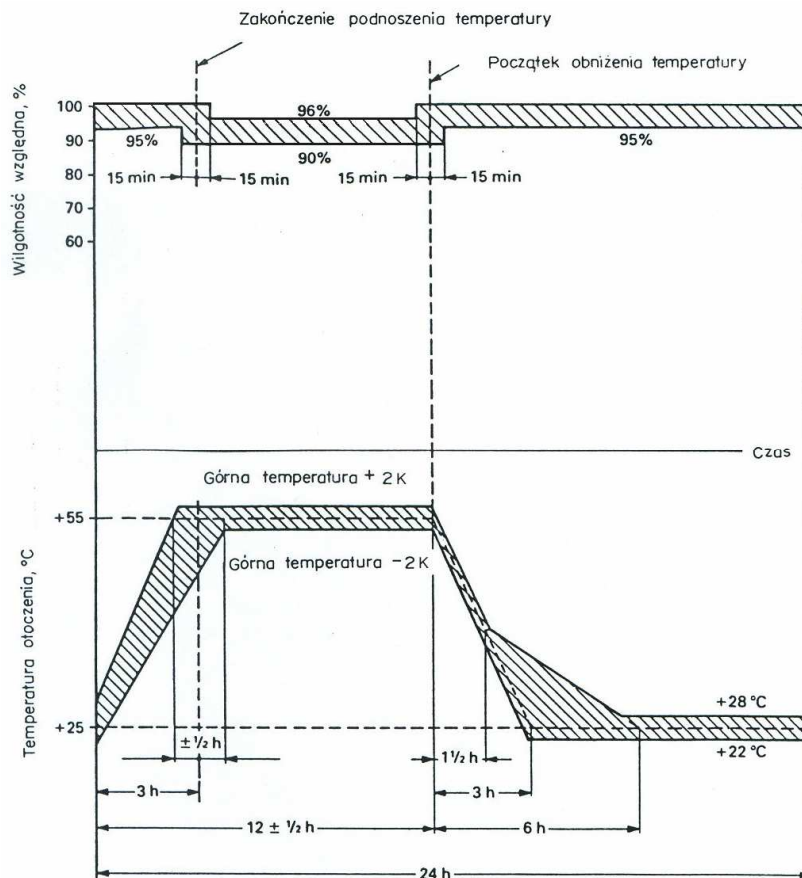
Najmniejszą trudność stanowi długość szczelin między nieruchomymi elementami magneto-wodu, bo ustala się ją precyzyjnie za pomocą przekładki z materiału diamagnetycznego. Natomiast największą – precyzyjne namagnesowanie magnesu trwałego. Konstrukcja urządzenia do tego celu

¹ Pomieszczenie czyste – wnętrze, w którym zachowane są ścisłe reżimy temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz zawartości cząstek w powietrzu.

² Iloczyn energetyczny $(BH)_{\max}$, gęstość maksymalna energii pola magnetycznego $(BH)_{\max}$ – wartość iloczynu współrzędnych B , H , dla których pole prostokąta wpisanego w krzywą od magnesowania (część statycznej pętli histerezy znajdująca się w drugiej ćwiartce układu współrzędnych) osiąga wartość maksymalną.

i wykorzystywany przebieg zmienności pola magnetycznego są ściśle strzeżoną tajemnicą firmową, ujawnianą dopiero po zmianie technologii. Ze względu na nieuniknione odchyłki technologiczne przy nastawianiu wyzwalaczy wykorzystuje się tylko część będącego do dyspozycji zakresu ($0,5I_{\Delta n} \div I_{\Delta n}$ w przypadku wyłączników AC) i sprawdza to poprzez pozytywny wynik 10 kolejnych pomiarów. Ta próba jest próbą wyrobu, kontroli podlega 100 % wyrobów schodzących z taśmy. Sprawdza się też czas wyłączenia przy prądzie różnicowym $5I_{\Delta n}$ (wyłączników bezzwłocznych i krótkozwłocznych). Średni czas wyłączenia z 10 kolejnych pomiarów nie powinien przekraczać 30 ms, przy czym żaden wynik nie powinien być większy niż 40 ms. Jeżeli w procesie technologicznym przestrzega się standardów ISO 9000, to wykrywa się mniej niż 0,1 % braków. Dodatkowo pobiera się losowo do badań próbki z magazynu. Zapewnia to wskaźnik niezawodności wyrobu 0,999 na wyjściu z wytwórni. Mimo to w ostatnich paru latach kilku producentów powiadamiało organy nadzoru rynku o wprowadzeniu do sprzedaży serii wyłączników wykazujących nadmierny rzeczywisty prąd różnicowy zadziałania.

Już pierwsza norma międzynarodowa na wyłączniki różnicowoprądowe CEE Publication 27 [47], praktycznie od stadium projektu z końca lat 60. ubiegłego wieku, wprowadziła wśród badań typu obowiązkową 28-dobową próbę klimatyczną odporności na **wilgotne gorąco cykliczne** w cyklu 12 h + 12 h [48]. Ta procedura przetrwała do dzisiaj z nieznacznymi modyfikacjami. Wyłączniki w stanie zamknięcia, z przewodami przyłączeniowymi, umieszcza się w komorze klimatycznej i poddaje (rys. 10) na przemian działaniu temperatury o górnej wartości (55 ± 2)°C oraz dolnej wartości (25 ± 3)°C przy wilgotności względnej powietrza przekraczającej 90 %, a osiągającej 100 % przy obniżaniu temperatury, dla wywołania kondensacji (rosienia). Po tej próbie wyłącznik powinien przejść pomyślnie jednokrotne sprawdzenie prawidłowego działania: po nagłym pojawieniu się prądu różnicowego o wartości $1,25I_{\Delta n}$ w losowo wybranym biegunie wyłącznik powinien otworzyć się, ale czasu wyłączenia nie sprawdza się. Jest to ostra próba, niemal taka, jakiej poddaje się aparaty w wykonaniu tropikalnym.



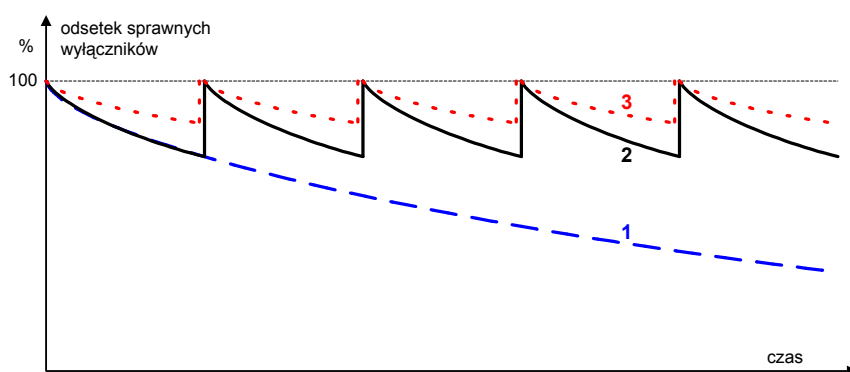
Rys. 10. Dobowy cykl probierczy 28-dobowej próby niezawodności wyłączników różnicowoprądowych

Badanie, o którym mowa, we Francji wdrożono od początku nazywając je badaniem pewności działania (franc. *l'essai de sûreté de fonctionnement*) albo cyklem międzynarodowym Db55. Dotyczyło ono wszelkich wyłączników z wyjątkiem wyłączników przyłączeniowych, instalowanych przy złączu instalacji, dla których energetyka francuska EdF opracowała podobne 8-dobowe badanie odporności na korozję (franc. *l'essai de corrosion*), nazywane potocznie cyklem EdF.

Niektórzy wytwórcy prowadzili na własny użytek dodatkowe, wieloletnie badania odporności na zmienne warunki atmosferyczne, np. w firmie Siemens [24] obserwowano wyłączniki zainstalowane na dachu budynku przez 5 do 15 lat i co pół roku sprawdzano poprawność czynności wyzwalania.

W następstwie niepomyślnych wyników badań statystycznych zawodności wyłączników co jakiś czas wraca postulat wprowadzenia dodatkowej próby odporności na cykliczne przemienne oddziaływanie atmosfery wilgotnej i atmosfery zapyłonej.

Badanie sprawności członu kontrolnego nie ogranicza się do naciśnięcia przycisku kontrolnego, bo brak reakcji może być wynikiem innego uszkodzenia wyłącznika, w szczególności – wadliwości układu wyzwalającego różnicowoprądowego. Według badań EBB z lat 1985÷1996 wyłączniki z uszkodzonym członem kontrolnym stanowiły 1,0÷1,5 % badanej populacji (rys. 5) albo 10÷15 % liczby niesprawnych wyłączników (rys. 9). Na ogół oznaczało to przepalony rezystor w obwodzie kontrolnym, czyli uszkodzenie banalne, które w ogóle nie powinno się zdarzać. Najwyższy czas, by człon kontrolny znikł ze statystyk uszkodzeń, podobnie jak przed wielu laty znikł przedkładnik sumujący.



Rys. 11. Zależność odsetka sprawnych wyłączników w obserwowanej populacji w zależności od trybu eksploatacji: 1 – bez nadzoru, 2 – z okresowym (co kilka lat) badaniem stanu technicznego i usuwaniem wszelkich usterek, 3 – dodatkowo z regularnym (co pół roku) sprawdzaniem stanu wyłączników przyciskiem kontrolnym i bezzwłoczną wymianą uszkodzonych

Trudno przecenić efekt regularnego sprawdzania wyłączników różnicowoprądowych przyciskiem kontrolnym T, co przedstawiono poglądowo na rys. 11. Takie czynności zapobiegawcze pozwalają znacząco ograniczyć odsetek niesprawnych wyłączników wykrywany podczas okresowej kontroli stanu technicznego instalacji, wykonywanej co kilka lat, bądź podczas badań doraźnych (rozdz. 2.2).

Zalecaną częstość sprawdzania stanu wyłącznika poprzez naciśnięcie przycisku T podaje wytwórca. Niestety, w normach przedmiotowych IEC ani EN nie ma postanowień na ten temat. W normie 61008 [51] pojawiła się jednak uwaga w tablicy 6.Z3: Rozważa się sformułowanie właściwych zaleceń dla użytkowników w sprawie regularnego posługiwania się członem kontrolnym (*Specifications on appropriate recommendations to the user to regularly operate the test device are under consideration*).

Brytyjskie stowarzyszenie BEAMA¹ opublikowało poradnik doboru i stosowania wyłączników różnicowoprądowych [35], w którym zaleca sprawdzanie stanu wyłączników przyciskiem kon-

¹ BEAMA – *The Association for the British Electrotechnical Industry*.

trolnym T co najmniej raz na kwartał, jak tego wymaga norma BS 7661. Natomiast przepisy instalacyjne *IEE Wiring Regulations* nie zawierają wymagania regularnego sprawdzania stanu wyłączników, chociaż wymagają przeprowadzania badań odbiorczych po ich zainstalowaniu. Badania okresowe przepisuje natomiast *Guidance Note 3: Inspection and Testing (Guidance Notes for BS 7671)*.

TESTING THE GFCIs

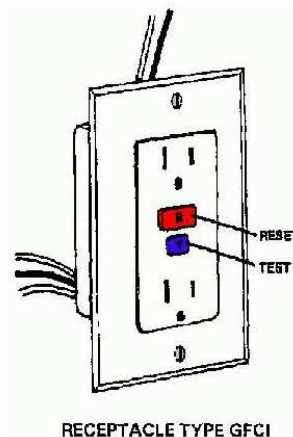
All GFCIs should be tested once a month to make sure they are working properly and are protecting you from fatal shock. GFCIs should be tested after installation to make sure they are working properly and protecting the circuit.

To test the receptacle GFCI, first plug a nightlight or lamp into the outlet. The light should be on. Then, press the "TEST" button on the GFCI. The GFCI's "RESET" button should pop out, and the light should go out.

If the "RESET" button pops out but the light does not go out, the GFCI has been improperly wired. Contact an electrician to correct the wiring errors.

If the "RESET" button does not pop out, the GFCI is defective and should be replaced.

If the GFCI is functioning properly, and the lamp goes out, press the "RESET" button to restore power to the outlet.



Rys. 12. Fragment amerykańskiej instrukcji [39] adresowanej do zwykłych użytkowników elektryczności

W roku 1996 amerykańska komisja bezpieczeństwa wyrobów (*Consumer Product Safety Commission*) wydała dokument [39] zachęcający do stosowania wyłączników GFCI i zalecający ich sprawdzanie raz w miesiącu poprzez naciśnięcie przycisku kontrolnego T. To ostatnie zalecenie jest tak zredagowane i tak zilustrowane obrazkiem typowego podwójnego gniazda wtyczkowego z wyłącznikiem różnicowoprądowym (rys. 12), by przeciętny zjadacz hot-doga je zrozumiał. Również w dojrzałych krajach Unii zalecenia, o których mowa, są redagowane i ilustrowane (rys. 13) w sposób przyjazny wobec adresatów: *bierz przykład z babci* i z oddziaływaniem na podświadomość: *w trosce o bezpieczeństwo dzieci*. Nie ma to nic wspólnego z instrukcjami napuszczonymi i obwarowanymi sankcjami, adresowanymi do polskich użytkowników aparatów elektrycznych. Nie mówiąc o tym, że polska babcia, z powodu bezmyślności wielu *osób uprawnionych do wykonywania samodzielnych funkcji technicznych w budownictwie*, ma ten wyłącznik w rozdzielnicie mieszkaniowej usytuowanej nad drzwiami i tam go nie dosięgnie.



Rys. 13. Fotografia zachęcająca do regularnego sprawdzania wyłączników różnicowoprądowych

Wytwórcy umieszczają na wyłącznikach zalecenie okresowego sprawdzania ich stanu przyciskiem kontrolnym: przed każdym użyciem w przypadku aparatów typu przenośnego PRCD i SRCD, a co miesiąc bądź co kwartał w przypadku wyłączników mocowanych na stałe. Z wywiadów wiadomo, że ogromna większość użytkowników nie przestrzega tych zaleceń. Powodów jest wiele. Wyłączniki są przeważnie zainstalowane w zamkniętych skrzynkach lub wnękach,

nie na widoku i nawet uświadomieni użytkownicy zapominają o ich sprawdzaniu. Większość użytkowników nic nie wie o ochronie różnicowoprądowej, ani tym bardziej o jakimś przycisku do sprawdzania stanu wyłącznika. Z rozpoznania przeprowadzonego w Wielkiej Brytanii przez *Electrical Safety Council* wynika, że 58 % użytkowników nie wie, do czego służy wyłącznik różnicowoprądowy. Z kolei nieliczni, którzy wiedzą i rozumieją, wzdragają się sprawdzać, zwłaszcza wyłączniki główne, w obawie przed skutkami wywołanej tym przerwy w zasilaniu urządzeń z pamięcią bez podtrzymania.

Według ERA większość wyłączników w mieszkaniach nie jest regularnie sprawdzana i przypuszczalnie od 5 % do 10 % wyłączników jest niesprawnych i nie zadziała poprawnie w razie potrzeby.

Badania włoskiego stowarzyszenia promocji bezpiecznego i racjonalnego użytkowania energii elektrycznej¹ wykazały, że niespełna 30 % użytkowników elektryczności wie o przeznaczeniu przycisku kontrolnego T i czasem z niego korzysta, a tylko 2 % używa go regularnie, zgodnie z zasadami [8]. Tymczasem docieklive badania porównawcze wykazują, że wykrywany w kontrolach prowadzonych co kilka lat odsetek wadliwych wyłączników można by zmniejszyć aż 3-krotnie, np. z 8,9 % do 2,8 % [6], gdyby w odstępach nieprzekraczających jednego miesiąca wyłączniki sprawdzać przyciskiem kontrolnym T i wadliwe od razu wymieniać.

Nad wyraz odpowiedzialnie podchodzą do tej sprawy środki społecznej komunikacji w Austrii [13], gdzie czytelników prasy oraz widzów zachęca się do sprawdzania stanu wyłączników przy okazji każdorazowej zmiany czasu z letniego na zimowy i na odwrót, czyli dwukrotnie w ciągu roku.

Poza poprawą niezawodności pojedynczych wyłączników różnicowoprądowych wchodzi w rachubę poprawa niezawodności układu ochrony poprzez wprowadzenie **redundancji** w postaci dodatkowego wyłącznika.

W układzie TT, w którym zabezpieczenia nadprądowe nie reagują na małe prądy zwarciove towarzyszące uszkodzeniu izolacji podstawowej, wyłączniki różnicowoprądowe w obwodach odbiorczych powinien poprzedzać wyłącznik różnicowoprądowy zwłoczny w obwodzie rozdzielczym. Nie jest to redundancja *sensu stricto*, bo wyłącznik poprzedzający ma zupełnie inne parametry: większy prąd znamionowy ciągły, co najmniej 3-krotnie większy znamionowy prąd różnicowy działania i większy czas wyłączania z tytułu zwłoki. Ma też do spełnienia własną funkcję ochronną w obwodzie rozdzielczym, a tylko ubocznie pełni rolę rezerwy na wypadek niesprawności wyłączników, które poprzedza.

Są też wysuwane pomysły instalowania dwóch wyłączników różnicowoprądowych w jednym obwodzie instalacji o układzie TT, zwłaszcza w sytuacjach, kiedy poza ochroną przeciwporażeniową dodatkową (ochroną przy uszkodzeniu) jest wymagana ochrona uzupełniająca przy dotyku bezpośrednim. Naiwnością byłoby sądzić, że każdemu z wyłączników można by przypisać inną funkcję. Gdyby miała być rezerwowana również funkcja ochrony uzupełniającej, wtedy oba wyłączniki byłyby wysokoczułe, byłyby identyczne i w razie zagrożenia otwierałyby się oba, dopóki byłyby sprawne. Zachodzi pytanie jaką mierzalną poprawę niezawodności dałoby podwojenie liczby wyłączników.

Rozważane dwa szeregowo połączone wyłączniki tworzą – z punktu widzenia niezawodności – układ o strukturze równoległej, bo ochrona jest zapewniona, jeżeli którykolwiek z nich jest sprawny. Funkcja zawodności takiego układu $Q_u(t)$ jest iloczynem funkcji zawodności poszczególnych elementów (6):

$$Q_u(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \quad (10)$$

Oczekiwany czas pracy do uszkodzenia układu dwóch wyłączników można obliczyć z podobnego wzoru, jak dla pojedynczego wyłącznika (5), całkując pole pod wykresem funkcji niezawodności:

¹ PROSIEL Associazione Promozione Sicurezza Elettrica (*Associazione italiana per la promozione della cultura e dell'uso sicuro ed efficiente dell'energia elettrica*)

$$\begin{aligned}
T_u &= \int_0^{\infty} P_u(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - Q_u(t)] dt = \int_0^{\infty} [1 - Q_1(t) \cdot Q_2(t)] dt = \int_0^{\infty} [1 - Q_1^2(t)] dt = \\
&= \int_0^{\infty} \{1 - [1 - P_1(t)]^2\} dt = \int_0^{\infty} \{1 - [1 - 2P_1(t) + P_1^2(t)]\} dt = \int_0^{\infty} [2P_1(t) - P_1^2(t)] dt = \quad (11) \\
&= \int_0^{\infty} (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt = \left(\frac{2}{-\lambda} e^{-\lambda t} + \frac{1}{2\lambda} e^{-2\lambda t} \right) \Big|_0^{\infty} = \frac{2}{\lambda} - \frac{2}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda} = 1,5 \frac{1}{\lambda} = 1,5 T_1
\end{aligned}$$

Okazuje się, że dodanie drugiego wyłącznika, zwiększenie liczby wyłączników o 100 % pozwala zwiększyć oczekiwany czas pracy do uszkodzenia zaledwie o 50 % [33]. I to przy milczącym optymistycznym założeniu, że uszkodzenia obu wyłączników są wzajemnie niezależne, co nie byłoby prawdziwe chociażby wtedy, gdyby były zainstalowane obok siebie, w tej samej rozdzielnicy.

Równie pesymistycznie wypada oceniać pomysł dodania w tym samym wyłączniku drugiego układu wyzwalającego, choćby działającego na innej zasadzie. Byłoby to jeszcze mniej skuteczne, bo wspólny pozostałby zamek i inne elementy [3].

3. Zadziałania zbędne wyłączników różnicowoprądowych

3.1. Doniesienia o zadziałaniach zbędnych

Zjawisko zbędnych zadziałań wyłączników różnicowoprądowych jest powszechnie znane elektrykom mającym styczność ze współczesną techniką elektroinstalacyjną. Niesłusznie jest lekceważone jako nieodłączna niedogodność związana ze stosowaniem czułych zabezpieczeń. Ta niedogodność wcale nie jest nieodłączna, nie jest nieunikniona.

Zjawisko zbędnych zadziałań wyłączników różnicowoprądowych nie ma tak obszernych i drobiazgowych statystyk, jak zadziałania brakujące, a to z powodów następujących:

- Poza szczególnymi sytuacjami zadziałania zbędne nie pogarszają bezpośrednio warunków ochrony od porażeń i/lub ochrony od pożarów. Mogą natomiast powodować pewne zagrożenia i znaczne koszty pośrednie poprzez trwałe wyłączenie urządzeń wymagających ciągłości zasilania.
- Niewielki odsetek zadziałań zbędnych jest wynikiem uszkodzeń wyłączników różnicowoprądowych (zużycie lub rozregulowanie zamka, uszkodzenie w obwodzie wtórnym elektroniki uodporniającej na przebiegi przejściowe prądu różnicowego) bądź szczególnych narażeń środowiska pracy (np. nadmierne drgania lub wstrząsy, silne obce pole magnetyczne). Ich głównymi przyczynami są: błędny dobór wyłączników, usterki w instalacji i niewystarczające konstrukcyjne uodpornienie wyłączników na stany nieustalone występujące w rzeczywistych warunkach użytkowania.

W roku 1962 w szwajcarskiej wsi Aesch (kanton Lucerny) zainstalowano w każdym z 111 gospodarstw rolnych wyłącznik różnicowoprądowy o czułości 0,5 A za głównym zabezpieczeniem nadprądowym instalacji [10, 31]. W ciągu jednego roku obserwacji odnotowano łącznie 197 zadziałań, przy czym:

74 zadziałania zbędne wystąpiły podczas burzy (38 % wszystkich zadziałań!),

26 zadziałań wystąpiło z powodu uszkodzeń w przewodowaniu,

97 zadziałań wystąpiło z powodu wadliwości w odbiornikach.

Analizując te wyniki trzeba pamiętać, że chodzi o jeden wyłącznik różnicowoprądowy na całą instalację elektryczną gospodarstwa i o początek lat 60. ubiegłego wieku, kiedy wyłączniki nie były uodpornione na zadziałania zbędne w takim stopniu, jak współczesne konstrukcje.

W ramach cytowanych w rozdz. 2.2 badań 6 288 wyłączników różnicowoprądowych (1979-1988, Austria) stwierdzono, że 3,2 % z nich wyzwała przy prądzie mniejszym niż wymagany prąd niezadziałania $0,5I_{\Delta n}$. Taka wadliwość może być przyczyną zdarzeń zbędnych.

Informacje o zbędnych zadziałaniach wyłączników różnicowoprądowych z powodu burzy [14] na zlecenie BG F&E w Kolonii zbierało *Elektroberatung Bayern* na południu Niemiec, w rejonach o dużej rocznej liczbie dni burzowych. Ankieta objęto 25 426 instalacji, zawierających 26 713 wyłączników różnicowoprądowych. Instalacje miały układ odpowiednio: 51 % układ TN i 49 % układ TT, czyli mniej więcej po połowie. Zasilanie instalacji odbywało się w 29 % z sieci napowietrznej, a w 68 % z sieci kablowej (brak danych w pozostałych przypadkach).

Tablica 7. Porównanie częstości zbędnych zadziałania wyłączników różnicowoprądowych w instalacjach zasilanych z sieci napowietrznej i sieci kablowej

Zbędne zadziałania podczas burzy	Zbędne zadziałania wyłączników w instalacjach zasilanych z sieci rozdzielczej					
	napowietrznej			kablowej		
	liczba	%	%	liczba	%	%
nigdy	7649	74,6	74,6	22866	96,4	96,4
rzadko	2281	22,2	25,4	810	3,4	3,6
często	330	3,2		57	0,2	
Łącznie	10260	100	100	23733	100	100

Tablica 8. Porównanie częstości zbędnych zadziałania wyłączników różnicowoprądowych w zależności od układu sieci

Zbędne zadziałania podczas burzy	Zbędne zadziałania wyłączników w instalacjach zasilanych z sieci rozdzielczej					
	o układzie TN			o układzie TT		
	liczba	%	%	liczba	%	%
nigdy	17653	94,9	94,9	13314	83,8	83,8
rzadko	869	4,7	5,1	2256	14,2	16,2
często	76	0,4		313	2,0	
Łącznie	18598	100	100	15883	100	100

Przy zasilaniu instalacji z sieci napowietrznej stwierdzono 7-krotnie większą częstość zbędnych zadziałania niż przy zasilaniu z sieci kablowej (tabl. 7).

Przy zasilaniu z sieci TT częstość zbędnych zadziałania okazała się średnio 3-krotnie większa niż przy zasilaniu z sieci TN (tabl. 8), ale ta krotność byłaby wyraźnie większa, gdyby rozważać zasilanie wyłącznie z sieci napowietrznej odpowiednio TT i TN. Zasilanie z sieci napowietrznej o układzie TT jest z rozważanego punktu widzenia najgorszym możliwym rozwiązaniem.

3.2. Przyczyny zadziałania zbędnych i środki zapobiegawcze

Głównymi przyczynami zbędnych zadziałania wyłączników różnicowoprądowych są błędy popełnione przy projektowaniu i wykonywaniu instalacji, a następnie przeoczone lub przekupione przy jej odbiorze. Są one zatem zawinione przez osoby uprawnione do wykonywania tych funkcji technicznych w budownictwie.

Najbardziej zawstydzającą przyczyną zdarzeń zbędnych są **błędne połączenia przewodów** neutralnych N i przewodów ochronnych PE w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi, np. łączenie przewodów N i PE, albo łączenie przewodów neutralnych należących do różnych obwodów. Takie praktyki powinny zawstydzać nie tylko szeregowych elektryków, ale przede wszystkim heroldów układu TN-C-S-C, którzy raz rozdzielone przewody N i PE nakazywali ponownie łączyć „na każdej kondygnacji” i tą drogą wpajali jak najgorsze nawyki. Powinny też zawstydzać bezmyślnych prowodyrów żalonych i przeciągających się dyskusji na temat „RCD

w TN-C”, czyli o celowości stosowania wyłączników różnicowoprądowych w obwodach o układzie TN-C.

Znamionowy prąd różnicowy zadziałania $I_{\Delta n}$ wyłącznika powinien być odpowiednio skorelowany z wartością, jaką przyjmuje **ustalony prąd różnicowy** w chronionym obwodzie, będący jego prądem upływowym I_u , wynikający z doziemnych upływności i pojemności. W przypadku wyłącznika o wyzwaniu typu AC, który ma prąd niezadziałania równy $0,5I_{\Delta n}$, nasuwa się oczywiste wymaganie:

$$0,5I_{\Delta n} \geq I_u, \quad \text{czyli} \quad I_{\Delta n} \geq 2I_u \quad (12)$$

Nie uwzględnia ono żadnego marginesu bezpieczeństwa, powszechnie uwzględnianego w technice zabezpieczeń. A przecież chodzi o odstrojenie się od prądu upływowego obwodu, którego wartości nie da się ustalić tak dokładnie, jak na przykład wartości prądu rozruchowego silnika, od której odstraja się zabezpieczenia nadprądowe obwodu. Jest też kwestia uczulenia wyłącznika na prąd upływowy o innym przebiegu niż prąd sinusoidalny 50 Hz, przy którym się sprawdza jego prąd niezadziałania. Aby zatem nie dopuścić do zdarzeń zbędnych, trzeba powyższy warunek sformułować ostrożniej:

$$(0,25 \div 0,33)I_{\Delta n} \geq I_u \quad \text{czyli} \quad I_{\Delta n} \geq (4 \div 3)I_u \quad (13)$$

Na przykład w obwodzie chronionym przez wyłącznik typu AC o czułości 30 mA ustalony prąd upływowy nie powinien przekraczać 10 mA, a jeśli jest on oszacowany z większą niepewnością, a skutki zbędnych zdarzeń są poważne, to nie powinien przekraczać 7,5 mA. Jak niewiele urządzeń elektronicznych można bezpiecznie zasiląć z takiego obwodu, łatwo ustalić pamiętając, że trzeba liczyć się z ustalonym prądem upływowym około:

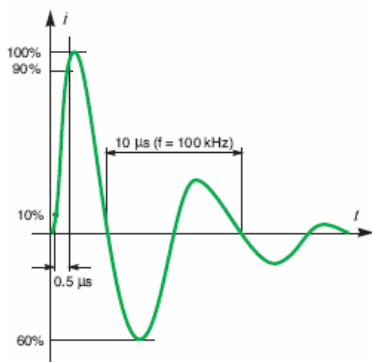
- 1 mA na każdą świetlówkę liniową ze statecznikiem elektronicznym,
- 3,5 mA na każde stanowisko ze sprzętem komputerowym.

Znacznie większe ustalone prądy upływowe mają liczne urządzenia profesjonalne, o czym świadczą dwa następujące przykłady. W dokumentacji techniczno-ruchowej pośrednich przemienników częstotliwości FUTUREX 40 kVA do 80 kVA wytwórca informuje [38], że – w razie zainstalowania wyłącznika różnicowoprądowego w obwodzie zasilającym – powinien to być wyłącznik typu wyzwania A lub B i powinien mieć prąd różnicowy zadziałania niemniejszy niż 200 mA oraz zwłokę działania co najmniej 0,1 s. W dokumentacji techniczno-ruchowej zasilaczy bezprzerwowych o mocy 4÷24 kVA wytwórca przestrzega [37], że urządzenie ma duży prąd upływowy, osiągający 300 mA. Gdyby w obwodzie zasilającym miał być zainstalowany wyłącznik różnicowoprądowy zaleca go dobierać, jak do obwodu z prądem upływowym 500 mA.

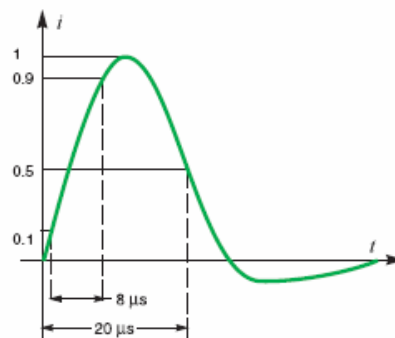
W obwodach rozdzielczych wyposażonych w wyłącznik różnicowoprądowy zwłoczny S (selektywny) – w celu uniknięcia zbędnych zdarzeń – dobór znamionowego prądu różnicowego zadziałania oraz zwłoki powinien dodatkowo uwzględniać **wymaganie wybiórczego działania** z wyłącznikami usytuowanymi bliżej odbiorników.

Duży **przejsiowy prąd różnicowy**, nawet wielokrotnie większy niż ustalony prąd różnicowy obwodu, towarzyszy załączaniu urządzeń wyposażonych w filtry przeciwzakłóceń z kondensatorami klasy Y lub XY, przyłączonymi do przewodu ochronnego, bądź obwodów zawierających inne pojemności doziemne, np. długich tras przewodowych w metalowych rurach, kanałach lub korytkach. Taki przebieg nieustalony, zwykle trwający znacznie krócej niż pół okresu prądu o częstotliwości sieciowej (10 ms), wystarcza do wyzwolenia wyłącznika różnicowoprądowego bezzwłocznego. Środkiem zaradczym jest zastosowanie wyłącznika różnicowoprądowego krótkozwłocznego, który ma gwarantowany czas przetrzymywania prądu różnicowego 10 ms, co sprawdza się półfalami prądu o częstotliwości sieciowej, o biegunowości ujemnej i dodatniej [21].

Nawet wyłączniki bezzwłoczne są badane pod względem odporności na **prąd różnicowy o przebiegu oscylacyjnym tłumionym** $0,5 \mu\text{s}/100 \text{ kHz}$ (ang. *ring wave*), o wartości szczytowej 200 A, symulującym przebiegi nieustalone podczas załączania i wyłączania obwodu (rys. 14).

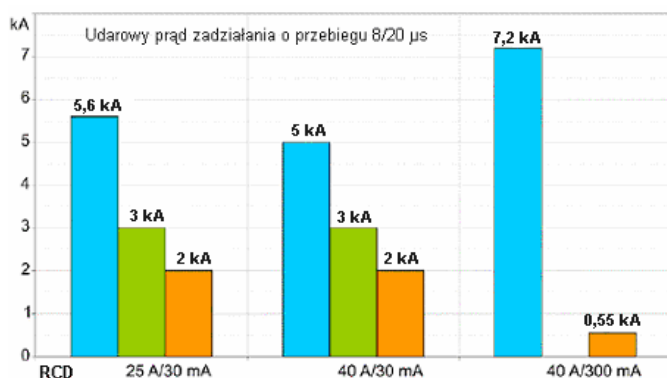


Rys. 14. Przebieg prądu oscylacyjnego tłumionego 0,5 μs/100 kHz



Rys. 15. Przebieg prądu udarowego 8/20 μs

Od wszelkich wyłączników różnicowoprądowych wymaga się ponadto odporności na **prąd różnicowy udarowy** o przebiegu 8/20 μs (rys. 15), symulujący przebiegi nieustalone wywołane przez wyładowania atmosferyczne. Wymagania odnośnie do wartości szczytowej przetrzymywanego prądu są zróżnicowane [21]: od 250 A dla wyłączników bezzwłocznych, poprzez 3 kA dla krótkozwłocznych, do 5 kA dla zwłocznych (selektywnych S). Są to wymagania minimalne, które powinien spełniać każdy wyrób zgodny z normą przedmiotową. Niektóre wyroby mają odporność większą i wytwórca może to sygnalizować w katalogu, pod warunkiem że jest ona znacznie większa, najlepiej niemniejsza niż jedna z kolejnych wartości znormalizowanych. I tak na przykład firma ABB podaje, że jej wyłączniki bezzwłoczne DS9 AP-R wytrzymują prądy różnicowe udarowe o wartości szczytowej 3 000 A, podczas gdy norma wymaga odporności na prąd 250 A.

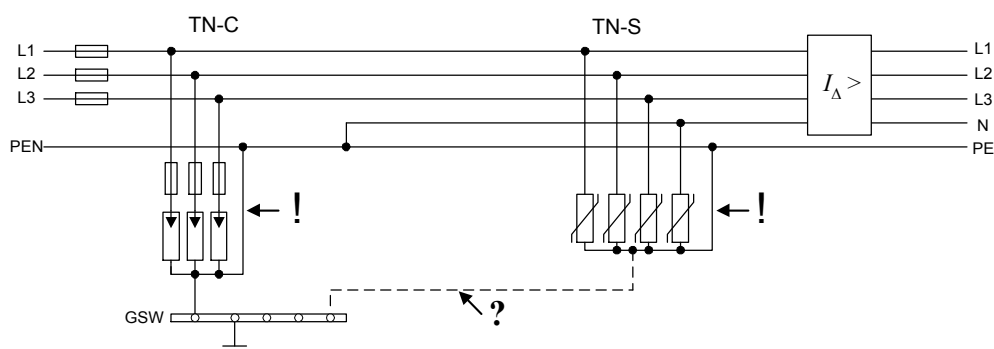


Rys. 16. Prąd różnicowy udarowy zadziałania ośmiu typów wyłączników różnicowoprądowych trzech różnych producentów:
 25 A/30 mA,
 40 A/30 mA,
 40 mA/300 mA – bez wyrobu producenta nr 2

Wytwórcy, ograniczający się do przeprowadzania prób wymaganych przez normę, mogą nawet nie wiedzieć, że ich wyroby wykazują odporność większą i w jakim stopniu. Okazuje się to dopiero przy okazji dociekliwych badań laboratoryjnych, na przykład badań odporności różnych aparatów niskiego napięcia na obciążenia prądami udarowymi [4]. Na rys. 16 przedstawiono wyniki pomiarów prądu różnicowego udarowego zadziałania (o przebiegu 8/20 μs) wyłączników różnicowoprądowych bezzwłocznych; deklarowany prąd wytrzymywany byłby mniejszy, np. o 20 %. Każdy z wyłączników powinien wytrzymać 0,25 kA. Widać duży rozrzut wyników w zależności od typu wyłącznika i od wytwórcy. Decydują różnice w wykonaniu układu wyzwalającego (uzwojenie bądź uzwojenia wtórne, pośredniczące układy elektroniczne oraz wyzwalacz różnicowy). Zwłaszcza wyłączniki 40 A/300 mA wykazują w tym badaniu szczególnie duży rozrzut zależnie od wytwórcy. Wyłącznik jednego z wytwórców nie wyzwalał przy 12 kA, tj. największym prądzie używanym z układu probierczego. Z kolei przy impulsach o kształcie 10/350 μs, odpowiadającym prądom piorunowym, próg wyzwalań jest bardzo niski; już prądy o wartości kilkudziesięciu amperów wywołują wyzwalań.

Dane z rys. 16 są przestrożą. Jeżeli – w sposób nie budzący wątpliwości – stwierdziłeś, że twój wyłącznik różnicowoprądowy zachowuje się w określonych okolicznościach lepiej niż gwarantuje norma i podaje wytwórca, znaczy to tyle i tylko tyle. Nie bałamuć bliźnich i nie wmawiaj im

na forach, że odkryte cechy można przenieść na podobnie oznakowane wyłączniki innych serii lub innych producentów.



Rys. 17. Sposób przyłączenia ograniczników przepięć w układach TN-C oraz TN-S
Wskazano połączenia najważniejsze (!) oraz połączenia niekonieczne (?) dla skuteczności ochrony przeciwprzepięciowej

Brak koordynacji zabezpieczeń różnicowoprądowych z ogranicznikami przepięć może znacznie zwiększyć ryzyko zdarzeń zbędnych podczas odprowadzania prądu udarowego, a także w następstwie procesów starzeniowych ograniczników warystorowych, kiedy wykazują one zwiększoną upływność. Nie bierze się tu pod uwagę zdarzeń zbędnych wywołanych przepływem prądu następczego odgromników (ograniczników przepięć klasy I pierwszego stopnia ochrony), bo nie powinno być wyłącznika różnicowoprądowego przed odgromnikiem. Właściwe jego miejsce jest za drugim stopniem ochrony (rys. 17), a jeżeli w wyjątkowych sytuacjach czyni się inaczej, to odporność wyłącznika na prądy różnicowe udarowe trzeba skoordynować z charakterystyką ogranicznika przepięć z uwzględnieniem rzeczywistych narażeń przepięciowych instalacji.

3.3. Eliminacja zdarzeń zbędnych – zasada „No RCD”

Ostatnią deską ratunku prowadzącą do zmniejszenia częstości zdarzeń brakujących jest dodanie w obwodzie drugiego wyłącznika różnicowoprądowego. Jest to krok desperacki i mniej skuteczny niż mogłoby się wydawać, co wyjaśniono przy końcu rozdz. 2.3. Dopiero sześć wyłączników szeregowo połączonych pozwala czuć się bezpiecznie w sytuacji prawdziwego zagrożenia, jak na rys. 19 w artykule wprowadzającym [20].

Ostatnią deską ratunku prowadzącą do eliminacji zdarzeń zbędnych jest usunięcie z obwodu, a nawet z całego toru zasilania, jakichkolwiek wyłączników różnicowoprądowych. No bo czy jest zrównoważony psychicznie projektant, który mnoży źródła zasilania, aby za wszelką cenę utrzymać w ruchu ważne odbiory, a następnie wprowadza do tej instalacji wyłączniki różnicowoprądowe, które z błahego powodu wyłączają ją spod napięcia? Czyni tak niedouczony elektryk, któremu wmówiono, że nie ma ochrony przeciwporażeniowej bez wyłącznika różnicowoprądowego i to wyłącznika wysokoczułego. A przecież jest on wymagany tylko wtedy, kiedy norma *explicite* bądź domyślnie wymaga ochrony uzupełniającej przy dotyku bezpośrednim – w obwodach gniazd wtyczkowych przeznaczonych dla laików i/lub w warunkach szczególnego zagrożenia (arkusze 700). W większości innych sytuacji użycie wyłączników różnicowoprądowych nie jest obowiązkowe, jest fakultatywne.

Są obwody bądź instalacje, w których wyłączniki różnicowoprądowe są niepożądane, wyraźnie niezalecane, a nawet zakazane (rys. 18). Pierwszą grupą są **instalacje bezpieczeństwa**¹, których ciągłość działania ma duże znaczenie dla życia bądź zdrowia ludzi, a także dla bezpieczeństwa publicznego, dla ochrony środowiska i mienia znacznej wartości:

¹ PN-IEC 60364-5-56:1999 Instalacje bezpieczeństwa [48], pkt 561.2: *Zaleca się stosować środki ochrony przeciwporażeniowej, które nie powodują samoczynnego wyłączenia w przypadku pierwszego uszkodzenia.*

- Oświetlenie awaryjne, urządzenia tryskaczowe¹, pompy pożarnicze;
- Urządzenia elektromedyczne monitorujące i podtrzymujące podstawowe funkcje życiowe, systemy komputerowe szpitali;
- Systemy komputerowe policji i centralnych instytucji administracyjnych;
- Urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, kolejowego, wodnego i lotniczego;
- Urządzenia sygnalizacji pożaru, włamania, nadzoru bezpieczeństwa, urządzenia kontroli dostępu, systemy łączności.

17. Examples of equipment or installations NOT intended for RCD protection are:

Equipment not intended to be protected by RCD's

11. EQUIPMENT TO WHICH REGULATION 3.60 DOES NOT APPLY

Equipment not intended to be protected by a RCD

2.12 Where not to use RCDs

Rys. 18. Tytuły rozdziałów przepisów i zaleceń, które zakazują lub nie zalecają stosowania wyłączników różnicowoprądowych

Przy projektowaniu ich zasilania obowiązują następujące wymagania i ograniczenia:

- 1) Jak najmniej stopni zabezpieczeń nadprądowych od źródła zasilania (transformator, generator, UPS) do urządzenia odbiorczego.
- 2) Zabezpieczenia zwarciove o wyraźnie przewymiarowanym prądzie znamionowym (wkładki topikowe) lub nastawczym (wyzwalacze bądź przekaźniki zwarciove wyłączników) w porównaniu ze zwykłymi zasadami ich doboru.
- 3) Zabronione zabezpieczenia przeciążeniowe działające na wyłączenie.
- 4) Zabronione zabezpieczenia różnicowoprądowe działające na wyłączenie.

Drugą grupą urządzeń, których problem dotyczy, są obwody i urządzenia, których ciągłość pracy jest ważna ze względów ekonomicznych, a wystarczającą skuteczność ochrony przeciwporażeniowej można zapewnić bez użycia wyłączników różnicowoprądowych, bo nie występują przy ich użytkowaniu warunki szczególnego zagrożenia, nie są to urządzenia ręczne i nie wymagają ochrony uzupełniającej:

- Systemy komputerowe banków;
- Pracujące bez nadzoru chłodziarki, szafy chłodnicze, zamrażarki, wentylatory i klimatyzatory;
- Domowe i biurowe komputery, monitory, drukarki i zasilacze bezprzerwowe UPS;
- Oświetlenie zewnętrzne², zwłaszcza w obszarach zagrożenia dla przechodniów lub kierowców;
- Gniazda wtyczkowe na wysokości przekraczającej 2,5 m, przeznaczone do przyłączania lamp lub innych odbiorników w miejscach nie stwarzających zwiększonego zagrożenia porażeniem.

Poza przywołanymi w przepisach postanowieniami norm i przepisów, stanowiących w Polsce uznane zasady wiedzy technicznej, są liczne inne źródła [5, 42, 43, 44] przestrzegające przed nierozważnym wprowadzaniem wyłączników różnicowoprądowych w sytuacjach, kiedy przynoszą one więcej szkody niż pożytku.

¹ VdS CEA 4001:2005 [44], pkt 9.8.3.1: Der Stromkreis für den Anschluss der Sprinkleranlage darf aus Gründen der Versorgungssicherheit keine FI-Schutzeinrichtung (RCD) enthalten. – *W torze zasilania urządzenia tryskaczowego ze względu na pewność zasilania nie dopuszcza się żadnego urządzenia różnicowoprądowego (RCD).*

² PN-IEC 60364-7-714:2003 Instalacje oświetlenia zewnętrznego [49], pkt 714.413.1: *W przypadku układu TT z uzio- mem o wystarczająco małej rezystancji, zalecana jest ochrona przez wyłączenie za pomocą bezpieczników lub wyłącz- ników. Zastosowanie urządzenia ochronnego różnicowoprądowego w złączu, w przypadku pojedynczego zwarcia w jednym urządzeniu oświetleniowym, może spowodować wyłączenie całej instalacji oświetlenia i stworzyć niebezpie- czeństwo dla użytkowników...*

4. Wnioski końcowe

W dziedzinie wyłączników różnicowoprądowych trudno wskazać osobę bardziej zasłużoną i bardziej kompetentną niż prof. G. Biegelmeier, autor licznych patentów i dokumentów normalizacyjnych, niezliczonych publikacji i wielu prac badawczych o fundamentalnym znaczeniu. Niech za wnioski posłużą główne myśli jego apelu, zawarte w dokumencie roboczym IEC z roku 1995 [2, 12].

Nigdy w historii techniki jasno zdefiniowany krytyczny problem bezpieczeństwa nie był ignorowany przez tak wiele lat, jak problem niezawodności wyłączników różnicowoprądowych. Można szacować liczbę niesprawnych wyłączników w układach TT¹ określonych regionów i krajów pamiętając, że rocznie instaluje się w świecie około 40 mln wyłączników różnicowoprądowych. Zgrubne oszacowanie można oprzeć na założeniu, że liczba instalacji mieszkaniowych w krajach rozwiniętych jest w przybliżeniu dwa razy mniejsza niż liczba ludności, a każda instalacja mieszkaniowa TT ma średnio jeden wyłącznik różnicowoprądowy.

Zatem w Bawarii o liczbie ludności 12,5 mln jest około 6 mln instalacji mieszkaniowych TT i tyleż wyłączników różnicowoprądowych. Przy przeciętnym odsetku 5 % niesprawnych wyłączników jest w samej Bawarii 300 000 instalacji mieszkaniowych niespełniających wymagań bezpieczeństwa. W całych Niemczech, o liczbie ludności 80 mln, około 70 % instalacji ma układ TN, a 30 % układ TT. Szacując, jak poprzednio, otrzymuje się w Niemczech 600 000 instalacji TT niezapewniających bezpieczeństwa użytkownikom. We Francji (57,5 mln ludności) i we Włoszech (56,5 mln ludności) zasilanie budynków mieszkalnych odbywa się niemal wyłącznie z układu TT; w każdym z tych krajów można spodziewać się 1,5 mln instalacji mieszkaniowych bez należytej ochrony przeciwporażeniowej. W Austrii (8 mln mieszkańców) zasilanej po połowie z układu TT² oraz TN można oczekiwać około 100 000 instalacji mieszkaniowych TT z niesprawnymi wyłącznikami. Te oszacowanie wypadną jeszcze gorzej, jeśli doda się niesprawne wyłączniki zainstalowane w instalacjach o układzie TN-S.

Potencjalnym nabywcom podsuwa się informacje o klasie efektywności energetycznej zamrażarki i pralki, o standardach bezpieczeństwa samochodu, ale nic się nie mówi o niezawodności wyłącznika różnicowoprądowego w przewidywanym okresie użytkowania 30 lat. Można sobie wyobrazić zalew reklamacji, gdyby się okazało, że w przewidywanym okresie użytkowania samochodu (15 lat) w ponad 10 % egzemplarzy występują dyskwalifikujące awarie układu hamulcowego.

Licznym aparatom elektrycznym, ważnym dla bezpieczeństwa funkcjonalnego, przypisuje się **poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL** (ang. *safety integrity level*), sprawdzany następnie w odpowiednich próbach. Tą klasyfikacją trzeba wreszcie objąć również wyłączniki różnicowoprądowe, co zmusiłoby wytwórców do podawania poziomu SIL wyrobów i w rezultacie – do radykalnej poprawy ich niezawodności.

BG F&E w Kolonii przygotował [12] program prób typu wyłączników różnicowoprądowych sprawdzających bezpieczeństwo funkcjonalne według EN 61508, jak dla aparatów 2. klasy SIL. Poza badaniami konstrukcji i funkcjonalności według dotychczasowych norm przedmiotowych powinno obowiązywać badanie poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL, co w ciągu paru lat mogłoby wymusić nawet 10-krotne obniżenie intensywności uszkodzeń (do około 50 fitów).

Problem członu kontrolnego należałoby rozwiązać środkami technicznymi, skoro organizacyjne zawodzą. Wchodzi w rachubę opracowanie prostszego, niż pierwotnie wykoncypowany [9], układu samotestującego, okresowo powodującego nieznaczne zwolnienie zwory wyzwalacza różnicowego bez otwierania wyłącznika i bez wywoływania przerwy w zasilaniu.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.

¹ W układach TN-S sytuacja nie jest dramatyczna, bo przy uszkodzeniu izolacji podstawowej (przy zwarciu L-PE) płynie duży prąd zwarciovowy, wyłączany przez zabezpieczenia nadprądowe.

² Pisane w roku 1995. Austriacki minister gospodarki zarządził w 1998 r. [45], by w ciągu 10 lat (do 31.12.2008) wszystkie istniejące sieci rozdzielcze i przyłącza TT przystosować do układu TN, przez co problem niesprawności wyłączników różnicowoprądowych stracił na ostrości.

Literatura

1. Biegelmeier G.: Schutz vor den Gefahren der Elektrizität. Bulletin SEV, 1992, nr 3, s. 59-64.
2. Biegelmeier G.: Austrian Expert draft/01/95 TC 64/WG 30.
3. Biegelmeier G., Kiefer G., Krefter K.-H.: Schutz in elektrischen Anlagen. VDE-Verlag, Berlin – Offenbach, 1999.
4. Blitzstromfeste Niederspannungsschaltgeräte. 14209 BR/AiF-Vorhaben-Nr./GAG, Abschlussbericht für den Zeitraum: 01.11.2004 bis 28.02.2007. Technische Universität Ilmenau, Institut für Elektrische Energie- und Steuerungstechnik. Ilmenau, 2007.
5. Boone K.: Electrical cable selection. 2001. http://www.kevinboone.com/cableselection_web.pdf
6. Cantarella G., Carrescia V., Tommasini R.: Quality of residual current-operated circuit breakers. ETEP, 1996, nr 3, s. 149-156.
7. Cohen V.: Why electronic and not electromechanical ELCBs? AFRICON 1996, IEEE AFRI-CON 4th, Volume 2, s. 715-719, 24-27 Sept. 1996.
8. Fehlerstromschutz mit Wiedereinschaltung. Elektropraktiker, 2005, nr 11, s. 918.
9. Gothsch H.: Prüfen von selbst überwachenden Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen – Stellungnahme der BGFE. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2002, nr 22, s. 15.
10. Hofer F.: Ergebnis über die Kontrolle von Fehlerstromschutzschaltern im Verteilgebiet der Centralschweizerischen Kraftwerke. Bull. SEV, 1969, nr 21, s. 1011-1012.
11. Kieback D.: Zuverlässigkeit von FI-Schutzschaltern. Elektrie, 1995, nr 4, s. 134-143.
12. Kieback D., Lappe U.: Zuverlässigkeit von FI-Schutzschaltern (RCCB). Elektropraktiker, 1996, nr 6, s. 464-467.
13. Kieback D.: Zuverlässigkeit von FI-Schutzeinrichtungen. Elektropraktiker, 1997, nr 1, s. 87-93.
14. Kieback D.: Unerwünschte Auslösungen von FI-Schutzschaltern durch Gewitter. Elektropraktiker, 1997, nr 1, s. 99-101.
15. Kommission Arbeitsschutz und Normung (KANN): Bericht der Arbeitsgruppe „Fehlerstrom-Schutzschalter“. Sankt Augustin, Oktober 2001.
16. La protection différentielle (1). Le colloque d'ELEC 82: une discussion de haut niveau. J3E, 1983, nr 488, s. 29-36.
17. Morgenhalter G.: Stand der Normung von FI-Schutzeinrichtungen. Elektropraktiker, 1997, nr 1, s. 58-61.
18. Musiał E.: Niezawodność a koszty ochrony przeciwporażeniowej w warunkach szczególnego zagrożenia. Prace Naukowe Inst. Energoelekt. Polit. Wroc. 1972, nr 12, s. 80-97.
19. Musiał E.: Niezawodność układu ochronnego różnicowoprądowego. W: [Materiały Konferencyjne] XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo elektryczne”, Wrocław, 1997. Inst. Energoelekt. Polit. Wroc., SEP Oddz. Wrocław. t. II, s. 45-56.
20. Musiał E., Czapp S.: Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe. Powstanie, rozwój, przyszłość. Miesięcznik SEP INPE Informacje o Normach i Przepisach Elektrycznych, 2008, nr 108, s. 3-46.
21. Musiał E., Czapp S.: Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe. Przegląd i charakterystyka współczesnych konstrukcji. Miesięcznik SEP INPE Informacje o Normach i Przepisach Elektrycznych, 2008, nr 109-110, s. 3-44.
22. Oehms K.-J., Vogt D.: Betriebssicherheit von FI-Schutzschalter und FI-Schutzschaltung. ETZ-B, 1978, nr 10, s. 348-350.
23. Russel K., Dean B.: In-service reliability of RCDs. ERA Technology Report 2006-0220. ERA Project 7M0335701. Interim Report, May 2006.
24. Scherbaum R.: Beurteilung von Fehlerstrom-Schutzschaltern in Theorie und Praxis. ETZ-B, 1976, nr 6/7, s. 168-170.
25. Schwerdtner E.: 25 Prozent der FI-Schutzschaltungen waren unwirksam. Elektromeister, 1969, nr 7, s. 307.

26. Schwerdtner E.: 25% der FI-Schutzschaltungen waren unwirksam. *Elektromeister*, 1969, nr 11, s. 596.
27. Schwerdtner E.: Erfolge gegen den Stromtod auf Baustellen. *Elektromeister*, 1972, nr 6, s. 303.
28. Steinbauer E.: Praktische Erfahrungen bezüglich der Funktionstüchtigkeit eingebauter Fehlerstromschutzschalter. *ÖZE*, 1991, nr 9, s. A 159-160.
29. Szypowicz A., Weremko T.: Analiza niezawodności działania wyłączników przeciwporażeniowych różnicowoprądowych. Politechnika Gdańska, 1971. Praca dyplomowa pod kierunkiem E. Musiała.
30. Taleb F.: Étude des protections contre les contacts indirects en basse tension. Application aux installations domestiques de la ville d'Oran. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 1987. Praca kwalifikacyjna pod kierunkiem E. Musiała.
31. Troxler X.: Problèmes posés par l'utilisation des disjoncteurs sensibles au courant de défaut IV. – Couplage de protection à courant de défaut. *L'Électricien*, avril 1973, s. 84-88.
32. Wieser H.: Erfahrungen bei der Überprüfung von elektrischen Niederspannungsanlagen. *E&M*, 1990, nr 4, s. 211-213.
33. Wydler U.: Redundanz entscheidet über Sicherheit. Einsatz von elektronischen Sicherheitssystemen. *Bull. SEV*, 1996, nr 3, s. 20-22.
34. Protéger! Oui, mais comment? *J.EEE*, 1971, nr 315, s. 102-105.
35. Installation Guide to the Selection and Application of Residual Current Devices. BEAMA, London, 2005.
36. Queensland Regulatory Impact Statement for SL 2002 No. 180. Electricity Act 1994. Electricity Amendment Regulation (No. 3) 2002.
37. EFFEKTA Handbuch. USV Unterbrechungsfreie Stromversorgung MHD Modular. Artikelnummer: ACR11ENSXXX00XXX, Oktober 2007.
38. Manuel d'utilisation – FUTUREX 40 kVA à 80 kVA T/T. Dequatec Onduleur, Saint Martin de Valgalues.
39. GFCIs Fact Sheet, CPSC Document #99, Consumer Product Safety Commission, Washington, DC, 1996.
40. GFCI Field Test Survey Report. NEMA, Rosslyn, January 2001.
41. Certification of Ground-Fault Circuit Interrupters Manufactured for the U.S. Market, U.S. Consumer Product Safety Commission, Washington, DC, March 2003.
42. Electricity: Residual current devices. Worksafe Western Australia Commission. Guidance Note. Regulation 3.60 Protection against earth leakage current when portable equipment in use, 1998.
43. Electrical Engineering – Building Electrical Services. Installation of Residual Current Devices in the Workplace – New and Refurbished Facilities. The Australian Defence Organisation. Issue Date: September 2004, Review Date: June 2005.
44. Electricity: Residual Current Devices (RCD's). Occupational Safety and Health Regulations 1996. Regulation 3.60 Protection against earth leakage current when portable equipment in use. Notice to Industry. Number 28, 24 January 2006. Government of Western Australia. Department for Planning and Infrastructure. Commercial Vessel Safety Branch
45. VdS CEA 4001:2005 Richtlinien für Sprinkieranlagen; Planung und Einbau.
46. Nullungsverordnung. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jahrgang 1998, ausgegeben am 16. September 1998.
47. CEE Publication 27:1974 Specification for current-operated earth-leakage circuit-breakers for domestic and similar general purposes.
48. PN-EN 60068-2-30:2008 Badania środowiskowe – Część 2-30: Próby – Próba Db: Wilgotne gorąco cykliczne (cykl 12 h + 12 h).
49. PN-IEC 60364-5-56:1999 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Instalacje bezpieczeństwa.
50. PN-IEC 60364-7-714:2003 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Instalacje oświetlenia zewnętrznego.

51. PN-EN 61008-2-1:2007 Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego (RCCB) – Część 2-1: Stosowanie postanowień ogólnych do wyłączników RCCB o działaniu niezależnym od napięcia sieci.

Dane bibliograficzne:

Musiał E., Czapp S.: **Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe (3). Niezawodność**. Miesięcznik SEP „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”. 2008, nr 110-111, s. 3-40.

cdn.