

14. Iskrobezpieczeństwo urządzeń pomiarowych i wykonawczych

Projektowanie urządzeń i realizacja zadań automatyzacji w obszarach o zwiększonym zagrożeniu wybuchem jest zadaniem trudnym i odpowiedzialnym. W zakresie stosowanych środków automatyzacji konieczne jest spełnienie specjalnych wymagań formułowanych w odpowiednich uregulowaniach normatywnych [1, 1]. Uregulowania te dotyczą wszystkich stosowanych środków automatyzacji, a więc zarówno urządzeń klasycznych jak i inteligentnych. Generalnie rzecz ujmując, stosowanie tych wymagań nie wyklucza jednak możliwości powstania wybuchu. Istnieje bardzo nisko, ale jednak skończone prawdopodobieństwo zaistnienia sytuacji, w której do takiego wybuchu dojść może. I odwrotnie, nie stosowanie tych wymagań zwiększa istotnie prawdopodobieństwo zaistnienia wybuchu. Standardy iskrobezpieczeństwa dotyczą wszystkich urządzeń, które mogą wytwarzać jedno lub więcej potencjalnych źródeł zapłonu, do których zaliczamy między innymi:

- iskry elektryczne,
- łuki elektryczne,
- płomienie,
- gorące powierzchnie,
- ładunek elektrostatyczny,
- reakcje chemiczne,
- uderzenia mechaniczne,
- tarcie mechaniczne,
- zapłon,
- energię akustyczną,
- promieniowanie jonizacyjne,
- promieniowanie elektromagnetyczne.

14.1. Podstawowe definicje

Dla zapewnienia właściwego zrozumienia przedstawionego w tym rozdziale materiału zdefiniujemy podstawowe pojęcia z szeroko rozumianej sfery zagadnień związanych z iskrobezpieczeństwem.

Eksplozja to przebiegająca w sposób gwałtowny reakcja spalania dowolnej substancji palnej w otoczeniu tlenu powodująca uwolnienie dużej ilości energii.

Substancja palna może występować w postaci dowolnego stanu skupienia np. w postaci gazowej, zawiesiny, oparów, pyłu, cieczy, cząstek ciała stałego, ciała stałego, itp.

Czynnikami warunkującymi powstanie eksplozji jest wystąpienie warunków, w których dochodzi do bezpośredniego kontaktu: substancji palnej, atmosfery zawierającej tlen i źródła zapłonu. Nie każdy zapłon substancji palnej może być uznany za eksplozję. Warunkiem koniecznym wystąpienia eksplozji jest propagacja przestrzenna zapłonu.

Gazowa atmosfera wybuchowa to mieszanina substancji palnych w postaci gazowej lub mieszanina par substancji palnych z powietrzem, w której po zapaleniu, proces spalania rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę.

Punkt parowania cieczy palnej to najniższa temperatura, w której nad poziomem cieczy palnej formuje się gazowa atmosfera wybuchowa. Punkt parowania jest nieco wyższy od temperatury parowania cieczy i zależy od jej właściwości fizycznych. Dla potrzeb technicznych ciecze palne zostały podzielone na cztery **klasy wybuchowości** (Tab.14.1).

Klasa wybuchowości	Punkt parowania
AI	<21°C
AII	21..55°C
AIII	>55..100°C
B	<21°C dla cieczy rozpuszczonych w wodzie w temperaturze 15°C

Tab. 14.1 Klasy wybuchowości cieczy palnych

Maksymalna temperatura powierzchni to najwyższa temperatura osiągnięta przez urządzenie w czasie pracy przez dowolną jego część lub powierzchnię w warunkach najbardziej niekorzystnych (lecz dopuszczalnych) mogącą zainicjować zapłon otaczającej gazowej atmosfery wybuchowej. Maksymalna temperatura powierzchni może być określana jako wewnętrzna lub zewnętrzna, w zależności od rodzaju stosowanej budowy przeciwwybuchowej.

Rodzaj budowy przeciwwybuchowej to określone środki techniczne, które są stosowane w urządzeniach elektrycznych w celu uniknięcia zapłonu otaczającej atmosfery wybuchowej.

Temperatura pracy to temperatura pracy urządzenia osiąganego w znamionowych warunkach pracy urządzenia.

14.2. Strefy zagrożenia wybuchem

W obszarze, w którym może wystąpić zagrożenie wybuchem wyodrębniane są strefy zagrożenia. Kryterium podziału obszaru występowania na strefy zagrożenia wybuchem jest czas, w którym w danej strefie mogą pojawić się substancje palne. Strefy zagrożenia wybuchem oznaczane są symbolami numerycznymi. Symbole te jednocześnie identyfikują rodzaj substancji palnej. Podział na strefy zagrożenia wybuchem i kryteria klasyfikacyjne podano w Tab. 14.2.

Strefy zagrożenia wybuchem		
Gaz	Pył	Kryterium klasyfikacji
0	20	Obszar, w którym substancje wybuchowe występują w sposób trwały
1	21	Obszar, w którym substancje wybuchowe występują sporadycznie
2	22	Obszar, w którym niebezpieczeństwo wybuchu może wystąpić bardzo rzadko i nie występuje w czasie normalnej pracy

Tab. 14.2 Podział na strefy zagrożenia wybuchem

Rozległość stref zagrożenia wybuchem jest związana ze specyfiką konstrukcji i rozplanowania przestrzennego urządzeń i instalacji pracujących w tych strefach. Między innymi rozległość tych stref zależy od takich czynników jak: temperatura, ciśnienie, wilgotność, występowanie i intensywność prądów powietrznych, itp. Szczegółowy opis poszczególnych stref podany jest w [7].

14.3. Klasyfikacja urządzeń

14.3.1. Grupy urządzeń

Urządzenia elektryczne przeznaczone do pracy w gazowych atmosferach wybuchowych są podzielone na dwie następujące grupy:

- grupa I – obejmująca urządzenia przeznaczone do stosowania w zakładach górniczych, w których występuje metanowa (NH₃) atmosfera wybuchowa,
- grupa II – obejmująca urządzenia przeznaczone do stosowania poza miejscami zdefiniowanymi w grupie I.

Osią podziału obu grup jest zakres stawianych wymagań konstrukcyjnych w stosunku do obudów urządzeń elektrycznych. Urządzenia grupy I muszą być wyposażone w odpowiednią obudowę uniemożliwiającą przedostanie się na zewnątrz iskry, która może potencjalnie powstać w urządzeniu elektrycznym. Rygor ten nie obejmuje obudów stosowanych dla grupy II.

Urządzenia grupy II podzielone są na trzy grupy zwane grupami wybuchowymi. Kryterium podziału jest ocena stopnia zagrożenia wybuchem.

Grupa wybuchowa II					
Urządzenia grupy II	Zagrożenie wybuchem			Wymagania wobec urządzeń	
IIA	niskie			niskie	
IIB		średnie			średnie
IIC			wysokie		wysokie

Tab. 14.3 Klasyfikacja urządzeń elektrycznych grupy II.

Urządzenia elektryczne przeznaczone do pracy w gazowych atmosferach wybuchowych powinny być odpowiednio oznakowane. Oznakowanie to powinno obejmować wskazanie grupy, podgrupy, zastosowane budowy iskrobezpieczne, maksymalną temperaturę powierzchni a także **grupę wybuchową**. W tabeli 14.3 podano charakterystykę określającą w sposób jakościowy stopień zagrożenia wybuchem i wymagania formułowane w stosunku do urządzeń elektrycznych należących do tych grup. Szczegółowe wymagania są formułowane w odpowiednich dokumentach normatywnych [4, 5].

W Tab. 14.4 przedstawiono typowe przykłady i stopień zagrożenia wybuchem.

Grupa urządzeń		
Grupa	Przykłady zagrożeń wybuchem	Grupa
I	Zagrożenie wybuchem metanu lub pyłu węglowego	metanowa
IIA	Zagrożenie wybuchem propanu, acetonu, alkoholu metylowego, alkoholu etylowego	propanowa
IIB	Zagrożenie wybuchem etylenu, siarkowodoru	etylenowa
IIC	Zagrożenie wybuchem acetylenu, wodoru, hydrazyny	wodorowa

Tab. 14.4 Przykłady zagrożeń wybuchem

14.3.2. Kategoria bezpieczeństwa urządzenia

Urządzenia elektryczne pracujące w strefach zagrożenia wybuchowego są kategoryzowane. Kategoria urządzenia jest klasą związaną z poziomem jego bezpieczeństwa w zastosowaniach w strefach zagrożonych wybuchem. Każda kategoria ma sformułowane wymagania co do sposobu zabezpieczenia w przypadku awarii. W Tab. 14.5 przedstawiono podstawowe wymagania konstrukcyjne na środki ochronne stawiane urządzeniom elektrycznym pracujących w strefach zagrożenia wybuchowego. W praktyce urządzenia kategorii 1 są stosowane w strefach zagrożenia 0 i 20, urządzenia kategorii 2 w strefach zagrożenia 1 i 21, natomiast urządzenia kategorii 3 są stosowane w strefach 2 i 22. Badania statystyczne wykazują, że ok. 95% urządzeń przeznaczonych do zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem jest instalowane w strefach 1 i 21 a zaledwie ok. 5% w strefach 0 i 20.

Grupa wybuchowa II		
Kategoria	Opis kategorii	Wymagana ochrona
1	Ekstremalnie wysoki poziom bezpieczeństwa	Co najmniej dwa środki ochronne na wypadek, gdyby jeden zawiódł
2	Wysoki poziom bezpieczeństwa	Co najmniej jeden środek ochronny
3	Normalny poziom bezpieczeństwa	Brak dodatkowych środków ochronnych

Tab. 14.5 Kategorie bezpieczeństwa urządzeń dla grupy wybuchowej II.

14.3.3. Klasyfikacja temperaturowa urządzeń

Klasyfikacja temperaturowa urządzeń jest odrębna dla każdej grupy urządzeń elektrycznych przeznaczonych do pracy w gazowych atmosferach wybuchowych. Kryterium klasyfikacyjnym w obu przypadkach jest maksymalna temperatura powierzchni i rodzaj atmosfery wybuchowej.

W przypadku urządzeń elektrycznych należących do grupy I w oznakowaniu urządzenia powinna być podana wartość maksymalnej rzeczywistej temperatury powierzchni. W urządzeniach tych maksymalna temperatura powierzchni nie powinna przekraczać:

- 150°C dla dowolnej powierzchni, na której może osadzić się warstwa pyłu węglowego,
- 450°C dla dowolnej powierzchni, na której osadzenie pyłu węglowego jest wykluczone np. w wyniku zastosowania odpowiednich uszczelnień.

W przypadku urządzeń elektrycznych należących do grupy II stosowany jest podział na sześć klas temperaturowych oznaczanych symbolem T i odpowiednią cyfrą. Kryterium klasyfikacyjnym jest maksymalna temperatura powierzchni. Ogólnie, im wyższa jest klasa temperaturowa, tym niższa jest maksymalna temperatura maksymalna powierzchni. Klasyfikację temperaturową urządzeń elektrycznych grupy II podano w Tab. 14.6. przedstawiono :

Klasa temperaturowa	Maksymalna temperatura powierzchni w [°C]
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Tab. 14.6 Klasyfikacja temperaturowa urządzeń elektrycznych grupy II

14.3.4. Klasyfikacja urządzeń ze względu na pole powierzchni

Urządzenia elektryczne przeznaczone do pracy w atmosferach wybuchowych powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby zarówno w normalnych warunkach użytkowania jak również podczas napraw, konserwacji i czyszczenia nie występowało niebezpieczeństwo zapłonu otaczającego gazu. Niebezpieczeństwo to może być spowodowane przez przeskok iskry elektrycznej pomiędzy elementami niemetalowymi urządzenia w wyniku różnicy potencjałów tych elementów spowodowanej nagromadzeniem na nich ładunków elektrostatycznych. W stosunku do urządzeń elektrycznych, które są zbudowane w taki sposób, że możliwy jest dostęp do ich elementów wykonanych z materiałów niemetalicznych stosowana jest klasyfikacja, której kryterium jest powierzchnia materiałów niemetalicznych.

Procedura wyznaczenia pola powierzchni jest następująca:

- dla elementów płaskich polem powierzchni jest pole powierzchni eksponowanej, która może ulec naładowaniu ładunkiem elektrostatycznym,
- dla elementów o powierzchniach przestrzennych, za pole powierzchni uznaje się największe pole dowolnego rzutu tego elementu,
- w przypadku elementów niemetalowych rozdzielonych elementami przewodzącymi i uziemionymi, ich pola powierzchni powinny być wyznaczone niezależnie.

Klasyfikację urządzeń ze względu na pole powierzchni przedstawiono w Tab. 14.7.

Maksymalne pole powierzchni w [mm ²]				
Urządzenia grupy I	Urządzenia grupy II			
	Strefa (zgodnie z PN-EN 60079-10)	Grupa IIA	Grupa IIB	Grupa IIC
1000	0	5000	2500	400
	1	10000	10000	2000
	2	10000	10000	2000

Tab. 14.7 Klasyfikacja budowy iskrobezpiecznej ze względu na powierzchnię elementów niemetalowych.

Inteligentne urządzenia pomiarowe i wykonawcze dzięki wbudowanym funkcjom diagnostycznym i możliwości realizacji zdalnej parametryzacji i konfiguracji są chętnie stosowane w strefach zagrożonych wybuchem. Urządzenia te w przeciwieństwie do urządzeń

konwencjonalnych nie wymagają w zasadzie żadnej obsługi bezpośredniej. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie stopnia bezpieczeństwa zarówno samego procesu jak i operatorów procesu. Stąd też znaczna część inteligentnych urządzeń pomiarowych i wykonawczych przeznaczonych jest do zastosowań w strefach zagrożenia 0 i 1 i jest klasyfikowana w grupie wybuchowej IIC.

14.3.5. Oznakowanie urządzeń elektrycznych

Urządzenia elektryczne przeznaczone do pracy w atmosferze wybuchowej powinny być odpowiednio oznakowane. Jest to szczególnie ważne z punktu widzenia zapewnienia warunków bezpieczeństwa. Oznakowanie powinno być umieszczone w widocznym miejscu i powinno zawierać:

- nazwę producenta lub jego zarejestrowany znak handlowy,
- oznaczenie typu urządzenia ustalone przez producenta,
- symbol Ex wskazujący, że urządzenie elektryczne odpowiada jednemu lub wielu rodzajom budowy przeciwybuchowej spełniających wymagania norm
- symbol zastosowanego rodzaju (rodzajów) budowy przeciwybuchowej:

Symbol rodzaju budowy	Rodzaj budowy przeciwybuchowej
d	osłona ognioszczelna
e	budowa wzmocniona
ia	iskrobezpieczeństwo, poziom zabezpieczenia „ia”
ib	iskrobezpieczeństwo, poziom zabezpieczenia „ib”
ma	hermetyzacja, poziom zabezpieczenia „ma”
mb	hermetyzacja, poziom zabezpieczenia „mb”
nA	rodzaj n, sposób zabezpieczenia „nA”
nC	rodzaj n, sposób zabezpieczenia „nC”
nL	rodzaj n, sposób zabezpieczenia „nL”
nR	rodzaj n, sposób zabezpieczenia „nR”
o	osłona olejowa
px	osłona gazowa z nadciśnieniem, poziom zabezpieczenia „px”
py	osłona gazowa z nadciśnieniem, poziom zabezpieczenia „py”
pz	osłona gazowa z nadciśnieniem, poziom zabezpieczenia „pz”
q	osłona piaskowa

Tab. 14.8 Klasyfikacja i rodzaje budowy przeciwybuchowej

- symbol grupy urządzenia elektrycznego (I, II, IIA, IIB, IIC),
- symbol klasy temperaturowej (T1, T2, T3, T4, T5, T6),
- numer fabryczny,
- nazwę wydawcy oraz oznaczenie certyfikatu iskrobezpieczeństwa,
- opcjonalne wskazanie warunków bezpiecznego użytkowania (symbol X),

Przykład oznakowania urządzenia:

II 2G Ex d ia IIC T5

II	Grupa urządzenia. Urządzenie przeznaczone do stosowania poza zakładami górniczymi, w których występuje metanowa atmosfera wybuchowa.
2G	Kategoria urządzenia. Urządzenie zapewniające wysoki stopień bezpieczeństwa (2) przeznaczone do pracy w gazowej atmosferze wybuchowej (G)
Ex	Ochrona wybuchowa zgodna z zharmonizowanymi normami europejskimi
d	Rodzaj budowy przeciwybuchowej. Urządzenie jest wyposażone w obudowę ognioszczelną.
ia	Rodzaj iskrobezpieczeństwa. Poziom zabezpieczenia „ia” określa stopień bezpieczeństwa elektrycznych obwodów wejściowych i wyjściowych urządzenia. Obwody wejściowe i wyjściowe urządzeń przenoszą sygnały elektryczne o ograniczonej mocy. Obwody wejściowe i wyjściowe mogą być wprowadzane do stref zagrożenia wybuchem 0, 1 i 2.
IIC	Grupa wybuchowa. Urządzenie może być stosowane w warunkach wysokiego zagrożenia wybuchem.
T5	Klasa temperaturowa. Maksymalna temperatura powierzchni urządzenia nie może być wyższa niż 100°C.

Tab. 14.8 Przykład oznakowania urządzenia elektrycznego.

14.4. Obwody iskrobezpieczne

14.4.1. Definicje

Iskrobezpieczeństwo „i” to sposób budowy przeciwybuchowej, który ogranicza ilość energii rozpraszanej lub magazynowanej wewnątrz urządzenia elektrycznego i w jego okablowaniu do poziomu niższego niż ten, przy którym w atmosferze wybuchowej mogłoby dojść do zapłonu wywołanego przez iskrę lub ogrzanie jego powierzchni.

Urządzenie iskrobezpieczne to urządzenie elektryczne, którego wszystkie obwody są obwodami iskrobezpiecznymi.

Obwód iskrobezpieczny to obwód, w którym dowolna iskra lub dowolny efekt cieplny wywołany w obwodzie w określonych warunkach nie jest zdolny do wywołania zapłonu w gazowej atmosferze wybuchowej. Obwód iskrobezpieczny zachowuje cechę iskrobezpieczeństwa zarówno w warunkach nominalnych jego pracy jak również w warunkach z określonymi uszkodzeniami obwodu.

Uszkodzenie to dowolny defekt dowolnego elementu, oddzielenia izolacyjnego lub połączenia pomiędzy elementami od którego zależy iskrobezpieczeństwo obwodu i który jest nieuszkodzalny.

Element lub zespół nieuszkodzalny to element lub zespół, którego prawdopodobieństwo **uszkodzenia** w trakcie pracy lub składowania urządzenia jest na tyle niskie, że może nie być brane pod uwagę.

Nieuszkodzalne połączenie to połączenie lub złącze, lub okablowanie lub ścieżka obwodu drukowanego, których prawdopodobieństwo **przerwania** w trakcie pracy lub składowania urządzenia jest na tyle niskie, że może nie być brane pod uwagę.

Nieuszkodzalne oddzielenie izolacyjne lub separacja to oddzielenie izolacyjne lub separacja pomiędzy elementami przewodzącymi obwodu, których prawdopodobieństwo **zwarcia** w trakcie pracy lub składowania urządzenia jest na tyle niskie, że może nie być brane pod uwagę.

Uszkodzenie zliczane to uszkodzenie w częściach urządzenia elektrycznego, których budowa jest zgodna ze specyfikacją normy [5], a więc dotyczy przypadku uszkodzenia elementów praktycznie nieuszkodzalnych.

Maksymalna pojemność zewnętrzna C_0 to największa pojemność, która może być przyłączona do zacisków urządzenia bez naruszania rodzaju budowy przeciwwybuchowej.

Maksymalna indukcyjność zewnętrzna L_0 to największa indukcyjność, która może być przyłączona do zacisków urządzenia bez naruszania rodzaju budowy przeciwwybuchowej.

Maksymalne napięcie wyjściowe U_0 to największe napięcie (szczytowe przemiennie lub stałe), które może się pojawić na zaciskach urządzenia przy napięciu zasilania nie przekraczającym wartości maksymalnej.

Maksymalny prąd wyjściowy I_0 to największy prąd (szczytowy przemienny lub stały), który może być pobrany z zacisków urządzenia.

Maksymalna moc wyjściowa P_0 to największa moc, którą można pobrać z urządzenia.

Maksymalna pojemność wewnętrzna C_i to całkowita wypadkowa pojemność wewnętrzna urządzenia uznana za pojemność występującą na jego zaciskach.

Maksymalna indukcyjność wewnętrzna L_i to całkowita wypadkowa indukcyjność wewnętrzna urządzenia uznana za indukcyjność występującą na jego zaciskach.

Maksymalny prąd wejściowy I_i to największy prąd (szczytowy przemienny lub stały), który można doprowadzić do zacisków urządzenia bez naruszania rodzaju budowy przeciwwybuchowej.

Maksymalne napięcie wejściowe U_i to największe napięcie (szczytowe przemiennie lub stałe), który można doprowadzić do zacisków urządzenia bez naruszania rodzaju budowy przeciwwybuchowej.

Maksymalna moc wejściowa P_i to największa moc, którą można doprowadzić do zacisków urządzenia bez naruszania rodzaju budowy przeciwwybuchowej.

Maksymalna wartość skuteczna napięcia przemiennego lub stałego U_m to największe napięcie, które można doprowadzić do zacisków urządzenia towarzyszącego i przeznaczonych dla obwodu, którego energia nie jest ograniczona, nie naruszając rodzaju budowy przeciwwybuchowej.

Diodowa bariera ochronna to zespół złożony z równolegle połączonych diod (zawierających diody Zenera) zabezpieczony przez szeregowo dołączone bezpieczniki lub/i rezystory lub ich kombinacje. Diodowa bariera ochronna jest zwykle wykonywana w postaci odrębnego urządzenia.

14.4.2. Poziomy iskrobezpieczeństwa urządzeń elektrycznych

Urządzenia iskrobezpieczne klasyfikowane są w trzech poziomach iskrobezpieczeństwa: „ia”, „ib” lub „ic”.

14.4.2.1. Poziom iskrobezpieczeństwa „ia”

Poziom iskrobezpieczeństwa „ia” posiadają te urządzenia elektryczne, które po zasileniu napięciami U_i i U_m , nie są zdolne do zapłonu atmosfery wybuchowej w przypadku zaistnienia każdej z niżej wymienionych okoliczności:

- a) w warunkach pracy normalnej i w warunkach pracy z uwzględnieniem wszystkich najbardziej niekorzystnych uszkodzeń niezliczanych,
- b) w warunkach pracy normalnej i w warunkach pracy z uwzględnieniem jednego uszkodzenia zliczanego i wszystkich możliwych najbardziej niekorzystnych uszkodzeń niezliczanych,
- c) w warunkach pracy normalnej i w warunkach pracy z uwzględnieniem dwóch uszkodzeń zliczanych i wszystkich możliwych najbardziej niekorzystnych uszkodzeń niezliczanych.

14.4.2.2. Poziom iskrobezpieczeństwa „ib”

Poziom iskrobezpieczeństwa „ib” posiadają te urządzenia elektryczne, które po zasileniu napięciami U_i i U_m , nie są zdolne do zapłonu atmosfery wybuchowej w przypadku zaistnienia każdej z niżej wymienionych okoliczności:

- a) w warunkach pracy normalnej i w warunkach pracy z uwzględnieniem wszystkich najbardziej niekorzystnych uszkodzeń niezliczanych,
- b) w warunkach pracy normalnej i w warunkach pracy z uwzględnieniem jednego uszkodzenia zliczanego i wszystkich możliwych najbardziej niekorzystnych uszkodzeń niezliczanych,

14.4.2.3. Poziom iskrobezpieczeństwa „ic”

Poziom iskrobezpieczeństwa „ic” posiadają te urządzenia elektryczne, które po zasileniu napięciami U_i i U_m , nie są zdolne do zapłonu atmosfery wybuchowej w warunkach pracy normalnej.

W przypadku oceny iskrobezpieczeństwa urządzenia na poziomie „ic” nie są zatem wymagane rozważania dotyczące analizy zdolności do zapłonu atmosfery wybuchowej z założeniem o nieuszkodzalności elementów i zespołów. Wówczas istotne są rozważania dotyczące energii rozpraszanej i magazynowanej przez te elementy i efektów termicznych z tym związanych.

14.4.2.4. Ocena warunków do powstania iskry

Obwody elektryczne powinny być oceniane oraz ewentualnie testowane na przypadek zastosowanych środków ograniczenia energii iskier, które w przypadku powstania w obwodzie, miałyby zdolność do zapłonu atmosfery wybuchowej. Ocena lub test warunków powstawania iskry dotyczy badania każdego punktu w obwodzie, w którym może nastąpić zwarcie lub rozwarcie elektryczne.

Testy służące do oceny energii iskry są przeprowadzane w warunkach normalnych pracy urządzenia, a także w warunkach z symulowanymi uszkodzeniami. Badania są przeprowadzane z użyciem odpowiednich aparatów zwanych iskiernikami. Iskiernik składa się z układu elektrod umieszczonych w komorze o objętości co najmniej 250 cm^3 . Iskiernik wytwarza iskry zwierając i przerywając badany obwód elektryczny zanurzony w odpowiedniej probierczej mieszance wybuchowej. Przerwy i zwarcia dotyczą również obwodów uziemień obwodu. Skład mieszanki wybuchowej jest zależny od deklarowanej

grupy wybuchowej badanych urządzeń elektrycznych oraz współczynnika bezpieczeństwa. Do testów ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,0 stosowane są mieszanki metanowo-powietrzne, propanowo-powietrzne, etylenowo-powietrzne i wodorowo-powietrzne. Do testów ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,5 stosowane są mieszanki tlenowo-wodorowo-powietrzne i tlenowo-wodorowe.

W przypadku oceny warunków do powstania iskry dla poziomów iskrobezpieczeństwa „ia” i „ib” testy z iskiernikiem powinny być prowadzone dla nominalnych warunków pracy urządzenia w jego stanie normalnym i w stanie z jednym lub dwoma uszkodzeniami zliczanymi zależnie od deklarowanego poziomu iskrobezpieczeństwa urządzenia. Testy powinny być prowadzone w warunkach obciążenia badanego obwodu maksymalnymi wartościami zewnętrznych pojemności C_o , indukcyjności L_o , lub stosunku L_o/R_o . Uszkodzenie wprowadzane przez iskiernik jest traktowane jako niezliczane dla wszystkich złączy elektrycznych i wszystkich połączeń wewnętrznych. Zastosowanie iskiernika nie jest nieograniczone. W szczególności, iskiernik nie powinien być dołączany równolegle do elementów separujących spełniających wymogi nieuszkodzalności i nie może być dołączany szeregowo z połączeniami nieuszkodzalnymi.

Typowo, iskiernik wyposażony jest w wirujący uchwyt umożliwiający zamocowanie do czterech elektrod z tungstenu. Elektrody mają postać odcinków drutu o długości 11mm i średnicy 0,2 mm. Uchwyt elektrod jest napędzany silnikiem elektrycznym i wiruje z prędkością 80 obr/min. Ten sam silnik, przez redukcyjną przekładnię mechaniczną, napędza rowkowaną tarczę wykonaną z kadmu. Stosunek prędkości obrotowej uchwytu z elektrodami do prędkości obrotowej tarczy kadmowej wynosi 50:12. W wyniku wzajemnego względnego ruchu elektrod po rowkowanej powierzchni tarczy kadmowej następują okresowe zwarcia i rozswarcia elektrod i dysku.

Obwód elektryczny uznaje się za spełniający wymagania dotyczące ograniczenia energii iskry jeśli w czasie testów z iskrownikiem nie wystąpi ani jeden przypadek zapłonu testowej mieszanki wybuchowej. Test jest realizowany:

- a) dla obwodów prądu stałego przez 5 minut (po 200 obrotów tarczy dla każdej polaryzacji elektrod),
- b) dla obwodów prądu przemiennego przez 12,5 minuty (1000 obrotów tarczy).

14.4.2.5. Ocena warunków do powstania zapłonu w wyniku efektów cieplnych

Na ocenę warunków powstawania zapłonu w wyniku efektów cieplnych ma wpływ wiele czynników. Wśród nich należy wymienić:

- temperaturę otoczenia,
- zewnętrzne źródła powodujące nagrzewanie lub chłodzenie,
- temperaturę pracy,
- maksymalną temperaturę powierzchni.

Jeśli urządzenie elektryczne jest zaprojektowane do użytkowania w zakresie temperatur otoczenia od -20°C do $+40^{\circ}\text{C}$ to nie jest wymagane żadne specjalne oznakowanie temperatur pracy. Jeśli urządzenie jest zaprojektowane do użytku w innym zakresie temperatur, to w oznaczeniu przyrządu powinien znaleźć się symbol „Ta” wraz z wyszczególnionym zakresem temperatur użytkowania.

14.5. Przykłady oceny iskrobezpieczności urządzeń

14.5.1. Ocena nieuszkodzalności ścieżek na płytkach obwodów drukowanych

Obwód drukowany pewnego urządzenia przeznaczonego do zastosowania w strefach zagrożonych wybuchem wykonany jest na laminacie szklano-epoksydowym FR4 o nominalnej grubości 1,6 mm grubości i pokrytym dwustronnie warstwą miedzi o nominalnej grubości 35 μ m. Nominalna szerokość najcieńszych ścieżek tego obwodu wynosi 0,254mm. Nominalny prąd zasilania obwodów elektrycznych płytki w wynosi 20mA, natomiast maksymalny prąd wejściowy I_i obwodów elektrycznych płytki w warunkach jej uszkodzenia wynosi 100mA. Urządzenie, w którym będzie zamontowana płytka obwodu drukowanego będzie pracowało w warunkach zewnętrznych, w których maksymalna temperatura otoczenia będzie wynosiła 80°C.

Procedura klasyfikacji temperaturowej zakłada uwzględnienie w procesie oceny nieuszkodzalności zasady najgorszego przypadku. W tym celu muszą być wyznaczone parametry graniczne konieczne do zdefiniowania takiego przypadku. W naszym przykładzie:

- minimalna grubość płytki wynosi 1,5mm,
- minimalna grubość warstwy miedzi wynosi 33 μ m,
- minimalna szerokość ścieżek drukowanych wynosi 0,20mm
- na płytce występują ścieżki przebiegające pod elementami rozpraszającymi moc o wartości $\geq 0,25W$,
- maksymalna temperatura otoczenia płytki będzie wynosiła 80°C.

Ponieważ ścieżki są wykonane z miedzi, to do klasyfikacji temperaturowej ścieżek na obwodach drukowanych ma zastosowanie tablica 4 normy EN 60079-11:2007.

Klasa temperaturowa	Maksymalny dopuszczalny prąd w [A]
T1 do T4	1,8
T5	1,4
T6	1,2

Tab. 14.8 Klasyfikacja temperaturowa ścieżek na płytkach drukowanych jednostronnie o grubości 0,2 mm w maksymalnej temperaturze otoczenia równej 40°C.

W celu dokonania oszacowania iskrobezpieczności ścieżek zastosowano następujące współczynniki korekcyjne:

- a) współczynnik 1,2 (uwaga nr 3 w tablicy 4 normy EN 60079-11:2007) wynikająca z faktu, że grubość płytki drukowanej mieści się w granicach [0,5 .. 1,6]mm),
- b) współczynnik 1,5 (uwaga nr 4 w tablicy 4 normy EN 60079-11:2007) wynikająca z faktu, że płytka drukowana jest płytką laminowaną dwustronnie),
- c) współczynnik 1,5 (uwaga nr 8 w tablicy 4 normy EN 60079-11:2007) wynikająca z faktu, że na płytce drukowanej występują ścieżki pod elementami rozpraszającymi energię o wartości $\geq 0,25W$),
- d) współczynnik 2,0 (uwaga nr 9 w tablicy 4 normy EN 60079-11:2007) wynikająca z faktu, że na płytce drukowanej występują elementy, które mogą rozproszyć energię $\geq 0,25W$ w warunkach pracy normalnej lub z uszkodzeniami.
- e) współczynnik 1,3 (uwaga nr 11 w tablicy 4 normy EN 60079-11:2007) wynikająca z faktu, że temperatura otoczenia może osiągnąć temperaturę 80°C.

f) współczynnik bezpieczeństwa 1,5.

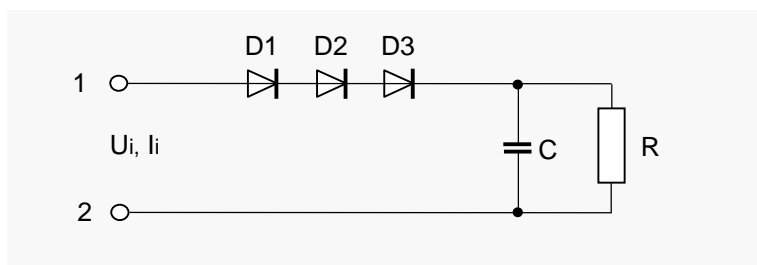
Iloczyn współczynników korekcyjnych a)..f) wynosi: $1,2 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 2,0 \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 10,53$

Maksymalny prąd zasilania obwodów wynosi $I_i = 100\text{mA}$. Maksymalny obliczeniowy prąd dla klasyfikacji temperaturowej ścieżek obwodów drukowanych wynosi $100\text{mA} \cdot 10,53 = 1,053\text{A}$ i nie przekracza maksymalnej wartości prądu w tabeli 14.8 dla żadnej klasy temperaturowej.

Wniosek: wszystkie ścieżki obwodu drukowanego mają klasyfikację temperaturową T6.

14.5.2. Ocena nieuszkodzalności zespołu diod w obwodzie iskrobezpiecznym klasyfikowanym do grupy IIC na poziomie „ia”

W obwodzie wejściowym obwodu elektronicznego zastosowano zespół trzech połączonych szeregowo diod zabezpieczających zewnętrzne źródło zasilania przed prądem rozładowania pojemności wewnętrznej zasilanego obwodu w przypadku gdyby polaryzacja zacisku nr 1 była dodatnia w stosunku do polaryzacji zacisku nr 2 (rys. 4.1). Tego typu prosty zespół zabezpieczeń jest dość często stosowany w konstrukcjach obwodów iskrobezpiecznych w celu ograniczenia wartości pojemności wejściowej C_i obwodu widzianej od strony zacisków 1 i 2. Warunkiem uznania iskrobezpieczności takiego zespołu jest wykazanie jego nieuszkodzalności w warunkach granicznych jego pracy, włączając w to pracę w warunkach z uszkodzeniami. W przypadku poziomu iskrobezpieczności „ia” należy wykazać nieuszkodzalność takiego zespołu w przypadku wystąpienia dwóch uszkodzeń zliczalnych, których skutki są najgorsze z punktu widzenia oceny iskrobezpieczności. W związku z tym jeśli założymy, że jednoczesnym uszkodzeniom (np. zwarciom) uległy dwie dowolne diody np. D2 i D3, to dioda D1 powinna spełnić funkcje ochronne.



Rys.4.1. Uproszczony schemat elektryczny do oceny obwodu elektrycznego.

W obwodzie zastosowano diody typu S1M. Podstawowe parametry diod przedstawiono w tabeli 14.9.

Dioda typ S1M					
Podstawowe parametry elektryczne					
Lp.	Parametr	Symbol	Wartość	Jednostka fizyczna	Uwagi
1	Maksymalne napięcie wsteczne	U_{RRM}	1000	V	
2	Maksymalny prąd w kierunku przewodzenia	I_F	1,0	A	100°C
3	Maksymalna temperatura złącza	T_{JMAX}	150	°C	
4	Rezystancja termiczna złącze - otoczenie	$R_{\theta JA}$	85	K/W	
5	Dopuszczalna moc diody	P_{MAX}	1 1 0	W W W	$T_a=100^\circ\text{C}$ $T_a=100^\circ\text{C}$ $T_a=150^\circ\text{C}$

Tab. 14.9 Podstawowe parametry diod typu S1M.

Lp.	Parametr	Symbol	Wartość	Sposób wyznaczenia
1	Maksymalna moc wydzielana na diodzie	P_D	82 mW	$P_D=0,1A \cdot 0,82V=82mW$
2	Maksymalna moc wydzielana na diodzie ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,5	$P_{D1,5}$	123 mW	$P_{D1,5}=82mW \cdot 1,5=123mW$
3	Maksymalny przyrost temperatury złącza	ΔT	10,5 K	$\Delta T = R_{\theta JA} \cdot P_{D1,5} = 85K/W \cdot 0,123W = 10,5K$
4	Maksymalna temperatura złącza w temperaturze $T_a=80^\circ\text{C}$	T_J	90,5°C	$T_{JMAX}=80^\circ\text{C}+10,5^\circ\text{C}=90,5^\circ\text{C}$
5	Maksymalna dopuszczalna moc diody ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,5	$P_{DMAX1,5}$	0,667 W	$T_a=80^\circ\text{C}$
6	Maksymalne napięcie robocze diody ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,5	$U_{D1,5}$	45V	$T_a=80^\circ\text{C}$
	Wniosek: Dioda S1M jest nieuszkodzalna dla $T_a=80^\circ\text{C}$.			$P_{D1,5} < P_{MAX}$ $I_{D1,5} < I_F$ $U_{D1,5} < U_{RRM}$ $T_J < T_{JMAX}$

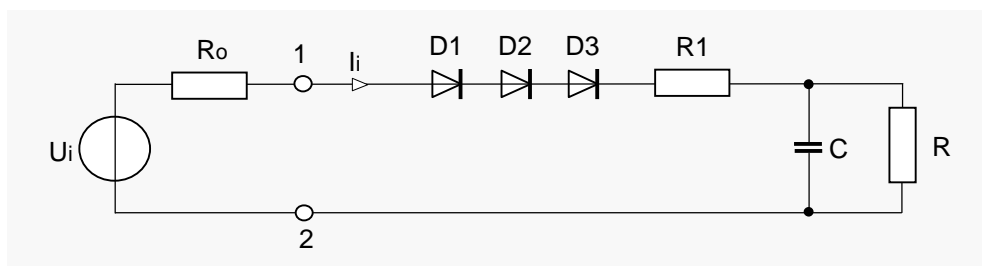
Tab. 14.10 Ilustracja kolejnych kroków procedury oceny iskrobezpieczeństwa diody S1M zastosowanej w zespole ochronnym jak na rys. 4.1.

Ocenę nieuszkodzalności diody S1M w obwodzie jak na rysunku 4.1 przedstawiono w tabeli 14.10. W ocenie tej założono, że:

- maksymalna wartość prądu diody będzie równa $I_i = 100\text{mA}$,
- maksymalna napięcia wejściowego będzie równa $C_i = 30\text{V DC}$,
- współczynnik bezpieczeństwa ma wartość 1,5.
- maksymalna temperatura otoczenia będzie wynosiła 80°C .

14.5.3. Ocena nieuszkodzalności rezystora w obwodzie iskrobezpiecznym klasyfikowanym do grupy IIC na poziomie „ia”

W obwodzie wejściowym obwodu elektronicznego zastosowano zespół trzech połączonych szeregowo diod zabezpieczających zewnętrzne źródło zasilania obwodu przed prądem rozładowania pojemności wewnętrznej obwodu (jak na rys 14.1) i dodatkowo rezystor szeregowy R1 ograniczający prąd w obwodzie. Należy dokonać oceny nieuszkodzalności tego rezystora.



Rys.4.3. Uproszczony schemat elektryczny do oceny nieuszkodzalności rezystora R1.

Ocenę nieuszkodzalności rezystora R1 w obwodzie jak na rysunku 4.2 przedstawiono w tabeli 14.11. W ocenie tej założono, że:

- maksymalna wartość prądu wejściowego będzie równa $I_i = 100\text{mA}$,
- maksymalna napięcia wejściowego będzie równa $C_i = 30\text{V DC}$,
- minimalna wartość rezystancji wyjściowej źródła zasilania będzie wynosiła $R_o = 300\Omega$,
- nominalna wartość rezystancji rezystora R1 będzie wynosiła 20Ω ,
- minimalny odstęp pomiędzy polami lutowniczymi rezystora R1 nie będzie mniejszy niż $d = 2\text{ mm}$.
- minimalny spadek napięcia na nieuszkodzalnym szeregowym prądowym ograniczniku diodowym (D1, D2, D3) wynosi $0,82\text{V}$,
- nominalna moc rezystora będzie wynosiła 1W w temperaturze 25°C ,
- współczynnik bezpieczeństwa ma wartość $1,5$,
- maksymalna temperatura otoczenia będzie wynosiła 80°C .

W analizie założymy, że uszkodzeniom uległa dowolna para diod w nieuszkodzalnym zespole trzech diod (D1, D2, D3). Zespół spełnia rolę ogranicznika szeregowego prądu, ponieważ zmniejsza napięcie na rezystancji obciążenia. Wówczas należy wykazać nieuszkodzalność rezystora R1. Analizę nieuszkodzalności rezystora R1 przedstawiono w tabeli 14.11.

Rezystor		R1	
Typ	RC-6432-J -100		
Producent	Samsung		
Oznaczenie handlowe	2512-1W-10R-5%		
Wartość nominalna rezystancji	20 Ω		
Wartość nominalna tolerancji	5 %		
Napięcie graniczne	200V		
Moc nominalna (70°C)	1,0W		
Wymiary	6,4 x 3,2mm		
Temperaturowy współczynnik rezystancji	±200*10 ⁻⁶ /°C		
Współczynnik spadku mocy (powyżej 70°C)	-1/(125-70)K≈1,82%/K		
Maksymalna temperatura pracy	125°C		
Nieuszkodzalność rezystora			
Technologia wykonania rezystora	grubowarstwowa		
Minimalna odległość pomiędzy polami lutowniczymi rezystora	D=4,5mm		
Wartość maksymalna rezystancji	R _{max} = 21 Ω		
Wartość minimalna rezystancji	R _{min} = 19 Ω		
Maksymalny prąd rezystora	$I_R = \frac{30V - 0,82V}{300\Omega + 19\Omega} \approx 91,5mA$		
Maksymalna moc wydzielana na rezystorze	$P_{max} = (I_R)^2 * R_{min}$ $P_{max} = (0,0915A)^2 * 19 \Omega \approx 0,160W$		
Wartość mocy maksymalnej rozpraszanej przez rezystor w temperaturze otoczenia 80°C	P _{max (80C)} =1W*[1-0,0182*(80-70)]= 0,818W		
Wartość mocy maksymalnej rozpraszanej przez rezystor w temperaturze otoczenia 80°C ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,5	P _{max (80C)1,5} =0,818/1,5≈ 0,545W		
Warunki nieuszkodzalności rezystora R1 w temperaturze otoczenia T _a = 80°C	$P_{max} < P_{max (80C)1,5}$ $d < D$ $0,160W < 0,545W$		
Wniosek	Warunek nieuszkodzalności rezystora R1 w temperaturze otoczenia T _a = 80°C spełniony		

Tab. 14.11 Ilustracja kolejnych kroków procedury oceny nieuszkodzalności rezystora R1 zastosowanego w obwodzie jak na rys. 4.2.

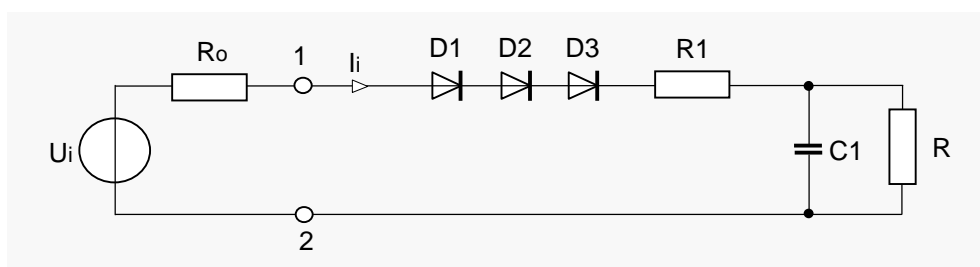
Komentarz: Zgodnie z analizą przedstawioną w tabelicy 14.11., rezystor R1 jest nieuszkodzalny w założonych warunkach pracy. Nie jest zatem konieczne uwzględnienie tego uszkodzenia w ocenie iskrobezpieczności obwodu przedstawionego na rys 4.2. Rezystor R1 jest elementem nieuszkodzalnym, tzn. takim, którego prawdopodobieństwo uszkodzenia w układzie jest pomijalnie małe.

W rzeczywistości nie można jednak wykluczyć uszkodzenia rezystora R1. W rzeczywistych układach może on ulec uszkodzeniu np. w przypadku wystąpienia zaburzeń elektromagnetycznych w postaci wysokoenergetycznych zaburzeń indukowanych lub przewodzonych. Wówczas należy założyć, że wartość rezystancji rezystora R1 może przyjąć wartość dowolną. Ze względu na temperaturę powierzchni małego elementu jakim jest rezystor, istotne jest wyznaczenie takiej jego rezystancji R1, dla której moc wydzielana na

nim w stanie uszkodzenia będzie największa. Przypadek ten ma miejsce gdy występuje dopasowanie energetyczne: obwodów wejściowego i wyjściowego tzn. gdy $R_o=R_i$. Jeśli dla uproszczenia przyjmujemy, że zastępcza rezystancja statyczna nieuszkodzalnego zespołu diod jest pomijalna, a rezystor R uległ zwarceniu to na rezystorze R1 może wydzielić się moc równa czwartej części mocy źródła tzn. 0,75W.

14.5.4. Ocena iskrobezpieczeństwa w obwodzie iskrobezpiecznym z pojemnością

W obwodzie wejściowym obwodu elektronicznego zastosowano zespół trzech szeregowo połączonych diod zabezpieczających zewnętrzne źródło zasilania obwodu przed prądem rozładowania pojemności wewnętrznej obwodu C1 (jak na rys 14.1). Dodatkowo włączono nieuszkodzalny rezystor szeregowy R1 ograniczający prąd w obwodzie. Należy dokonać oceny iskrobezpieczeństwa tego obwodu pod kątem analizy dopuszczalnej pojemności.



Rys.4.3. Uproszczony schemat elektryczny do oceny iskrobezpieczeństwa obwodu.

Ocenę iskrobezpieczeństwa obwodu w grupie IIC z pojemnością wewnętrzną jak na rysunku 4.3 przedstawiono w tabeli 14.12. W ocenie tej założono, że:

- maksymalna wartość napięcia wejściowego będzie równa $C_i=30V$ DC,
- napięcie znamionowe kondensatora będzie równe $U_n=100V$ DC,
- nominalna wartość pojemności wewnętrznej będzie wynosiła $C1=30nF$,
- tolerancja wartości pojemności $\pm 20\%$,
- współczynnik bezpieczeństwa ma wartość 1,5,
- maksymalna temperatura otoczenia będzie wynosiła $80^{\circ}C$.

Lp.	Oznaczenie schematowe	Pojemność nominalna [nF]	Pojemność maksymalna [nF]	Napięcie znamionowe [V]	Uwagi
1	C1	30,0	36	100	
Maksymalna dopuszczalna wartość pojemności dla napięcia zasilania 30V ze współczynnikiem bezpieczeństwa równym 1,5					
			66,0		Tablica A2, grupa IIC normy PN-EN 60079-11:2007
Warunek iskrobezpieczeństwa ze względu na pojemność wewnętrzną			spełniony		36nF<66nF
Maksymalna dopuszczalna wartość napięcia zasilania kondensatora bezpieczeństwa równym 1,5					
			66,7V		Tablica A2, grupa IIC normy PN-EN 60079-11:2007
Warunek iskrobezpieczeństwa ze względu na nieprzekroczenie napięcia zasilania kondensatora			spełniony		30V<66,7V

Tab. 14.12 Ilustracja procedury oceny iskrobezpieczności obwodu z pojemnością klasyfikowanego do grupy IIC

Uwaga: Ze względu na zastosowanie nieuszkodzalnego zespołu diod (D1, D2, D3) pojemność wejściowa obwodu widziana od strony zacisków 1 i 2 jest pomijalnie mała.

14.6. Literatura

- [1] PN-EN 60079-0:2004. *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów- Część 0: Wymagania ogólne*, Polski Komitet Normalizacyjny, str. 72, Warszawa, 2006.
- [2] PN-EN 60079-11:2007. *Atmosfery wybuchowe - Część 11: Urządzenia przeciwwybuchowe iskrobezpieczne „i”*. Polski Komitet Normalizacyjny, ICS 29.260.20, str. 233, Warszawa, 2007.
- [3] A. Cyganik: *Strefy Ex*, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Maszyny Technologie Materiały, No 2, ISSN 0137-3730, str. 11-16, Warszawa, 2006.
- [4] PN-EN 60079-10:2003. *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem - Część 10: Klasyfikacja obszarów niebezpiecznych*. Polski Komitet Normalizacyjny, ICS 29.260.20, str. 62, Warszawa, 2003.

