



## ZASILANIE REZERWOWE Z ZESPOŁÓW SPALINOWO-ELEKTRYCZNYCH

dr inż. Edward MUSIAŁ

Politechnika Gdańska, e-mail: edmus@wp.pl

### Emergency and stand-by supply from generating sets driven by combustion engine

**Abstract:** The article deals with power supply which can be used upon failure or outage of the normal source lasting from several hours to several days. In this case, the generators powered by combustion engine are usually the best solution. The engine starting characteristics and generator sizing are the important topics presented in the paper. Recommended practice for installation of generating sets and transfer switching are also described.

**Keywords:** stand-by supply, combustion engine generating sets, customer damage function, combustion motor characteristics, generator sizing, installation recommendations, transfer switching

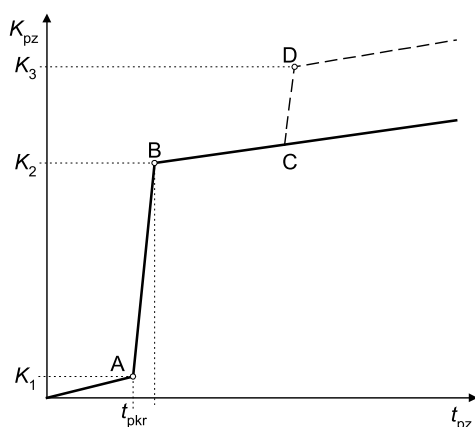
Jeżeli do zasilania rezerwowego są potrzebne źródła umożliwiające autonomiczną pracę przez czas od kilku godzin do kilku dni, na wypadek długotrwałej przerwy w zasilaniu z sieci zewnętrznej, to wybór pada na zespoły prądotwórcze spalinowo-elektryczne. Szeroki zakres mocy i innych parametrów zespołów, produkowanych specjalnie do zasilania rezerwowego, ułatwia ich dobór do różnorodnych zastosowań, przy różnym trybie rozruchu i pracy ustalonej zespołu. Aby korzyści z wprowadzania zespołów były zgodne z oczekiwaniami, poprawnie muszą być dobrane, zainstalowane i użytkowane nie tylko same zespoły i ich automatyka, lecz również urządzenia wiążące je z instalacją obiektu. Ważna jest koordynacja parametrów i charakterystyk dynamicznych zespołu z wyposażeniem aparatury zasilanej instalacji i właściwościami urządzeń odbiorczych.

Artykuł nie zajmuje się autonomiczną pracą zespołów, kiedy – z braku powiązania z systemem elektroenergetycznym – zespół prądotwórczy lub grupa zespołów jest jedynym źródłem zasilania. Są to zwykłe sytuacje w interiorze afrykańskim i południowo-amerykańskim: farmy, misje, obiekty łączności i stacje badawcze, ale również całe miasteczka. Pracę autonomiczną zespołów spotyka się na całym świecie na terenach budowy i remontu, zwłaszcza obiektów liniowych, jak rurociągi, drogi i tunele, a także – do awaryjnego zasilania terenów dotkniętych klęską żywiołową.

**Słowa kluczowe:** zasilanie rezerwowe, zespoły prądotwórcze spalinowo-elektryczne, koszty przerwy w zasilaniu, parametry silnika spalinowego i dobór prędnicy, warunki instalowania zespołów, przełączanie zasilania

### 1. SKUTKI PRZERWY W ZASILANIU ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ

Coraz rzadsze są przypadki, kiedy przerwa w zasilaniu nie powoduje żadnych uciążliwości dla odbiorcy, bo następuje w porze i/lub w miejscu, kiedy nie korzysta on z energii elektrycznej (domek letniskowy zimą). Skutki przerwy mogą być różne, od banalnych (kwadrans ciemności w mieszkaniu) po bardzo poważne (brak zasilania obiektu gromadzącego publiczność, szpitalnej sali operacyjnej, wieży kontrolnej lotniska, centrali telekomunikacyjnej). W przypadku obiektów typu przemysłowego przegląd skutków przerwy w zasilaniu daje się ująć szczególnie obrazowo, przekonująco i dają się one wyrazić w wartościach pieniężnych (rys. 1).



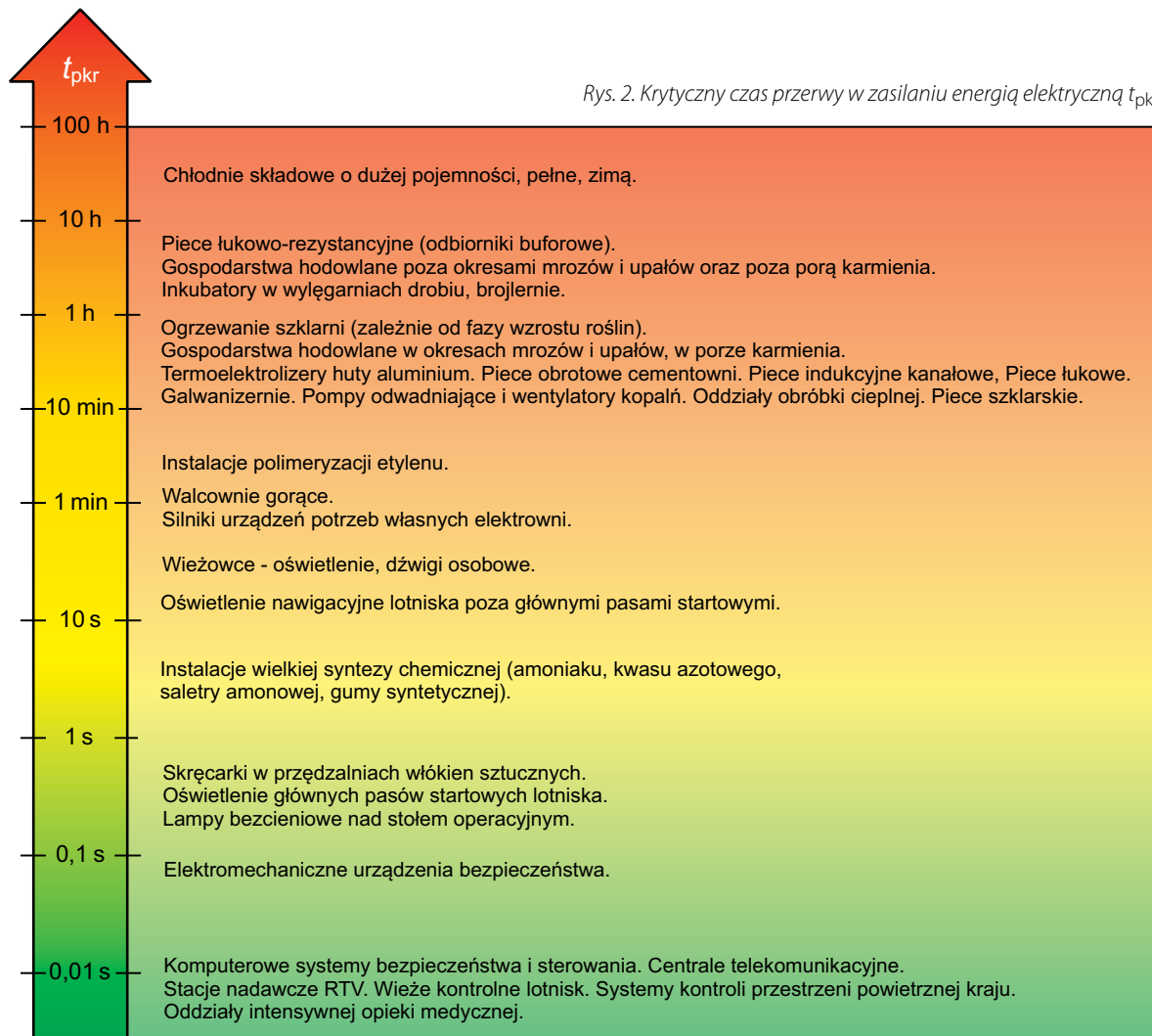
Rys. 1. Koszty strat  $K_{pz}$  spowodowanych pojedynczą przerwą (o czasie trwania  $t_{pz}$ ) w zasilaniu obiektu energią elektryczną

Przerwa w zasilaniu wrażliwego odbiorcy przemysłowego, poza kosztownym przestojem, może oznaczać:

- ryzyko uszkodzenia lub zniszczenia przerabianych materiałów, półproduktów, również przetwarzanych danych oraz obniżonej ich jakości po wznowieniu procesu (synteza chemiczna, włókiennictwo, obróbka cieplna, przemysł spożywczy, systemy komputerowe),
- ryzyko uszkodzenia lub zniszczenia urządzeń technologicznych (hutnictwo stali i aluminium, przemysł szklarski, cementowy, włókien sztucznych, nowoczesne obrabiarki),
- ryzyko wypadków z ludźmi i ryzyko skażenia środowiska,
- koszty ponownego uruchamiania procesu technologicznego, co np. w zakładzie nawozów azotowych może trwać 6÷8 h po przerwie rzędu minut, a dwie doby po przerwie dłuższej niż godzina i oznacza koszty równe wartości tygodniowej produkcji.

Wspomniane skutki dają się wyrazić w postaci **oczekiwanych kosztów strat** w zależności od czasu trwania przerwy w zasilaniu pojedynczego urządzenia, linii technologicznej lub odbiorcy (ang. CDF – *customer damage function*) albo grupy odbiorców, miasta, regionu (ang. CCDF – *composite customer damage function*). W przypadku odbiorców wrażliwych zależność ta zwykle ma postać przedstawioną na rys. 1 i jest określona przez współrzędne punktów A i B, a w bardziej złożonych sytuacjach dodatkowo przez współrzędne punktów C oraz D i ew. następnymi, wyznaczających kolejne stopnie gwałtownego narastania kosztów po przekroczeniu określonych wartości czasu trwania przerwy  $t_{pz}$ . Duże znaczenie ma wartość lub kolejne wartości krytycznego czasu trwania przerwy w zasilaniu  $t_{pkr}$ , po przekroczeniu którego koszty gwałtownie rosną. Następuje to po czasie  $t_{pkr}$  w granicach od kilku milisekund do kilkudziesięciu godzin (rys. 2), zależnie od wrażliwości urządzenia bądź odbiorcy jako całości. Źródła zasilania rezerwowego powinny przywrócić zasilanie wybranych urządzeń przed upływem krytycznego czasu trwania przerwy  $t_{pkr}$ .

Dla **procesów technologicznych ciągłych** (stan procesu w każdym wybranym miejscu obserwacji jest stale taki sam) można ograniczyć się do liniowej charakterystyki CDF, jak na rys.1, chociaż w dokładniejszych analizach podaje się charakterystyki pasmowe uwzględniające chociażby rozrzut wartości istotnych parametrów.



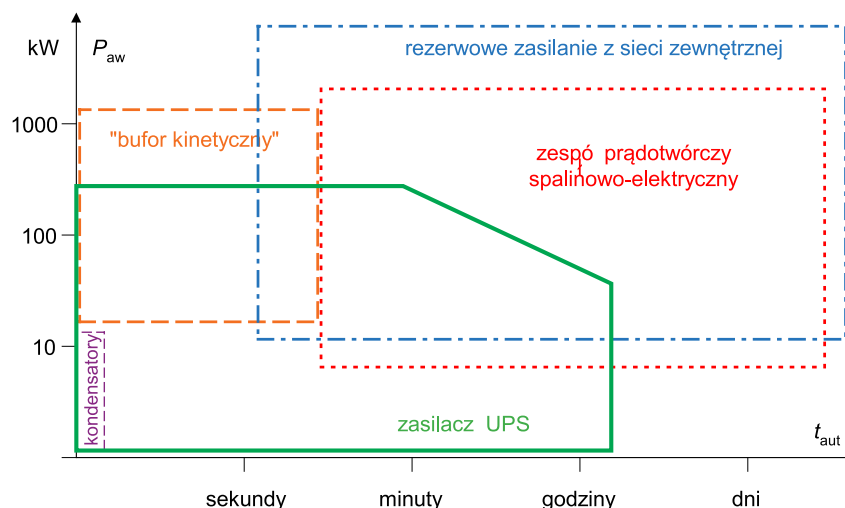
Inaczej jest w przypadku **procesów technologicznych fazowych** (stan procesu w obserwowanych miejscach zmienia się w czasie), przebieg charakterystyki CDF zależy od fazy procesu i podać trzeba albo rodzinę charakterystyk, albo odpowiednio opisaną szeroką charakterystykę pasmową. Na przykład inne są koszty przerwy w zasilaniu pieca (wytop, hartowanie, wypalanie itd.) w na w poł zaawansowanej fazy procesu, a inne – pod koniec rozładunku pieca.

## 2. DOBÓR ŹRÓDEŁ ZASILANIA REZERWOWEGO

Jeżeli przerwa w zasilaniu określonego obiektu lub jego części zagraża życiu lub zdrowiu ludzi, grozi poważnym zanieczyszczeniem środowiska, zniszczeniem lub utratą mienia albo utratą ważnych zasobów informacji, to wyposaża się ten obiekt lub jego część w źródła zasilania rezerwowego [2, 4, 7]. Stosownie do okoliczności poprzestaje się na jednym rezerwowym źródle zasilania bądź instaluje się ich więcej. O doborze rodzaju źródeł i ich parametrów (rys. 3) decydują przede wszystkim następujące czynniki:

- Zapotrzebowanie na moc  $P_{aw}$  w stanach zakłóciowych, które powinno być pokryte po uszkodzeniu źródła zasilania podstawowego. Zwykle jest ono znacznie mniejsze niż moc pobierana podczas normalnej pracy, przy zasilaniu podstawowym, i powinno być zestawione skrupulatnie, aby niepotrzebnie nie powiększać kosztów rezerwowania zasilania.
- Wymagany czas zasilania ze źródła rezerwowego. Niekiedy wystarcza kilka lub kilkanaście minut do bezpiecznego zatrzymania procesu technologicznego, ale potrzeba co najmniej 30 min do ewakuacji publiczności z obiektu handlowego lub widowiskowego. Trzeba zapewnić możliwość co najmniej kilkugodzinnego zasilania rezerwowego do bezpiecznego dokończenia operacji chirurgicznej albo dializy. Może być potrzebne zasilanie rezerwowe przez wiele dni do kontynuowania pracy szpitala bądź ważnego ośrodka zarządzania administracji publicznej albo obronności kraju.
- Największy dopuszczalny czas przerwy beznapięciowej. Powinien być on z pewnym zapasem mniejszy niż krytyczny czas przerwy w zasilaniu  $t_{pkr}$  po przekroczeniu którego występuje zagrożenie bezpieczeństwa ludzi lub gwałtownie rosną koszty zawadności (rys. 2).
- Rodzaj prądu i wartość napięcia. Jeśli moc zapotrzebowana  $P_{aw}$  i wymagany czas zasilania rezerwowego nie są duże, a obwody nim objęte mogą być zasilane prądem stałym (oświetlenie awaryjne, sterowanie, sygnalizacja), to najlepiej wybrać baterię akumulatorów, bez pośrednictwa jakichkolwiek przekształtników. To rozwiązanie bywa najtańsze i najbardziej niezawodne.

Jeżeli zasilaniem rezerwowym ma być objęta tylko część obiektu, to źródła zasilania rezerwowego należy sytuować i przyłączać jak najbliżej zasilanych odbiorów, bo sprzyja to niezawodności zasilania. W skrajnym przypadku źródła zasilania rezerwowego umieszcza się tuż przy odbiornikach, nawet tak, że stanowią konstrukcję zespoloną z nimi, np. akumulator we wnętrzu oprawy oświetleniowej.



Rys. 3. Przydatność różnych źródeł zasilania rezerwowego w zależności od zapotrzebowania na moc w stanach awaryjnych  $P_{aw}$  i czasu pracy autonomicznej  $t_{aut}$  od chwili przejścia obciążenia

Jak wynika z rys. 3, zespoły spalinowo-elektryczne mogą zaspokoić spory zakres wymagań stawianych źródłom zasilania rezerwowego. Są bezkonkurencyjne, jeśli chodzi o możliwy czas pracy autonomicznej  $t_{aut}$  od chwili przejścia obciążenia. Zależy on od pojemności zbiorników paliwa, które zresztą można bieżąco dopełniać. Wadą ich jest stosunkowo długi czas gotowości przejścia obciążenia ze stanu postoju. Czas ten można w różny sposób skracać, ale i tak jest on zbyt długi

dla odbiorów o krytycznym czasie przerwy w zasilaniu mniejszym niż pojedyncze sekundy. Wyjściem jest wtedy tandem – zespół spalinowo-elektryczny oraz zasilacz bezprzerwowy UPS (statyczny bądź dynamiczny) przejmujący zasilanie natychmiast, ale tylko do chwili przejścia obciążenia przez zespół spalinowo-elektryczny, co pozwala skromniej zwymiarować sam UPS.

Przykładem współdziałania różnych źródeł zasilania rezerwowego może być układ zasilania ośrodka nadawczego RAI w Grottarossa pod Rzymem (rys. 4). Obiekt ma dwie niezależne linie zasilające 20 kV, z których każda może pokryć pełne obciążenie, i podwójny system szyn zbiorczych w głównych rozdzielniach niskiego napięcia, co jest rzadkością. O przyjętym systemie rezerwowania zasilania, według kryterium (n-1), najlepiej świadczy następujące zestawienie:

Moc zainstalowana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• w transformatorach 20/0,4 kV</li> <li>• w zespołach spalinowo-elektrycznych</li> <li>• w zasilaczach UPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 x 2,0 MVA = 8,0 MVA</li> <li>4 x 1,6 MVA = 6,4 MVA</li> <li>6 x 0,25 MVA = 1,5 MVA</li> </ul>
Moc szczytowa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• przy pracy normalnej (zasilanie z sieci SN)</li> <li>• przy zasilaniu awaryjnym (z generatorów)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6,5 MVA (wystarczają 3 transformatory)</li> <li>4,5 MVA (wystarczają 3 zespoły)</li> </ul>

W razie przerwy w zasilaniu z sieci zewnętrznej, na czas zasilania rezerwowego odłącza się samoczynnie 30% mocy odbiorowej (2 MVA), czyli wszelkie odbiory nie wymagające ciągłego zasilania. Spośród pozostałych zasilacze UPS bezprzerwowo pokrywają ok. 25% mocy odbiorowej, a zasilanie innych odbiorów jest przerwane do chwili przejścia obciążenia przez zespoły spalinowo-elektryczne.

Zarówno przy pracy normalnej, jak i podczas dłuższej trwającego zasilania awaryjnego, jest spełnione kryterium (n-1): uszkodzenie jednego, dowolnego elementu (linii 20 kV, transformatora 20/0,4 kV, zespołu spalinowo-elektrycznego) nie ogranicza zasilania odbiorów, które w określonym trybie pracy powinny być zasilane.

### 3. SILNIKI NAPĘDOWE ZESPOŁÓW SPALINOWO-ELEKTRYCZNYCH

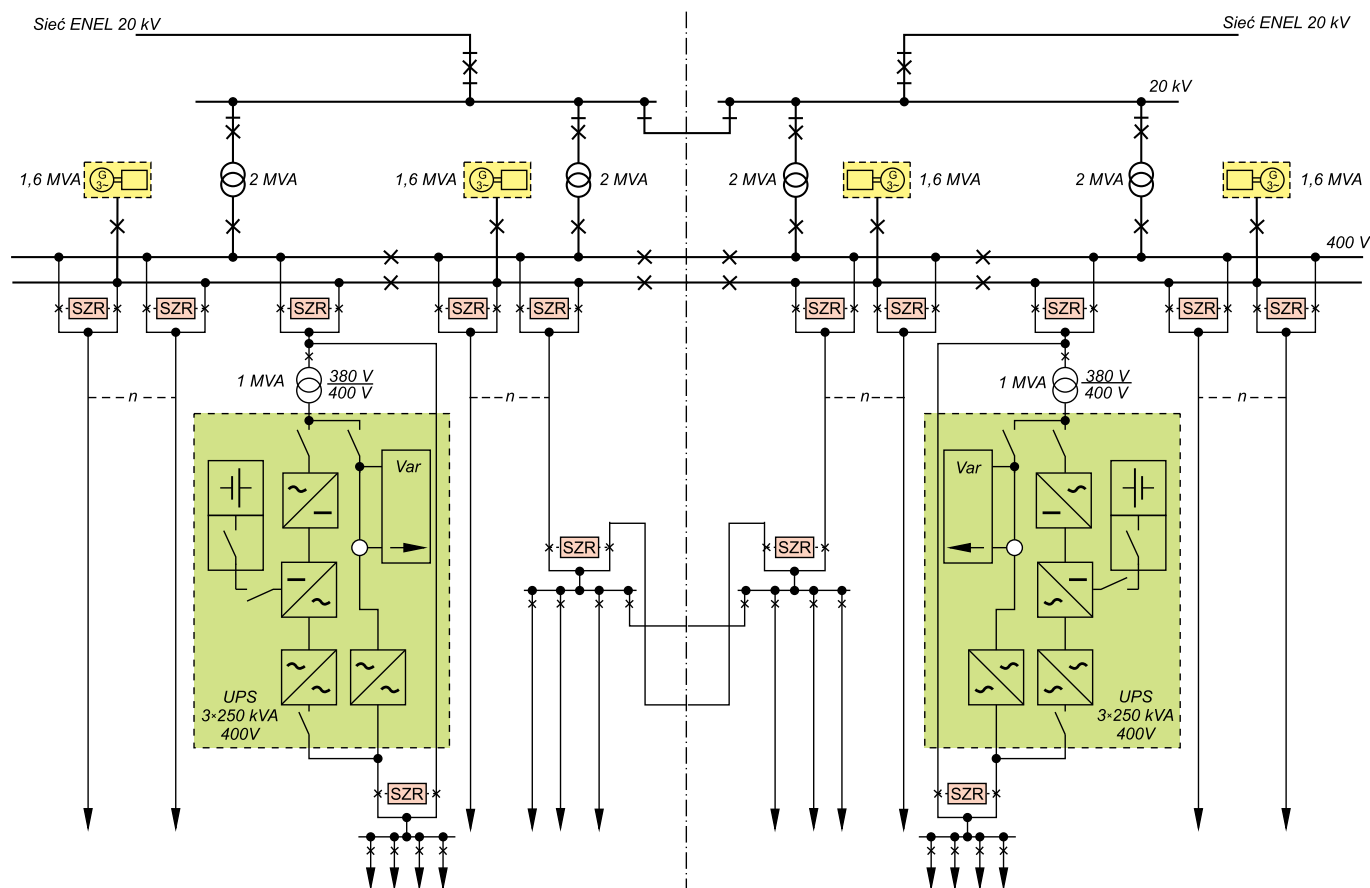
Do napędu zespołów prądotwórczych służą silniki spalinowe o różnej zasadzie działania:

- Silniki tłokowe o zapłonie iskrowym 2÷6-cylindrowe w zespołach małej mocy (0,8÷12 kW, rzadziej do 40 kW), wykorzystujące jako paliwo benzynę silnikową.
- Silniki tłokowe o zapłonie samoczynnym (silniki Diesla) w zespołach średniej i dużej mocy (25÷10000 kW), przy czym ze wzrostem mocy zwiększa się liczba cylindrów (6→18) i maleje prędkość obrotowa (1500→600 obr/min), co – w napędzie bezprzekładniowym – wymaga prądnic o coraz większej liczbie biegunów. Paliwem jest olej napędowy, w nowszych silnikach wtryskiwany pod ogromnym ciśnieniem. Tylko silniki małej mocy są wolnossące, inne pracują z doładowaniem, co przy tej samej pojemności skokowej pozwala uzyskać moc większą w stosunku zwanym stopniem doładowania, np. 50%, ale bezpośrednio po uruchomieniu nienagrzanego silnika dopuszczalne obciążenie jest wtedy znacznie mniejsze od znamionowego.
- Turbiny gazowe w zespołach dużej i bardzo dużej mocy (2÷200 MW).

Zespoły spalinowo-elektryczne do zasilania rezerwowego, zwłaszcza do zasilania urządzeń bezpieczeństwa (urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa ludzi, mienia i środowiska), są przystosowane do specyficznych warunków pracy, polegających na długotrwałym postoiu i zarazem wymaganiu nieustannej wysokiej zdatności ruchowej. Silniki spalinowe nadal pozostają najbardziej kłopotliwą częścią zespołu prądotwórczego, bo w porównaniu z innymi jego składnikami mają stosunkowo małą trwałość (10000÷30000 h, ≤ 20 a) i niezawodność, mają wyższe wymagania odnośnie do zabiegów konserwacyjnych, w tym ruchu próbnego, a przy tym są źródłem hałasu, drgań i spalin.

Nabudowany zbiornik paliwa stanowiący wyposażenie zespołu – zależnie od wykonania – wystarcza na 2÷10 h pracy autonomicznej z pełnym obciążeniem. Można ją wielokrotnie przedłużyć dzięki zainstalowaniu dodatkowego zbiornika zewnętrznego. W zależności od mocy znamionowej zespołu i stopnia obciążenia zużycie oleju napędowego wynosi 0,23÷0,30 l/kWh, co daje wyobrażenie o potrzebnej pojemności zbiorników. W pełni obciążony zespół 160 kW zużywa ok. 40 l/h.

Silnik spalinowy ma moment rozruchowy równy zero. Zespoły bardzo małej mocy bywają uruchamiane ręcznie, jeżeli rozruch samoczynny nie jest wymagany. Zespoły większej mocy mają rozrusznik elektryczny, podobnie jak silnik samochodowy. Jest nim zwykle silnik szeregowy prądu stałego zasilany z rozruchowej baterii akumulatorów, której zdatność ruchowa powinna być systematycznie kontrolowana. W przypadku silników największej mocy, o średnicy tłoka przekraczającej 180 mm, stosuje się rozruch sprężonym powietrzem, z butli doładowywanych sprężarką, bo zapas powietrza w butlach o ciśnieniu (3÷10) MPa wystarcza za ledwie na kilka rozruchów.

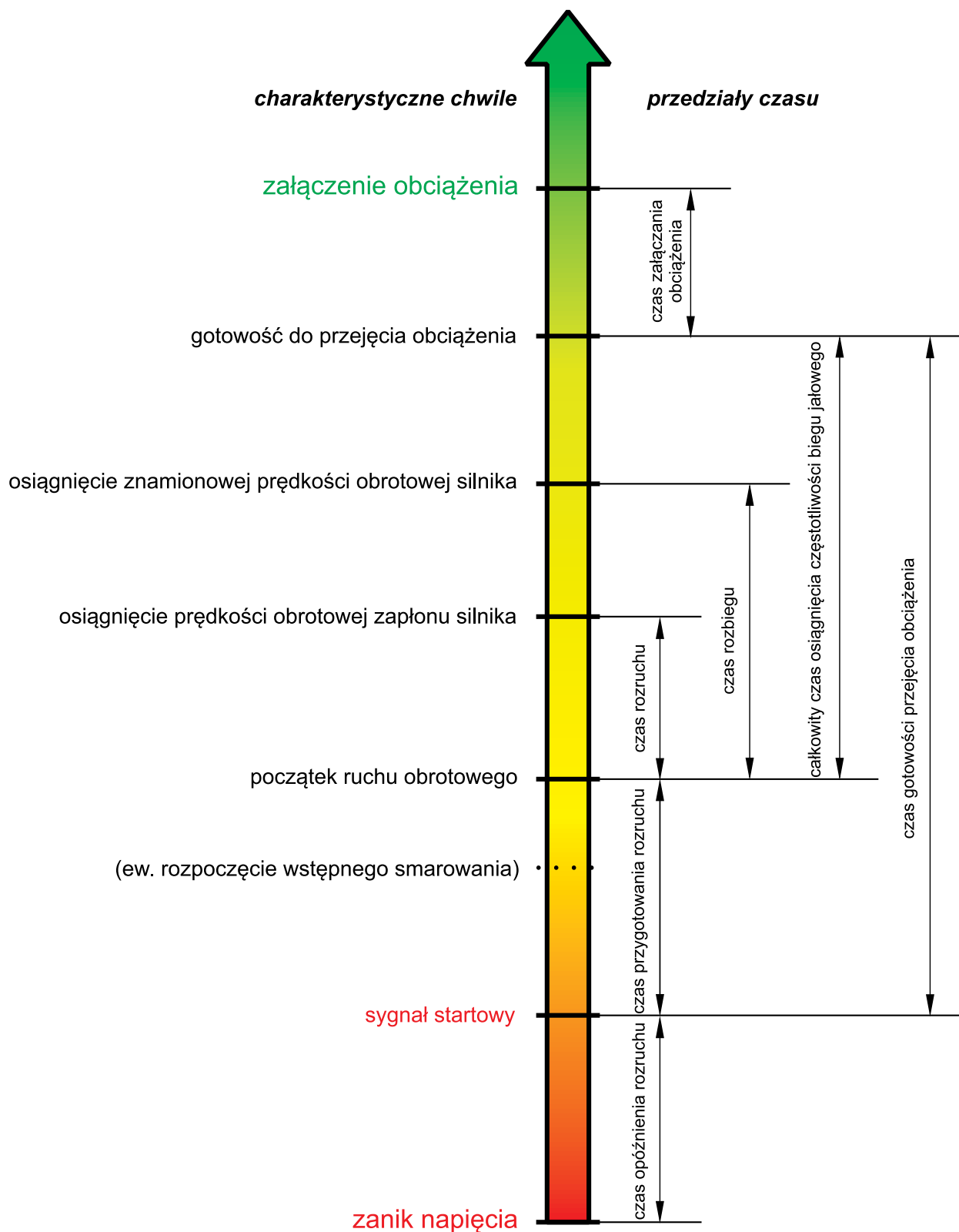


Rys. 4. Konceptcja układu zasilania ośrodka nadawczego Centro RAI di Grottarossa w pobliżu Rzymu  
(teren 14 ha, 9 budynków o łącznej powierzchni użytkowej 56000 m<sup>2</sup> i kubaturze 270000 m<sup>3</sup>)

Dla utrzymania stałej częstotliwości napięcia wyjściowego, zwłaszcza przy pracy autonomicznej, ważne jest utrzymanie stałej prędkości obrotowej silnika, niezależnie od obciążenia zespołu. Nieodzownym wyposażeniem silnika jest zatem regulator prędkości obrotowej albo mechaniczny (przy silnikach mniejszej mocy), albo elektroniczny. Kontroluje się w sposób ciągły wiele innych parametrów i stanów silnika tłokowego: ciśnienie i temperaturę oleju smarowego silnikowego, poziom i temperaturę czynnika chłodzącego, przekroczenie najwyższej dopuszczalnej prędkości obrotowej, uszkodzenie paska napędowego układu chłodzenia, brak ładowania rozruchowej baterii akumulatorów itd. Ważnym wyposażeniem zespołu jest też licznik czasu pracy (nazywany żargonowo: *licznikiem motogodzin*) ułatwiający planowanie zabiegów konserwacyjnych.

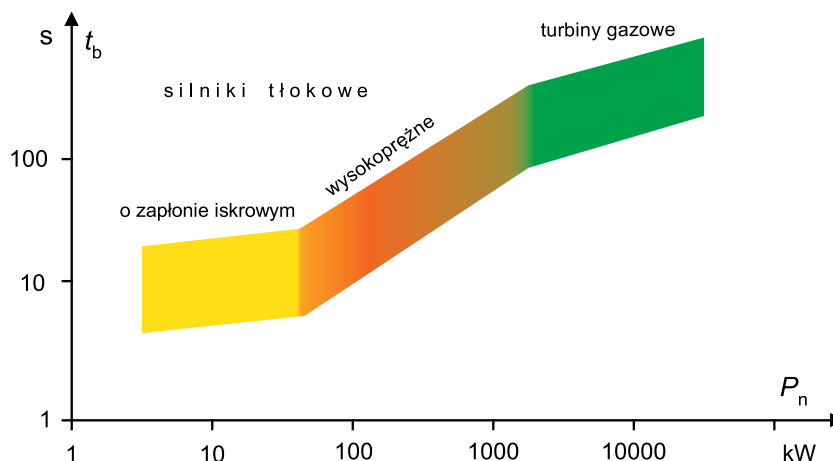
**Uruchamianie ręczne** zespołu prądotwórczego przeprowadza się w przypadku zespołów przenośnych i przewoźnych małej mocy. Może odbywać się również w przypadku zespołów stacjonarnych, jeżeli chodzi o planowe wyłączenie napięcia albo o uruchomienie próbne, albo jeżeli dłuższa przerwa w zasilaniu (ponad 15 min) po zaniku napięcia źródła zasilania podstawowego jest dopuszczalna. Jeżeli krytyczny czas przerwy w zasilaniu (rys. 2) nie przekracza kilku minut, to zespół do zasilania awaryjnego powinien być **uruchamiany samoczynnie**. Pobudzeniem układu sterowania jest zanik napięcia źródła zasilania podstawowego, ale nie jest to równoznaczne z wygenerowaniem sygnału startowego zespołu. Na ogół wprowadza się pewną zwłokę, tzw. *czas opóźnienia rozruchu*, aby odstroić się od krótkotrwałego zaniku lub zapadu napięcia. Ta zwłoka może być również potrzebna w układach z wielostopniową rezerwą zasilania, aby dać możliwość przejęcia obciążenia przez inne przewidziane źródło zasilania rezerwowego.

Na rys. 5 przedstawiono charakterystyczne chwile w toku uruchamiania zespołu napędzanego silnikiem wysokoprężnym oraz ważniejsze przedziały czasu między nimi, zgodnie z terminologią używaną w normie [16]. Warto zwrócić uwagę, że niektóre nazwy i ich definicje, np. *czas rozruchu*, odbiegają od ich potocznego rozumienia, a nawet od definicji podanej w innym arkuszu tej samej normy [12].



Rys. 5. Przedziały czasu charakteryzujące przebieg samoczynnego uruchamiania zespołu prądotwórczego zasilania rezerwowego – terminologia według normy PN-ISO 8528-5:1997 [16]

Najważniejszym parametrem w tych rozważaniach jest **czas gotowości przejęcia obciążenia**  $t_b$ , wpływający od chwili podania sygnału startowego do chwili gotowości zespołu do przejęcia obciążenia. Na rys. 6 przedstawiono przeciętne wartości tego czasu dla samoczynnie uruchamianych zespołów o różnej mocy. W przedstawionym paśmie mniejsze wartości dotyczą silników o wstępnie podgrzewanym czynnikiem chłodzącym (łatwo to sprawdzić dotykając ręką silnik w stanie postoju). Rozruch jest wtedy łatwiejszy, szybszy, bardziej niezawodny, a z chwilą zakończenia rozbiegu taki silnik można obciążać pełną mocą. Silnik wstępnie niepodgrzewany powinien być początkowo obciążany niepełną mocą, a jej wartość i czas utrzymywania określa wytwórca silnika.



Rys. 6. Czas gotowości przejęcia obciążenia  $t_b$  samoczynnie uruchamianego zespołu prądowórczego z silnikiem wstępnie podgrzewanym w zależności od mocy znamionowej

Pewne światło na interpretację niezawodności procesu uruchamiania silników spalinowych mogą rzucić dwa przykłady z życia. Przykład pierwszy dotyczy zespołów przewoźnych w zastosowaniu na poły humorystycznym. W latach 80. ub. wieku francuski prezydent F. Mitterand miał kiedyś noworoczne orędzie do narodu wygłosić ze swojej posiadłości w Landach nad Zatoką Biskajską i tam udała się ekipa telewizji publicznej. Poblądził samochód ze składanym masztem antenowym i orędzia nie nadano o przewidzianej porze, a w zarządzie telewizji poleciały głowy. Rok później orędzie miało być transmitowane z Pałacu Elizejskiego, co zadanie ułatwiało. Po przykrych doświadczeniach sprzed roku ekipa zadbała o każdy drobiazg i na wszelki wypadek zabrała nawet własne przewoźne zespoły prądowórcze, aby się uniezależnić od zasilania z sieci miejskiej, a tym bardziej – z pałacowych zespołów zasilania rezerwowego. Alści temperatura spadła kilka stopni poniżej zera, co paryzanie uważają za tęgie mrozy. Okazało się, że francuskie zespoły prądowórcze też i żaden z dwóch zabranych zespołów, parkujących na pałacowym dziedzińcu, nie ruszył. Role się odwróciły – sieć miejska dostarczyła prądu, bo zawiodły zespoły prądowórcze do zasilania rezerwowego.

Przykład drugi, z tych samych lat, dotyczy zespołów stacjonarnych w zastosowaniu najbardziej odpowiedzialnym. Kiedy jeszcze trwała budowa Elektrowni Jądrowej Żarnowiec i trwały końcowe prace projektowe, jednym z ważnych problemów pozostawało bezpieczeństwo jądrowe. Do awaryjnego zasilania układów bezpieczeństwa reaktora WWER 440 potrzebny był zespół prądowórczy o mocy 2,8 MW, zdolny do przejęcia obciążenia w ciągu minuty i to z poziomem ufności jak najbliższym 100%. Każde rozpatrywane rozwiązanie wydawało się niezadowolające i w końcu przyjęto ciekawą propozycję zespołu z Politechniki Gdańskiej: trzy zespoły prądowórcze (każdy z prądnicą 2,8 MW i wstępnie podgrzewanym silnikiem wysokoprężnym 3,3 MW) w razie zaniku napięcia jednocześnie i bezzwłocznie otrzymują sygnał startowy. Ten, który pierwszy osiąga gotowość do przejęcia obciążenia, jest załączany, a pozostałe zatrzymują się.

Z punktu widzenia niezawodności zespołów spalinowo-elektrycznych, a zwłaszcza ich silników napędowych, duże znaczenie mają **okresowe uruchomienia próbne i ruch próbny**. Aby sprawdzić wszystkie elementy układu samoczynnego uruchamiania, trzeba wywołać symulowany zanik napięcia z podstawowego źródła zasilania, a nie w inny sposób podawać sygnał startowy. Według normy DIN VDE 0100-710 uruchomienie próbne należy przeprowadzać co miesiąc, po czym przez czas co najmniej jednej godziny zespół powinien pracować przy obciążeniu co najmniej 50%, ale spełnienie tego ostatniego wymagania może być kłopotliwe. Wymagania te są uzasadnione niekorzystnymi zjawiskami zachodzącymi w silniku nienagrzanym, kiedy występuje niepełne spalanie (emisja sadzy i jej osady w silniku oraz w układzie wydechowym, zalewanie wtryskiwaczy itd.). Kumulacja ich skutków może sprawić, że wyraźnie zmniejszy się prawdopodobieństwo udanego rozruchu w razie istotnej potrzeby.

#### 4. PRĄDNICE ZESPOŁÓW PRĄDOWÓRCZYCH

Stosuje się prądnice synchroniczne jawnobiegunowe (o wydatnych biegunach) bezszczotkowe samowzbudne, o liczbie biegunów zależnej od znamionowej prędkości obrotowej silnika napędowego. Przy mocy zespołu mniejszej niż 1000 kW są to na ogół prądnice czterobiegunowe (1500 obr/min). Tylko prądnice małej mocy bywają jednofazowe, inne są trójfazowe. Prądnice o mocy nieprzekraczającej kilkuset kilowatów są niskonapięciowe (w Europie 230/400 V, 50 Hz), przy mocy większej (> 1 MW) mają napięcie znamionowe wysokie, ściślej – napięcie średnie. W świecie spotyka się różne napięcia z przedziału 2,4÷13,8 kV, a w Polsce jest to zwykle 6 kV. Prądnice są wyposażone w elektroniczny regulator napięcia.

Praca autonomiczna zespołu może oznaczać zasilanie przez prądnicę odbiorów o porównywalnej mocy, a zawsze oznacza zasilanie z sieci „słabej”, ze **źródła o ograniczonej mocy** zwarciowej. Pomimo stosowanych modyfikacji w konstrukcji prądnic,

niewielko poprawiających sytuację, zwłaszcza w warunkach dynamicznych (zwiększony moment bezwładności prądnicy, zmniejszone reaktancje przejściowe), ta ograniczona moc źródła zasilania objawia się w różnych stanach ruchowych i obowiązują pewne ograniczenia odnośnie do parametrów obciążenia.

Mogą być one sformułowane w postaci następujących orientacyjnych wskazówek, wystarczających w prostych sytuacjach:

- obciążenia udarowe powinny być tak ograniczone, aby nie wywoływały obniżenia napięcia poniżej  $0,8 \cdot U_n$ ,
- silniki indukcyjne o rozruchu bezpośrednim lekkim powinny mieć moc znamionową nie większą niż 1/3 mocy znamionowej generatora,
- prądy w poszczególnych fazach nie powinny się różnić więcej niż o 15% od wartości średniej,
- obciążenie jednofazowe przyłączane na napięcie międzyprzewodowe nie powinno przekraczać  $0,20 \cdot I_n$ , a na napięcie fazowe –  $0,35 \cdot I_n$ .

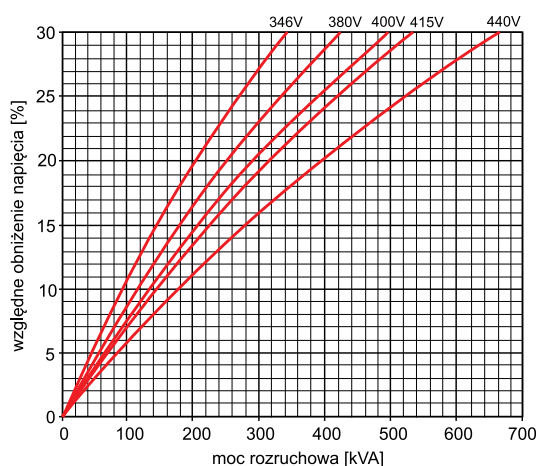
W sytuacjach bardziej złożonych, wymagających choćby orientacyjnego uwzględnienia parametrów prądnicy, można przyjąć następujące zasady [1]. Otóż moc znamionowa prądnicy  $S_{nG}$  powinna spełniać następujące warunki:

• ze względu na nagrzewanie przy obciążeniu szczytowym	$S_{nG} \geq 1,1 \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \eta_G \cdot P_M \geq S_B$
• ze względu na dopuszczalne odkształcenia harmoniczne	$S_{nG} \geq 20 \cdot x_d'' \cdot \sum P_{nl}$
• ze względu na zmiany napięcia przy rozruchu silników	$S_{nG} \geq 20 \cdot x_d' \cdot \left( \frac{U_{LR}}{U_n} \right)^2 \cdot S_{nMmax}$

W powyższych wzorach występują wielkości następujące:

$S_{nG}$	– moc znamionowa pozorna prądnicy [kVA],
$\eta_G$	– sprawność prądnicy [-],
$S_B$	– szczytowa moc pozorna pobierana z zespołu [kVA],
$\lambda$	– współczynnik mocy obciążenia $\lambda = P_B/S_B$ (w braku danych przyjmuje się $\lambda \approx 0,9$ ),
$P_M$	– moc eksploatacyjna silnika spalinowego [kW],
$\sum P_{nl}$	– sumaryczna moc czynna odbiorów nieliniowych, np. przekształtników [kW],
$x_d''$	– względna reaktancja podprzebieżowa prądnicy [-], $x_d'' = 0,08 \div 0,24$ (zwykle $0,11 \div 0,18$ ),
$x_d'$	– względna reaktancja przejściowa prądnicy [-], $x_d' = 0,13 \div 0,34$ (zwykle $0,15 \div 0,24$ ),
$S_{nMmax}$	– największa moc znamionowa pozorna silnika indukcyjnego o rozruchu bezpośrednim [kVA],
$U_{LR}$	– najmniejsze dopuszczalne napięcie na zaciskach silnika podczas rozruchu [V],
$U_n$	– napięcie znamionowe instalacji [V].

Niektórzy wytwórcy podają dokładniejsze informacje (rys. 7) na temat zachowania się prądnic przy różnych obciążeniach niespokojnych i/lub nieliniowych. Uwzględniają one skutki interwencji regulatorów, zwłaszcza regulatora napięcia, czego nie można poprawnie wziąć pod uwagę dysponując nawet szczegółowymi parametrami samej prądnicy.



Rys. 7. Względne obniżenie napięcia [%] na zaciskach prądnicy 250 kVA o różnym napięciu znamionowym (od 346 do 440 V) podczas rozruchu silnika indukcyjnego o określonej mocy rozruchowej [kVA] (dane firmy STAMFORD)

Moc rozruchowa silnika trójfazowego o prądzie rozruchowym  $I_{LR}$  wynosi  $\sqrt{3} U_n I_{LR}$



Przykładem szczególnym układu zasilania rezerwowego jest układ kaskadowy, potocznie nazywany *tandemem*, kiedy zespół spalinowo-elektryczny zasila wszystkie bądź wybrane odbiorniki za pośrednictwem statycznego zasilacza bezprzerwowego UPS (rys. 4). W takim przypadku moc znamionową prądnicy, wymaganą ze względu na nagrzewanie przy obciążeniu szczytowym, określa się następująco:

$$S_{nG} \geq \frac{1}{\lambda} \left( k_1 \frac{k_B \cdot P_{UPSout}}{\eta_{UPS}} + k_2 \cdot P_2 \right).$$

W tym wzorze występują następujące nowe wielkości:

$P_{UPSout}$	– moc pobierana z obwodu wyjściowego zasilacza bezprzerwowego UPS [kW],
$\eta_{UPS}$	– sprawność zasilacza UPS [–],
$k_B$	– współczynnik [–] uwzględniający pobór mocy na ładowanie baterii akumulatorów zasilacza UPS ( $k_B = 1,0$ , jeśli doładowywanie jest zablokowane na czas zasilania z zespołu prądowłórczego; $k_B = 1,25$ w innych przypadkach),
$k_1$	– współczynnik [–] uwzględniający odkształcenie prądu wejściowego zasilacza UPS, $k_1 = 1,3 \div 1,5 \div 2$ odpowiednio przy stopniu odkształcenia THD = 20÷40÷80%,
$P_2$	– moc pobierana przez odbiorniki zasilane bezpośrednio z prądnicy [kW],
$k_2$	– współczynnik [–] uwzględniający odkształcenie prądu pobieranego przez odbiorniki zasilane bezpośrednio z prądnicy.

W zależności od dopuszczalnych przedziałów zmian częstotliwości, napięcia oraz innych parametrów w stanach ustalonych i w określonych stanach przejściowych, wyróżnia się cztery **klasy wymagań eksploatacyjnych** zespołów prądowłórczych [12, 16]. Klasyfikacja ta została wprowadzona tuż przed rokiem 2000.

- Klasa wymagań G1 dotyczy zasilania odbiorników, które wymagają określenia tylko parametrów podstawowych: napięcia i częstotliwości (oświetlenie, urządzenia grzejne). Takie zespoły prądowłórcze w ogóle nie nadają się do zasilania rezerwowego.
- Klasa wymagań G2 dotyczy zasilania odbiorników wymagających charakterystyk napięciowych prądnic zbliżonych do normalnych warunków zasilania z sieci sztywnej. Określa się dopuszczalne odchylenia napięcia i częstotliwości w następstwie zmiany obciążenia (systemy oświetleniowe, pompy, wentylatory, podnośniki).
- Klasa wymagań G3 dotyczy zasilania odbiorników stawiających podwyższone wymagania co do charakterystyk częstotliwości i napięcia oraz stopnia odkształcenia (telekomunikacja, odbiorniki ze sterownikami tyrystorowymi).
- Klasa wymagań G4 dotyczy zasilania odbiorników stawiających wyjątkowo wysokie, indywidualnie uzgodnione między wytwórcą a odbiorcą, wymagania co do charakterystyk częstotliwości i napięcia oraz stopnia odkształcenia (systemy komputerowe i inne urządzenia elektroniczne).

O spełnieniu tych wymagań decydują nie tylko właściwości prądnicy, lecz również silnika napędowego oraz regulatorów prądnicy i jej silnika napędowego.

Mała wartość reaktancji przejściowej, uzyskana przez specjalne ukształtowanie rozkładu pola rozproszenia uzwojenia wzbudzenia, pozwala na ograniczenie zmian napięcia na zaciskach prądnicy po nagłej zmianie obciążenia. Prądnice wyposaża się w regulatory napięcia, kontrolujące średnią wartość napięcia dwóch lub trzech faz, zapewniające w stanie ustalonym stabilność napięcia na poziomie  $\pm 1\%$  w przypadku zespołów klasy G3. W tychże zespołach dopuszczalne przejściowe odchylenie napięcia przy nagłej zmianie mocy w warunkach próby [16] wynosi  $+20\%$  oraz  $-15\%$ . Natomiast regulator prędkości obrotowej silnika spalinowego utrzymuje wąski przedział zmian częstotliwości w stanach ustalonych ( $\leq 0,5\%$  w przypadku zespołów klasy G3) i w stanach przejściowych w warunkach prób przewidzianych przez normę [16].

Uzwojenia prądnic niskiego napięcia z wyprowadzonym przewodem neutralnym nawija się z poskokiem 2/3, aby ograniczyć przepływ prądów harmonicznych rzędu podzielnego przez trzy (ang. *triplen*). Uzwojenia miedziane mają izolację wyższych klas ciepłoodporności, rzadko klasy B ( $\tau_{dd} = 130\text{ }^\circ\text{C}$ ), raczej F ( $\tau_{dd} = 155\text{ }^\circ\text{C}$ ) lub H ( $\tau_{dd} = 180\text{ }^\circ\text{C}$ ). Klasa ciepłoodporności izolacji ma związek z obciążalnością, a zwłaszcza przeciążalnością prądnicy.

**Zabezpieczenia prądnic** dobiera się w zależności od mocy i napięcia znamionowego prądnicy oraz trybu jej pracy (samodzielna, równoległa). W każdym przypadku jest wymagane zabezpieczenie nadprądowe zwarciove i przeciążeniowe; człon zwarciovy nastawia się na prąd mniejszy niż prąd zwarciovy ustalony prądnicy  $I_k$  (zwykle  $I_k \leq 3 \cdot I_n$ ), ale wystarczająco duży, aby nie dochodziło do zbędnych zadziałań przy największych prądach normalnego użytkownika, np. prądzie rozruchowym silnika. W przypadku prądnic o mocy nieprzekraczającej kilkudziesięciu kilowatów na tym się poprzestaje, natomiast przy prądnicach o coraz większej mocy dodaje się kolejne zabezpieczenia [9]: zabezpieczenie od zwarć doziemnych, zabezpieczenie od zwarć

wewnętrznych międzyfazowych i ew. międzyzwojowych, zabezpieczenie od utraty wzbudzenia, zabezpieczenie od skutków niesymetrii obciążenia, a w przypadku pracy równoległej – dodatkowo zabezpieczenie kierunkowe (zwrotnomocowe).

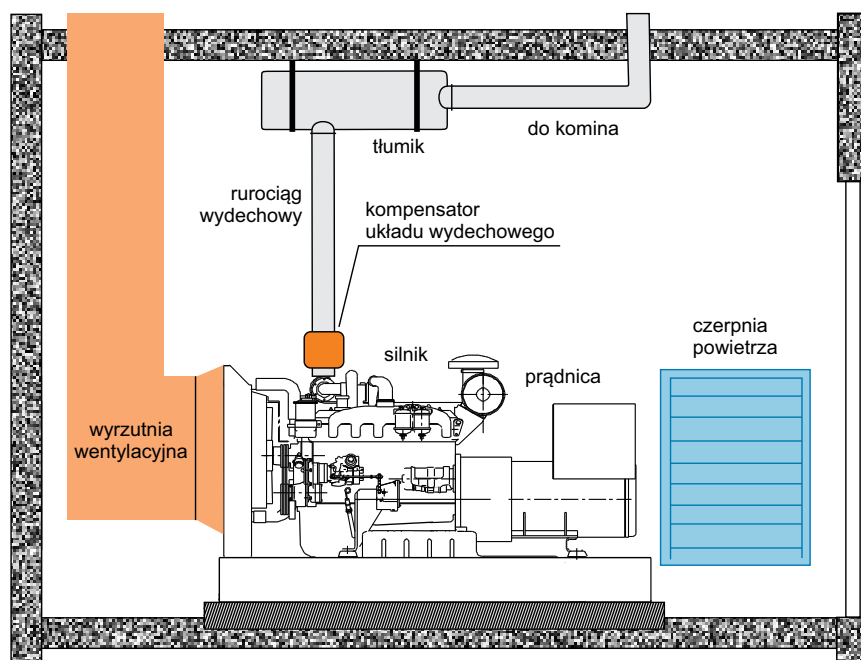
Wyraźnie należy podkreślić, że nie jest zabezpieczeniem od zwarć doziemnych w prądnicy wyłącznik różnicowoprądowy w jej obwodzie (rys. 9 i 10). Wyłącznik wykrywa prąd różnicowy powstający poniżej (w kierunku przepływu energii) miejsca jego zainstalowania.

## 5. WARUNKI INSTALOWANIA ZESPOŁU SPALINOWO-ELEKTRYCZNEGO

Wymagania dotyczące instalowania i przyłączania zespołów zostaną przedstawione na przykładzie najprostszym – pojedynczego zespołu w obiekcie o niewygórowanych wymaganiach co do poboru mocy i sposobu przełączania źródeł zasilania. Przedstawione zasady pochodzą z norm europejskich i przepisów energetyki niemieckiej [19].

Instalacja odbiorcza powinna być przystosowana do zasilania rezerwowego z zespołu prądotwórczego. W tym celu obwody wymagające zasilania rezerwowego powinny być wydzielone. Dobierając parametry zespołu należy uwzględnić: rodzaj, moc i tryb pracy odbiorów, np. możliwe udary obciążenia, prądy rozruchowe silników, pobór mocy biernej, odkształcenie prądu oraz niesymetrię obciążenia.

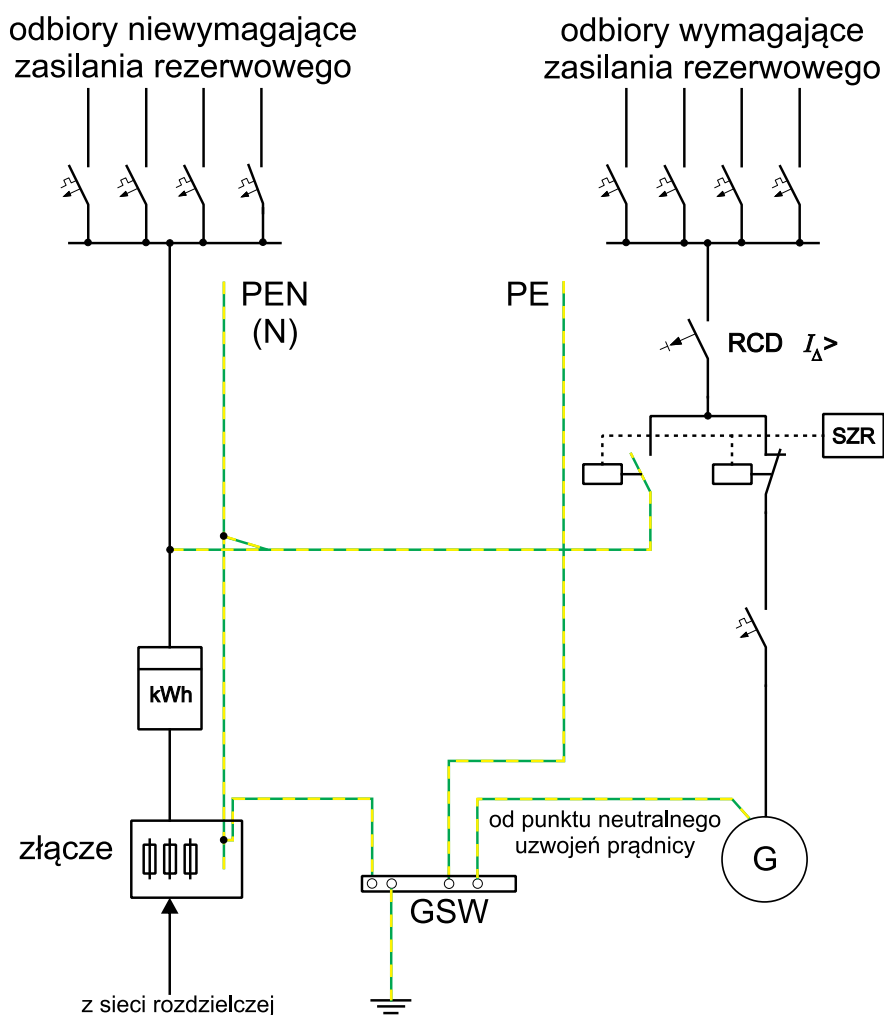
Zespół prądotwórczy wraz z wyposażeniem zaleca się instalować w wydzielonym pomieszczeniu (rys. 8). Pomieszczenie to powinno być łatwo dostępne, dobrze wentylowane, suche i w razie potrzeby ogrzewane, aby temperatura wynosiła co najmniej +5 °C. Silnik spalinowy wymaga czerpni i kanałów dolotowych świeżego powietrza, które zasysa, oraz przewodów odprowadzających spaliny oczyszczone w układzie wydechowym. Nie dopuszcza się instalowania zespołu w miejscu niebezpiecznym pod względem pożarowym. Stosowane w gospodarstwach rolnych jako źródła zasilania rezerwowego same prądnice, dorywczo sprzęgane z silnikiem ciągnika, powinny być instalowane w miejscach przynajmniej zadaszonych.



Rys. 8. Przykład instalacji wnętrza zespołu spalinowo-elektrycznego.

Prądnica powinna być zabezpieczona przed przeciążeniami i skutkami zwarć za pomocą urządzenia usytuowanego w jej pobliżu. Dopuszcza się umieszczenie urządzenia zabezpieczającego w najbliższej rozdzielni pod warunkiem, że odcinek przewodów między prądnicą a urządzeniem zabezpieczającym jest w wykonaniu odpornym na zwarcia międzyprzewodowe i doziemne. Dla prądnic o dużej mocy znamionowej stosuje się ponadto zabezpieczenie ziemnozwarciowe dobrane stosownie do zaleceń wytwórcy.

Przełącznik zasilania rezerwowego i jego elementy napędowe powinny być należycie oznakowane. W polu linii zasilania podstawowego powinna być kontrolowana obecność napięcia. Jeśli zespół może być uruchamiany zdalnie i/lub samoczynnie, to w jego pobliżu należy przewidzieć możliwość wprowadzania blokady przed zdalnym i/lub samoczynnym uruchomieniem, na przykład podczas prac konserwacyjnych.



Rys. 9. Układ połączeń umożliwiający zasilanie obwodów wymagających zasilania rezerwowego alternatywnie z sieci publicznej o układzie TN-C lub ze stacjonarnego zespołu prądotwórczego przystosowanego do instalacji o układzie TN-S [19]

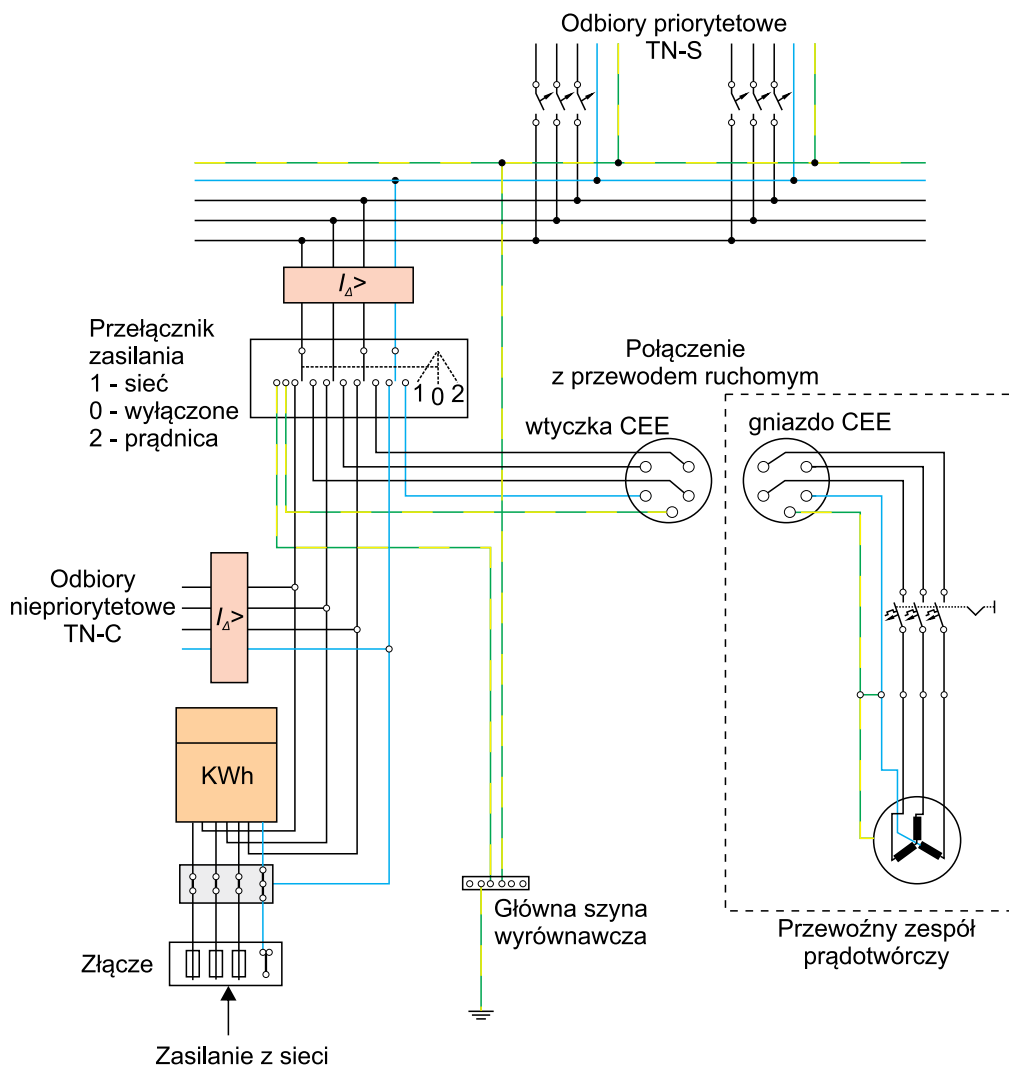
W rozumieniu **dyrektywy maszynowej 98/37/EC** zespoły spalinowo-elektryczne powinny być traktowane jako maszyny. Podlegają zatem ogólnym postanowieniom z zakresu bezpieczeństwa maszyn, obejmującym m.in. zagrożenia mechaniczne (od niebezpiecznych części poruszających się, od drgań), cieplne (oparzenia przy dotknięciu powierzchni gorących), hałas, emisję gazów wylotowych i cząstek stałych, wycieki paliwa, oleju smarowego i cieczy chłodzącej oraz związane z tym zagrożenia pożarem i wybuchem oraz zatruciem.

Wszelkie zespoły spalinowo-elektryczne powinny mieć **urządzenie do normalnego zatrzymywania**, ręczne lub automatyczne, odcinające dopływ paliwa (do silnika wysokoprężnego) lub wyłączające zapłon (silnika o zapłonie iskrowym).

**Urządzenie do awaryjnego zatrzymywania** (ręczne lub samoczynne) jest wymagane w przypadku zespołów spalinowo-elektrycznych zdalnie sterowanych oraz zespołów w obudowie, do wnętrza której mają dostęp ludzie. W drugim przypadku urządzenie do awaryjnego zatrzymywania powinno być umieszczone zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz obudowy. Ręcznie sterowane urządzenie do awaryjnego zatrzymywania jest wymagane, jeżeli można je tak wykonać, że reaguje szybciej niż urządzenie do normalnego zatrzymywania. Dopuszcza się rezygnację z urządzenia do awaryjnego zatrzymywania zespołów spalinowo-elektrycznych o małej mocy.

Samoczynne urządzenie do awaryjnego zatrzymywania zostaje pobudzone, jeżeli stan lub poziom niedopuszczalny osiągają określone sygnały (jeden lub więcej z nich): nadmierna prędkość obrotowa, zaniżone ciśnienie oleju smarowego, nadmierna temperatura czynnika chłodzącego i/lub zbyt niski jego poziom, nadmierne napięcie na zaciskach prądnicy, zwarcie doziemne.

Zaleca się stosowanie zespołów stacjonarnych. W razie stosowania zespołów ruchomych szczególną uwagę należy zwrócić na sprawdzenie następstwa faz.



Rys. 10. Układ połączeń umożliwiający zasilanie instalacji odbiorczej z sieci publicznej o układzie TN-C oraz z przewoźnego zespołu prądowłczego (przystosowanego do układu TN-S) przyłączanego za pomocą gniazda wtyczkowego i wtyczki [19]

**Zespoły przewoźne** bez uziemionego punktu neutralnego prądniczy dopuszcza się tylko do zasilania instalacji o układzie IT lub jako źródło zasilania obwodu separowanego (ochrona dodatkowa przez separację elektryczną). Do takich zespołów odbiorniki powinny być przyłączane bezpośrednio, tzn. bez pośrednictwa jakichkolwiek rozdzielnic.

Zespoły ruchome o uziemionym punkcie neutralnym prądniczy (rys. 10) mogą zasilac instalację stałą po sprawdzeniu skuteczności stosowanych w niej środków ochrony. Jeżeli do przyłączania zespołu ruchomego jest przewidziany stały punkt przyłączenia, powinien on umożliwiać również przyłączenie zespołu do wykonanego na stałe uziemienia.

Zespoły ruchome należy przyłączać przewodami ruchomymi o żyłach miedzianych, przeznaczonymi do ciężkich warunków pracy, odpornymi na działanie wody, z powłoką o zwiększonej grubości. Nadają się do tego przewody H07RN-F (poprzednie oznaczenie krajowe OnPd) lub przewody równoważne.

Przy przełączaniu zasilania z sieci na zespół prądowłczy lub z powrotem w zasadzie nie powinno dochodzić do równoległego łączenia obu źródeł. Grozi to zwrotnym zasilaniem sieci zewnętrznej i/lub niekontrolowanym podwyższeniem potencjału przewodu neutralnego N albo przewodu ochronno-neutralnego PEN względem ziemi. Przełącznik zasilania powinien być usytuowany w takim miejscu układu instalacji, aby odbiory wymagające zasilania rezerwowego mogły być odłączone zarówno od sieci zewnętrznej, jak i od zespołu do zasilania rezerwowego.

Jeżeli nie dopuszcza się nawet chwilowego połączenia równoległego zespołu z siecią, to przy przełączaniu zasilania powinno następować rozłączenie wszystkich biegunów (L1, L2, L3, oraz N lub PEN). W układzie TN, ze względu na wielokrotne uziemienia przewodów PEN (PE) oraz połączenia wyrównawcze, rzeczywiste oddzielenie przewodów PEN bądź przewodów N i PE sieci i instalacji może być niewykonalne i dopuszcza się odstępstwo za zgodą dostawcy energii.

Jeżeli dopuszcza się chwilowe połączenie równoległe zespołu z siecią, aby uniknąć przerwy w zasilaniu odbiorów przy przełączaniu zasilania z zespołu na sieć po powrocie napięcia albo w związku z okresowym ruchem próbnym zespołu, to tylko

na czas potrzebny do załączenia po udanej synchronizacji, jednak nie dłużej niż przez 0,1 s, przy czym za warunki synchronizacji przyjmuje się:

- odchyłkę napięć nie przekraczającą  $\pm 10\%$ ,
- odchyłkę częstotliwości nie przekraczającą  $\pm 0,5$  Hz,
- odchyłkę kątów fazowych napięć nie przekraczającą  $\pm 10^\circ$ .

Synchronizacja i przełączanie powinny się odbywać samoczynnie, a nastawienia przełączników powinny być zabezpieczone przed samowolną zmianą. Najlepiej jeśli te urządzenia są plombowane i zwykle wymaga tego operator sieci rozdzielczej. Warunki skuteczności ochrony dodatkowej (ochrony przy dotyku pośrednim) powinny być spełnione również podczas pracy autonomicznej. Zwarcie przewodu fazowego L z przewodem ochronnym PE lub z ziemią E nie powinny wywoływać zagrożenia porażeniem.

W instalacji o układzie TN-S z prądnicą małej mocy (rys. 9 i 10) wyłącznik różnicowoprądowy gwarantuje wyłączenie zasilania w wymaganym czasie w razie **zwarcia L-PE** w dowolnym miejscu instalacji (z wyjątkiem uszkodzeń izolacji doziemnej odcinka przewodów między wyłącznikiem a prądnicą i uzwojeń samej prądnicy). Nie musi to być wyłącznik wysokoczuły ( $I_{\Delta n} \leq 30$  mA), przeciwnie – w obwodach wymagających zasilania rezerwowego może on być niepożądany, a w obwodach bezpieczeństwa jest wręcz zabroniony jakikolwiek wyłącznik różnicowoprądowy. Natomiast wyłączniki różnicowoprądowe są wymagane, jeżeli zespół prądotwórczy stanowi autonomiczne źródło zasilania podstawowego urządzeń użytkowanych w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem (place budowy i rozbiórki, kempingi i czasowe obozowiska, jarmarki, tereny plenerowych widowisk itp.). Wyjątkowo można poprzestać tylko na jednym głównym wyłączniku różnicowoprądowym wyłączającym wszystkie odbiorniki, raczej każdy obwód odpływowy z głównej rozdzielniczy zasilanej z prądnicy powinien mieć wyłącznik różnicowoprądowy, a w obwodzie zasilającym rozdzielnicę można wtedy umieścić główny wyłącznik różnicowoprądowy wybiórczy o charakterystyce typu S.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Colombo B. L., Mocchi F.: I generatori sincroni per autoproduzione e per emergenza. L'Energia elettrica, 1992, nr 9, s. 365-378.
- [2] Daley J. M., Siciliano R. L.: Application of emergency and standby generation for distributed generation. IEEE Trans. Ind. Applic., 2003, nr 4, s. 1214-1233.
- [3] Darocha T.: Techniczne aspekty instalacji zespołu prądotwórczego. Elektro.info. 2004, nr 12, s. 62-63.
- [4] Flügel T.: Notstromversorgung im Katastrophenfall. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2002, nr 20, s. 51-55.
- [5] Fruth W., Berger T., Markert K.-H.: Totally integrated power – durchgängige Energieversorgungsanlagen für Zweckbau und Industriebau. ew, 2003, nr 13, s. 32-36.
- [6] Hörmann W.: Fahrbares Stromversorgungsaggregat. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2000, nr 7, s. 13-16.
- [7] Hörmann W.: Notstromgenerator in landwirtschaftlicher Betriebsstätte. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2002, nr 23, s. 15-17.
- [8] Soula J.-M., Sablan P.: Groupes électrogènes: les atouts d'une maintenance maîtrisée. REE, 1998, nr 11, s. 78-83.
- [9] Wróblewska S.: Zabezpieczenia generatora synchronicznego małej i średniej mocy. Elektro.info, 2003, nr 2, s. 55-61.
- [10] PN-HD 60364-5-551:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-55: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Inne wyposażenie – Sekcja 551: Niskonapięciowe zespoły prądotwórcze (oryg.).
- [11] PN-HD 60364-7-717:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-717: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zespoły ruchome lub przewoźne (oryg.).
- [12] PN-ISO 8528-1:1996 Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego napędzane silnikiem spalinowym tłokowym. Zastosowanie, klasyfikacja i wymagania eksploatacyjne.
- [13] PN-ISO 8528-2:1997 Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego napędzane silnikiem spalinowym tłokowym. Silniki.
- [14] PN-EN 60034-22:2010 Maszyny elektryczne wirujące – Część 22: Prądnice prądu przemiennego do zespołów prądotwórczych napędzanych tłokowymi silnikami spalinowymi (oryg.).
- [15] PN-ISO 8528-4:1997 Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego napędzane silnikiem spalinowym tłokowym. Aparatura sterująca i rozdzielcza.
- [16] PN-ISO 8528-5:1997 Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego napędzane silnikiem spalinowym tłokowym. Zespoły prądotwórcze.
- [17] PN-ISO 8528-6:1997 Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego napędzane silnikiem spalinowym tłokowym. Metody badań.
- [18] PN-EN 12601:2011 Zespoły prądotwórcze napędzane silnikami spalinowymi tłokowymi – Bezpieczeństwo (oryg.)
- [19] Richtlinien für Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen mit Notstromaggregaten. Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW, Berlin 2004.
- [20] VDE-AR-N 4105:2011-08 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz. VDE-Anwendungsregel.