

# ZASILACZE UPS W UKŁADACH ZASILANIA URZĄDZEŃ ELEKTROMEDYCZNYCH

**mgr inż. Julian Wiatr**

miesięcznik elektro.info

Przy projektowaniu układów zasilania budynków służby zdrowia pojawia się szereg wątpliwości wynikających z oczekiwanego poziomu niezawodności dostaw energii elektrycznej oraz zachowaniem wymaganego poziomu ochrony przeciwporażeniowej. Brak szczegółowych wytycznych w tym zakresie często prowadzi do błędnego rozumienia tego problemu przez inwestora oraz projektanta. Niemiejszy referat stanowi próbę wypełnienia luki w tym zakresie.

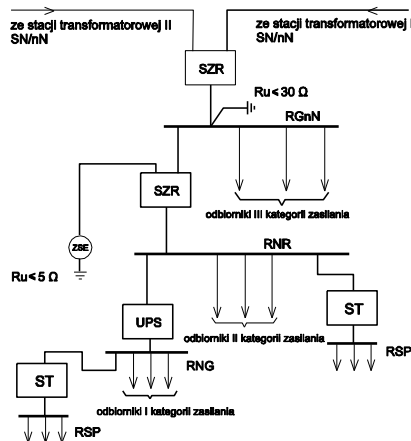
## 1. Wstęp

Wymagania dotyczące zasilania budynków zostały sprecyzowane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz. U. z 2015 roku poz.1422 z późniejszymi zmianami][1]. Zgodnie z **§ 181 pkt .1** rozporządzenia [1]:

*Budynek, w którym zanik napięcia w elektroenergetycznej sieci zasilającej może spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, poważne zagrożenie środowiska, a także znaczne straty materialne, należy zasiląć co najmniej z dwóch niezależnych, samoczynnie załączających się źródeł energii elektrycznej oraz wyposażyć w samoczynnie załączające się oświetlenie awaryjne (zapasowe lub ewakuacyjne). W budynku wysokościowym jednym ze źródeł zasilania powinien być zespół prądotwórczy.*

Są to bardzo ogólne wymagania, które nie precyzują wymagań w zakresie niezawodności zasilania oraz metodyki projektowania układów zasilania. Wyjątkiem w tym zakresie jest **Rozporządzenie Ministra Łączności z 21 kwietnia 1995 roku w sprawie zasilania energią elektryczną obiektów budowlanych łączności** [Dz. U. Nr 50/1995 poz. 271] [2]. Z uwagi na to, że jest to jedyny dokument formalno-prawny, precyzyjnie określający wymagania dotyczące zasilania obiektów budowlanych łączności, można na jego podstawie opracować koncepcję układu zasilania dowolnego budynku przedstawioną na **rysunku 1**.

W prezentowanym układzie zasilania znajdują się wszystkie źródła zasilania, a ich stosowanie w określonym układzie zasilania może być przyjmowane w zależności od potrzeb i wymaganego poziomu niezawodności. Natomiast podział na poziomy rezerwowania oraz przypisane im źródła zasilania wynika z przyjętego w gospodarce elektroenergetycznej podziału na kategorie zasilanych odbiorników. Widoczny na **rysunku 1**, pojedynczy zespół prądotwórczy oraz pojedynczy zasilacz UPS, w zależności od potrzeb może być projektowany w układzie redundantnym lub w układzie pracy równoległej.



Rys.1: Schemat blokowo-ideowy zasilania budynku [4].

**Kategoria III** – długotrwała przerwa w zasilaniu nie powoduje wystąpienia negatywnych skutków w postaci zagrożenia życia lub dużych strat materialnych; **kategoria II** – dopuszcza się krótką przerwę niezbędną na uruchomienie zespołu prądotwórczego; **kategoria I** – nie dopuszcza się żadnej przerwy w zasilaniu; **ST**- siłownia telekomunikacyjna ac/dc; **RNR** - rozdzielnica napięcia rezerwowanego; **RNG** - rozdzielnica napięcia gwarantowanego.

## 2. Metodyka zasilania obiektów szpitalnych

Istotne znaczenie dla bezpieczeństwa pacjentów ma zapewnienie ciągłości zasilania, chociażby z tego powodu, że niektóre zabiegi nie są obojętne dla zdrowia, a część z nich pociąga za sobą nawet zagrożenie dla życia.

W związku z powyższym, w obiekcie szpitalnym na etapie opracowywania koncepcji zasilania, należy dokonać podziału odbiorników na kategorie zasilania.

Warunkiem zapewnienia wysokiej niezawodności jest doprowadzenie zasilania do budynku szpitala z dwóch różnych stacji transformatorowych 15/0,42 kV zasilanych z różnych GPZ-tów, a przynajmniej z dwóch różnych sekcji SN jednego GPZ-tu. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskanie właściwego rezerwowania zasilanych odbiorników przy zasilaniu z SEE (systemu elektroenergetycznego).

Przy głównym złączu budynku szpitala powinien być zainstalowany SZR, z którego energia elektryczna powinna być doprowadzona do rozdzielni głównej szpitala (RGnn), gdzie należy wydzielić obwody odbiorników zaliczonych do III kategorii zasilania oraz obwód zasilający kolejny SZR, przeznaczony do współpracy z zespołem prądotwórczym (ZP) stanowiącym awaryjne źródło zasilania.

Z drugiego SZR zasilanie należy doprowadzić do rozdzielni RNA - odbiorników II kategorii zasilania. Do odbiorników tej kategorii należy zaliczyć ogólne sale chorych, apteki, korytarze, windy, oświetlenie ogólne itp. Dla odbiorników nieszpitalnych zaliczonych do II kategorii dopuszcza się czas przerwy w zasilaniu do 60 sekund (tj. czas niezbędny dla dokonania samorozruchu ZP). W rozdzielni RNA należy wydzielić obwód zasilający zasilacz UPS, przeznaczony do zasilania odbiorników I kategorii zasilania, dla których niedopuszczalna jest jakkolwiek przerwa w zasilaniu. Układ współpracy ZP z UPS nazywa się tandemem ZP-UPS. Dokonanie takiego podziału jest konieczne ze względu na warunki lokalowe, jakimi dysponuje szpital, oraz wysokie koszty zakupu, eksploatacji ZP i zasilaczy UPS. Zakwalifikowanie sal operacyjnych, OIOM oraz laboratoriów do I kategorii zasilania jest uzasadnione tym, że pacjent podłączony do aparatury nie może być pozbawiany czynności podtrzymujących życie, a brak oświetlenia (nawet przez kilka sekund) podczas operacji odbywającej się w nocy może być tragiczny w skutkach dla pacjenta. Dlatego zasilanie tych pomieszczeń w sposób bezprzerwowo jest uzasadnione i możliwe do realizacji tylko z wykorzystaniem zasilacza UPS o mocy dostosowanej do zasilanych przez niego urządzeń.

### 3. Pomieszczenia użytkowane medycznie

Pod pojęciem „pomieszczenie użytkowane medycznie” należy rozumieć nie tylko pomieszczenia szpitalne, ale również pomieszczenia pozaszpitalne, gdzie mogą być wykonywane zabiegi medyczne. Zwiększone zagrożenie dotyczy tylko pacjentów (również zwierząt w weterynarii), natomiast personel nie wymaga ochrony o wyższym stopniu bezpieczeństwa niż w innych obiektach budownictwa powszechnego.

Pomieszczenie „szpitalne” w interesującym nas zakresie dotyczy tylko pomieszczeń, gdzie pacjent może przebywać i poddawany jest badaniom lub zabiegom. Będą to więc sale chorych, gabinety badań, zabiegowe, sale operacyjne, porodowe, fizykoterapii, gabinety rentgenowskie itp. Nie są nimi pomieszczenia niedostępne dla pacjentów oraz takie, w których pacjent nie jest poddawany żadnym zabiegom medycznym (pomieszczenia administracyjne, kuchnie, pralnie, laboratoria, kioski, korytarze w oddziałach, sale pobytu dziennego, dyżurki lekarskie, a także nastawnie pracowni rentgenowskich, przygotowanie lekarzy w bloku operacyjnym itd.). Zgodnie z publikacją [7] należy przyjąć następujący podział pomieszczeń medycznych:

- a) **grupa 0:** *Należą do niej pomieszczenia medyczne, w których nie przewiduje się stosowania części aplikacyjnych aparatury elektromedycznej, a zanik zasilania nie powoduje zagrożenia życia. Są to pomieszczenia, w których pacjenci nie stykają się z urządzeniami elektromedycznymi. Urządzenia występujące w tej strefie mają własne wbudowane źródło zasilania w postaci ogniwa. Będą to gabinety ordynatorów, sale opatrunkowe, masażu, gimnastyki, hydroterapii, inhalacji, czy też ogólnych badań otolaryngologicznych, okulistycznych, gabinety stomatologiczne itp.;*
- b) **grupa 1:** *Należą do niej pomieszczenia medyczne, w których przewiduje się stosowanie części aplikacyjnych aparatury elektromedycznej zewnątrz lub wewnątrz do różnych części ciała, poza zastosowaniami dotyczącymi pomieszczeń grupy 2, a zanik zasilania również nie powoduje zagrożenia życia. W pomieszczeniach tych mogą być stosowane aparaty medyczne mające bezpośredni kontakt z ciałem pacjenta, również wprowadzane pod skórę lub do naturalnych lub sztucznie wykonanych otworów ciała człowieka, pod warunkiem, że żadna z części nie może znajdować się w bezpośredniej bliskości serca. Będą to sale hydro- i fizykoterapii, radiologii (z wyłączeniem badań naczyniowych) dializy zewnątrz ustrojowej, sale porodowe, chirurgii ambulatoryjnej, stomatologii (fotel pacjenta), wszelkiego rodzaju endoskopii itd.;*
- c) **grupa 2:** *Należą do niej pomieszczenia najwyższego ryzyka, a więc pomieszczeń, gdzie przewiduje się stosowanie części aplikacyjnych aparatury elektromedycznej przy zabiegach na sercu, w salach operacyjnych, intensywnej opieki medycznej i innych zabiegach, przy których zanik zasilania może być przyczyną zagrożenia życia. Grupa ta obejmuje pomieszczenia, gdzie są lub mogą być stosowane aparaty elektromedyczne, których elementy mogą stykać się z sercem lub znajdować się w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Będą to sale operacyjne i związane z nimi sale przygotowania pacjenta, sale intensywnej opieki medycznej (OIOM) i pooperacyjnej, rentgenowskich badań naczyniowych oraz częściowo endoskopii i sal porodowych z możliwością zastosowania aparatów elektromedycznych.*

Podane przykłady są przypadkami oczywistymi, zaklasyfikowanie pomieszczeń do odpowiedniej grupy powinno jednak odbywać się przy współudziale lekarza tam pracującego.

#### 4. Koncepcja ochrony przeciwporażeniowej

Pomieszczenia **grupy 0 i 1**, muszą spełniać wszystkie warunki normy przedmiotowej **PN-HD 60364-4-41**[11], prawa budowlanego, rozporządzeń wykonawczych oraz cech osobniczych człowieka chorego i jego podatności na działanie prądu elektrycznego.

Wszystkie pomieszczenia muszą mieć podłogi o rezystancji  $R_i \geq 50 \text{ k}\Omega$ , a urządzenia w nich zainstalowane powinny posiadać ochronę przy uszkodzeniu. Instalacja odbiorcza musi być wykonana w systemie TN-S, mieć połączenia wyrównawcze i być chroniona przed przeciążeniami i zwarciami, a także mieć ochronę przeciwprzebiegową.

Natomiast w pomieszczeniach **grupy 2** instalacja odbiorcza oprócz skutecznej ochrony przeciwporażeniowej powinna gwarantować ciągłość zasilania. W pomieszczeniach tych niedopuszczalne są jakiegokolwiek przerwy w zasilaniu wynikłe z przeciążeń lub zwarc.

Spośród pięciu dostępnych systemów zasilania (TN: TN-S, TN-C-S, TN-C, TT oraz IT) tylko system **IT** może podołać tym wymaganiom. Układ ten buduje się z wykorzystaniem jednofazowych transformatorów separacyjnych ze stałą kontrolą stanu izolacji np. ES710 produkcji firmy Bender. Każde pomieszczenie lub grupa pomieszczeń funkcjonalnie związanych ze sobą (np. sala operacyjna i pomieszczenia przygotowania pacjenta) powinny być zasilane z osobnego transformatora o mocy **(3,15–10) kVA**. W przypadku większych mocy zapotrzebowanych należy wykonać kilka sieci elektromedycznych zasilanych z osobnych transformatorów o mocach dobranych do potrzeb zasilanych odbiorników (zgodnie z normą **PN-HD 60364-7-710:2012** [10] transformatory elektromedyczne nie mogą być łączone równolegle). Przykładowe rozwiązania układów zasilania zostały zamieszczone w publikacji [15].

#### 5. Układ zasilania IT

W odróżnieniu od układów TN, w których jeden przewód ma potencjał ziemi, a pozostałe są pod napięciem 230 V, układ IT charakteryzuje się odizolowanym punktem neutralnym.

W związku z tym różnica potencjałów pomiędzy przewodami a ziemią nie jest określona, a bezpośrednie doziemienie jednego z nich powoduje tylko wyrównanie potencjału z potencjałem ziemi, co sprowadza się do krótkotrwałego, niegroźnego w skutkach (przy niezbyt dużych pojemnościach sieci) przepływu przez człowieka prądu wyrównawczego.

Do szczególnie korzystnych cech układu IT należy zaliczyć:

- duże bezpieczeństwo eksploatacji,
- wysoki stopień bezpieczeństwa pożarowego,
- występowanie minimalnego prądu dotykowego i doziemieniowego,
- możliwość łatwego wykrycia doziemienia,
- możliwość bezprzerwowego zasilania po wystąpieniu doziemienia jednobiegunowego,
- małe wymagania oporności uziemień ochronnych.

Cechy te spowodowały, iż układ IT ma szczególne predyspozycje do stosowania w obiektach o wysokim zagrożeniu porażeniowym i pożarowym.

W celu uniknięcia zgorzeń powstającym przy podwójnym zwarceniu, w obiektach służby zdrowia zasilanych w układzie IT dopuszcza się jedynie układy jednofazowego zasilania.

Miejszem szczególnego zagrożenia są sale operacyjne i inne pomieszczenia szpitalne, w których wykonuje się zabiegi za pomocą aparatów elektromedycznych z pominięciem wierzchniej warstwy naskórka, a często bezpośrednio na sercu. Dlatego też w warunkach szpitalnych może dojść do mikroporażenia, przy którym cały prąd rażeniowy przepływa przez

mięsień sercowy. O ile więc w warunkach pozaszpitalnych granicą zagrożenia jest prąd **10 mA**, to w salach operacyjnych ta granica przesuwa się do wartości **10  $\mu$ A**.

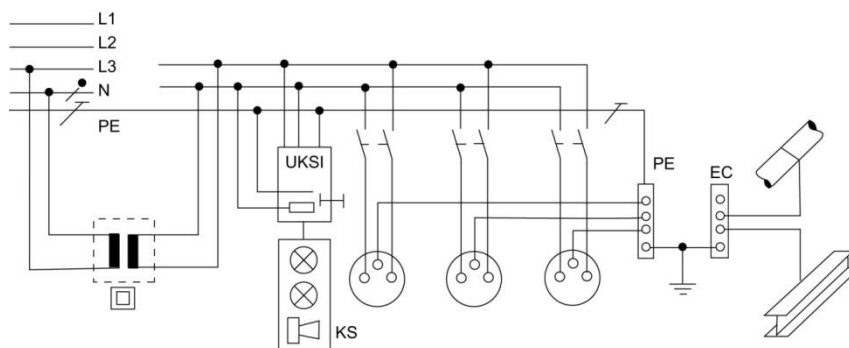
Należy pamiętać, że zwiększona podatność pacjentów na działanie prądu elektrycznego wynika między innymi z następujących czynników:

- brak możliwości reagowania na odczucie przepływu prądu (choroba, brak przytomności, działanie anestetyków, ograniczenie swobody ruchu),
- zmniejszenie rezystancji naskórka (pocenie się, stres),
- konieczność stałego podłączenia do aparatury podtrzymującej podstawowe funkcje życiowe.

Wszystko to prowadzi do konieczności zastosowania układu elektrycznego gwarantującego wysoki stopień bezpieczeństwa (szczególnie w pomieszczeniach drugiej grupy). Gniazda wtyczkowe i odbiorniki znajdujące się w zasięgu ręki muszą więc być zasilane przez transformatory separacyjne z kontrolą stanu izolacji (medyczne transformatory ochronne).

Poszczególne obwody powinny mieć zabezpieczenie przed prądami zwarciovymi, a przypadkowe przeciążenia powinny być natychmiast sygnalizowane. Odporność na krótkotrwałe przeciążenie uzyskuje się przez stosowanie transformatorów separacyjnych o uzwojeniach z przewodami o zwiększonym przekroju, wykonanych w II klasie ochronności.

Z uwagi na to, że całość obiektu szpitalnego zasilana jest w systemie sieci TN-S, koniecznym jest przejście na sieć IT, w celu realizacji zasilania bloku operacyjnego oraz OIOM-u. Schemat takiego układu przedstawia **rysunek 2**. W przypadku obwodów IT eksploatowanych w obiektach służby zdrowia, nie wolno w żadnym przypadku dodatkowo lub zamiennie stosować wyłączników różnicowoprądowych, gdyż nie chronią one przed wpływem mogącym spowodować mikroporażenie. Mogą również doprowadzić do wyłączenia napięcia w trakcie zabiegu, co nigdy nie powinno nastąpić.



Rys.2: Schemat instalacji dla pomieszczeń grupy 2 [4].

gdzie: **UKSI** – układ kontroli stanu izolacji (reagujący na zmniejszenie się poziomu izolacji poniżej 50 k $\Omega$ ), z przyciskiem kontrolnym,  
**KS** – kaseta ze wskaźnikiem świetlnym i akustycznym (lampka zielona – stan prawidłowy, lampka pomarańczowa i brzęczyk – stan awaryjny), **PE** – przewód ochronny – szyna połączeń ochronnych urządzeń elektrycznych, **EC** – szyna połączeń wyrównawczych obcych mas metalowych

Wyłączniki różnicowoprądowe muszą być natomiast stosowane jako zabezpieczenia przewodnych aparatów rentgenowskich i mogą być stosowane do zabezpieczania odbiorników o mocy ponad 5 kVA zainstalowanych na stałe, obwodów gniazdek, które nie mogą mieć zastosowania medycznego, instalacji oświetleniowej (zawsze w układzie TN-S).

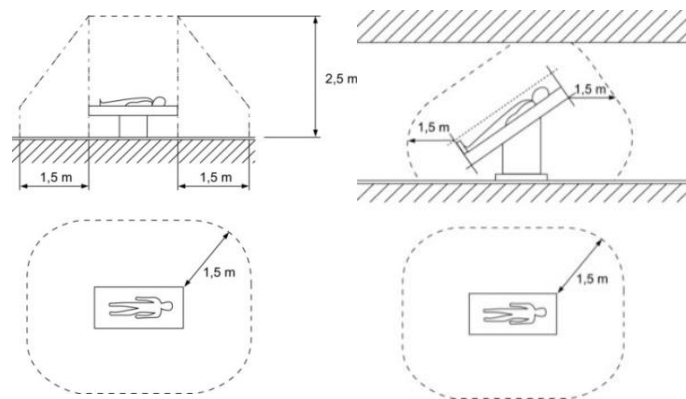
Należy podkreślić, że mimo stosowania transformatorów separacyjnych, system ten nie ma nic wspólnego z ochroną przez separację, dla której nie wolno stosować żadnych uzemień.

Należy przy tym pamiętać o zabezpieczeniu pacjenta przed pojawieniem się przypadkowej różnicy potencjałów na dowolnych dostępnych częściach przewodzących. W tym celu wszystkie metalowe obudowy urządzeń elektrycznych i kołki ochronne gniazd odbiorczych

powinny być połączone z szyną wyrównawczą **PE**, a stałe masy metalowe nienależące do urządzeń elektrycznych (grzejniki c.o., metalowe futryny drzwi, wbudowane szafy, konstrukcje budowlane, ekrany itp.) – z szyną **EC**. Obydwie szyny **PE** i **EC** powinny być ze sobą połączone w sposób łatwy do rozłączenia i uziemione.

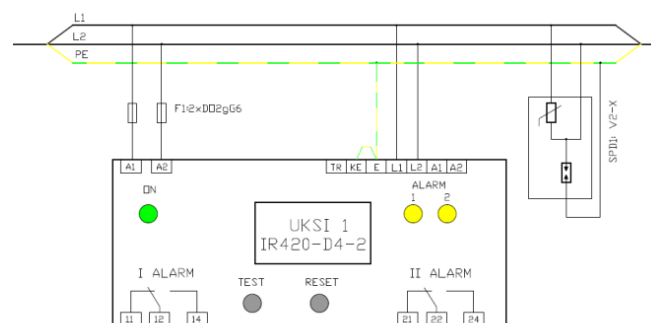
Przypadkowa różnica potencjałów na różnych częściach przewodzących nie powinna przekraczać **10 mV** i **1 mV** dla pomieszczeń **grupy 2**. Wprawdzie te zalecenia dotyczące pomieszczeń **grupy 2** eksploatowanych medycznie w zakresie bezpośredniego otoczenia pacjenta (**rys. 3**), to jednak ze względu na długości przewodów łączeniowych i przypadkowych połączeń mas metalowych, rozciągają się na całe pomieszczenie.

Uwzględnienie prądów rozruchowych oraz odkształconych przy doborze mocy zasilacza UPS jest niezbędne dla jego poprawnego funkcjonowania. **UPS** o zbyt małej mocy przeznaczony do zasilania odbiorników nieliniowych lub silników elektrycznych przy wzroście obciążenia automatycznie przejdzie na bypass zewnętrzny co skutkowało będzie pozbawieniem układu zasilania funkcji napięcia gwarantowanego.



Rys.3: Bezpośrednie otoczenie pacjenta [7]

Bardzo ważnym elementem jest ochrona przepięciowa w instalacjach zasilanych przez elektromedyczny transformator separacyjny. Zastosowanie ogranicznika przepięć, który łączy przewody dołączone do zacisków transformatora przez warystor, który poprzez iskiernik jest połączony z uziemionym przewodem **PE**. Takie rozwiązanie umożliwia ograniczenie przepięć oraz neutralizację ładunków elektrostatycznych. Schemat **UKSI** z przyłączonym ogranicznikiem przepięć typu **VCX-2** przedstawia **rysunek 4**.



Rys.4: Przykład UKSI wraz z przyłączonym ogranicznikiem przepięć CCX-2 [16].

Moc zasilacza UPS podawana w kartach katalogowych dotyczy wyjścia. Moc wejściowa zasilacza nie jest równa mocy wyjściowej. Zasilacz pobiera z sieci moc większą niż oddaje zasilanym odbiornikom. Podczas projektowania układów zasilania UPS należy uwzględnić ten problem. Dobierając moc zasilacza UPS na podstawie mocy czynnej

zapotrzebowanej  $P_z$  należy przyjmować 25% rezerwy w celu skompensowania chwilowego wzrostu mocy lub ewentualnych błędów jej oszacowania.

Ponieważ zasilacz UPS musi pokryć zapotrzebowanie mocy czynnej  $P_z$  oraz mocy biernej  $Q_z$ , w przypadku, gdy UPS konwertuje energię przy współczynniku mocy  $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{nUPS}$ , zmniejsza się zdolność wykorzystania mocy czynnej UPS ze względu na możliwości przełączeniowe układu półprzewodnikowego falownika. Falownik zasilacza UPS zasilający odbiorniki posiada ograniczenia wydajności mocy czynnej związanej z kształtowaniem przebiegu napięcia przy poborze prądu odbiorników zarówno o charakterze pojemnościowym jak i indukcyjnym, czyli  $\cos \varphi_{nUPS}$ , zatem w przypadku wytwarzania energii elektrycznej przy współczynniku  $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{nUPS}$  skutkuje zmniejszeniem jego wykorzystania. Względne obciążenie zasilacza UPS mocą czynną można określić współczynnikiem wykorzystania, który należy obliczyć z poniższego wzoru [4]:

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{nUPS}} \quad (1)$$

Wymagana minimalna moc czynna zasilacza UPS musi spełniać następującą nierówność:

$$P_{UPSmin} \geq \frac{P_z}{p} \quad (2)$$

Obliczony ze wzoru (1) współczynnik wykorzystania „ $p$ ”, należy podstawić do wzoru (2). W przypadku, gdy  $p \geq 1$ , do wzoru (2) należy wstawić wartość „1”. Wartość współczynnika mocy  $\cos \varphi_{nUPS}$  należy przyjąć zgodnie z DTR zasilacza UPS. W przypadku braku informacji w tym zakresie można przyjmować  $\cos \varphi_{nUPS} = 0,8$  dla zasilaczy UPS o konstrukcji transformatorowej lub  $\cos \varphi_{nUPS} = 0,9$  dla zasilaczy beztransformatorowych z falownikiem IGBT oraz  $\cos \varphi_{nUPS} = 1$  dla falowników wielostopniowych. Moc pozorna zasilacza UPS musi spełniać następującą nierówność:

$$S_{nUPS} \geq \frac{P_{UPSmin}}{\cos \varphi_{nUPS}} \quad (3)$$

gdzie:

$P_{UPSmin}$  - minimalna mocy czynna, jaką musi pokryć generator zespołu prądowłórczego, w [kW]

$\cos \varphi_{nUPS}$  - znamionowy współczynnik mocy zasilacza UPS, w [-] (wartość  $\cos \varphi_{nUPS}$  należy przyjmować na podstawie DTR producenta UPS).

W przypadku, gdy zasilacz służy do zasilania urządzeń z dużym prądem rozruchowych, za podstawę doboru mocy należy przyjmować prądy rozruchowe tych urządzeń, które nie mogą przekraczać wartości prądu znamionowego zasilacza UPS z uwzględnieniem jego chwilowego przeciążenia określonego w DTR producenta. Nieco problemu w tym zakresie może nastąpić transformator elektromedyczny, którego prądy rozruchowe zgodnie katalogiem producenta mogą wynosić:  $I_r = 12 \cdot I_n$ , gdzie:  $I_n$  – prąd znamionowy transformatora.

W takim przypadku przyjęcie mocy zapotrzebowanej wyznaczonej z wykorzystaniem spodziewanej wartości prądu rozruchowego transformatora dla potrzeb doboru zasilacza UPS nie znajduje technicznego uzasadnienia. Przyjęcie tak dużych wartości prądów dla potrzeb doboru mocy zasilacza UPS, skutkowało by znaczącym przewymiarowaniem zasilacza, które jest nieuzasadniona technicznie i ekonomicznie. Zasadnym jest dobór zasilacza UPS do

zasilania transformatora elektromedycznego dla wartości mocy znamionowej przy pracy w stanie ustalonym, ze względu na rozruch transformatora przez tor bypassu zasilacza UPS.

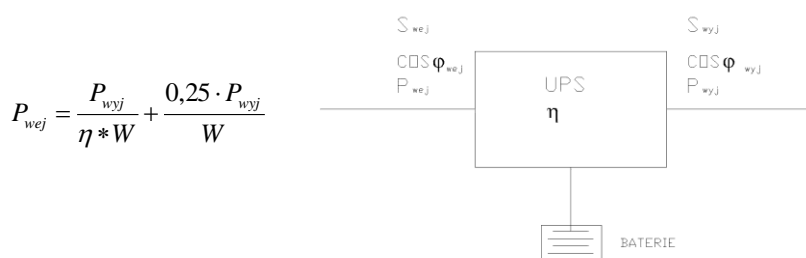
Jest to jednoznaczne z wyeliminowaniem akumulatorów z toru zasilania na czas rozruchu transformatora, który trwa bardzo krótko i jest realizowany w warunkach niezagrażających życiu pacjentów. Należy jednak mieć świadomość, że w takim przypadku również występują pewne ograniczenia wynikające z wartości dopuszczalnego prądu obciążenia toru bypassu oraz czasu trwania rozruchu. Dopuszczalne wartości prądów możliwe do pobrania przy pracy z baterii wybranych zasilaczy UPS przedstawia **tabela 1**.

W przypadku, gdy zasilacz UPS zasila odbiorniki nieliniowe powstają zniekształcenia prądu pobieranego ze źródła. Zniekształcenia te powodują pojawianie się w sieci zasilającej oraz instalacji odbiorczej harmonicznych, interharmonicznych i subharmonicznych, które na ogół nie są w fazie z napięciem. Zjawisko wyższych harmonicznych powoduje, że oprócz mocy czynnej i biernej pojawia się moc deformacji, co oznacza, że moc pozorna nie może być określona jako stopnia odkształcenia przebiegów napięcia i prądów, czyli od zawartości wyższych harmonicznych, a w układach wielofazowych również od stopnia asymetrii.

**Tab.1:** Zdolność zwarciova przykładowych zasilaczy UPS podczas pracy z baterii iloczyn prądu i napięcia

Model UPS	Masterys IP+					Masterys GP				Delphys GP
	15 kVA	20 kVA	30 kVA	40 kVA	60 kVA	20 kVA	40 kVA	80 kVA	120 kVA	
Sn	15 kVA	20 kVA	30 kVA	40 kVA	60 kVA	20 kVA	40 kVA	80 kVA	120 kVA	160 kVA
Pn	14 kW	18 kW	27 kW	32 kW	48 kW	20 kW	40 kW	80 kW	120 kW	160 kW
We/Wy	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
0ms - 40ms	165 A	216 A	352 A	350 A	520 A	74 A	156 A	313 A	470 A	800 A
40ms - 100ms	140 A	183 A	293 A	350 A	520 A	62 A	126 A	250 A	420 A	800 A

W przypadku obciążeń asymetrycznych współczynnik mocy  $\cos\phi$  nie jest jednakowy dla poszczególnych faz. W każdej fazie jego wartość może być różna i uzależniona od wartości mocy czynnej i biernej obciążającej fazę. Oszacowanie wartości mocy deformacji powodowanej niesymetrycznym obciążeniem jest dość trudne, jednak współczesne zasilacze UPS beztransformatorowe z falownikiem wykonanym w technologii IGBT są odporne na niesymetrię obciążenia wyjściowego. Zależność mocy wejściowej oraz mocy wyjściowej przedstawia **rysunek 5**.



**Rys.5:** Opis mocy wejściowej i wyjściowej w zasilaczu UPS [8]  
**W** – współczynnik zniekształceń; **η** - sprawność zasilacza

Osobnym problemem jest wymagany czas podtrzymania zasilania przy pracy baterijnej. W tym przypadku jedynym wyznacznikiem są wymagania stawiane przez użytkownika.

W praktyce przy zasilaniu zasilacza UPS przez zespół prądotwórczy można przyjmować czas podtrzymania na 15-20 minut, gdyż zespół prądotwórczy przejmie zasilanie



w czasie do 30 s po zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej (jeśli zespół prądotwórczy zasila urządzenia przeciwpożarowe oprócz ogólnego podtrzymania zasilania całego obiektu, wymagany czas przejęcia zasilania zgodnie z normą **PN-EN 12101-10:2007** [14] wynosi 15 s).

Zgodnie z normą **IEC 60364-7-710:2012 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 7-710. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Pomieszczenia medyczne**[10]. Wymagany czas pracy zasilacza UPS wynosi:

- bez współpracy z zespołem prądotwórczym – **3 godziny**,
- przy współpracy z zespołem prądotwórczym – **1 godzinę**.

Norma ta dostępna jest w wersji angielskiej i nie została powołana w Rozporządzeniu [1], przez co jej stosowanie jest dobrowolne na zasadach wiedzy technicznej.

Dobór zabezpieczeń zasilacza UPS na jego wejściu jest uzależniony od wartości mocy zapotrzebowanej przez przyłączone do jego wyjścia odbiorniki. Przy zasilaniu odbiorników przez tor przekształtnika moc zapotrzebowana jest większa niż moc pobierana przy zasilaniu przez tor bypassu zewnętrznego. Skutkuje to tym, że zabezpiecza się osobno tor przekształtnika oraz tor bypassu statycznego i tor bypassu zewnętrznego.

Tor przekształtnika oraz bypassu statycznego zabezpiecza się bezpiecznikami topikowymi lub wyłącznikami nadprądowym instalacyjnymi o jednakowym prądzie znamionowym. Decydującym czynnikiem o doborze prądu znamionowego zabezpieczenia jest moc zapotrzebowana na wejściu zasilacza UPS przy pełnym obciążeniu. Natomiast prąd znamionowy zabezpieczeń toru bypassu zewnętrznego jest uzależniony od mocy zapotrzebowanej przez odbiorniki.

### Przykład

Dobrać zasilacz UPS do zasilania urządzeń elektrycznych poprzez transformator elektromedyczny ES710/8000 o następujących parametrach  $U_{n1}/U_{n2}=230V/230V$ ;  $S_n=8000$  VA; prąd rozruchu  $I_r=12 \cdot I_n$ .

$$I_B = \frac{S_n}{U_n} = \frac{8000}{230} = 34,8 \text{ A}$$

$$I_r = 12 \cdot I_B = 12 \cdot 34,8 = 417,6 \text{ A}$$

Czas trwania stanu nieustalonego transformatora jest krótki, przez co dobór mocy zasilacza UPS do mocy zapotrzebowanej przez rozruch transformatora jest bezcelowym działaniem.

Zgodnie z katalogiem transformatorów elektromedycznych, transformator ES710/8000 wymaga zabezpieczenia bezpiecznikiem typu gG przy prądzie znamionowym  $I_n=63$  A. Oznacza to, że współczynnik  $k=I_n/I_B = 63/34,7 \in (1,8-2)$ . Zatem należy przyjąć obciążenie prądowe zasilacza UPS o wartości 63 A. Przy takim założeniu wymagana moc wyjściowa zasilacza UPS powinna wynosić 10 kVA. Przy zabezpieczeniu transformatora bezpiecznikiem Do2gG63 w torze bypassu dobranym ze względu na rozruch transformatora, odporność zwarciowa zasilacza wynosi 4 kA. Prąd wyłączenia zabezpieczenia w czasie nie dłuższym od 0,4 s zgodnie z charakterystyką prądowo-czasowa bezpiecznika wynosi  $I_a = 655,2$  A. Podczas zwarcia w transformatorze zasilacz UPS musi przejść na bypass gdyż zgodnie z jego kartą katalogową praca z baterii dopuszcza jedynie pobór prądu o wartości 113 A. Prąd ten nie gwarantuje zadziałania zabezpieczeń w czasie nieprzekraczającym 5 s gdyż zgodnie

z charakterystyką prądowo czasową bezpiecznika Do2gG63 prąd gwarantujący zadziałanie zabezpieczenia w czasie nie dłuższym od 5 s, wynosi  $I_a = 333,9 \text{ A}$ .

Po rozruchu transformatora prąd obciążenia spada i wynosi po stronie pierwotnej 36 A.

Zatem moc zasilacza UPS przy pracy bateryjnej musi gwarantować wydatek prądowy wynoszący więcej niż 36 A.

Moc wyjściowa zasilacza w takim przypadku musi wynosić nie mniej niż:

$$P_{UPS \text{ wyj}} = I_{nT} \cdot U_{nf} = 36 \cdot 230 = 8280 \text{ VA} \Rightarrow 10000 \text{ VA}$$

Zabezpieczenie toru przekształtnika, przy założeniu współczynnika mocy zapotrzebowanej przez odbiorniki przyłączone do transformatora elektromedycznego  $\cos\varphi=0,9$ , czyli  $P_Z=10000 \cdot 0,9=9000 \text{ W}$ :

$$P_{wsj \text{ UPS}} = \frac{P_Z}{W \cdot \eta} + \frac{0,25 \cdot P_Z}{W} = \frac{9000}{0,9 \cdot 0,95} + \frac{0,25 \cdot 9000}{0,9} = 13026,4 \text{ W}$$

$$I_{B \text{ UPS}} = \frac{P_{wsj \text{ UPS}}}{U_{nf} \cdot \cos\varphi} = \frac{13026,4}{230 \cdot 0,9} = 62,93 \text{ A}$$

Do zabezpieczenia toru bypassu wewnętrznego należy przyjąć zabezpieczenie Do2gD63.

Natomiast ochronę przeciwporażeniową w obwodach elektromedycznych należy projektować zgodnie z zasadami opisanymi w treści referatu.

## 6. Ochrona od porażień w obwodach zasilanych przez UPS

W newralgicznych pomieszczeniach elektromedycznych takich jak blok operacyjny lub OIOM ze względu na wymaganą wysoką niezawodność zasilania zabronione jest stosowanie wyłączników różnicowoprądowych. Zdolność zwrciową wraz z dopuszczalnymi czasami trwania zwrcia dla wybranych zasilaczy UPS przedstawia **tabela 1**.

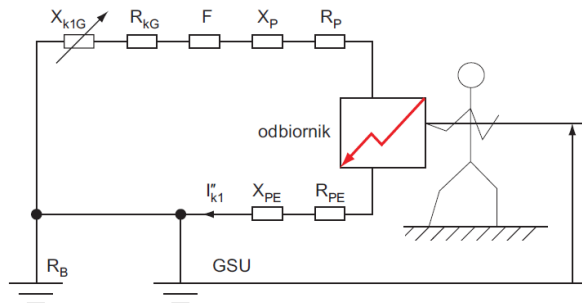
Analiza danych zawartych w **tabeli 1** prowadzi do wniosku, że zasilacz UPS nie jest w stanie zagwarantować przepływu prądu o wartości umożliwiającej zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego w czasie nie dłuższym od określonego w normie **PN-HD 60364-4-41** [11].

Dla przykładu zasilacz o mocy **60 kVA** gwarantuje prąd zwarcia z baterii o wartości 520 A przez czas nie dłuższy od **100 ms**, podczas gdy prąd zwarcia gwarantujący nie przekroczenie dopuszczalnego czasu trwania zwrcia w jakim nastąpić powinno samoczynne wyłączenie nie powinien przekraczać wartości **2400 A**. Stan ten niegwarantuje zapewnienia skutecznej ochrony od porażień realizowanej przez samoczynne wyłączenie.

Ograniczenie prądu zwarcia w zasilaczu UPS do wartości z przedziału **(2,5-3)·I<sub>n</sub>** jest spowodowane koniecznością ochrony elementów aktywnych przekształtnika. W takim przypadku pomocne może być sterowanie wartością spodziewanego napięcia dotykowego  $U_{ST}$ , tak by jego wartość nie przekraczała wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$ . Postępowanie takie jest zgodne z normą [11], a sposób realizacji tego zalecenia (przy uproszczonym założeniu:  $Z_{PE} \approx R_{PE}$ ) wyjdzie **rysunek 5**. Dokładna analiza **rysunku 5** oraz zamieszczonych przy nim wzorów, prowadzi do oceny dwóch przypadków:

- jeżeli  $I_k < I_a$  – czy spodziewane napięcie dotykowe  $U_{ST}$  jakie powstanie na częściach przewodzących dostępnych chronionego urządzenia, w warunkach zakłóconych nie przekroczy napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$ ?

b) jeżeli  $I_k \geq I_a$  – czy nastąpi samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym od określonego w normie **PN-HD 60364-4-41:2009** [11] ?



$$U_{ST} = I_a \cdot R_{PE} \cdot k_p \leq U_L$$

$$R_{PE} = \frac{l \cdot k_p}{\gamma \cdot S_{PE}}$$

$$U_L \geq \frac{I_a \cdot l \cdot k_p}{\gamma \cdot S_{PE}}$$

$$S_{PE} \geq \frac{I_a \cdot l \cdot k_p}{\gamma \cdot U_L}$$

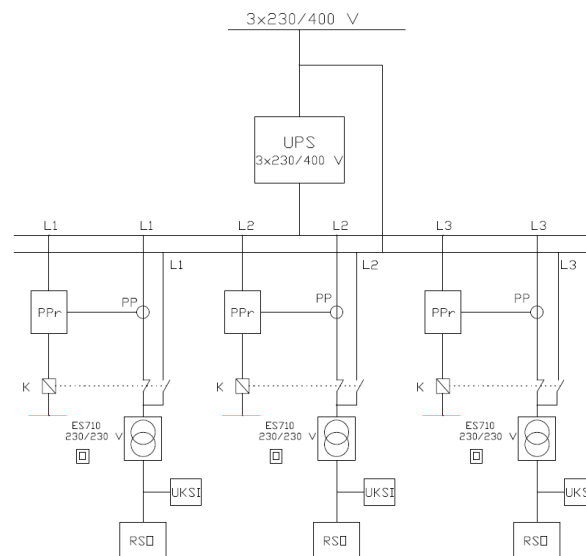
**Rys. 5:** Metodyka wyznaczania przekroju przewodu ochronnego  $S_{PE}$  łączącego chronione urządzenie z GSU, dla spełnienia warunku  $U_{ST} \leq U_L$  [4]

**Gdzie:**

$U_{ST}$  – spodziewana wartość napięcia dotykowego; GSU – główna szyna uziemiająca;  $S_{PE}$  – minimalny przekrój przewodu ochronnego, gwarantujący spełnienie warunku  $U_{ST} \leq U_L$ ;  $k_p$  – współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ temperatury pożaru, którego sposób wyznaczenia określa norma **N SEP-E 005** [13] – w warunkach normalnych (nie pożarowych  $k_p=1$ ;  $l$  – długość przewodu łączącego odbiornik z GSU;  $I_a$  – prąd wyłączający zabezpieczenie w czasie wymaganym przez normę;  $R_{PE}$  – rezystancja przewodu ochronnego  $\gamma$  - konduktywność przewodu ochronnego łączącego chroniony odbiornik z GSU).

Przyjęcie takiego sposobu rozwiązania ochrony przeciwporażeniowej gwarantuje jej zachowanie przy dowolnej wartości spodziewanego prądu zwarciego  $I_k$ .

W przypadku zastosowania zasilacza trójfazowego do zasilania w ramach jednej sali operacyjnej lub OIOM należy wykorzystywać jedną fazę. W celu uniknięcia przejścia na bypass przy przeciążeniu jednej z faz, co spowoduje utratę gwarancji zasilania w całej zasilanej instalacji obwody odbiorcze w poszczególnych fazach należy wyposażyć w przełączniki priorytetu, które wyeliminują fazę uszkodzoną zapewniając utrzymanie zasilania gwarantowanego w instalacjach zasilanych z pozostałych faz. Przykład takiego układu przedstawia **rysunek 6**. Wykrycie przeciążenia powoduje przełączenie w czasie nie dłuższym od 0,5 s.



**Rys.6:** Uproszczony układ zasilania bloku operacyjnego z wykorzystaniem trójfazowego zasilacza UPS

**Uwaga**

*W przypadku zastosowania zasilacza UPS typu 3/3 gdzie każda faza na jego wyjściu tworzy osobny obwód jednofazowy, zwarcie w jednej z faz za UPS-em skutkowało będzie przełączeniem układu zasilania na bypass. W przypadku długotrwałego utrzymywania się takiego stanu, co będzie miało miejsce w przypadku  $I_k < I_b$ , ulega utracie bezpieczeństwo zasilania w fazach nieobjętych zwarcie. W celu wyeliminowania fazy objętej zwarcie i umożliwienia szybkiego powrotu do pracy przekształtnikowej zasilacza UPS, każda faza musi zostać dodatkowo zabezpieczona z wykorzystaniem układu automatyki umożliwiającej przerwanie zasilania w fazie objętej zwarcie w czasie jak najkrótszym od jego powstania, lecz nie dłuższym od 5 sekund. Układ automatyki zabezpieczeniowej należy wówczas projektować przed transformatorem elektromedycznym.*

## **Literatura:**

1. Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz. U. z 2015 roku poz.1422 z późniejszymi zmianami].
2. Rozporządzenie Ministra Łączności z 21 kwietnia 1995 roku w sprawie zasilania energią elektryczną obiektów budowlanych łączności [Dz. U. Nr 50/1995 poz. 271].
3. Poradnik projektanta Systemów Sygnalizacji Pożaru – cz. II – SITP Warszawa 2009
4. J. Wiatr, M. Orzechowski – Poradnik Projektanta Elektryka – Grupa Medium Warszawa 2012, wydanie V
5. J. Wiatr, A. Boczkowski, M. Orzechowski –Ochrona przeciwporażeniowa oraz dobór przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia – DW MEDIUM Warszawa 2010 - wydanie I
6. T. Sutkowski – Rezerwowe i bezprzerwowe zasilanie w energię elektryczną. Urządzenia i układy. – COSiW SEP 2007
7. K. Sałasiński – Bezpieczeństwo elektryczne w zakładach opieki zdrowotnej – COSiW SEP 2007
8. **PN-HD 60364-7-710:2012** Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 7-710: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Pomieszczenia medyczne. – wersja angielska
9. **PN-EN 60896-11:2007** Baterie ołowiowe stacjonarne. Część 11. Ogólne wymagania i metody badań.
10. **PN-HD 60364-7-710:2012** Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 7-710. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Pomieszczenia medyczne.
11. **PN-HD 60364-4-41:2009** Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41. Instalacje dla zapewnienia bezpieczeństwa Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
12. **PN-EN 62040-1:2009** Systemy bezprzerwowego zasilania (UPS). Część 1. Wymagania ogólne i wymagania dotyczące bezpieczeństwa UPS. Aneks M (normatywny). Wentylacja przedziałów bateryjnych.
13. **N SEP-E 005** Dobór przewodów elektrycznych do zasilania urządzeń, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.
14. **PN-EN 12101-10:2007** Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 10: Zasilacze.
15. Katalogi producentów zasilaczy UPS (Socomec)
16. J. Wiatr – Uproszczony projekt instalacji bloku operacyjnego – elektro.info nr 1-2/2019