

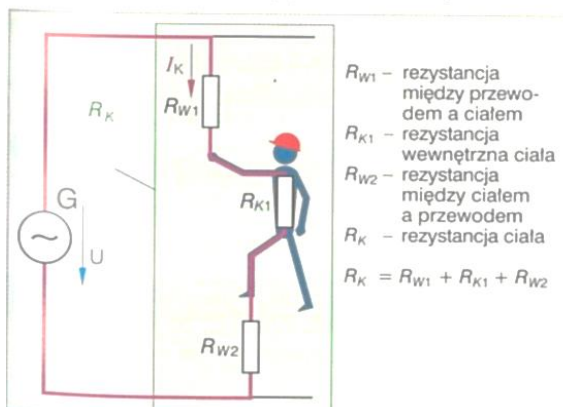
2.3.3.1 Działanie prądu elektrycznego na organizm człowieka

Z wielu względów prąd elektryczny może być groźny dla ludzi i zwierząt, bowiem prawie wszystkie żywe organy funkcjonują w oparciu o elektryczne impulsy. Na przykład słabe impulsy (ok. 50 mV) z mózgu sterują ruchami mięśni. Również informacje „w odwrotnym kierunku”, tj. z mięśni, oka, komórek zapachowych itp., przekazywane do mózgu są natury elektrycznej. Ponieważ ciało przewodzi elektryczność, więc zewnętrzne obce prądy mogą zakłócić funkcjonowanie ważnych organów człowieka. Przykładowo, jeżeli zostanie dotknięty element będący pod napięciem, to przez ciało może popłynąć prąd wielokrotnie wyższy od prądów normalnie występujących w tej części ciała. Nastąpi wówczas miejscowe porażenie mięśni, co uniemożliwi np. oderwanie palców od miejsca dotyku.

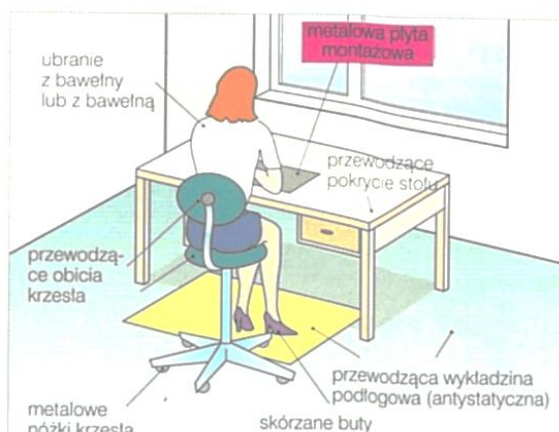
Reakcja ludzkiego ciała na prąd zależy m.in. od czasu trwania przepływu oraz jego natężenia (rys. 2).

Jeżeli prąd przemienny przepłynie przez mięsień sercowy, to rytm serca stara się przystosować do silnych zewnętrznych pobudzeń. Prowadzi to do zakłócenia rytmu serca. Gdy zewnętrzne pobudzenie będzie zgodne z tzw. szkodliwą fazą skurczów serca, to może dojść do niebezpiecznego migotania komór sercowych, co może doprowadzić do śmierci.

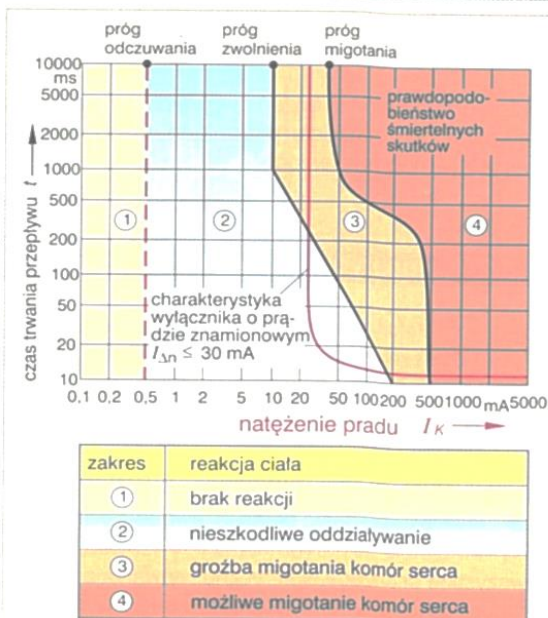
Natężenie przepływającego przez ciało prądu zależy m.in. od rezystancji R_K , która składa się z rezystancji samego ciała R_{K1} i tzw. rezystancji przejść: wejściowej R_{W1} i wyjściowej R_{W2} (rys. 3). Wartości R_{W1} i R_{W2} zależą od istniejących warunków. I tak: sucha skóra, suche ubranie mają znaczną rezystancję, natomiast wilgoć, tj. pot, mokra podłoga itp., mają znikomą rezystancję. Rezystancje przejść maleją wraz ze zwiększaniem się powierzchni styku.



Rys. 3. Rezystancja ciała R_K



Rys. 1. Stanowisko montażowe urządzeń elektronicznych zabezpieczone przed wyładowaniami elektrostatycznymi



Rys. 2. Zakresy oddziaływania prądu przemiennego (50 Hz) na dorosłą osobę (wg IEC479)

Przykład:

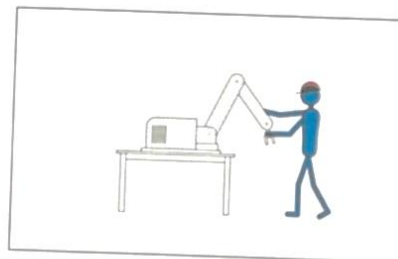
Przy przeciętnej wartości rezystancji $R_K = 1000 \Omega$, po dotknięciu do części będącej pod napięciem $U_B = 50 \text{ V}$ przez ciało popłynie prąd $I_K = 50 \text{ mA}$ ($U_B = R_K \cdot I_K = 1000 \Omega \cdot 0,05 \text{ A} = 50 \text{ V}$).

- Napięcia przemiennie powyżej 50 V zagrażają życiu ludzi (dla zwierząt 25 V).
- Napięcia stale powyżej 120 V zagrażają życiu ludzi (dla zwierząt 60 V).
- Prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz jest groźniejszy od stałego, bowiem może spowodować migotanie komór serca.

Przykład:

Podczas naprawy silnika w manipulatorze mechatronik dotknął część będącą pod napięciem 230 V:

- obliczyć, jakie będzie natężenie prądu przepływającego przez jego ciało?
- jakie zagrożenia wystąpią, jeżeli czas trwania przepływu prądu wynosił $t = 0,1$ s?

**Rozwiązanie:**

$$a) I_K = \frac{U}{R_K} = \frac{230 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 230 \text{ mA}$$

- są to wartości z trzeciego zakresu oddziaływania (rys. 2 z poprzedniej strony). **Może wystąpić skurcz mięśni oraz groźba migotania komór sercowych.**

Ciepło wydzielane w miejscach zetknięcia powoduje oparzenia (spalenia), mogące dochodzić nawet do oparzeń 4 stopnia (zwęglenia). Dalszymi skutkami, które mogą się objawić dopiero po kilku dniach, są: przeciążenie nerek i elektrolityczny rozkład krwi prowadzący do objawów silnego zatrucia. Zatem wizyta u lekarza jest konieczna, nawet jeżeli od razu po wypadku nie są widoczne i odczuwalne skutki wypadkowe.

Ze względu na niebezpieczeństwo wypadku zabroniona jest praca przy zespołach będących pod napięciem. Wyjątkowo: przy napięciu przemiennym powyżej 50 V i stałego powyżej 120 V może pracować persone o specjalnych uprawnieniach¹.

2.3.3.2 Kompatybilność elektromagnetyczna

Urządzenia elektryczne są kompatybilne, o ile nie oddziałują elektromagnetycznie w stopniu niedopuszczalnym na swoje otoczenie i pracują bezzakłóceniuowo mimo elektromagnetycznych wpływów otoczenia.

Przyrządy i urządzenia elektryczne oddziałują na otoczenie i odwrotnie (rys. 1 na następnej stronie). Prądy wywołują pola magnetyczne, napięcia – pola elektryczne. Ich przemiana wywołuje powstawanie i rozprzestrzenianie się fal elektromagnetycznych. Fale może wywołać również „iskwienie”.

Szczególnie silnymi źródłami zakłóceń są:

- wszystkie przyrządy elektryczne wytwarzające iskry, np. przełączniki, styczniki, silniki z komutatorami,
- naturalne i sztuczne błyskawice, a także wyładowania elektrostatyczne,
- urządzenia nadawcze, radary,
- linie wysokiego napięcia,
- elektronicznie taktowane nastawniki.

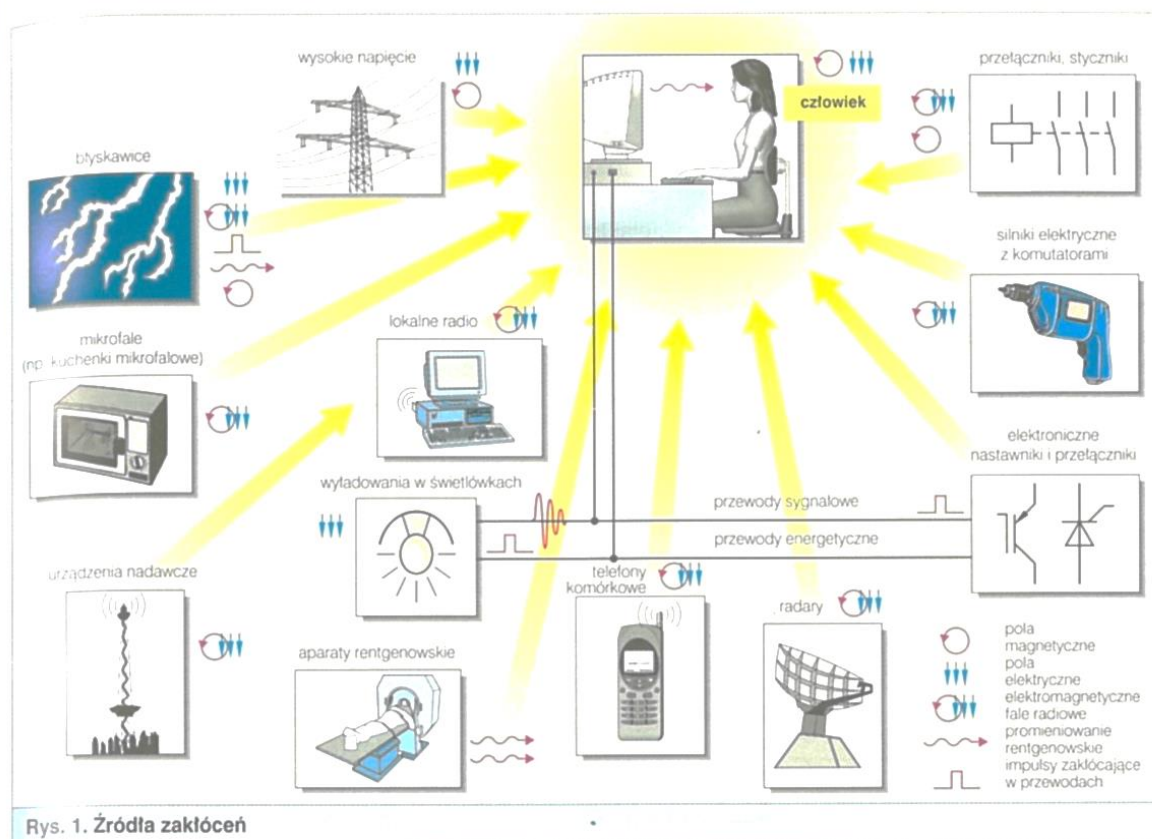
Kompatybilność elektromagnetyczną można poprawić przez usunięcie źródeł zakłóceń i przez stosowanie środków chroniących.

Ochrona przed zakłóceniami

Pola elektrostatyczne ekranuje się za pomocą metalowych obudów (**klatka Faradaya**²). Fale elektromagnetyczne można również ekranować przy pomocy metalowych obudów, także ze szkła ołowiowego, co jest stosowane np. w przyrządach mikrofalowych i w aparatach rentgenowskich. Zmienne pola magnetyczne, na skutek sprzężeń indukcyjnych, wywołują napięcia zakłócające. Sprzężenia indukcyjne można usunąć lub zmniejszyć poprzez skrę-

¹ Dz.U. nr 89/2003, poz. 828 i Dz.U. nr 141/2005, poz. 1189;

² Michael Faraday (1791–1867) – angielski fizyk, chemik



cenie przewodów. Wówczas zaindukowane napięcia działają przeciwnie i w znacznym stopniu się znoszą. Dobrą ochronę uzyskuje się przez ekranowanie dobrze przewodzącą plecionką lub dobrze przewodzącą powłoką metaliczną. Zmienne pola magnetyczne wytwarzają w ekranie prądy wirowe, które przeciwdziałają polu źródłowemu. Przed stałym polem magnetycznym chronimy przyrządy mumetalem lub stalową obudową.

Przed falami elektromagnetycznymi chroni się przyrządy dobrze przewodzącymi ekranami lub powierzchniami obudów. Zakłócenia ze strony sieci zasilającej zmniejsza się przez filtry sieciowe, ochronę przed przepięciami – przez odprowadzenia przepięciowe: gazowe, diody tłumiące i warystory (dotyczy także ochrony przed skutkami wyładowań burzowych).

Pola elektromagnetyczne działają również na żywą, przewodzącą prąd elektryczny tkankę oraz na układ nerwowy – tak więc i na człowieka. Dopóki człowiek przebywa w polu elektromagnetycznym o niewielkim natężeniu, np. w polu wytwarzanym przez sieci i układy elektryczne niskiego napięcia ($U \leq 1000 \text{ V}$), to nie należy się obawiać negatywnych skutków jego działania. Ze względu na wysoką częstotliwość bardzo negatywny wpływ na organizm człowieka mają fale emitowane przez nadajniki radiowe i radary. Szczególnie niebezpieczne są mikrofały oraz promieniowanie rentgenowskie. Z tego powodu w czasie używania kuchenki mikrofalowej jej drzwi muszą być zamknięte.

2.3.4 Bezpieczna praca z urządzeniami elektrycznymi

Z analizy danych statystycznych wynika, że zarówno laicy, jak i fachowcy bardzo często nie doceniają istniejącego zagrożenia. Większość wypadków wynika z lekceważenia przepisów i braku odpowiedniego przeszkolenia. Największa liczba wypadków (ok. 85%) ma miejsce przy instalacjach o napięciu 130÷400 V.

W sytuacjach wyjątkowych, np. gdy wyłączenie napięcia pociągałoby za sobą olbrzymie straty (stalownia, huty szkła itp.), dopuszcza się pewne odstępstwa od wymienionego zakazu. Wyjątki te omawia m.in. norma PN-EN 61477/203/A2 – norma określa także wymagania odnośnie pracowników biorących udział w takich operacjach.

2.3.4.1 Pięć reguł bezpiecznej pracy z urządzeniami elektrycznymi

Przed przystąpieniem do pracy przy urządzeniu elektrycznym należy ustawić tablicę zakazu włączenia (rys. 1).

Aby zmniejszyć groźbę zaistnienia wypadku podczas pracy przy urządzeniach elektrycznych, należy spełnić w podanej kolejności pięć poniższych reguł (tab. 1) opracowanych na podstawie PN-EN 50110-1.



Nie włączać –
pracują ludzie!

Rys. 1. Znak zakazu włączania z tabliczką dodatkową

Tab. 1. Pięć reguł bezpieczeństwa

1. Wyłączyć napięcie	- wyłączyć wszystkie części urządzenia, przy których będą prowadzone prace - wyłączyć instalacyjny wyłącznik nadmiarowy, usunąć bezpieczniki topikowe
2. Zabezpieczyć przed ponownym włączeniem	- zabezpieczyć (np. taśmą samoprzylepną) wyłączniki przed ponownym załączeniem - wyjąć wkładki bezpiecznikowe - wyłącznik zablokować klódką - wywiesić tablicę zakazu załączania
3. Sprawdzić stan napięcia	- brak napięcia sprawdza pracownik kwalifikowany - do sprawdzania używać dwubiegunowego próbnika napięć
4. Uziemić i zewrzeć	- najpierw zawsze uziemić, potem zewrzeć aktywne części urządzenia - elementy zwierające muszą być widoczne z miejsca pracy Reguła 4 nie dotyczy urządzeń o napięciu poniżej 1000 V (wyjątkiem są linie napowietrzne)
5. Osłonić i oddzielić sąsiadujące elementy znajdujące się pod napięciem	- przy urządzeniach o napięciu poniżej 1 kV jako osłony można zastosować maty i folie izolacyjne. Przy napięciu powyżej 1 kV wymagane są ścianki i linki odgradzające oraz tablice ostrzegawcze - ochrona osobista to: helm z osłoną twarzy, przylegające do ciała ubranie i rękawice

Osoba nadzorująca może zezwolić na pracę tylko po spełnieniu tych reguł w kolejności od 1 do 5 oraz po sprawdzeniu beznapięciowego stanu urządzenia.

Zezwolenie na ponowne uruchomienie może być wydane wyłącznie po wykonaniu powyższych czynności (reguł) w dokładnie odwrotnej kolejności.

2.3.4.2 Bezpieczna praca w pobliżu instalacji znajdujących się pod napięciem

Jeżeli trzeba pracować w sąsiedztwie urządzeń znajdujących się pod napięciem i nie można się zabezpieczyć przed dotykiem bezpośrednim, to szczególną uwagę należy zwrócić na dobór właściwych narzędzi i zachowanie bezpiecznych odległości (tab. 2).

Podane minimalne odległości obowiązują elektryków oraz innych pracowników, którzy mogą pracować w takich warunkach **tylko** pod nadzorem uprawnionych elektryków.

Tab. 2. Minimalne odległości ochronne

Napięcie znamionowe	Odległość ochronna od elementów pod napięciem, bez ochrony przed dotykiem bezpośrednim
do 1000 V	0,5 m
ponad 1 do 30 kV	1,0 m
ponad 30 do 110 kV	1,5 m
ponad 110 do 220 kV	2,5 m
ponad 220 do 380 kV	4,0 m

2.3.4.3 Bezpieczna praca przy wykonywaniu robót na instalacji znajdującej się pod na-

Wykonywanie robót na częściach instalacji znajdujących się pod napięciem wymaga nie tylko więcej czasu, specjalistycznych narzędzi i materiałów, ale także wyższego poziomu wiedzy, zaangażowania i poczucia odpowiedzialności zarówno wykonawcy, jak też osoby nadzorującej.

Wykaz prac, które można wykonywać przy bardzo niskim i niskim napięciu, zawiera **tab. 1**.

Tab. 1. Dopuszczalne prace wykonywane pod napięciem (przykłady)	
Napięcia znamionowe	Prace, które wolno wykonywać określonym osobom
do 50 V AC do 120 V DC	Osoba poinstruowana i wykwalifikowana: wszelkie prace.
od 50 V AC lub 120 V DC do 1000 V AC lub 1500 V DC	Osoba poinstruowana i wykwalifikowana: - używanie odpowiedniego wyposażenia do prób, pomiarów i regulacji, np. próbniki napięcia, drążki izolacyjne, narzędzia do poruszania elementów łatwych do przemieszczenia, - używanie odpowiednich narzędzi i środków do czyszczenia oraz zakładanie osłon i zapór, - wyjmowanie i zakładanie odpowiednimi uchwytami wkładek bezpiecznikowych nie chronionych przed dotykiem bezpośrednim, np. bezpieczników energetycznych, jeżeli można to zrobić bez zagrożenia, - spryskiwanie elementów pod napięciem podczas gaszenia pożaru, - prace przy akumulatorach z zachowaniem szczególnych środków ostrożności, - prace w polach prób i laboratoriach przy zachowaniu szczególnych środków ostrożności, kiedy wymagają tego warunki pracy, - zbijanie szronu i szadzi, np. na liniach napowietrznych, przy użyciu odpowiednich sztang izolacyjnych. Wyłącznie osoba wykwalifikowana: - lokalizacja uszkodzeń w obwodach pomocniczych, np. badanie działania układów i przyrządów, sprawdzanie sygnałów, - inne prace w stanach awaryjnych, gdy wydane zostało polecenie przez osobę nadzorującą.

Przy wszelkich pracach wykonywanych pod napięciem należy używać środków ochrony osobistej, narzędzi, urządzeń i przyrządów odpowiednich z uwagi na rodzaj wykonywanych czynności, wysokość napięcia i warunki otoczenia.

Decyzję o konieczności pracy pod napięciem może podejmować wyłącznie osoba sprawująca nadzór.

2.3.5 Ochrona przeciwporażeniowa

Przy prawidłowej eksploatacji urządzeń elektrycznych nie powinno dochodzić do porażeń ludzi, zwierząt lub uszkodzenia przedmiotów. Aby spełnić ten wymóg, należy przedsięwziąć określone działania ochronne, m.in. takie, aby po zaistnieniu błędnego działania nie wystąpiło za duże napięcie mogące porazić w razie dotyku lub powinno nastąpić automatyczne wyłączenie urządzenia. Ważniejsze techniczne środki ochrony przeciwporażeniowej zestawiono w **tab. 1 na następnej stronie**.

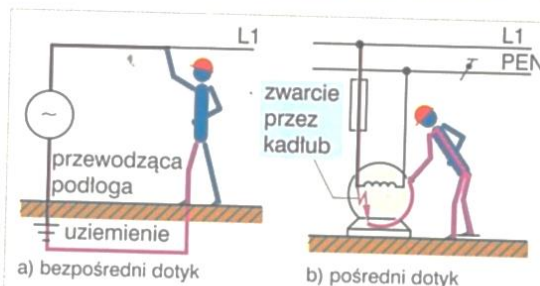
Tab. 1. Techniczne środki ochrony przeciwporażeniowej¹

Środki ochrony podstawowej (przed dotykiem bezpośrednim, rys. 1a)	izolacja podstawowa przegrody ochronne (obudowa, ogrodzenie) przeszkoda ochronna (bariera) umieszczenie poza zasięgiem ręki
Środki ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim, rys. 1b)	samoczynne wyłączanie zasilania w układzie TN, TT, IT urządzenia II klasy ochronności środowisko nieprzewodzące (izolowane stanowisko) nieuziemione połączenia wyrównawcze separacja elektryczna
Ochrona dodatkowa (uzupełniająca)	stosowana, gdy w/w środki nie są skuteczne przy wszystkich prawdopodobnych zagrożeniach

2.3.5.1 Ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim

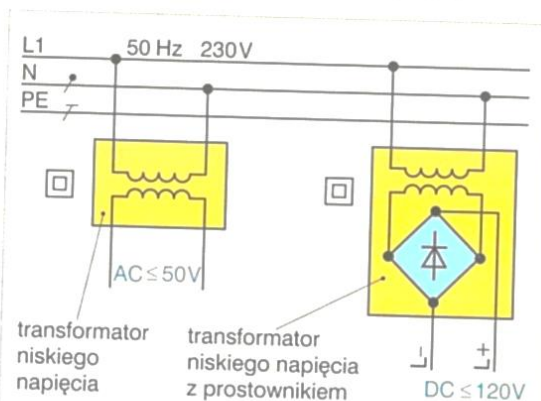
Bezpośredni dotyk² ma miejsce wtedy, gdy dochodzi do kontaktu ciała ludzkiego (zwierzęcego) z zespołem, który podczas normalnej pracy znajduje się pod napięciem (rys. 1a). Aby temu zapobiec, zespoły są izolowane lub zakrywane.

Dotyk pośredni zachodzi wtedy, gdy następuje kontakt z częścią urządzenia, na której podczas normalnej eksploatacji nie ma napięcia, a pojawiło się ono np. na obudowie silnika na skutek np. uszkodzenia izolacji (rys. 1b). Mówimy wówczas o „zwarcie przez kadłub”.

**Rys. 1. Bezpośredni i pośredni dotyk****2.3.5.2 Ochrona przez bardzo niskie napięcie**

W niskonapięciowych **obwodach ochronnych SELV i PELV** stosuje się napięcia do 50 V AC i 120 V DC. Różnice polegają na ich połączeniu z ziemią. Strony wtórnej SELV nie wolno uziemiać lub łączyć z innym obwodem napięciowym. Obwody PELV występują, gdy ze względu na funkcjonowanie sprzętu jego wtórna strona lub obudowa jest uziemiona.

Jeżeli w **obwodach SELV³** (rys. 2) lub **PELV⁴** (rys. 1 na następnej stronie), wolnych od napięć pasożytniczych, tj. takich, w których amplituda dodatkowych nakładających się na skuteczne przemienne napięcie nie przekracza 10%, to w zasadzie nie są wymagane środki zabezpieczające przed bezpośrednim dotykiem. Należy je jednak stosować, nawet w zakresach napięć do 25 V AC wzg. 60 V DC, dla takiego sprzętu jak: elektrycznie napędzane zabawki, sprzęt medyczny, sprzęt ogrodniczy itp. Przykładowo: w sprzęcie medycznym używanym wewnątrz ciała napięcie jest ograniczone do 6 V.

**Rys. 2. Transformatory dla obwodów SELV¹**¹ wg PN-IEC 60364;² wg PN-EN 61140 i PN-IEC 60364³ **SELV** (ang. *Safety Extra Low Voltage*) = obwód ochronny niskonapięciowy;⁴ **PELV** (ang. *Protective Extra Low Voltage*) = obwód ochronny z bezpiecznym rozdzielaniem;