

Porażenie prądem elektrycznym – skutki i ochrona przed zagrożeniem

Honorata Sierocka

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

e-mail: h.sierocka@pb.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono skutki oraz możliwe środki zapobiegania porażeniom prądem elektrycznym. Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych wśród studentów na temat znajomości skutków oraz środków ochrony przed porażeniem elektrycznym. Na podstawie analizy wyników zauważono ograniczony zakres postrzegania zagrożeń, jakie stwarzać może prąd elektryczny, w związku z czym stwierdzono konieczność popularyzacji tego zagadnienia wśród społeczeństwa, w celu zapobiegania potencjalnym wypadkom powodowanym przez prąd elektryczny.

Słowa kluczowe

bezpieczeństwo, porażenie prądem elektrycznym, środki ochrony przed porażeniem elektrycznym

Wstęp

W otaczającym nas świecie trudno znaleźć dziedzinę życia, w której nie są wykorzystywane urządzenia elektryczne. Zarówno w domu, na uczelni, w szkole, jak i w miejscu pracy używa się urządzeń, które pozwalają ludziom komunikować się z innymi lub usprawnić pracę. Istotną kwestią jest ochrona użytkowników instalacji elektrycznych przed porażeniem prądem elektrycznym. Dokumentem regulującym przepisy związane z bezpieczeństwem i higieną pracy jest Kodeks pracy. Zgodnie z nim, obowiązkiem pracodawcy jest organizowanie pracy tak, aby zapewnić bezpieczne i higieniczne warunki pracy [Kodeks pracy, 1974, s. 122-123]. Ma to na celu zapewnienie zabezpieczenia pracowników przed możliwymi urazami, działaniem niebezpiecznych substancji chemicznych, porażeniem prądem elektrycznym, nadmiernym hałasem, działaniem drgań mechanicznych i promieniowania, a także szkodliwym i niebezpiecznym działaniem innych czynników środowiska pracy. Jednym

ze środków ochrony jest zwiększanie świadomości użytkowników na temat zagrożeń i skutków, jakie może powodować porażenie prądem elektrycznym.

Analizując dostępną literaturę przybliżono skutki wynikające z porażenia prądem elektrycznym, zidentyfikowano czynniki mające wpływ na powstawanie porażenia oraz wskazano sposoby ochrony przed porażeniem elektrycznym. Celem artykułu jest zbadanie poziomu świadomości studentów Politechniki Białostockiej na temat możliwych zagrożeń wynikających z porażenia prądem elektrycznym, skutków jakie może to porażenie wywołać dla zdrowia człowieka oraz znajomości czynników wywołujących te skutki. Badania przeprowadzono za pomocą metody sondażu diagnostycznego. Sondaż przeprowadzono drogą internetową wykorzystując ogólnie dostępne narzędzia Google.

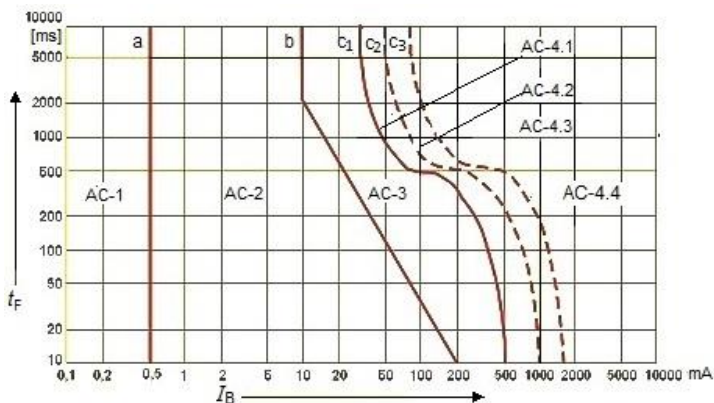
1. Wpływ prądu elektrycznego na organizm ludzki

Zgodnie z obowiązującą teorią, człowiek może zostać porażony prądem elektrycznym, gdy w wyniku błędu, lekkomyślności lub uszkodzenia izolacji dotknie dowolną częścią ciała części czynnych instalacji elektrycznych lub urządzeń elektrycznych [Markiewicz, 2004, s. 34]. Analizując zatem wpływ prądu elektrycznego na organizm ludzki, należy wyróżnić działania pośrednie i bezpośrednie.

Działania pośrednie nie powstają wskutek bezpośredniego przepływu prądu elektrycznego przez ciało człowieka, lecz mogą one powodować szereg urazów np. oparzenia ciała powodowane pożarem wywołanym przez zwarcie elektryczne, czy też poparzenie ciała poprzez działanie łuku elektrycznego, a także uszkodzenie wzroku przez jaskrawość łuku elektrycznego. Może również dojść do uszkodzenia urządzenia elektrycznego, w skutek czego np. odłamki urządzenia mogą uderzyć w człowieka.

Działanie bezpośrednie spowodowane jest przepływem prądu elektrycznego (prądu rażeniowego) przez organizm człowieka. Skutki, jakie może nieść za sobą porażenie prądem elektrycznym, zależą od wielu czynników. Są to przede wszystkim: rodzaj prądu – prąd przemienny AC (ang. *alternating current*) lub prąd stały DC (ang. *direct current*), natężenie prądu, droga przepływu prądu przez organizm, czas przepływu prądu, temperatura i wilgotność skóry, a także indywidualne uwarunkowania fizyczne osoby rażonej (płeć, stan fizyczny i psychiczny).

Najbardziej rozpowszechnionym w Polsce rodzajem prądu jest prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz i napięciu 400/230 V. Na rysunku 1 zamieszczono charakterystykę przedstawiającą strefy czasowo-prądowe reakcji organizmu na porażenie elektryczne, na drodze przepływu prądu od lewej ręki do obu stóp.

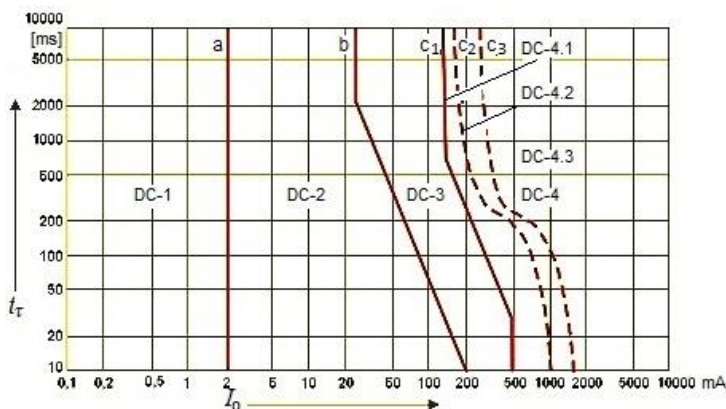


Rys. 1. Strefy czasowo-prądowe reakcji organizmu przy rażeniu człowieka, na drodze od lewej ręki do obu stóp, prądem przemiennym o częstotliwości 15 – 100 Hz

Źródło: [Bezel, 2018].

W strefie AC-1 nie występują żadne reakcje patologiczne. Możliwe jest tu jedynie odczucie przepływu prądu przez organizm. Wraz ze wzrostem wartości prądu rażeniowego pojawiają się kolejne, coraz bardziej szkodliwe dla organizmu skutki. W strefie AC-2 osoba rażona może odczuwać mrowienie w palcach, drętwienie, skurcze mięśni i uczucie bólu. Wartość progowa samouwolnienia wynosi 10 mA dla mężczyzn oraz 6 mA dla kobiet. Strefa AC-3 charakteryzuje się nasileniem bólu, wzrostem ciśnienia krwi, a także skurczami mięśni i mięśni oddechowych. W skutek skurczu mięśni oddechowych może dojść do niedotlenienia organizmu, trudności z oddychaniem, a nawet zakłócenia pracy serca (np. fibrylacja lub przejściowa blokada). Najczęściej są to skutki odwracalne, a przedstawiona na rysunku 1 krzywa c_1 stanowi granicę prądów niefibrylacyjnych. W strefie AC-4 można wyszczególnić te same, nasilające się skutki porażenia, co w strefie AC-3. Wzrasta prawdopodobieństwo fibrylacji komórek sercowych odpowiednio do 5% – krzywa c_2 , 50% – krzywa c_3 i ponad 50% – powyżej krzywej c_3 [Biegelmeier, 2006, s. 2-4].

Przedstawiona na rysunku 2 charakterystyka odnosi się do najbardziej rozpowszechnionego w Polsce prądu elektrycznego. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt ogromnej popularności instalacji fotowoltaicznych. Instalacje te po stronie paneli PV pracują przy prądzie stałym DC. Prąd ten może również wywołać przedstawione powyżej skutki, jednak odbywa się to przy dużo niższych wartościach. Rysunek 2 przedstawia charakterystykę podziału na strefy czasowo-prądowe reakcji organizmu ludzkiego na porażenie człowieka drogą rażenia lewa ręka-stopy.



Rys. 2. Strefy skutków oddziaływania prądu stałego na ciało człowieka, na drodze lewa ręka – stopy.

Źródło: [Bezel, 2018].

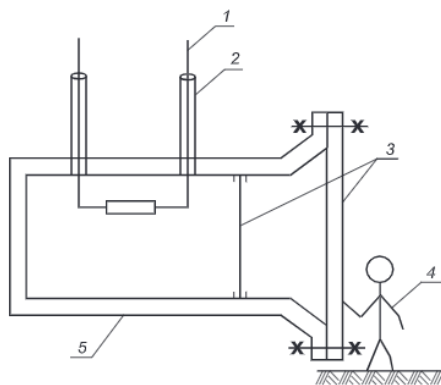
Jako progowe wartości odczuwania przepływu prądu stałego podaje się odpowiednio dla mężczyzn 2 mA, dla kobiet 1,5 mA. Niebezpieczny dla organizmu jest jednak przepływ nieodczuwalnego prądu stałego, może on powodować zjawisko elektrolizy, czego skutkiem jest rozkład płynów ustrojowych w organizmie. Wartość progowa samouwolnienia wynosi 30 mA dla mężczyzn i 20 mA dla kobiet.

2. Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym

Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym można podzielić na techniczne i nietechniczne. Przez środki nietechniczne należy rozumieć np. popularyzację sposobów i zasad bezpiecznego użytkowania energii elektrycznej, szkolenia pracowników w zakresie obsługi urządzeń elektrycznych, posiadanie uprawnień kwalifikacyjnych do obsługi sprzętu, przestrzeganie zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, jak również badania okresowe pracowników obsługujących urządzenia elektryczne. Środkami technicznymi są natomiast ochrona przy uszkodzeniu (przed dotknięciem pośrednim) i ochrona podstawowa (ochrona przed dotknięciem bezpośrednim). Ochrona podstawowa (rys. 3 i 4) ma na celu zabezpieczenie użytkownika przed dotknięciem części czynnych, czyli takich, które w czasie prawidłowej pracy urządzeń i instalacji znajdują się pod napięciem. Ochrona przy uszkodzeniu ma zapewnić bezpieczeństwo użytkowników przed porażeniem elektrycznym wynikającym z uszkodzenia ochrony podstawowej i znalezienia się pod napięciem części przewodzących dostępnych, które w normalnej pracy nie znajdują się pod napięciem [Markiewicz, 2004, s. 45-46].

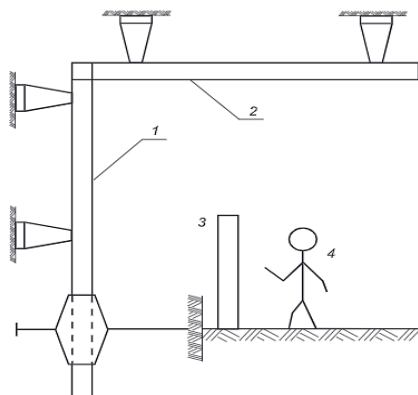
Dokumentem, który szczegółowo przedstawia wymagania, jakie powinna spełnić instalacja elektryczna aby zapewnić użytkownikom ochronę przed porażeniem elektrycznym, jest norma *PN-HD 60364-4-41:2017 Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed porażeniem elektrycznym*. Zgodnie z nim do środków ochrony podstawowej, zalicza się: izolację części czynnych, stosowanie obudów, przegrody oraz umieszczanie poza zasięgiem ręki [*PN-HD 60364-4-41:2017*, s.23].

Izolowanie części czynnych polega na całkowitym i trwałym pokryciu części czynnych materiałem nieprzewodzącym. Materiał, z którego wykonana jest izolacja powinien być oczywiście odporny na wpływy elektryczne oraz mechaniczne. Również stosowanie obudów ma na celu uniemożliwienie dotknięcia części przewodzącej. Ostatnie dwa z wymienionych środków mogą być stosowane, gdy użytkownicy/osoby przebywające w pomieszczeniu są osobami przeszkolonymi lub wykwalifikowanymi. Przeszkody oraz umieszczenie poza zasięgiem ręki mają na celu uniemożliwienie przypadkowego dotknięcia części czynnych, nie chronią one jednak przed celowym dotknięciem. Dodatkowo ochrona podstawowa może być uzupełniona przez stosowanie wyłączników różnicowoprądowych, o dużej czułości ($I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$) [Markiewicz, 2009, s. 162-168].



Rys. 3. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim, ochrona podstawowa; ochrona polegająca na izolowaniu części czynnych; ochrona przy użyciu obudowy i przegrody. 1- część czynna, 2- izolacja części czynnej; 3- przegrody; 4- osoba niepoinstruowana, 5- obudowa

Źródło: [Lejdy, Sulkowski, 2019, s. 84].



Rys. 4. Ochrona podstawowa; ochrona przy użyciu bariery i przez umieszczenie części czynnej poza zasięgiem ręki, zabezpieczające przed niezamierzonym dotykiem części czynnej. 1- część czynna, 2- część czynna poza zasięgiem ręki, 3- bariera, 4 – osoba przeszkolona

Źródło:[Lejdy, Sulkowski, 2019, s. 84].

Środkami ochrony przed dotykiem pośrednim, czyli dotykiem przy uszkodzeniu są:

- samoczynne wyłączenie zasilania,
- stosowanie urządzeń w II klasie ochronności,
- izolowane stanowiska,
- nieziemione połączenia wyrównawcze,
- separacja elektryczna.

Samoczynne wyłączenie zasilania zapewnia przerwanie przez urządzenie ochronne zasilania odbiornika w wymaganym czasie w razie powstania zwarcia pomiędzy częściami czynnymi a częściami dostępnymi przewodzącymi urządzeń elektrycznych. Środek ten realizowany jest przy użyciu wyłączników nadprądowych czy wkładek topikowych lub przez urządzenia różnicowoprądowe współpracujące z wyłącznikami nadprądowymi. Kolejnym środkiem ochrony są urządzenia z II klasą ochronności – ochrona ta realizowana jest przez użycie izolacji wzmocnionej, czyli izolacji podstawowej i dodatkowej. Na rysunku 5 przedstawiono symbol oznaczający II klasę ochronności [Markiewicz, 2004, s. 99-100].



Rys. 5. Oznaczenie II klasy ochronności

Źródło: opracowanie własne na podstawie: (Markiewicz, 2004, s. 27).

Stanowiska izolowane są przygotowane przez pokrycie stanowiska pracy dodatkową warstwą materiału izolacyjnego. Stosuje się ją do urządzeń/stanowisk zamontowanych na stałe. Części czynne urządzeń oraz części przewodzące obce są rozmieszczone na stanowisku w taki sposób, aby nie było możliwe dotknięcie ich jednocześnie. Wiąże się to z rozmieszczeniem urządzeń w odpowiednich odległościach i stosowaniem barier. Kolejnym ze sposobów ochrony przed dotykiem pośrednim są nieuziemiene połączenia wyrównawcze. Polega to na połączeniu przewodami wyrównawczymi wszystkich części przewodzących czynnych i obcych i izolowaniu ich od potencjału ziemi. Ostatnim z wymienionych środków jest separacja elektryczna polegająca na odizolowaniu odbiornika od sieci zasilającej transformatorem separacyjnym [Lejdy, Sulkowski, 2019, s.142-145]

Ponadto, można stosować ochronę uzupełniającą, chroniącą przed dotykiem pośrednim oraz bezpośrednim. Może być ona realizowana przez zasilanie odbiorników bardzo niskim napięciem.

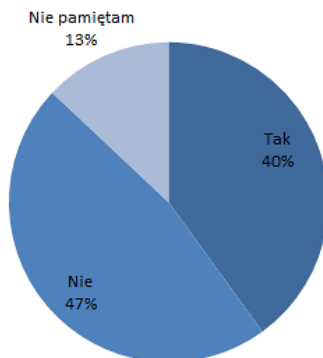
3. Metodyka i wyniki badań własnych

W procesie badawczym wykorzystano metodę sondażu diagnostycznego, przeprowadzonego techniką ankiety. Korzystając z ogólnodostępnych narzędzi udostępnianych przez Google, przygotowano elektroniczny kwestionariusz ankiety, który dystrybuowano za pośrednictwem Internetu.

Badanie przeprowadzono w maju 2021 roku na grupie 100 respondentów. Grupę docelową stanowili studenci Politechniki Białostockiej. Głównym celem przeprowadzonych badań było zbadanie świadomości studentów na temat zagrożeń wynikających z porażenia prądem elektrycznym i skutków jakie może to porażenie wywołać dla zdrowia człowieka. Kwestionariusz zawierał sześć pytań.

Pierwsze pytanie dotyczyło udziału w szkoleniu, bądź zajęciach dydaktycznych, z zakresu ochrony przeciwporażeniowej i skutków porażenia prądem elektrycznym.

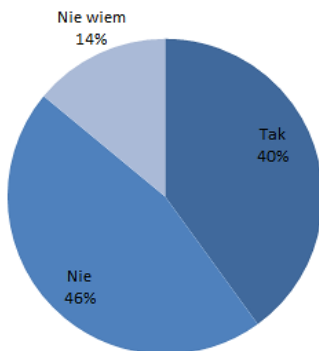
Większość respondentów (47%) stwierdziła, że nie miała takiego szkolenia, 40% badanych udzieliło odpowiedzi twierdzącej, a 13% nie pamięta czy brało udział w tego typu szkoleniu. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 6. Można wnioskować, że większość ankietowanych nie miała możliwości dowiedzieć się nic na temat ochrony przeciwporażeniowej w trakcie studiów.



Rys. 6. Udział w szkoleniu/zajęciach z ochrony przeciwporażeniowej [%]

Źródło: opracowanie własne.

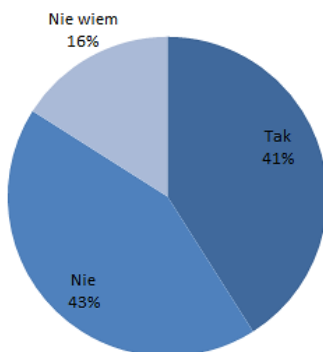
Kolejne pytania miały na celu zbadanie wśród studentów znajomości zagadnień dotyczących wpływu prądu elektrycznego na organizm człowieka. Na pytanie „Czy człowiek zawsze czuje, że przez jego organizm przepływa prąd?”, większość ankietowanych (46%) odpowiedziało przecząco, a 13% ankietowanych udzieliło odpowiedzi „nie wiem” (rys. 7). Wynika z tego, że ponad połowa ze studentów nie jest świadoma mechanizmu działania rażenia prądem elektrycznym. Jedynie 40% respondentów wie, że porażenie prądem może przebiegać bez doświadczenia jakichkolwiek bodźców zewnętrznych.



Rys. 7. Odpowiedzi ankietowanych na pytanie: „Czy człowiek zawsze czuje, że przez jego organizm przepływa prąd?”

Źródło: opracowanie własne.

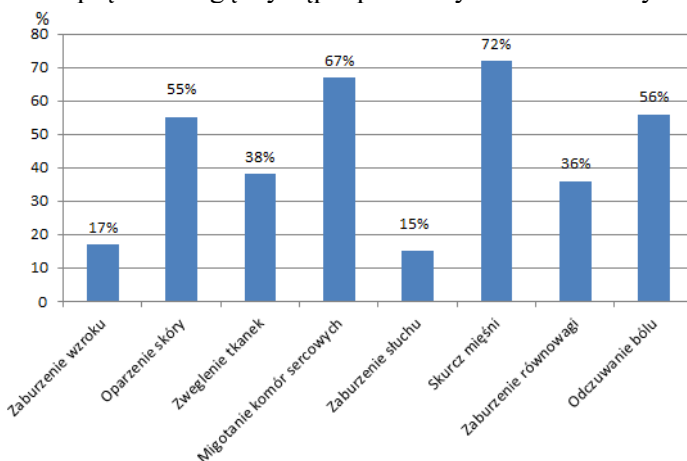
Na pytanie „Czy trzeba dotknąć urządzenia/elementu pod napięciem żeby zostać porażonym prądem elektrycznym?”, 43% osób ankietowanych odpowiedziało przecząco (rys. 8). Wynika z tego, że pozostali respondenci (57%) nie są świadomi, że zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym występuje również w sytuacji braku bezpośredniego kontaktu z urządzeniem lub elementem instalacji znajdującym się pod napięciem.



Rys. 8. Odpowiedzi ankietowanych na pytanie: „Czy trzeba dotknąć urządzenia/elementu pod napięciem żeby zostać porażonym prądem elektrycznym?”

Źródło: opracowanie własne.

W badaniu ankietowym zapytano również respondentów o skutki porażenia prądem eklektycznym oraz znajomość czynników, jakie mogą mieć wpływ na skutki porażenia prądem elektrycznym. Ankieterzy mieli za zadanie zaznaczyć, które z wymienionych urazów mogą być spowodowane porażeniem prądem elektrycznym. Z charakterystyki zaprezentowanej na rysunku 9 można odczytać, że najczęściej podawanym skutkiem porażenia prądem elektrycznym jest skurcz mięśni – uważa tak ponad 70% ankieterów. Do dosyć często wskazywanych skutków zaliczyć można ponadto: migotanie komór sercowych (67%), odczuwanie bólu (56%) oraz oparzenia skóry (55%). Najrzadziej ankieterzy zaznaczali odpowiedzi dotyczące występowania zaburzeń wzroku (17%) oraz zaburzeń słuchu (15%). Pokazuje to, że w świadomości osób biorących udział w badaniu istnieją głównie te najpopularniejsze skutki porażenia prądem elektrycznym, a jedynie nieliczni wiedzą, że na skutek porażenia prądem mogą wystąpić problemy ze słuchem czy wzrokiem.

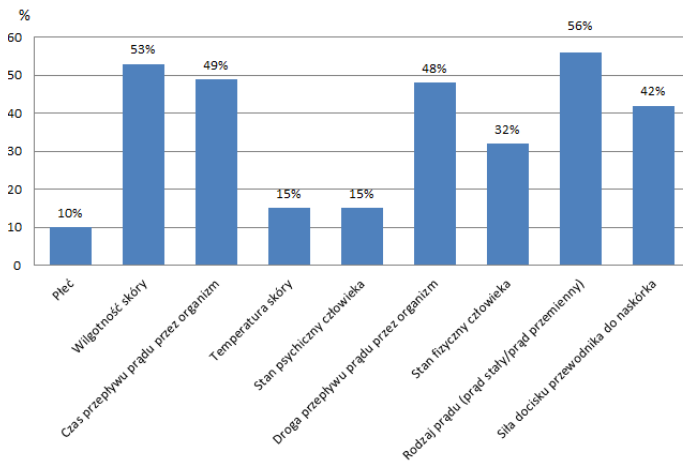


Rys. 9. Skutki porażenia prądem elektrycznym

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym elementem badania była identyfikacja czynników, które mogą mieć wpływ na skutki porażenia prądem elektrycznym. Najwięcej ankieterów, bo aż 56%, zaznaczyło rodzaj prądu (prąd stały/prąd przemienny). Wśród najczęściej wskazywanych odpowiedzi znalazły się również: wilgotność skóry (53%), czas przepływu prądu przez organizm (49%), droga przepływu prądu przez organizm (48%) oraz siła docisku przewodnika do naskórka (42%). Niestety jedynie 15% ankieterów jest świadome tego, że temperatura skóry i stan psychiczny również

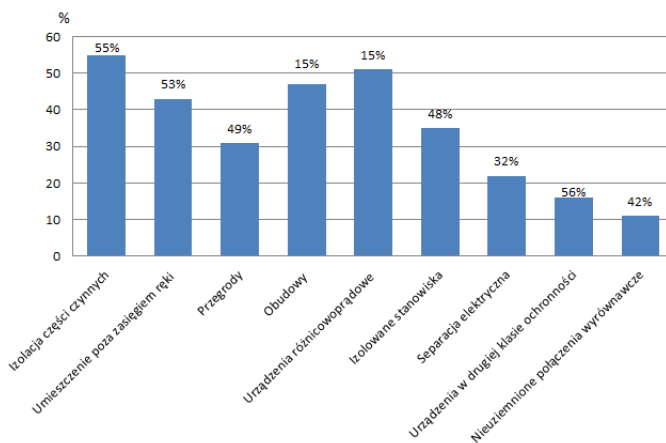
mają wpływ na skutki porażenia prądem elektrycznym, a jedynie 10% ankietowanych wie, że także płeć może mieć na to wpływ (rys. 10).



Rys. 10. Czynniki wpływające na skutki porażenia prądem elektrycznym

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnie pytanie zadane respondentom dotyczyło znajomości środków ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, a jego wyniki przedstawione zostały na rysunku 11.



Rys. 11. Środki ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym

Źródło: opracowanie własne.

Z odpowiedzi ankietowanych wynika, że najbardziej znanym środkiem ochrony przed porażeniem elektrycznym jest izolacja części czynnych, a znajomość tego środka ochrony deklaruje ponad połowa ankietowanych (55%). Na drugim miejscu znalazły się urządzenia różnicowoprądowe (51% odpowiedzi), a na trzecim obudowy (47% wskazań). Najmniej znanym środkiem ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym są nieuziemiene połączenia wyrównawcze, na co wskazało jedynie 11% ankietowanych.

Podsumowanie

Poziom świadomości studentów Politechniki Białostockiej na temat zagrożeń i skutków wynikających z porażenia prądem elektrycznym i skutków jest stosunkowo niski. Analizując wyniki przeprowadzonych badań można zauważyć, że znaczna część respondentów nie miała szkolenia lub zajęć z ochrony przeciwporażeniowej. Rezultaty tego widać w kolejnych udzielanych odpowiedziach. Znaczna część ankietowanych nie jest świadoma tego, że nie zawsze odczuwany jest przepływ prądu przez organizm człowieka oraz tego, że nie zawsze trzeba dotknąć urządzenia/elementu pod napięciem, aby zostać porażonym prądem elektrycznym.

Dodatkowo z przeprowadzonych badań wynika, że studenci nie znają wszystkich skutków, jakie może spowodować porażenie organizmu prądem elektrycznym, a także nie wiedzą o wszystkich czynnikach, jakie mogą mieć na to wpływ. Nie są oni również zaznajomieni ze środkami ochrony przed porażeniem elektrycznym.

Z praktycznego punktu widzenia należy więc zwiększyć popularyzację treści dotyczących porażenia prądem elektrycznym. Jest to jeden ze środków nietechnicznych zapobiegania porażeniom. Zwiększenie świadomości studentów może zapobiec potencjalnym wypadkom.

Literatura

1. Kodeks pracy z dnia z dnia 26 czerwca 1974 roku (Dz.U. z 2020 r. poz. 1320), Dział dziesiąty.
2. Markiewicz H. (2004), *Zagrożenia i ochrona od porażenia w instalacjach elektrycznych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
3. Bezel (2018), *Środki ochrony przed porażeniem*, <https://bezel.com.pl/2018/08/01/srodki-ochrony-przed-porazeniem/>, [27.05.2021].
4. Biegelmeier G.(2006), *Harmful electric shocks. Ventricular fibrillation. Tolerable risks. Private non-profit Foundation Electrical Safety, IEC /ACO S/Biegelmerier, Vienna.*

5. Lejdy B., Sulkowski M. (2019), *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
6. PN-HD 60364-4-41:2017 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed porażeniem elektrycznym*
7. Markiewicz H. (2009), *Bezpieczeństwo w elektroenergetyce*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Electric shock – effects and protection from risk

Abstract

The article presents the effects and possible measures to prevent electrical shock. It demonstrates the results of a survey conducted among students on their knowledge of the effects and means of protection against electric shock. Based on the analysis of the results, it was noted that the perception of the risks posed by electric current is limited. Therefore, it is necessary to popularize this issue among the public, in order to prevent potential accidents caused by electric current.

Keywords

safety, electric shock, electric shock protection measures