

**Grzegorz MATUSIAK<sup>1</sup>, Michał WŁODARCZYK<sup>1</sup>,  
Robert NADER<sup>1</sup>, Hubert NOWIKOW<sup>1</sup>, Andrzej ŁASICA<sup>2</sup>**

Hubix Sp. z o.o. (1)

Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny,  
Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych,  
Zakład Wysokich Napięć i Kompatybilności Elektromagnetycznej (2)

## **Rozwój metodyki badań odporności osłon twarzy chroniących przed termicznymi skutkami łuku elektrycznego**

**Streszczenie.** Artykuł zawiera przegląd metod badań typu jakim poddaje się osłony twarzy, stosowane w Pracach Pod Napięciem, chroniące przed termicznymi skutkami zapalenia się łuku elektrycznego. Aktualne wymagania zgodne z normą PN-EN 166:2005 (EN 166:2001). Dodatkowe wymagania zgodne z GS-ET-29 – metoda BOX-TEST. Plany na przyszłość.

**Słowa kluczowe:** łuk elektryczny, Prace Pod Napięciem, osłona twarzy, BOX-TEST.

### **Wprowadzenie**

Niebezpieczeństwo poparzeniem łukiem elektrycznym jest jednym ze stałych zagrożeń występujących w ocenie ryzyka ogólnie pojętego zawodu elektro-energetyka. Bez względu na wybór techniki prowadzenia prac – w technice Prac Pod Napięciem lub przy wyłączonym napięciu (złudne zapewnienie bezpieczeństwa), występuje ryzyko zapalenia się łuku elektrycznego.

Jedną z metod redukcji skutków powyższego zagrożenia jest stosowanie osłon twarzy. Mogą być to osłony zintegrowane z hełmem elektroizolacyjnym lub konstrukcje zewnętrzne – montowane na takim hełmie. Dotychczasowy stan normalizacji europejskiej, wprowadza ochronę przed łukiem elektrycznym jedynie jako jeden z deklarowanych parametrów, co jest potwierdzane oznaczeniem 8 na osłonie. Łuk elektryczny nie jest zjawiskiem stałym. Jego parametry zależą od parametrów obwodu w którym występuje, między innymi od napięcia i mocy zwarciowej źródła zasilania. Jednakże aktualne wymagania stawiane osłonom nie zawsze uwzględniają faktyczne zagrożenie.

Celem niniejszego referatu jest przedstawienie aktualnych wymagań i metod badawczych osłon twarzy przed łukiem elektrycznym. Zawiera on również wnioski mające wskazać kierunek modyfikacji wymagań badawczych, tak, aby odpowiadały one rzeczywistym zagrożeniom występującym w praktyce. Ze względu na złożoność procesu badań typu dla osłony twarzy, autorzy skupiają się tylko na zagrożeniach spowodowanych łukiem elektrycznym.

### **Wymagania i metody badania odporności osłony twarzy**

Wymagania normy PN-EN 166: 2005 oparte są na badaniach odporności na łuk elektryczny płyt wykonanych z poliwęglanu, octanu celulozy i propanu celulozy, które dopiero będą wykorzystane do produkcji osłon. W trakcie próby wymagane są następujące parametry łuku elektrycznego: wartość maksymalna prądu 12 kA, napięcie

380-400 V, częstotliwość napięcia 50 Hz, czas trwania 1 s. Dodatkowo dla materiałów stosowanych na tego typu osłony wyznaczono minimalną grubość – 1,4 mm. Zatem badaniom poddawany jest materiał służący do produkcji osłony twarzy, nie zaś sama osłona, jako produkt finalny.

Pozostałe parametry ochronne (m. in. odporność na uderzenia, odporność na promieniowanie UV, klasy optyczne) są badane w laboratoriach w czasie procesu certyfikacji i dopuszczania produktu na rynek. Jednym z powodów jest dostępność takich laboratoriów oraz stosunkowa łatwość w wykonywaniu tego rodzaju badań. Wykonywanie badań zwarciovych z użyciem wielkich prądów wymaga dostępu do układów generacyjnych oraz sporych rezerw mocy. Przykładowo badania zwarciove uziemiaczy, przeprowadzane w Instytucie Energetyki w Warszawie, odbywają się w sesjach nocnych, w uzgodnieniu z Krajową Dyspozycją Mocy. Badania odporności termicznej osłon twarzy łukiem znormalizowanym można wykonać jedynie w kilku miejscach w Europie. Dwa z nich znajdują się w Niemczech. Są to laboratorium RWE Eurotest oraz Uniwersytet Techniczny w Ilmenau. Między innymi z tych powodów, a więc z braku dostępności oraz braku popularyzacji takich badań, w trakcie certyfikacji tematyka odporności na łuk elektryczny jest w całości cedowana na producenta lub upoważnionego przedstawiciela.

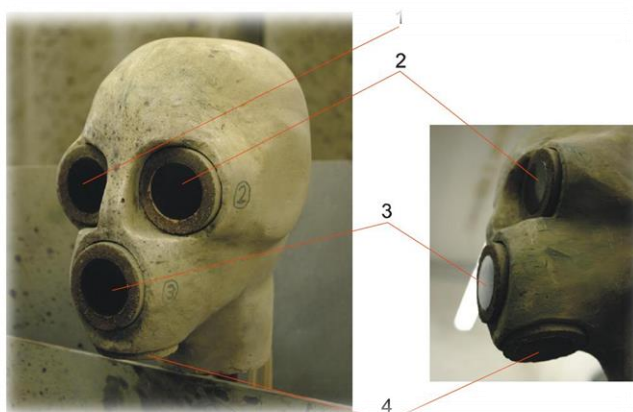
Przeanalizujemy dostępne w Niemczech metody badawcze, oparte na dokumencie GS-ET-29. Wymagania dokumentu GS-ET-29 (Europa) oparte są na normie EN 61482-1-2, ale wprowadzają badanie rzeczywistych osłon, a nie materiałów używanych do ich produkcji. Próby łukiem podzielone są na dwie klasy. Parametry łuku dla badań klasy 1 to: 4 kA, 400 V, 0,5 s, 50 Hz. Natomiast dla klasy 2 wartość prądu zwiększana jest do 7 kA. Odstęp między elektrodami łukowymi wynosi 30 mm. Dodatkowo oddziaływanie łuku jest ukierunkowane na badaną osłonę poprzez umieszczenie elektrod łukowych w osłonie wykonanej z materiału izolacyjnego i termoodpornego, otwartej od strony obiektu badanego – stąd nazwa „Box Test” (Rys. 1).



Rys. 1. Układ do badania odporności na łuk elektryczny, metoda BOX-TEST

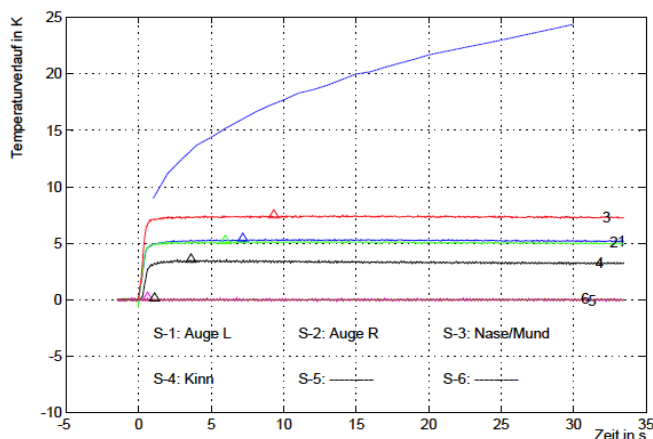
W trakcie prób rejestrowany jest wzrost temperatury na makiecie głowy w czterech punktach pomiarowych, reprezentujących: oczy, usta i podbródek. Manekin chroniony przez osłonę, umieszczony jest w odległości 350 mm w linii prostej od punktu zapalenia się łuku. Rozmieszczenie czujników (kalorymetrów) pokazano na rysunku 2.

## IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



Rys. 2. Rozmieszczenie kalorymetrów na makiecie głowy (1, 2) oczy, (3) nos, (4) podbródek.

Wynik próby zależy od przyrostu temperatury na każdym z czujników. Odniesienie stanowi krzywa Stolla-Chianta (Rys. 3).



Rys. 3. Krzywa Stolla-Chianta oraz krzywe wzrostu temperatury dla próby klasy 1, wg GS-ET-29.

Wszystkie wyniki znajdujące się pod niebieską linią (krzywa Stolla-Chianta) powinny zapewnić osobie narażonej na oddziaływanie łuku o parametrach klasy 1 ochronę przed oparzeniami drugiego stopnia. W 50 % wypadków u poszkodowanego powinno wystąpić jedynie zaczerwienienie skóry oraz niewielki obrzęk. Obrażenia takie nie stanowią zagrożenia dla zdrowia i życia poszkodowanego, a same skutki (zaczerwienienia) znikają samoistnie, nie pozostawiając żadnych blizn.

Wszystkie wyniki znajdujące się nad krzywą Stolla-Chianta odnoszą się do poparzeń 2 stopnia i wyżej, oznaczających dla poszkodowanego poważne zagrożenia zdrowia, prowadzące do stałej lub czasowej utraty zdolności do pracy, a w zdarzeniach ekstremalnych prowadzą do utraty życia.

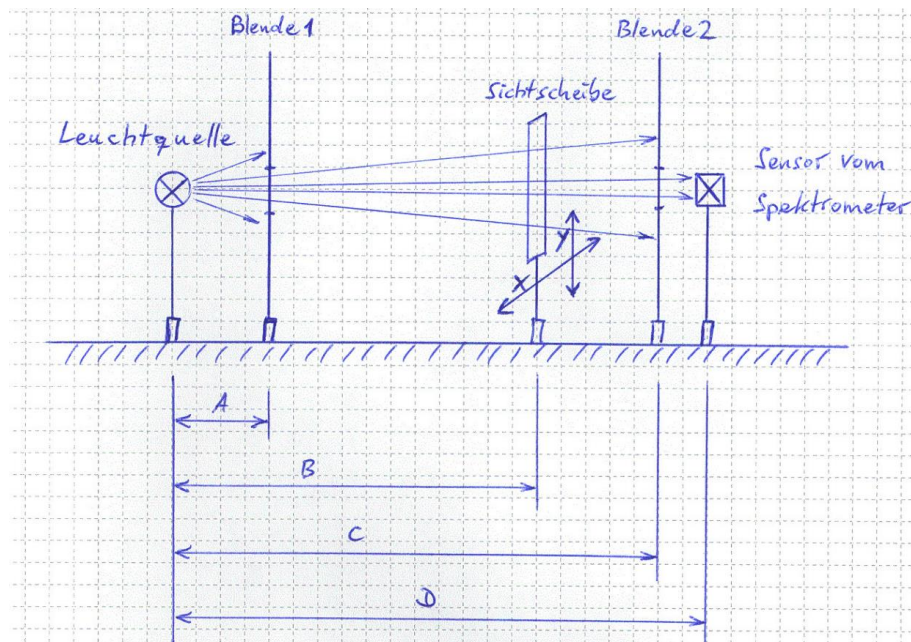
Uzyskanie przez producenta osłony twarzy wyników badań ma bardzo wymierne korzyści. W przypadku niespełnienia wymagań, daje możliwość poprawienia lub przeprojektowania osłony. W przypadku spełnienia wymagań daje możliwość prowadzenia prac projektowych nad kolejnymi wersjami osłony, które mogą jeszcze efektywniej redukować zagrożenie. Dodatkowym atutem jest możliwość przekazania użytkownikowi pełnych informacji o stopniu (klasie) redukcji zagrożenia, co daje możliwość doboru osłon twarzy do zagrożenia w miejscu pracy, wynikającego głównie z warunków zwarciowych.

Do uzyskania świadectwa odporności na łuk elektryczny w klasie 1 lub 2 należy wykonać serię badań na 4 osłonach twarzy. Pozytywne wyniki badań, przedstawia się w raporcie w postaci opisowej oraz zestawu wykresów (Rys. 5), charakteryzujących wygenerowany łuk elektryczny oraz wzrost temperatury czujników za osłoną twarzy.

Dokument GS-ET-29 przewiduje również wyznaczenie parametru – VLT (ang. Visible Light Transmittance), co w wolnym tłumaczeniu oznacza „Przepuszczalność Światła Widzialnego”, znane również jako transmisja światła. Jest to istotny parametr z punktu widzenia ergonomii użytkowania osłony, która chroniąc przed oddziaływaniem termicznym łuku musi umożliwiać swobodną pracę monterowi nawet w niekorzystnych warunkach oświetleniowych.

Badanie VLT jest wykonywane trzema źródłami światła: światło białe typu A (halogen), lampa jarzeniowa (fluorescencyjna) oraz dioda LED. Schemat układu do badania został przedstawiony na rysunku 4.

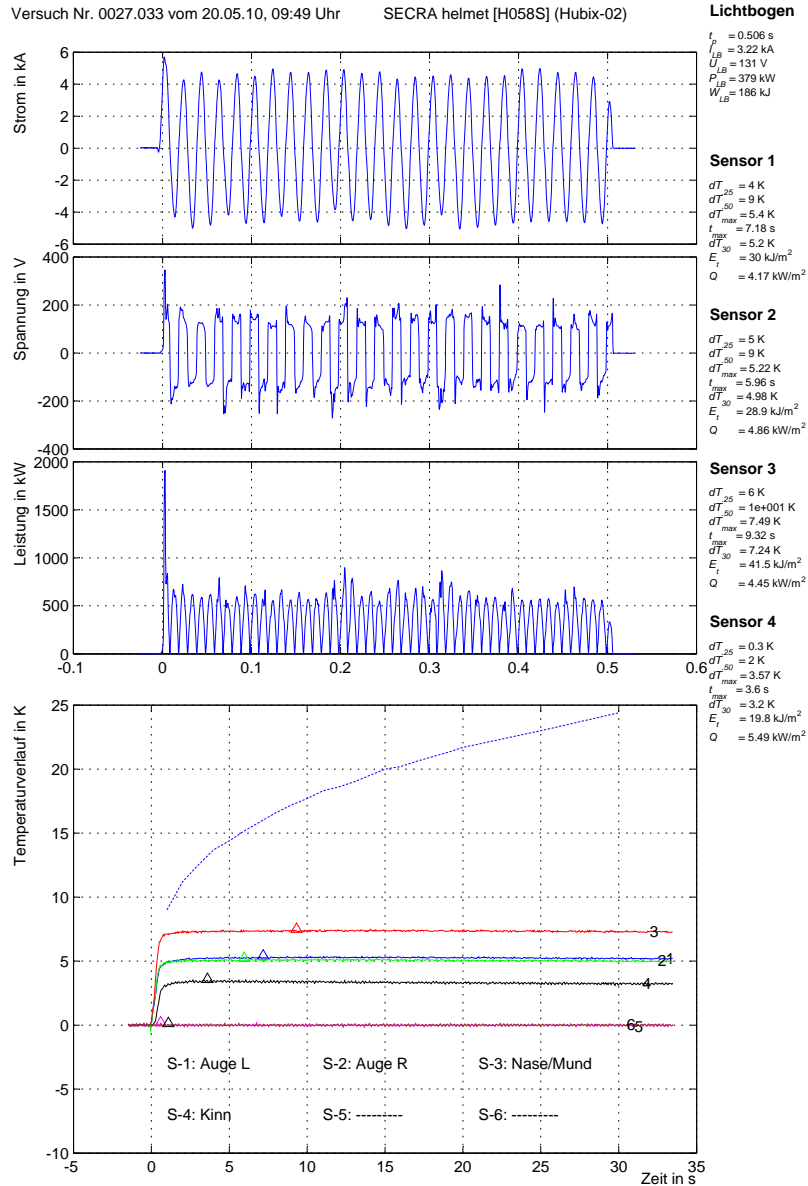
Wyniki obu badań są uznawane przez jednostki notyfikowane i wpisywane do certyfikatów oceny WE. Na osłonach twarzy pojawia się oznaczenie kodowe: 8-1-0 dla klasy 1 oraz 8-2-0 dla klasy 2. Pierwsza cyfra: 8 – informacje o odporności na łuk elektryczny; druga cyfra 1 lub 2 – oznaczenie klasy odporności na łuk; trzecia cyfra – 0 oznacza transmisję światła > 75 %, 1 – oznacza transmisję światła pomiędzy 50 % a 75 %, 2 – oznacza transmisję światła poniżej 50 %.



Rys. 4. Schematyczne przedstawienie układu do badania parametru VLT.

## IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Technische Universität Ilmenau - Fachgebiet Elektrische Energieversorgung



Rys. 5. Graficzne przedstawienie wyników badania osłony twarzy.

Wymagania normy ASTM F2178-12 (USA) są bardziej rygorystyczne. Badaniu podlegają jednocześnie dwie osłony. Wykonywane jest 10 prób, co daje 20 wyników do

analizy. Każda próba polega na pomiarze rzeczywistej wartości energii cieplnej ( $\text{cal/cm}^2$ ) docierającej do poszczególnych czujników (kalorymetrów) za osłonami rozmieszczonych podobnie jak w BOX-TEST i odniesieniu jej do energii cieplnej łuku zmierzonej kalorymetrami nieosłoniętymi. Prąd w czasie próby ma wynosić 8 kA, a odległość między elektrodami łukowymi wynosi aż 305 mm. Widok układu do pomiaru odporności na łuk według normy ASTM F2178-12 przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Układ do badania odporności na łuk elektryczny, metoda ASTM F2178-12.

Wyniki, zebrane w tabeli (Tab. 1), określają między innymi, wartość prądu, czas przepływu prądu wyrażony ilością okresów prądu 60 Hz, wartość zmierzonej przez kalorymetry nieosłonięte energii cieplnej ( $E_i$ ), i informacje o przekroczeniu krzywej Stolla. W przypadku przekroczenia krzywej, podawana jest w komentarzu informacja na którym z czujników zarejestrowano przekroczenie. Z reguły jest to czujnik odpowiedzialny za usta i/lub podbródek.

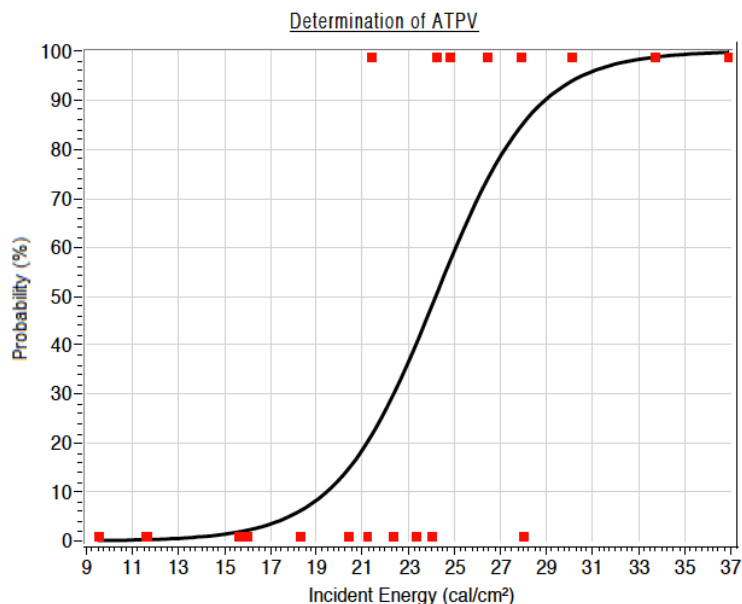
Tab. 1. Wyniki 20 prób wykonanych według ASTM F2178-12.

Test #	Panel	Test Current A	Cycles of 60Hz	E <sub>i</sub> Cal/cm <sup>2</sup>	SCD Cal/cm <sup>2</sup>	HAF %	>Stoll Y/N	Break Open Y/N	Ablation Y/N	After Flame sec.	Omit Y/N	Comment
1	K-418868-5493	A	8144	20.2	16.0	-0.2	90.4	No	-	-	No	
2	K-418868-5493	B	8144	20.2	15.6	-0.3	90.6	No	-	-	No	
3	K-418868-5494	A	8090	25.2	18.3	-0.1	90.7	No	-	-	No	
4	K-418868-5494	B	8090	25.2	23.3	-0.1	93.1	No	-	-	No	
5	K-418868-5495	A	8042	30.2	20.4	-0.1	91.4	No	-	-	No	
6	K-418868-5495	B	8042	30.2	24.8	0.7	90.9	Yes	-	-	No	Burns on mouth and chin only.
7	K-418868-5496	A	8105	32.2	21.2	-0.1	90.9	No	-	-	No	
8	K-418868-5496	B	8105	32.2	26.4	0.2	92.2	Yes	-	-	No	Burns on mouth and chin only.
9	K-418868-5497	A	8076	31.2	22.3	-0.1	91.4	No	-	-	No	
10	K-418868-5497	B	8076	31.2	24.2	0.2	92.6	Yes	-	-	No	Burn on chin only.
11	K-418868-5498	A	8094	35.2	24.0	-0.1	91.7	No	-	-	No	
12	K-418868-5498	B	8094	35.2	26.4	0.1	91.8	Yes	-	-	No	Burns on mouth and chin only.
13	K-418868-5499	A	8092	34.2	21.4	0.1	90.4	Yes	-	-	No	Burn on mouth only.
14	K-418868-5499	B	8092	34.2	28.0	-0.1	92.9	No	-	-	No	
15	K-418868-5500	A	8041	40.2	27.9	0.1	92.2	Yes	-	-	No	Burn on mouth only.
16	K-418868-5500	B	8041	40.2	33.7	0.9	92.4	Yes	-	-	No	Burns on mouth and chin only.
17	K-418868-5501	A	8000	45.2	30.1	0.2	92.4	Yes	-	-	No	Burns on mouth and chin only.
18	K-418868-5501	B	8000	45.2	36.9	1.2	92.5	Yes	-	-	No	Burns on mouth and chin only.
19	K-418868-5502	A	8134	15.2	9.5	-0.4	88.1	No	-	-	No	
20	K-418868-5502	B	8134	15.2	11.6	-0.4	89.9	No	-	-	No	

Wynikiem badania jest wyznaczenie wartości poziomu energii łuku elektrycznego ATPV, przy którym zachowane jest 50 % prawdopodobieństwo nie przekroczenia wykresu Stolla. Dokonuje się tego poprzez regresję logistyczną z wyrażeniem prawdopodobieństwa zwanym szansą. Zamiast określać prawdopodobieństwo klasycznie, za pomocą stosunku liczby sukcesów do liczby wszystkich prób, oblicza się szansę (ang. odds), czyli stosunek liczby sukcesów do liczby porażek (Rys. 7).



## IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



Rys. 7. Funkcja logistyczna dla wyniku ATPV 24 cal/cm<sup>2</sup>.

### Dalszy rozwój

Ośrodki badawcze oraz producenci stają przed kolejnymi wyzwaniami, które pozwolą dokonać pomiaru wzrostu temperatury nie tylko na twarzy i podbródku. Należałoby w najbliższym czasie rozważyć uwzględnianie w pomiarach narażenia nieosłoniętych części głowy, narażonych na oddziaływanie łuku, poprzez naturalny ruch obronny (odwrócenie głowy) oraz wpływ elementów dodatkowego wyposażenia na odporność osłon. Nie będzie to możliwe bez uruchomienia laboratorium łukowego w Polsce. Autorzy niniejszego artykułu planują wykonać pierwsze badania w Polsce jeszcze w tym roku.

### Literatura

1. PN-EN 166: 2005. Ochrona indywidualna oczu - Wymagania.
2. GS-ET 29, 2011-05. Zusatzanforderungen für die Prüfung und Zertifizierung von Elektriker-Gesichtsschutz.
3. ASTM F2178-12. Standard Test Method for Determining the Arc Rating and Standard Specification for Eye or Face Protective Products.

**Autorzy:** mgr inż. Grzegorz Matusiak - Główny Konstruktor, inż. Robert Nader – kierownik Laboratorium WN, Hubert Nowikow – Dyrektor ds. Exportu, Michał Włodarczyk – Dyrektor Handlowy; Hubix Sp. z o.o. 96-321 Żabia Wola, ul. Główna 43 Huta Żabiowska, [hubix@hubix.pl](mailto:hubix@hubix.pl), dr inż. Andrzej Łasica; Zakład Wysokich Napięć i Kompatybilności Elektromagnetycznej, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, Wydział Elektryczny, Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 75 / GE 216, 00-662 Warszawa, [alasica@ee.pw.edu.pl](mailto:alasica@ee.pw.edu.pl)