

Przemysław OTOMAŃSKI

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań

Wpływ wahań napięcia na wybrane źródła promieniowania optycznego

Dr inż. Przemysław OTOMAŃSKI

Pracownik Zakładu Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Główne obszary zainteresowań dotyczą zagadnień związanych z teorią pomiarów, w szczególności z oceną niepewności wyniku pomiaru, badaniem właściwości metrologicznych czujników i przetworników pomiarowych oraz badań w zakresie oceny jakości energii elektrycznej. Jest autorem lub współautorem ponad 100 publikacji.



e-mail: otoman@et.put.poznan.pl

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych dotyczących zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia. Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym, składającym się z badanego źródła światła, generatora napięcia o modulowanej amplitudzie zasilającego źródło światła wraz z oprogramowaniem sterującym oraz układu pozycjonowania obserwatora względem obserwowanej powierzchni. W badaniach wykorzystano następujące źródła światła: inkadescencyjne, halogenowe, oraz tzw. energooszczędne różnych producentów. W publikacji zestawiono uzyskane wyniki badań, które pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących określenia wpływu wahań napięcia na odczuwanie migotania dla wybranych źródeł światła. Przeprowadzono analizę metrologiczną uzyskanych wyników pomiarów, która pozwoliła na sformułowanie wniosków końcowych.

Słowa kluczowe: wahania napięcia, źródło promieniowania optycznego, migotanie światła, jakość energii elektrycznej.

The influence of voltage fluctuations on selected optical radiation sources

Abstract

The results of laboratory research, concerning a dependence of light flickering on voltage fluctuations, were presented in the paper. The research was realized on a designed measuring stand which includes the examined light source, a voltage generator with amplitude modulation supplying the light source with control software and a positioning system of observer with respect to the observed surface. In the research the following light sources were used: incandescence, halogen lamps, and the so-called energy-saving lamps by different producers. The research results, permitting us to formulate a conclusion concerning the description of the influence of voltage fluctuations on flickering feeling for selected light sources, were described in the paper. The author of the present publication carried out a metrological analysis of the obtained measurement results, which made it possible to draw the final conclusions.

Keywords: voltage fluctuations, optical radiation source, light flickering, power quality.

1. Wprowadzenie

Wahania napięcia wpływają na stan zasilanych odbiorników. Najbardziej podatne na wahania są różnego rodzaju źródła światła. Wskutek zmienności napięcia powstaje migotanie światła. W zależności od zmienności i rodzaju źródła światła migotanie może być odczuwalne i widzialne. Przy odpowiedniej intensywności migotanie może być przyczyną dyskomfortu. Obecnie do oświetlania pomieszczeń stosowane są źródła inkadescencyjne, wyładowcze (w tym tzw. energooszczędne) oraz coraz częściej matryce diod LED.

W dostępnych autorowi publikacjach występują opisy badań wyłącznie dla wybranego rodzaju źródła promieniowania optycz-

nego, lub w stosunkowo ograniczonym zakresie częstotliwości zmian sygnału modulującego.

W pracy [1] przedstawiono wpływ modulacji sygnałem sinusoidalnym, wyłącznie dla 60 W tradycyjnej żarówki, na uciążliwość migotania światła, przy czym zakres modulacji ograniczono do częstotliwości 20 Hz. W pracy [2] zaprezentowano wyniki badań dotyczących lamp fluorescencyjnych różnych typów i mocy, dla przypadku modulacji sygnałem napięciowym zawierającym interharmoniczne różnych rzędów. W pracy [3] zamieszczono wyniki badań dotyczących zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia zawierającego interharmoniczne dla przypadku lamp fluorescencyjnych kilku typów obciążanych różnego rodzaju odbiornikami.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych dotyczących zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia. Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym, składającym się z badanego źródła światła, generatora napięcia o modulowanej amplitudzie zasilającego źródło światła wraz z oprogramowaniem sterującym oraz układu pozycjonowania obserwatora względem obserwowanej powierzchni, oświetlanej badanym źródłem światła. W badaniach wykorzystano następujące źródła światła: inkadescencyjne, halogenowe, oraz tzw. energooszczędne świetlówki różnych producentów.

Badania przeprowadzono dla wahań napięcia odtwarzanych modulacją amplitudy dla częstotliwości sygnału modulującego do 150 Hz.

2. Wahania napięcia

Pomiar i ocena zmienności napięcia w sieci elektroenergetycznej jest złożonym problemem pomiarowym. Wielkości tych zmian oraz ich charakter są najczęściej spowodowane zmianami obciążenia w sieciach elektroenergetycznych. Jedną z miar określającą zmiany napięcia są wahania napięcia.

Wahania napięcia to, zgodnie z dokumentem [4], seria zmian napięcia lub cykliczna zmiana obwiedni. Są one jednym z ważniejszych parametrów określających jakość energii elektrycznej.

Wahania te powstają u odbiorców energii elektrycznej wskutek występowania w sieciach elektroenergetycznych tzw. niespokojnych odbiorników energii elektrycznej. Przez odbiornik niespokojny należy rozumieć odbiornik elektryczny charakteryzujący się powtarzającymi się nagłymi zmianami obciążenia. Odbiorniki niespokojne wraz z odbiornikami nieliniowymi i niesymetrycznymi są zaliczane do odbiorników zakłócających [5]. Do odbiorników niespokojnych zaliczyć można między innymi takie urządzenia jak: piec łukowy, napędy elektryczne dużej mocy, spawarki elektryczne, pompy tłoczące, kompresory itp.

Wahania napięcia można scharakteryzować następującymi parametrami [5]:

- amplitudą wahań ΔU wyrażoną we woltach lub δU wyrażoną w jednostkach względnych,
 - częstością wahań f_u wyrażoną w Hz,
 - energetyczną dawką wahań D_v wyrażoną w $V^2 \cdot s$
 - wskaźnikami uciążliwości migotania światła: krótkookresowym P_{st} oraz długookresowym P_{lt} , wyrażonymi w jednostkach niemianowanych.
- Istnieją dwie podstawowe metody pomiaru wahań napięcia:
- pierwsza, polegająca na ilościowej ocenie zjawiska na podstawie zmiany czasowej wartości skutecznej napięcia lub jego obwiedni,

- druga, polegająca na wyznaczeniu współczynników P_{st} i P_{lt} w ocenie migotania światła.

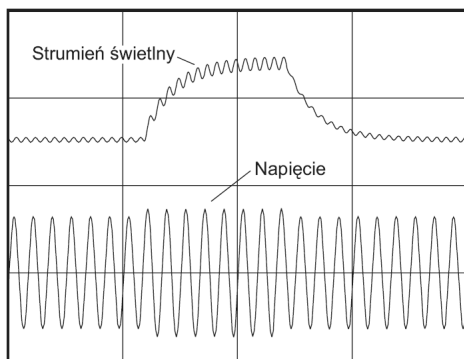
Na potrzeby oceny wahań napięcia z wykorzystaniem drugiej metody opracowano miernik migotania światła (ang. Flickermeter). Szczegółowy opis samego miernika jak również sposoby wyznaczania parametrów P_{st} i P_{lt} zawarto w dokumencie [6].

3. Migotanie światła

Jak już przedstawiono, wahania napięcia powodują szereg negatywnych oddziaływań na odbiorniki. Grupą odbiorników szczególnie wrażliwych na wahania napięcia są odbiorniki oświetleniowe. Wahania te powodują zmiany strumienia świetlnego Φ , które noszą nazwę migotania źródła światła. Zależność strumienia świetlnego źródła światła w funkcji wartości skutecznej napięcia można przedstawić w postaci:

$$\Phi^* = U^{*\gamma} \quad (1)$$

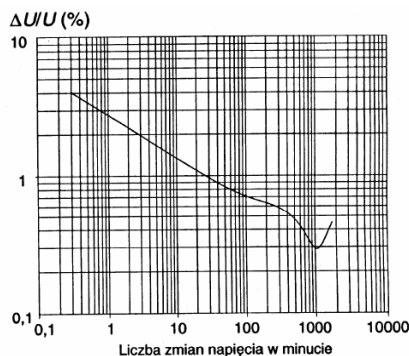
gdzie: Φ^* oraz U^* są względnymi wartościami strumienia świetlnego i napięcia zasilającego, a γ jest współczynnikiem, którego wartość zależy od typu źródła światła. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe zmiany strumienia świetlnego żarówki wywołane zmianą napięcia zasilania.



Rys. 1. Zależność strumienia świetlnego w funkcji zmian napięcia zasilania

Fig. 1. The dependence of luminous flux vs. supply voltage changes

Migotanie światła, jako proces związany z przetwarzaniem sygnału w torze pomiarowym: źródło światła – oko – mózg, spowodowane wahaniami napięcia, ma istotny wpływ na zdolność widzenia oraz zmęczenie organizmu. Intensywność migotania światła jest uzależnione od rodzaju źródła oraz od jego parametrów konstrukcyjnych.



Rys. 2. Zależność progu postrzegania od częstotliwości względnej zmiany napięcia zasilania

Fig. 2. The dependence of perception level on relative change of voltage

Przeprowadzone badania odczuwania przez ludzi migotania światła pozwoliły na wyznaczenie charakterystyki, zwanej krzywą uciążliwości, opisującej zależność względnej zmiany napięcia od ilości tych zmian w jednostce czasu. Na rysunku 2 przedstawiono zależność progu uciążliwości migotania światła od częstotliwości względnej zmiany napięcia dla prostokątnego sygnału wymuszającego.

Zmiany, których częstotliwość lub amplituda znajdują się powyżej krzywej z rysunku 2 uznaje się jako uciążliwe, które mogą powodować negatywne skutki dla organizmu ludzkiego.

4. Badania laboratoryjne

Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym, składającym się z badanego źródła światła, generatora napięcia o modulowanej amplitudzie zasilającego źródła światła wraz oprogramowaniem sterującym, oraz układu pozycjonowania obserwatora względem obserwowanej powierzchni oświetlanej badanym źródłem światła.

W omawianym układzie pomiarowym, jako źródło napięcia wykorzystano generator 6811B firmy Agilent [7], sterowany programem, AC-Source GUI [8]. Generator ten umożliwia, między innymi, zadawanie kształtu przebiegu czasowego, wartości skutecznej i częstotliwości, modulację amplitudy AM i częstotliwości FM przebiegiem harmonicznym.

Układ pozycjonowania zapewnia stałą i niezmienną odległość obserwatora względem obserwowanej powierzchni.

Na rysunku 3 przedstawiono widok zaprojektowanego i skonstruowanego stanowiska pomiarowego.

Program AC-Source GUI umożliwia zadawanie sekwencyjnej zmiany kształtu przebiegu czasowego, wartości skutecznej i częstotliwości. Zadawanie polega na określeniu czasu trwania danego stanu oraz szybkości zmian ze stanu poprzedniego do bieżącego.

W badaniach, jako sygnał modulowany wykorzystano sygnał sinusoidalny o wartości skutecznej 230 V i częstotliwości 50 Hz. Sygnałem modulującym był również przebieg sinusoidalny. Badania ograniczono do amplitudowej modulacji sygnału AM, dla częstotliwości sygnału modulującego do 150 Hz.



Rys. 3. Widok stanowiska pomiarowego do badania wpływu wahań napięcia na wybrane źródła promieniowania optycznego

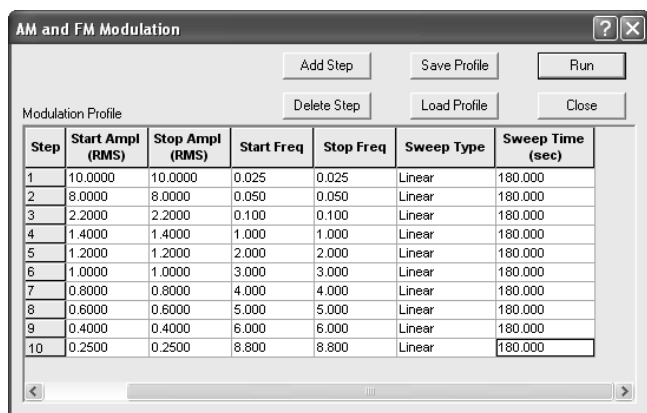
Fig. 3. The view of measuring post to examine a influence of voltage fluctuations of selected optical radiation sources

Parametrem charakteryzującym modulację amplitudową jest współczynnik głębokości modulacji m , który wyraża się zależnością (2):

$$m = \frac{A_m}{A_n} \quad (2)$$

gdzie: A_m - amplituda sygnału modulującego, A_n - amplituda sygnału modulowanego.

Na rysunku 4 przedstawiono okno programu AC Source GUI przeznaczone do ustawienia parametrów dla modulacji amplitudowej.



Rys. 4. Widok okna modulacji amplitudowej
Fig. 4. The view of window of amplitude modulation

Przedstawione na rysunku 4 wartości skuteczne napięć modulujących jak również wartości częstotliwości są rzeczywistymi wartościami wykorzystywanymi w trakcie przeprowadzania badań na stanowisku pomiarowym. Posłużyły one do wyznaczania charakterystyk przedstawionych na rysunkach od 5 do 7.

W badaniach wykorzystano następujące źródła światła:

- tradycyjne żarowe o mocy 60 W,
- świetlówki energooszczędne firmy DULUXSTAR o mocy 11 W Mini Twist oraz Mini Ball,
- żarówkę halogenową ES firmy OSRAM o mocy 42 W.

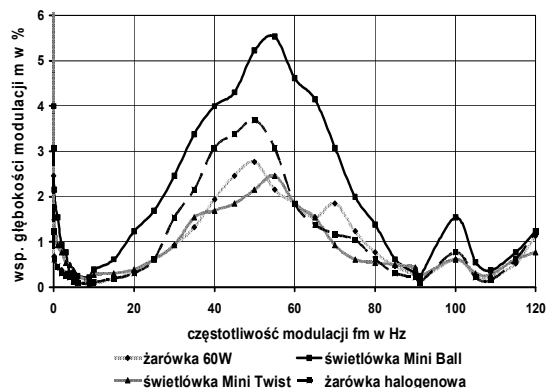
Badania wpływu wahań napięcia na wybrane źródła promieniowania optycznego przeprowadzane były przez dwie osoby, które były w tym przypadku „detektorami” uciążliwości migotania światła. Ze względu na zmęczenie wzroku obserwatora na skutek dużej uciążliwości przeprowadzanych eksperymentów, badania były przeprowadzane przez czas 30 minut. Następnie następowała przerwa, również 30 minutowa, po której badania były kontynuowane. W trakcie jednego dnia wykonywano cztery takie cykle pomiarowe.

Taki sposób przeprowadzania pomiarów powodował, że badania dla wszystkich czterech źródeł światła trwały około 10 dni. Różnice pomiędzy obydwoma obserwatorami były niewielkie, dlatego w pracy zaprezentowano wartości uzyskane w trakcie pomiarów dla jednej osoby.

Istotną rolę w przeprowadzonych badaniach, dotyczących określenia uciążliwości migotania światła, odgrywają warunki panujące w pomieszczeniu gdzie prowadzony jest eksperyment. Jak już wspomniano, prowadzone badania są czasochłonne – trwały około 10 dni. Dlatego należało zapewnić jednakowe warunki pomiaru przez cały czas trwania eksperymentu. Pomiaru przeprowadzono w pomieszczeniu o częściowym zaciemnieniu, co zapewniało niezmienną warunków zarówno w trakcie przeprowadzania badań, jak również w trakcie przerw pomiędzy pomiarami, przez cały 10 dniowy okres trwania eksperymentu.

Na rysunku 5 przedstawiono charakterystyki współczynnika głębokości modulacji m , w funkcji częstotliwości modulacji f_m dla badanych źródeł światła.

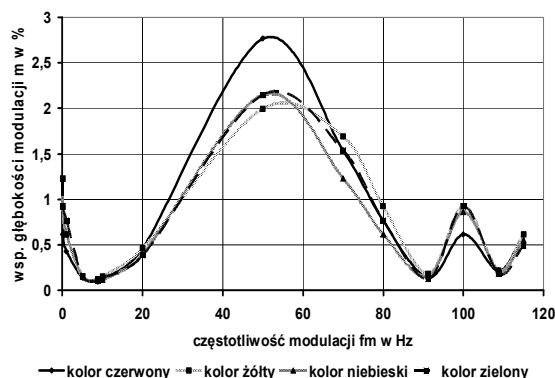
Analizując charakterystyki przedstawione na rysunku 5 można zauważyć, że częstotliwość modulacji f_m ma zasadniczy wpływ na wartość współczynnika głębokości modulacji m , a co z tego wynika na próg postrzegania migotania oświetlenia dla wszystkich badanych źródeł światła. Widoczne na powyższym rysunku trzy minima, oznaczające najmniejsze wartości progu postrzegania, występują dla częstotliwości 8,8 Hz, 91,2 Hz, oraz 108,8 Hz.



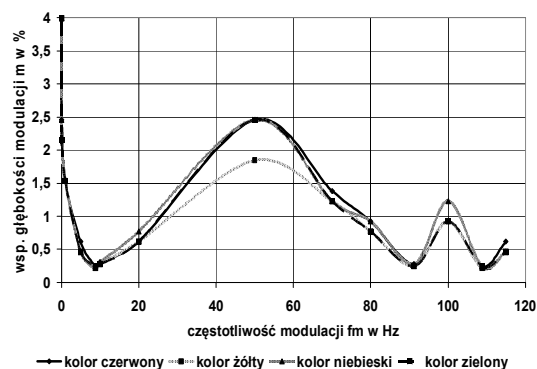
Rys. 5. Charakterystyka $m = f(f_m)$ badanych źródeł światła
Fig. 5. The characteristic $m = f(f_m)$ of tested light sources

Wyznaczone powyżej wartości częstotliwości określają punkty, w których stosunkowo nieduże wartości migotania światła są szczególnie uciążliwe dla organizmu ludzkiego. Analiza przedstawionych charakterystyk pozwala na sformułowanie wniosku, że spośród przebadanych źródeł światła najbardziej podatnym na wahania napięcia jest żarówka halogenowa. Z kolei najbardziej odpornym na wahania napięcia, z pośród przebadanych źródeł światła, okazała się świetlówka energooszczędna Mini Ball.

Kolejnym etapem badań, było określenie wpływu koloru oświetlanej powierzchni na próg postrzegania migotania oświetlenia dla wszystkich badanych źródeł. Badania przeprowadzono dla takiego samego zakresu zmian częstotliwości i kolorów oświetlanych powierzchni: czerwonego, żółtego, niebieskiego oraz zielonego.



Rys. 6. Charakterystyka $m = f(f_m)$ żarówki halogenowej
Fig. 6. The characteristic $m = f(f_m)$ of halogen lamp



Rys. 7. Charakterystyka $m = f(f_m)$ świetlówki Mini Ball
Fig. 7. The characteristic $m = f(f_m)$ of Mini Ball fluorescent lamp

Na rysunku 6 i 7 przedstawiono przykładowe charakterystyki $m = f(f_m)$ dla najbardziej i najmniej podatnych na wahania napięcia źródeł światła – żarówki halogenowej, oraz świetlówki Mini Ball.

Analizując wyniki pomiarów przedstawione na rysunkach 6 i 7 można sformułować wniosek, że pomimo pewnego odchylenia krzywej dla koloru czerwonego, na rysunku 6, i żółtego, na rysunku 7, w stosunku do pozostałych barw, kolor oświetlanej powierzchni w niewielkim stopniu wpływa na wartość progu postrzegania migotania światła. Dla pozostałych badanych źródeł światła charakterystyki współczynnika modulacji światła m w funkcji częstotliwości modulacji f_m dla poszczególnych barw, w zasadzie się pokrywają.

Sposób wyznaczania charakterystyk przedstawionych na rysunkach od 5 do 7 jest analogiczny jak przy wyznaczaniu charakterystyki przedstawionej na rysunku 2. Dla określonej wartości częstotliwości sygnału modulującego zmieniano wartość współczynnika modulacji danego zależnością (2) w taki sposób, aż obserwator uznał daną wartość migotania, jako uciążliwą. Badania powtarzano dla kilkunastu wartości częstotliwości z przedziału do 150 Hz.

Końcowy wniosek, jaki można sformułować z tej części badań jest taki, że w przekroju badanego pasma częstotliwości, wpływ koloru oświetlanej powierzchni na wartość postrzegania uciążliwości migotania światła jest bardzo ograniczony. W szczególności zjawisko to jest widoczne dla wyznaczonych poprzednio częstotliwości modulacji, dla których migotanie światła jest szczególnie uciążliwe dla organizmu ludzkiego.

5. Podsumowanie

W pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych dotyczących zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia dla wybranych źródeł promieniowania optycznego. Badania przeprowadzono dla wahań napięcia odtwarzanych modulacją amplitudy dla częstotliwości sygnału modulującego do 150 Hz, na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym. W badaniach wykorzystano następujące źródła światła: inkandescencyjne, halogenowe, oraz tzw. energooszczędne świetlówki różnych producentów. Uzyskane rezultaty pozwoliły na sformułowaniu wniosków dotyczących określenia wpływu wahań napięcia na odczuwanie migotania dla badanych źródeł światła.

Wyznaczono wartości częstotliwości, przy których migotanie światła jest szczególnie uciążliwe dla organizmu ludzkiego w szerokim zakresie częstotliwości sygnału modulującego.

Przeprowadzono analizę metrologiczną uzyskanych wyników pomiarów, która pozwoliła na sformułowanie wniosków końcowych dotyczących określenia źródeł światła najmniej jak również najbardziej podatnych na wahania napięcia. Ponadto określono wpływ koloru oświetlanej powierzchni na próg postrzegania migotania światła dla badanych źródeł promieniowania optycznego.

Autor wyraża podziękowanie Panu Michałowi Salickiemu za pomoc w realizacji części eksperymentalnej.

6. Literatura

- [1] Braun J., Perera S., Gosbell V.: Design of Light Chamber for the Characterisation of Flicker Behavior of Lamps. Proceedings of the Australasian Universities Power Engineering Conf., Hobart 2005, 6s.
- [2] Chen S. et al.: Automatic Evaluation of Flickering Sensitivity of Fluorescent Lamps Caused by Interharmonic Voltages. Proceedings of the XIII International Conference on Harmonics and Quality of Power, Wollongong 2008, 6s.
- [3] Drapela J. et al.: Light Flicker of Fluorescent Lamps with Different Types of Ballasts Caused by Interharmonics. Proceedings of Power Tech. Conf., St Petersburg 2005, pp. 1 - 7.
- [4] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002.
- [5] Kowalski Z.: Jakość energii elektrycznej. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2007.
- [6] PN - EN 61000-4-15. Kompatybilność elektromagnetyczna EMC. Metody badań i pomiarów, Miernik migotania światła. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1999.
- [7] User's Guide AC Power Solutions Agilent Models 6811B, 6812B, and 6813B. Agilent, 2000.
- [8] Agilent Technologies AC Source/ Power Analyzer Graphical User Interface for Windows 95-98, 2000 and Windows NT 4.0, Quick Start Guide. Agilent, 2006.

otrzymano / received: 02.07.2010

przyjęto do druku / accepted: 02.08.2010

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Nowa inicjatywa PAK

Na stronie internetowej Wydawnictwa PAK został utworzony dział: **Niepewność wyników pomiarów** w którym są zamieszczane aktualne informacje dotyczące problemów teoretycznych i praktycznych związanych z szacowaniem niepewności wyników pomiarów. W dziale znajdują się:

- aktualne informacje o publikacjach dotyczących niepewności wyników,
- informacje o przedsięwzięciach naukowo–technicznych i edukacyjnych, o tematyce związanej z niepewnością,
- dokumenty dotyczące niepewności,
- pytania do ekspertów (FAQs).

Zapraszamy:

- autorów opublikowanych prac dotyczących niepewności o nadsyłanie tekstów do zamieszczenia w tym dziale,
 - organizatorów przedsięwzięć naukowo – technicznych lub edukacyjnych do nadsyłania informacji o imprezach planowanych lub odbytych,
 - zainteresowanych zagadnieniami szczegółowymi do nadsyłania pytań do ekspertów.
- Materiały mogą mieć formę plików lub linków do źródeł. Warunkiem zamieszczenia w tym dziale strony internetowej PAK materiałów lub linków jest przysłanie do redakcji PAK pocztą zwykłą zgody właściciela praw autorskich na takie rozpowszechnienie. Zamieszczanie i pobieranie materiałów i informacji w tym dziale strony internetowej jest bezpłatne. Redakcja PAK będzie nadzorować zawartość działu, ale za szczegółowe treści merytoryczne odpowiadają autorzy nadsyłanych materiałów.