

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Maciej WOJTASZAK

pod tytułem:

**Wpływ energii liniowej łuku spawalniczego
na strukturę i właściwości złączy ze stali DD11 i DD14**

przygotowanej pod kierunkiem:

prof. dr hab. inż. Janusz Adamiec

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.).

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Uwagi ogólne

Opiniowana praca powstała pod opieką prof. dr hab. inż. Janusza Adamca na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej w Katedrze Metalurgii i Recyklingu gdzie od lat prowadzone są m. in. badania aplikacyjne nad rozwiązaniami materiałowymi i technologiami we współpracy z przemysłem. Recenzowana praca wpisuje się doskonale w nurt prac badawczych tej Katedry - opracowaniem nowych rozwiązań w obszarze innowacyjnych technologii spajania tworzyw metalicznych.

Badania przeprowadzone przez mgr inż. Macieja Wojtaszaka w ramach doktoratu prowadzone były we współpracy i na potrzeby firmy Trelleborg Wheel Systems (po zmianie Yokohama-TWS), która zajmuje się konstruowaniem i produkcją opon i felg specjalnych. Felgi te są stosowane w ekstremalnych warunkach pracy i w związku z tym wymagana jest ich duża niezawodność. Najczęściej felgi specjalnego zastosowania, z uwagi na rozmiary oraz właściwości użytkowe, produkowane są ze stali niskowęglowych (w gatunku DD11 lub DD14) walcowanych na gorąco przeznaczonych do przeróbki plastycznej na zimno w procesie rolowania – tak zwanego.

Powtarzalność i jakość wykonania felg specjalnego zastosowania są kluczowymi aspektami nie tylko z perspektywy wymagań technicznych oraz wymagań odbiorcy, ale również wpływają na bezpieczeństwo eksploatacji produkowanych wyrobów. By w pełni sprostać tym oczekiwaniom konieczne są zmiany od strony projektowej, wydajności produkcji i jakości felg specjalnego zastosowania.

Jednym z głównych kryteriów decydujących o konstrukcji felgi jest możliwość jej łączenia technologiami spawalniczymi. Wciąż poszukuje się efektywnych rozwiązań pozwalających wytwarzać felgi metodami wysokowydajnymi, które znacznie poprawią konkurencyjność przedsiębiorcy na rynku. Nowoczesne metody łączenia takie jak: spawanie metodą MAG (Metal Active Gas) z podwójnym pulsem, spawanie laserowe lub hybrydowe czy też wysokowydajne zgrzewanie oporowe pozwalają nie tylko uzyskać powtarzalność produkowanych wyrobów, ale również zwiększają wydajność produkcji felg. Ponadto analiza wskaźników ekonomicznych w firmie Yokohama-TWS wykazała, że istnieje konieczność modyfikacji lub wdrożenia nowych wysokowydajnych, energooszczędnych procesów łączenia zarówno pierścieni felg jak również modyfikacji procesu spawania pierścienia felgi z dyskiem.

Struktura złącza, kształtowana w zależności od zastosowanej metoda spawania, decyduje o właściwościach felg i jest jej krytycznym elementem. Istnieje zatem konieczność oceny wpływu energii liniowej spawania wytwarzanej w każdej z proponowanych metod na strukturę połączenia, a tym samym na jego właściwości użytkowe.

Z przeprowadzonej przez Doktoranta analizy literatury wynika, że brak jest pełnych informacji na temat wpływu energii liniowej łuku oraz energii wiązki laserowej na strukturę i właściwości złączy spawanych wysokowydajnymi technologiami (metodą MAG z podwójnym pulsem, spawanie laserowe, spawanie hybrydowe) oraz oceny wpływu tych technologii na jakość i wydajność procesu wytwarzania felg.

Doktorant postawił sobie za cel określenie możliwości zastosowania wysokowydajnych i energooszczędnych technologii łączenia zapewniających wzrost wydajności procesu wytwarzania felg pod kątem opracowania wytycznych technologicznych ich spawania metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym pulsem wraz z przygotowaniem dokumentacji do kwalifikowania tych technologii łączenia.

Realizując ten cel Doktorant w swojej dysertacji zbadał możliwość wdrożenia nowoczesnych wysokowydajnych, energooszczędnych metod łączenia w procesie produkcji felg specjalnego zastosowania, które zapewnią złącza o prawidłowej strukturze oraz właściwościach mechanicznych i użytkowych spełniających wymagania klienta zgodne z wytycznymi ETRTO (The European Tyre and Rim Technical Organisation).

Recenzowana praca dotyczy, moim zdaniem, zagadnień o istotnej wartości poznawczej i przede wszystkim aplikacyjnej. Podjęto w niej bardzo istotny z punktu widzenia technologii materiałów wątek badawczy - opracowanie optymalnego sposobu wytwarzania silnie obciążonych konstrukcji stalowych.

Uwagi redakcyjne

Recenzowana dysertacja jest kompletna i napisana w sposób komunikatywny. Ma ona klasyczny układ i została podzielona na następujące główne rozdziały: *Przegląd Literatury, Badania Własne, Aspekty Ekonomiczne Zastosowanej Nowej Technologii Spawania Felg Specjalnego Zastosowania, Analiza Wyników Badań i Wnioski.*

W rozdziale *Przegląd literatury* przedstawiono wymagania prawne i techniczne stawiane felgom. Przedstawiono materiał i technologie ich produkcji. Na końcu tego rozdziału sformułowano tezę, cel i zakres pracy. W rozdziale *Badania Własne* opisano materiał i metodykę badań wykonanych w ramach rozprawy doktorskiej. Przetawiono wyniki symulacji numerycznej procesów spawania felg oraz opisano próby technologiczne spawania. W dalszej części szczegółowo przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań nieniszczących i niszczących. *Analiza Wyników Badań* przedstawiona w rozdziale 5 dysertacji zawiera statystyczną analizę otrzymanych rezultatów dla poszczególnych metod spawania. Konkluzje i podsumowanie przedstawiono w rozdziale *Wnioski*.

Pracę czyta się z dużym zainteresowaniem tym bardziej, że jest ona napisana poprawnie pod względem językowym i praktycznie nie zawiera błędów redakcyjnych. Na uwagę zasługują trafnie dobrane i aktualne powołania literaturowe (152 pozycje).

Teza, cel i zakres pracy

Niskoenergetyczne odmiany spawania w osłonach gazowych pozwalają na spawanie w sposób wydajny i kontrolowany elementy z materiałów wrażliwych na wprowadzane ciepło. Technologie spawania, gdzie źródłem ciepła jest łuk elektryczny, wiązka lasera, strumień plazmy czy płomień gazowy, wpływają na strukturę i właściwości złączy. Konieczna jest więc ocena możliwości wykorzystania nowych procesów spawania do łączenia felg specjalnego zastosowania, w których o właściwościach złączy decyduje jego struktura powstająca w wyniku zachodzących zjawisk metalurgicznych i przemian fazowych podczas spawania.

Analizując różne metody spawania oraz parametry procesu, można regulować ilość energii wprowadzanej do złącza, co wpływa na charakter cyklu cieplnego, a to przekłada się na jego strukturę i właściwości.

Z przeprowadzonej przez Doktoranta krytycznej analizy aktualnego stanu wiedzy związanego z tematem pracy wynika, że brak jest w literaturze pełnych informacji na temat wpływu najistotniejszych parametrów procesu spawania - energii liniowej łuku oraz energii wiązki laserowej na strukturę i właściwości złączy spawanych wysokowydajnymi technologiami (metodą MAG z podwójnym pulsem, spawanie laserowe, spawanie hybrydowe) oraz oceny wpływu tych technologii na jakość i wydajność procesu wytwarzania felg.

Fakt ten był bezpośrednią inspiracją Autora rozprawy do sformułowania następującej tezy badawczej:

„Energia liniowa łuku spawalniczego oraz moc wiązki laserowej decydują o strukturze i właściwościach złączy, a tym samym o możliwym zastosowaniu nowoczesnych wysokowydajnych procesów łączenia w produkcji felg specjalnego zastosowania, spełniających wymagania klienta zgodnych z wytycznymi ETRTO.”.

Weryfikacja postawionej tezy oparta została na realizacji trzech rodzajów celów:

Cel metodyczny:

- „opracowanie metodyki oceny struktury i właściwości złączy spawanych metodą MAG, MAG z podwójnym pulsem, spawanych laserowo, hybrydowo oraz zgrzewanych z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych umożliwiających opisanie zjawisk strukturalnych decydujących o ich właściwościach”.

Cele poznawcze:

- „określenie wpływu energii liniowej łuku spawalniczego i mocy wiązki laserowej na strukturę i właściwości złączy ze stali stosowanych na felgi specjalnego zastosowania,
- ocena czynników technologicznych i strukturalnych decydujących o odporności złączy spawanych wysokowydajnymi technologiami na korozję elektrochemiczną,
- określenie możliwości zastosowania wysokowydajnych i energooszczędnych technologii łączenia zapewniających wzrost wydajności procesu wytwarzania felg”.

Cel użytkowy:

- „opracowanie wytycznych technologicznych spawania felg metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym pulsem oraz przygotowanie dokumentacji do kwalifikowania tych technologii łączenia”.

Koncepcja dowodzenia tezy przyjęta przez Doktoranta zakłada przeprowadzenie badań obejmujących kilka etapów:

1. Dobór materiałów do badań, analiza numeryczna pola temperatury, naprężeń i odkształceń podczas spawania poszczególnymi technologiami oraz ocena jakości połączenia.
2. Określenie struktury złączy spawanych oraz badania ich właściwości mechanicznych i odporności na korozję.
3. Ocena czynników technologicznych i strukturalnych decydujących o odporności złączy spawanych wysokowydajnymi technologiami na korozję elektrochemiczną.

4. Opracowanie wytycznych technologicznych łączenia felg poprzez spawanie laserowe, hybrydowe, z podwójnym impulsem oraz przygotowanie dokumentacji do kwalifikowania tych technologii spawania.
5. Ocena aspektów ekonomicznych zastosowania nowej technologii spawania w produkcji felg specjalnego zastosowania.

Do oceny jakości złączy spawanych ze stali DD11 i DD14 wykonano badania nieniszczące oraz badania niszczące. Badania nieniszczące obejmowały badania wizualne i radiograficzne. W ramach badań niszczących wykonano badania metalograficzne, badania właściwości mechanicznych złączy, w szczególności statyczną próbę rozciągania, próbę zginania, próbę udarności, pomiary twardości, a także badania odporności korozyjnej w komorze solnej oraz w komorze Koesternicha.

Uważam, że przeprowadzone przez Doktoranta badania dostarczyły spójnych informacji, które pozwoliły na realizację celu pracy i rzetelne zweryfikowanie postawionej tezy. Raz jeszcze chciałbym podkreślić duże znaczenie zarówno poznawcze jak i przede wszystkim praktyczne uzyskanych wyników badań.

W podsumowaniu stwierdzam, że cel i zakres opiniowanej pracy w pełni spełniają wymagania stawiane badaniom będącym podstawą rozpraw doktorskich.

Ocena rozprawy doktorskiej

Autor dysertacji bardzo dobrze zidentyfikował problem badawczy, poprawnie postawił tezę i sformułował cele badawcze oraz dobrał techniki badawcze adekwatnie do zaplanowanych zadań. Z lektury doktoratu można wywnioskować, że Doktorant wykonał eksperymenty w większości samodzielnie, a uzyskane wyniki badań poddał szczegółowej analizie konfrontując je z aktualnym stanem wiedzy. Dowodzi to, że mgr inż. Maciej Wojtaszak posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Doktorant podjął się ambitnego zadania aplikacyjnego - opracowania wytycznych technologicznych spawania felg metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym impulsem oraz przygotowanie dokumentacji do kwalifikowania tych technologii łączenia. Realizując to zadanie mgr inż. Maciej Wojtczak wykazał, że posiada niezbędną wiedzę w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa, która skutecznie pozwoliła Mu na realizację planu badawczego.

Istotnym, z punktu widzenia praktycznego, jest opracowanie przez Doktoranta metodyki oceny struktury i właściwości złączy spawanych metodami MAG, MAG z podwójnym pulsem, spawanych laserowo, hybrydowo oraz zgrzewanych, co umożliwia opisanie zjawisk strukturalnych decydujących o ich właściwościach.

Wartościowym wynikiem badań w kontekście aplikacyjnym jest przeprowadzenie przez Autora rozprawy symulacji numerycznej badanych procesów spawania metodą elementów skończonych, w tym pola naprężeń i odkształceń oraz wyników prób technologicznych. Analiza numeryczna potwierdziła zbieżność z otrzymanymi wynikami eksperymentalnymi co może posłużyć do poprawy rozwoju prac badawczo-rozwojowy w produkcji felg specjalnych w zakresie technologii spawalniczych poprzez dokładniejsze i szybsze przygotowanie zmian w procesie produkcyjnym.

Uważam, że bardzo cenne z punktu widzenia opracowania wytycznych technologicznych dla poszczególnych metod spawania jest wykazanie przez Doktoranta, że:

- „Struktura dla wszystkich złączy ze stali DD11 i DD14 była typowa dla procesów spawania”.
- „Właściwości mechaniczne wszystkich złączy były na poziomie materiału podstawowego”.
- „Wykonane złącza doczołowe niezależnie od metody spawania, spełniały założone wymagania właściwości mechanicznych wymagane dla poziomu jakości „B” wg odpowiednich norm, jednak z uwagi na ujawnione liczne pęcherze złącza spawane laserowo nie spełniły wymagań poziomu jakości B wg PN-EN ISO 13919-1:2020”.
- „Ocena właściwości użytkowych badanych złączy na podstawie odporności na korozję we mgle solnej oraz w atmosferze wilgotnej siarki wykazała brak statystycznych różnic zmian masy próbki, co wskazuje, że niezależnie od technologii spawania złącza mają podobne właściwości użytkowe”.

Warte podkreślenia jest wskazanie przez Doktoranta, że istotnym parametrem opisującym właściwości złączy, który może być wykorzystany do weryfikacji przydatności technologicznej określonej metody łączenia, szczególnie podczas formowania cylindra, jest rozkład twardości oraz jego zmienność.

Przeprowadzona przez Doktoranta analiza statystyczna otrzymanych wyników zmienności rozkładu twardości w złączu spawanym oraz wyników badań właściwości mechanicznych i badań strukturalnych wykazała, że technologie spawania MAG z pulsem, spawania hybrydowego oraz zgrzewania przewidziane do stosowania w procesie wytwarzania felg specjalnych umożliwiają uzyskanie złączy na podobnym poziomie właściwości, jak w przypadku spawania MAG. Oznacza to, że pozwalają one na zastąpienie obecnie stosowanych metod spawania przez bardziej wydajne techniki bez znaczących zmian w właściwościach końcowych produktów.

Bardzo wartościowym wątkiem dysertacji jest analiza ekonomiczna wdrożenia badanych technologii w stosunku do obecnie stosowanych przy produkcji felg specjalnych.

Do łączenia cylindrów felg specjalnych, przy założeniu ich dalszego formowania, zaleca się zgrzewanie. Proces ten jest 5 krotnie szybszy w stosunku do obecnie stosowanej metody spawania MAG. Z kolei do łączenia uformowanego cylindra wraz z dyskiem felgi, ze względu na brak możliwości zgrzewania zaleca się zastosowanie technologii spawania hybrydowego lub spawania metodą MAG z podwójnym pulsem gdyż proces zgrzewania w tym przypadku jest trudy w realizacji, a proces operacji uległ by wydłużeniu.

Doktorant dowiódł, że koszt wdrożenia technologii zgrzewania w stosunku do technologii spawania hybrydowego do produkcji cylindra felg specjalnych jest dwukrotnie wyższy, natomiast uwzględniając wydajność jest to wdrożenie uzasadnione ekonomicznie.

Rezultatem aplikacyjnym prowadzonych przez mgr inż. Macieja Wojtaszaka badań było opracowanie wytycznych technologicznych do kwalifikowania technologii spawania łukowego metodą MAG z podwójnym pulsem oraz hybrydowego (laser + MAG) oraz zgrzewania blach ze stali DD11 i DD14 w procesie produkcji felg specjalnych.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że zaplanowany przez Doktoranta program badawczy został w pełni zrealizowany. Dogłębnie zweryfikował hipotezę badawczą oraz osiągnął cele pracy (metodyczny, poznawczy i użytkowy).

Moim zdaniem rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Wojtaszaka stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego o charakterze aplikacyjnym, bardzo dobrze osadzonego w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań wnoszą nową wiedzę w obszarze spawania silnie obciążonych konstrukcji stalowych.

Uwagi

Doktorant zatytułował swoją dysertację „Wpływ energii liniowej łuku spawalniczego na strukturę i właściwości złączy ze stali DD11 i DD14”. Uważam, że tytuł ten nie oddaje w pełni zawartości pracy. Przystawiony w rozprawie problem badawczy jest znacznie szerszy i oprócz badań związanych z wpływem energii łuku spawalniczego i mocy wiązki lasera na strukturę i właściwości złączy (cel metodyczny i poznawczy pracy), Doktorant podjął również badania w zakresie „opracowanie wytycznych technologicznych spawania felg metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym pulsem oraz przygotowanie dokumentacji do kwalifikowania tych technologii łączenia” (cel użytkowy pracy). Sądzę, że bardziej adekwatny do zawartości przedstawionych w rozprawie badań byłby tytuł np. „Dobór optymalnej metody spawania do produkcji felg specjalnego zastosowania” lub „Opracowanie wytycznych technologicznych dla optymalnej metody spawania felg w oparciu o analizę wpływu energii łuku spawalniczego i mocy wiązki lasera na strukturę i właściwości złączy”.

W rozdziale 2.1 „Wymagania prawne i techniczne stawiane felgom” Doktorant informuje, że w standardzie EUWA (Association of European Wheel Manufacturers) określającym metody badań laboratoryjnych służących do oceny wymagań charakterystyk wytrzymałościowych felg stalowych z dyskiem stałym lub regulowanym, jedną z zalecanych metod badań jest dynamiczny test zmęczeniowy dysku felgi. W zrealizowanym planie badawczym Autor rozprawy nie przewidział tego badania. Czy w standardzie ETRTO (European Tire and Rim Technical Organisation), do którego referował się Doktorant w swojej tezie badawczej, brak jest wymogu przeprowadzenia tego badania? Wydaje się on być dość istotny z punktu widzenia charakteru obciążenia felg w szczególności w środowisku korozyjnym (przeprowadzenie badań zmęczeniowych w środowisku korozyjnym).

W rozdziale 2.6 „Teza, cel i zakres pracy” Autor rozprawy formułuje cel użytkowy badań „opracowanie wytycznych technologicznych spawania felg metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym pulsem oraz przygotowanie dokumentacji do kwalifikowania tych technologii łączenia”.

Czy Doktorant mógłby przedstawić opis tej dokumentacji do kwalifikowania technologii łączenia felg?

Na końcu rozdziału 6 „Wnioski” Doktorant podaje wytyczne technologiczne spawania felg metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym pulsem podkreślając, że „zastosowanie wskazanych wytycznych technologicznych powinno umożliwić uzyskanie złączy spełniających wymagania poziomu jakości B wg odpowiednich norm”.

Dlaczego Autor rozprawy użył określenia „powinno umożliwić” , a nie „umożliwić”? Czy istnieje konieczność uzupełnienia tych wytycznych?

3. Wniosek końcowy

Bardzo dobrze oceniam pracę doktorską mgr inż. Macieja Wojtaszaka. Autor pracy wybrał bardzo interesujący problem badawczy, umiejętnie sformułował tezę, cel i zakres pracy oraz wnikliwie przeprowadził analizę otrzymanych wyników badań pod kątem opracowania wytycznych technologicznych spawania felg specjalnych ze stali DD11 i DD14 metodą laserową, hybrydową oraz MAG z podwójnym pulsem.

Uzyskane przez Autora dysertacji wyniki badań pozwoliły na weryfikację postawionej tezy. Dowiódł, że energia liniowa łuku spawalniczego oraz moc wiązki laserowej decydują o strukturze i właściwościach złączy, a tym samym o możliwym zastosowaniu nowoczesnych wysokowydajnych procesów łączenia w produkcji felg specjalnego zastosowania.

Przeprowadzone przez Doktoranta badania posłużyły również do przeprowadzenia analizy ekonomicznej wdrożenia w procesie produkcji felg proponowanych metod spawania w stosunku do obecnie stosowanej metody spawania MAG.

Szczegółowa analiza rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Wojtaszaka pozwala stwierdzić, że:

- Zrealizowane przez Doktoranta badania, które pozwoliły na określenie możliwości zastosowania wysokowydajnych i energooszczędnych technologii łączenia zapewniających wzrost wydajności procesu wytwarzania felg, dowodzą, że posiada On umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.
- Umiejętność krytycznej analizy otrzymanych przez Doktoranta wyników badań pod kątem ich wykorzystania w praktyce składa się na dużą wartość badawczą recenzowanej rozprawy. Dowodzi to, że Autor rozprawy posiada wysoki poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

- Doktorant podjął się rozwiązania oryginalnego problemu badawczego, a uzyskane wyniki przyczyniły się do poszerzenia wiedzy w zakresie nowoczesnych wysokowydajnych procesów łączenia konstrukcji stalowych. Przedstawione w rozprawie doktorskiej badania dowodzą, że możliwe jest zastosowanie alternatywnych i ekonomicznie uzasadnionych w stosunku do obecnie stosowanej metody, sposobów spawania w procesie produkcji felg specjalnych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora mgr inż. Maciejowi Wojtczakowi w dziedzinie nauk Inżynieryjno-Technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

Chciałbym podkreślić, że uzyskane w niniejszej rozprawie wyniki badań stanowią oryginalny wkład do rozwoju wiedzy w obszarze technologii łączenia metali. Uważam, że Doktorant wykazał nieprzeciętną zdolność do zidentyfikowania i skutecznej realizacji bardzo ambitnego celu badawczego.

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Wojtaszaka pt. „Wpływ energii liniowej łuku spawalniczego na strukturę i właściwości złączy ze stali DD11 i DD14”.

prof. Jarosław Mizera

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)