

Prof. Dr hab. Inż. Stanisław Wolny

Kraków. 19.01.2023

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

AGH Kraków

## Recenzja

### w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Teresy Frąś

#### 1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji w postępowaniu habilitacyjnym Pani dr inż. Teresy Frąś wszczętego przez Radę Naukową Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w dyscyplinie inżynieria mechaniczna jest pismo prof. Dr hab. Inż. Zbigniewa Ranachowskiego sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie z dnia 09.12.2023.

#### 2. Charakterystyka Kandydatki

Dr inż. Teresa Frąś ukończyła w 2008 roku studia magisterskie na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej w zakresie Teorii Konstrukcji Inżynierskich.

Po ukończeniu studiów doktoranckich o podwójnym dyplomowaniu, stopnie doktorskie uczelni polskiej i francuskiej uzyskała na podstawie rozprawy „Modélisation de la surface d'écoulement des matériaux incluant l'anisotropie initiale et l'effet différentiel des contraintes, approche expérimentale et numérique” – ang. „**Modeling of plastic yield surface of metals accounting for asymmetry of elastic range on the basis of experiments and numerical simulation**” (promotorzy: prof. R.B. Pęcherski, prof. A. Rusinek).

Stopień doktora – w dyscyplinie „Sciences de Matériaux” uzyskała w Laboratorium LEM3 (Laboratoire d'Études des Microstructures et de Mécanique des Matériaux) **Uniwersytetu Lotaryńskiego**, Metz (Francja) 2013

Stopień doktora – w dyscyplinie „Mechanika” uzyskała na **Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej**, Kraków 2013.

W latach **03.2009 - 12.2013** – była zatrudniona na stanowisku asystenta w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN), Warszawa.  
Od **12.2013** – jest zatrudniona jako – l'attachée de recherches – French-German Research Institute of Saint-Louis (ISL), Saint-Louis (Francja).

### 3. Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą wszczęcia postępowania habilitacyjnego

Jako osiągnięcie naukowe w myśl ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” Habilitantka przedstawiła jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem:

#### „Badania i modelowanie materiałów inżynierskich pod wpływem obciążeń uderowych”

W skład pozycji stanowiących osiągnięcie wchodzi:

9 prac opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazach Web of Sciences oraz Scopus, zestawionych w kolejności zwiększającej się prędkości uderzenia, a ponadto w kolejnych pracach zmianie ulegała struktura materiału w który uderzał pocisk, jak i struktura pocisku. Przy każdej pracy podano Impact Factor zgodny z rokiem wydania lub rokiem poprzedzającym dla najnowszej publikacji.

1. Fras T, Roth CC, Mohr D. Fracture of high-strength armor steel under impact loading. **Int J Impact Eng** 2018; 111: 147-64 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.09.009>  
IF = 4,208, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 140, liczba cytowań: 45
2. Fras T, Roth CC, Mohr D. Dynamic Perforation of Ultra-hard High-Strength Armor Steel: Impact Experiments and Modeling. **Int J Impact Eng** 2019; 131: 256-271  
<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.05.008>  
IF = 4,208, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 140, liczba cytowań: 25
3. Fras T, Roth CC, Mohr D. Application of two fracture models in impact simulations. **Bull Pol Acad Sci-Tech** 2020; 68.2: 1-9 DOI: 10.24425/bpasts.2020.133120  
IF = 1,328, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 100, liczba cytowań: 8.
4. Fras T, Murzyn A, Pawlowski P. Defeat mechanisms provided by slotted add-on bainitic plates against small-calibre 7,62×51 mm AP projectiles. **Int J Impact Eng** 2017; 103: 241-53  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.01.015>  
IF = 4,208, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 140, liczba cytowań: 20
5. Fras T, Pawlowski P, Li W, Wierzbicki T. Performance of Li-ion pouch battery under a high-velocity impact: experiment and numerical simulation. **Int J Impact Eng** 2021; 103915  
<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2021.103915>  
IF = 4,208, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 140, liczba cytowań: 6.
6. Fras T, Colard L, Lach E, Rusinek A, Reck B. Thick AA7020-T651 plates under ballistic impact of fragment-simulating projectiles. **Int J Impact Eng** 2015; 86: 336-53  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2015.08.001>  
IF = 4,208, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 140, liczba cytowań: 30
7. Fras T, Colar L, Pawlowski P. Perforation of aluminum plates by fragment simulating projectiles. **Int J Multiphysics** 2015; 9.3: 267-86 <http://dx.doi.org/10.1260/1750-9548.9.3.267>  
IF = 4,208, punkty na liście wydawnictw MNiSW i MEiN: 70, liczba cytowań: 11.

8. Frasz T. Modeling of Failure Resulting from High-Velocity Ballistic Impacts. In: Handbook of Damage Mechanics: Nano to Macro Scale for Materials and Structures ed. G.Z. Voyiadjis. DOI: 10.1007/978-3-030-60242-0\_69

9. Frasz T. Experimental and numerical study on a non-explosive reactive armor with the rubber interlayer applied against kinetic-energy penetrators – the 'bulging effect' analysis, **Materials** **2021**; 14: 3334 <https://doi.org/10.3390/ma14123333>

IF = 3,623, punkty na liście wydawnictw MNIŚW i MEiN: 140, liczba cytowań: 1

**Zapoznałem się ze wszystkimi 9 publikacjami i na tej podstawie nabrałem przekonania co do ich wartości naukowej. Poniżej przedstawiam krótkie ich streszczenie.**

Pierwsze trzy prace cyklu dotyczą analizy stanów wyężenia i zniszczenia materiałów, pod wpływem ekstremalnych obciążeń dynamicznych, w szczególności badań udarności z użyciem pocisków o różnych kształtach ostrzy. Pierwsza seria testów dotyczyła jednorodnych płyt stalowych, które podlegały przebiciu pociskami walcowymi, o średnicy 8 mm i o różnych ostrzach (tj. o płaskim, zaokrąglonym i ostrym stożkowym) lecz o tej samej masie. Pary pocisk-pancerz były poddane testom udarności, o prędkościach uderzenia w zakresie 240-450 m/s z użyciem działka pneumatycznego. Celem badania było wskazanie wpływu kształtu pocisku, na sposób zniszczenia stalowej płyty o grubości 3 mm. Podczas eksperymentu rejestrowano tor lotu pocisku, oraz jego zachowanie po przejściu przez pancierz. Bazując na eksperymentalnych obserwacjach penetracji pancierza przez pocisk, opracowano model analityczny procesu, uwzględniający między innymi, z użyciem adekwatnych funkcji matematycznych ruch, zmianę energii, zmianę stanu odkształcenie-napięenie tego pancierza. Analiza numeryczna tego modelu, wymagała znajomości warunków brzegowych i początkowych procesu, a ponadto jego skalibrowania i zwalidowania, co dokonano na podstawie dokładnej charakterystyki właściwości materiałowych i mechanicznych stali, z której wykonany był zarówno pancierz jak i pocisk. Krzywa balistyczna została wyznaczona z dokładnością do 8% w porównaniu z wynikami testów udarności.

Druga seria testów balistycznych, dotyczyła badań udarności płyt perforowanych. Testowane płyty mają cechy materiałowe i geometryczne, pozwalające na ich stosowanie do ochrony przed uderzeniami pocisków przeciwpancernych kalibru 7,62 mm. Testy wykonano bazując na uproszczonej konfiguracji, w której zarówno płyta badanego pancierza, jak i pocisk zostały wykonane z tego samego materiału tj. stali Mars 300. Test miał na celu, jednoznaczne wykazanie zależności uszkodzenia płyty i zachowania pocisku od miejsca uderzenia. Na podstawie dokładnej charakterystyki właściwości materiałowych i mechanicznych stali, zidentyfikowano parametry dwóch fenomenologicznych modeli obiektu, z uwzględnieniem uplastycznienia i pękania. Opracowane modele analityczne poddano analizie, a ich wyniki porównano z wynikami eksperymentu oraz z wynikami uzyskanymi z analiz modelu konwencjonalnego, stosowanego w większości programów do obliczeń MES.

Trzecia praca tej części cyklu, dotyczy modelowania procesu pękania blach stalowych, podczas próby udarności, kiedy zarówno płyta jak i pocisk wykonane są z tego samego materiału, wysokowytrzymałej stali panciernej. Wyniki badań (płyta o grubości 3mm, pociski o różnych kształtach ostrzy przy prędkości uderzenia mniejszej niż 400m/s) wskazują na poważne uszkodzenia elementów, mające znamiona zniszczenia materiału. Analizy numeryczne pękania w w/w warunkach uderzenia, przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch modeli materiałowych, modelu Johnsona- Cooka, tradycyjnie stosowanego w symulacjach uderzeniowych, uwzględniającego trójosiowości naprężeń, prędkości odkształcenia i

temperatury oraz dla porównania, symulację z wykorzystaniem modelu Hosforda-Coulomba uwzględniającego między innymi, trójosiowość stanu naprężeń i kąt Lodego. Celem pracy była analiza mechanizmów penetracji i perforacji, obserwowanych w płytach ze stali pancernej i walidacja metod modelowania.

Cienkie stalowe płyty perforowane, stosowane jako pasywny dodatek poprawiający właściwości ochronne pancerzy, przed pociskami małego kalibru są tematem [4] pracy. Cienkie stalowe płyty perforowane, są stosowane jako pasywny dodatek poprawiający właściwości ochronne pancerzy, przed pociskami małego kalibru. Liczba otworów w takich płytach, zwiększa prawdopodobieństwo asymetrycznego kontaktu, między pociskiem a płytą, przez co pociski małokalibrowe, mogą ulec destabilizacji lub fragmentacji zanim dotrą do głównego pancerza. Celem przeprowadzonych testów odporności balistycznej, było dokładne wykazanie zależności, między miejscem trafienia pocisku w płytę, w stosunku do otaczających otworów a uszkodzeniem pocisku. Zastosowane w eksperymencie techniki obserwacji, pozwoliły w sposób jednoznaczny powiązać zachowanie pocisku po przejściu przez płytę z punktem trafienia. Przeprowadzono ponadto, symulację numeryczną procesu uderzenia w programie Ls-Dyna, której celem było sprawdzenie czy z użyciem modeli materiałowych o parametrach dostępnych w literaturze, możliwe jest uzyskanie dla trzech różnych konfiguracji uszkodzeń, wyników zgodnych eksperymentalnymi obserwacjami.

Ponieważ baterie używane przez żołnierzy, nie są zabezpieczone warstwami ochronnymi, jak w przypadku pojazdów elektrycznych dlatego ważnym problemem, jest analiza ich odkształceń i uszkodzeń spowodowanych uderzeniem pocisku, którą zawarta w pracy[5]. Strukturami poddanymi testom udarności, były baterie litowo-jonowe składające się z 19 ściśle związanych zespołów anodowych i 18 zestawów katodowych. Próby udarności wykonano z użyciem małokalibrowych naboju, z rdzeniem ołowiowym kalibru 9x19 mm, o prędkości uderzenia 360 m/s. Strzały wykonane z użyciem działka prochowego, były zarejestrowane przez błyskowy aparat rentgenowski i szybką kamerę. W trakcie eksperymentu zmierzono prędkość początkową, a na podstawie zdjęć rentgenowskich wyznaczono prędkość reszkową pocisku, po przejściu przez baterię. Badania zapewniły wgląd w mechanizmy postępującej deformacji i pęknięcia kolejnych warstw. Eksperymentalne badanie odporności udarowej, było również podstawą analizy numerycznej tego procesu, w której bateria została zaimplementowana Lagrangeowskim wielowarstwowym modelem. Wyznaczona prędkość szczątkowa, jest bardzo zbliżona do wartości zmierzonych.

Badania w zakresie prędkości uderzeń od 800 m/s do 1500m/s, a dotyczące oddziaływania pocisku odłamkowego, na płyty stopu aluminium o grubości 40 mm przedstawiono w pracy [6]. Testy wykazały, że wraz z prędkością początkową uderzenia, zmienia się sposób zniszczenia aluminiowych płyt pancernych. W wyniku uderzeń o prędkości niższej niż 1200m/s, przez wybite tzw. korka. Natomiast dla prędkości wyższych niż 1200m/s, zaobserwowano inne zjawisko, materiał w dolnej części płyty był horyzontalnie wypychany, co jest określane jako tzw. zniszczenie tarczowe.

Analizie mikroskopowej poddane zostały kanały perforacyjne płyt aluminiowych, w których zaszły dwa różne sposoby zniszczenia. Dla płyty, w którą pocisk uderzył z prędkością początkową wyższą niż 1200 m/s (początkowa energia kinetyczna pocisku przekraczała wtedy 38.000 J) analiza wykonana z użyciem mikroskopu optycznego, pokazała pęknięcia będące „rozwarstwieniami” pomiędzy wewnętrznymi warstwami aluminium. Orientacja tych pęknięć, była zgodna ze strukturą poszczególnych warstw materiału. W przypadku prędkości niższych niż 1200 m/s mikrografie odśłoniły intensywne, zlokalizowane pasma ścinania –



obecność adiabatycznych pasm ścinania została dodatkowo potwierdzona pomiarami mikrotwardości (która lokalnie w paśmie znacząco wzrasta). Na bazie symulacji numerycznej, przeprowadzono analizę przebiegu procesu penetracji pancerza przez pocisk odłamkowy, skupiając się na zidentyfikowaniu przyczyn różnicy w zniszczeniach. Wykazano, że w modelowanej konfiguracji efektywne plastyczne odkształcenia zniszczenia, będące funkcją trójosiowości naprężeń, prędkości odkształcenia i temperatury jest najbardziej podatne na zmiany członu zależnego od prędkości odkształcenia. W obliczeniach, zmiana wartości parametru w funkcji reprezentującej wpływ prędkości odkształcenia, zmieniała charakter inicjacji i propagacji pęknięcia, w konsekwencji rzutując na sposób zniszczenia struktury płyty z typu „plugging” na „discing”. Porównanie wyników symulacji z eksperymentem wykazało podobieństwo zarówno jakościowe, jak i pod względem uzyskanych wartości. Krzywa balistyczna w symulacji numerycznej różniła się o ok. 5% od wyników eksperymentalnych.

W artykule [7] opisano balistyczną próbę uderzeniową, w której pociski odłamkowe FSP o średnicy 20 mm uderzały w płytę aluminiową z prędkością przekraczającą 890 m/s. Dokonano próby porównania symulacji numerycznych wykonanych z wykorzystaniem modelu MES 3D Lagrangea oraz modelu SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics). Ponadto, zaprezentowano metodę oceny poprawności wyników uzyskanych drogą symulacji numerycznych. Numeryczna reprezentacja eksperymentalnie zdeformowanej płyty z aluminium, została otrzymana dzięki optycznym metodom rekonstrukcji oraz algorytmom obróbki ich zeskanowanych kształtów.

Publikacja [8] to rozdział w monografii „Handbook of Damage Mechanics” dotyczącej zagadnień mechaniki zniszczenia. Cele tej monografii było spójne i systematyczne podejście, będące przystępnym dla czytelnika źródłem informacji, o modelowaniu struktur podlegającym uszkodzeniom. W tym kontekście autorka przedstawiła między innymi wyniki modelowania eksperymentalnego i numerycznego konfiguracji AA7029-T651/FSP, które stanowiły bazę pogłębionej dyskusji na temat dynamicznych zniszczeń powodowanych obciążeniami udarowymi. Dyskusja ta, pozwoli czytelnikowi zapoznać się z procesami modelowania w badaniach eksperymentalnych, oraz badaniach numerycznych struktur stosowanych w ochronie balistycznej.

W pracy [9] przedstawiono wyniki testów odporności udarowej, przy prędkości uderzenia przekraczającej 1500 m/s. Aby zminimalizować efekty rażenia penetratorów (rdzeni) pocisków podkalibrowych, zastosowano kasety reaktywnego pancerza niewybuchowego z warstwą gumy naturalnej pomiędzy płytami stalowymi. Opancerzenie tego typu wykorzystuje, tzw. efekt wybrzuszenia, aby wywołać fragmentację pocisków podkalibrowych. Wyniki eksperymentalne zostały poddane analizie numerycznej, w której udowodniono, że zmiana kształtu gumy powoduje odkształcenie stalowych płyt, co doprowadza do wygięcia smukłego pocisku, zdestabilizowanego między trzema warstwami, i w konsekwencji, inicjuje pęknięcia w strefach zdominowanych przez naprężenia rozciągające.

We wszystkich tych pracach wiodącą rolę odgrywa dr Teresa Frąs, której udział procentowy przedstawia się następująco:

- 100% dwie prace.
- 80 % jedna praca,

- 70 % cztery prace,
- 60 % dwie prace.

**Wartość naukową publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wyróżniają następujące cechy:**

- testy udarności zostały sensownie zaplanowane i skrupulatnie wykonane,
- przeprowadzone eksperymenty zostały zarejestrowane z wykorzystaniem zaawansowanych technik obserwacji (szybkie kamery, błyskowe aparaty rentgenowskie),
- przeprowadzone testy udarności cechowały się opracowaniem modeli eksperymentalnych, analitycznych i numerycznych procesu, które wzajemnie się uzupełniały i dopełniały,
- modele analityczne uwzględniały parametry materiałów biorących udział w zderzeniu z obszaru odkształceń plastycznych i zniszczenia, w zależności od zaobserwowanych podczas eksperymentu zjawisk procesu,
- modele numeryczne zostały starannie skalibrowane i zwalidowane,
- poprawność przeprowadzonych badań została sprawdzona, przez porównanie wyników eksperymentu z wynikami analizy numerycznej.

**Podsumowując tę część dorobku naukowego z uwagi na wysoki poziom merytoryczny, nowoczesność podejścia do problemu, aktualność ujęcia oraz bogactwo informacji stwierdzam, że zasługuje na wyróżnienie.**

#### **4.Ocena istotnej aktywności naukowej**

Dr inż. Teresa Frąś opublikowała ponadto 9 artykułów, tematycznie związanych z cyklem publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, a nie wchodzących w jego skład. Artykuły zostały opublikowane w znaczących czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Ponadto, jest autorką i współautorką monografii z tego zakresu. Opublikowała również 14 artykułów (w tym dwa samodzielne) z tematyki nie związanej z problemami uderzeń. W dorobku kandydatki znajduje się również 13 publikacji, które zostały opublikowane po odbytych konferencjach.

Podany dorobek publikacyjny, jest lokowany w recenzowanych czasopismach i materiałach konferencji międzynarodowych, których tematyka jest zgodna z obszarem zainteresowań Dr T. Frąś, a ich poziom naukowy zapewnia ocenę osiągnięć Kandydatki w skali międzynarodowej. Wyróżniającą ocenę osiągnięć w tym zakresie, potwierdzają parametry bibliometryczne Kandydatki, które wynoszą:

- Indeks Hirscha 9( wg Scopus) , 11( wg Google Scholar),
- Sumaryczny Impact Factor prac syku: 26,7
- Indywidualny Impact Factor prac syku: 18,6
- Sumaryczny Impact Factor wszystkich opublikowanych prac: 47,607.

Istotnym uzupełnieniem osiągnięć naukowych jest informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych, odbytych stażach, członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism oraz informacje o uczestnictwie w programach europejskich:

- uczestniczyła w projekcie europejskim Main Ground Combat System (MGCS) w ramach którego wykonano próby odporności balistycznej pancerza typu NERA oraz przeprowadziła

próby odporności balistycznej pancerza pasywnego do francuskich lekkich pojazdów opancerzonych,

- była kierownikiem dwóch projektów badawczych, Schutz gegen kleinkalibrige Projektile oraz Schutz gegen Kinetic-Energy Penetrators i wykonawcą następnych czterech. Wygłosiła na 28 konferencjach naukowych referaty.
- od 2016 r. jest organizatorem odbywającego się co dwa lata Seminarium WW.1.03 'Moderne Stahllegierungen für Sicherheitsbleche' (ang. Modern steels for protection) w ramach Organizacji Carl-Cranz-Gesellschaft e.V.
- od października 2016 r. jest stałym współpracownikiem 'visiting researcher' zespołu **Artificial Intelligence in Mechanics and Manufacturing** (uprzednio **Computational Modelling of Materials in Manufacturing**) kierowanego przez prof. Dirka Mohra na Politechnice Federalnej w Zurychu (**ETH Zurich**). W ramach wspólnie realizowanych projektów, odpowiada za testy udarowości, które analizuję i modeluję numerycznie. Wynikiem współpracy jest szereg wspólnie opublikowanych artykułów i wystąpień konferencyjnych.
- listopad 2019 r. odbyła miesięczny pobyt naukowy w **Impact and Crashworthiness Laboratory** kierowanym przez prof. Tomasza Wierzbickiego w Massachusetts Institute of Technology (**MIT Cambridge**). Wspólne badania dotyczyły bezpieczeństwa baterii litowo-jonowych i ich zachowania pod wpływem obciążenia uderzeniem balistycznym. Wyniki prac zostały opublikowane w 2021 r.,

Ponadto jest członkiem:

- od 2017r.: European Association of the Promotion of Research into Dynamic Behavior of Materials and its Applications – **DYMAT**,
- od 2019r.: International Ballistic Society Member – **IBS**,
- od 2022r.: Akademii Inżynierskiej w Polsce – **AIP**,
- członek rady redaktorskiej: Journal of Problems of Mechatronics, Armament, Aviation, Safety Engineering. ISSN 2081-5891,
- redaktor pomocniczy numeru specjalnego czasopisma naukowego Materials MDPI: *Materials Dedicated for Armours and Protection Systems*. ISSN 1996-1944.

Aktywnie współpracuje z badaczami z wielu międzynarodowych jednostek badawczych, m.in. **ETHZ** Zurych, **IPPT PAN** Warszawa, **WAT** Warszawa, Durham University, **LBF** Darmstadt, Uniwersytet Lotaryński, **MIT Cambridge**. Wynikiem wspólnych badań są publikacje i wystąpienia konferencyjne.

Z racji profilu instytucji, w której pracuje, zwracają się do niej przedstawiciele francuskich i niemieckich ośrodków przemysłowych ze specyficznymi problemami technicznymi lub z zadaniami oceny odporności balistycznej ich produktów. Jest zaangażowana w projekty wynikające ze współpracy tego typu (finansowanej przez klientów lub wykonywanych w ramach współpracy badawczej). Jest albo wykonawcą albo kierownikiem tego typu zadań badawczych.

Wykonała 26 recenzji dla czasopism wydawnictwa **Elsevier** (*International Journal of Impact Engineering, Composite Structures, International Journal of Solids and Structures, Journal of Alloys and Compounds, Thin-Walled Structures, Engineering Structures,...*). Recenzuje również publikacje dla innych wydawnictw (Hindawi, MDPI...).

Tematyka prac, które są jej przesyłane do oceny, wiąże się z zachowaniem i modelowaniem eksperymentalno-numerycznym materiałów inżynierskich pod wpływem obciążeń dynamicznych, udarowych i fali uderzeniowej.

Jest również kierownik zadania A1 "Description of protection systems" w projekcie "SCORPIO – shaped charges and explosively formed projectiles against protected systems" in the European Defence Fund Call for Proposal EDF-2021-GROUND-R-IW – Improved Warheads. Projekt został złożony do oceny w edycji konkursu kończącej się 09.2021 r. Ocenia granty dla l'Agence National de la Recherche we Francji. Recenzowane projekty dotyczyły materiałów inżynierskich stosowanych w obronności oraz środowisk numerycznych do wirtualnego testowania osłon balistycznych.

**Podsumowując ocenę w zakresie aktywności naukowej Dr T. Frąs stwierdzam , że zasługuje na wyróżnienie na etapie starania się o stopień doktora habilitowanego.**

## **5.Ocena działalności dydaktycznej**

Od 2018 r. jest pracownikiem Uniwersytetu w Strasburgu, gdzie w semestrze zimowym przeprowadziła wykłady **Experimental Mechanics** dla studentów kierunków magisterskich. Jednosemestralne zajęcia **Materials and structures behavior under high-strain loadings** przeprowadziła w 2017 r. na Uniwersytecie Lotaryńskim.

Od 2016 r. wyklada w ramach Organizacji **Carl-Cranz-Gesellschaft e.V.**, która prowadzi seminaria i szkolenia dla inżynierów niemieckich. W ramach takich szkoleń, przeprowadza wykłady w trakcie szkoleń tematycznych, np. **Nowoczesne stopy stali dla obronności, Balistyka końcowa – podstawy i zastosowania, Techniki pomiarowe w balistyce** (niem. Moderne Stahllegierungen für Sicherheitsbleche, Endballistik – Grundlagen und Anwendungen, Ballistische Messtechnik und experimentelle Verfahren).

Była opiekunem naukowym w przewodzie doktorskim na Politechnice w Darmstadzie oraz promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim na Uniwersytecie Lotaryńskim.

**Podsumowując działalność dydaktyczną Dr T. Frąs uważam, że jest wystarczająca do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.**

## **6.Wkład habilitantki w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna**

Po dokładnej analizie i ocenie osiągnięcia naukowego oraz aktywności naukowej habilitantki stwierdzam, że jej wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna jest znaczący, istotny a generalnie polega na przeprowadzeniu profesjonalnych testów udarności materiałów i struktur w różnych warunkach uderzeń.

Wkład ten stanowią testy udarności, ich opis analityczny oraz analizy numeryczne różnych struktur biorących udział w uderzeniu, które pozwolę sobie poniżej zestawić.

Testy udarności w przypadku uderzenia w płyty lite oraz perforowane pociskami o różnych kształtach ostrzy, przeprowadzone eksperymentalne, opisano analitycznie oraz wykonano analizę numeryczną. Płyty oraz naboje były wykonane ze stali o wysokiej twardości , a w procesie uderzenia ulegały znacznej deformacji. Prędkość uderzenia nie przekraczała 500m/s. Opis analityczny uwzględniał parametry materiałów biorących udział w zderzeniu z obszaru odkształceń plastycznych i zniszczenia w zależności od zaobserwowanych podczas eksperymentu zjawisk procesu. Poprawność opisu analitycznego testu udarności, została sprawdzona przez porównanie wyników eksperymentu z wynikami analizy numerycznej.



Zaobserwowane mechanizmy penetracji i perforacji obserwowane w płytach, ze stali pancernej posłużyły do walidacji metod modelowania analizowanego zjawiska.

Testy udarności płyt perforowanych stanowiący dodatek pasywny, poprawiający właściwości obronne pancerzy przed pociskami małego kalibru. Określono zależność między miejscem trafienia pocisku w płytę w stosunku do otaczających otworów a uszkodzeniem pocisku, oraz jednoznacznie powiązano zachowanie pocisku po przejściu przez płytę z punktem trafienia. Wyniki prób udarności, uzupełnione symulacją numeryczną pozwalają na szczegółową analizę stanu odkształcenia i zniszczenia, dając komplementarny wgląd w mechanizmy minimalizujące energię pocisków i neutralizujące efekty ich uderzeń. Tak dokładne obserwacje i pomiary dla konfiguracji płyta perforowana - pocisk były pierwszy raz zaprezentowane w literaturze.

Testy udarności baterii litowo-jonowych w trakcie których wyznaczono prędkość resztkową pocisku po przejściu przez baterię, a ponadto badania zapewniały wgląd w mechanizmy postępującej deformacji i pęknięcia kolejnych warstw. Badania numeryczne tego procesu przeprowadzono z wykorzystaniem wielowarstwowego modelu.

Testy udarności dotyczące oddziaływania pocisku odłamkowego z prędkością od 800 m/s do 1500 m/s na płyty aluminium o grubości 40 mm wykazały, że wraz z prędkością początkową zmienia się sposób zniszczenia aluminiowych płyt pancernych. Porównanie wyników symulacji z eksperymentem wykazało podobieństwo zarówno jakościowe, jak i pod względem uzyskanych wartości (krzywa balistyczna w symulacji numerycznej różniła się o ok. 5% od wyników z eksperymentu).

Testy udarności w których pociski odłamkowe FSP o średnicy 20 mm uderzały w płytę aluminiową z prędkością przekraczającą 890 m/s pozwoliły stworzenie numerycznej reprezentacji zdeformowanej płyty, dzięki optycznym metodom rekonstrukcji oraz algorytmom obróbki ich zeskanowanych kształtów.

Testy udarności w których w celu zminimalizowania efektów rażenia pocisków podkalibrowych przy prędkości uderzenia przekraczającej 1500 m/s, zastosowano kasety reaktywnego pancerza niewybuchowego z warstwami gumy. Wyniki tych eksperymentów pozwoliły na opis mechanizmu zniszczenia tej wielowarstwowej struktury.

**Stwierdzam zatem, że wkład ten jest istotny, znaczący na wysokim poziomie naukowym i budzi uznanie oraz, co jest również bardzo ważne, stwarza możliwość jego praktycznego wykorzystania przez projektantów różnego typu opancerzenia.**

## **7. Wniosek końcowy**

Po zapoznaniu się z całokształtem działalności naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej stwierdzam, że Habilitantka spełnia wymagania niezbędne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego wynikające z ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" (Dz.U.2018.Poz.1668).

Wnoszę o dopuszczenie dr inż. Teresy Frąs do dalszego postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

