

# POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I INFORMATYKI

KATEDRA MECHANIKI I PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

42-201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 73, tel. 34 32 50-632, ✉ [jacek.pr@imipkm.pcz.pl](mailto:jacek.pr@imipkm.pcz.pl)

Częstochowa, 3.02.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Przybylski

## RECENZJA

**osiągnięcia naukowego oraz istotnej aktywności naukowej**

**DR INŻ. TERESY FRĄŚ**

**w związku z wnioskiem o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

**w dziedzinie NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH**

**w dyscyplinie INŻYNIERIA MECHANICZNA**

### 1. Podstawa opracowania

Zgodnie z art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. 2022 poz. 574 - tekst ujednolicony obwieszczeniem Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 3 marca 2022 r.) w sprawie *Stopni i tytułów w systemie szkolnictwa wyższego i nauki* przedstawiam recenzję zawierającą ocenę osiągnięcia Dr inż. Teresy Frąś zatrudnionej w charakterze pracownika naukowego we Francusko-Niemieckim Instytucie Badawczym w Saint-Louis we Francji (French-German Research Institute of Saint-Louis, Saint-Louis).

Recenzja została opracowana na podstawie decyzji Rady Doskonałości Naukowej z dn. 10.10.2022 r. (pismo DRKN.Z2.400.2022) oraz Uchwały nr 9/H/2022 Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN z dn. 1.12.2022 r.

### 2. Sylwetka zawodowa Habilitantki

Dr inż. Teresa Frąś jest absolwentką Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, który ukończyła w 2008 r. uzyskując tytuł *magistra inżyniera* w zakresie specjalności *Teoria konstrukcji inżynierskich*. W latach 2009-13 pracowała na stanowisku asystenta w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie podejmując jednocześnie studia doktoranckie o podwójnym dyplomowaniu. Ten etap działalności badawczej zwieńczyła obroną dysertacji doktorskiej pt. „*Modélisation de la surface d'écoulement des matériaux incluant l'anisotropie initiale et l'effet différentiel des contraintes, approche expérimentale et numérique*” (tytuł angielski: „*Modeling of plastic yield surface of metals accounting for asymmetry of elastic range on the basis of experiments and numerical simulation*”) pod wspólnym promotrstwem Prof. dr hab. inż. Ryszarda Pęcherskiego oraz Prof. Alexisa Rusinka uzyskując stopień doktora w 2013 roku w dyscyplinie *Sciences de Matériau* w Laboratoire d'Études des Microstructures et de



Mécanique des Matériaux Uniwersytetu Lotaryńskiego w Metz (Francja) oraz w tym samym roku równorzędny stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Mechanika* na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Od 2013 roku posiada także certyfikat *Doctor Europeus*. Po obronie dysertacji doktorskiej została zatrudniona w charakterze pracownika naukowego (*l'attachée de recherches*) we Francusko-Niemieckim Instytucie Badawczym w Saint-Louis (Francja), w którym pracuje do dzisiaj. Od 2018 r. jest także pracownikiem Uniwersytetu w Strasburgu.

### 3. Ocena dorobku naukowego

#### 3.1 Ogólna charakterystyka

Działalność badawcza Dr inż. Teresy Frąs po uzyskaniu stopni doktora nauk technicznych dotyczy złożonych zagadnień cieplno-dynamicznych towarzyszących dużym i szybkim deformacjom wynikającym z uderowego obciążania materiałów na skutek kontaktu i penetracji pocisku w pancerzu lub osłonie balistycznej. Badania Habilitantki wymagały stosowania technik eksperymentalnych, w tym różnego rodzaju testów balistycznych oraz modelowania analitycznego i numerycznego.

Zgodnie z danymi zamieszczonymi w wykazie prac, dorobek naukowy Habilitantki obejmuje **18** autorskich i współautorskich artykułów opublikowanych po zakończeniu doktoratu w czasopismach indeksowanych w bazie *Journal Citation Reports (JCR)*. Monotematyczny cykl publikacji, przedłożony jako osiągnięcie naukowe, obejmuje **9** pozycji, w tym **8** prac z bazy *JCR*.

Dorobek naukowy Dr inż. Teresy Frąs uzupełniają:

- **2** rozdziały w monografiach wydanych przez oficynę Springer (1 rozdział autorski w ramach monotematycznego cyklu publikacji, 1 współautorski),
- **3** współautorskie artykuły w czasopismach indeksowanych spoza baz cytowań,
- **28** referatów wygłoszonych samodzielnie i przez współautorów w trakcie konferencji międzynarodowych i krajowych.

Zakres zainteresowań naukowych Habilitantki obejmuje zagadnienia balistyki końcowej, dynamiki uderzenia oraz fizykę zjawisk towarzyszących niszczeniu pancerza i osłon balistycznych. Badania te służą poznaniu i modelowaniu szerokiego spektrum sposobów destrukcji materiałów pancerza oraz analizy ich przyczyn i skutków, co umożliwia modyfikację istniejących oraz wprowadzanie nowych materiałów o skorygowanych parametrach fizycznych i geometrycznych. Należy więc uznać, że badania Dr inż. Teresy Frąs mają praktyczne aspekty poznawcze i aplikacyjne.

W autoreferacie Dr inż. Teresy Frąs podano błędne parametry naukowometryczne w zakresie sumarycznego i indywidualnego wskaźnika oddziaływania (*impact factor - IF*) oraz punktacji czasopism określonych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki (wcześniej Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego). Odpowiednie dane powinny być odczytywane w odniesieniu do roku publikacji, ponieważ w latach 2015-21 zarówno system punktacji Ministerstwa, jak również *IF* poszczególnych czasopism przyjmowały różne wartości. W efekcie sumaryczny wskaźnik oddziaływania dziewięciu prac cyklu pt. "*Badania i modelowanie materiałów inżynierskich pod wpływem obciążeń uderowych*", szacowany w odniesieniu do dat poszczególnych publikacji i uzyskany po zakończeniu doktoratu wynosi **22.82**, a nie jak podano w autoreferacie **26.7**. Uwzględniając udział własny w pracach współautorskich, indywidualny wskaźnik oddziaływania jest równy **14.92** a nie **18.6**.



Sumaryczna liczba punktów cyklu przypisana przez MEiN to **720**, a nie **1010**; odpowiednio indywidualna liczba punktów to **538**, a nie **731**.

### 3.2 Ocena osiągnięcia naukowego (monotematycznego cyklu publikacji)

Dr inż. Teresa Frąs przedłożyła jako swoje osiągnięcie naukowe monotematyczny cykl dziewięciu publikacji pt. „*Badania i modelowanie materiałów inżynierskich pod wpływem obciążeń udarowych*”.

Oceniany cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych obejmuje następujące prace opublikowane w latach 2015-21:

1. Fras T, Roth CC, Mohr D. Fracture of high-strength armour steel under impact loading. *International Journal of Impact Engineering* 2018; 111:147-64.
2. Fras T, Roth CC, Mohr D. Dynamic Perforation of Ultra-hard High-Strength Armor Steel: Impact Experiments and Modelling. *International Journal of Impact Engineering* 2019; 131: 256-271.
3. Fras T, Roth CC, Mohr D. Application of two fracture models in impact simulations. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* 2020; 68.2:1-9.
4. Fras T, Murzyn A, Pawlowski P. Defeat mechanisms provided by slotted add-on bainitic plates against small-calibre 7.62 mm x 51 AP projectiles. *International Journal of Impact Engineering* 2017; 103:241-53.
5. Fras T, Pawlowski P, Li W, Wierzbicki T. Performance of Li-ion pouch battery under a highvelocity impact: experiment and numerical simulation. *International Journal of Impact Engineering* 2021; 103915
6. Fras T, Colard L, Lach E, Rusinek A, Reck B. Thick AA7020-T651 plates under ballistic impact of fragment-simulating projectiles. *International Journal of Impact Engineering* 2015;86:336-53.
7. Fras T, Colard L, Pawlowski P. Perforation of aluminium plates by fragment simulating projectiles. *International Journal of Multiphysics* 2015;9.3:267-86.
8. Fras 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. Voyiadijis. Springer Science +Business Media, LLC, part of Springer Nature 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-60242-0\_69.
9. Fras T. Experimental and numerical study on a nonexplosive reactive armour with the rubber interlayer applied against kinetic-energy penetrators – the 'bulging effect' analysis, *Materials* 2021; 14: 3334.

Habilitationka określiła szacunkowy procentowy udział własny w pracach współautorskich, opisując przy tym merytoryczny zakres badań i czynności wykonanych przez wszystkich współautorów każdej z publikacji wraz ze stosownymi oświadczeniami. Liczba autorów prac wspólnych waha się od 3 do 5, przy czym w dwóch pracach występuje po czterech i pięciu autorów, natomiast trzech autorów wykazano w pięciu publikacjach. Nazwiska autorów umieszczane w nagłówku artykułów nie są podawane alfabetycznie, lecz najprawdopodobniej zgodnie ze wspólnie ustaloną partycypacją merytoryczną. Osiem prac zostało opublikowanych w czasopismach naukowych, w tym pięć współautorskich w *International Journal of Impact Engineering*; jedna praca jest rozdziałem w monografii.



Systemy opancerzenia i osłon pojazdów, samolotów, okrętów lub ochrony indywidualnej zostały znacznie usprawnione wraz ze wprowadzeniem zaawansowanych technologii wytwarzania materiałów, w tym materiałów ceramicznych i kompozytowych o niskim ciężarze właściwym, osłon wielowarstwowych, jak również dzięki stosowaniu ochrony wybuchowo-reaktywnej. Efektywny wzrost sprawności opancerzeń jest wynikiem min. badań mechanizmów penetracji i przebicia materiałów pancerza przy zastosowaniu ultraszybkiego sprzętu diagnostycznego, kamer szybkoklatkowych oraz błyskowej radiografii rentgenowskiej. Projektowanie nowych materiałów stało się wydajniejsze dzięki wprowadzaniu modeli analitycznych i numerycznych do analizy mechanizmów penetracji, pękania, rozwarstwiania, pochłaniania energii kinetycznej pocisku i innych zjawisk termomechanicznych towarzyszących procesom uderzenia i detonacji pocisków wybuchowych. W trakcie tych procesów powstają fale uderzeniowe, które głęboko i bardzo szybko propagują w materiale celu. Stąd uszkodzenie lub zniszczenie fragmentu osłony może występować w dużej odległości od punktu inicjacji penetracji. Zrozumienie mechanizmów i zakresu propagacji jest niezbędne szczególnie w przypadku warstw wykonanych z materiałów kruchych, które ulegają zniszczeniu przy niewielkim rozciąganiu. Dzięki nowoczesnej inżynierii materiałowej projektuje się i wytwarza pancerze wielowarstwowe o takiej geometrii i strukturze, by optymalizować naprężenia przenoszone przez poszczególne warstwy celem zminimalizowania uszkodzeń wywołanych przez uderzający pocisk.

Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że tematyka badań w zakresie wyteżenia i niszczenia struktur opancerzeń i osłon wykonanych z różnych materiałów pod wpływem ultraszybkich obciążeń dynamicznych, w szczególności uderzeń i uderzeń balistycznych podjęta przez Dr inż. Teresę Fraś jest aktualna, ważna naukowo i ma jednoznaczne walory aplikacyjne.

Zainteresowania naukowe Habilitantki dotyczą badania odporności struktury i warstw pancerza wykonanego z różnych materiałów na dynamiczne obciążenia udarowe występujące wskutek kontaktu, penetracji i przestrzelenia pociskami o różnej geometrii wierzchołka. W pracach dokonano opisu mechanizmów zniszczenia jakie występują w jednorodnym materiale bądź poszczególnych warstwach pancerza z uwzględnieniem prędkości pocisku, kąta jego uderzenia, a także rodzaju materiałów z jakich wykonano pocisk. Prace włączone do cyklu publikacji zawierają wyniki eksperymentalnych testów udarowych płyt pancerzy otrzymywanych przy różnych prędkościach uderzenia pocisku, w tym:

- modelowanie uderzeń o prędkości początkowej poniżej 500 m/s przy użyciu działka pneumatycznego [1-3],
- badania zachowania materiałów pod wpływem uderzeń pocisków małego kalibru wystrzelonych z użyciem działka prochowego [4,5],
- badania oceny odporności płyt aluminiowych poddanych obciążeniu uderzeniami pocisków symulującymi odłamki poruszające się po eksplozji pocisku z prędkością 800-1500 m/s [6-8],
- badania niewybuchowego pancerza reaktywnego pod wpływem uderzeń pocisków o prędkości początkowej 1500 m/s wystrzeliwanych z działka prochowego [9].

Kompleksowe badania eksperymentalne i numeryczne udaru pociskami walcowymi o różnej geometrii wierzchołka płyt pełnych i perforowanych wykonanych z wysokowęglowej stali konstrukcyjnej o wysokiej wytrzymałości (Mars 300) było przedmiotem prac [1-3]. Badania obejmowały wyznaczanie własności wytrzymałościowych materiału w szerokim zakresie szybkości odkształcania i temperatury oraz, przy zastosowaniu podejścia



eksperymentalno-numerycznego, oszacowanie parametrów plastycznych i pękania na podstawie kryterium Misesa z niestowarzyszonym prawem płynięcia plastycznego i aproksymacją umocnienia Swifta-Voce, jak również oceną wrażliwości umocnienia na prędkość odkształcenia zgodnie z modelem Johnsona-Cooka. Inicjację pękania materiału opisywano modelem Hosforda Coulomba. Badania numeryczne przeprowadzono w oparciu o model stworzony środowisku obliczeniowym LS-Dyna dla trzech reprezentatywnych przypadków udaru. Ich celem była ocena zniszczeń płyt perforowanych w zakresie stref uplastycznienia i pękania. Obserwowano odkształcenia i fragmentację pocisku oraz zmianę trajektorii i kierunku lotu. W pracy określono różne mechanizmy niszczenia płyt w relacji do punktu rażenia wystrzeliwanym pociskiem, co ma znaczenie praktyczne ponieważ osłony balistyczne są mocowane na opancerzonych pojazdach wojskowych stanowiąc ich dodatkową ochronę przed pociskami małokalibrowymi.

Analogiczne rozważania w zakresie zwiększenia ochrony opancerzonego obiektu mobilnego przed uszkodzeniem wywołanym małokalibrowym pociskiem wystrzelonym z broni prochowej przez zastosowanie perforowanych płyt wykonanych ze stali o strukturze super-bainitu zawarto w pracy [4]. Należy zauważyć, że za twórcę idei perforowanego pancerza uznawany jest prof. Peter Brown z instytucji badawczych Ministerstwa Obrony Wielkiej Brytanii, który postulował takie rozwiązania już w 2009 roku. W pracy [4] potwierdzono na drodze eksperymentalnej i badań numerycznych, że osłona perforowaną płytą zwiększa prawdopodobieństwo asymetrycznego kontaktu między pociskiem a płytą, w wyniku czego tor pocisku jest destabilizowany, a sam pocisk ulega segmentacji.

Pracę [5] poświęcono analizie odkształcenia i dezintegracji baterii litowo-jonowych wskutek udaru wywołanego pociskiem o prędkości 360 m/s. Eksperymentalne testy balistyczne potwierdzano symulacjami numerycznymi na wielowarstwowym modelu baterii potwierdzając bardzo niewielkie pochłanianie energii uderzenia. Określono mechanizmy progresywnej delaminacji i niszczenia poszczególnych warstw. Zaproponowano możliwość ochrony baterii przez zastosowanie tekstylnych warstw wykonanych z włókien kevlarowych.

Prace [6-8] dotyczą odporności udarowej płyt aluminiowych poddawanych obciążeniu pociskami odwzorowującymi odłamki (*fragment-simulating projectiles, FSP*) w zakresie prędkości początkowej od 850 m/s do 1400 m/s. Celem prac było analiza zjawisk towarzyszących procesom niszczenia, których specyfika jest związana z prędkością uderzenia pocisku. Wykazano na podstawie badań eksperymentalnych, że przy prędkościach poniżej 1200 m/s, pocisk wybijał w płytach element walcowy, tzw. korek, o średnicy bliskiej średnicy pocisku. Przy wyższych prędkościach początkowych uderzający pocisk niszczy strukturę płyty rozrywając ją promieniowo co jest determinowane przez lokalne niejednorodności materiału i anizotropowość wywołaną jego teksturą powstałą przy walcowaniu. Wykonano także badania numeryczne na podstawie modeli MES w opisie Lagrange'a implementowanych w kodzie LS-DYNA, co umożliwiło weryfikację wyników, a także opisanie modeli numerycznych z uwzględnieniem złożonych relacji konstytutywnych celem finalnego odwzorowania specyfiki procesów niszczenia płyt.

Eksperymentalne i numeryczne badania odporności udarowej reaktywnych pancerzy niewybuchowych (Non-Explosive Reactive Armor, NERA) na uderzenia długich pocisków podkalibrowych o dużej energii kinetycznej (Kinetic Energy Penetrators, KEP) zaprezentowano w pracy [9]. Dowiedziono że, pancerze wykonane z płyt stalowych przedzielonych warstwą gumy naturalnej minimalizują skutecznie działanie takich pocisków na skutek efektu wybrzuszenia płyt zewnętrznych wywołanych deformacją gumy, co finalnie powoduje fragmentację pocisku.



Dr inż. Teresa Fraś prowadząc własne badania naukowe wykazała kompetencje w zakresie analitycznego i numerycznego modelowania struktur pancerzy i pocisków w trakcie symulacji ich zachowania pod obciążeniem uderowym od momentu kontaktu, przez penetrację aż do przebicia z uwzględnieniem procesów degradacji i całkowitego zniszczenia. Było to możliwe dzięki zastosowaniu praw balistyki końcowej, dynamiki uderzenia i fizyki pancerza z uwzględnieniem wysokich prędkości odkształcenia. Wykazała się znajomością metodologii testów balistycznych oraz metod pomiarowych, które umożliwiły komplementarną ocenę obserwowanych zjawisk.

Do osiągnięć naukowych Habilitantki w zakresie prowadzonych badań należy uznać:

- identyfikację mechanizmów niszczenia płyt pancerza na skutek uplastycznienia oraz mechanizmu pęknięcia ze współczynnikiem trójosiowości, parametrem Lode, maksymalnym naprężeniem własnym i efektywnym odkształceniem plastycznym,
- opracowanie modeli numerycznych MES do wyznaczania inicjacji i rozwoju pęknięć uwzględniających współczynnik trójosiowości jako funkcję pierwszego niezmiennika naprężeń i drugiego niezmiennika dewiatora naprężeń oraz parametru Lode pozostającego w funkcyjnej zależności od drugiego i trzeciego niezmiennika dewiatora naprężeń, jak również modelu materiałowego na podstawie równania konstytutywnego Johnsona-Cook'a, uwzględniającego wpływ wielkości odkształcenia, szybkości odkształcania oraz temperatury na wartość granicy plastycznego płynięcia,
- skuteczne zaimplementowanie modeli uplastycznienia i zniszczenia materiału z umocnieniem odkształceniowym zależnym od temperatury i prędkości odkształcenia,
- opisanie mechanizmów deformacji i niszczenia zarówno pocisków jak i pancerzy wykonanych z różnych materiałów (jednorodnych, perforowanych), w tym stali o wysokiej wytrzymałości i pancerzy warstwowych,
- przeprowadzenie analizy numerycznej wpływu parametrów uderu na efektywność pancerzy przy różnych prędkościach uderzenia,
- przeprowadzenie dyskusji uszkodzeń typu tarczowego na podstawie numerycznego modelu zachowań balistycznych płyt aluminiowych pod działaniem pocisków niesymetrycznych odwzorowujących odłamki,
- wykonanie testów własności materiałowych przy zastosowaniu technik i urządzeń umożliwiających pomiary o różnej szybkości odkształcania przy zmiennej temperaturze,
- współudział przy przeprowadzaniu szerokich badań eksperymentalnych, a przede wszystkim testów uderowych dla różnych rodzajów skojarzeń pocisk-cel.

Moja podstawowa uwaga dotycząca omawianego dorobku naukowego związana jest z faktem, że tylko dwie publikacje naukowe cyklu są samodzielnymi dziełami Habilitantki (w tym jedna praca w wydawnictwie *JCR*). Niezależnie od istotnego merytorycznego udziału Dr inż. Teresy Fraś we wszystkich artykułach, potwierdzonego przez współautorów, w dorobku kandydata na samodzielnego pracownika naukowego powinny znaleźć się 2-3 pozycje autorskie opublikowane w renomowanym wydawnictwie. Przy braku lub małej liczbie samodzielnych artykułów, najwłaściwszym rozwiązaniem byłoby przygotowanie



przez Habilitantkę autorskiej monografii, która mogłaby stanowić omówienie badań własnych i jednoznacznie podkreślić własne osiągnięcia na tle bardzo bogatego i wszechstronnego dorobku innych badaczy w ramach tematyki obejmującej prezentowany cykl publikacji.

Wskazana uwaga nie zmienia mojej wysokiej oceny poziomu badań naukowych zaprezentowanych w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe Dr inż. Teresy Fraś. Stąd w podsumowaniu stwierdzam, że mając na uwadze wymogi jakie są stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego, czyli stworzenie oryginalnego wkładu do ogólnowiatowego dorobku naukowego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, osiągnięcie naukowe Dr inż. Teresy Fraś uznaję za odpowiednie do ubiegania się o wnioskowany stopień naukowy.

### **3.3 Inna istotna działalność naukowo-badawcza, popularyzacja nauki oraz współpraca międzynarodowa**

W ramach istotnej działalności naukowej Dr inż. Teresy Fraś, prowadzonej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych w 2013 r., bez uwzględniania artykułów stanowiących cykl monotematyczny, można wyróżnić:

- współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports (JCR)* - 10 prac,
- 1 współautorski rozdział w monografii,
- 3 prace w wydawnictwach spoza baz cytowań,
- referaty zamieszczone materiałach konferencji międzynarodowych i krajowych - 13 pozycji,
- udział w konferencjach naukowych - 28 wystąpień,
- kierowanie dwoma i udział w czterech programach badawczych finansowanych przez europejskie instytucje obrony.

Habilitantka pełniła funkcje kierownika w dwóch projektach z zakresu obronności:

- *Schutz gegen kleinkalibrige Projektilen (Protection against small caliber projectiles)* w ramach finansowania przez Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (Federal Office of Bundeswehr Equipment, Information Technology and In-Service Support) - 2016-2018,
- *Schutz gegen Kinetic-Energy Penetrators (Ballistic protection against long-rod penetrators)* w ramach finansowania przez Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (Federal Office of Bundeswehr Equipment, Information Technology and In-Service Support) - 2019-2020.

Od 2017 jest kierownikiem zadania statutowego *Target Protection against Kinetic Effects* realizowanego w miejscu zatrudnienia.

Była także wykonawczynią w projektach:

- *Caractérisation de menaces explosives improvisées (Improvised Explosive Device Threat Characterization)* – projekt finansowany przez Direction générale de l'armement (General Directorate of Armament) - 2015r.,
- *Passive und reaktive Schutzmaterialien für MGCS Konzeptansätze (Passive and reactive protective materials for MGCS concept)* - 2021r.,
- *Résistance balistique des composites céramique-aramide (Ballistic resistance of ceramicaramid composites)* – projekt finansowany przez La Banque Mondial - 2021r.,



- *Caractérisation des menaces balistiques et engins explosifs (Ballistic and Explosive Threats Characterisation)* – projekt finansowany przez Direction générale de l'armement (General Directorate of Armament) - 2019-2020r.

W ramach działalności inżynierskiej Dr inż. Teresa Frąs uczestniczyła w charakterze wykonawcy lub kierownika w realizacji projektów badawczo-rozwojowych na zlecenie francuskich i niemieckich ośrodków przemysłowych z sektora gospodarczego.

Dr inż. Teresa Frąs współpracuje z polskimi i zagranicznymi instytucjami naukowymi, w tym min. z ETHZ Zurych, IPPT PAN Warszawa, WAT Warszawa, Durham University, LBF Darmstadt, Uniwersytet Lotaryński, MIT Cambridge. Efektami tej współpracy są publikacje i wystąpienia konferencyjne.

Habilitantka wykonywała recenzje artykułów do prestiżowych czasopism naukowych, a wśród nich do: *International Journal of Impact Engineering*, *Composite Structures*, *International Journal of Solids and Structures*, *Journal of Alloys and Compounds*, *Thin-Walled Structures*, *Engineering Structures*. Recenzowała także projekty dotyczące materiałów inżynierskich stosowanych w obronności oraz oprogramowań do analiz numerycznych służących wirtualnemu testowaniu osłon balistycznych dla l'Agence National de la Recherche we Francji.

Dr inż. Teresa Frąs pełniła funkcję promotora pomocniczego pracy doktorskiej Mgr Magdy Stańczak zatytułowanej „*Behavior of additively manufactured metallic structures under blast loading*” obronionej w 2022r. na Uniwersytecie Lotaryńskim.

W ramach aktywności naukowej Dr inż. Teresy Frąs realizowanej od 2016 r. poza podstawowym miejscem zatrudnienia należy wskazać jej współpracę z zespołem *Artificial Intelligence in Mechanics and Manufacturing* kierowanym przez prof. Dirka Mohra na Politechnice Federalnej w Zurychu (ETH Zürich), gdzie jest współwykonawczynią projektów badawczych. W listopadzie 2019 w ramach wymiany naukowej przebywała w *Impact and Crashworthiness Laboratory* kierowanym przez prof. Tomasza Wierzbickiego w Massachusetts Institute of Technology (MIT Cambridge). Prowadzone tam badania w zakresie bezpieczeństwa baterii litowo-jonowych i ich zachowania pod wpływem obciążenia uderzeniem balistycznym były przedmiotem publikacji z 2021 r.

Jako istotny wkład Habilitantki w rozwój dyscypliny *inżynieria mechaniczna* można wskazać przeprowadzenie badań w zakresie:

- analizy wpływu tarcia na odkształcenia materiału przy dwuosiowym ściskaniu
- sprężysto-plastycznych własności składników elastomerów stosowanych na przekładki w osłonowych płytach warstwowych w celu ich optymalizowania,
- wpływu zagęszczania płynu magnetoreologicznego na skutek działania pola magnetycznego na zmniejszenie prędkości pocisków przebijających strukturę *plyta-zasobnik płynu-plyta*,
- wytrzymałości udarowej złożonych geometrycznie aluminiowych struktur komórkowych typu plaster miodu jako struktur ochronnych osłabiających oddziaływanie ciepłno-udarowe będące rezultatem eksplozji materiałów wybuchowych.

Reasumując wskazane powyżej aktywności w zakresie działalności naukowo-badawczej, popularyzatorskiej i współpracy międzynarodowej spoza zasadniczego osiągnięcia naukowego, moja ocena dorobku Habilitantki w tym obszarze jest także pozytywna. Dorobek ten jest wystarczająco liczny i oryginalny, a przede wszystkim ma jednoznaczne walory aplikacyjne.



#### 4 Uwagi podsumowujące ocenę dorobku i wniosek końcowy

Monotematyczny cykl prac autorstwa i współautorstwa Dr inż. Teresy Fraś można traktować jako ważne ujęcie i uzupełnienie szeroko prowadzonych badań w zakresie ochrony i modernizacji pancerzy pojazdów wojskowych przed uderzeniami różnego typu pocisków małokalibrowych, przeciwpancernych i odłamków. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w zakresie zapobiegania i ograniczania deformacji i niszczenia opancerzenia. Badania eksperymentalne przeprowadzane w wysoko wyspecjalizowanych laboratoriach dotyczyły zarówno pancerzy jednorodnych, jak również pancerzy wielowarstwowych. Materiały badanych płyt były materiałami stosowanymi w rozwiązaniach militarnych, przez co otrzymane wyniki mogą być transferowane do zainteresowanych instytucji. Obliczenia wykonane na zaawansowanych modelach numerycznych badanych zjawisk służyły komplementarnemu uzupełnieniu i rozszerzeniu opisu mechanizmów inicjowania i niszczenia struktur osłon i pancerzy. Należy uznać, że wnikliwy opis różnych mechanizmów i sposobów zniszczenia jakie mogą wystąpić w materiale pancerza może służyć lepszemu poznaniu i zapobieganiu tym uszkodzeniom i stanowi sedno działań przy wprowadzaniu nowych materiałów na pancerze i osłony balistyczne.

Prace Dr inż. Teresy Fraś zamieszczone w recenzowanym cyklu publikacji o łącznym wskaźniku oddziaływania (*impact factor*) IF = **22.82** (indywidualny **14.92**) były cytowane wg bazy *Scopus* **222** razy (stan na 8.06.2022r.), przy czym większość to cytowania innych autorów (**155**). Wskaźniki całkowitej liczba cytowań wg bazy *Google Scholar* wynosi: **338**.

Indeks Hirscha publikacji Habilitantki wg bazy *Scopus* wynosi **h = 9**, wg bazy *Google Scholar* **h = 12**, co świadczy zarówno o dużej poczytności prac, jak również o uznaniu naukowym tej działalności badawczej.

Dr inż. Teresa Fraś po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych wykazała istotne doświadczenie zawodowe potwierdzone osiągnięciami naukowymi oraz udziałem w projektach naukowo-badawczych i konferencjach. Jest autorką i współautorką publikacji o wysokim poziomie merytorycznym, które są cytowane przez innych badaczy. Publikacje te, zamieszczane w czasopismach o uznanej randze naukowej, wnoszą nowe wartości do *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*. Pokażna liczba cytowań prac Habilitantki stanowi dowód uznania Jej aktywności naukowej i świadczy o akceptacji szerokiego środowiska badawczego. Własne osiągnięcia naukowe prezentowała na międzynarodowych konferencjach naukowych, jest także czynną recenzentką w uznanych czasopismach naukowych. Ważne są także dokonanie Habilitantki w zakresie lokalnych i międzynarodowych projektów badawczych.

Na podstawie mojej oceny zaprezentowanej w punktach 3.2 i 3.3 dotyczącej osiągnięcia naukowego (jednotematycznego cyklu publikacji), istotnej aktywności naukowej, popularyzatorskiej i współpracy międzynarodowej Dr inż. Teresy Fraś stwierdzam, że oceniony w niniejszej recenzji dorobek Habilitantki osiągnięty po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r., poz. 574, 583, 655, 682, 807, 1010, 1079, 1117, DZIAŁ V, Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki).

**Niniejszym popieram wniosek o nadanie stopnia doktora habilitowanego Dr inż. Teresy Fraś w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**