

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,
w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 ustawy

ppłk dr inż. Robert Panowicz

Wydział Mechaniczny
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego

Warszawa 2019

1. Imiona i nazwisko: Robert Kazimierz Panowicz

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki**; Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska; 2003; tytuł rozprawy: *Modelowanie procesu spalania metodą punktów swobodnych*;
- **magister inżynier**; Wydział Chemii i Fizyki Technicznej; Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; 1994; kierunek fizyka techniczna.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2019–	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; adiunkt badawczo-naukowy;
2008–2018 –	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; adiunkt naukowo-badawczy;
2007–2008 –	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; starszy specjalista;
2003–2007 –	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; adiunkt naukowo-badawczy;
2002–2003 –	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; kierownik laboratorium;
1999–2002 –	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; asystent naukowo-badawczy;
1994–1999 –	Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie; inżynier.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016r. poz. 1311):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Moim osiągnięciem naukowym, po uzyskaniu stopnia doktora, stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej *mechanika* w rozumieniu art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016r. poz. 1311), jest cykl publikacji naukowych, powiązanych tematycznie, pod wspólnym tytułem:

***Analizy numeryczne zjawisk szybkozmiennych
w dynamicznych badaniach właściwości materiałów.***

b) lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy):

- [b1] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, *Selection of a constitutive model used for prediction of behaviour of ring material expanded by pulse electromagnetic field*, „Solid State Phenomena”, Vols. 147–149, 2009, SJR=0,236, 20 pkt.; MNiSW.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 65 proc.
- [b2] J. Janiszewski, **R. Panowicz**, *Investigation of copper fragmentation property*, „Solid State Phenomena”, Vol. 165, 2010, doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.165.66, SJR=0,192, 20 pkt.; MNiSW, baza WoS.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 50 proc.
- [b3] J. Janiszewski, **R. Panowicz**, *Numerical analysis of electromagnetic expansion process for thin-walled copper ring*, „Przegląd Elektrotechniczny” (Electrical Review), Vol. 88, Issue 7A, 2012, IF=0,240 (2013), 0,244 (2011), 15 pkt. MNiSW, baza WoS.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 50 proc.
- [b4] J. Janiszewski, **R. Panowicz**, *Development and validation of numerical model for predicting electromagnetic expansion of composite rings*, „Solid State Phenomena”, Vol. 198, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.198.627, SJR=0,221, 10 pkt. MNiSW, baza WoS.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 40 proc.
- [b5] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, *Tensile split Hopkinson bar technique: numerical analysis of the problem of wave disturbance and specimen geometry selection*, „Metrol. Meas. Syst.”, Vol. 23, No. 3, 2016, pp. 425–436, doi: 10.1515/mms-2016-0027, IF=1,598, 20 pkt. MNiSW.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 60 proc.
- [b6] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, and M. Traczyk, *Strain measuring accuracy with splitting-beam laser extensometer technique at split Hopkinson compression bar experiment*, „Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences”, Vol. 65, No. 2, 2017, pp. 163–169, doi: 10.1515/bpasts-2017-0020, IF=1,361, 25 pkt. MNiSW.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 55 proc.
- [b7] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, K. Kochanowski, *Numerical and Experimental Studies of a Conical Striker Application for the Achievement of a True and Nominal Constant Strain Rate in SHPB Tests*, „Experimental Mechanics”, Vol. 58, No. 3, 2018, pp. 1325–1330, doi: 10.1007/s11340-018-0404-5, IF=2,319 (z 2017), 35 pkt. MNiSW.
Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 60 proc.

[b8] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, and K. Kochanowski, *The non-axisymmetric pulse shaper position influence on SHPB experiment data*, „Journal of Theoretical and Applied Mechanics”, Vol. 56, No. 3, 2018, pp. 873–886, doi: 10.15632/jtam-pl.56.3.873, IF=0,783 (z 2017), 15 pkt. MNiSW.

Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 55 proc.

[b9] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, and K. Kochanowski, *Influence of pulse shaper geometry on wave pulses in SHPB experiments*, „Journal of Theoretical and Applied Mechanics”, Vol. 56, No. 4, 2018, pp. 1217–1221, doi: 10.15632/jtam-pl.56.4.1217, IF=0,783 (z 2017), 15 pkt. MNiSW.

Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 60 proc.

[b10] **R. Panowicz**, J. Janiszewski, and K. Kochanowski, *Effects of Sample Geometry Imperfections on the Results of Split Hopkinson Pressure Bar Experiments*, „Experimental Technique”, 2018, doi: 10.1007/s40799-018-0293-7, IF=0,806 (z 2017), 20 pkt. MNiSW.

Mój wkład w powstałą pracę oceniam na 60 proc.

Opis wkładu habilitanta w poszczególne prace został przedstawiony w *Wykazie opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacji o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki*, stanowiącym załącznik nr 3 do Wniosku.

Oświadczenia współautorów cyklu publikacji naukowych zostały przedstawione w załączniku nr 4 do Wniosku.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wstęp

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat we wszystkich obszarach nauki odnotowano gwałtowny rozwój metod symulacyjnych, którego przyczyną jest przede wszystkim powszechne wykorzystanie eksperymentu komputerowego w analizach złożonych zjawisk przyrodniczych, społecznych i ekonomicznych.

W mechanice komputerowe metody mechaniki wykorzystuje się zarówno do wspierania badań eksperymentalnych, jak i analiz teoretycznych. Metody te wymagają określenia modelu matematyczno-fizycznego, który pozwala na odzwierciedlenie badanego zjawiska na odpowiednim poziomie szczegółowości. Jednym z podstawowych elementów tego modelu są *związki konstytutywne wraz z parametrami, odzwierciedlające rzeczywiste zachowanie się materiałów z określoną dokładnością, w założonym zakresie zmienności parametrów*. Podczas przeprowadzania licznych analiz numerycznych często okazywało się, że otrzymane wyniki znacząco odbiegały od wyników badań eksperymentalnych. W większości przypadków przyczyną tej sytuacji był fakt, że parametry materiałowe związków konstytutywnych, którymi posługiwano się podczas analiz, pochodziły z literatury przedmiotu i często okazywały się nieadekwatne do analizowanego przypadku. Aby zmienić ten stan rzeczy punkt

ciężkości w badaniach zaczęto kłaść na konieczność doświadczalnego określenia właściwości mechanicznych materiałów w warunkach dynamicznych obciążeń, a w szczególności – określenie wartości parametrów materiałowych związków konstytutywnych.

Komputerowe metody mechaniki umożliwiają, między innymi, szczegółową analizę zjawisk dynamicznych, których, z różnych przyczyn, nie jesteśmy w stanie zaobserwować doświadczalnie (np. proces dynamicznej deformacji lub fragmentacji próbki). Ułatwiają one oraz przyspieszają proces udowodnienia postawionej hipotezy badawczej, a także przyczyniają się do udoskonalenia i rozwoju metod eksperymentalnych.

W odniesieniu do wspomnianych przesłanek można stwierdzić, że moje badania, skupiające się na wykorzystaniu komputerowych metod mechaniki w analizie zjawisk dynamicznych, przyczyniły się do rozwoju wiedzy w zakresie badań, dotyczących dynamicznych właściwości materiałów na podstawie analiz numerycznych. Z tego powodu cykl publikacji pod wspólnym tytułem:

Analizy numeryczne zjawisk szybkozmiennych w dynamicznych badaniach materiałów

można uznać za autorskie osiągnięcie naukowe.

Moje osiągnięcia naukowe, przedstawione w tym cyklu publikacji, przyczyniły się także do uszczegółowienia metodycznych wymagań technik badawczych, pozwalających na wyznaczenie właściwości mechanicznych materiałów oraz parametrów materiałowych związków konstytutywnych.

W dynamicznych badaniach materiałów powszechnie stosuje się zaledwie kilka eksperymentalnych metod badawczych. Są to:

- test Taylora;
- test pierścieniowy;
- metoda dzielonego pręta Hopkinsona.

Wyniki dynamicznych badań materiałów wykorzystywane są na – stosunkowo wąskim – obszarze zastosowań technicznych (kosmonautka, przemysł samochodowy, technika wojskowa), którego gwałtowny rozwój zaczął się dopiero po II wojnie światowej. W porównaniu z badaniami materiałów w warunkach obciążeń quasistatycznych, wykonywanych za pomocą klasycznych maszyn wytrzymałościowych, metody badań dynamicznych są słabo znane, zwłaszcza w Polsce. W związku z tym warto pokrótce je omówić.

Podział między quasistatycznymi i dynamicznymi metodami badań jest umowny. Przyjmuje się, że testy zachodzące z szybkością odkształceń większą niż 10^2 1/s należą do grupy technik badań dynamicznych.

Artykuły od b1 do b4 wchodzące w skład cyklu publikacji habilitanta i wymienione w części 4b autoreferatu dotyczą testu pierścieniowego, natomiast pozostałe prace (b5 – b10) metody dzielonego pręta Hopkinsona.

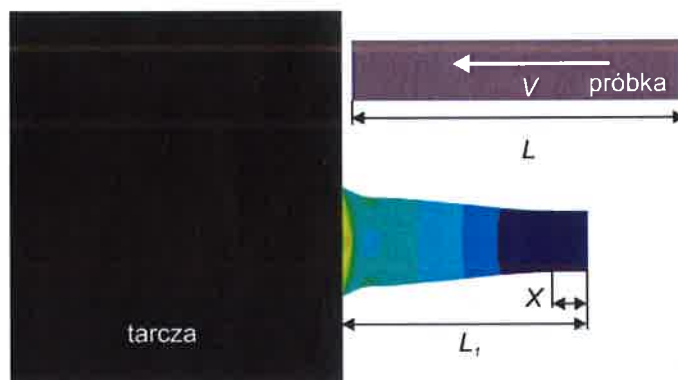
Test Taylora

W 1948 roku Taylor opracował prosty test, pozwalający oszacować dynamiczną granicę plastyczności materiału [1]. Polega on na wyznaczeniu dynamicznej granicy plastyczności na podstawie pomiaru parametrów geometrycznych cylindrycznej próbki przed odkształceniem plastycznym i po jej odkształceniu, zachodzącym na skutek zderzenia z nieodkształcalną przeszkodą (tarczą), ze znaną prędkością V (1) (rys. 1).

$$\sigma_{sr} = \frac{\rho V^2 (L - X)}{2(L - L_1) \ln(L/X)}, \quad (1)$$

gdzie: σ_{sr} – dynamiczna granica plastyczności, ρ – gęstość materiału, V – prędkość uderzenia próbki w tarczę, L – początkowa długość próbki, L_1 – długość próbki po odkształceniu, X – długość nieodkształconej części próbki.

Teoria zaproponowana przez Taylora znalazła kontynuację w pracach [2–4]. Obecnie test Taylora wykorzystywany jest często do weryfikacji modeli konstytutywnych [5, 6] i wyznaczania parametrów materiałowych związków konstytutywnych na podstawie rozwiązania zagadnienia odwrotnego [7]. Zagadnienie to było również obiektem uwagi habilitanta i zostało omówione w pracy [8]. Ze względu na wąski zakres przeprowadzonych badań, a także brak publikacji wyników analiz na łamach renomowanego czasopisma, osiągnięcie to nie zostało jednak ujęte w przedstawionym cyklu publikacji.



Rys. 1. Schematyczna ilustracja idei testu Taylora

Test pierścieniowy

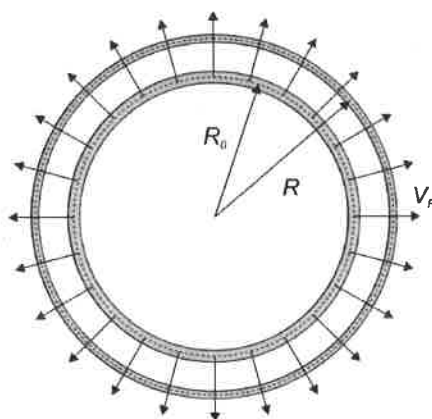
Istotą testu pierścieniowego jest wyznaczenie naprężenia plastycznego płynięcia i ciągliwości materiałów na podstawie obserwacji ruchu inercyjnego impulsowo napędzonego cienkościennego pierścienia, który ulega jedynie osiowosymetrycznej ekspansji promieniowej (rys. 2). W takim przypadku opóźnienie ruchu pierścienia jest proporcjonalne do naprężenia plastycznego płynięcia materiału, z którego wykonano pierścień [9].

Z powodu ograniczonych możliwości technicznych, do impulsowego napędzania pierścienia początkowo wykorzystywano materiały wybuchowe [9, 10]. Rajendran i Fyfe użyli do tego celu prądu o bardzo dużym natężeniu, który przepływając przez przewodnik powoduje jego gwałtowne odparowanie i utworzenie fali uderzeniowej, napędzającej próbkę

(ang. exploding wire) [11], natomiast Gourdin i inni wykorzystali w tym celu impulsowe pole elektromagnetyczne [12].

Test pierścieniowy wykorzystywano do badań:

- zachowania się różnych gatunków metali i ich stopów przy szybkości odkształceń wynoszącej 5000 1/s [9];
- określenia wrażliwości materiałów na szybkość odkształceń [10];
- wpływu powstawania pustek (uszkodzeń) w rozciągającym materiale na proces powstawania szyjek [11];
- zachowania się cienkościennej pierścienia miedzianego napędzanego polem elektromagnetycznym [12];
- wpływu wielkości ziaren na zachowanie miedzi w warunkach dynamicznych obciążeń [13].

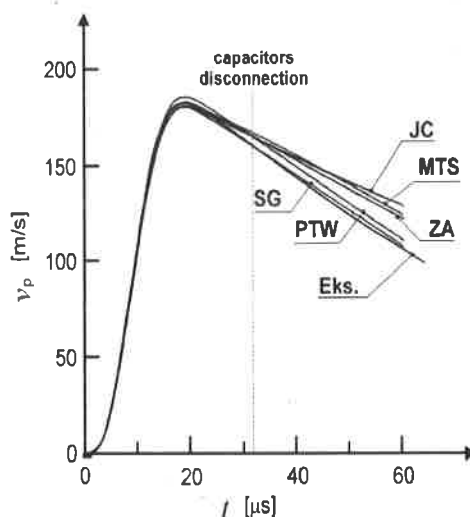


Rys. 2. Schemat osiowoosymetrycznej ekspansji promieniowej cienkościennej pierścienia;
 R_0 – początkowy promień pierścienia, R – bieżący promień pierścienia,
 V_R – prędkość pierścienia

Należy zwrócić uwagę, że w pracach [12] i [14] podjęto próby zastosowania komputerowych metod mechaniki do opisu zachowania się ekspandującego cienkościennej pierścienia. Proces fragmentacji pierścienia analizowano przy wykorzystaniu metody elementów skończonych, bez sprzężenia elektromagnetycznego w pracy [14], natomiast część pracy [12] poświęcono jednowymiarowemu modelowi ekspansji cienkościennej pierścienia napędzanego polem elektromagnetycznym.

W pierwszej pracy, ujętej w cyklu publikacji habilitanta [b1], dokonano analizy miedzi OFC w warunkach dynamicznego rozciągania (rys. 3). Badania przeprowadzono z wykorzystaniem modelu matematyczno-fizycznego elektromagnetycznego napędzania cienkościennej pierścienia (2) oraz na podstawie badań eksperymentalnych zaczerpniętych z literatury [12]. Wykazano, że zachowanie miedzi najlepiej opisane zostało związkami konstytutywnymi Steinberga-Guinana oraz Prestona-Tonksa-Wallace’a z danymi materiałowymi zaczerpniętymi z literatury. Wynika to ze zgodności przebiegu dynamicznych krzywych naprężenie – odkształcenie w przypadku badań eksperymentalnych oraz analiz numerycznych w sytuacji zastosowania dwóch wymienionych wcześniej związków konstytutywnych. Okazuje się również, że powszechnie stosowany model konstytutywny Johnsona-Cooka nie odzwierciedla w sposób właściwy rzeczywistego zachowania się materiałów w teście pierścieniowym.

Wykorzystany przez habilitanta model matematyczno-fizyczny uwzględnia sprzężenie mechaniczno-elektromagnetyczne oraz wpływ ciepła Joule'a zarówno na przepływ prądu w układzie, jak i na właściwości mechaniczne układu cewka – próbka.



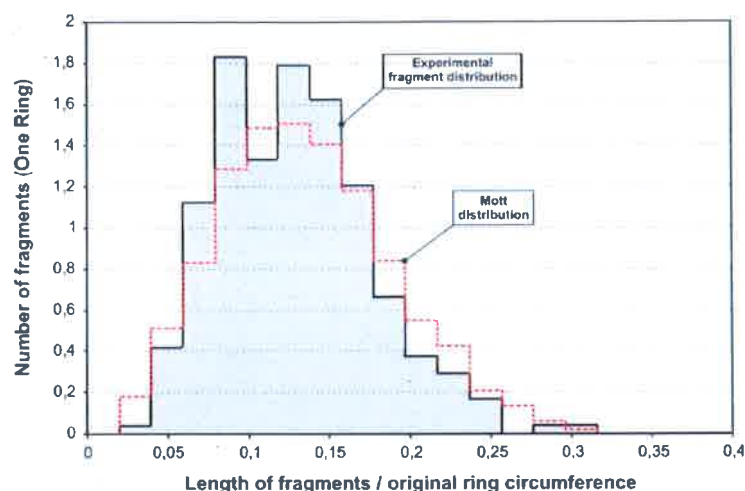
Rys. 3. Prędkości elektromagnetycznie napędzanego pierścienia; Eks. – eksperyment, wyniki analiz numerycznych z wykorzystaniem związku konstytutywnego: JC – Johnson-Cook, SG – Steinberg-Guinan, ZA – Zerilli-Armstrong, PTW – Preston-Tonks-Wallace i MTS [b1]

$$\frac{dV_R}{dt} = \mu\mu_0 \frac{b(R)}{4\pi\rho A} I_R I_c + \frac{1}{4\pi\rho A} \frac{dL_R}{dR} \frac{I_R^2}{R} - \frac{\sigma_\theta}{R\rho}, \quad (2)$$

gdzie: V_R – prędkość pierścienia, μ_0 – przenikalność dielektryczna próżni, μ – przenikalność dielektryczna, $b(R)$ – współczynnik geometryczny wynikający z zastosowania prawa Biota-Savarta, którego wartość jest funkcją bieżącego promienia pierścienia, L_R – indukcyjność pierścienia, ρ – gęstość materiału pierścienia, A – pole przekroju poprzecznego próbki, I_R – prąd płynący w próbce, I_c – prąd płynący w cewce, R – promień pierścienia, σ_θ – naprężenie obwodowe pierścienia.

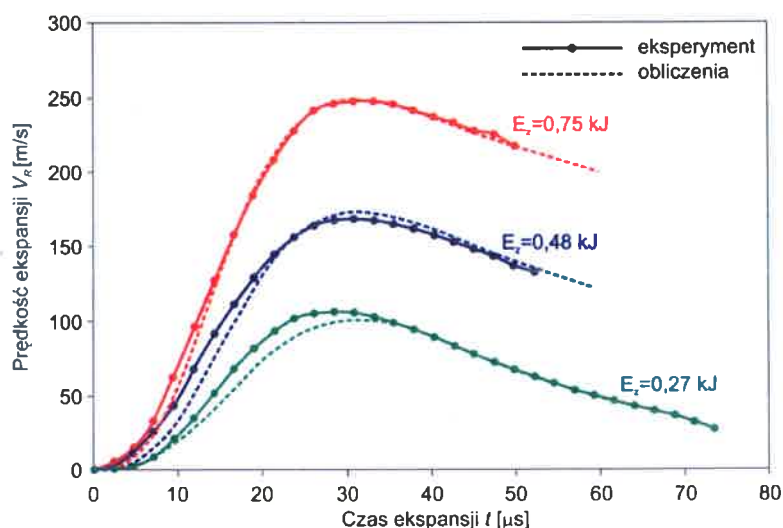
W pracy [b2] opisane powyżej podejście zostało wykorzystane do analizy procesu fragmentacji cienkościennego pierścienia miedzianego napędzonego do maksymalnej prędkości 170 m/s, odpowiadającej szybkości odkształceń równej $8,5 \cdot 10^3$ 1/s. W artykule [b2] przedstawiono zarówno wyniki badań eksperymentalnych, jak i analiz numerycznych, w których do opisu procesu fragmentacji wykorzystano statystyczny model Motta. Wyniki badań pozwoliły, po pierwsze, na określenie odkształcenia ($\epsilon_f = 0,35$), przy którym rozpoczyna się dynamiczny proces fragmentacji i, po drugie, na określenie parametrów materiałowych wykorzystanego modelu fragmentacji. Stwierdzono, że wartość odkształcenia, przy którym dochodzi do fragmentacji w warunkach dynamicznych obciążeń różni się od wartości odkształcenia granicznego w warunkach quasistatycznych ($\epsilon_f = 0,3$). Wykorzystany model fragmentacji Motta pozwolił na opracowanie histogramu rozkładu liczby fragmentów w zależności od ich wielkości (rys. 4), a także – na określenie średniej liczby oraz wielkości fragmentów ($n_{avg} = 11$, $l_{avg} = 13$ – eksperyment, $n_{avg} = 10,47$, $l_{avg} = 13,9$ – analizy

numeryczne). Przeprowadzone analizy wykazały wysoką zgodność wyników badań eksperymentalnych i analiz numerycznych.

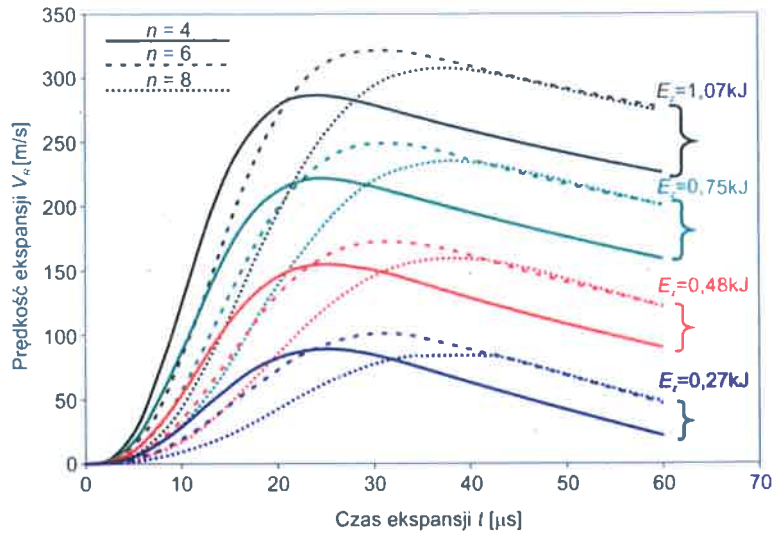


Rys. 4. Rozkład długości fragmentów napędzonego do prędkości 170 m/s cienkościennego pierścienia miedzianego [b2]

Z kolei podstawowym celem analiz numerycznych przeprowadzonych w pracy [b3] było ustalenie wpływu parametrów konstrukcyjnych stanowiska elektromagnetycznego testu pierścieniowego na proces napędzania pierścienia cienkościennego. Po badaniach walidacyjnych, które wykazały bardzo wysoką zgodność modelu z wynikami badań eksperymentalnych (rys. 5), przeprowadzono szereg analiz parametrycznych. Określono, między innymi, wzrost temperatury napędzanego pierścienia w zależności od parametrów konstrukcyjnych stanowiska badawczego. W analizach brano pod uwagę zarówno wpływ liczby zwojów cewki, jak i energii rozładowania kondensatorów. Określono również prędkość ekspansji miedzianego pierścienia w zależności od tych samych parametrów (rys. 6), a także wpływ konstrukcji cewki na przebieg procesu napędzania pierścienia.



Rys. 5. Porównanie przebiegów krzywych prędkości ekspansji dla testów eksperymentalnych i numerycznych w funkcji energii rozładowania E_z [b3]



Rys. 6. Krzywe prędkości ekspansji pierścienia w funkcji liczby zwojów n oraz energii rozładowania E_z [b3]

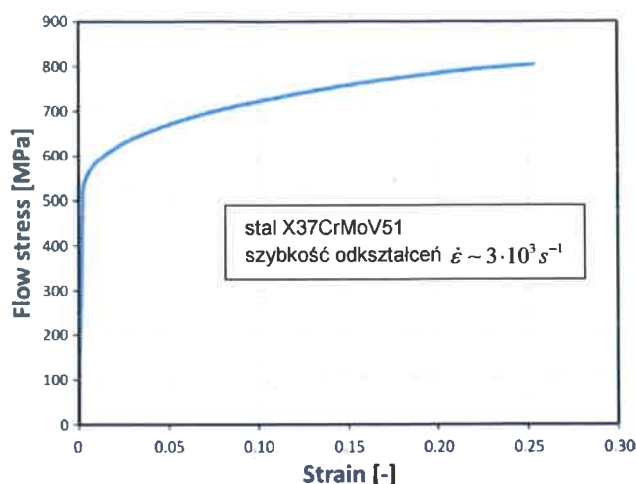
Wyniki analiz numerycznych i badań eksperymentalnych pierścienia kompozytowego, tzn. pierścienia wykonanego z materiału o dużej rezystywności, nałożonego na pierścień napędzający wykonany z miedzi, przedstawiono w pracy [b4]. Analizy przeprowadzono na podstawie matematyczno-fizycznego modelu elektromagnetycznego napędzania pierścienia kompozytowego, opisanego równaniem (3).

$$(m_R + m_{pr}) \frac{dV_R}{dt} = \frac{1}{2} \mu \mu_0 b(R) R I_R I_c + \frac{1}{2} \frac{dL_R}{dR} I_R^2 - 2\pi (\sigma_\theta A_R + \sigma_{pr} A_{pr}), \quad (3)$$

gdzie: indeks R dotyczy pierścienia miedzianego, a indeks pr – materiału próbki, m – masa pierścienia.

Przeprowadzone analizy numeryczne pozwoliły na określenie zachowania się pierścienia napędzającego i napędzanego. Oprócz analizy ruchu pierścieni wyznaczono również prądy płynące w pierścieniach i cewce, a także wzrost temperatury pierścieni na skutek wydzielania się ciepła Joule'a. Otrzymano również dynamiczną krzywą naprężenie – odkształcenie badanego materiału w szerokim zakresie odkształceń (rys. 7).

Z badań wynika także, że za pomocą testu pierścieniowego możliwe jest badanie szerokiej gamy materiałów, w tym materiałów o wysokiej rezystywności, przy czym wykorzystany do tego celu model matematyczno-fizyczny dobrze odzwierciedla rzeczywiste zachowanie materiałów.

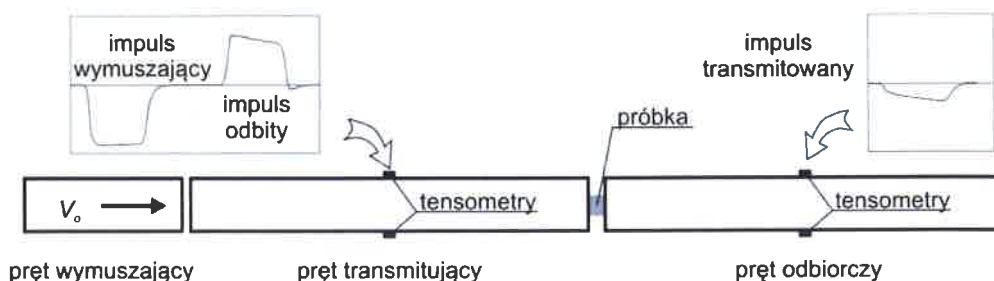


Rys. 7. Dynamiczna krzywa naprężenie – odkształcenie stali X37CrMoV51 [b4]

Metoda dzielonego pręta Hopkinsona

Najwięcej publikacji habilitanta – sześć [b5 – b10], wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, dotyczy problematyki techniki dzielonego pręta Hopkinsona.

Metoda dzielonego pręta Hopkinsona polega na pomiarze impulsu wymuszającego, odbitego oraz transmitowanego w celu wyznaczenia dynamicznej krzywej naprężenie – odkształcenie w układzie przedstawionym schematycznie na rysunku 8 [15]. Impuls wymuszający generowany jest przez uderzenie krótkiego pręta wymuszającego w pręt transmitujący. Propagujący się w kierunku próbki impuls, na skutek różnic w impedancjach falowych prętów i próbki, ulega następnie częściowemu odbiciu od powierzchni kontaktowej pręt transmitujący – próbka. Pozostała część impulsu propaguje się natomiast dalej w trzecim, ostatnim, pręcie odbiorczym. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów impulsów oraz równań (4) – (6) można określić: naprężenie plastycznego płynięcia (4), szybkość odkształceń (5) oraz wielkość odkształcenia (6) materiału próbki w danym momencie [15]. Tym samym zależności te pozwalają określić dynamiczne krzywe naprężenie – odkształcenie, przy danej wartości szybkości odkształceń.



Rys. 8. Metoda dzielonego pręta Hopkinsona [b10]

Obecnie w dynamicznych badaniach właściwości materiałów najczęściej sięga się właśnie po metodę dzielonego pręta Hopkinsona. Umożliwia ona badania szerokiej gamy materiałów (metale, stopy metali, polimery, kompozyty, ceramikę, skały, betony) [15–18] w różnych warunkach obciążeń [15, 19–21] oraz w szerokim zakresie temperatur [15, 22–24].

Wyniki badań otrzymanych z wykorzystaniem metody dzielonego pręta Hopkinsona są wykorzystywane między innymi do określenia stałych materiałowych związków konstytutywnych [23, 24].

$$\sigma(t) = \frac{A}{2A_s} E [\varepsilon_I(t) + \varepsilon_R(t) + \varepsilon_T(t)], \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}(t) = \frac{c_0}{L_s} [\varepsilon_I(t) - \varepsilon_R(t) - \varepsilon_T(t)], \quad (5)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{c_0}{L_s} \int_0^t [\varepsilon_I(\tau) - \varepsilon_R(\tau) - \varepsilon_T(\tau)] d\tau, \quad (6)$$

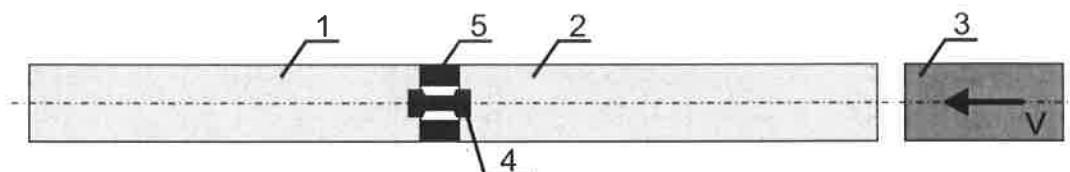
gdzie: A_s , L_s – pole przekroju poprzecznego i długość próbki, c_0 , E , A – prędkość dźwięku, moduł Younga i pole przekroju poprzecznego prętów, $\varepsilon_x(t)$ – odkształcenie zmierzone przez tensometry, indeks $x = I, R$ lub T oznacza odpowiednio impuls wymuszający, odbity lub transmitujący.

W myśl wymagań metodycznych próbka ma odkształcać się prawie jednorodnie ze stałą szybkością odkształceń, w warunkach równowagowego stanu naprężenia; a propagację impulsów w prętach można opisać za pomocą jednowymiarowej teorii propagacji fal. Spełnienie wyżej wymienionych wymagań metody dzielonego pręta Hopkinsona wymaga przestrzegania wielu wytycznych dotyczących zarówno konstrukcji eksperymentalnego stanowiska badawczego, jak i doboru warunków eksperymentu.

Metodę elementów skończonych wykorzystano w pracy [25] do analizy wpływu nieprecyzyjności ustawienia i wykonania prętów w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona.

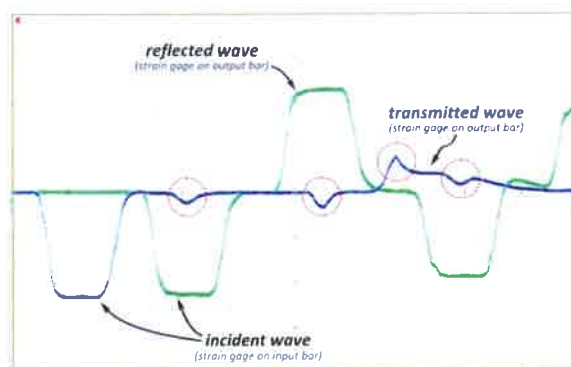
Dalsze badania w tym zakresie, poszerzone o badania eksperymentalne, zostały opisane w publikacji [26]. Wpływem tarcia pomiędzy próbką a prętami na wyniki pomiarów w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona zajmował się natomiast Alves i inni. Badania przeprowadzono na podstawie modelu analitycznego oraz wyników badań numerycznych w przypadku zastosowania klasycznej, cylindrycznej próbki oraz próbki pierścieniowej [27]. Wpływ tarcia w przypadku próbek prostopadłościennych oraz próbek złożonych z kilku warstw blach za pomocą metody elementów skończonych analizowany był również w pracy [28].

Pierwszy artykuł [b5] z cyklu publikacji habilitanta poświęconych metodzie dzielonego pręta Hopkinsona, dotyczy analizy zjawiska dynamicznego rozciągania próbki z zastosowaniem tulei przekazującej. Schemat układu badawczego metody dzielonego pręta Hopkinsona z tuleją przekazującą przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Metoda dzielonego pręta Hopkinsona z tuleją przekazującą; 1 – pręt odbiorczy, 2 – pręt transmitujący, 3 – pręt wymuszający, 4 – próbka, 5 – tuleja przekazująca [b5]

Wyniki badań zawarte w pracy [b5] wykazały, że w tym układzie eksperymentalnym impulsy użyteczne zarejestrowane przez tensometry umieszczone w połowie długości prętów, tzn. w typowym miejscu ich montażu są silnie zaburzone (rys. 10). Zaburzenia te wynikają z zastosowania tulei przekazującej oraz jej geometrycznej niedoskonałości. Obserwujemy je nawet w przypadku analiz numerycznych jako skutek niedoskonałego kontaktu między oddziaływującymi ze sobą elementami. W procesie optymalizacji udało się znaleźć takie położenia punktów pomiarowych (tensometrów), które umożliwiają rejestrację niezaburzonych impulsów użytecznych. Otrzymane wyniki analiz numerycznych zostały potwierdzone badaniami eksperymentalnymi. Przeprowadzono też analizy numeryczne dynamicznego rozciągania próbki miedzianej, z których wynika, że pierwszy impuls powoduje powstanie niewielkich, niesymetrycznych plastycznych odkształceń próbki. W początkowej fazie właściwego procesu rozciągania dochodzi również do niesymetrycznego odkształcenia próbki, dopiero później odkształcenia te stają się symetryczne. Na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych określono również maksymalne odkształcenie w próbce, w zależności od jej geometrii i warunków eksperymentu. Określone wartości maksymalnego odkształcenia próbki umożliwiają łatwy dobór geometrii próbki oraz sprecyzowanie warunków eksperymentu, pozwalając na badanie procesu niszczenia materiałów w warunkach dynamicznych obciążeń.

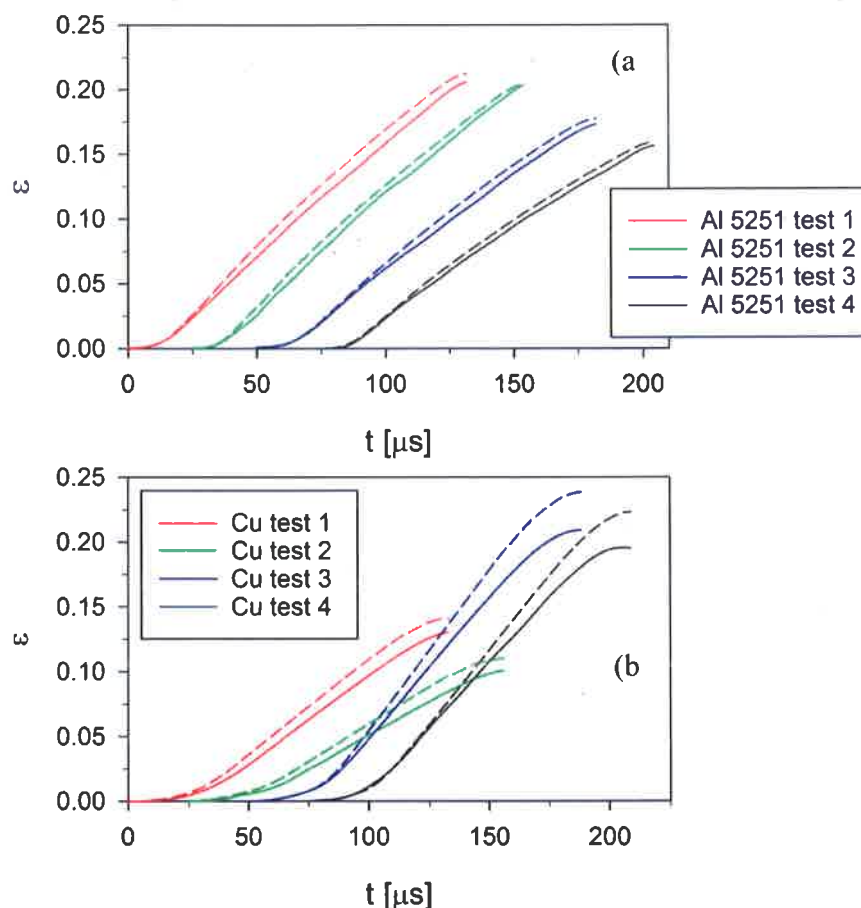


Rys. 10. Zaburzenia sygnałów pomiarowych (czerwone koła) spowodowane użyciem tulei przekazującej [b5]; incident wave – fala wymuszająca, reflected wave – fala odbita, transmitted wave – fala transmitowana

Wielu autorów publikacji dotyczących techniki dzielonego pręta Hopkinsona uważa, że największą niepewnością pomiarową obarczony jest w niej pomiar odkształceń próbki. Opinię tę podziela także habilitant, który w swoich badaniach potwierdza, że największe różnice między wynikami analiz numerycznych i badań doświadczalnych dotyczą wartości maksymalnych odkształceń materiału próbki. Z tego też powodu zbudowano i przetestowano laserowy ekstensometr opisany w pracy [b6]. Opracowany przyrząd pomiarowy jest unikatowy nie tylko na skalę krajową, ale również światową. Umożliwia niezależny pomiar przemieszczenia końców prętów transmitującego i odbiorczego, będących w kontakcie z próbką. Pomiar ten polega na określeniu zmiany intensywności promieniowania laserowego oświetlającego pręty, która jest proporcjonalna do przemieszczenia prętów.

W ramach badań związanych z wykorzystaniem laserowego ekstensometru określono również niepewność pomiarową wyznaczenia odkształcenia próbki, związaną z wykorzystaniem tego urządzenia. Stwierdzono, że różnice w pomiarze odkształceń dwoma metodami tj. na podstawie fali odbitej oraz za pomocą laserowego ekstensometru w zakresie

niewielkich odkształceń są pomijalne. Rosną one w przypadku większych odkształceń. Różnica w wartościach odkształceń, w przypadku próbki aluminiowej jest praktycznie stała, natomiast dla próbki miedzianej wzrasta ona wraz ze wzrostem odkształcenia. Przy czym w obu analizowanych przypadkach odkształcenie zmierzone za pomocą laserowego ekstensometru jest mniejsze od odkształcenia zmierzonego w sposób klasyczny (rys. 11).

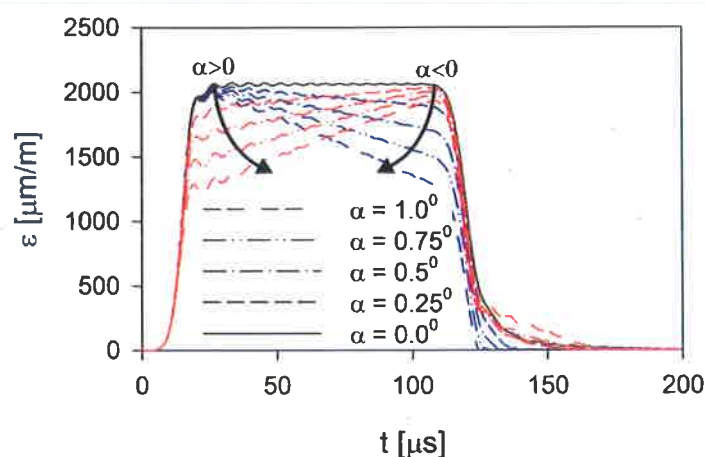


Rys. 11. Porównanie odkształceń w próbkach wykonanych z Al 5251 (a) oraz Cu (b) [b6], zmierzonych za pomocą tensometrów (linia przerywana) i ekstensometru laserowego (linia ciągła)

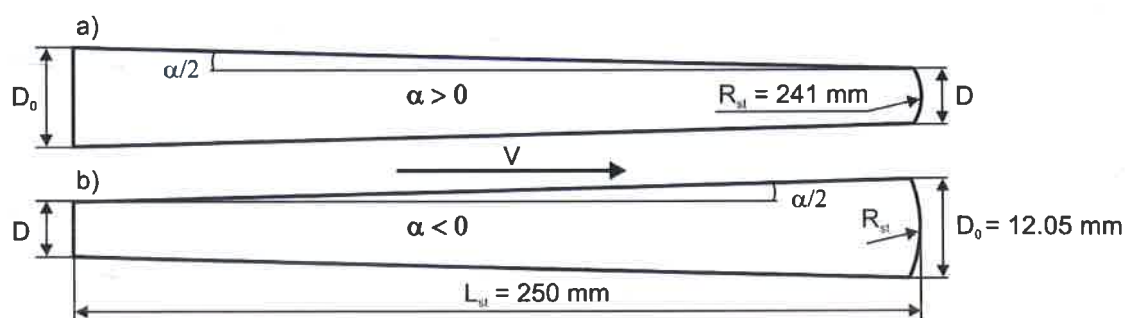
Z przeprowadzonych badań porównawczych wynika, że wartości odkształceń próbki otrzymane za pomocą ekstensometru laserowego są zbliżone z wartościami odkształceń, otrzymanymi na podstawie analiz numerycznych.

Określona względna niepewność pomiarowa wyznaczenia odkształcenia związana z wykorzystaniem laserowego ekstensometru nie jest większa niż 0,09%.

Z punktu widzenia wymagań metodycznych techniki dzielonego pręta Hopkinsona bardzo istotny jest problem zapewnienia stałej szybkości odkształceń, zarówno nominalnej, jak i rzeczywistej. Zagadnienie to zostało podjęte w pracy [b7] z wykorzystaniem idei kształtowania profilu fali wymuszającej (rys. 12) poprzez modyfikację geometrii (kształtu) pręta wymuszającego (rys. 13). Przyjęto, że do kształtowania fali zostanie zastosowany pręt wymuszający o geometrii stożka, którego kąt wierzchołkowy α był dobierany na podstawie analiz numerycznych, w zależności od wrażliwości badanego materiału próbki na wielkość i szybkość odkształceń.



Rys. 12. Wpływ stożkowego pręta wymuszającego na kształt impulsu wymuszającego; linie czerwone – $\alpha > 0^\circ$, linie niebieskie – $\alpha < 0^\circ$, linia czarna – cylindryczny pręt wymuszający ($\alpha = 0^\circ$) [b7]



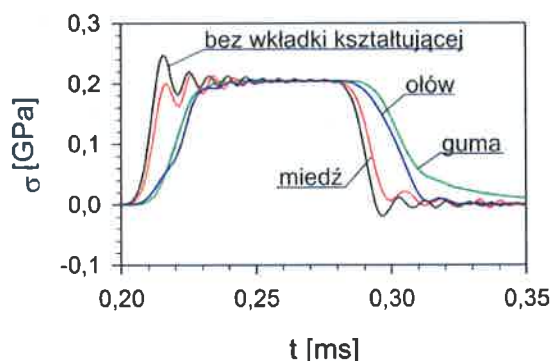
Rys. 13. Stożkowy pręt wymuszający; przyjęto, że kąt α jest dodatni w przypadku uderzenia pręta w pręt transmitujący końcem o mniejszej średnicy [b7]

W pracy [b7] określono również wpływ długości próbki, jej średnicy oraz prędkości uderzenia pręta wymuszającego na zachowanie stałości szybkości odkształceń. Dodatkowo określono zależność pomiędzy geometrią stożkowego pręta uderzającego a jego prędkością, która zapewnia stałą szybkość odkształceń nominalną lub rzeczywistą. Poprawność analiz numerycznych została potwierdzona badaniami eksperymentalnymi.

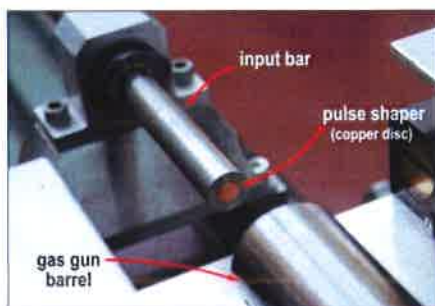
Według teorii Pochhammera-Chree'a w pręcie o skończonych wymiarach, na skutek dyspersji, generują się wysokoczęstotliwościowe oscylacje, powodujące zaburzenia sygnałów pomiarowych [15]. W takiej sytuacji propagacja fal w układzie nie może być opisana za pomocą jednowymiarowej teorii falowej, co stanowi jeden z podstawowych wymogów metodycznych metody dzielonego pręta Hopkinsona. Skutkiem występowania oscylacji Pochhammera-Chree'a jest wzrost niepewności pomiarowej wszystkich rejestrowanych w układzie impulsów, a tym samym wzrost niepewności pomiarowej określenia dynamicznej krzywej naprężenie – odkształcenie badanego materiału.

W celu zniwelowania lub ograniczenia wysokoczęstotliwościowych oscylacji stosuje się wkładki kształtujące impuls wymuszający (ang. pulse wave shaper) lub zaokrąglą się czoło pręta uderzającego. Wkładki kształtujące impuls wykonane z plastycznego materiału powodują ograniczenie wysokoczęstotliwościowych oscylacji sygnału wymuszającego, a także wydłużenie czasu narastania i opadania impulsu, działając jak mechaniczny tłumik

dolnoprzepustowy (rys. 14). W tym celu stosuje się zwykle dyski (krążki) o niewielkich rozmiarach mocowane na czole pręta transmitującego (rys. 15).



Rys. 14. Wpływ wkładki kształtującej na impuls wymuszający [29]



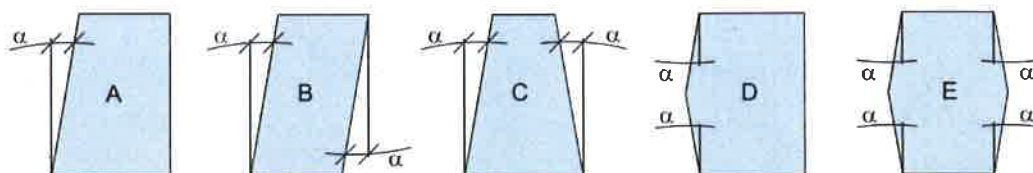
Rys. 15. Wkładka kształtująca impuls wymuszający, zamocowana na czole pręta transmitującego [b8];
input bar – pręt transmitujący; pulse shaper – wkładka kształtująca impuls wymuszający;
gas gun barrel – lufa wyrzutni pneumatycznej

W artykule [b8] wykazano, że niecentryczne położenie wkładki kształtującej impuls wymuszający powoduje powstanie w pręcie fal gnących, propagujących się jako zaburzenia sygnałów pomiarowych w układzie prętów i rejestrowanych przez tensometrię.

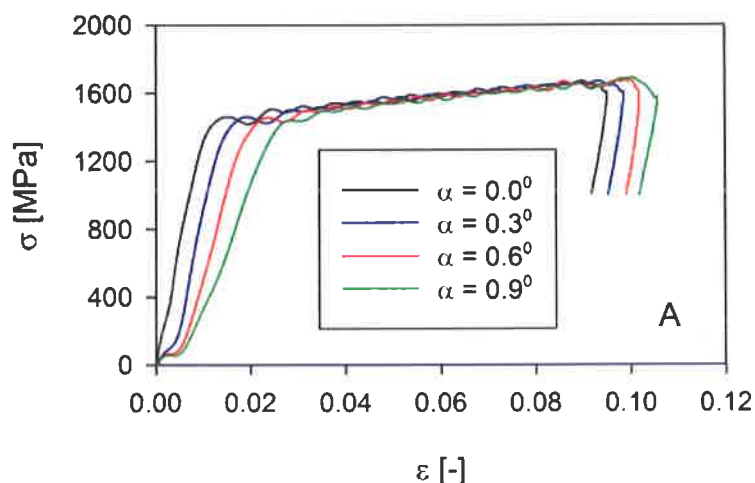
W pracy tej habilitant dokonał analizy wpływu położenia i grubości wkładki kształtującej impuls wymuszający oraz prędkości początkowej pręta wymuszającego na przebieg impulsów użytecznych rejestrowanych w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona, a także na przebieg krzywych naprężenie – odkształcenie. Analizy przeprowadzono z wykorzystaniem jawnej implementacji metody elementów skończonych. Badania wykazały, że niewielka imperfekcja położenia występująca w układzie prętów powoduje zmniejszenie wysokoczęstotliwościowych oscylacji Pochhammera-Chree'a. Imperfekcję tą można pominąć, jeżeli względna odległość pomiędzy osią prętów a osią wkładki kształtującej impuls wymuszający jest mniejsza od 20% (około 15% wartości promienia pręta). Należy zwrócić uwagę, że wpływ tego typu imperfekcji zależy od liczby i położenia podpór w układzie. Jej wpływ będzie większy w przypadku układu eksperymentalnego z mniejszą liczbą podpór, a wykorzystanie w pomiarach impulsów użytecznych ćwierćmostka Wheatstona również spowoduje zarejestrowanie zaburzonych impulsów, wpływając tym samym na przebieg krzywej naprężenie – odkształcenie.

Praca [b9] natomiast poświęcona jest numerycznej analizie wpływu różnych geometrii wkładek kształtujących na przebieg impulsu wymuszającego oraz odbitego. Habilitant poddał analizie także zdolność wkładek kształtujących impuls wymuszający do tłumienia wysokoczęstotliwościowych oscylacji Pochhammer-Chree oraz ich wpływ na czas narastania impulsu wymuszającego i odbitego. Okazało się, że wkładki kształtujące impuls wymuszający o innych kształtach niż dyskowe, a w szczególności wkładki pierścieniowe, charakteryzują się lepszymi właściwościami w zakresie tłumienia wysokoczęstotliwościowych oscylacji. Efekt ten jest widoczny szczególnie w przypadku większych prędkości uderzenia pręta wymuszającego. Zastosowanie wkładek kształtujących o innych kształtach niż dyskowe powoduje również zmniejszenie czasu narastania impulsów wymuszającego i odbitego.

Numeryczną analizę wpływu imperfekcji geometrycznych próbek (rys. 16) na wyniki pomiarów oraz określenie dynamicznych krzywych naprężenie – odkształcenie w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona przedstawiono z kolei w ostatnim artykule cyklu [b10]. Praca zawiera rezultaty badań, wnioski wynikające z analizy wpływu różnego rodzaju imperfekcji oraz ich położenia w odniesieniu do prętów na wyniki testów w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona. Stwierdzono, że imperfekcje geometryczne, takie jak przedstawiono na rysunku 16, mają zasadniczy wpływ na początkową i końcową część impulsów użytecznych, który rośnie wraz ze wzrostem poziomu imperfekcji. W związku z tym zaburzona jest również początkowa i końcowa część krzywej naprężenie – odkształcenie (rys. 17). Imperfekcja typu B (rys. 16) nie wpływa jednak w ogóle na przebieg sygnałów, jeżeli czoła próbki z tego typu imperfekcją są równoległe do czoł prętów.



Rys. 16. Imperfekcje geometryczne próbek; kąt α określa poziom imperfekcji [b10]



Rys. 17. Krzywe naprężenie – odkształcenia dla próbek o imperfekcji geometrycznej typu A [b10]

Z analiz numerycznych wynika, że wpływ wszystkich rozpatrywanych przypadków imperfekcji próbek geometrycznych jest pomijalny, jeśli poziom imperfekcji jest mniejszy niż $0,3^\circ$. Natomiast z punktu widzenia inżynierskiego można przyjąć, że próbki o większych niedoskonałościach mogą znaleźć zastosowanie w badaniach wstępnych.

Podsumowanie

Zasadnicza wartość prowadzonej przez habilitanta działalności naukowej polega na pogłębieniu i rozwoju wiedzy na temat *zjawisk szybkozmiennych w dynamicznych badaniach właściwości materiałów* na podstawie analiz numerycznych. Wyniki prac zamieszczone w cyklu publikacji naukowych mogą zostać wykorzystane podczas testów dynamicznych, w szczególności testów opartych na metodzie dzielonego pręta Hopkinsona, jako wskazówki metodyczne.

Za najważniejsze osiągnięcia opisane w publikacjach, stanowiących osiągnięcie naukowe w rozumieniu art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016r. poz. 1311), będących jednocześnie istotnym wkładem autorskim w naukę w obszarze dyscypliny naukowej *mechanika* uważam:

- określenie związków konstytutywnych, które dobrze odzwierciedlają rzeczywiste właściwości miedzi OFC w warunkach dynamicznego rozciągania, a także stałych do modelu fragmentacji Motta [b1, b2];
- wykazanie, że wykorzystanie modelu konstytutywnego Johnsona-Cooka w analizach numerycznych procesu ekspansji promieniowej pierścienia w warunkach testu elektromagnetycznego może prowadzić do uzyskania rozwiązań obarczonych znaczącym błędem [b1];
- określenie wpływu parametrów konstrukcyjnych oraz elektrycznych stanowiska eksperymentalnego do elektromagnetycznego testu pierścieniowego na proces napędzania cienkościennego pierścienia [b3];
- wykazanie, że za pomocą testu pierścieniowego możliwe jest badanie szerokiej gamy materiałów, w tym o wysokiej rezystywności, a wykorzystany do tego celu model dobrze odzwierciedla rzeczywiste zachowanie materiałów [b4];
- opracowanie metody wyznaczania dynamicznej krzywej naprężenie – odkształcenie za pomocą opracowanego kodu numerycznego, opisującego zachowanie się cienkościennego pierścienia napędzanego impulsowo [b4];
- wykazanie, że w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona z tuleją przekazującą, w początkowej fazie dynamicznego rozciągania próbki dochodzi do jej niesymetrycznego odkształcenia [b5];
- opracowanie metodyki badań dynamicznych oraz dokonanie teoretyczno-eksperymentalnej oceny niepewności pomiarowej odkształceń w pomiarach realizowanych z wykorzystaniem ekstensometru laserowego [b6];

- wykazanie, że w badaniach eksperymentalnych możliwe jest otrzymanie stałej szybkości odkształceń zarówno nominalnej, jak i rzeczywistej za pomocą stożkowych prętów wymuszających [b7];
- wykazanie, że niecentryczne położenie wkładki kształtującej impuls wymuszający powoduje powstanie fal giętnych w prętach [b8];
- określenie wpływu typu wkładki kształtującej impuls wymuszający oraz jego niecentrycznego położenia na odpowiednio: ograniczenie wysokoczęstotliwościowych oscylacji Pochhammera-Chree’a oraz na profil fali wymuszającej i odbitej [b8, b9];
- wykazanie, że niecentryczność położenia wkładki kształtującej impuls wymuszający nie większa niż 20% ma pomijalnie mały wpływ na wyniki pomiarów, w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona [b8];
- określenie wpływu imperfekcji geometrycznej próbek w metodzie dzielonego pręta Hopkinsona na kształt krzywych naprężenie – odkształcenie w zakresie dynamicznym [b10].

Wszystkie wspomniane dokonania stanowią mój wkład w rozwój dyscypliny naukowej *mechanika*. Są to osiągnięcia nowatorskie, niepodjęmowane dotąd przez innych specjalistów w liczących się publikacjach krajowych i zagranicznych, do których miałem dostęp. Mój naukowy dorobek ma zatem charakter oryginalny i autorski, niewątpliwie więc przyczynia się do rozwoju dyscypliny, którą się zajmuję.

Plany na przyszłość

Od początku mojej działalności naukowej pozostaję w kręgu problematyki prezentowanej w cyklu omówionych publikacji naukowych i ta perspektywa wyznacza również moje plany oraz zainteresowania na przyszłość.

Obecnie jestem w końcowej fazie budowy dwóch stanowisk badawczych, które pozwolą na badanie materiałów na podstawie metody dzielonego pręta Hopkinsona. Dzięki nowym urządzeniom będę mógł przeprowadzić dynamiczne badania materiałów w szerokim zakresie szybkości odkształceń ($> 5 \cdot 10^4$ 1/s), a także temperatur oraz zajmować się analizą powstawania i rozwoju uszkodzeń. To pozwoli na określenie wartości stałych do modeli konstytutywnych i zniszczeniowych, wykorzystywanych w analizach konstrukcji maszyn i urządzeń eksploatowanych, w warunkach udarowych obciążeń.

Literatura

1. G. I. Taylor, *The use of flat-ended projectiles for determining dynamic yield stress I. Theoretical considerations*, „Proc. Royal Soc. London A”, 194 (1038), 289–299, 1948.
2. M. L. Wilkins, M. W. Guinan, *Impact of cylinders on a rigid boundary*, „Journal of Applied Physics”, 44 (3), 1200–1206, 1973.
3. P. P. Gillis, S. E. Jones, M. H. Dehn, *Some further results on the Taylor impact test*, „Mechanics of Materials”, 6 (3), 293–301, 1987.

4. E. Włodarczyk, M. Sarzyński, *Strain energy method for determining dynamic yield stress in Taylor's test*, „Engng. Trans”, 65, 3, 499–511, 2017.
5. J.-B. Kim, H. Shin, *Prediction of a modified PTW model for various Taylor impact tests of tantalum*, „International Journal of Modern Physics B”, Vol. 22, Nos. 31 & 32, 6247–6252, 2008.
6. F. Abed, T. Jankowiak, A. Rusinek, *Verification of a thermoviscoplastic constitutive relation for brass material using Taylor's test*, „ASME J. Eng. Mater. Technol.”, 137(4): 041005-041005-10, doi:10.1115/1.4030804, 2015.
7. C. Hernandez, A. Maranon, *Determination of constitutive parameters from a Taylor test using inverse analysis*, „Strain”, 53, doi: 10.1111/str.12249, 2017.
8. J. Janiszewski, R. Panowicz, *Determining of the Johnson-Cook model constants extracted from Taylor test data*, Seventh International Symposium on Impact Engineering, ISIE 2010, July 4–7, Warsaw, Poland, 2010.
9. P. C. Johnson, B. A. Stern, R. S. Davis, *Measurement of dynamic plastic flow properties under uniform stress*, Symposium on the Dynamic Behavior of Materials, „ASTM” No. 336, 1963.
10. N. Perrone, *On the use of the ring test for determining rate-sensitive material constants*, „Experimental Mechanics” 8 (5), 1968.
11. A. M. Rajendran, I. M. Fyfe, *Inertia effects on the ductile failure of thin rings*, „J. Appl. Mechanics”, Vol. 49 (1), 1982.
12. W. H. Gourdin, S. L. Weinland, R. M. Boling, *Development of the electromagnetically launched expanding ring as a high-strain-rate test technique*, „Rev. Sci. Instrum.”, Vol. 60 (3), 1989.
13. W. H. Gourdin, D. H. Lassila, *Flow stress of OFE copper at strain rates from 10^{-3} to 10^4 s^{-1} : grain-size effects and comparison to the mechanical threshold stress model*, „Acta Metallurgica et Materialia”, Vol. 39 (10), 2337–2348, ISSN 0956-7151, doi: 10.1016/0956-7151(91)90015-S, 1991.
14. S. Levy, J. F. Molinari, I. Vicari, A. C. Davison, *Dynamic fragmentation of a ring: Predictable fragment mass distributions*, „Physical Review E”, 82, 066105, 2010.
15. W. Chen, B. Song, *Split Hopkinson (Kolsky) bar: design, testing and applications*, Springer, Berlin, 2011.
16. A. T. Owens, H. V. Tippur, *A tensile split Hopkinson bar for testing particulate polymer composites under elevated rates of loading*, „Experimental Mechanics”, 49(6), 799–811, 2008.
17. J. E. Field, S. M. Walley, W. G. Proud, H. T. Goldrein, C. R. Siviour, *Review of experimental techniques for high rate deformation and shock studies*, „Int. J. of Impact Engineering”, 30, 725–775, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2004.03.005, 2004.

18. E. Cadoni, G. Solomos, C. Albertini, *Mechanical characterization of concrete in tension and compression at high strain rate using a modified Hopkinson bar*, „Mag. Concrete Res.”, 61, 221–228, 2009.
19. R. Gerlach, Ch. Kettenbeil, N. Petrinic, *A new split Hopkinson tensile bar design*, „Int. J. of Impact Engineering”, 50, 63–67, 2012.
20. D. Mohr, G. Gary, *M-Shaped specimen for the high-strain rate tensile testing using a split Hopkinson pressure bar apparatus*, „Experimental Mechanics”, 47, 681–692, doi:10.1007/s11340-007-9035-y, 2007.
21. T. Nicholas, *Tensile testing of materials at high rates of strain*, „Experimental Mechanics”, 21, 177–185, doi:10.1007/BF02326644, 1981.
22. J. Kajberg, K.-G. Sundin, *Material characterisation using high-temperature split Hopkinson pressure bar*, „Journal of Materials Processing Technology”, Vol. 213 (4), 522–531, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2012.11.008, 2013.
23. A. Rusinek, R. Bernier, R. M. Boumbimba, M. Klosak, T. Jankowiak, G. Z. Voyiadjis, *New devices to capture the temperature effect under dynamic compression and impact perforation of polymers, application to PMMA*, „Polymer Testing”, Vol. 65, 1–9, doi: 10.1016/j.polymertesting.2017.10.015, 2018.
24. D. Forni, B. Chiaia, E. Cadoni, *High strain rate response of S355 at high temperatures*, „Materials & Design”, Vol. 94, 467–478, ISSN 0264–1275, doi: 10.1016/j.matdes.2015.12.160.
25. M. A. Kariem, J. H. Beynon, D. Ruan, *Misalignment effect in the split Hopkinson pressure bar technique*, „Int. J. of Impact Engineering”, 47, 60–70, 2012.
26. X. Wu, Q. Yin, Y. Wei, C. Huang, *Effects of imperfect experimental conditions on stress waves in SHPB experiments*, „Acta Mechanica Sinica”, doi: 10.1007/s10409-015-0439-0, 2015.
27. M. Alves, D. Karagiozova, G. B. Micheli, M. A. G. Calle, *Limiting the influence of friction on the split Hopkinson pressure bar tests by using a ring specimen*, „Int. J. of Impact Engineering”, Vol. 49, 130–141, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2012.04.005, 2012.
28. W. Z. Zhong, A. Rusinek, T. Jankowiak, F. Abed, R. Bernier, G. Sutter, *Influence of interfacial friction and specimen configuration in split Hopkinson pressure bar system*, „Tribology International”, Vol. 90, 1–14, doi: 10.1016/j.triboint.2015.04.002, 2015.
29. **R. Panowicz**, M. Trypolin, *Kształtowanie impulsu wymuszającego w zmodyfikowanej metodzie dzielonego pręta Hopkina*, XV Konferencja Naukowo-Techniczna „Techniki Komputerowe w Inżynierii” TKI 2018, Jora Wielka, 2018.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Poniżej zamieszczam charakterystykę najważniejszych osiągnięć konstrukcyjno-technologicznych, do których się przyczyniłem, a także prac badawczych, w których brałem udział.

Jednym z podstawowych zagrożeń współczesnego pola walki, zarówno symetrycznego, jak i asymetrycznego, są kierowane oraz niekierowane pociski raketowe z głowicami kumulacyjnymi. W wyniku uderzenia pocisku w przeszkodę dochodzi do pobudzenia zapalnika, a w konsekwencji – detonacji materiału wybuchowego, skutkiem czego jest utworzenie strumienia kumulacyjnego, będącego głównym czynnikiem rażącym tego typu pocisków. Strumień kumulacyjny porusza się z prędkością rzędu kilku kilometrów na sekundę i przebija 300–900 mm stali RHA, a jego skuteczność w bardzo dużym stopniu zależy od dokładności wykonania elementów głowicy i symetrii całego ładunku.

Ze względu na sposób działania ładunku kumulacyjnego można się przed nim bronić poprzez:

- zaburzenie symetrii ładunku kumulacyjnego (utworzenie strumienia o małej skuteczności lub jego brak);
- zwarcie w układzie zapalnika (brak pobudzenia materiału wybuchowego);
- zastosowanie grubego pancerza właściwego (np. przód wieży amerykańskiego czołgu Abrams ma grubość 960 mm, a rosyjskiego T90 650 – 700 mm),
- osłabienie działania strumienia kumulacyjnego (pancerz reaktywny).

W kręgu moich zainteresowań leży wykorzystanie pierwszego z opisanych sposobów jako środka służącego podniesieniu poziomu ochrony ludzi i pojazdów, to znaczy wykorzystanie zaburzenia symetrii ładunku kumulacyjnego. Deformacja ładunku powoduje, że przestaje być on osiowosymetryczny i jako taki nie może być źródłem strumienia kumulacyjnego o dużej skuteczności.

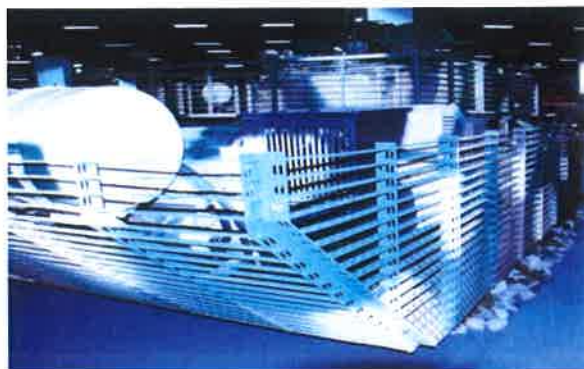
5.1. Pancerz prętowy

W ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczo-rozwojowego *System ochrony biernej pojazdów opancerzonych przed pociskami kumulacyjnymi*, nr O R00 0126 09, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, później przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, opracowano dwa typy pancerzy prętowych, charakteryzujących się małą masą. Jestem współtwórcą obu rozwiązań. Pierwszy z nich „Pancerz o małej masie efektywnej” chroniony jest wzorem użytkowym (załącznik 3, pozycja 2.3.10). Natomiast drugi – „Lekki pancerz prętowy” chroniony jest zarówno polskim, jak i międzynarodowymi patentami (załącznik 3, pozycja 2.3.1).

Opracowane w ramach projektu rozwiązania były wielokrotnie nagradzane na krajowych i międzynarodowych wystawach:

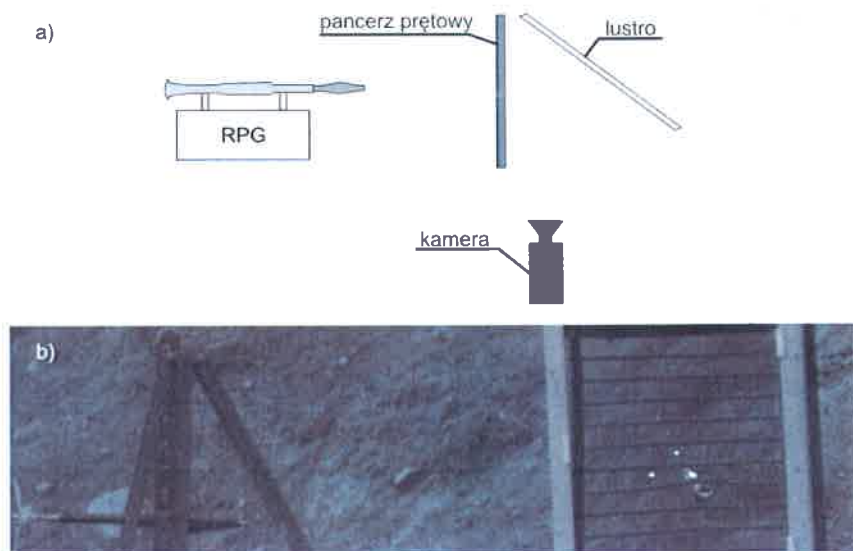
- Warszawska Wystawa Innowacji IWIS’2011;
- 7th Seoul International Invention Fair SIIF’2011;
- XV Międzynarodowy Salon Wynalazków i Innowacyjnych Technologii ARCHIMEDES 2012, Moskwa.

„Lekki pancerz prętowy” prezentowany był również podczas Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego w Kielcach na czołgu T72 w 2011 roku (rys. 18).



Rys. 18. Lekki pancerz prętowy zamocowany na T72 i prezentowany podczas Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego Kielce 2011

Podczas realizacji projektu opracowałem metodę badawczą, przedstawioną na rysunku 19, która umożliwia jednoczesną obserwację, z dwóch kierunków, przebiegu zjawiska oddziaływania pocisku typu RPG z pancerzem prętowym. Została ona wykorzystana podczas poligonowych badań eksperymentalnych opracowanych rozwiązań. Podczas tych badań oba rozwiązania wykazały się wysoką skutecznością.



Rys. 19. Badania eksperymentalne pancerzy prętowych; a) schemat stanowiska, b) kadr z filmu nakręconego podczas badań eksperymentalnych

Wyniki badań eksperymentalnych i analiz numerycznych oddziaływania pocisku typu RPG z pancerzem prętowym zostały przedstawione między innymi w następujących publikacjach:

- **R. Panowicz, K. Sybilski, W. Barnat, T. Niezgoda,** *Numeryczne badanie wybranego typu pancerza prętowego wraz z weryfikacją eksperymentalną*, [w:] *Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, Z. Mierczyk, R. Ostrowski (red.), t. 2, Warszawa, 2011.

- **R. Panowicz**, T. Niezgoda, *Experimental Research on Systems of Military Vehicles Protection Against RPG Type Missile*, „Solid State Phenomena”, Vol. 240 (2016), doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.240.244, 2015.
- **R. Panowicz**, K. Sybilski, T. Niezgoda, W. Barnat, *Numeryczna ocena zniszczenia elementów pocisku PG-7G przy kontakcie z pancerzem prętowym*, „Górnictwo Odkrywkowe”, 51, 3, 2010.
- **R. Panowicz**, T. Niezgoda, W. Barnat, K. Sybilski, *Walidacja uproszczonego modelu pocisku z głowicą kumulacyjną typu PG7-G*, „Mechanik”, 84, 7, 2011.
- **R. Panowicz**, K. Sybilski, R. Gieleta, P. Kupidura, R. Bazela, M. Magier, *Badania eksperymentalne wybranego typu pancerza prętowego*, „Biuletyn Naukowy Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia”, Zeszyt 118, nr 2, 2011.
- **R. Panowicz**, K. Sybilski, T. Niezgoda, W. Barnat, *Obliczenia analityczne prawdopodobieństwa zadziałania pancerza wykonanego z prętów o przekroju kołowym*, „Biuletyn Naukowy Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia”, Zeszyt 119, nr 3, 2011.
- T. Niezgoda, **R. Panowicz**, K. Sybilski, W. Barnat, *Numerical analysis of missile impact being shot by rocket propelled grenades with rod armour*, [w:] *Computational Methods and Experimental Measurements XV*, G. M. Carlomagno, C. A. Brebbia (red.), Vol. 51, WIT Press, doi: 10.2495/CMEM110551, 2011.
- T. Niezgoda, **R. Panowicz**, K. Sybilski, W. Barnat, *Numerical analysis of a Shell with a main shaped charge warhead stroke into a bar armor with square section*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 17, No. 3, 2010.
- K. Sybilski, **R. Panowicz**, D. Kołodziejczyk, T. Niezgoda, *Validation studies of the simplified model of the missile with cumulative head*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 19, No. 3, 2012.
- K. Sybilski, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, W. Barnat, *Analiza numeryczna uderzenia pocisku z głowicą kumulacyjną w pancerz wykonany z kątowników*, „Mechanik”, 84, 1, 2011.
- P. Kupidura, Z. Leciejewski, **R. Panowicz**, Z. Surma, K. Sybilski, R. Trębiński, *Experimental and model scale tests of an additional protection structure against RPG rockers*, „Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów”, 3 (89), 2012.

5.2. System obrony aktywnej

Zadaniem systemu obrony aktywnej jest zniszczenie lub neutralizacja zagrożenia bez jego kontaktu z ochranianym obiektem.

Zainteresowanie tym obszarem tematycznym znajduje wyraz w realizacji dwóch projektów finansowanych ze środków NCBiR. W ramach pierwszego: *System obrony aktywnej do ochrony obiektów mobilnych przed pociskami z głowicami kumulacyjnymi*, wyłącznie na podstawie polskiej myśli technicznej opracowano system obrony aktywnej (załącznik 3, pozycja: 2.3.6). Projekt ten, ze względu na złożony charakter, był realizowany

przez interdyscyplinarny zespół, złożony z przedstawicieli czterech różnych obszarów naukowych.

W ramach drugiego projektu, którym kierowałem: *Inteligentny antypocisk do zwalczania pocisków przeciwpancernych*, powstał zaawansowany antypocisk, wyposażony we własną inteligencję (załącznik 3, pozycja 2.3.5, 2.11.15, 2.11.16). Zadaniem antypocisku jest wykrycie w locie zagrożenia, a następnie jego skuteczna neutralizacja lub zniszczenie. Ten projekt również, ze względu na swój charakter, był realizowany przez interdyscyplinarny zespół, złożony z przedstawicieli różnych dyscyplin naukowych.

W ramach prowadzonych prac opracowałem głowice bojowe, które potrafią chronić obiekty w bezpośredniej i dalszej odległości (załącznik 3, pozycje: 2.3.7 – 2.3.9). Byłem również odpowiedzialny za proces integracji poszczególnych elementów systemu obrony aktywnej i antypocisku, a także przygotowanie metodyk badań poligonowych. Nadzorowałem przebieg badań poligonowych oraz dokonywałem ich oceny z punktu widzenia realizacji celów użytkowych projektów.

Skuteczność działania głowic bojowych została potwierdzona badaniami eksperymentalnymi.

Wybrane wyniki badań zostały przedstawione między innymi w następujących publikacjach:

- **R. Panowicz**, M. Konarzewski, *Influence of selected parameters of the fragmentation warhead on its effectiveness*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 22, No. 3, pp. 193–200, 2015, doi: 10.5604/12314005.1166020.
- **R. Panowicz**, M. Konarzewski, M. Trypolin, *Analysis of the detonation initiation point position influence on the cylindrical fragmentation warhead effectiveness*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 23, No. 1, 2016.
- **R. Panowicz**, T. Niezgoda, M. Konarzewski, *Numerical and experimental analysis of effectors used in active protection systems*, „Problems of mechatronics armament, aviation, safety engineering”, 3 (25), 2016.
- **R. Panowicz**, J. Nowak, M. Konarzewski, T. Niezgoda, *Introduction to numerical analysis of directed fragmentation warheads*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 20, No. 4, 2013.
- J. Nowak, **R. Panowicz**, M. Konarzewski, *Influence of destructor case type on behaviour of fragments in military vehicles active protection system*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 21, No. 1, 2014.
- D. Kołodziejczyk, P. Kupidura, Z. Leciejewski, **R. Panowicz**, Z. Surma and M. Zahor, *Counterprojectile for active protection system*, 27th International Symposium on Ballistics, Freiburg, Germany, April 22–26, 2013, baza WoS.

Ze względu na unikatowy charakter opracowanych rozwiązań dla obronności kraju część wyników badań, zarówno cząstkowych, jak i całościowych, nie mogła zostać opublikowana w czasopiśmie naukowych czy też przedstawiona podczas konferencji naukowo-badawczych (załącznik 5).

5.3. Inne prace badawcze

Badania prowadzone przeze mnie zarówno przed otwarciem przewodu doktorskiego, jak i jak po uzyskaniu tytułu doktora, w zdecydowanej większości dotyczą wykorzystania komputerowych metod mechaniki w analizie zagadnień, w których główną rolę odgrywają zjawiska dynamiczne. Jako doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki zajmowałem się między innymi zagadnieniami:

- zachowania się pojedynczych i złożonych struktur energochłonnych obciążonych falą ciśnienia, pochodzącą z detonacji materiału wybuchowego, a także konstrukcją tego typu rozwiązań. Efektem badań nad tym problemem są, między innymi, następujące prace:
 - **R. Panowicz**, D. Kołodziejczyk, K. Sybilski, W. Barnat, T. Niezgoda, *Analiza numeryczna dynamicznego oddziaływania fali ciśnienia na złożoną strukturę panelu energochłonnego*, „Przegląd Mechaniczny”, nr 11, 2012.
 - W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, R. Gieleta, *Analysis of a protective composite panel with an energy absorbent in the form of foamed aluminum*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 17, No. 4, 2010.
 - W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, *Numerical and experimental comparison of combined multilayer protective panels*, „Acta Mechanica et Automatica”, Vol. 6, No. 1, 2012.
 - W. Barnat, T. Niezgoda, **R. Panowicz**, *Warstwy energochłonne do ochrony pojazdów wojskowych przed wybuchem min i IED*, „Biuletyn Departamentu Nauki i Szkolnictwa Wojskowego Ministerstwa Obrony Narodowej i Centralnej Biblioteki Wojskowej”, Warszawa, 2010, ISBN 978-83-89875-31-0.
 - W. Barnat, T. Niezgoda, R. Gieleta, **R. Panowicz**, *Investigation of a panel with an elastomer layer plus carbon fibers loaded with a blast wave*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 17, No. 4, 2010.
 - W. Barnat, T. Niezgoda, P. Szurgott, **R. Panowicz**, *Numerical analysis of the composite-foam panels applied to protect pipelines against the blast wave*, „Techniczne Wyroby Włókiennicze”, 17, 2–3, 2009.
 - Patent krajowy pt.: „Energochłonny panel denny”, T. Niezgoda, **R. Panowicz** (udział 25 proc.), R. Gieleta, W. Barnat, nr PAT.219799, 2014.
 - Patent krajowy pt.: „Przenośne stanowisko poligonowe do prób wybuchowych”, M. Klasztorny, T. Niezgoda, P. Gotowicki, **R. Panowicz** (udział 10 proc.), W. Barnat, R. Gieleta, A. Morka, nr PAT.217044, 2013.
 - Patent krajowy pt.: „Osłona kompozytowo-pianowa do ochrony załóg pojazdów lekko opancerzonych”, M. Klasztorny, T. Niezgoda, P. Gotowicki, **R. Panowicz** (udział 10 proc.), W. Barnat, nr PAT.217196, 2013;
- skutków oddziaływania fali ciśnienia pochodzącej z detonacji materiału wybuchowego na pojazd oraz załogę. Na podstawie przeprowadzonych badań powstały następujące publikacje:

- **R. Panowicz**, W. Barnat, K. Sybilski, T. Niezgoda, *Numerical analysis of a light armoured vehicular personnel carrier loaded with a mine or IED explosion on a human transported in it*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 17, No. 3, 2010.
- **R. Panowicz**, T. Niezgoda, W. Barnat, K. Sybilski, *Computer modeling of complex action system of blast wave arising from mine or IED explosion on light armoured vehicle*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 17, No. 4, 2010.
- **R. Panowicz**, K. Sybilski, D. Kołodziejczyk, T. Niezgoda, W. Barnat, *Numerical analysis of effects of IED side explosion on crew of light armoured wheeled vehicle*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 18, No. 4, 2011.
- **R. Panowicz**, W. Barnat, T. Niezgoda, K. Sybilski, *Numeryczne badanie oddziaływania impulsu ciśnienia na wybrane typy pojazdów i ich załogę*, „Mechanik”, 84, 5–6, 2011.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, *Influence of armoured vehicle's bottom shape on the pressure impulse*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 18, No. 1, 2011.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, P. Dybcio, *A numerical analysis of initial and boundary conditions influence on the crew of tracked vehicle and the ground*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 18, No. 1, 2011.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, G. Moneta, *Numeryczne badanie oddziaływania fali wtórnej na załogę pojazdu*, „Systems Journal of Transdisciplinary Systems Science”, Vol. 16, No. 3, 2012.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, G. Sławiński, K. Sybilski, G. Moneta, *Numeryczna analiza wpływu elastomerowego elementu tłumiącego siedziska pojazdu wojskowego obciążonego IED na organizm ludzki*, „Systems Journal of Transdisciplinary Systems Science”, Vol. 16, No. 3, 2012.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda T., *Numeryczna analiza oddziaływania wybuchu na pojazd z uwzględnieniem fali odbitej od podłoża*, „Górnictwo Odkrywkowe”, 51, 3, 2010.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, *Wpływ płaskiego dna pojazdu wojskowego na załogę z uwzględnieniem modelu gruntu opisanego modelem materiałowym Mie-Gruneisena*, „Modelowanie Inżynierskie”, 11, 42, 2011.
- W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, *Wybrane aspekty analizy konstrukcji pojazdów wojskowych obciążonych falą wybuchu*, [w:] *Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, Z. Mierczyk, R. Ostrowski (red.), t. 2, Warszawa, 2011, ISBN 978-83-62954-62-9.
- W. Barnat, T. Niezgoda, **R. Panowicz**, *Analysis of a light caterpillar vehicle loaded with blast wave from detonated IED*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 17, No. 4, 2010.

- W. Barnat, **R. Panowicz**, T. Niezgoda, P. Dybcio, *Influence of an armoured vehicle's hull structure on absorption of blast energy*, „Journal of Battlefield Technology”, Vol. 14, No. 2, July 2011.
 - W. Barnat, G. Moneta, **R. Panowicz**, G. Sławiński, *Wstęp do modelowania wybuchu bocznego ładunku IED na kabinę pojazdu specjalnego zgodnie z normami*, „Systems Journal of Transdisciplinary Systems Science”, Vol. 16, No. 3, 2012.
 - W. Barnat, G. Sławiński, G. Moneta, **R. Panowicz**, *Introduction to modelling side IED explosion influence on special military vehicle*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 19, No. 4, 2012;
- możliwości wykorzystania promieniowania terahercowego do nieniszczącego badania materiałów kompozytowych. Otrzymane wyniki badań zostały zaprezentowane w następujących publikacjach:
- D. Miedzińska, T. Niezgoda, N. Pałka, **R. Panowicz** et al., *Non-destructive terahertz investigations of polyethylene composite materials*, 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), doi: 10.1109/irmmw-THz.2011.6104979, 2011.
 - N. Pałka, **R. Panowicz**, F. Ospald, R. Beigang, *3D Non-destructive imaging of punctures in polyethylene composite armor by THz time domain spectroscopy*, „J. Infrared Milli. Terahz. Waves”, doi: 10.1007/s10762-015-0174-4, 2015.
 - N. Pałka, **R. Panowicz**, M. Chalimoniuk, R. Beigang, *Non-destructive evaluation of puncture region in polyethylene composite by terahertz and X-ray radiation*, „Composites Part B”, 92, 1, 2016.

6. Podsumowanie dorobku publikacyjnego i innych osiągnięć

Mój sumaryczny impact factor według bazy JCR zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 19,904; a liczba punktów MNiSW za publikacje naukowe zgodnie z rokiem wydania wynosi 885. Pozostałe wskaźniki dokonań naukowych zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźniki dokonań naukowych

	WoS	Scopus	Google Scholar
Indeks Hirsha	4	7	9
Liczba cytowań	44	114	295

Zbiorczy wykaz moich osiągnięć naukowych i dydaktycznych został przedstawiony w tabeli 2, a szczegółowe dane w tym zakresie zostały zawarte w załączniku 3.

Jako doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki prowadziłem w Wojskowej Akademii Technicznej zajęcia dydaktyczne (ponad 2 tys. godzin) w formie: wykładów,

ćwiczeń rachunkowych i laboratoryjnych, seminariów; byłem też opiekunem prac dyplomowych na studiach I i II stopnia, a także studiach doktoranckich, między innymi z takich przedmiotów, jak:

- Wytrzymałość materiałów;
- Mechanika techniczna;
- Mechanika techniczna i wytrzymałość materiałów;
- Komputerowa symulacja zagadnień termomechaniki;
- Mechanika analityczna.

Jestem też autorem sylabusów do kilku przedmiotów. Pod moim kierunkiem powstało siedem prac dyplomowych na studiach I i II stopnia (załącznik 3, punkt 3.9). Byłem także opiekunem naukowym lub promotorem pomocniczym trzech prac doktorskich, z których dwie otrzymały wyróżnienie (załącznik 3, punkt 3.10).

Doświadczenia zdobyte w pracy dydaktycznej zainspirowały mnie do włączenia w program studiów doktoranckich dwóch autorskich przedmiotów:

- Modelowanie oddziaływania impulsu ciśnienia na elementy konstrukcji;
- Wybrane zagadnienia obrony aktywnej pojazdów wojskowych.

Wśród nagród i wyróżnień przyznanych mi za działalność dydaktyczną, badawczą oraz wynalazczą otrzymałem:

- medal Komisji Edukacji Narodowej, Warszawa, 25 sierpnia 2014 roku;
- Dyplom Uznania za uzyskanie wysokiej oceny punktowej w okresowej ocenie nauczyciela akademickiego za lata akademickie 2008/2009–2011/2012 w obszarze działalności: dydaktycznej, naukowo-badawczej i organizacyjnej (Dziekan Wydziału Mechanicznego, dr hab. inż. Zdzisław Bogdanowicz, profesor Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa 20 marca 2013 roku);
- nagrodę rzeczową od Komendanta – Rektora Wojskowej Akademii Technicznej za wysiłek, trud, poświęcenie i szczególne osiągnięcia w wykonywaniu zadań służbowych (Rozkaz Rektora – Komendanta WAT 15/RKR 2013 roku z 18 grudnia 2013 roku);
- wyróżnienie Ministerstwa Gospodarki (Departament Programów Offsetowych) za wdrożenie i opracowanie „Pianowo-kompozytowego panelu zwiększającego ochronę życia i zdrowia załogi pojazdu gaśnicowego z płaskim dnem”, Warszawa, 16 marca 2011 roku (dla T. Niezgoda, W. Barnat, **R. Panowicz**);
- złoty medal na międzynarodowej warszawskiej wystawie innowacji IWIS’2011 za rozwiązanie pt.: „Lekki pancierz prętowy przeciw pociskom z głowicą kumulacyjną”, Warszawa, 5 listopada 2011 roku (dla T. Niezgoda, W. Barnat, **R. Panowicz**, K. Sybilski);
- wyróżnienie w konkursie na najlepszy referat prezentowany w ramach sesji plakatowych za: *Analiza uderzenia pocisku w pancierz prętowy w aspekcie działania części głowicowej zapalnika*, TKI’2011, XII Konferencja Naukowo-Techniczna, Słok k. Bełchatowa, 18–21 października 2011 roku (dla **R. Panowicz**, K. Sybilski, W. Barnat, T. Niezgoda);
- nagrodę pieniężną i dyplom JM Rektora Wojskowej Akademii Technicznej za opracowanie *Demonstratora technologii inteligentnego antypocisku do*

zwalczania pocisków przeciwpancernych (rozkaz Rektora WAT nr 249/RKR/2018 z dnia 17 września 2018 roku).

Szczegółowy wykaz otrzymanych nagród i wyróżnień został przedstawiony w załączniku 3, punkty 2.11 oraz 3.3.

Tabela 2. Dorobek naukowy

Lp.	Pozycje	Liczba
1.	Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	20
2.	Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego	7
3.	Patenty międzynarodowe lub krajowe	9
4.	Autorstwo/współautorstwo monografii	6
5.	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych	44
6.	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach krajowych	35
7.	Autorstwo lub współautorstwo opracowań zbiorowych, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz	6
8.	Sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem opublikowania	19,904
9.	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)	44
	Liczba cytowań publikacji według bazy Scopus	114
10.	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	4
	Indeks Hirscha według bazy Scopus	7
11.	Wygłoszenie referatów na międzynarodowych konferencjach tematycznych	15
12.	Wygłoszenie referatów na krajowych konferencjach tematycznych	23
13.	Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	20

14.	Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową	17
15.	Aktywny udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji	2
16.	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	4
17.	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami	3
18.	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych	4
19.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego	3
20.	Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	2
21.	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	5
22.	Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopiśmie międzynarodowych i krajowych	22

20.09.2018

data

Robert Pansin

podpis