

BADANIA SZTYWNOŚCI MATERIAŁU ZDERZAKA SUWADŁA W ASPEKTCIE DYNAMICZNEJ ODPOWIEDZI UKŁADU AUTOMATYKI KARABINKA STANDARDOWEGO MSBS-5,56

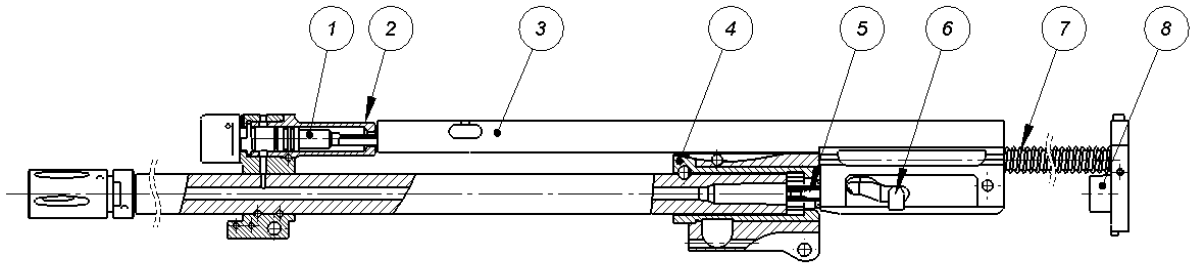
Streszczenie: Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie możliwości wykorzystania analizy numerycznej MES w procesie badania odpowiedzi zespołu „automatyki” karabinka podstawowego kalibru 5,56 mm w zależności od przyjętych właściwości mechanicznych materiału zderzaka elastomerowego. W artykule scharakteryzowano opracowany do obliczeń model numeryczny oraz przyjęte w analizie MES warunki początkowo-brzegowe, a także przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych materiału zderzaka elastomerowego. W rozdziale dotyczącym prezentacji wyników dokonano porównania otrzymanych charakterystyk kinematycznych i dynamicznych wyznaczonych dla podzespołu suwadła.

TESTING OF BOLT CARRIER BUMPER MATERIAL STIFFNESS IN TERMS OF DYNAMIC RESPONSE OF STANDARD ASSAULT RIFLEMSBS-5,56 OPERATING PARTS

Abstract: The main goal of the paper is to present the possibility of FE analysis of modular small arms system. The authors decided to test numerically the stiffness parameters of an elastomeric bumper and its influence on kinematic characteristics, as well as on dynamic response of a gun. The presented problem was solved using dynamic computations implementing the explicit central difference scheme with modified time integration of the equation of motion. The main concern in the research was focused on finding the optimal parameters of elastomeric element, in terms of absorbed energy and interaction forces between collaborating elements of modular small arms system. In the final part of the paper are drawn conclusions.

Wstęp

Zakład Konstrukcji Specjalnych Instytutu Techniki Uzbrojenia Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej realizuje we współpracy z fabryką broni „Łucznik”-Radom projekt badawczy rozwojowy, którego celem jest opracowanie nowych karabinków standardowych, stanowiących bazę Modułowego Systemu Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56). Wynikiem projektu będą dwa demonstratory technologii karabinków: jeden zbudowany w klasycznym (kolbowym) układzie konstrukcyjnym, a drugi – w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym. Obydwa karabinki wykorzystują tę samą „automatykę” i działają na tej samej zasadzie, tj. odprowadzanie części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie z wykorzystaniem krótkiego ruchu tłoka gazowego [1] (rys. 1).



Rys. 1. Widok ogólny analizowanego układu: 1 – tłok gazowy, 2 – wkładka komory gazowej, 3 – suwadło, 4 – obsada lufy, 5 – zamek, 6 – wodzik zamka, 7 – sprężyna mechanizmu powrotnego, 8 – zderzak elastomerowy

Opracowywana broń zawiera kilka oryginalnych rozwiązań (chronionych zgłoszeniami patentowymi), a także została przystosowana dla strzelców prawo- i lewo ręcznych poprzez rozmieszczenie manipulatorów (przełącznika bezpiecznika, przycisku zwalniania magazynka, dźwigni zaczepu zamka) po obydwu stronach komory zamkowej. Nowatorski charakter zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych wymagał wykonania obszernych badań numerycznych i eksperymentalnych, których celem było sprawdzenie poprawności przyjętych założeń. Badania numeryczne realizowane z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych [2] obejmowały swym zakresem następujące elementy:

- określenie wpływu zmiany charakterystyk masowo-bezwładnościowych zespołu suwadła na charakterystyki kinematyczne i dynamiczne zespołu „automatyki” karabinka,
- określenie wpływu parametru sztywności oraz wartości siły wstępnego napięcia sprężyny mechanizmu powrotnego na charakterystyki kinematyczne i dynamiczne zespołu „automatyki” karabinka,
- określenie wpływu właściwości mechanicznych materiału zderzaka suwadła na charakterystyki kinematyczne i dynamiczne zespołu „automatyki” karabinka.

Końcowy etap wykonanych analiz numerycznych dotyczył określenia charakterystyk kinematycznych i dynamicznych zespołu „automatyki” karabinka podczas strzelania serią trzystrzałową.

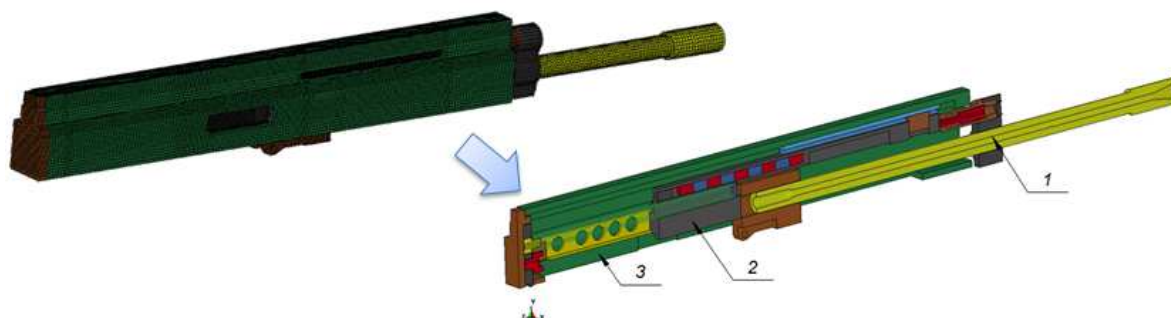
Opracowany i przedstawiony w niniejszym artykule model numeryczny badanego układu został zweryfikowany podczas badań eksperymentalnych, a wyniki tych badań i analiz zaprezentowano w [1]. Tematyka niniejszej pracy dotyczy badań numerycznych nad odpowiedzią dynamiczną układu „automatyki” karabinka w zależności od przyjętej charakterystyki sztywnościowej materiału zderzaka elastomerowego.

1. Sformułowanie założeń do badań numerycznych. opracowanie modelu numerycznego

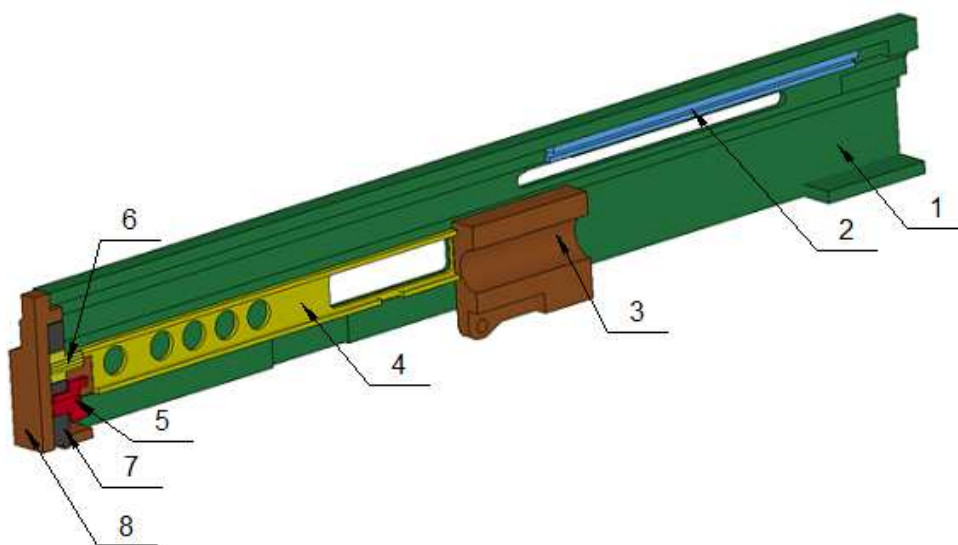
W pierwszej fazie badań opracowano (na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej demonstratora technologii), model numeryczny układu, w którym – ze względu na dużą złożoność geometryczną – poczyniono szereg uproszczeń. Wprowadzone zmiany wiązały się z usunięciem cech, które nie wpływają na funkcjonalność oraz wytrzymałość poszczególnych części, a w znaczący sposób ułatwiły proces budowy modeli dyskretnych wchodzących w skład całego układu karabinka (najistotniejszym uproszczeniem było wyeliminowanie

elementu zamka). Zmiany te uwzględniono jednak w opisie modelu numerycznego suwadła poprzez zwiększenie jego masy. Aby odzwierciedlić dokładną geometrię zamka oraz suwadła należałoby wykorzystać do tego celu elementy skończone o bardzo małych wymiarach (rzędu 0,2 mm). Na etapie obliczeń numerycznych, z uwagi na warunek stabilności rozwiązania, mogłoby to skutkować krokiem całkowania na poziomie 10^{-9} s. W konsekwencji zbudowany model całego układu w sposób znaczący wydłużyłby czas analiz komputerowych z dwóch do kilkunastu dni (symulacja jednego cyklu strzału).

Otrzymany model MES badanego układu zawiera 151 635 węzłów opisujących 105 224 elementy dyskretne (rys.2). Model został podzielony na trzy podzespoły funkcjonalne: lufę z węzłem gazowym, suwadło oraz komorę zamkową (rys.3) [4].



Rys. 2. Ogólny widok modelu numerycznego MES analizowanego zespołu „automatyki” karabinka podstawowego: 1 – podzespół lufy z węzłem gazowym, 2 – podzespół suwadła, 3 – podzespół komory zamkowej

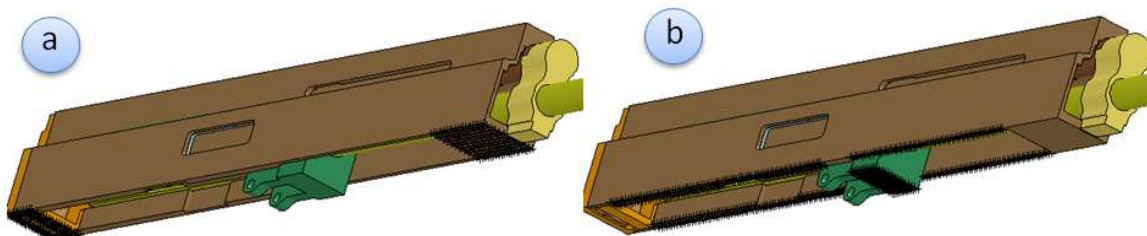


Rys. 3. Widok modelu numerycznego MES podzespołu komory zamkowej (przekrój): 1 – płaszcz komory zamkowej, 2 – prowadnica górna suwadła, 3 – obsada lufy, 4 – prowadnica suwadła, 5 – zderzak, 6 – wkładka rury mechanizmu powrotnego, 7 – opora mechanizmu powrotnego, 8 – obsada kolby

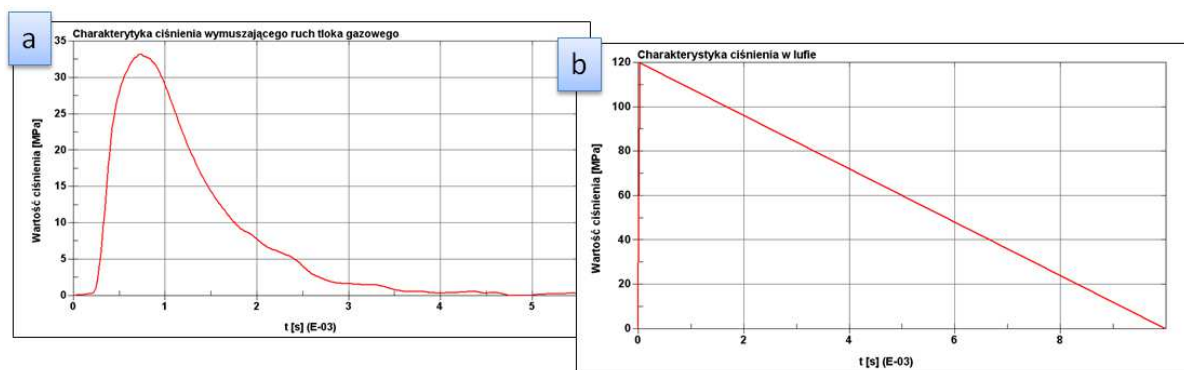
Realizacja przemieszczeniowych warunków brzegowych miała na celu (rys. 4a) odzwierciedlenie sposobu zamocowania karabinka na stanowisku laboratoryjnym. Na rys.4b przedstawiono więzy narzucone z uwagi na sposób połączenia komory zamkowej z obsadą lufy oraz komorą spustową.

W celu zdefiniowania wzajemnej współpracy pomiędzy poszczególnymi częściami karabinka, zdefiniowano 43 pary kontaktowe. W analizowanym przypadku zagadnienie

kontaktu pomiędzy poszczególnymi elementami mechanizmu karabinka zostało opisane z zastosowaniem metody obliczeniowej bazującej na funkcji kary [2,3,4]. Wymuszeniem uruchamiającym działanie zespołu „automatki” karabinka było ciśnienie działające na tłok gazowy oraz komorę gazową (rys.5a). Ponadto zdefiniowano obciążenie w postaci ciśnienia zmieniającego się w czasie, działającego na ścianki przewodu lufy zgodnie z przebiegiem przedstawionym na rysunku (rys.5b).

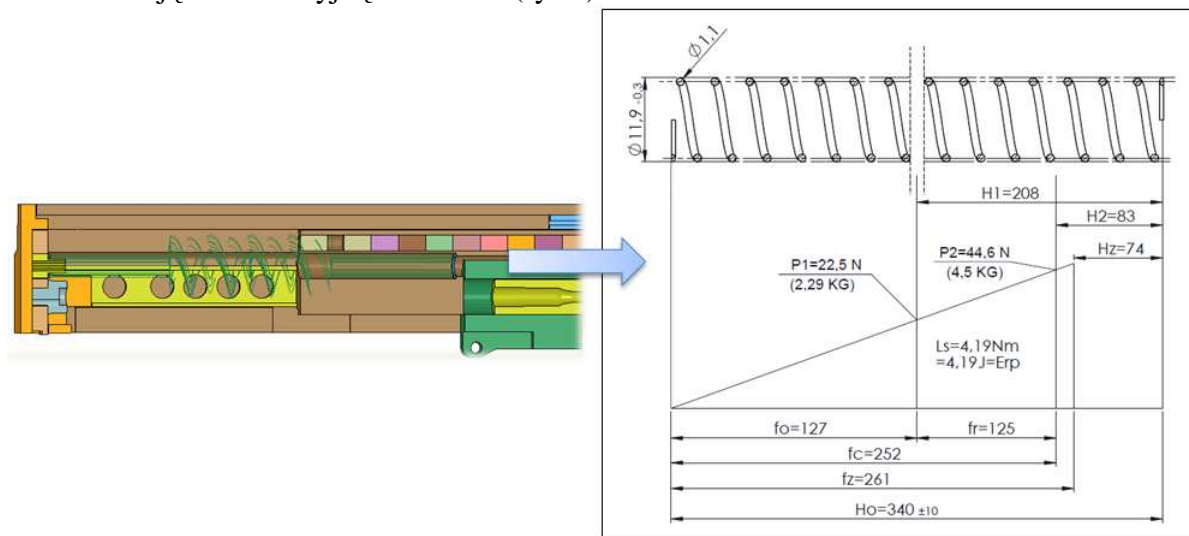


Rys. 4. Definiowanie warunku zamocowania karabinka na stanowisku laboratoryjnym oraz sposobu połączenia komory zamkowej z obsadą lufy i komorą spustową



Rys. 5. Przebieg charakterystyki ciśnienia: a) działającego w komorze gazowej oraz na tłok, b) wewnątrz przewodu lufy

Właściwości sprężyny mechanizmu powrotnego tj. sztywność oraz siłę wynikającą ze wstępnego ugięcia, opisano za pomocą sprężystego elementu dyskretnego zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną karabinka (rys.6).

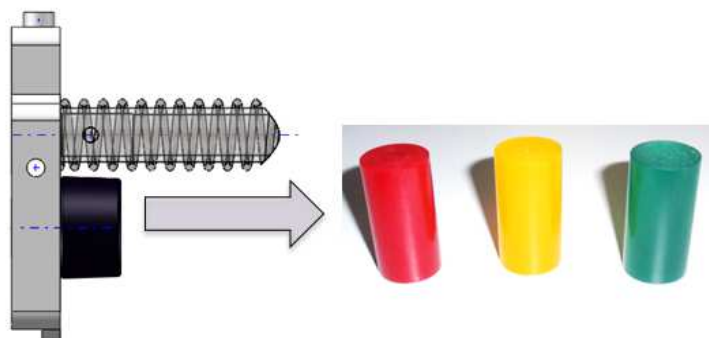


Rys. 6. Właściwości sprężyny mechanizmu powrotnego przyjęte podczas definiowania modelu numerycznego

Do opisu właściwości materiału poszczególnych części karabinka wykorzystano sprężysty model konstytutywny.

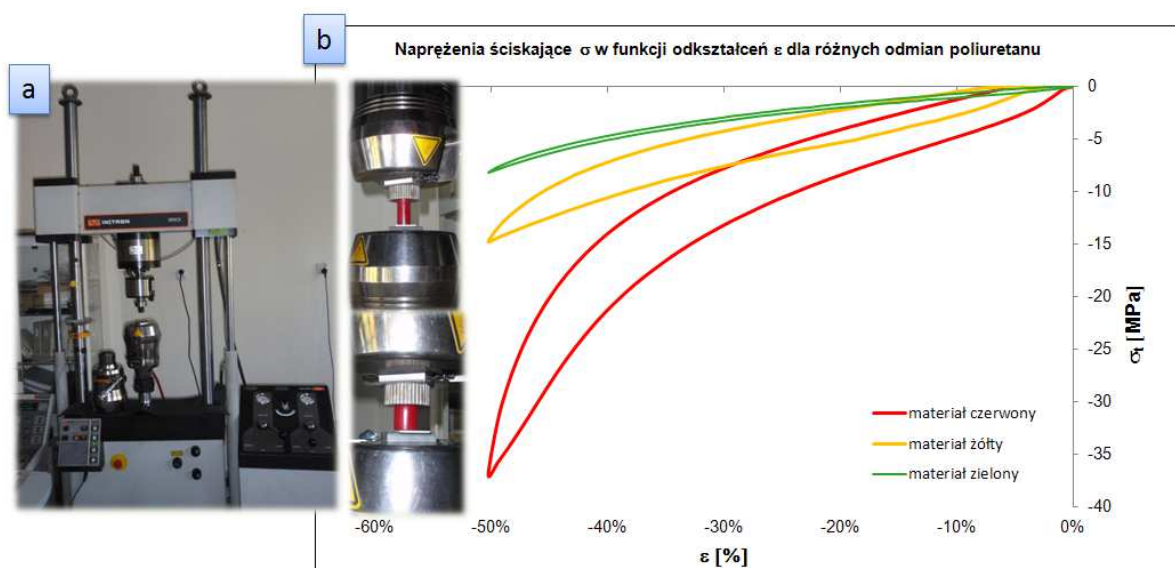
2. Badania właściwości mechanicznych materiału zderzaka

Na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej zderzaka suwadła oraz specyfikacji materiałowej ustalono, że będzie on wykonany z poliuretanu. Jeden z krajowych producentów tworzywa, oferuje go w kilku odmianach handlowych o różnych właściwościach mechanicznych. Przed podjęciem decyzji o wyborze materiału przeprowadzono badania materiałowe wytypowanych odmian poliuretanu (rys. 7), w celu wyznaczenia jego charakterystyki siła-wydłużenie. Otrzymane wyniki wykorzystano w procesie definiowania właściwości materiału zderzaka dla poszczególnych wariantów prowadzonych analiz numerycznych.



Rys.7. Mechanizm powrotny ze zderzakiem elastomerowym oraz analizowane odmiany poliuretanu

Badania materiałowe wykonano na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501 (rys.8a) zgodnie z normą PN-EN ISO 604:2006. Użyte w badaniach próbki ściskano do wartości ΔL odpowiadającej połowie długości nominalnej próbki L_0 (20 mm). Na tej podstawie wyznaczono charakterystykę naprężenie-odkształcenie (rys.8b).



Rys.8. Badania materiałowe: a) widok ogólny maszyny INSTRON 8501, b) uzyskana w wyniku próby jednoosiowego ściskania charakterystyka $\sigma = f(\epsilon)$

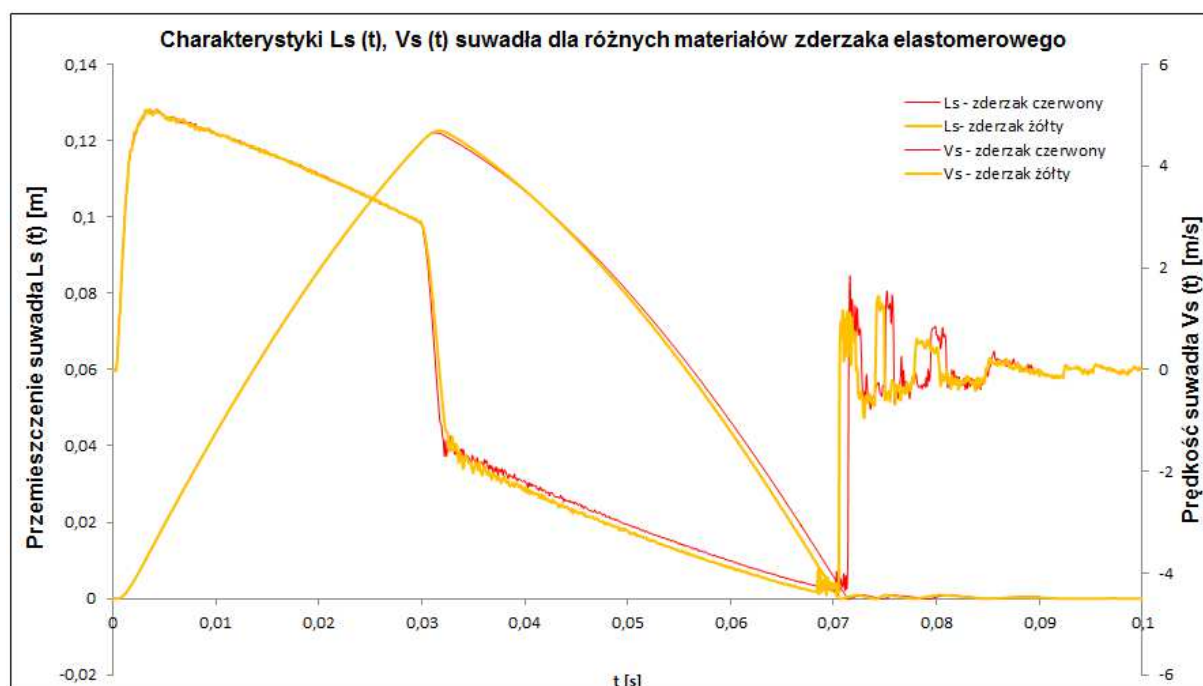
Na podstawie analizy wykresu przedstawionego na rys.8b oraz zawartości tab.1 można stwierdzić, że największą zdolnością do pochłaniania energii przy odkształceniu wynoszącym ok. 50% będzie charakteryzował się poliuretan w odmianie „czerwonej”.

Tab. 1. Wartości maksymalne naprężeń ściskających uzyskane w wyniku przeprowadzonych badań materiałowych

Wyszczególnienie	Zderzak czerwony	Zderzak żółty	Zderzak zielony
σ [MPa]	-36,98	-14,75	-8,16

3. Analiza otrzymanych wyników prowadzonych badań numerycznych

Zrealizowanie zadania, dotyczącego badań właściwości mechanicznych materiału zderzaka, umożliwiło przystąpienie do kolejnego etapu pracy, związanego z wykonaniem serii analiz numerycznych, których wyniki przedstawiono na rys. 9-12.



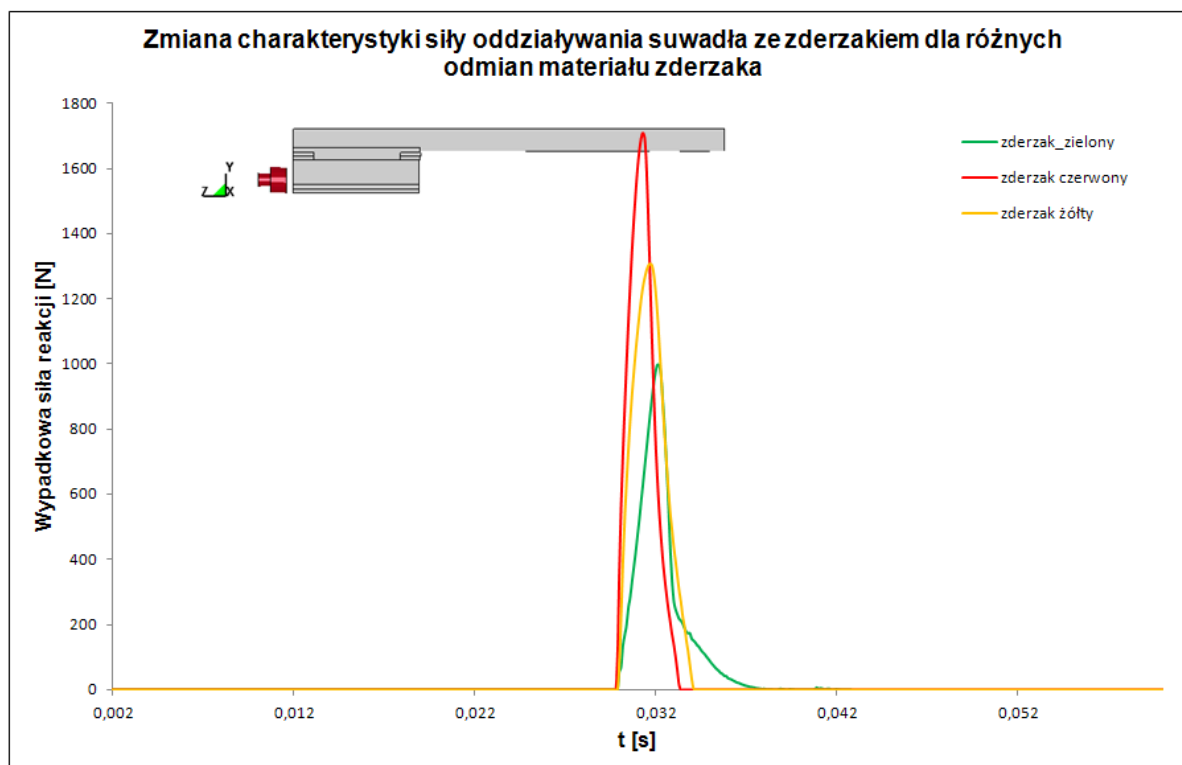
Rys. 9. Charakterystyki kinematyczne podzespołu suwadła w zależności od rodzaju materiału zderzaka elastomerowego

Przedstawione na rys.9 charakterystyki kinematyczne podzespołu suwadła dotyczą dwóch wariantów konfiguracyjnych modelu numerycznego w zależności od rodzaju materiału zderzaka (materiał: „czerwony” i „żółty”). Na wykresie nie zamieszczono wyników analizy dla wariantu z materiałem zielonym, ze względu na brak rozwiązania (zderzak po uderzeniu suwadła ulega zniszczeniu). Analizując przebieg krzywych prędkości można zauważyć, że w początkowym etapie ruchu suwadła rozwiązania dla obydwu rodzajów poliuretanu są takie same. Większa zdolność do absorpcji energii uderzenia zderzaka wykonanego z materiału „czerwonego” wpływa na wydłużenie czasu trwania kontaktu suwadła ze zderzakiem. Suwadło dla wariantu „czerwony” ma mniejszą prędkość po uderzeniu, dłużej trwa okres ruchu do położenia bazowego. Przedstawione na rys. 10-12 charakterystyki siły oddziaływania suwadła ze zderzakiem, obsadą lufy, tłokiem gazowym umożliwiają ocenę wpływu materiału zderzaka na ich przebieg oraz otrzymane wartości maksymalne. Analizując

dane zawarte na rys.10 i w tab. 2 można stwierdzić, że największa wartość siły reakcji występuje dla wariantu „czerwonego”. Zderzak „zielony” w wyniku uderzenia ulega trwałemu odkształceniu. Wartość siły reakcji w tym przypadku jest najmniejsza. Z uwagi na problemy numeryczne opisu silnych deformacji materiału zderzaka „zielonego” i wynikającej z faktu potrzeby zmiany metody modelowania, ten przypadek nie był przez autorów brany pod uwagę w dalszych prowadzonych analizach.

Tab. 2. Wartości maksymalne siły oddziaływania suwadła ze zderzakiem elastomerowym

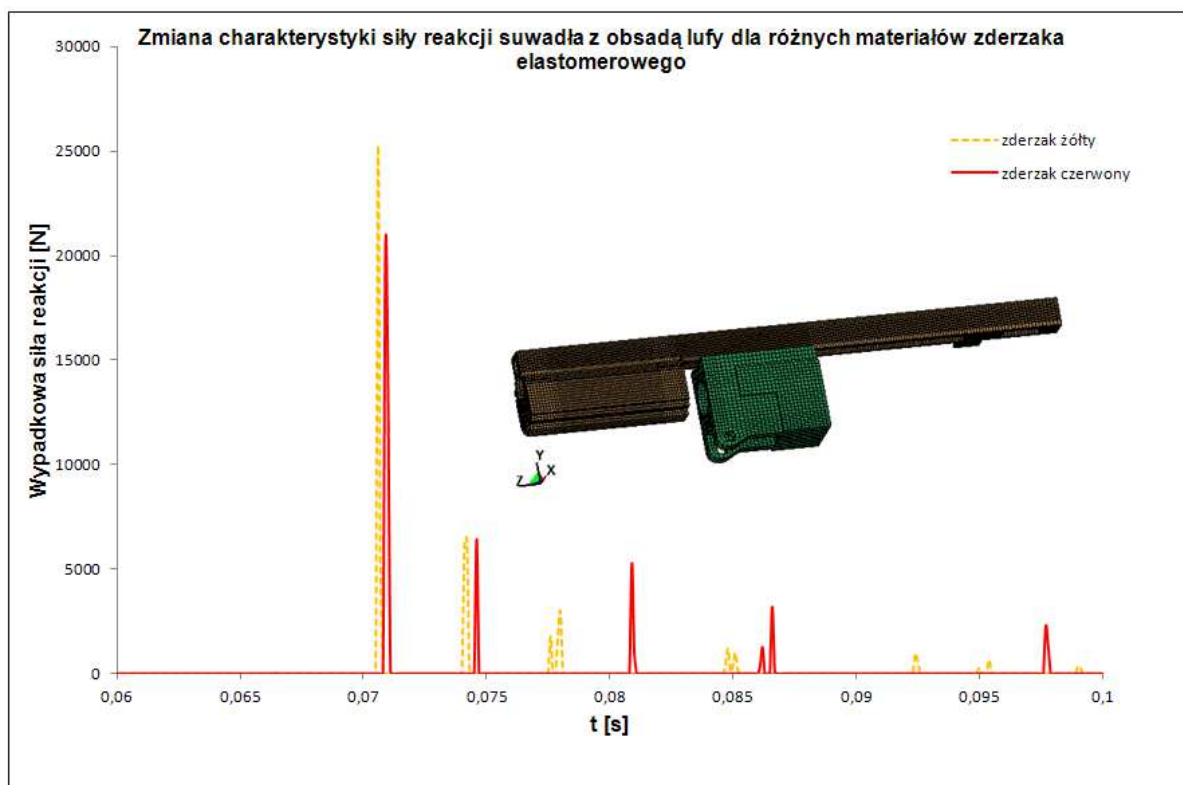
Wyszczególnienie	Zderzak czerwony	Zderzak żółty	Zderzak zielony
Wartość siły [kN]	1,69	1,29	0,97



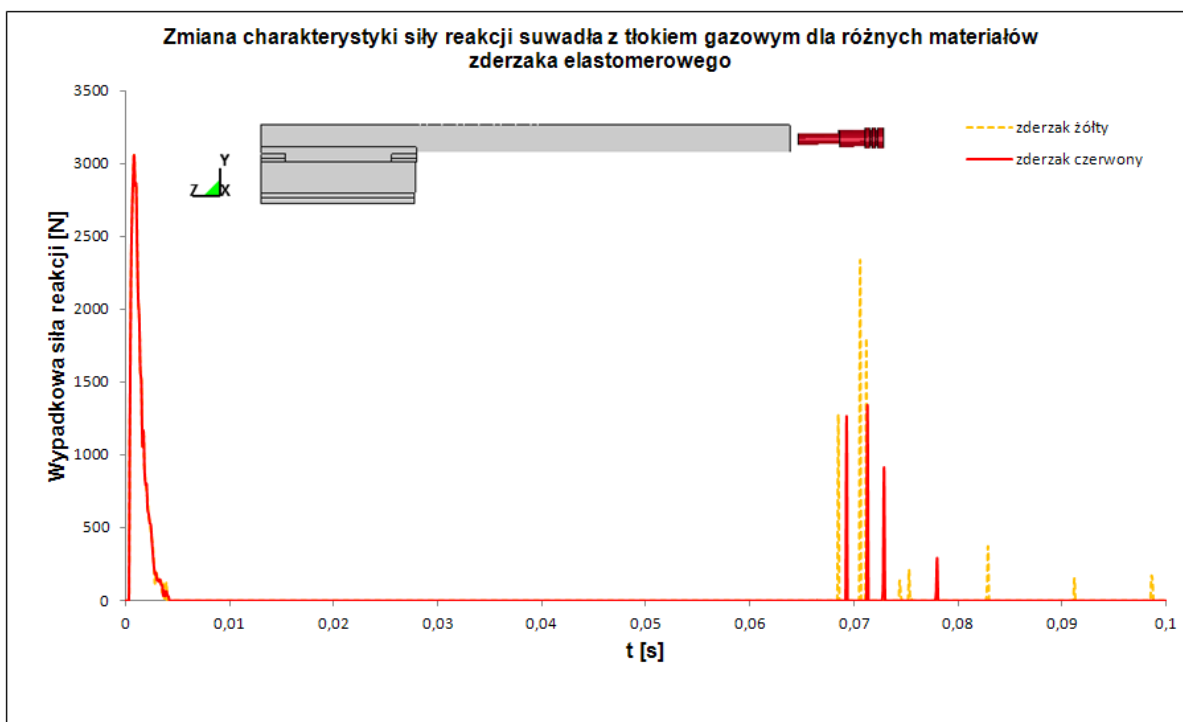
Rys. 10. Przebieg charakterystyki siły oddziaływania suwadła ze zderzakiem

Kolejną z przedstawionych charakterystyk dynamicznych określonych dla podzespołu suwadła jest charakterystyka siły oddziaływania z obsadą lufy (rys.11). Ze względu na większą zdolność pochłaniania energii „materiału czerwonego” w analizowanym przypadku wartość maksymalna siły oddziaływania była mniejsza w porównaniu z materiałem „żółtym” (suwadło ma mniejszą prędkość w momencie uderzenia w obsadę). Dla materiału „czerwonego” wartość siły reakcji wyniosła $F=14,1$ kN, a dla materiału żółtego – $F=25,2$ kN.

Analizując przebieg siły reakcji suwadła z tłokiem gazowym (rys. 12) można zauważyć, że w początkowej fazie ruchu otrzymane rozwiązanie w obydwu przypadkach jest takie samo. Różnice w charakterystykach pojawiają się w drugiej fazie ruchu suwadła, kiedy powraca ono do położenia wyjściowego. Większa prędkość suwadła dla materiału „żółtego” w momencie uderzenia w tłok gazowy powoduje większą wartość siły reakcji. Dla materiału „czerwonego” siła ta wynosi $F = 1,34$ kN, a dla materiału „żółtego” – $F = 2,34$ kN.



Rys. 11. Przebieg charakterystyki siły oddziaływania suwadła z obsadą lufy



Rys. 12. Przebieg charakterystyki siły oddziaływania suwadła z tłokiem gazowym

4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań numerycznych pracy zespołu „automatyki” karabinków podstawowych MSBS-5,56 w zależności od właściwości materiału zderzaka elastomerowego pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

- właściwości mechaniczne materiału zderzaka mają wpływ na przebieg charakterystyk kinematycznych i dynamicznych w drugiej części trwania cyklu pracy „automatyki” (po uderzeniu suwadła w zderzak),
- zastosowanie materiału – poliuretanu w odmianie „czerwony” zwiększa siłę oddziaływania suwadła ze zderzakiem o ok. 23,6% (większa część energii uderzenia suwadła jest pochłaniana przez zderzak),
- zastosowanie materiału „czerwonego” powoduje zmniejszenie prędkości suwadła w drugim okresie trwania cyklu pracy „automatyki”,
- mniejsza prędkość suwadła będzie skutkować zmniejszeniem wartości siły oddziaływania suwadła z obsadą lufy oraz tłokiem gazowym.

Literatura

- [1] Damaziak K, Małachowski J., Płatek P., Woźniak R., *Analiza możliwości wykorzystania różnych metod numerycznych w procesie projektowania układu automatyki broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm*. Mechanik nr 2/2011, str.120-123.
- [2] Kleiber M.: *Metoda elementów skończonych w nieliniowej mechanice kontinuum*, PWN, Warszawa/Poznań, 1985
- [3] Bajer Cz.: *Numeryczne modelowanie czasoprzestrzenne dynamicznych zagadnień kontaktowych*. IPPT PAN, 1997.
- [4] Hallquist J.O.: *LS-Dyna. Theoretical manual*, California Livermore Softwaretechnology Corporation, 1998.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt rozwojowy