

4/12/2018



**AGH**

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Metali Nieżelaznych  
Katedra Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych  
dr hab. inż. Krzysztof Żaba, prof. AGH

Kraków, 03 grudnia 2018 r.

## **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Bernadetty Niedziałek pt. „Dobór równań konstytutywnych elastomeru stosowanego na narzędzia do tłoczenia”,**

**opracowana na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa,  
pismo z dnia 3 października 2018**

Praca wpisuje się w aktualne trendy dotyczące doboru uniwersalnych rozwiązań materiałowych na narzędzia do tłoczenia, umożliwiających obniżenie kosztów produkcji i wzrost wydajności, jednocześnie zapewniających otrzymanie wyrobów spełniających restrykcyjne wymagania przemysłu lotniczego w zakresie kształtu, wymiarów i właściwości.

Materiały elastomerowe, ze względu na swoje zalety, znalazły zastosowanie w wielu sektorach gospodarki, m.in. w przemyśle maszynowym, elektrochemicznym, motoryzacyjnym, medycznym, budowlanym i lotniczym.

Specyfika przemysłu lotniczego, charakteryzująca się produkcją jednostkową lub małoseryjną bardzo szerokiego asortymentu produktów, wymusza stosowanie takich materiałów jak elastomery na narzędzia do plastycznego kształtowania metali, m. in. tłoczenia, gięcia, rozpęczania. Elastomery mogą być stosowane na stemple, matryce, dociskacze do wytwarzania wyrobów o zróżnicowanych grubościach i kształtach, co redukuje koszty oprzyrządowania oraz zwiększa ich funkcjonalność w stosunku do narzędzi metalowych. Poza tym stosowanie elastomerów na narzędzia wpływa na obniżenie masy oprzyrządowania, zmniejszenie intensywności hałasu, zmniejszenie czasu przygotowania

produkcji, przy jednoczesnej poprawie jakości powierzchni kształtowanego materiału, zapewnieniu równomiernego pocienienia ścianki oraz braku konieczności stosowania środków smarnych.

Aby w pełni wykorzystać zalety elastomerów na narzędzia do plastycznego kształtowania należy poznać ich właściwości oraz specyfikę zachowania w zależności od warunków w jakich będą pracowały, przede wszystkim od sposobu obciążenia. Na etapie projektowania procesu istotne jest również określenie rzeczywistych danych materiałowych, których implementacja do oprogramowania służącego do symulacji numerycznych pozwoli na zmniejszenie zużycia materiału, narzędzi oraz wyeliminowanie wad wyrobów.

Z doniesień badaczy wynika, że dotychczas materiały elastomerowe nie zostały scharakteryzowane w sposób kompleksowy i jednoznaczny o czym może świadczyć duża liczba fenomenologicznych, wielowariantowych lub strukturalnych modeli matematycznych, które opisują głównie właściwości elastyczne.

Z powyższych względów uważam, że problematyka i temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Bernadetty Niedziałek zostały trafnie sformułowane i zasługują na uznanie. Wybór tematyki jest jak najbardziej aktualny i wpisuje się w obecne trendy badawcze w obszarze inżynierii materiałowej, ze szczególnym uwzględnieniem doboru materiałów elastomerowych na narzędzia do kształtowania plastycznego, poprzez wiarygodne dane materiałowe do modelowania matematycznego wspomagającego proces projektowania.

### **Ocena rozprawy doktorskiej**

Recenzowana rozprawa, napisana pod opieką naukową dr hab. inż. Stanisława Kuta, prof. PRz, obejmuje 189 stron, zawiera 11 rozdziałów, podsumowanie i wnioski końcowe, 115 rysunków w postaci schematów, wykresów i fotografii, 21 tabel oraz 108 pozycji aktualnej literatury.

Analiza stanu zagadnienia podzielona jest na trzy rozdziały (2-4), zajmujące w sumie 34 strony. W rozdziale drugim Autorka skupia się na charakterystyce, podziale i zastosowaniu elastomerów w tłocznictwie. W rozdziale trzecim określa wpływ obciążeń cyklicznych i schematu obciążenia na zachowanie się elastomerów i ich odkształcenia trwałe. Natomiast w rozdziale czwartym Doktorantka omawia zagadnienia modelowania materiału elastomerowego w szczególności równania konstytutywne i wyznaczanie stałych w modelach materiałowych

Analiza literaturowa oparta w większości o publikacje anglojęzyczne, została wykonana na wysokim poziomie, obejmując najważniejsze zagadnienia dotyczące tematyki podjętej w pracy.

Na podstawie analizy stanu zagadnienia Autorka w rozdziale piątym dysertacji przyjmuje cel i przedstawia zakres pracy (str. 43-45), natomiast w rozdziale szóstym (str. 45-46) szczegółowy plan badań.

Przyjęty przez Autorkę cel rozprawy dotyczy *oceny skuteczności dziesięciu wybranych równań konstytutywnych dla ciał hipersprężystych w modelowaniu numerycznym pierwszego i osiemnastego cyklu obciążenia elastomeru do tłoczenia w zależności od schematu jego obciążenia, wielkości odkształcenia oraz metodyki wyznaczania stałych materiałowych w równaniach konstytutywnych tzn. na podstawie jednej lub trzech różnych prób materiałowych*. Celem praktycznym było *opracowanie wytycznych dotyczących jak najkorzystniejszego doboru równania konstytutywnego podczas modelowania numerycznego danego procesu tłoczenia blachy przy wykorzystaniu elastomerowych narzędzi lub sprężyn w budowie tłoczników w zależności od charakteru ich obciążenia w czasie (pojedynczy, cykliczny), schematu obciążenia i stopnia deformacji elastomeru oraz metodyki wyznaczania stałych materiałowych w równaniach konstytutywnych*.

Sformułowane cele są właściwe i jednoznacznie określają istotę rozprawy.

Przedstawiony przez Doktorantkę w dziewięciu punktach zakres prac badawczych (str. 43-44) jest imponujący, wymagający dogłębnej znajomości zagadnień obszaru planowania eksperymentów, badań materiałów elastomerowych oraz symulacji numerycznych. Został on zrealizowany poprzez badania eksperymentalne i modelowanie MES określone w oryginalnym, autorskim planie badawczym (str.46, rys. 6.1). Rozdziały 7-11, zawarte na 126 stronach, to praktyczna realizacja planu badawczego, zmierzająca do uzyskania założonego celu naukowego i praktycznego dysertacji. Każdy z rozdziałów zawiera metodykę badań, wyniki badań i ich analizę. Jest to podejście niekonwencjonalne, lecz ze względu na dużą liczbę zróżnicowanych badań, jak najbardziej właściwe, umożliwiające lepsze zrozumienie badanych zagadnień i ich dużą przejrzystość.

Ogólne założenia badawcze, zrealizowane przez Doktorantkę, dotyczące modelowania zachowania się elastomeru obciążanego w pojedynczych cyklach (tj. jednorazowo lub w dużych odstępach czasowych) oraz obciążanego cyklicznie, polegały na wyznaczeniu charakterystyk materiałowych uzyskanych dla pierwszego i osiemnastego cyklu obciążenia próbek, wskazanego przez literaturę jako najbardziej reprezentatywny i ustabilizowany, w przypadku cyklicznej pracy elastomeru.

W celu uwzględnienia w badaniach wpływu wielkości odkształcenia przy wyznaczeniu stałych materiałowych na wyniki modelowania, Doktorantka zrealizowała poszczególne próby dla trzech wartości amplitudy wydłużenia wywołującego w części pomiarowej próbki odkształcenie zastępcze o wartościach 0,3; 0,6 oraz 0,9. W konsekwencji każda z cyklicznych prób wykonana została w trzech zakresach odkształceń zastępczych i powtórzona trzykrotnie w celu weryfikacji powtarzalności wyników.

Metodyka badawcza została opracowana bardzo skrupulatnie, w sposób jasny, przejrzysty i obejmujący kompleksowo zagadnienia niezbędne do prawidłowego wykonania eksperymentów. Badania zostały zrealizowane na wysokim poziomie z dbałością o szczegóły, z zachowaniem zasad prawidłowej realizacji eksperymentu naukowego, udokumentowane dużą ilością wykresów i tablic.

W rozdziale 7 (str. 47-73) Autorka wyznaczyła charakterystyki ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) elastomeru pod działaniem różnych schematów obciążenia dla pierwszego i osiemnastego cyklu obciążenia. W tym celu wykonane zostały trzy rodzaje badań materiałowych zalecanych w literaturze, tj. próba jednoosiowego rozciągania, próba dwuosiowego rozciągania oraz próba rozciągania w płaskim stanie odkształcenia, których zestawienie zostało przedstawione na wykresach (str. 72-73, rys. 7.26-7.27). Wyznaczenie charakterystyk w oparciu o te próby uważam za słuszne, bowiem wyniki dla pierwszego i osiemnastego cyklu dla tego samego schematu obciążenia wyraźnie się różnią a także wskazują na konieczność uwzględniania odkształceń trwałych jako tzw. efektu Mullinsa, przy wyznaczaniu stałych materiałowych w równaniach konstytutywnych.

W rozdziale 8 (str. 75-86) Autorka wyznaczyła stałe dla wybranych modeli materiałowych (str. 80-83, tab. 8.1-8.6 dla jednej próby materiałowej i str. 84-86, tab. 8.7-8.12 dla trzech prób materiałowych). Znajomość charakterystyk ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) wyznaczonych w poprzednim rozdziale w wyniku różnych prób materiałowych stanowiła podstawę do wyznaczenia wartości współczynników (tzw. stałych materiałowych) w poszczególnych równaniach konstytutywnych dla materiałów elastomerowych. W celu ich określenia Doktorantka wykorzystała tzw. metodę dopasowania krzywej, polegającą na dopasowaniu krzywej regresji do punktów uzyskanych z pomiarów, korzystając ze specjalistycznego programu zaimplementowanego w komercyjnym systemie do analizy zagadnień nieliniowych i kontaktowych MSC Marc/Mentat. Wśród dużej ilości dostępnych w literaturze modeli konstytutywnych Doktorantka wybrała modele fenomenologiczne (Neo-Hookean, Mooney (2), Mooney (3), Signiorini, Yeoh, James Green Simpson), wielowariantowy model Ogden z liczbą składników w funkcji  $N=1,2,3$  oraz modele mikro-mechaniczne (Arruda-Boyce, Gent). Dodatkowo Doktorantka do analizy wybrała model Marlow'a dla którego jednak nie wyznacza się bezpośrednio wartości stałych materiałowych, natomiast zastosowanie tego modelu w systemie Marc/Mentat wymaga bezpośredniego wprowadzenia charakterystyki ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) z jednej próby materiałowej. Wybór dokonany przez Autorkę uważam za merytorycznie uzasadniony, gdyż uwzględnia on najbardziej reprezentatywne i wykorzystywane w badaniach modele.

W rozdziale 9 (str. 87-92) Autorka wykonała eksperymentalne próby cyklicznego obciążania i odciążania elastomerowych próbek. W trakcie badań wykonano próby spęczania elastomerowego walca i trzypunktowego zginania elastomerowej belki. Na podstawie uzyskanych wyników badań dla poszczególnych przypadków Autorka sporządziła przebiegi zależności siły spęczania w funkcji stopnia odkształcenia (str. 89, rys. 9.4) i siły gięcia w funkcji przemieszczenia stempla (str. 91, rys. 9.6) dla pierwszego oraz osiemnastego cyklu obciążenia próbki. Wykonane z dużą starannością badania uważam za reprezentatywne, gdyż otrzymane w ten sposób zależności dla poszczególnych zakresów odkształcenia w pierwszym i osiemnastym cyklu obciążenia posłużyły w dalszej części dysertacji do weryfikacji wyników modelowania numerycznego poprzez porównanie tzw. ścieżek równowagi.

W rozdziałach 10-11 Doktorantka wykonała badania numeryczne w ujęciu nieliniowej metody elementów skończonych mające na celu ocenę skuteczności dziesięciu badanych modeli materiałów elastomerowych, przy czym model Ogdena był badany w trzech wariantach, co dało sumarycznie dwanaście badanych modeli, w których stałe materiałowe zostały wyznaczone dla pierwszego i osiemnastego cyklu obciążenia na podstawie jednej oraz trzech prób materiałowych. Ocena skuteczności została przeprowadzona na podstawie wyników modelowania przypadków o zróżnicowanym schemacie obciążenia tj. spęczania oraz gięcia. Ponadto w badaniach uwzględniono wpływ wielkości zadawanego odkształcenia przy wyznaczaniu stałych materiałowych na wyniki modelowania. W sumie Autorka wykonała po sześćdziesiąt dziewięć symulacji procesu spęczania i gięcia dla pierwszego (rozdział 10, str. 93-140) i osiemnastego (rozdział 11, str. 172) cyklu obciążenia, co schematycznie przedstawiła na rys. 10.3. Imponująca liczba symulacji, których wyniki przedstawiono na str. 100-103, rys. 10.4-10.12, wymagała od Autorki ugruntowanej wiedzy i doświadczenia oraz niewątpliwie przyczyniła się do kompleksowej analizy każdego z przyjętych do badań modeli z uwzględnieniem zróżnicowanego schematu obciążenia oraz odkształceń zastępczych. Następnie Doktorantka dokonała porównania tzw. ścieżek równowagi, obliczonych z symulacji numerycznych oraz tych otrzymanych w rzeczywistych próbach materiałowych w celu graficznej prezentacji wyników modelowania numerycznego MES oraz badań empirycznych (str. 113-120, rys. 10.13-10.24 oraz str. 147-154, rys. 11.3-11.14 ), przy czym dla przypadku obciążenia w osiemnastym cyklu Doktorantka uwzględniła odkształcenie trwałe elastomeru, którego skutkiem jest przesunięcie początku charakterystyki siła przemieszczenie lub siła odkształcenie względem wartości na osi odciętych.

Ocenę skuteczności modelowania pierwszego i osiemnastego cyklu obciążenia badanego elastomeru, Doktorantka wykonała w oparciu o autorski wskaźnik  $\psi$  (str. 122, zależność 10.1) umożliwiający za pomocą jednej wartości liczbowej określenie zbieżności przebiegu siły obliczonej MES z przebiegiem siły wyznaczonej w eksperymencie. Wartości liczbowe wskaźnika  $\psi$  dla poszczególnych wariantów obliczano na podstawie pracy wykonanej przez siłę obliczoną oraz siłę rzeczywistą i przedstawiono dla pierwszego cyklu obciążenia w rozdziale 10.4, str. 124-125, tab. 10.2 i str. 136, tab. 10.3 a także na wykresach na str. 127-130, rys. 10.26, a, b-10.27 i na str. 137-139, rys. 10.28, a, b oraz dla osiemnastego cyklu obciążenia w rozdziale 11.4, str. 157-159, tab. 11.1 i str. 169, tab. 11.2 a także na wykresach na str. 160-163, rys. 11.15, a, b-11.16 i na str. 170-172, rys. 11.17, a, b. Autorski wskaźnik pozwolił w sposób jednoznaczny dokonać oceny analizowanych modeli materiałowych, uwzględniając rodzaj równania konstytutywnego, ilość prób materiałowych przy wyznaczaniu stałych w równaniach oraz wielkość odkształceń zastępczych przy wyznaczaniu tych stałych.

Rozdział 12 (str. 173-179) to podsumowanie tej, napisanej na wysokim poziomie, dysertacji, a obszerne wnioski podzielone na dwa warianty stanowią wytyczne doboru modeli konstytutywnych w zależności od ilości prób, schematu i charakteru obciążenia narzędzi, przy projektowaniu procesów kształtowania plastycznego za pomocą narzędzi elastomerowych, co ma niewątpliwie bardzo duże znaczenie użytkowe.

Przedstawiona do oceny dysertacja stanowi oryginalne osiągnięcie Doktorantki. Pracę można ją określić jako kompendium wiedzy, które może być wykorzystana przy dalszych pracach naukowo-badawczych oraz przede wszystkim w obszarze badań aplikacyjnych. Na rezultaty tej pracy z pewnością oczekują osoby projektujące i symulujące procesy kształtowania plastycznego z użyciem materiałów elastomerowych.

Lektura pracy była dużym wyzwaniem dla recenzenta. Nie oznacza to jednak, że wyniki zostały zaprezentowane w sposób chaotyczny czy też nielogiczny. Ta trudność wynikała z uwagi na gigantyczną ilość zrealizowanych badań materiałowych, symulacji numerycznych oraz badań eksperymentalnych, co niewątpliwie świadczy o dużej wiedzy Doktorantki w wielu obszarach podjętych w ramach dysertacji, jaki i umiejętności planowania eksperymentów oraz analizy i wnioskowania.

Praca została zredagowana poprawną polszczyzną zarówno w obszarze ogólnym, jak i technicznym.

### **Uwagi krytyczne**

Lektura rozprawy nasuwa pewne uwagi i wątpliwości, które mają charakter dyskusyjny.

1. W pracy brak jest kompleksowej krytycznej analizy literaturowej na końcu każdego z rozdziałów 2-4 lub w formie dodatkowego rozdziału, na podstawie której powinno formułować się tezę i podejmować się decyzję o celu i zakresie badań. Fragmentarycznie Autorka przedstawiła taką krytykę w rozdziale 2.1, str. 10 w akapicie rozpoczynającym się od słów: „W literaturze praktycznie brak jest...”, w rozdziale 4, str. 33 w akapicie rozpoczynającym się od słów: „W komercyjnym oprogramowaniu...” oraz w dalszym ciągu rozdziału 4, str. 39 w akapicie rozpoczynającym się od słów: „Każdy z przedstawionych modeli...”.
2. W pracy nie sformułowano tezy, z której powinien wynikać cel badań.
3. W pracy nie zostały dokładnie scharakteryzowane, przedstawione w rozdziale 4.1, stałe, określone przez Autorkę jako materiałowe, występujące w równaniach konstytutywnych 4.7 i 4.10, str.35 oraz 4.11-4.19, str. 36-37, oznaczone jako  $C_{01}$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{20}$ ,  $C_{30}$ , oraz  $C_1$  i  $C_2$  (czy  $C_{01}$  to  $C_1$ ). Brak jest również informacji w jaki sposób zostały obliczone te stałe, których wartości zamieszczone są w tabelach 8.1, str. 80-81, 8.4, str. 82, 8.7, str. 84, 8.10, str.85, mimo, że Doktorantka zamieszcza na str. 79 informację, że „W dalszej części tego rozdziału zostaną zamieszczone stałe materiałowe dla poszczególnych modeli obliczone dla różnych wariantów umożliwiających realizację celu badań przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy”. Skoro zatem stałe mają fundamentalne znaczenie to sposób i przykłady ich obliczenia powinny być przedstawione w rozdziale 8.
4. Spis literatury został zredagowany alfabetycznie, co spowodowało, że liczbowe odnośniki były umieszczone w tekście w sposób chaotyczny, mając początek od nr 103 (str. 9).

5. Jaki jest powód braku dokładnych informacji dotyczących badanego materiału. W pracy podano tylko, że „Przedmiotem badań był elastomer poliuretanowy dostarczony w postaci odlanych płyt przez jedną z polskich firm, zajmujących się produkcją i obróbką elastomerów”.
6. Autorka nie zamieściła fotografii zestawień próbek elastomerowych przed, w trakcie i po odkształceniu w próbie jednoosiowego i dwuosiowego rozciągania oraz w płaskim stanie odkształcenia, tak jak to zrobiła w przypadku badań spęcznienia (str. 88, rys. 9.2) i badań zginania (str. 91, rys. 9.5).
7. Wielokrotnie pojawiają się w pracy powtórzenia, np. metodyka próby jednoosiowego rozciągania-rozdział 7.1, str. 48 akapit rozpoczynający się od „Próby...” i metodyka rozciągania w płaskim stanie odkształcenia-rozdział 7.3, str. 65 akapit rozpoczynający się od „Próby...”, a także analiza wyników-rozdział 7.2, str. 63, akapit rozpoczynający się od „Wyznaczone...” oraz rozdział 7.3, str. 69, akapit rozpoczynający się od „Wyznaczone...”.
8. Brak wyników modelowania osiemnastego cyklu procesu spęcznienia i zginania (rozdziały 11.1 i 11.2). Takie wyniki dla wyników modelowania pierwszego cyklu, zamieszczono w rozdziałach 10.1 i 10.2.

Pomimo starannego zredagowania rozprawy wystąpiły w niej błędy edycyjne i niedopatrzenia

- str. 12 – stylistyka – „drzewo to uprawia się obecnie na około 10 miliona hektarów...” zamiast „...milionów...”,
- str. 12 – interpunkcja – niepotrzebny przecinek przed „i starzenie...”,
- str. 13 zamiast „...zaletą syntetycznego elastomeru...” powinno być „...zaletą syntetycznego kauczuku...”,
- str. 14 – interpunkcja – brak dwóch przecinków w zdaniu „Elementy poliuretanowe, wzmocnione włóknem szklanym, są równie wytrzymałe jak metalowe...”,
- str. 21 – w jednym zdaniu dwa razy powtarza się wyraz ciśnienie – „Zawór regulujący ciśnienie kontroluje ciśnienie...”,
- str.26 – zamiast „...nazywana...” powinno być „...nazywane...”,
- str. 26 – stylistyka – „...literatura wskazuje dokonać...”,
- str. 37 – brak wyśrodkowania zależności 4.19, tak jak ma to miejsce w przypadku zależności zamieszczonych na str. 36,
- str. 37 – brak przecinków po wyjaśnieniach symboli zależności 4.21 i 4.22,
- str. 40 – brak opisu schematów a, b, c, d pod rys. 4.2, - w tekście opis został zamieszczony,
- str. 46 – nie jestem pewien czy zamierzone było użycie innej czcionki na schemacie (rys. 6.1) niż w tekście dysertacji,
- str. 47 – trochę kolokwialne wydaje się być stwierdzenie zamieszczone na końcu zdania „...prezentowane w rozdziale drugim jest najczęściej wykorzystywany na narzędzia elastyczne oraz sprężyny w budowie tłoczników i nie tylko”,
- str. 49 – brak informacji z jakiego źródła literaturowego zaczerpnięto schemat próbki przedstawiony na rys. 7.2,

- str. 56 – zamiast „...przygotowania próbek przez rozpoczęciem...” powinno być „...przygotowania próbek przed rozpoczęciem...”,
- str. 72 – zamiast „...sam przebiegi funkcji...” powinno być „...sam przebieg funkcji...”,
- str. 76 – niefortunne sformułowanie „...zbyt bardzo sztywny...”,
- str. 76 – zamiast „...płaskiego stanu odkształcenia...” powinno być „...płaskiego stanu odkształcenia...”,
- str.89 – na wykresie (rys. 9.4) nie są widoczne wartości odkształceń trwałych przedstawione na str. 90 w formie (i), (ii), (iii),
- str. 100-103 – nieczytelne są objaśnienia na rys. 10.4-10.7.

Słabo wygląda strona edycyjna pracy w obszarze:

- przedstawienia schematów procesów, urządzeń, uchwytów. Niektóre schematy są rozciągnięte (str. 57, rys. 7.10, str. 59, rys. 7.13) a czcionka zróżnicowana,
- redakcji wyników badań w postaci wykresów oraz fotografii. Wykresy dotyczącego tego samego zagadnienia mają zróżnicowaną wysokość, szerokość oraz wielkość i rodzaj czcionki, większość wykresów ma pomocniczą siatkę, której wymiary są zróżnicowane a jej linie zbyt grube, co jest irytujące i może utrudniać interpretacje wyników (np. str. 51, rys. 7.6, str. 54, rys. 7.8). Szkoda, że Doktorantka nie wykonała wszystkich wykresów bez pomocniczych linii siatki, tak jak np. na str. 28, rys. 3.3,
- jakości fotografii próbek i urządzeń (str. 40, rys. 4.3, str. 58, rys. 7.12).

Powyższe uwagi merytoryczne i edycyjne nie umniejszają dużej wartości dysertacji. Uważam rozprawę doktorską za bardzo wartościową i oryginalną.

### **Ocena końcowa**

Ocena przedstawionej do zaopiniowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Bernadetty Niedziałek upoważnia mnie do stwierdzenia, że Autorka dokonała wnikliwej analizy stanu zagadnienia i na tej podstawie trafnie sformułowała cel rozprawy, zarówno naukowy, jak i praktyczny. Poprzez bardzo szerokie badania materiałowe i symulacje numeryczne oraz wnikliwą analizę cele zostały przez Doktorantkę osiągnięte.

Podsumowując moją recenzję stwierdzam, że mgr inż. Bernadetta Niedziałek wykazała się bardzo dobrą znajomością przedmiotu badań i poprawnie oraz bardzo starannie zredagowała obszerną pracę badawczą. Wykazała się przy tym bardzo dobrym przygotowaniem merytorycznym, umiejętnością wykorzystania metod, technik i narzędzi do zbierania i analizy danych oraz zdolnością do samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych.

Recenzowana rozprawa doktorska może być przypisana do dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa.



## Wniosek

Przedłożona do zaopiniowania rozprawa doktorska mgr inż. Bernadetty Niedziałek pt. „Dobór równań konstytutywnych elastomeru stosowanego na narzędzia do tłoczenia” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule z Zakresu Sztuki z dnia 14.03.2003r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami.

W związku z powyższym wnoszę do Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie mgr inż. Bernadetty Niedziałek do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

dr hab. inż. Krzysztof Żaba, prof. AGH

