

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Inżynieria Obliczeniowa

Programy symulacyjne - przeróbka plastyczna i obróbka cieplna

Raport z wyników symulacji

Ocena bezpieczeństwa płytki drukowanej podczas upadku – porównanie skuteczności opakowań ochronnych

Data wykonania: 05.12.2024

Wykonawca: Natalia Borysowska -
Ślęczka

Numer Indeksu: 411634

Grupa: gr. 1

1. Wstęp

Płytki drukowane (PCB) to kluczowe komponenty w nowoczesnej elektronice, charakteryzujące się dużą wrażliwością na uszkodzenia mechaniczne oraz skomplikowaną strukturą. Ze względu na ich delikatność, zarówno transport, jak i użytkowanie takich elementów wymaga szczególnej ostrożności. W ramach niniejszej analizy zbadano zachowanie płytki drukowanej umieszczonej w opakowaniu ochronnym – wykonanym z pianki lub elastomeru – podczas upadku z wysokości 1 metra na sztywną powierzchnię. Celem było określenie, czy zastosowane materiały opakowaniowe zapewniają wystarczającą ochronę przed potencjalnym uszkodzeniem. Przyjęcie wysokości 1 metra wynika z jej powszechności w sytuacjach takich jak przenoszenie przedmiotów w magazynach, podczas transportu czy w typowym środowisku użytkowym. Dzięki temu symulacja oddaje realistyczne warunki, w których płytki mogą być narażone na ryzyko uszkodzenia.

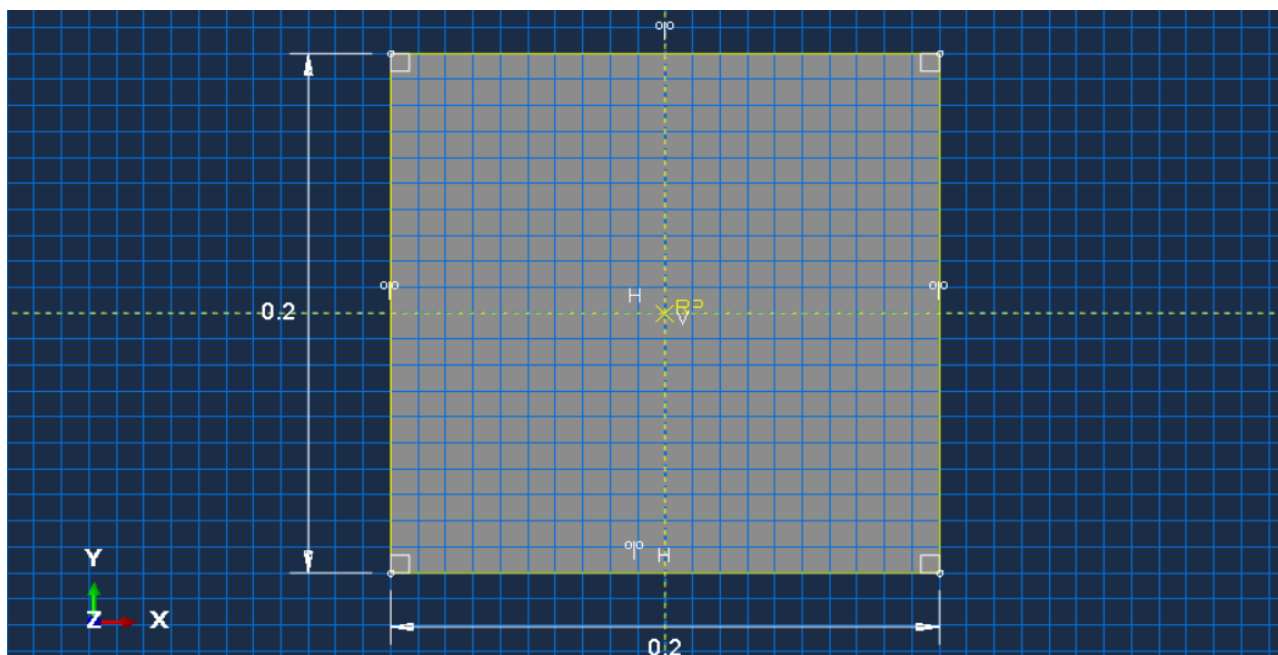
2. Tworzenie modelu

Model składa się z trzech części: podłogi, opakowania oraz płytki drukowanej, a wymiary każdego elementu zostały podane w metrach.

W celu dokładnego pozycjonowania części zostały utworzone punkty pomocnicze (*Datum Points*), które pomogły w precyzyjnym umieszczeniu płytki drukowanej w opakowaniu oraz położeniu chipów na powierzchni płytki PCB.

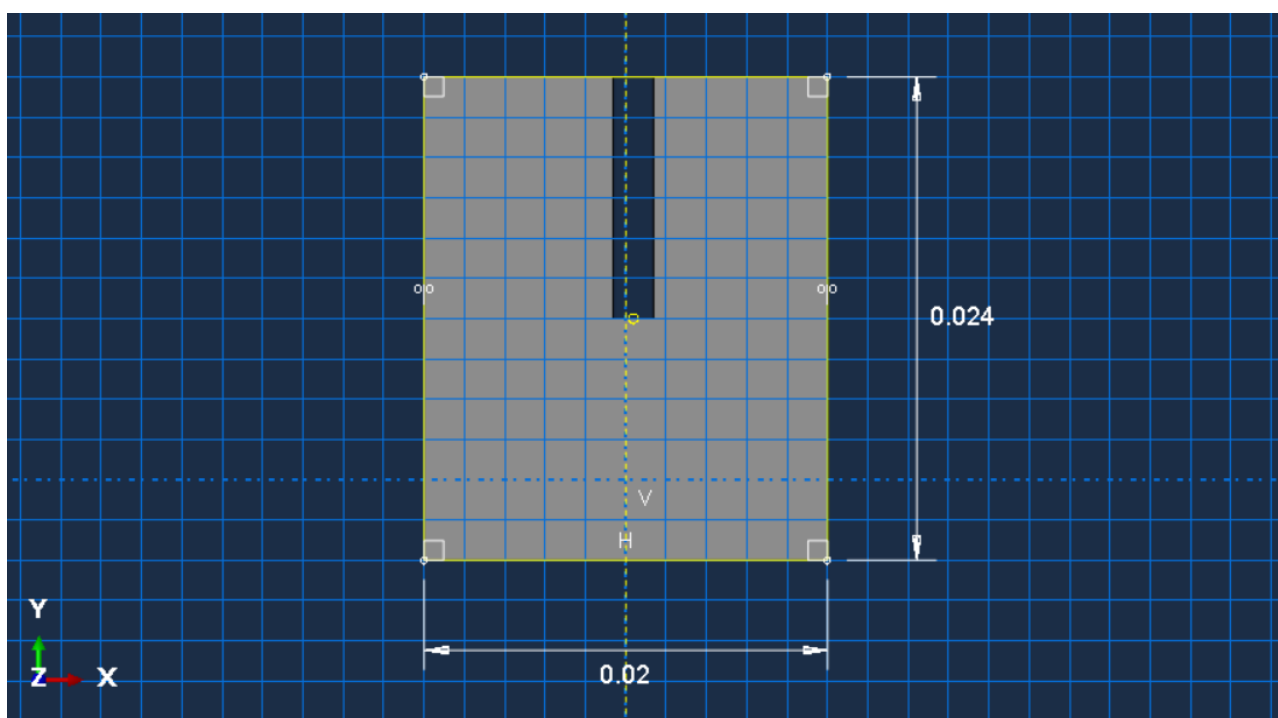
Dodatkowo, aby określić kąt pod jakim upada płytka konieczne było utworzenie nowej płaszczyzny oraz osi pomocniczej (*Datum Axis*).

2.1. Model podłogi: 3D → Discrete Rigid → Shell → Planar



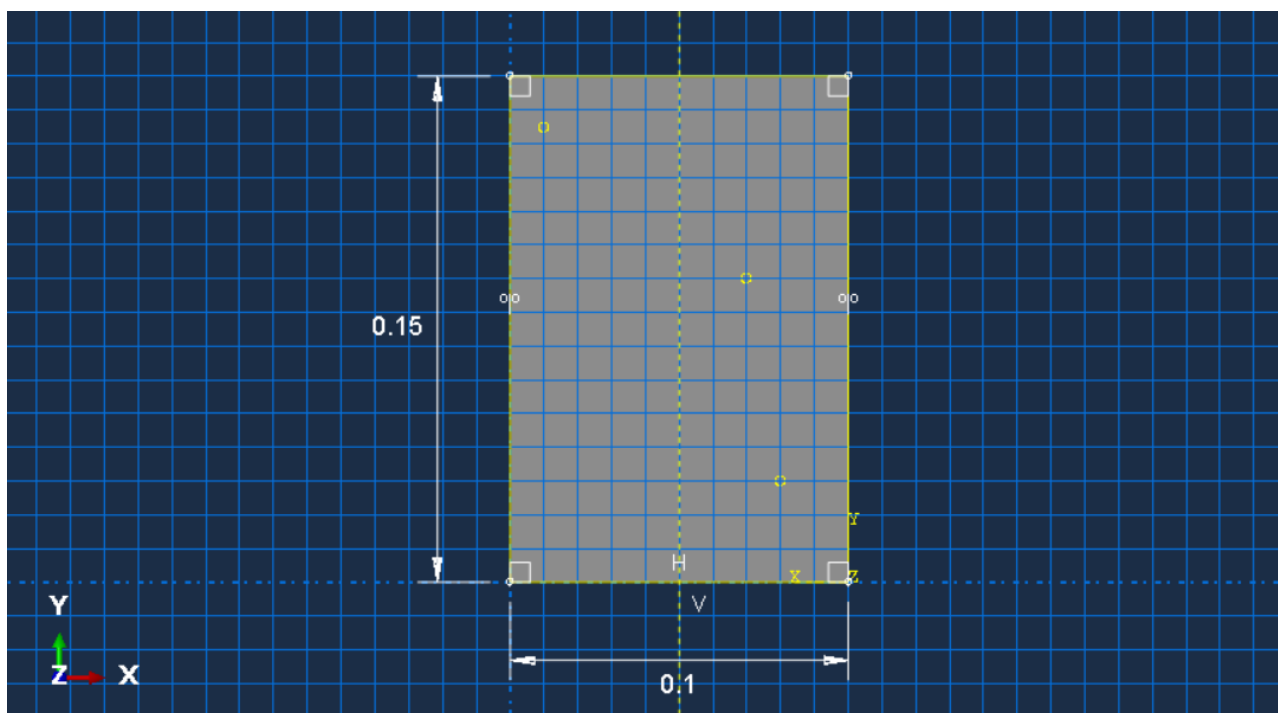
Rys. 1. Tworzenie modelu podłogi

2.2. Model opakowania: 3D → Deformable → Solid → Extrusion



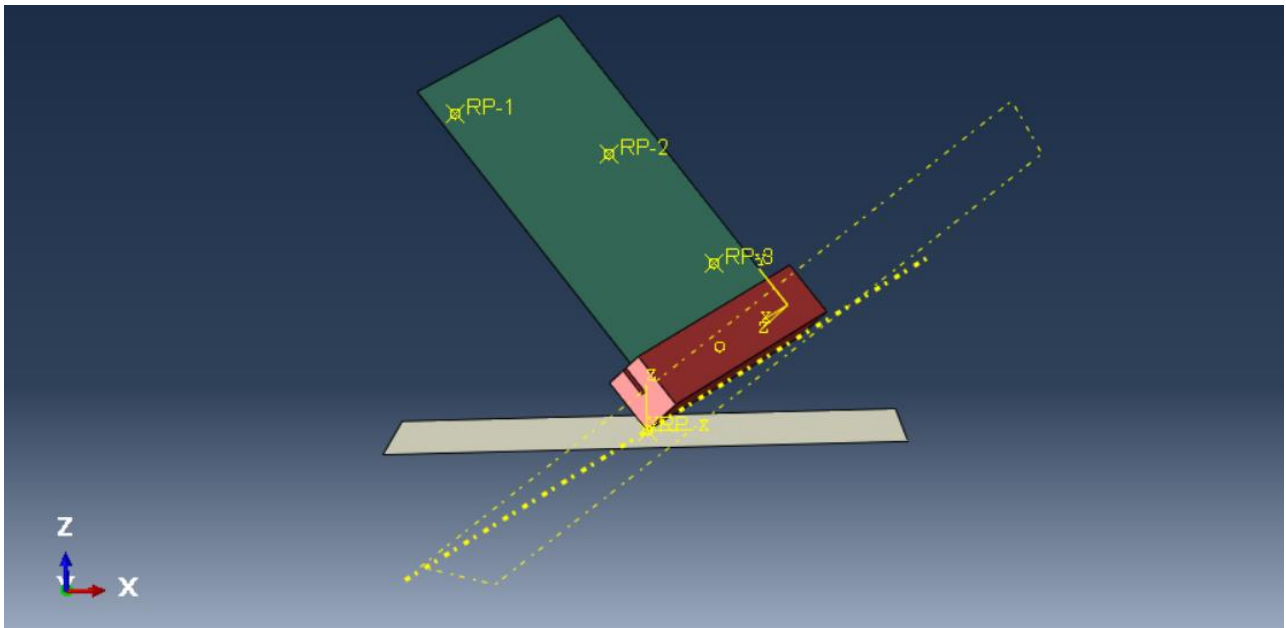
Rys. 2. Tworzenie modelu opakowania

2.3. Model płytki drukowanej: 3D → Deformable → Shell → Planar



Rys. 3. Tworzenie modelu płytki drukowanej

Z wykonanych części wykonano złożenie.



Rys. 4. Złożenie modelu płytki drukowanej

Po utworzeniu złożenia modelu w *Datum Pointsach* zostały zdefiniowane punkty referencyjne (*Reference Points*), które później posłużyły, jako odniesienia do stworzenia *Setów*, kolejno dla górnego chipu, środkowego chipu oraz dolnego chipu. W tych miejscach zostały zadane i powiązane punkty masowe reprezentujące chipy o masie 0.005 kg.

3. Dane materiałowe

W projekcie wykorzystano płytkę drukowaną wykonaną z kompozytu oraz opakowanie ochronne wykonane z pianki oraz z elastomeru o twardości 50 w skali Shore A.

3.1. Parametry materiałowe dla kompozytu:

$$\text{Moduł Younga} = 4.5 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

$$\text{Gęstość} = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Współczynnik Poissona} = 0.3$$

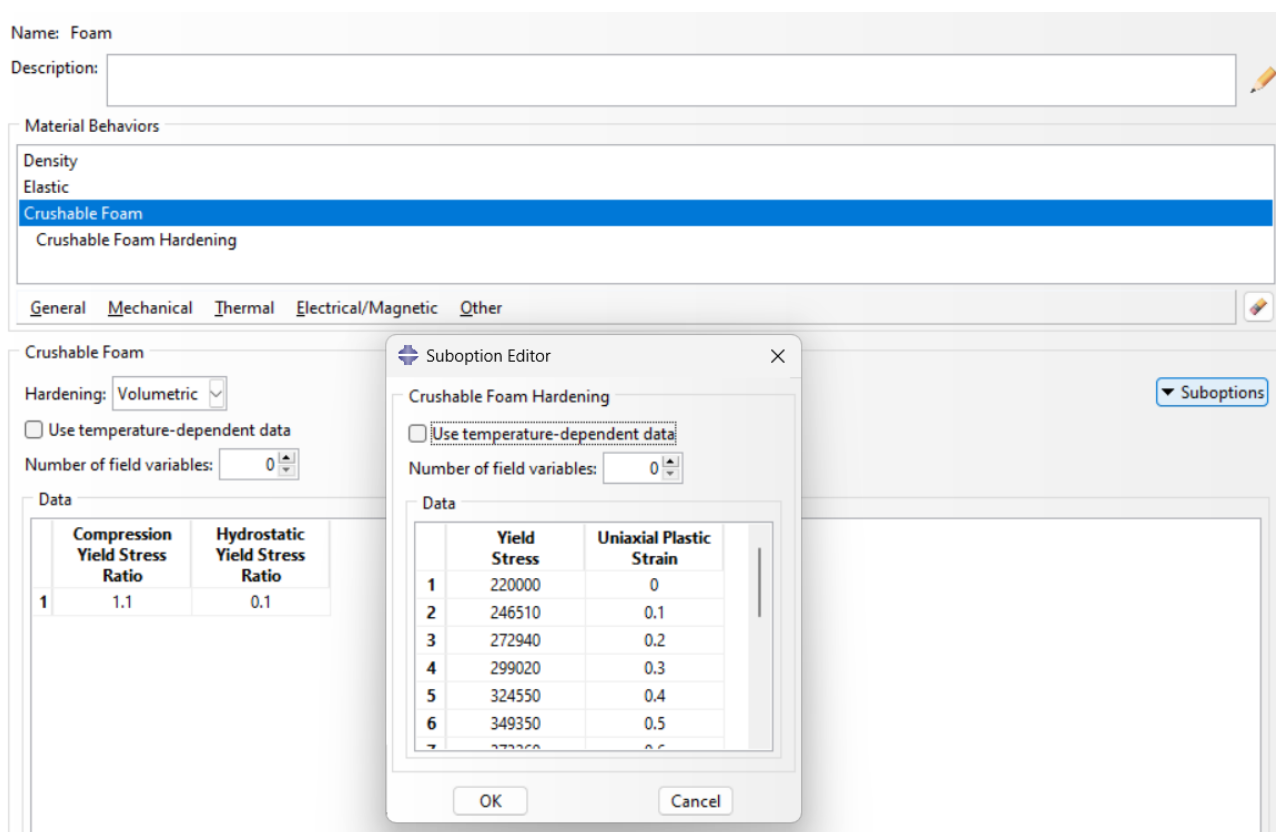
3.2. Parametry materiałowe dla pianki:

$$\text{Moduł Younga} = 3.0 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{Gęstość} = 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Współczynnik Poissona} = 0.0$$

Wybrano model pianki podatnej na kruszenie (*Crushable Foam*) z utwardzeniem objętościowym, co opisuje zachowanie pianki pod wpływem obciążeń kompresyjnych. Ustalono stosunek naprężeń granicznych przy ściskaniu do rozciągania na wartość 1.1 oraz stosunek naprężeń granicznych hydrostatycznych na 0.1. Oprócz tego wprowadzono dane tabelaryczne pokazujące zależność naprężenia granicznego od jednoosiowych odkształceń plastycznych w zakresie od 0 do 10.

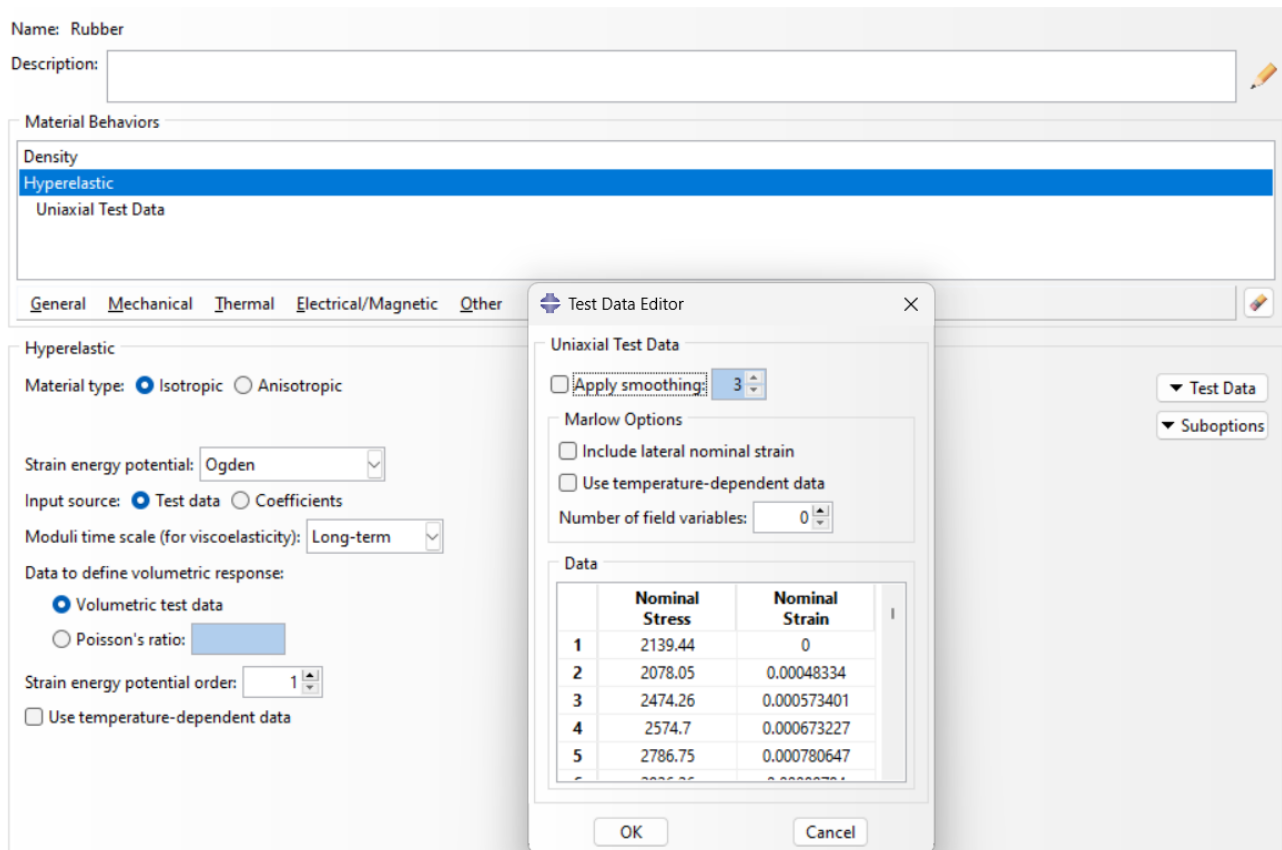


Rys. 5. *Crushable Foam* dla pianki

3.3. Parametry materiałowe dla elastomeru:

$$\text{Gęstość} = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Zastosowano model hipersprężysty (*Hyperelastic*) z potencjałem energii odkształcenia *Ogdena*. Do wyznaczenia współczynników równania modelu konstytutywnego użyto danych eksperymentalnych dla jednoosiowego testu naprężeniowego. W tym celu wprowadzono wartości nominalnych naprężeń i odpowiadających im odkształceń.



Rys. 6. *Hyperelastic* dla elastomeru

4. Tworzenie siatki

Tworząc siatkę dla płytki oraz opakowania użyto techniki kontroli odkształceń (*Hourglass Control*) w celu poprawy stabilności i dokładności symulacji oraz ograniczenia niepożądanych deformacji (przypominających przesuwanie się węzłów bez rzeczywistego odkształcenia elementu).

4.1. Siatka dla podłogi:

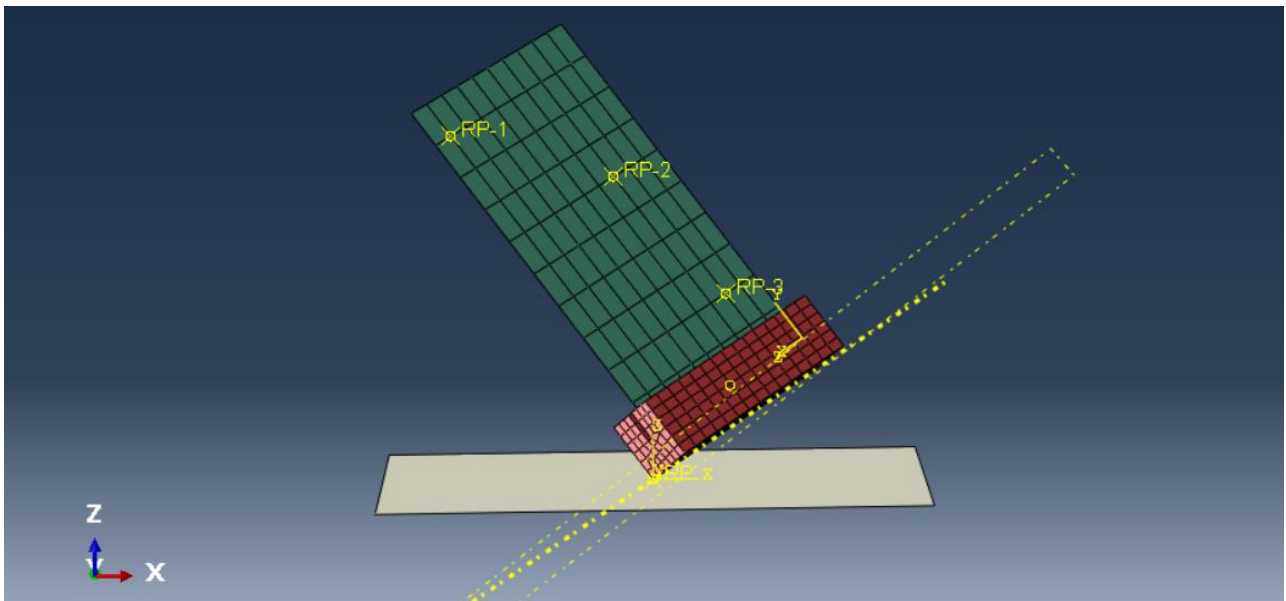
- Typ: R3D4
- Ilość elementów: 1

4.2. Siatka dla opakowania:

- Typ: C3D8R
- Ilość elementów: 630

4.3. Siatka dla płytki:

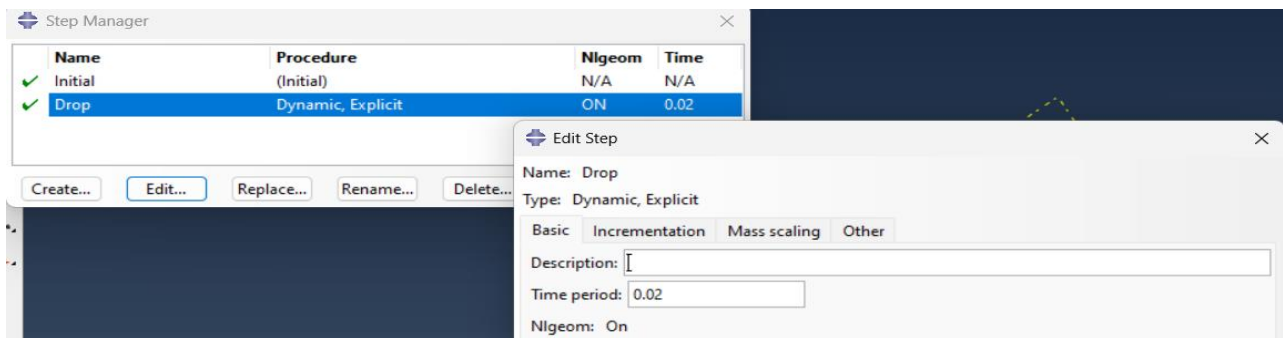
- Typ: S4R
- Ilość elementów: 100



Rys. 7. Przedstawienie siatki dla całego złozenia

5. Tworzenie kroku czasowego symulacji

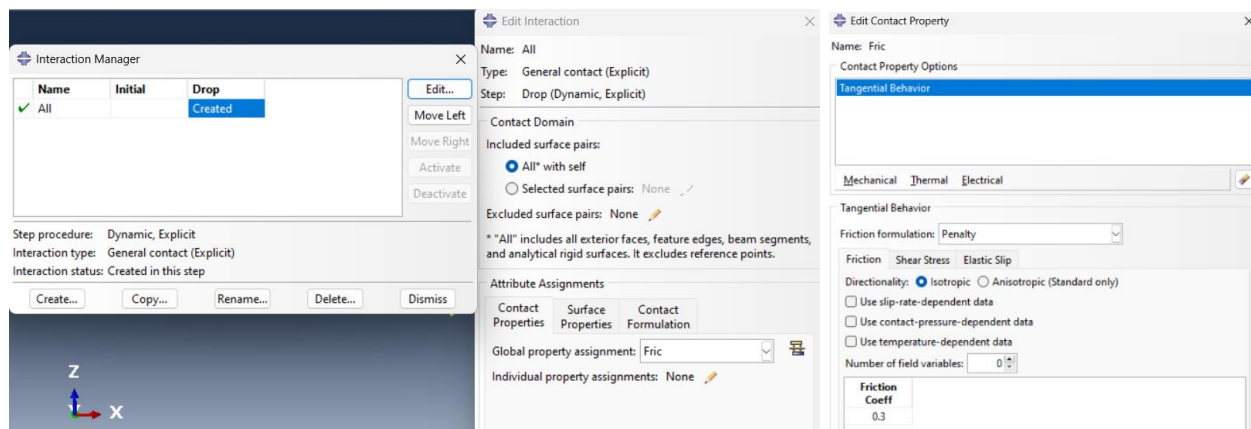
Utworzono krok czasowy symulacji typu *Dynamic, Explicit* odpowiadający za swobodny upadek płytki drukowanej z wysokości 1 metra. Czas trwania tego kroku ustawiono na 0.02 sekundy.



Rys. 8. Ustawienie kroku czasowego

6. Interakcje

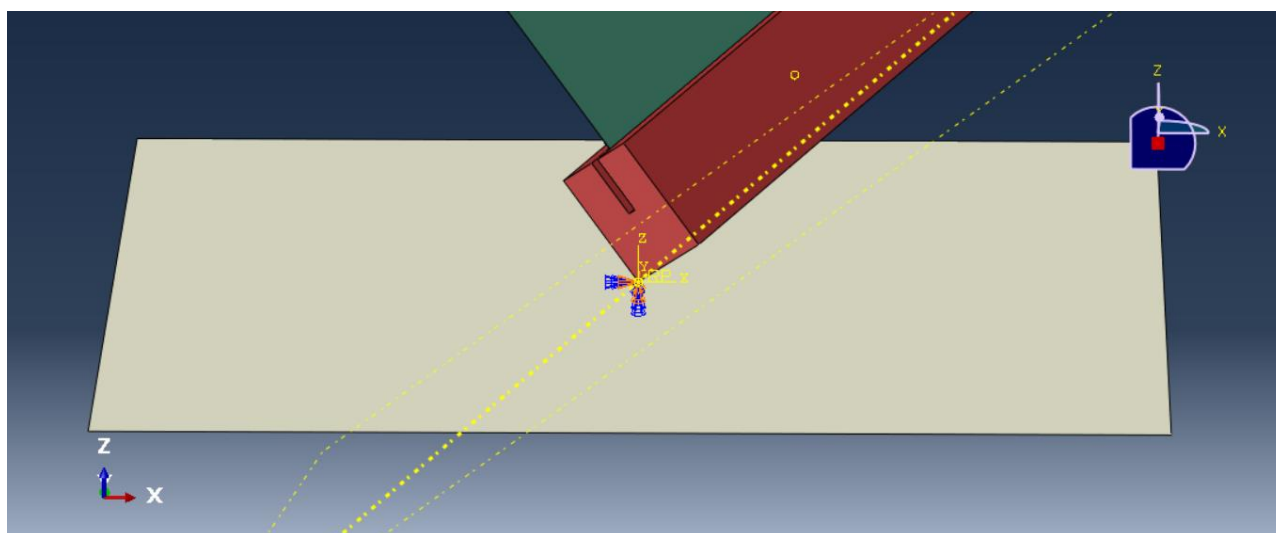
Zastosowano algorytm kontaktu ogólnego z globalnym współczynnikiem tarcia 0.3.



Rys. 8. Ustawienie interakcji

7. Warunki brzegowe

Dla podłogi użyto warunku brzegowego *ENCASTRE*, który blokuje wszystkie stopnie swobody punktu referencyjnego podłoża, sprawiając że część jest nieruchoma we wszystkich kierunkach. Warunek brzegowy został przypisany do punktu referencyjnego, gdyż podłoga została zadeklarowana, jako typ *Discrete Rigid*.



Rys. 9. Ustawienie warunku brzegowego *ENCASTRE*

Symulacja przedstawia upadek płytki drukowanej z wysokości 1 m. Można zamodelować płytkę i opakowanie z pianki na wysokości 1 m nad podłogą i pozwolić programowi obliczyć ruch

pod wpływem grawitacji, jednak ta metoda jest niepraktyczna z powodu dużej liczby kroków czasowych wymaganych do ukończenia części symulacji dotyczącej upadku (swobodnego). Bardziej efektywnym sposobem jest zamodelowanie płytki drukowanej i opakowania w pozycji początkowej bardzo blisko powierzchni podłogi i przypisanie prędkości początkowej.

Założono pominięcie oporu powietrza, zatem przypisana prędkość początkowa została obliczona ze wzoru:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

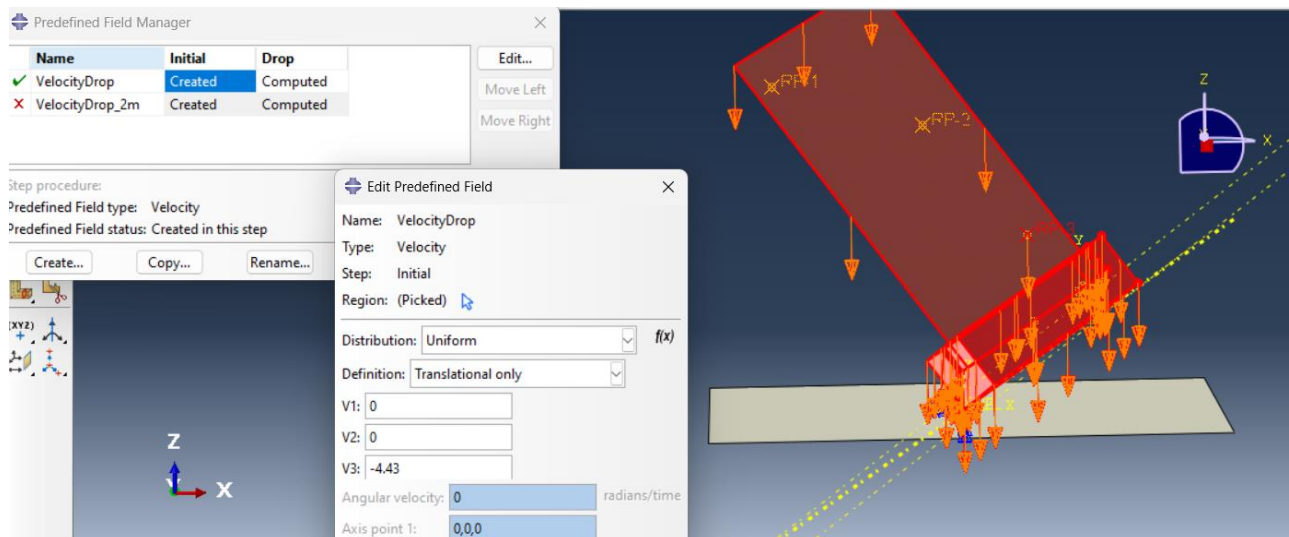
gdzie:

h – to wysokość, z której upuszczamy przedmiot

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 1m} \approx 4.43 \frac{m}{s}$$

Obliczoną prędkość przypisano do składowej z-owej (V3), aby oddać upadek modelu w tym kierunku. Wartość jest ujemna, gdyż ruch będzie się odbywać przeciwnie do kierunku osi OZ.



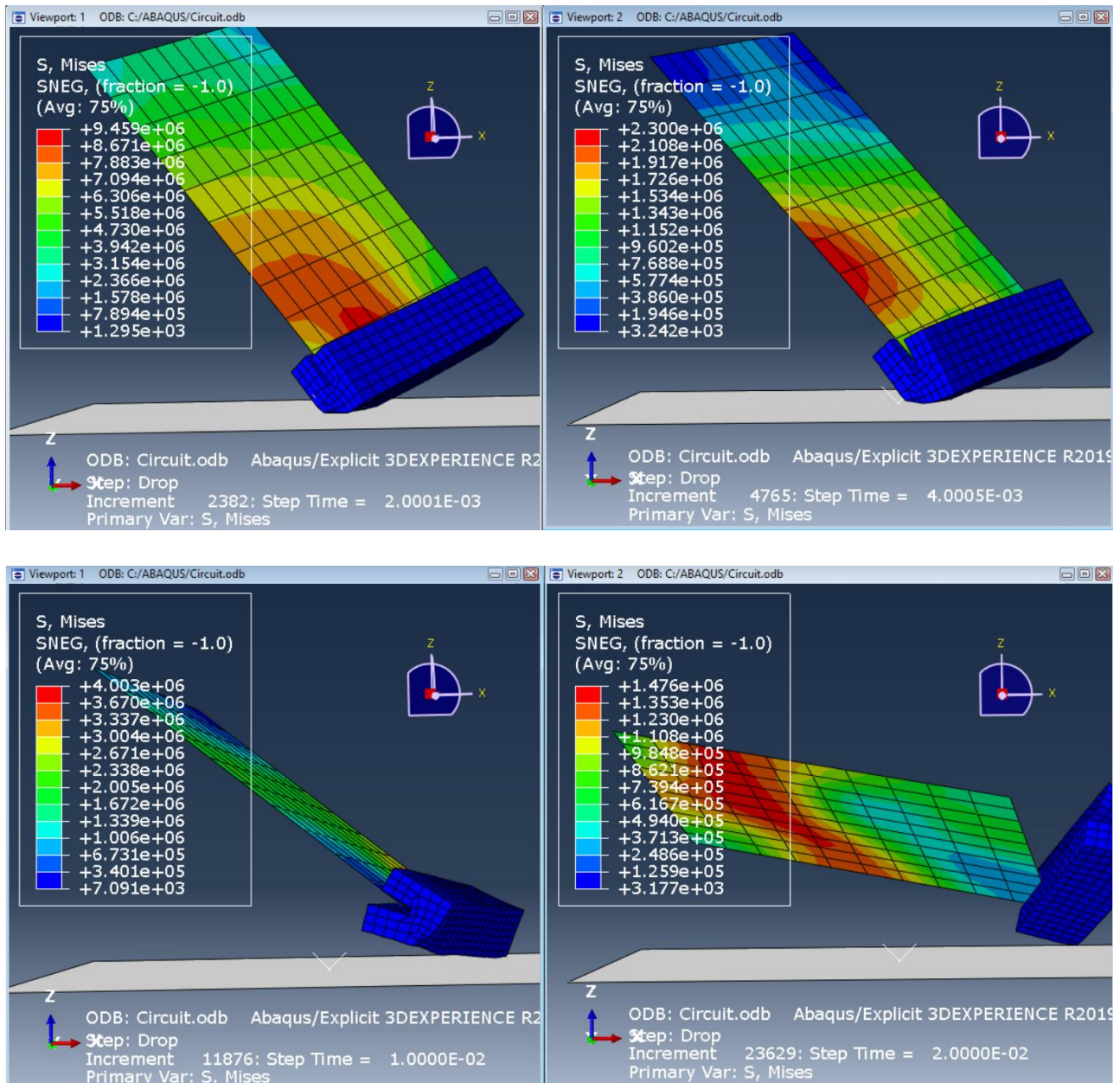
Rys. 10. Ustawienie prędkości upadku płytki wraz z opakowaniem

8. Wyniki

Analizę wyników oparto o dopuszczalne zakresy określone przez standardy IPC. Zbadane zostały przyspieszenia oraz prędkości w miejscach, gdzie zostały umieszczone chipy – są to miejsca strategiczne, dzięki ich analizie będzie można określić, czy doszło do naruszenia urządzeń.

8.1. Wariant 1:

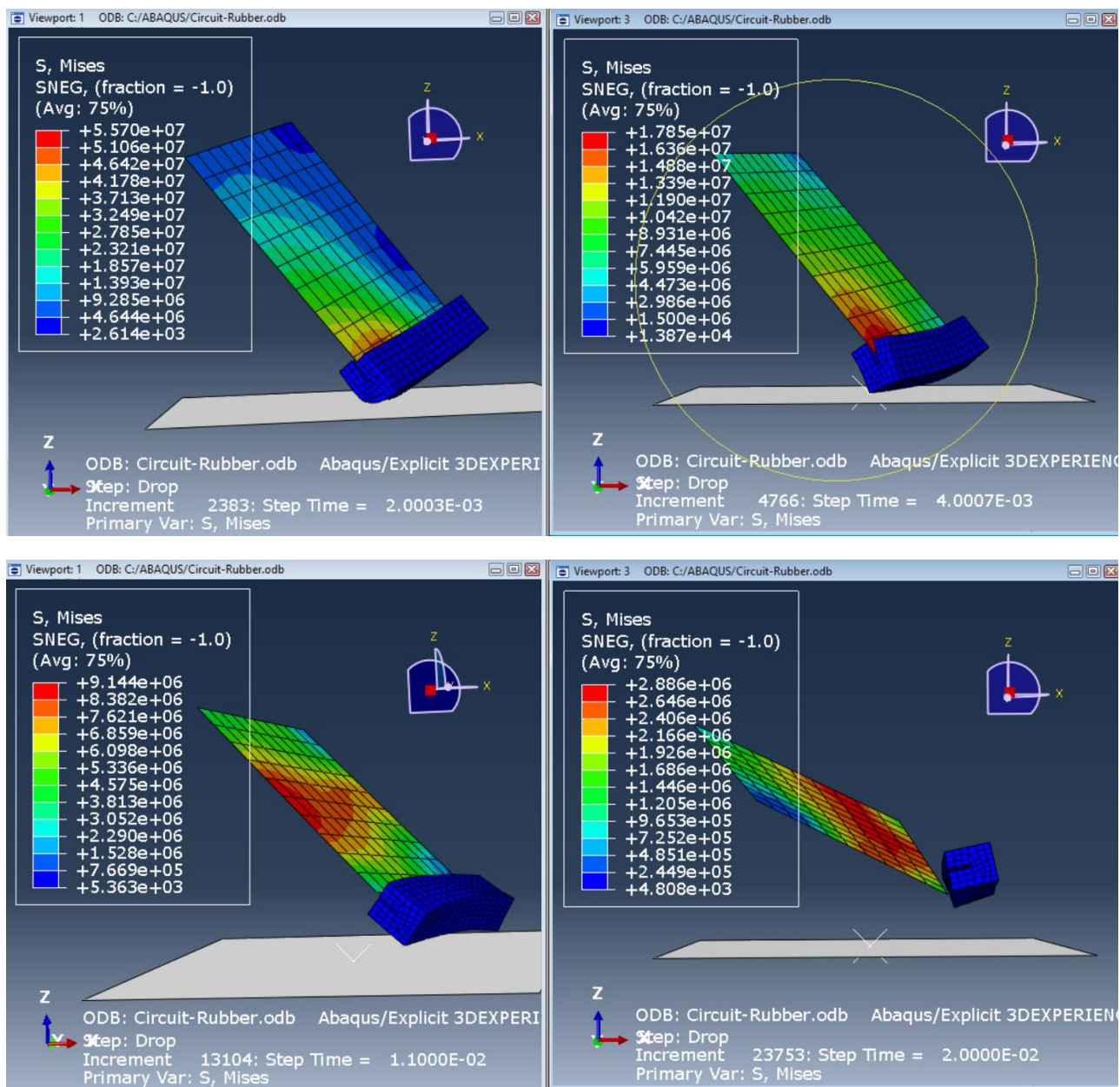
Swobodny upadek płytki w opakowaniu z pianki:



Rys. 11. Przebieg symulacji dla Wariantu 1 dla czterech wybranych kroków

8.2. Wariant 2:

Swobodny upadek płytki w opakowaniu z gumy:



Rys. 12. Przebieg symulacji dla Wariantu 2 dla czterech wybranych kroków

9. Analiza otrzymanych wyników

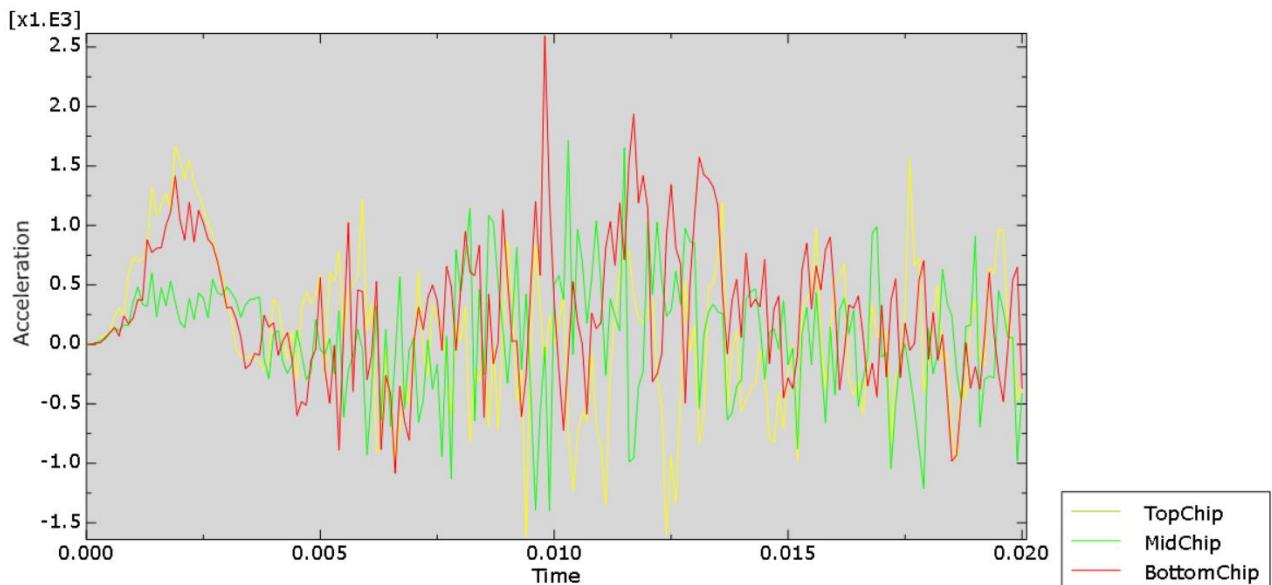
Dla obu wykonanych wariantów sprawdzono parametry w trzech węzłach (położenia chipów).

Aby skutecznie ocenić, czy płytki drukowane zostały uszkodzone, konieczna jest analiza wielu składowych, między innymi naprężeń wzdłużnych, naprężeń poprzecznych, odkształceń, przyspieszeń, prędkości, czasów trwania szoków mechanicznych oraz właściwości materiałów płytki i jej opakowania ochronnego. Wszystkie te elementy pozwalają na dokładną ocenę, czy płytki pozostaje w granicach bezpiecznych wartości wytrzymałościowych i czy nie doszło do jej

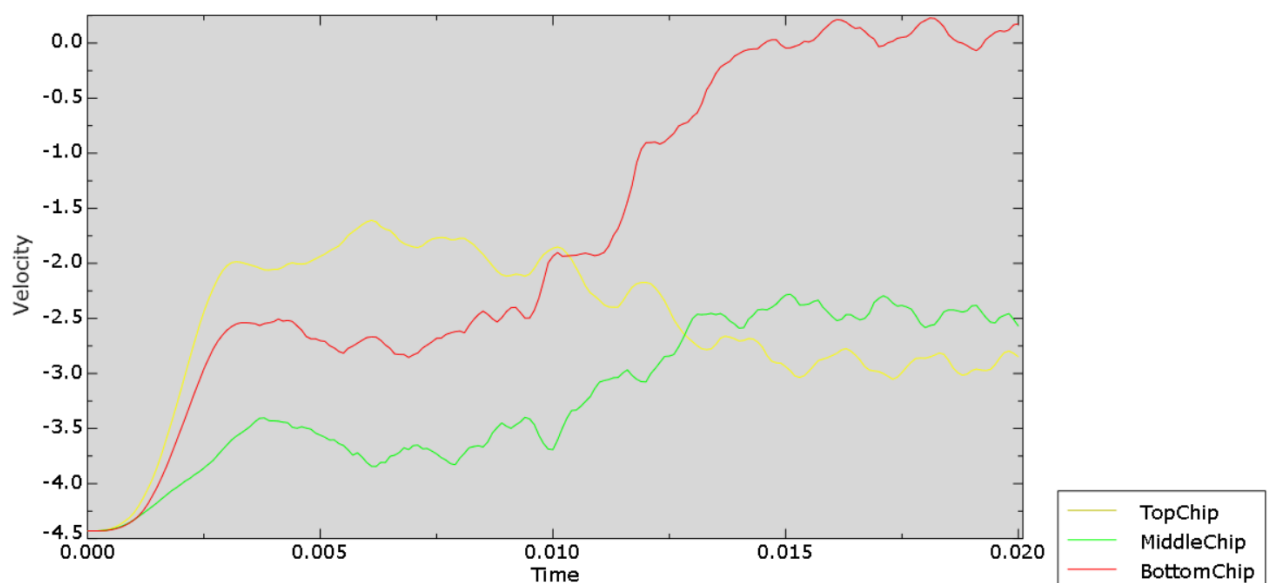
uszkodzenia.

Ja skupiłam się jednak tylko na ocenie przyspieszenia pionowego oraz prędkości pionowej – na podstawie tych dwóch parametrów będę oceniać, czy doszło do uszkodzenia chipów umieszczonych na płycie PCB oraz czy urządzenie nadaje się do dalszego użytku. Monitorowanie tych wartości pozwala na wstępne określenie, czy płyta jest narażona na niebezpieczne siły i może ulec uszkodzeniu, co stanowi wystarczającą podstawę do oceny jej bezpieczeństwa w kontekście symulowanego upadku.

9.1. Wariant 1:



Rys. 13. Wykres rozkładu przyspieszenia w czasie dla Wariantu pierwszego



Rys. 14. Wykres rozkładu prędkości w czasie dla Wariantu pierwszego

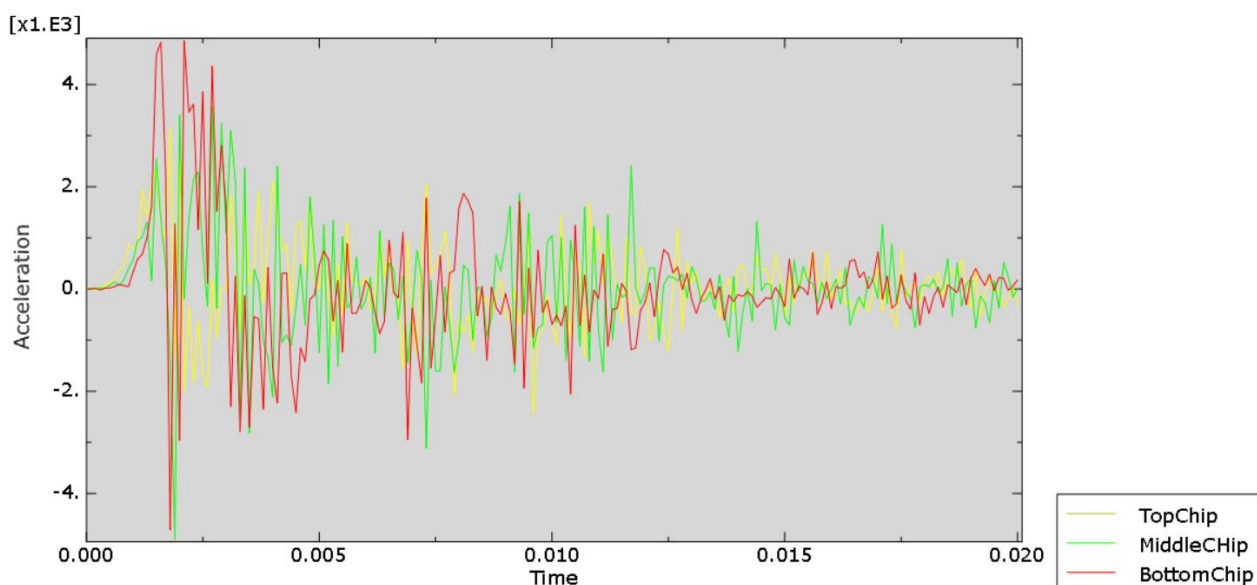
9.1.1. Obserwacje dla Wariantu 1:

Wariant 1 pokazuje, że przyspieszenia dla chipów na górze płytki są stosunkowo gładkie, a szczytowe wartości przyspieszenia dla środkowego oraz dolnego chipa wynoszą 2300 m/s^2 . Szczytowe przyspieszenie dla dolnego chipa występuje około 9 ms, co odpowiada momentowi, gdy bok opakowania uderza o podłoże. Po początkowym uderzeniu prędkość chipów zwalnia, ale w wyniku rotacji płytki prędkości zaczynają się różnić. Tylko dolny chip osiąga prędkość bliską zeru pod koniec analizy.

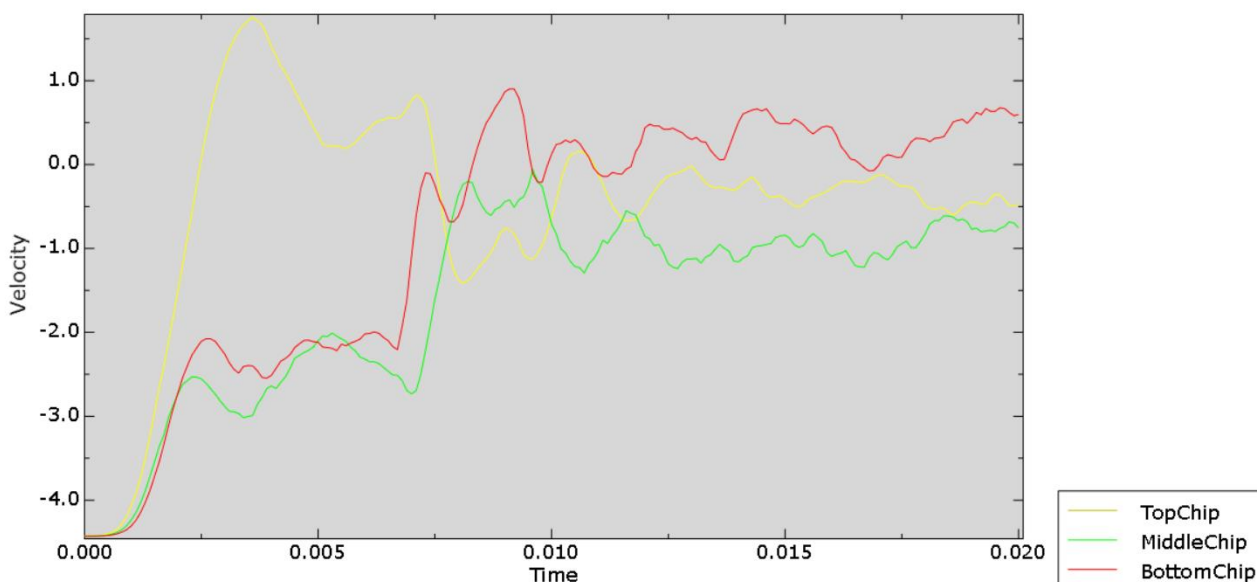
9.1.2. Analiza dla Wariantu 1:

Dzięki opakowaniu z pianki, płytka jest dobrze chroniona przed szkodliwymi przyspieszeniami i nagłymi zmianami prędkości. Płynny przebieg przyspieszenia, szczególnie dla górnego chipa, wskazuje na to, że pianka skutecznie absorbuje energię uderzenia. Wartości przyspieszeń (maksymalnie do 2300 m/s^2) są wystarczająco niskie, by nie przekroczyć progów krytycznych dla płytki, co zmniejsza ryzyko uszkodzenia mechanicznego płytki. Pod względem prędkości nie ma gwałtownych zmian, co wskazuje na kontrolowane i bezpieczne zderzenie, które nie prowadzi do utraty właściwości mechanicznych płytki.

9.2. Wariant 2:



Rys. 15. Wykres rozkładu przyspieszenia w czasie dla Wariantu drugiego



Rys. 16. Wykres rozkładu prędkości w czasie dla Wariantu drugiego

9.2.1. Obserwacje dla Wariantu 2:

Przyspieszenie dla płytki w zabezpieczeniu wykonanym z elastomeru, zdaje się nie chronić tak dobrze płytki jak opakowanie z pianki. Obserwujemy osiąganie wyższych wartości przyspieszenia dla wariantu 2, które przekraczają już normowe krytyczne wartości (typowe wartości krytyczne wynoszą zazwyczaj 3000 m/s^2). Pik przyspieszenia występuje około 2 ms, co może wskazywać na dużą dynamikę w początkowej fazie uderzenia. Po tym czasie, podobnie jak w wariacie 1, prędkości chipów różnią się, jednak przyspieszenia w tym wariacie są zdecydowanie wyższe, co podkreśla słabszą ochronę gumowego opakowania.

9.2.2. Analiza dla Wariantu 2:

Guma Shore A 50, mimo że zapewnia pewną amortyzację, nie jest w stanie równie skutecznie zredukować przyspieszeń jak pianka. Wartości przyspieszenia osiągające 4500 m/s^2 przekraczają normowe granice bezpieczeństwa, co może prowadzić do mikropęknięć lub innych uszkodzeń w strukturze płytki.

10. Wnioski

Analiza wykazała, że opakowanie z pianki skutecznie absorbuje energię uderzenia, minimalizując ryzyko uszkodzenia płytki, nawet podczas upadku z wysokości 1 metra, co jest typową sytuacją w warunkach transportowych. Pianka zapewnia odpowiednią ochronę, a wartości

przyspieszenia oraz prędkości nie przekraczają krytycznych granic bezpieczeństwa. W przypadku opakowania z gumy Shore A 50, które mimo swoich właściwości amortyzujących nie zapewnia wystarczającej ochrony, przyspieszenia przekraczały bezpieczne wartości, co mogłoby prowadzić do uszkodzeń płytki. Dzięki przeprowadzonym symulacjom, uzyskano praktyczną ocenę, która pozwala na lepsze zaprojektowanie systemów ochrony PCB w trakcie transportu, zgodnie z obowiązującymi normami i wymaganiami.