

# Wykorzystanie środowiska ANSYS w obliczeniach uszczelnień elastomerowych w firmie WABCO Polska

Use of ANSYS environment in elastomer sealing simulations at WABCO Polska

BOGUMIŁ JURKIEWICZ\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.23>

W dziedzinie systemów pneumatycznych oraz wspomagających je układów elektronicznych wytwarzanych przez firmę WABCO Polska niezmiernie istotne są zapewnienie szczelności w szerokim zakresie temperatury i tolerancji wymiarowych oraz żywotność elementu uszczelniającego. Zaprezentowano sposób weryfikacji dedykowanych uszczelnień elastomerowych na drodze analizy strukturalnej w środowisku ANSYS. Metodę przedstawiono na przykładzie uszczelnienia pokrywy kanałów dystrybuujących powietrze w jednym z zaworów pneumatycznego układu hamulcowego. Wyniki analizy numerycznej zweryfikowano eksperymentalnie.

**SŁOWA KLUCZOWE:** uszczelnienia elastomerowe, symulacje strukturalne

*For pneumatic and electronic systems that are manufactured by WABCO Polska, it is extremely important to ensure tightness in a wide range of temperatures or dimensional tolerances and the service life of the sealing element. Presented is the way to verify dedicated elastomeric seals through structural analysis in ANSYS environment. The developed method was based on the example of the air distribution channel cover in one of valves of pneumatic braking system. Numerical results were verified by testing.*

**KEYWORDS:** elastomer seals, structural simulations

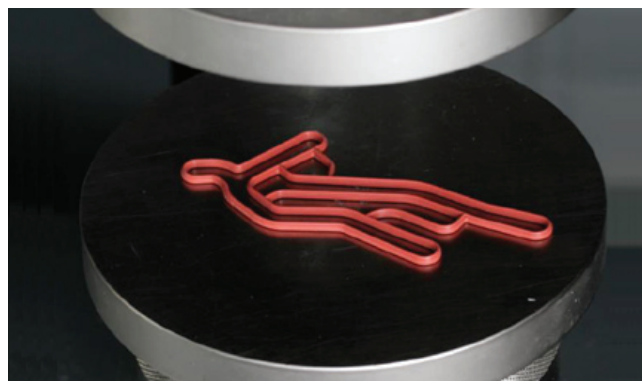
W procesie projektowania urządzeń pneumatycznych – których produkcja stanowi podstawową gałąź działalności firmy WABCO – do kluczowych wskaźników, na które należy zwrócić uwagę, należy szczelność. Za jej zapewnienie odpowiadają najczęściej uszczelnienia elastomerowe o rozmaitych, zależnych od miejsca ich zabudowy, postaciach geometrycznych. Tylko niektóre z nich (jak pierścienie uszczelniające o przekroju kołowym) można dobrać na drodze obliczeń analitycznych, posiłkując się normą DIN 3771-5 lub bazującym na niej oprogramowaniem (np. M-Design). Jednak w pozostałych, licznych przypadkach dobór optymalnych parametrów uszczelnienia opiera się na wynikach analiz numerycznych przeprowadzonych metodą elementów skończonych.

## Weryfikacja uszczelnienia elastomerowego na przykładzie uszczelki doczołowej

Aby zobrazować procedurę symulacji uszczelnienia, przygotowana została próbka uszczelki doczołowej o rzucie i geometrii przekroju poprzecznego pozwalających na zamontowanie jej w jednym z zaworów układu hamulcowego, pomiędzy pokrywą (będącą jednocześnie kompletnym zaworem elektromagnetycznym) a płytą dystrybuującą powietrze.

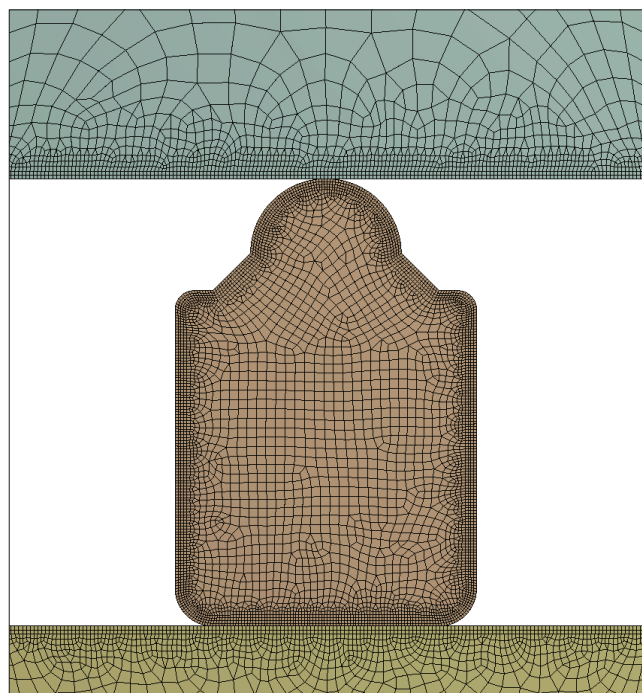
Jednym z pierwszych kroków analizy numerycznej, mającym często decydujący wpływ na jakość wyników i możliwość prawidłowej ich interpretacji, jest dobór modelu materiałowego. W praktyce pozyskanie specyficznych

danych dla konkretnego elastomeru bywa trudne, zwłaszcza pod presją czasu. Dlatego przy analizowaniu istniejących uszczelnień przeprowadza się test ściskania uszczelki na maszynie wytrzymałościowej (rys. 1), w którym rejestrowana jest zależność siły reakcji od przebytej drogi.



Rys. 1. Badane uszczelnienie między płytami maszyny wytrzymałościowej (fot. Tomasz Pietrzak)

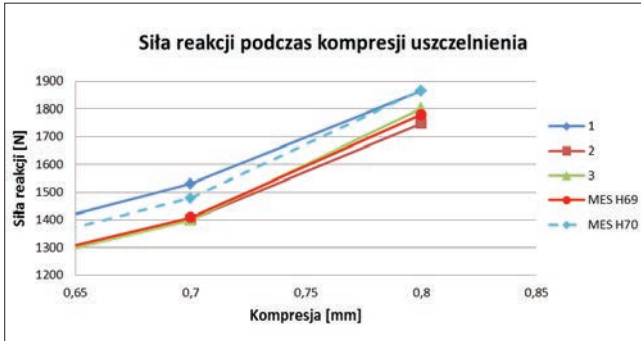
Ta nieliniowa zależność musi zostać odwzorowana przez zachowanie modelu obliczeniowego (rys. 2), którego model materiałowy w środowisku ANSYS zostaje opisany z użyciem dobranych w sposób iteracyjny parametrów Mooneya–Rivlina.



Rys. 2. Dwuwymiarowy model dyskretny (płaski stan odkształcenia) do weryfikacji modelu materiałowego

\* Mgr inż. Bogumił Jurkiewicz ([bogumil.jurkiewicz@wabco-auto.com](mailto:bogumil.jurkiewicz@wabco-auto.com)) – WABCO Polska

Wyniki całkowitej siły reakcji dla parametrów MR, odpowiadających twardościom 69 i 70 IRHD elastomeru VMQ (według baz danych WABCO), wyznaczonej przez multiplikację wyniku analizy w płaskim stanie odkształcenia i faktora, wynikającego ze stosunku powierzchni kontaktu odpowiadającej analizie 2D i modelowi 3D, przedstawiono na wykresie (rys. 3).

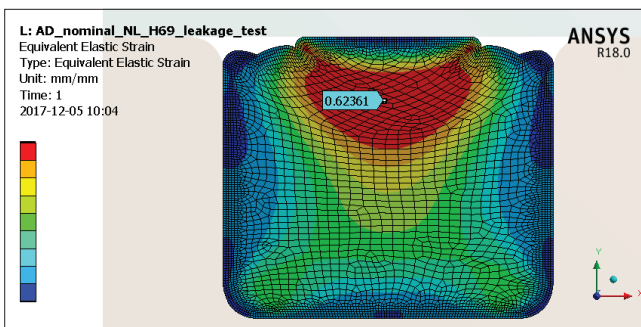


Rys. 3. Zależność siły reakcji podczas kompresji uszczelnienia od przebytej drogi

Do dalszych analiz przyjęto model materiałowy, dla którego wyniki symulacji odzwierciedlającej eksperyment zostały zaznaczone na wykresie kolorem czerwonym. Wyniki dla tego modelu materiałowego bardzo dobrze korelują z wynikami dwóch spośród trzech pomiarów. Pierwszy pomiar lepiej odzwierciedla niebieska linia (wyniki dla modelu materiałowego odpowiadającego twardości 70 IRHD), jednak z punktu widzenia badania szczelności krytyczne będą wyniki otrzymane z symulacji bardziej miękkiego materiału (czerwona linia).

### Wyniki analizy numerycznej uszczelnienia

W wyniku analizy numerycznej uszczelnienia otrzymano: całkowitą siłę reakcji przy pełnej kompresji uszczelnienia na poziomie 2 kN, wysoki poziom zredukowanych odkształceń względnych (65%) oraz duży obszar występowania zredukowanych odkształceń względnych wyższych niż 50% (rys. 4).



Rys. 4. Poziom zredukowanych odkształceń względnych w przekroju uszczelnienia po montażu

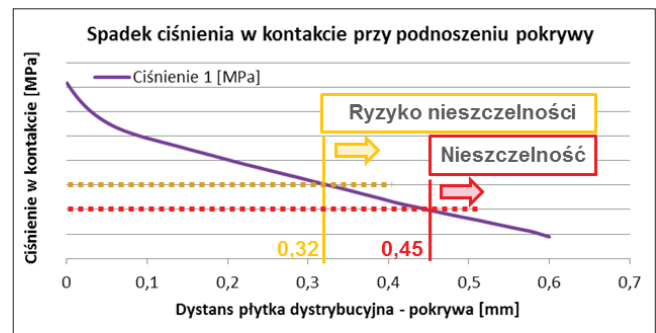
Duża siła reakcji może w wielu przypadkach prowadzić do takich zjawisk, jak pełzanie czy plastyczne deformacje w komponentach współpracujących z uszczelnieniem (te bowiem coraz częściej wykonuje się z tworzyw sztucznych). Wysoki poziom odkształceń względnych jest natomiast krytyczny z punktu widzenia trwałego odkształcenia elastomeru w wyniku przyłożenia stałego obciążenia (odkształcenie widoczne również po odciążeniu).

Analizowano także szczelność połączenia. W badanym przypadku poziom ciśnienia w kontakcie wielokrotnie przewyższał stosowane w firmie WABCO kryterium szczelności dla użytego materiału. Jednak to nie ciśnienie w kontakcie w wyidealizowanym, symulacyjnym przypadku jest najistotniejsze. Często należy zwrócić uwagę na spadki kompresji wynikające z niepłaskości współpracujących z uszczelnieniem powierzchni, elastyczne odkształcenia występujące pod wpływem sił funkcyjnych bądź też trwałe odkształcenia w wyniku starzenia w wysokiej temperaturze. Podatność uszczelnienia na te czynniki bada się poprzez zwiększanie dystansu pomiędzy elementami zabudowy uszczelnienia (rys. 5). W omawianym przypadku ryzyko utraty szczelności występuje, gdy dystans osiągnie 0,32 mm, co zobrazowano na wykresie (rys. 6).



Rys. 5. Ciśnienie w kontakcie w krytycznym obszarze uszczelnienia

Okazuje się również, że ekspansja termiczna uszczelnienia jest zbyt duża, by w temperaturze 80°C wypełnienie rowka nie przekroczyło 100%. W takiej sytuacji na złożenie działać będą ogromne siły, mogące doprowadzić do uszkodzenia urządzenia.



Rys. 6. Wykres zależności ciśnienia w kontakcie od wzrostu dystansu między elementami zabudowy uszczelnienia

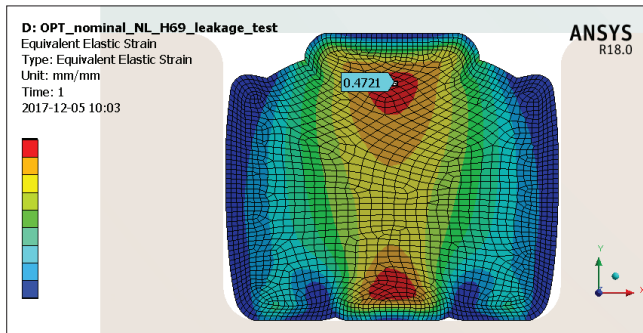
### Wykorzystanie analizy numerycznej do weryfikacji zmian przekroju poprzecznego uszczelnienia

Analizy numeryczne przyspieszają weryfikację wprowadzonych zmian konstrukcyjnych. Zmiany zostały dokonane w oparciu o geometrię przekroju poprzecznego badanego uszczelnienia i z uwzględnieniem wyników uprzednio przeprowadzonej symulacji. Przede wszystkim obniżona została wysokość rdzenia uszczelnienia, czyli zbliżonego do prostokąta obszaru jego przekroju poprzecznego. Efektem tego miała być redukcja odkształceń względnych, jak również znaczna poprawa zachowania w warunkach podwyższonej temperatury. U podstawy uszczelnienia dodano wyoblenie mające podnieść jego odporność na utratę kompresji.

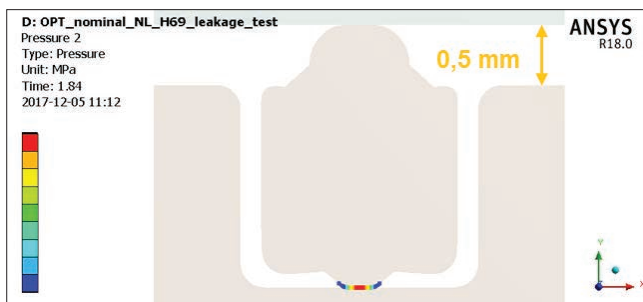
Wyniki symulacji zmodyfikowanego uszczelnienia wskazują na blisko dwukrotny spadek siły reakcji po

jego zamontowaniu. Maksymalny poziom odkształceń względnych spadł do poziomu 50%, co oznacza redukcję o blisko 21% (rys. 7).

Ciśnienie w kontakcie w górnym obszarze uszczelnienia spadło w porównaniu z pierwotną konstrukcją o ok. 30% i stało się niższe niż ciśnienie u jego podstawy, które znacznie wzrosło. Teraz to górna linia uszczelnienia zaczęła być decydująca dla szczelności i odporności na spadek kompresji (rys. 8).

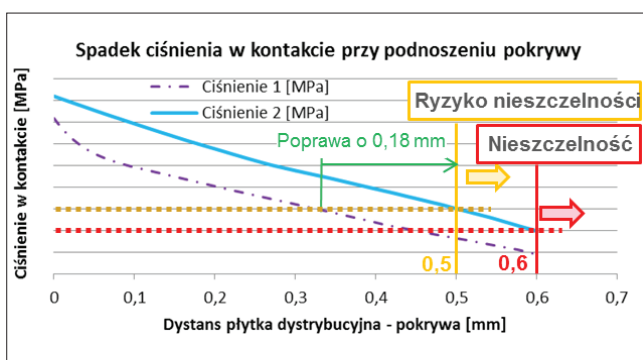


Rys. 7. Poziom zredukowanych odkształceń względnych w przekroju uszczelnienia po jego montażu



Rys. 8. Ciśnienie w kontakcie w krytycznym obszarze zmodyfikowanego uszczelnienia

Zmodyfikowane uszczelnienie wykazuje znacznie wyższą odporność na spadek kompresji w porównaniu z wcześniej analizowanym rozwiązaniem. Zostało to zobrazowane na wykresie (rys. 9). Ryzyko utraty szczelności po wprowadzeniu modyfikacji występuje znacznie później – przy 0,5 mm zamiast 0,32 mm dystansu.



Rys. 9. Wykres zależności ciśnienia w kontakcie od wzrostu dystansu między elementami zabudowy pierwotnego (Ciśnienie 1) i zmodyfikowanego (Ciśnienie 2) uszczelnienia

Udowodnione zostało również, że w warunkach nominalnych uszczelnienie ma wystarczającą przestrzeń na ekspansję w podwyższonej temperaturze.

Zaproponowana uszczelka została dodatkowo poddana analizom w skrajnych warunkach wynikających zarówno z tolerancji wymiarowych, jak i zakresu temperatury pracy.

## Weryfikacja analiz na drodze eksperymentu

Do weryfikacji zaprezentowanych wyników analiz wykorzystano zawór będący elementem pneumatycznego układu hamulcowego. Do jego zmontowania zastosowano kolejno: pierwotnie badane uszczelnienie i prototyp uszczelnienia zmodyfikowanego.

Ponieważ weryfikacji miało być poddane badanie podatności uszczelnień na spadek kompresji, pomiędzy elementy zabudowy uszczelnienia (pokrywę i płytkę dystrybucyjną) wmontowano odpowiednią liczbę podkładek dystansowych mających zapewnić powstanie dystansu.

Wyniki testu wraz z wynikami symulacji przedstawiono w tabelcy. W pełni potwierdzony został dystans pomiędzy częściami, przy którym dojdzie do wycieku i przy którym ryzyko wycieku występuje.

TABLICA. Porównanie wyników symulacji z eksperymentem – podatność uszczelnienia na spadek kompresji

Dystans płytka–pokrywa	Pierwotne uszczelnienie		Zmodyfikowane uszczelnienie	
	eksperyment	symulacja	eksperyment	symulacja
0,3 mm	Brak wycieku	Ryzyko wycieku	Brak wycieku	Brak wycieku
0,4 mm	Wyciek	Wyciek	Brak wycieku	Brak wycieku
0,5 mm			Brak wycieku	Ryzyko wycieku
0,6 mm			Wyciek	Wyciek

## Podsumowanie

Narzędzia symulacyjne dają doskonałe możliwości oceny uszczelnień elastomerowych, często z wykorzystaniem oszczędnych czasowo metod analiz osiowosymetrycznych czy też w płaskim stanie odkształcenia.

Uwzględniając jakość wyników analizy numerycznej, dużą wagę należy przykładać do jak najdokładniejszej definicji modelu materiałowego.

W przypadku braku możliwości przeprowadzenia dokładnych testów materiałowych z pomocą przychodzą proste testy ściskania fragmentów materiału lub kompletnych uszczelnień i bazująca na nich kalibracja modelu materiałowego.

Symulacja uszczelnienia wymaga odniesienia się nie tylko do nominalnych wymiarów i temperatury pokojowej, ale także do szerokiego spektrum tolerancji wymiarowych i warunków termicznych oraz do specyfiki współpracujących z uszczelnieniem części.

Należy pamiętać, że wyniki symulacji uszczelnienia powinny być brane pod uwagę również przy analizie pozostałych części złozenia, gdyż z pozoru mało znaczący element elastomerowy w skrajnych przypadkach może doprowadzić do zniszczenia współpracujących elementów z tworzyw sztucznych, a nawet zadziałać destrukcyjnie na części metalowe.