

Zagadnienie ciągłości powierzchni w kontekście modelowania karoserii pojazdów

Surface continuity aspect in context of a car body modelling

MATEUSZ SMARDUCH
ANDRZEJ JAŁOWIECKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.18>

Modelowanie powierzchniowe stanowi jedną z najtrudniejszych dziedzin związanych z technikami tworzenia modeli. Poprawnie opracowany model powierzchniowy musi spełniać wymagania zarówno pod względem funkcjonalnym, jak i technologicznym, a dodatkowo powinien mieć odpowiednie walory estetyczne. Zagadnienie ciągłości powierzchni jest więc istotnym aspektem w tego typu technikach modelowania. W artykule zaprezentowano podstawowe informacje z zakresu zagadnień dotyczących kryterium ciągłości oraz omówiono wpływ ciągłości na własności aerodynamiczne modelowanego obiektu.

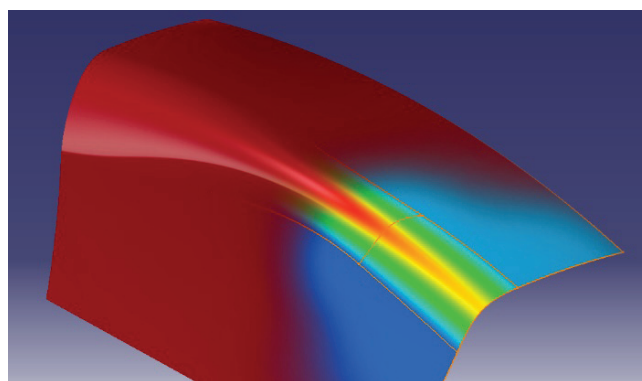
SŁOWA KLUCZOWE: modelowanie powierzchniowe, ciągłość powierzchni, aerodynamika

Surface modelling is one of the most difficult modelling discipline. A properly developed model must meet functional and technological requirements and additional design look. Because of that, the surface continuity aspect is so important in surface modelling. The paper presents basic information on the issues related to the surface continuity criterion and presents the influence of continuity on the aerodynamic properties of the object.

KEYWORDS: surface modelling, surface continuity, aerodynamic

Modelowanie elementów karoseryjnych jest nie lada wyzwaniem dla konstruktorów. Ze względu na konieczność zapewnienia odpowiednich walorów wizualnych oraz zagwarantowania możliwości wytworzenia zamodelowanego elementu projektanci z tej branży stanowią niezwykle wąską grupę specjalistów. Dodatkowym elementem utrudniającym zadanie jest potrzeba stosowania skomplikowanych technik modelowania powierzchniowego (*surface modeling*) z wykorzystaniem systemów klasy CAx.

Problemy związane z modelowaniem powierzchniowym wynikają głównie ze specyficznego podejścia opartego na znajomości matematycznych podstaw dotyczących krzywych i powierzchni, na których bazują tego typu modele. Wymagana jest również znajomość zagadnień dotyczących warunków ciągłości oraz technologii wytwarzania modelowanych elementów. Przykładowy model powierzchniowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowy element karoseryjny – efekt wykorzystania technik modelowania powierzchniowego

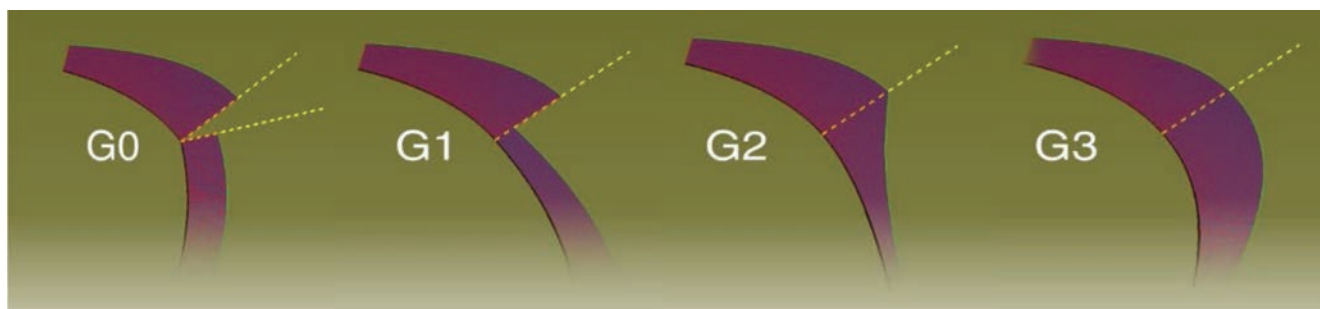
Kryterium ciągłości

Z punktu widzenia konstruktora modeli powierzchniowych ciągłość geometryczna jest podstawowym kryterium oceny jakości krzywych. Jakość krzywych ma bowiem zasadnicze znaczenie w przypadku definiowania płatów powierzchni (wynikowy płat powierzchni będzie tak dobry, jak dobre są krzywe, na których został zdefiniowany). W systemach CAD algorytmy definiujące pojedyncze krzywe gwarantują zachowanie ich ciągłości geometrycznej określonego stopnia, natomiast połączenie kilku różnych krzywych może już być realizowane z zachowaniem różnych stopni ciągłości [1, 2]. Krzywa definiująca płat powierzchni bardzo często jest rezultatem połączenia kilku krzywych elementarnych – z tego względu konieczna jest analiza ciągłości krzywych na etapie definiowania elementów podstawowych.

Można powiedzieć, że kryterium ciągłości obejmuje zbiór warunków, które da się zweryfikować w punkcie wspólnym dwóch krzywych bądź wzdłuż linii łączącej dwa płaty powierzchni. W systemach komputerowego wspomaganego projektowania wyróżnia się cztery podstawowe stopnie ciągłości, oznaczane jako: G0, G1, G2 i G3 [1, 3, 4]. Graficzną interpretację poszczególnych kryteriów ciągłości przedstawiono na rys. 2.

O ciągłości G0 można mówić wówczas, gdy dwie krzywe mają punkt wspólny. Innymi słowy: brak ciągłości G0 oznacza, że krzywe nie stykają się ze sobą. W przypadku powierzchni ciągłość G0 oznacza, że dwa płaty powierzchni mają wspólną krawędź [1, 2].

* Mateusz Smarduch (mateusz.smarduch.pl@gmail.com), mgr inż. Andrzej Jałowiecki (andrzej.jalowiecki@polsl.pl) – Politechnika Śląska



Rys. 2. Graficzna interpretacja kolejnych stopni ciągłości

Ciągłość G1 jest zapewniona wtedy, gdy występuje połączenie dwóch krzywych spełniające kryterium G0, a dodatkowo te krzywe są styczne. To oznacza, że kierunki styczności obu krzywych w punkcie styku są zgodne, tj. kąt między nimi wynosi 0° lub 180° [1, 2].

Warunek ciągłości G2 spełnia układ dwóch krzywych, które w punkcie wspólnym mają tę samą wartość promienia krzywizny. Dwa płaty powierzchni o stopniu ciągłości G2 mają ten sam promień krzywizny wzdłuż wspólnej krawędzi [1, 2].

W przypadku stopnia G3 musi być zachowana ciągłość zmian krzywizny (gradientu) w obszarze punktu wspólnego dwóch krzywych. Jeżeli układ dwóch krzywych ma ciągłość G3, to oznacza, że w żadnym punkcie nie występuje radykalna (skokowa) zmiana krzywizny [1, 2].

Wśród standardów jakości powierzchni modelowanych w programach CAD występuje pojęcie powierzchni klasy A. Jest to powierzchnia, która w swej geometrii wszędzie zachowuje styczność oraz ciągłość krzywizny. Innymi słowy, jest to płat powierzchni ciągły stopnia G2 lub wyższego. Kształt płata powierzchni klasy A ma wyjątkowe cechy estetyczne, co często wykorzystuje się w modelowaniu powierzchniowym na potrzeby wzornictwa przemysłowego. Charakterystyczny dla takiej powierzchni jest łagodny, ciągły rozkład refleksów światła i odbić, dający atrakcyjny efekt wizualny [1–4].

Wpływ ciągłości powierzchni na własności aerodynamiczne

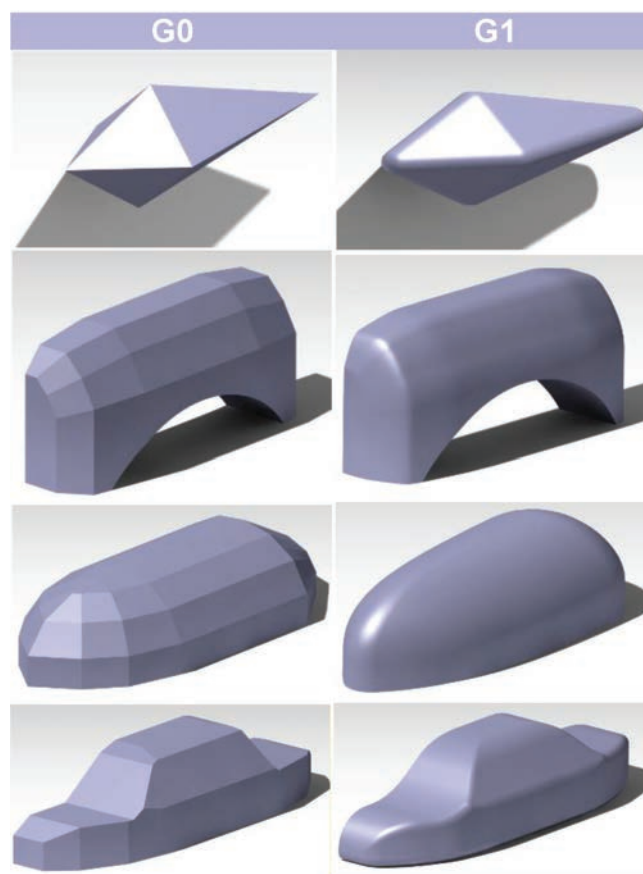
W przypadku modelowania elementów karoseryjnych kluczowe jest zapewnienie możliwie najmniejszego współczynnika oporu powietrza, jaki stawia modelowany obiekt w czasie ruchu. W celu zilustrowania wpływu ciągłości powierzchni na własności aerodynamiczne opracowano kilka przykładów modeli spełniających warunek ciągłości G0 i G1. W symulacjach ograniczono się jedynie do przypadku G1, ponieważ to kryterium jest stosunkowo łatwe do spełnienia przy niedużych zmianach postaciowych modelu, nie ma też problemu z wytworzeniem elementów spełniających to kryterium.

Na rys. 3 pokazano opracowane przykładowe modele: element testowy typu pocisk, fragment nadkola, owiewkę oraz uproszczony profil samochodu. Wszystkie te modele poddano symulacji CFD (*computational fluid dynamics*), odwzorowującej poruszanie się obiektu z prędkością 100 km/h (ok. 28 m/s) w powietrzu [5].

Otrzymane wyniki symulacji zaprezentowano na rys. 4–11. Pokazano na nich rozkład prędkości ośrodka (powietrza) wraz z naniesionymi liniami strugi.

Jak można zaobserwować, rodzaj ciągłości powierzchni zachowany w poszczególnych modelach nie miał szczególnie dużego wpływu na przebieg linii strugi. Prawdopodobnie jest to spowodowane tym, że zamierzeniem

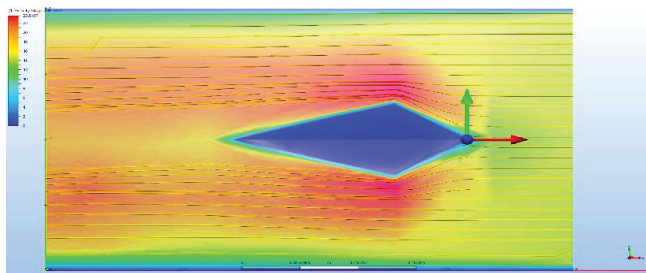
autorów było uzyskanie niemalże identycznych modeli, różniących się jedynie odpowiednimi zaokrągleniami, wprowadzonymi po to, aby ograniczyć wpływ znaczących zmian postaciowych na uzyskiwane wyniki. Głównym celem przeprowadzonych analiz było wyznaczenie współczynnika oporu c_x dla poszczególnych przypadków i sprawdzenie, w jaki sposób zmiana stopnia ciągłości wpłynęła na wartość tego współczynnika. Uzyskane wyniki zestawiono w tabelicy.



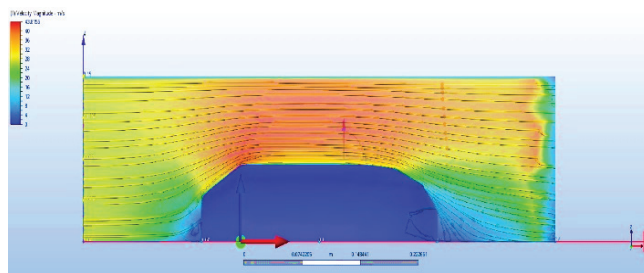
Rys. 3. Modele opracowane na potrzeby symulacji (spełniające kryterium ciągłości G0 – po lewej, G1 – po prawej)

TABLICA. Wartości współczynnika oporu dla przeprowadzonych symulacji

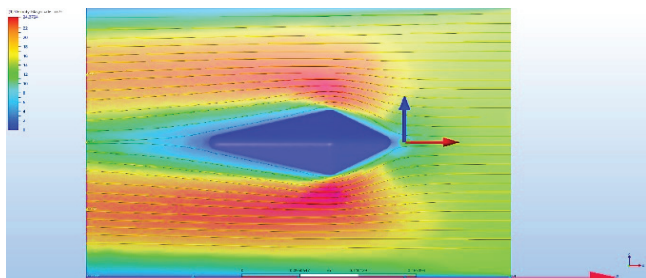
Model	c_x dla G0	c_x dla G1	Różnica
Pocisk	0,46	0,24	47,82%
Nadkole	0,26	0,24	7,69%
Owiewka	0,77	0,49	36,36%
Profil pojazdu	0,21	0,11	47,62%
Średnio			34,87%



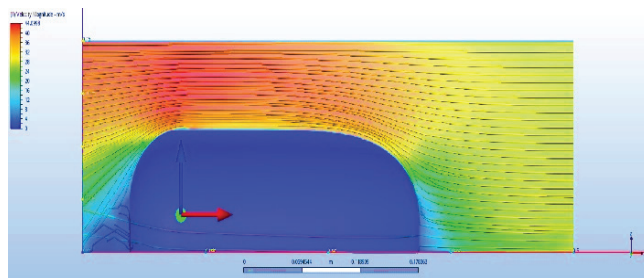
Rys. 4. Wynik uzyskany dla modelu pocisku o ciągłości G0



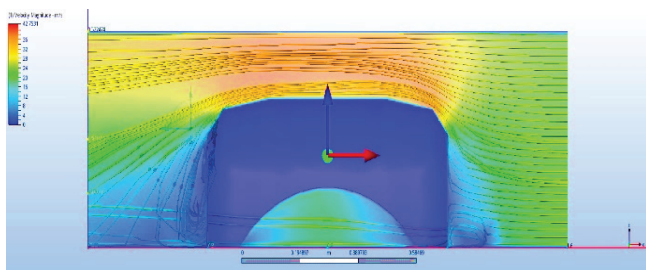
Rys. 5. Wynik uzyskany dla modelu owiewki o ciągłości G0



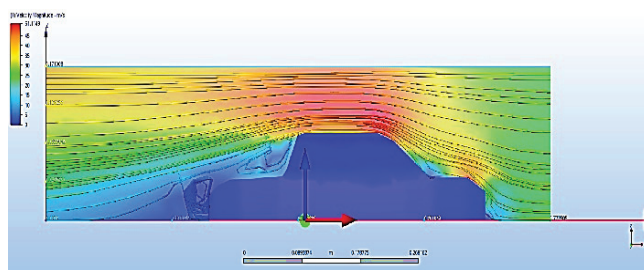
Rys. 6. Wynik uzyskany dla modelu pocisku o ciągłości G1



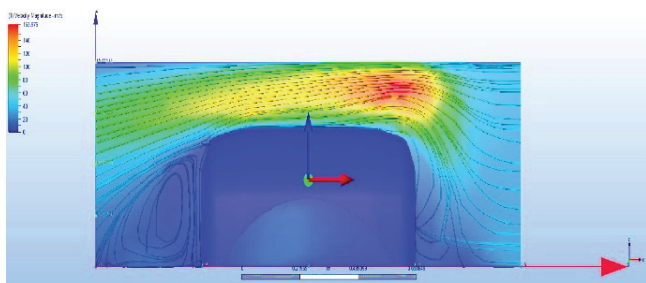
Rys. 7. Wynik uzyskany dla modelu owiewki o ciągłości G1



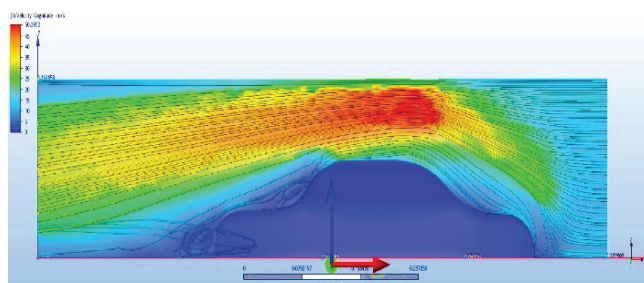
Rys. 8. Wynik uzyskany dla modelu nadkola o ciągłości G0



Rys. 9. Wynik uzyskany dla profilu pojazdu o ciągłości G0



Rys. 10. Wynik uzyskany dla modelu nadkola o ciągłości G1



Rys. 11. Wynik uzyskany dla profilu pojazdu o ciągłości G1

Jak widać, w każdym z rozpatrywanych przypadków model o ciągłości G1 uzyskiwał mniejszą wartość współczynnika c_x , co potwierdza wcześniejsze przypuszczenia.

Podsumowanie

Projektowanie elementów z wykorzystaniem technik modelowania powierzchniowego wymaga umiejętności kontrolowania stopnia ciągłości pomiędzy poszczególnymi płacami powierzchni. Stosowanie kryteriów ciągłości typu G2 lub G3 pozwala na uzyskanie elementów powierzchniowych o płynnych przejściach, które gwarantują spełnienie wymagań odnośnie do wyglądu danego elementu, a ponadto wpływają na inne istotne zagadnienia. Przykładowo, ciągłość powierzchni ma wpływ na własności aerodynamiczne obiektu. Zgodnie z tym, co zostało zaprezentowane, wprowadzenie odpowiednich promieni zaokrągleń pomiędzy poszczególnymi płacami elementu

pozwała na zredukowanie współczynnika oporu. W rozpatrywanych przypadkach uzyskiwano średni spadek wartości tego współczynnika do ok. 35%. W ramach analiz ograniczono się do kryteriów ciągłości G0 i G1, ponieważ próba spełnienia kolejnych, wyższych stopni ciągłości mogłaby powodować jeszcze większe różnice uzyskiwanych wyników. Wiązałoby się to z istotnym przemodelowaniem elementów, czego autorzy chcieliby jednak uniknąć, aby wykazać ewidentny wpływ ciągłości, a nie postaci elementu.

LITERATURA

1. Welyczko A. „CATIA V5. Sztuka modelowania powierzchniowego”. Helion, 2009.
2. Kiciak P. „Podstawy modelowania krzywych i powierzchni – zastosowania w grafice komputerowej”. WNT, 2005.
3. Lombard M. „SolidWorks Surfacing and Complex Shape Modeling Bible”. Wiley, 2010.
4. Wyleżół M. „CATIA. Podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego”. Helion, 2013.
5. Shaari K.Z.K., Awang M. „Engineering Applications of Computational Fluid Dynamics”. Springer, 2014.