

# Wykorzystanie systemów CAx w projektowaniu konstrukcji i procesu technologicznego innowacyjnych wytłoczek karoseryjnych

Use of CAx systems in the design of the construction and technological process of innovative car body parts

IRENEUSZ WRÓBEL\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.7>

Przedstawiono sposób projektowania konstrukcji i procesu technologicznego belki wzmacniającej drzwi samochodu osobowego. Przeprowadzono analizę MES wytrzymałości belki oraz procesu jej tłoczenia na gorąco. Omówiono wyniki symulacji. Sformułowano wnioski i zalecenia.

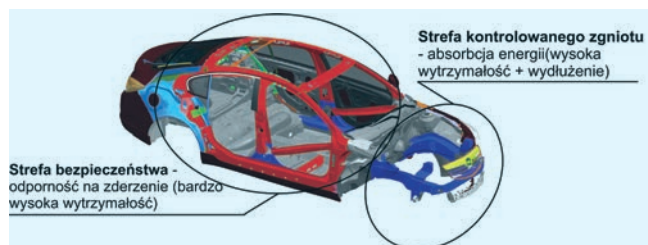
**SŁOWA KLUCZOWE:** tłoczenie na gorąco, zmienna grubość wytłoczki, symulacja MES

*Presented is the process of designing the construction and technological process of the passenger car door beam. The FEM beam strength analysis and FEM analysis of the hot stamping process of this beam were presented. The simulations were discussed. Conclusions and recommendations were made.*

**KEYWORDS:** hot forming, variable thickness draw pieces, FEM simulation

Współczesne wymagania dotyczące eksploatacji samochodów oraz regulacje zawarte w normach bezpieczeństwa wymuszają na projektantach opracowywanie nowatorskich konstrukcji nadwozi samochodowych. Starają się oni zwłaszcza zmniejszać wagę nadwozi samochodów osobowych. Nowe konstrukcje są o 10÷15% lżejsze od konstrukcji poprzednich generacji tych samych modeli. Jednocześnie spełniają wszystkie wymagania techniczne dotyczące bezpieczeństwa kierowców i pasażerów.

Aby zmniejszyć masę karoserii, do jej produkcji stosuje się wysoko wytrzymałe stale o granicy wytrzymałości powyżej 1500 MPa. Zgodnie z normami bezpieczeństwa pewne elementy karoserii tak się projektuje, aby podczas zderzenia odkształcały się w kontrolowany sposób. Na rys. 1 przedstawiono dwie główne strefy karoserii samochodu o różnych właściwościach mechanicznych, które są odpowiedzialne za bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów.



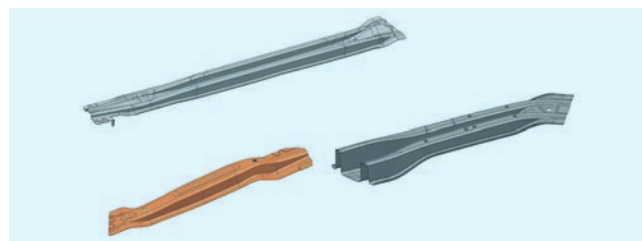
Rys. 1. Strefy o różnych właściwościach mechanicznych w karoserii samochodu

Elementy pierwszej strefy powinny się charakteryzować dużym wydłużeniem względnym, podczas zderzenia powinny się deformować w założony i kontrolowany sposób. Właściwości mechaniczne stali, z której są wykonane,

powinny być następujące: granica wytrzymałości:  $R_m = 400\div 500$  MPa, wydłużenie: 15%. Elementy składowe strefy bezpieczeństwa powinny mieć dużą wytrzymałość i sztywność. Właściwości mechaniczne dla tej strefy to: granica wytrzymałości:  $R_m = 1500\div 2000$  MPa, wydłużenie: 6%. Ważne jest zapewnienie, aby karoseria samochodu miała jak najmniejszą wagę.

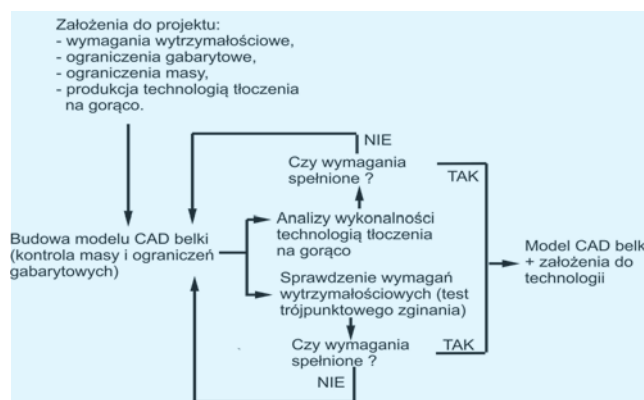
## Obiekt analizy

Obiektem analizy jest belka wzmacniająca, umiejscowiona w drzwiach przednich i tylnych (rys. 2). Jej zadaniem jest ochrona kierowcy i pasażerów przed skutkami zderzenia bocznego. Belka ta należy do strefy bezpieczeństwa i powinna się charakteryzować bardzo dużą wytrzymałością. Na rys.2 przedstawiono przykładowe konstrukcje belek wzmacniających drzwi.



Rys. 2. Typowe konstrukcje belek wzmacniających drzwi

W procesie projektowania belki drzwiowej (rys. 3) powinno się uwzględnić aspekty techniczne, związane z jej wytrzymałością, oraz aspekty technologiczne.



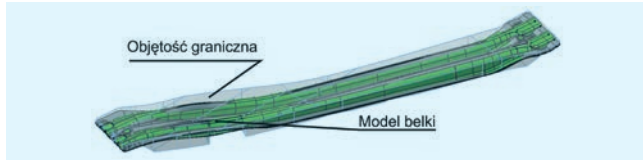
Rys. 3. Proces projektowania konstrukcji i technologii belki

Na pierwszym etapie definiuje się założenia projektu. Są one przede wszystkim związane z gabarytami belki. Zdefiniowana jest pewna objętość, w której projektowana belka musi się zmieścić. Bardzo ważne są wymagania wytrzymałościowe. Wynikają one bezpośrednio z wymagań bezpieczeństwa dotyczących samochodów. Wytrzymałość belki sprawdza się za pomocą testu trójpunktowego

\* Dr hab. inż. Ireneusz Wróbel (iwrobel@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

zginania. Kolejnym założeniem projektu jest masa belki, której wartość maksymalna nie może zostać przekroczona. Belka ma być produkowana technologią tłoczenia na gorąco, należy więc uwzględnić wszystkie aspekty technologiczne związane z jej produkcją.

Proces projektowania zaczyna się od budowy trójwymiarowego modelu CAD belki. Podczas jego budowy inżynier kontroluje gabaryty belki, aby model nie był większy od założonej objętości granicznej (rys. 3). Monitoruje też masę projektowanej belki.



Rys. 4. Objętość graniczna analizowanej belki

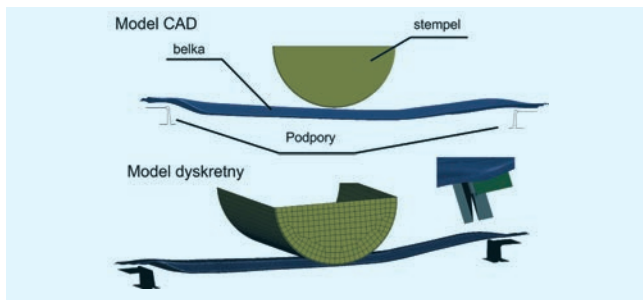
Model CAD belki jest analizowany w dwóch aspektach:

- sprawdza się jego wytrzymałość w teście trójpunktowego zginania,
- wykonuje się analizy technologiczności wykonania belki w specjalistycznym oprogramowaniu.

Obie analizy wykonuje się współbieżnie.

### Test trójpunktowego zginania

W celu sprawdzenia założeń dotyczących wytrzymałości belki wykonuje się nieliniowe analizy MES – przeprowadza się test trójpunktowego zginania. Ma on potwierdzić, czy belka wzmacniająca będzie spełniać wymogi normy FMVSS 214. Wynikiem tego testu jest przebieg siły, z którą stempel oddziałuje na belkę podczas trójpunktowego zginania. Siła ta powinna mieć określoną wartość, zdefiniowaną w założeniach do projektu nowej karoserii samochodu osobowego. Symulacje trójpunktowego zginania wykonuje się w systemach LS Dyna lub Abaqus. Na potrzeby symulacji buduje się model CAD oraz model dyskretny belki, podpór i stempla – tak jak to przedstawiono na rys. 5.

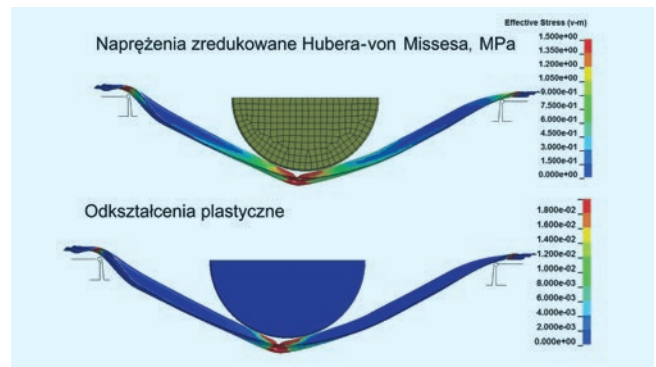


Rys. 5. Model CAD i model dyskretny belki, podpór oraz stempla do symulacji trójpunktowego zginania

W podporach belki odebrano odpowiednie stopnie swobody. Stempel – walec o średnicy  $\varnothing 304,8$  mm (12 cali) – przesuwany jest wzdłuż osi  $y$  z prędkością 12 mm/s, na odległość 150 mm. Pomiędzy belką i podporami oraz belką i stemplem zdefiniowano elementy kontaktowe z tarcieniem. Tak zbudowany model został poddany analizie w systemie LS Dyna.

### Wyniki analizy trójpunktowego zginania

Na rys. 6 przedstawiono przykładowe wyniki analizy testu trójpunktowego zginania belki drzwiowej w postaci warstw naprężeń zredukowanych i odkształceń plastycznych.



Rys. 6. Warstwy naprężeń zredukowanych i odkształceń plastycznych analizowanej belki

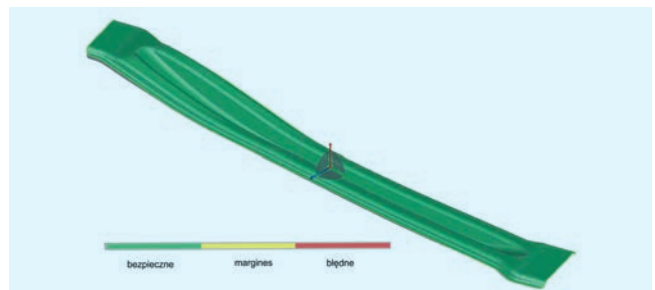
Wyniki symulacji trójpunktowego zginania belki wstępnie potwierdziły spełnienie wymagań wytrzymałościowych. Należy zaznaczyć, że prezentowane wyniki uzyskano po trzech pętliach procesu projektowania przedstawionego na rys. 3.

Równocześnie z symulacjami wytrzymałościowymi wykonano symulacje procesu tłoczenia na gorąco.

### Analiza technologiczności wykonania belki

Proces tłoczenia na gorąco (*hot forming*) należy tak zaprojektować, aby gotowa wytłoczka nie miała wad w postaci pęknięć czy zmarszczek, była wykonana z odpowiednią dokładnością kształtowo-wymiarową oraz dodatkowo miała wymagane właściwości mechaniczne ( $R_e$ ,  $R_m$ , twardość) i strukturę (martenzyt). W tym celu podczas planowania procesu technologicznego i jego kluczowych parametrów niezbędne jest wykonanie symulacji komputerowej. Danymi wejściowymi w procesie tłoczenia na gorąco są: rodzaj i grubość materiału formatki, kształt formatki, temperatura formatki po wyjściu z pieca, czas przenoszenia z pieca do tłoczniaka, czas formowania oraz czas hartowania, siła docisku prasy podczas hartowania i temperatura końcowa wytłoczki. Analizy procesu tłoczenia na gorąco przeprowadza się z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania Autoform, Pamstamp lub DynaForm.

Na początku przeanalizowano technologiczność wytłoczki, wyszukując optymalny kierunek otwarcia tłoczniaka, oraz przeanalizowano kąty nachylenia poszczególnych ścianek wytłoczki [6]. Na rys. 7 przedstawiono wyniki tych badań w postaci warstw.

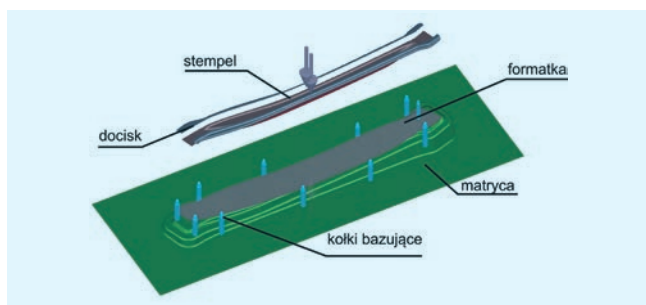


Rys. 7. Analiza technologiczności belki

Kolor zielony oznacza, że wszystkie kąty mierzone względem kierunku otwarcia tłoczniaka mają optymalne wartości, kolorem żółtym oznacza się obszary mające wartości graniczne tych kątów, natomiast kolorem czerwonym – miejsca, w których należy zmienić kształt wytłoczki, ponieważ nie będzie można jej wyjąć z matrycy. W przypadku prezentowanej wytłoczki warstwa w kolorze zielonym była na 100% powierzchni.

Na kolejnym etapie opracowano koncepcję narzędzi. W tym przypadku narzędzie składało się z matrycy, stempła i docisku. Proces kształtowania wytłoczki będzie się odbywał w następującej sekwencji: najpierw docisk zamyka formatkę w matrycy, potem stempel kształtuje formatkę w matrycy. Zdefiniowano wartości sił pomiędzy dociskiem i matrycą.

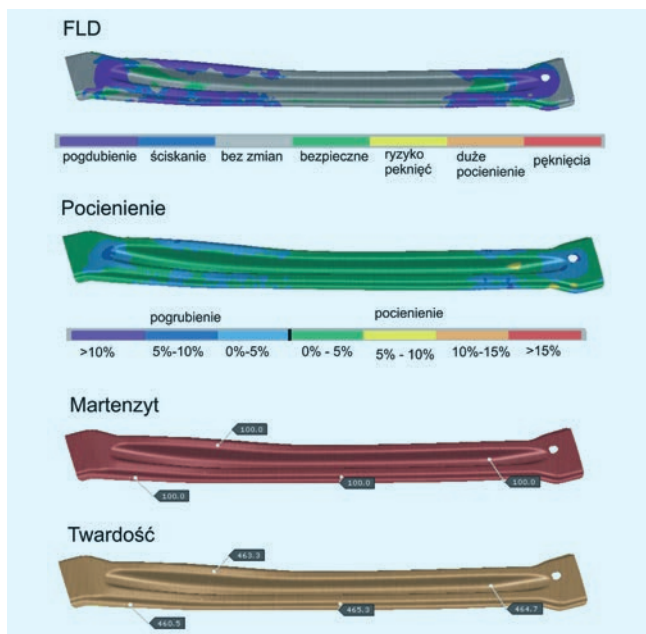
Założono także odpowiednie odległości pomiędzy elementami narzędzia. Aby zapobiec niekontrolowanemu przesuwaniu się formatki podczas tłoczenia, zaplanowano bazowanie formatki w matrycy na jej zarysie za pomocą kołków bazujących oraz w jednym technologicznym otworze. Dla tak zaplanowanej koncepcji narzędzia opracowano modele CAD matryc, stempli, docisków oraz kołków bazujących. Na rys. 8 przedstawiono model CAD narzędzia. Model poddano analizie w systemie Autoform.



Rys. 8. Model CAD narzędzia

### Wyniki analizy procesu tłoczenia na gorąco

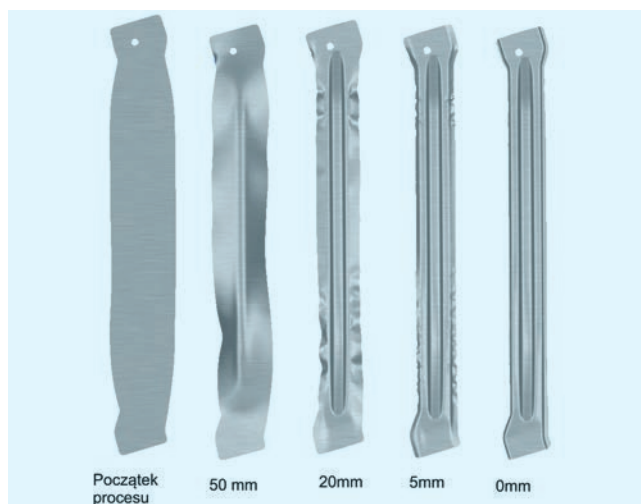
Na rys. 9 przedstawiono wyniki analizy. Są to warstwy FLD, warstwy zmiany grubości wytłoczki (pocienienie), warstwy martenzytu oraz warstwy twardości wytłoczki po zahartowaniu.



Rys. 9. Wyniki analizy procesu tłoczenia na gorąco

Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że nie zachodzi ryzyko pęknięć, ani nie ma tendencji do powstawania zmarszczek. Nie zaobserwowano także zbyt dużych pocienień wytłoczki. Wytłoczka została poprawnie zahartowana.

Na rys. 10 przedstawiono etapy formowania się wytłoczki.



Rys. 10. Etapy formowania się wytłoczki

### Wnioski

Współczesne konstrukcje karoserii samochodowych muszą spełniać szereg wymagań dotyczących bezpieczeństwa. Są one opisane w normach. Ze względu na wymagania ochrony środowiska samochody powinny mieć też jak najmniejszą masę. Projektując belkę drzwiową, powinno się uwzględnić następujące ograniczenia techniczne:

- założone gabaryty (model belki nie może wykraczać poza objętość graniczną),
- wytrzymałość belki (belka powinna mieć założoną sztywność),
- graniczną masę (masa belki nie powinna być większa od założeń),
- możliwość produkcji belki technologią tłoczenia na gorąco.

Ponieważ pewne ograniczenia są sprzeczne – np. zachowanie odpowiedniej wytrzymałości belki i zarazem dążenie do minimalizacji jej masy – do zaprojektowania belki i opracowania technologii jej wykonania wykorzystuje się najbardziej zaawansowane systemy CAD/CAE. Są to systemy do budowy modeli CAD, systemy do nieliniowych analiz wytrzymałościowych (LS-Dyna, Abaqus) oraz systemy do analiz procesów technologicznych tłoczenia na gorąco (PamStam, Autoform czy Dynaform). Inżynierowie, którzy projektują tego typu konstrukcje, muszą być wysokiej klasy specjalistami z zakresu wytrzymałości materiałów i technologii tłoczenia na gorąco.

**Badania zostały sfinansowane ramach działania POIR.02.01.00: Wsparcie inwestycji w infrastrukturę B+R przedsiębiorstw.**

### LITERATURA

1. Ming-Fu Li, Tzu-Shin Chiang, Jiun-Hau Tseng, Chia-Nung Tsai. „Hot stamping of door impact beam”. *Procedia Engineering*. 81 (2014): s. 1786–1791.
2. Shan Z.D., Ye Y.S., Zhang M.L., Wang B.Y. „Hot-stamping die-cooling system for vehicle door beams”. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 14 (2013): s. 1251–1255.
3. Turetta A., Bruschi S., Ghiotti A. „Investigation of 22MnB5 formability in hot stamping operations”. *J. Mater. Process. Technol.* 177 (2006): s. 396–400.
4. Turetta A., Ghiotti A., Bruschi S. „Investigation of 22MnB5 Mechanical and Phase Transformation Behaviour at High Temperature”. *IDDRG Conference, Proceedings*. (2007): s. 147–153.
5. Hein P., Wilsius J. „Status and innovation trends in hot stamping of USIBOR1500P”. *Steel Res Int.* 7, s. 85–91.
6. LSDyna help and tutorial.
7. Autoform help and tutorial.