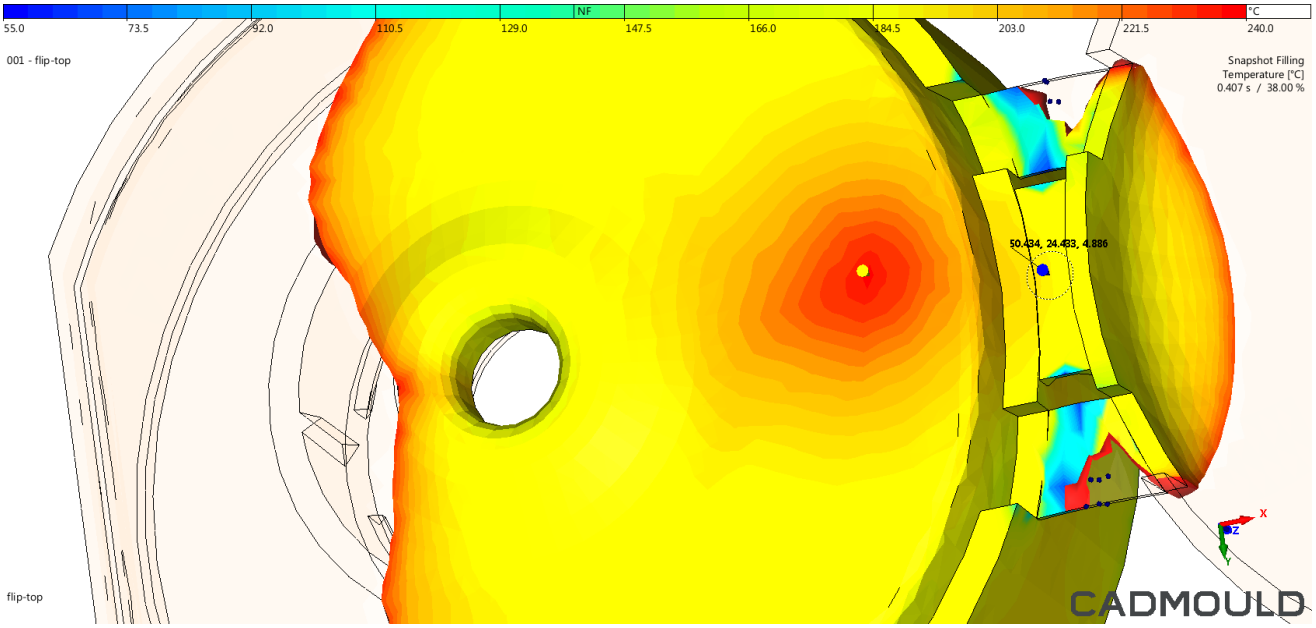
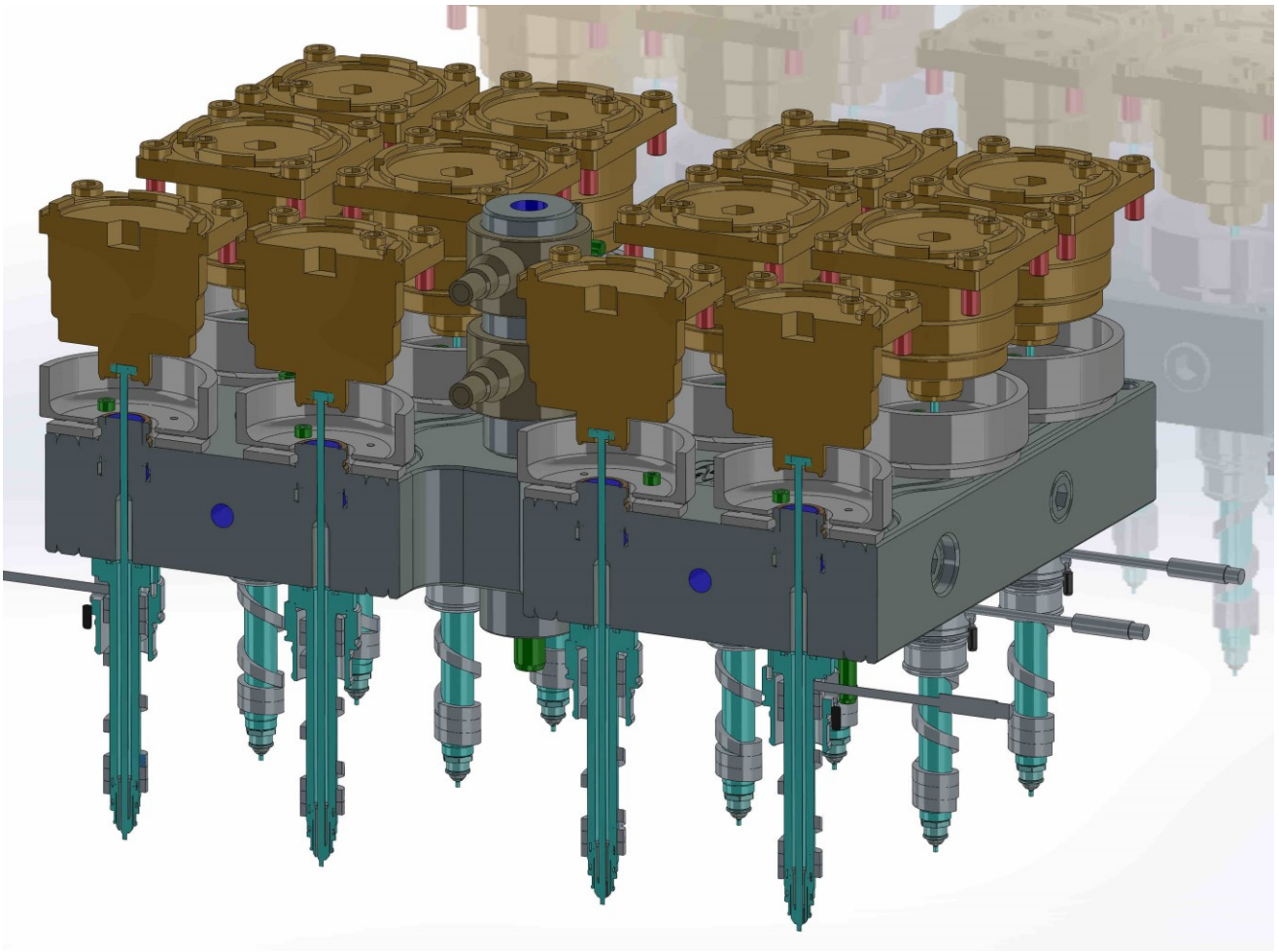
Jerzy Dziewulski

Formy wtryskowe

Integracja konstrukcji i technologii





Jerzy Dziewulski

Formy wtryskowe
Integracja konstrukcji i technologii

WADIM PLAST

Warszawa 2020

Copyright © 2020 Jerzy Dziewulski
All rights reserved

Wydawca Jerzy Dziewulski
Wydanie 1 Warszawa 2020

Ryzyko pomyłki zależy od poziomu wiedzy ale we wszelką wiedzę czerpaną z obserwacji wbudowane są pułapki. Dlatego naszą wiedzę wynikającą z doświadczenia powinniśmy weryfikować poprzez analityczne przewidywanie skutków naszych decyzji. Posłużę się tutaj pewną historią która dokładnie wyjaśni powyższe twierdzenie.
W odpowiedzi na straty alianckiej floty handlowej w początkach II wojny światowej, w 1941 roku w USA rozpoczęto masową produkcję tanich i łatwych w budowie statków transportowych, znanych jako statki typu Liberty. Zbudowano 2710 takich jednostek. Aby przyśpieszyć budowę, zamiast nitowania elementów kadłuba, zastosowano spawanie. W trakcie działań wojennych utracono 196 jednostek. Nie były to jednak wszystkie straty, ponieważ około 100 kolejnych jednostek zatonęło z powodu pęknięć konstrukcji, statki przełamywały się w tym samym miejscu. Powodem pęknięć było spawanie elementów konstrukcji. Przeprowadzone śledztwo wykazało, że spawy przyczyniały się do powiększania pęknięć i powstawał kruchy złom na wysokości całej burty. Mimo że w owym czasie i technika spawania i mechanika pękania były już rozpoznane to budowniczowie statku przenieśli swoje stare doświadczenia no nową technologię. Nie skorzystali z możliwości analitycznych do sprawdzenia jak zachowa się połączenie spawane w warunkach zmiennych obciążeń i niskich temperatur.

A już w latach dwudziestych XX wieku zdawano sobie sprawę z konieczności prowadzenia obliczeń konstrukcji. Może przytoczę fragment wstępu do podręcznika, WYTRZYMAŁOŚĆ MATERJAŁÓW-S.P.Timoszenko, napisany przez prof. Tytusa Hubera w 1920 roku:
„Przymusowym wywczasom w rosyjskiej niewoli zawdzięczam poznanie dzieł prof. S. P, Timoszenki, którego wybitne prace na polu mechaniki technicznej były mi przedtem znane z publikacji francuskich i niemieckich. Przy projektowaniu budowli i maszyn gra nader ważną rolę kwestja dobrania wymiarów dla oddzielnych części, czyli elementów konstrukcyjnych, iżby tę kwestję rozstrzygnąć, należy przede-wszystkiem określić siły zewnętrzne, które będą działać na konstrukcję, a następnie znaleźć z nich siły wewnętrzne, powstające w poszczególnych elementach. Dawni inżynierowie i architekci obchodzili się bez obliczeń. Przy obiorze wymiarów szli po omacku, drogą czystej empirji. Nowe budowle były zwykle kopjami dawniejszych. Typy budowli zmieniały powoli swój wygląd, a same budowle były niejako objektami doświadczalnemi. Skoro budowla nowego typu okazała się trwałą, to służyła za wzór dla następnych.
Znaczenie teorji i rola naukowego badania w technice wciąż wzrasta, co oczywiście wpływa na wymagania stawiane spółczesnemu inżynierowi i musi się odbić na stanie wyższego wykształcenia technicznego. Nie wystarcza już rzemieślnicze wyuczenie się, przygotowujące inżyniera do szablonowej pracy w jakiejkolwiek ciasnej specjalności; potrzeba także inżynierów-teoretyków z obszernem przygotowaniem naukowem i z uzdolnieniem do badań laboratoryjnych. Popyt na inżynierów tego typu zaznacza się zwłaszcza w krajach wiodących prym w przemysłowym rozwoju.”(pisownia oryginalna)

Wracając na nasze skromne podwórko, uważamy że prowadzenie analiz jest koniecznością i powinno zostać poparte w trudnych przypadkach eksperymentem. Dzisiejszy poziom techniki komputerewej pozwala stosunkowo łatwo przeprowadzić niezbędne obliczenia i symulacje w łatwo dostępnych programach komputerowych. Modelowana konstrukcja w 3D jest wsadem do programu MES i jeśli opanujemy podstawy, to bardzo szybko (jeśli poprawnie zamodelujemy warunki obciążenia i więzy) dostaniemy wiarygodne wyniki. Jeśli mimo to nie mamy zaufania do przeprowadzonych obliczeń, powinniśmy poprzeć nasze działania eksperymentem, np. budując uproszczoną formę próbną. Koledzy z WadimPlast bardzo często korzystają z takich możliwości dzięki czemu unikają poważnych katastrof.
Niniejsze opracowanie jest przykładem i argumentem do korzystania z dostępnych analiz strukturalnych i symulacji wtrysku. Szczególnie wtedy, gdy brakuje doświadczenia z nowym tematem ale nie tylko. Czytelnik zauważy że nawet w prostych przypadkach dochodzi do błędnych rozwiązań koncepcyjnych i związanych z tym niepotrzebnych kosztów. Jesteśmy zwolennikami aby przy każdej wyprasce prowadzić niezbędne analizy. Najpierw analiza, potem synteza a na końcu decyzja. I do takich działań próbuje przekonać czytelnika niniejsze opracowanie.

Autor

Spis treści

Część I - podstawy

1. koncepcja konstrukcyjna formy

2. Projektowanie formy wtryskowej opr. Paweł Dziewulski

3. Termika gorącego kanału

Część II – konkretne przypadki z praktyki przemysłowej

4. Formy na wypraski medyczne

5. Formy na pojemnik na próbki medyczne

6. Wykorzystanie stopów i stali wysoko przewodzących do skracania cyklu wtrysku

7. Forma na pokrywę wiadra 20L

8. Problemy z chłodzeniem wypraski w formie z gorącym kanałem

9. Badanie sztywności dużych form o złożonej kinematyce

10. Formy na smukłe wypraski

11. Jak balans wypełniania wypraski wpływa na wielkość wtryskarki

12.Rozwiązywanie problemów z deformacjami wyprasek przy pomocy programów symulacyjnych

13.Wykorzystanie programów symulacyjnych do analizy niesprawności form wtryskowych

14. Wpływ lokalizacji przewężki na wady wypraski

15.Opakowania cienkościenne – problem z deformacjami wyprasek

16. Modelowanie wypraski cienkościennej

17. Niszczenie faktur na wypraskach polimerowych

18. Analizy sprzężone

19. Ile kosztuje forma wtryskowa

Część I – podstawy

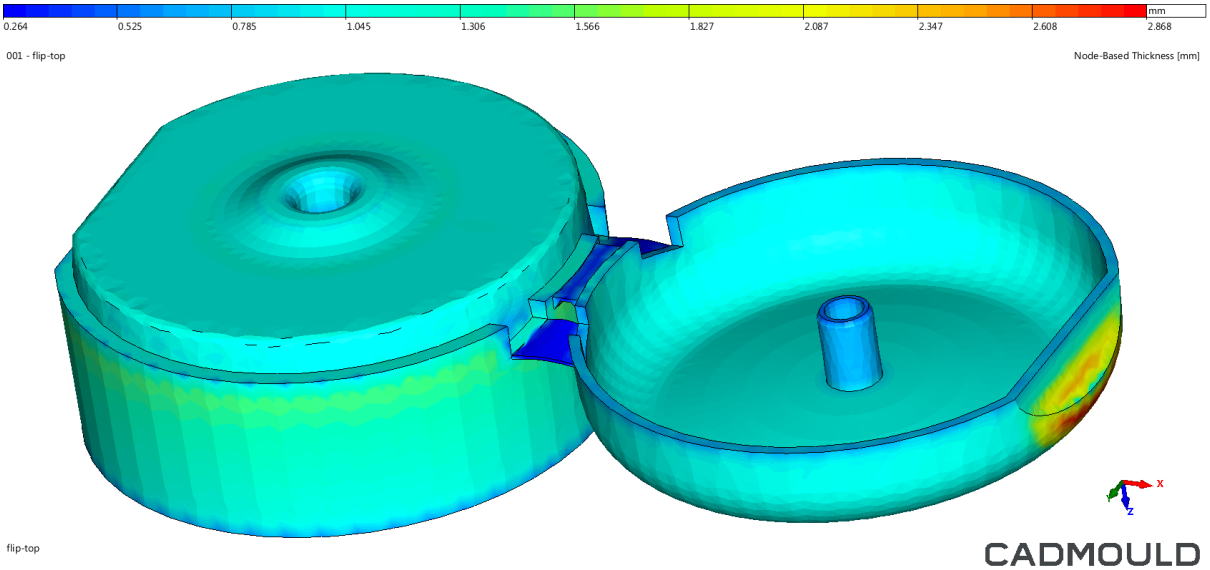
1 Koncepcja konstrukcyjna formy

Prawidłowo zbudowana forma wtryskowa pozwala narzędziowni i wtryskowni zaoszczędzić duże pieniądze albo mówiąc inaczej wypracować godziwy zysk. Należy zadać pytanie, co zrobić aby forma rzeczywiście pozwalała na efektywną produkcję wyprasek przy wysokiej niezawodności i krótkim cyklu. Już od kilku stuleci budowniczowie maszyn szukali uniwersalnej metody, która niskim nakładem kosztów i czasu, a więc unikając metody prób i błędów (metoda Edisona) pozwoli na stworzenie optymalnej maszyny. Współcześni konstruktorzy korzystają z szerokiej palety możliwości jak:

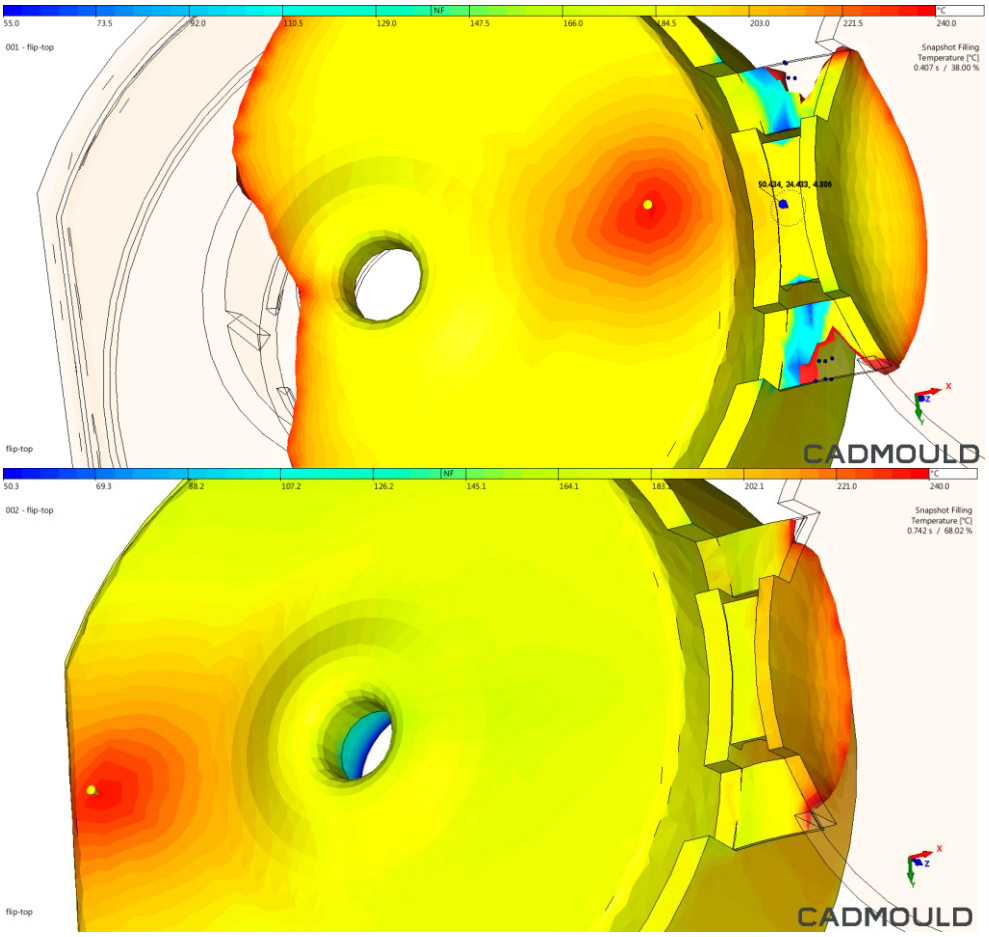
1- wiedza z wielu dziedzin techniki
2- doświadczenie i intuicja (ważne ale nie może być pułapką)
3- metoda czyli konstruowanie metodyczne

Nie negując 2 pierwszych warunków (są niezmiernie ważne) , uważamy że konstruowanie metodyczne powinno być szczególnie wykorzystywane dla optymalnego znajdowania rozwiązań technicznych przy budowie form. Rozróżniamy tutaj jakby 3 filary niezbędne do stosowania:
- znajomość technologii wtrysku
- znajdowanie odpowiedniej koncepcji konstrukcyjnej
- w trudnych przypadkach korzystanie z metod wypracowanych przez TRIZ – Teoria rozwiązywania problemów wynalazczych.

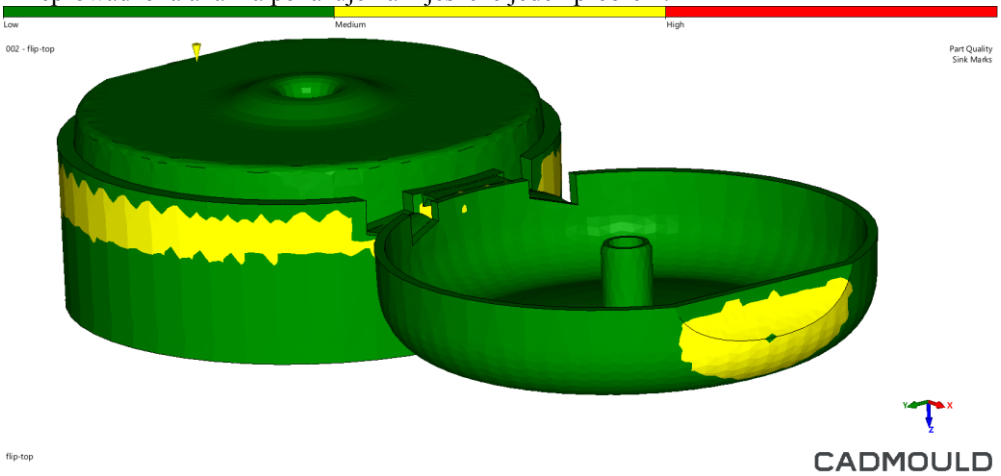
Znajomość technologii jako podstawa budowy formy wtryskowej
Nie można skonstruować dobrego narzędzia jeżeli konstruktor nie posiada wiedzy technologicznej o zjawiskach jakie zachodzą podczas procesu wtryskiwania i nie przeprowadza odpowiednich analiz. Poznanie technologii w stopniu zadowalającym nie jest prostym zadaniem, np. w firmie WadimPlast większość konstruktorów pracuje na wtryskowni od pół roku do roku a dopiero po takiej praktyce przechodzi do działu konstrukcyjnego. Można wiedzę technologiczną spróbować opanować w inny sposób np. poprzez korzystanie z programów eksperckich (zaawansowane kalkulatory) i symulacyjnych. Autor zetknął się z następującymi kalkulatorami jak: MA Chłodzenie, WinCool, Calcmaster, Proset i używa je do analiz wstępnych. Programy do symulacji jak Moldflow, Moldex, Cadmould dają ogrom informacji o procesie wtrysku a jednocześnie zapoznają z technologią. Autor od początku korzysta z programu Cadmould i wszystkie wypraski, formy i systemy GK są analizowane przy pomocy tego programu.
Na prostym przykładzie pokażemy jak ważna jest znajomość wiedzy technologicznej przy budowaniu formy. Dla produkowanych w setkach milionów wyprasek typu fliptop, zastanowimy się nad optymalną lokalizacją wlewka.



Wypraska to typowy fliptop o grubościach ścian od 0,3 mm dla zawiasu, do 2,9 mm lokalnie dla klapki. Zwykle spotykamy 2 sposoby zasilenia wypraski: albo blisko zawiasu albo najczęściej stosowany po przeciwnej stronie zawiasu. Który sposób jest właściwy?



Jak widać na wyższym obrazku, wtrysk blisko zawiasu powoduje taki spadek temperatury płynącego frontu że dochodzi do zamarzania stopu w zewnętrznych fragmentach zawiasu i zatrzymania płynącego frontu. W efekcie niedolany fragment zasilany jest poprzez zawias środkowy, tworzy się zimna linia łączenia której wytrzymałość jest znikoma. W tym miejscu zewnętrzne fragmenty pękają po kilku przegięciach a z doświadczenia wiemy że integralne zawiasy z PP wytrzymują milion i więcej przegięć.
Na niższym obrazku widać że wtrysk jest doprowadzony możliwie najdalej od zawiasu. Przy takim zasileniu wypraski nie dochodzi do negatywnych zjawisk związanych z przepływem stopu i nasz zawias wytrzyma miliony otwarć.
Istnieją sytuacje że ze względu na geometrię wypraski i inne wymagania musimy zasilić fliptop blisko zawiasu. Jak sobie poradzić z takim problemem? Jeśli zaczniemy wtryskiwać z coraz większą prędkością, to zauważymy że przy pewnej dużej prędkości zawias zaczyna wypełniać się prawidłowo. Wtedy mogą spotkać nas inne niedogodności: może się okazać że nasza wtryskarka nie jest w stanie osiągać żądanej prędkości wtrysku, zaczną się kłopoty z odpowietrzaniem gniazda, pojawi się konieczność zwiększenia średnicy przewężki. To wszystko znajdziemy w wynikach symulacji a jej wielokrotne powtórzenie na pewno nie zabierze tyle czasu i energii co podczas prób na wtryskarce.
Przeprowadzona analiza pokazuje nam jeszcze jeden problem.



W miejscach gdzie ścianki są najgrubsze dojdzie do zapadnięć lub jam skurczowych. I tak się stało – w zaczepie usytuowanym na końcu klapki powstały jamy skurczowe w postaci widocznych pęcherzyków. Na prześwitującym PP ten defekt był dla klienta niedopuszczalny.

Jakie wnioski możemy wyciągnąć z tego prostego przykładu?
Znajomość wiedzy technologicznej (tym razem szybko nabyta dzięki symulacji), pozwala zrozumieć zjawiska jakie towarzyszą procesowi. A zrozumienie pozwala podejmować właściwe decyzje. Na podstawie w/w przypadku możemy sformułować 3 ważne ogólne zasady:
1- jeżeli to możliwe wypraska powinna posiadać wszystkie ściany o jednakowej grubości
2– wypraskę należy wtryskiwać w najgrubszą ścianę
3– przewężka powinna być zawsze zlokalizowana jak najdalej od najcieńszej ściany

Tych zasad powinniśmy trzymać się zawsze, jeśli od nich odejdziemy, narazimy się na kłopoty.

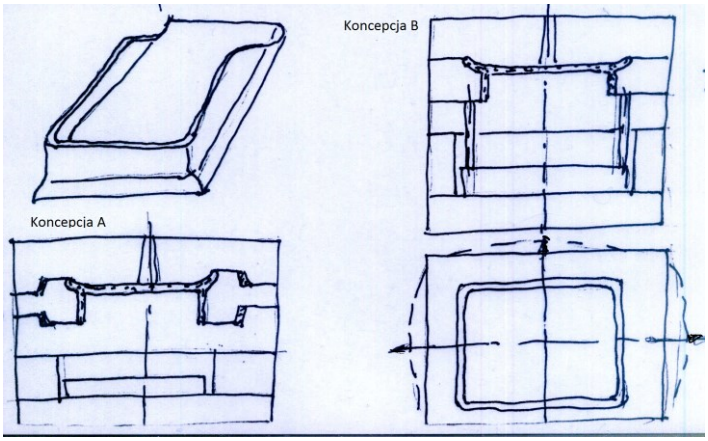
Prawidłowa koncepcja pozwoli zbudować lepszą formę

Konstruowanie form wtryskowych podlega tym samym zasadom co projektowanie maszyn i urządzeń. Zgodnie z nauką konstrukcji wypracowaną przez wielu badaczy i genialnych praktyków, proces konstruowania składa się z kilku etapów. P I Orłow w swojej książce – Zasady konstruowania w budowie maszyn – proces konstruowania dzieli na 4 etapy:

- uściślanie sformułowania zadania
- przygotowanie projektu koncepcyjnego
- przygotowanie projektu konstrukcyjnego
- przygotowanie projektu realizacyjnego

Bardzo ważnym fragmentem tego procesu jest projekt koncepcyjny; dlaczego?
Prof. Janusz Dietrich w swoim dziele – System i konstrukcja – podkreśla wagę koncepcji ujmując to krótkim stwierdzeniem, **jaka koncepcja taka konstrukcja.** Jeśli przyjmiemy niedoskonałą lub błędną koncepcję to już nic nie uratuje naszej konstrukcji. Spróbujemy to wyjaśnić na przykładzie.

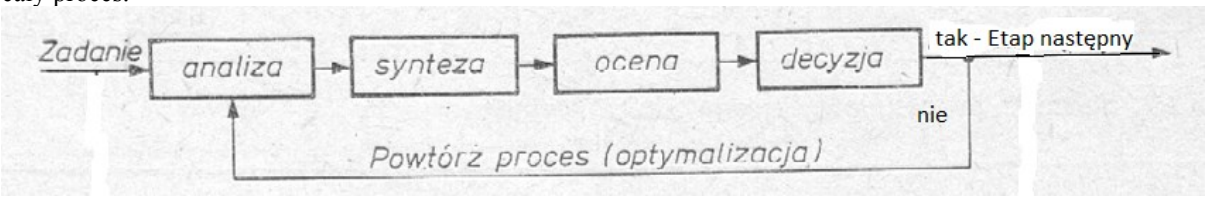
Rozważmy koncepcję formy na szufladkę biurową z PS na kartki formatu A4.



W narzędziowni starły się 2 koncepcje, prawie zwyciężyła koncepcja B jako mniej pracochłonna. Na szczęście znalazł się uparty konstruktor który przeforsował rozwiązanie A. Jak to w narzędziowni, termin oddania formy opóźnił się i klient zażądał chociaż kilku wyprasek aby zaprezentować je dużej hurtowni. Forma w zasadzie była gotowa ale nie zdążono jeszcze zaryglować płyty (ramy) formującej boczne ściany szuflady, która to rama jednocześnie spełniała rolę płyty spychającej. Po pierwszym pełnym wtrysku, wypraski nie udało się zepchnąć ze stempla. Przez dwa dni wydłubywano/wytapiano wypraskę ze szczeliny pomiędzy stemplem a płytą spychającą. Dlaczego tak się stało?
Pod wpływem ciśnienia wtrysku niepodparta rama spychająca wygięła się i zacisnęła na wyprasce (patrz szkic wyżej). Mały skurcz PS nie był w stanie skompensować ugięć ramy. Forma zachowała się tak jakby była zbudowana wg. koncepcji B. Na szczęście dla narzędziowni, forma dzięki wykonaniu w koncepcji A, mogła po prawidłowym zakończeniu montażu ruszyć z normalną produkcją

Teraz musimy zadać sobie pytanie, jaka jest przyczyna że powstaje niewłaściwa koncepcja a zatem i konstrukcja. Odpowiedź brzmi, dlatego że zrezygnowaliśmy z budowania wariantów i jakichkolwiek analiz. Proces szukania optymalnego rozwiązania jest działaniem iteracyjnym – znowu zacytuję prof. Dietrycha który proponuje tzw. Konstruowanie metodyczne – co można krótko sformułować – **przez analizę do syntezy –** którą to metodę polecamy przy konstrukcji form wtryskowych.
Zasada postępowania metodycznego z której powinniśmy korzystać:
- **analiza** - *rozpoznawanie, definiowanie, porządkowanie* czyli rozbicie zadania na poszczególne problemy cząstkowe
- **synteza** - zespalanie elementów i rozwiązań cząstkowych w działający system całościowy

- **ocena** - ocena koncepcji stworzonej podczas zabiegu syntezy, polega na zbadaniu – często tylko myślowym – czy proponowane rozwiązanie spełnia wymagania i czy jest zgodne z przyjętymi kryteriami
- **decyzja –** jeśli **tak** idziemy krok dalej, jeśli **nie** to zmieniamy koncepcję, wracamy do analizy i powtarzamy cały proces.

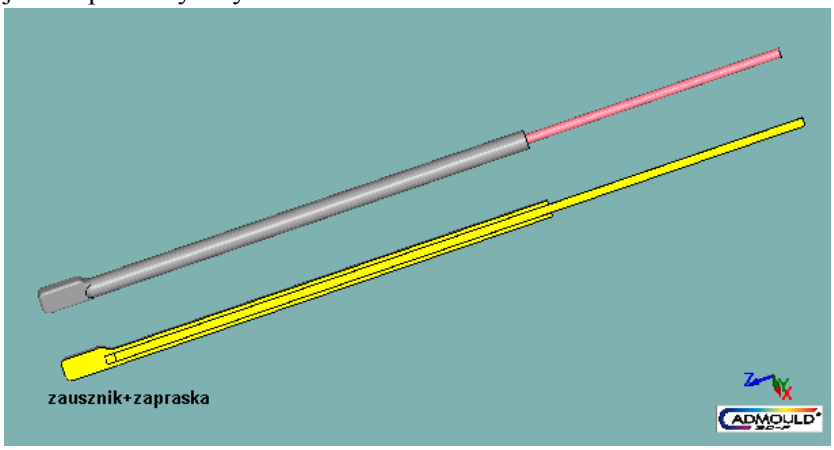


A więc musimy przejść przez wiele wariantów, każdy podlega analizie w wyniku której poprawiamy lub zmieniamy nasze koncepcje.
Analiza i synteza są nieodłączną częścią każdej pracy twórczej i badawczej, czyli również i konstruowania. W procesie konstruowania na ogół **synteza**, czyli szukanie rozwiązania, następuje po uprzednim zbadaniu problemu lub jego części składowych w procesie **analizy**.

TRIZ – sposób na pokonanie inercji umysłu

Są jednak problemy które nie dadzą się rozwiązać zadowalająco podaną wyżej metodą. Wtedy musimy sięgnąć po metody takie jak np. TRIZ. Gienrich Altszuler w swojej ciekawej książce *Elementy teorii twórczości inżynierskiej* wyjaśnia istotę metody TRIZ. Rzecz polega na przezwyciężeniu sprzeczności technicznej za którą kryje się sprzeczność fizyczna. W książce podano kilkaset przykładów rozwiązywania problemów inżynierskich tą metodą.

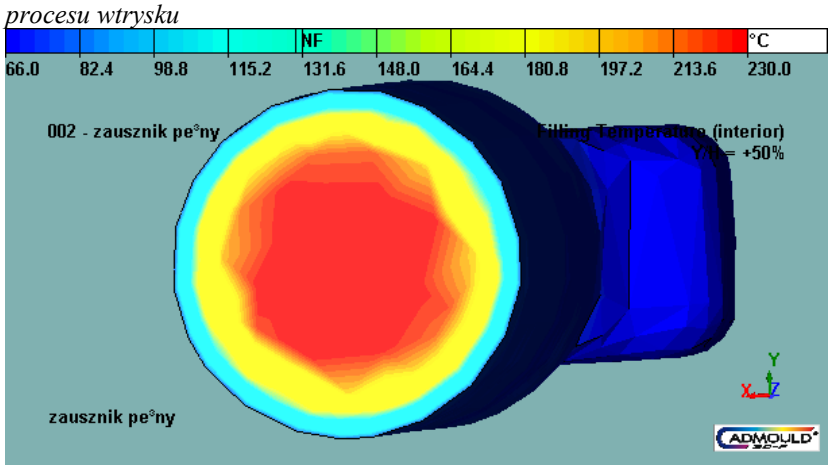
Spróbujmy zastanowić się nad wykonaniem zausznika do okularów którego budowa przedstawiona jest na poniższym rysunku.



Wypraska to rurka fi1,5xfi3x70 wewnątrz której znajduje się drut fi1,5 mm.
Jeśli narzędziowiec dostaje taki temat to koncepcja formy narzuca się mu natychmiast – drut jest zapraską wprowadzoną do gniazda formy po czym następuje wtrysk tworzywa. Technologia obtrysku zaprasek znana jest od kilkudziesięciu lat i opanowana perfekcyjnie przez wiele firm.
Pójście tą drogą skończy się jednak niepowodzeniem, wiotka zapraska podczas płynięcia stopu przez gniazdo będzie się przemieszczać na boki aż do styku z formą.
Do rozwiązania problemu spróbujemy wykorzystać jedną z metod ARIZ (G.S.Altszuler)i trochę wiedzy z technologii wtrysku. Zastosowana metoda porządkuje kolejne kroki i naprowadza nas na właściwe rozwiązanie.

I Uściślenie sformułowania zadania – *musimy uzyskać wyrób w postaci pręta plastykowego z drutem wewnątrz.*
II Stadium analityczne
1. Krok. Sformułować Idealny Wynik Końcowy (IWK).Odpowiedzieć na pytanie:
co chcemy otrzymać w przypadku idealnym? - *pręt plastykowy z drutem wewnątrz ustawionym w osi pręta.*
2. Krok. Określić, co przeszkadza w drodze do osiągnięcia IWK, w czym tkwi przeszkoda? – *drut jest zbyt wiotki.*
3. Krok. Ustalić, dlaczego przeszkadza? (Odpowiedzieć na pytanie: „w czym tkwi bezpośrednia przyczyna istnienia przeszkody?") - *podczas obtrysku nastąpi przemieszczenie drutu na boki.*
4. Krok. Ustalić: w jakich warunkach udałoby się zrealizować IWK, czyli: „w jakich warunkach zniknie przeszkoda?" – *przeszkoda zniknie jeśli gniazdo formy wypełnimy bez drutu a następnie włożymy drut do gniazda.*
III. Stadium operacyjne

1. Krok. Sprawdzić możliwość usunięcia sprzeczności technicznej metodą zmiany danego obiektu (maszyny, mechanizmu, procesu), wykorzystując tabelę typowych „chwytów" wynalazczych– *w tabeli podano nast. chwyt-spowodować zmianę stanu skupienia części obiektu*
2. Krok. Sprawdzić możliwość dokonania zmian w otoczeniu obiektu i w innych obiektach, współpracujących z danym – *dokładne przyjrzenie się fazie wypełniania formy pokazuje że zmiana stanu skupienia jest specyfiką procesu wtrysku*

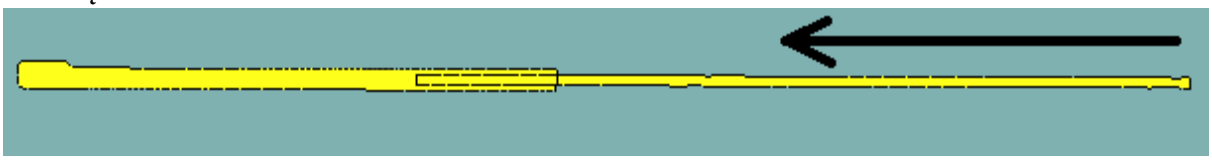


Stan skupienia polimeru po wypełnieniu formy - warstwa zakrzepnięta na zewnątrz-kolor niebieski warstwa płynna wewnątrz -kolor żółty i czerwony.

IV. Stadium syntetyczne

1. Krok. Zbadać, jak powinny zostać zmienione inne elementy danego obiektu po wprowadzeniu zmiany w obiekt zasadniczy – *należy zsynchronizować wsuwanie drutu do pręta w odpowiednim momencie.*
2. Krok. Zbadać, jak powinny zostać zmienione obiekty współpracujące z danym – *drut musi oczekiwać w pobliżu gniazda w takim miejscu aby było możliwe jego wsunięcie.*
3. Krok. Zbadać możliwości wykorzystania zmienionego obiektu dodatkowo, w inny sposób – *forma powinna współpracować z podajnikiem drutu a podajnik musi zostać zsynchronizowany z cyklem wtryskarki.*

Rozwiązanie

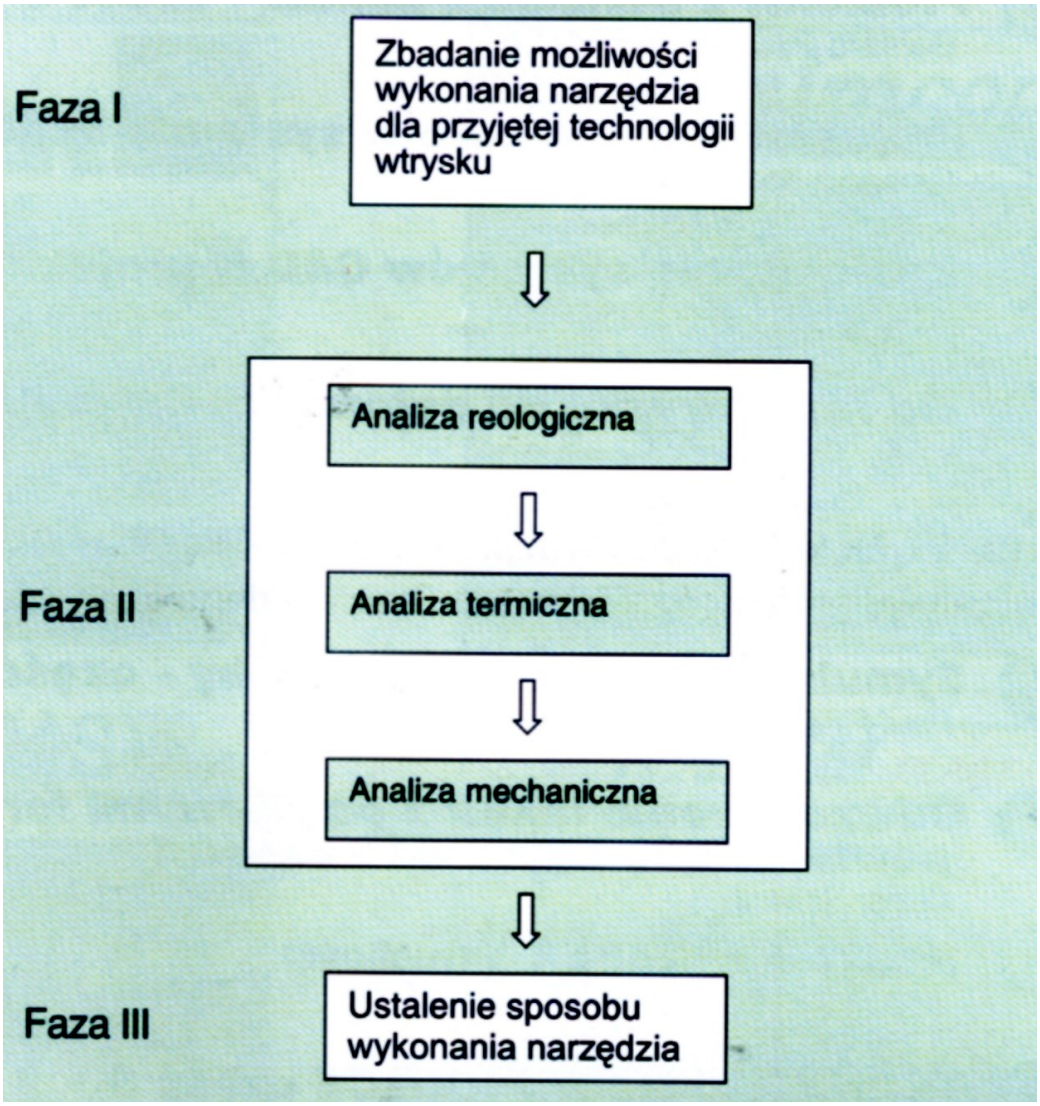


Po wtryśnięciu pełnej wypraski następuje wsunięcie drutu do gniazda formy. Zakrzepniete tworzywo na ściankach wypraski jest prowadnicą, po której slizga się drut utrzymując go w osi wypraski.

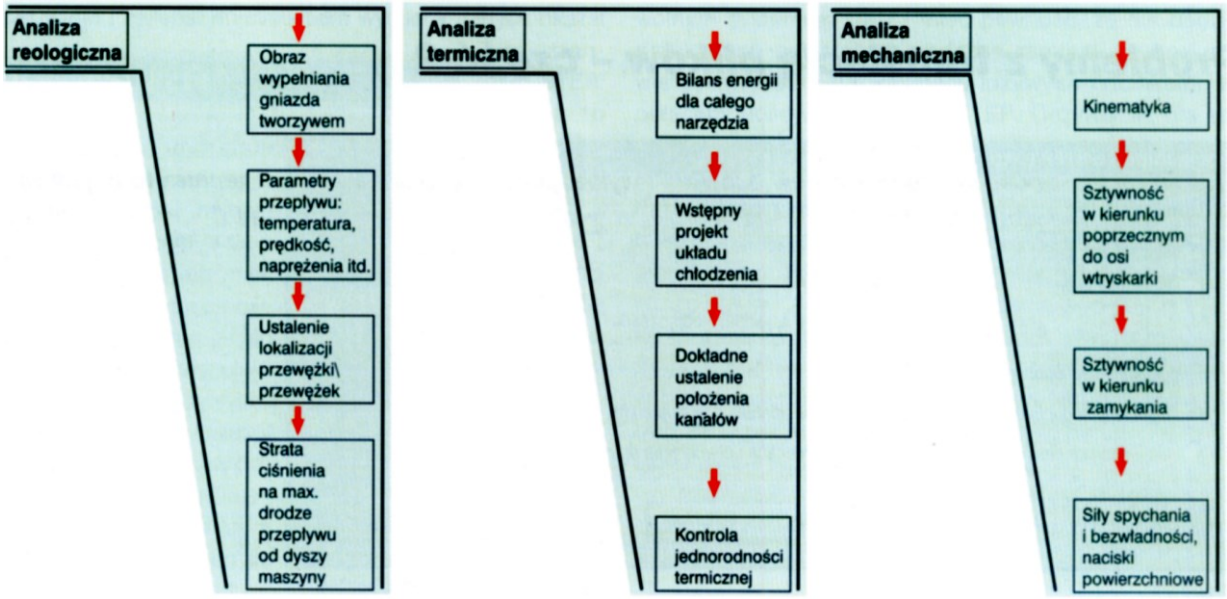
Daje się zauważyć że szukanie rozwiązania w sposób tradycyjny, czyli metodą prób i błędów albo zajełoby dużo czasu albo skończyłoby się fiaskiem.
Istnieją programy które pomagaję przejść przez proces znajdowania rozwiązania jak np. TRIZ Explorer.
Informację o tym programie można znaleźć pod https://triz-journal.com/review-triz-explorer-software/
Proponuję zajrzeć na stronę https://invention-machine.com/ i zapoznać się z programem Goldfire 4.5 .

2 Konstruowanie formy wtryskowej opr. Paweł Dziewulski

Wykonanie formy jest procesem czasochłonnym, a przede wszystkim dość kosztownym. Koszty te mogą ulec dodatkowemu zwiększeniu na skutek dodatkowych poprawek i modyfikacji.
Konstruowanie „dobrej formy" nie powinno skupiać się jedynie na jej rozwiązaniach mechanicznych, ale powinno być poparte wcześniejszymi analizami: reologiczną , termiczną i mechaniczną ,przeprowadzonymi drogą symulacji komputerowej (rys.1 i2).



Rys.1. Kolejność przy projektowaniu formy wtryskowej.



Rys.2. Szczegółowe etapy Fazy II.

Symulacja lepsza od próby

Symulacje komputerowe przyjęły się już na całym świecie jako podstawowe narzędzie do rozwiązywania różnorodnych problemów techniki.
W przetwórstwie tworzyw sztucznych za ich pomocą możemy obliczyć fazę wypełniania gniazd, fazę docisku i chłodzenia, jak również analizować deformację wypraski w trakcie chłodzenia w formie i po jej usunięciu.

Powodów, dla których powinno się stosować programy do symulacji procesów wtrysku można wymienić wiele. Do najważniejszych zaliczyć należy względy ekonomiczne oraz jakościowe.

Do aspektów ekonomicznych zaliczymy:

-redukcję liczby prototypów fizycznych,
-oszczędność materiału dzięki optymalizacji konstrukcji wyrobu,
-krótszy czas przygotowania produktu – mniej modyfikacji związanych z dobraniem parametrów procesu,
-minimalizację czasu cyklu przez, np. skracanie czasów chłodzenia przeciętnie o 10-15%,
-minimalizację potrzebnej siły zamykania formy.

Do aspektów jakościowych zaliczymy:

-możliwość analizy miejsc, w których przewiduje się występowanie problemów,
-rozwiązanie problemów już na etapie projektu, jeszcze przed wykonaniem formy,
-określenie linii łączenia strug tworzywa oraz zapobieżenie powstawania miejsc zamykania powietrza,
-optymalizacja doboru odpowiedniego tworzywa dla wypraski,
-zaprojektowanie odpowiedniego systemu kanałów wtryskowych,
-zwiększenie dokładności wyrobów,
-analiza skurczu oraz wypaczeń – zachowanie wymaganej tolerancji wymiarów.

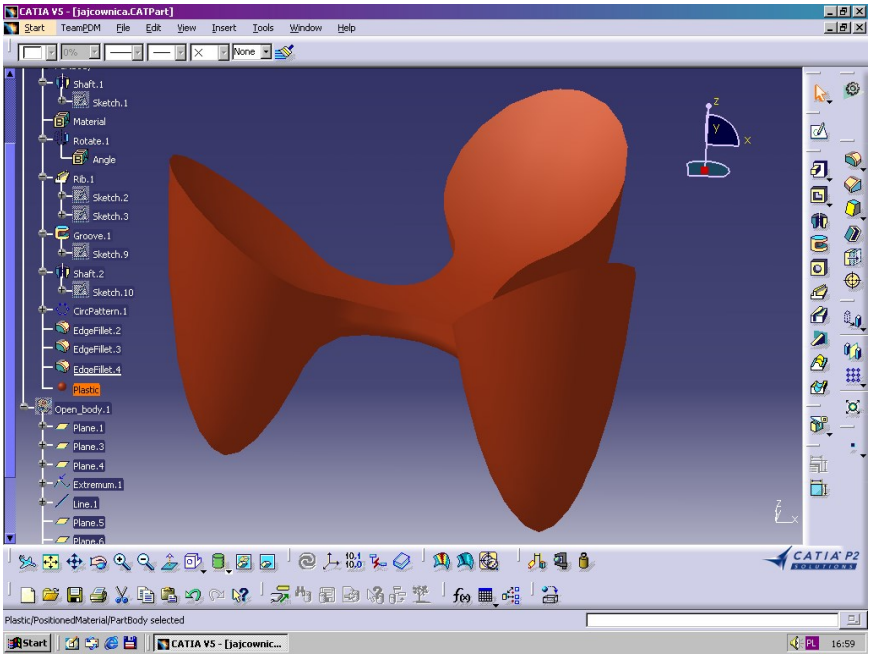
Zalet jest wiele, należy jednak pamiętać, że programy symulacyjne tworzone są po to, by wspomóc pracę konstruktora i technologa. Ich celem nie jest całkowite wyeliminowanie pracy człowieka. To człowiek interpretuje wyniki i podejmuje ostateczną decyzję oraz jest odpowiedzialny za jej skutki.

Konstrukcja formy wtryskowej czterogniazdowej gorącokanałowej

Zgodnie z tym co zostało napisane we wstępie, coraz częściej praca konstruktora wyrobu oraz formy wspomagana jest przez zaawansowane metody numeryczne, pozwalające na symulację procesu wtrysku z uwzględnieniem wszystkich istotnych jego parametrów oraz analizy mechaniczne pozwalające między innymi na sprawdzenie sztywności narzędzia.

Analiza wypraski

Obiektem analizy jest detal przedstawiony na rys.3.



Rys.3.Wypraska

Dane detalu:

objętość wypraski – 10387 mm3
masa wypraski – 9,35 g
materiał wypraski – polipropylen

Symulacje

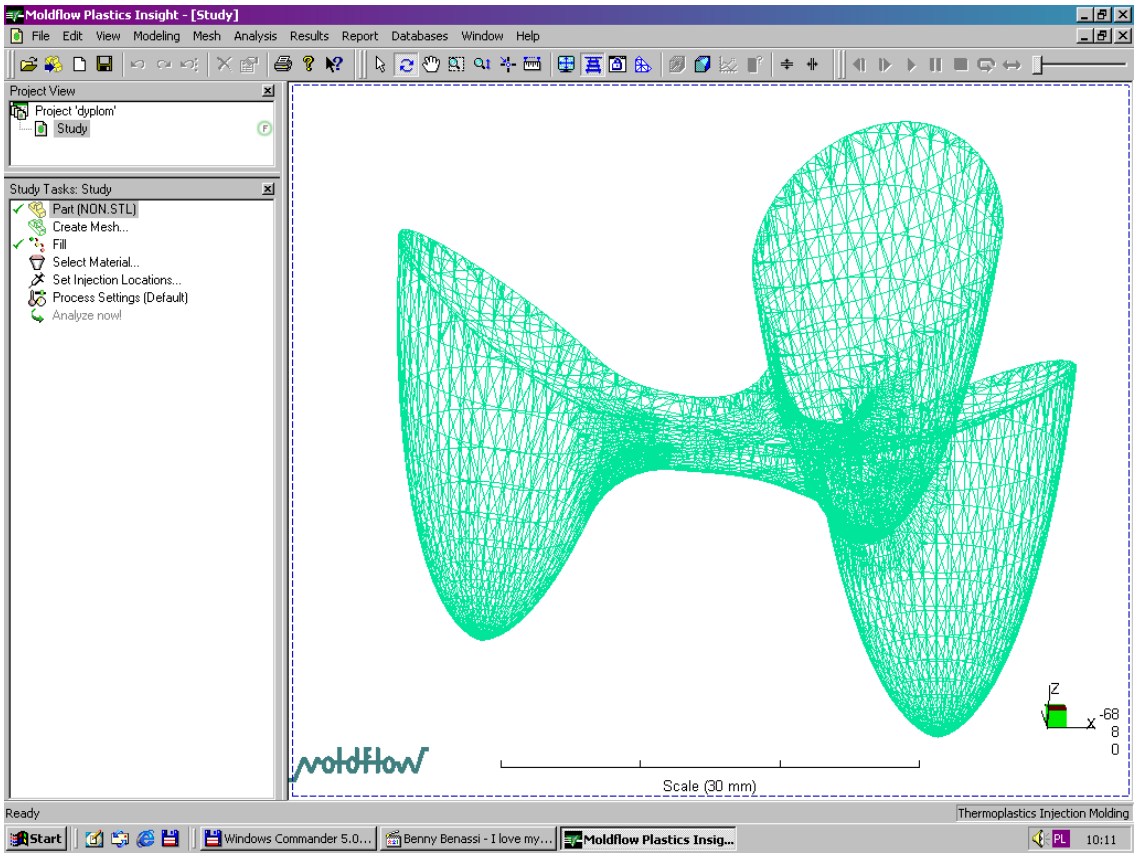
Analiza reologiczna i termiczna

Aby przystąpić do analizy reologicznej na drodze komputerowej symulacji wtrysku należy najpierw przygotować model numeryczny wypraski.

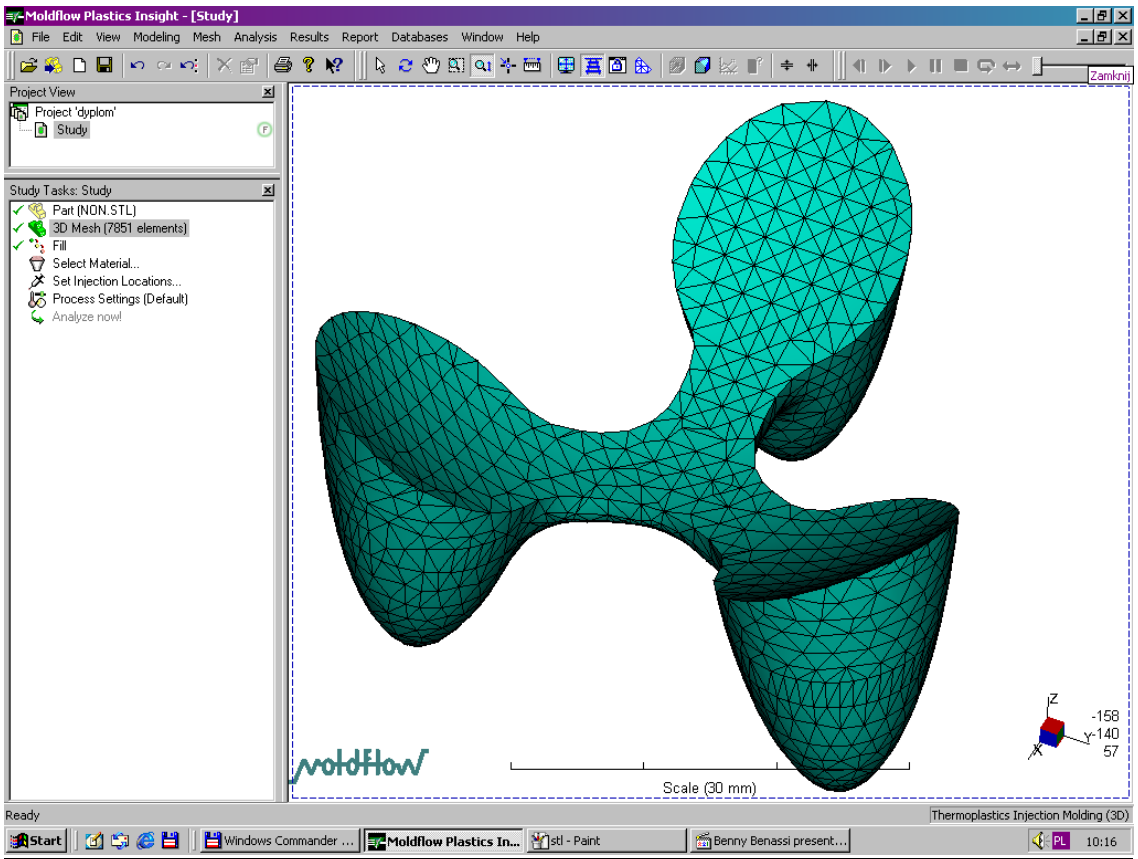
Nie jest to trudne zadanie ponieważ większość programów CAD potrafi zapisać stworzony w nim model 3D w postaci zapisu powierzchniowego STL. Format STL jest na tyle uniwersalny, że większość programów do komputerowej symulacji wtrysku jest w stanie go przeczytać i na jego podstawie wygenerować model numeryczny.

W programie CATIA został narysowany model wypraski (rys.3) a następnie na podstawie zapisu STL został wygenerowany model 3D (objętościowy) do symulacji w programie Moldflow Plastic Insight (rys.4 i 5).

Wygenerowany model jest objętościowy gdyż wypraska jest grubościenna i pracowanie na innych typach modeli numerycznych (midplane i powłokowych) mija się z celem. Symulacje na „nieodpowiednich" modelach mają się nijak do rzeczywistości, a przecież sensem stosowania jakichkolwiek symulacji komputerowych, nie tylko wtrysku, jest symulowanie i śledzenie rzeczywistych zjawisk na ekranie monitora.



Rys.4.Model STL (powierzchniowy). – **<u>to nie jest jeszcze model numeryczny!!!</u>**

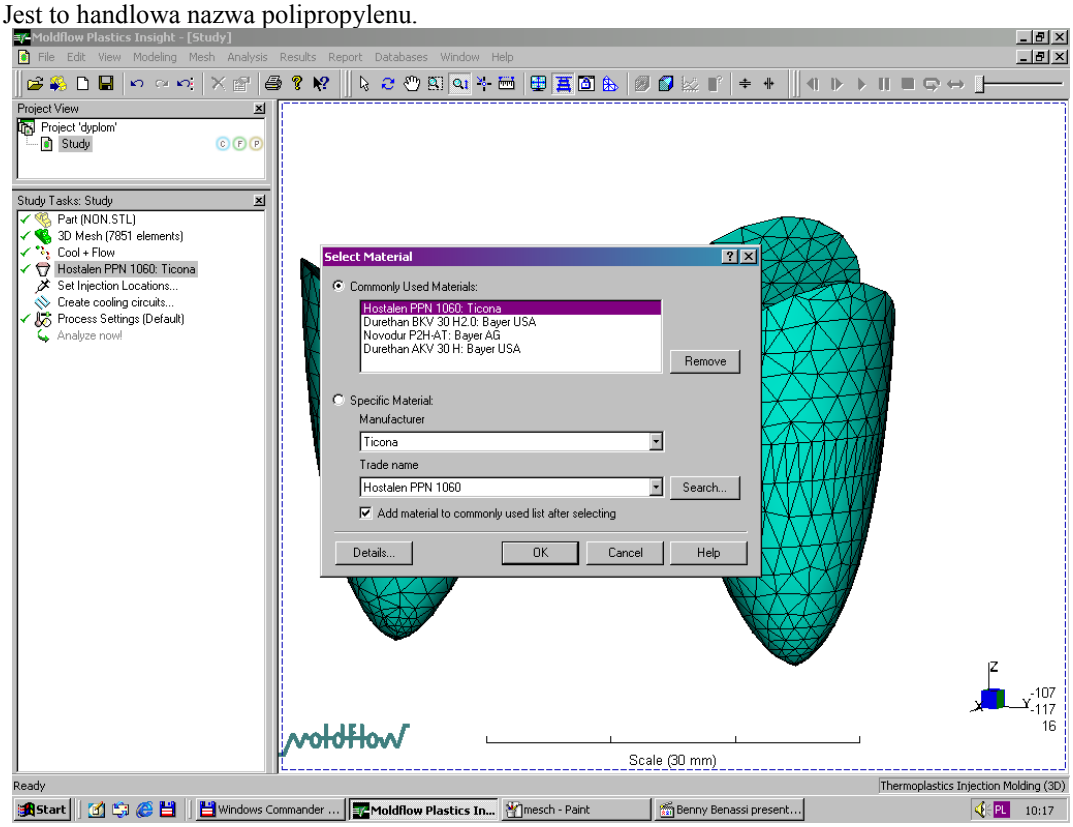


Rys.5.Model objętościowy podzielony na elementy skończone (3D Mesh). **<u>To jest model numeryczny!!!</u>**

W przypadku każdej symulacji wtrysku niezmiernie ważne jest posiadanie pełnych i dokładnych danych materiałowych polimeru, do których należą:

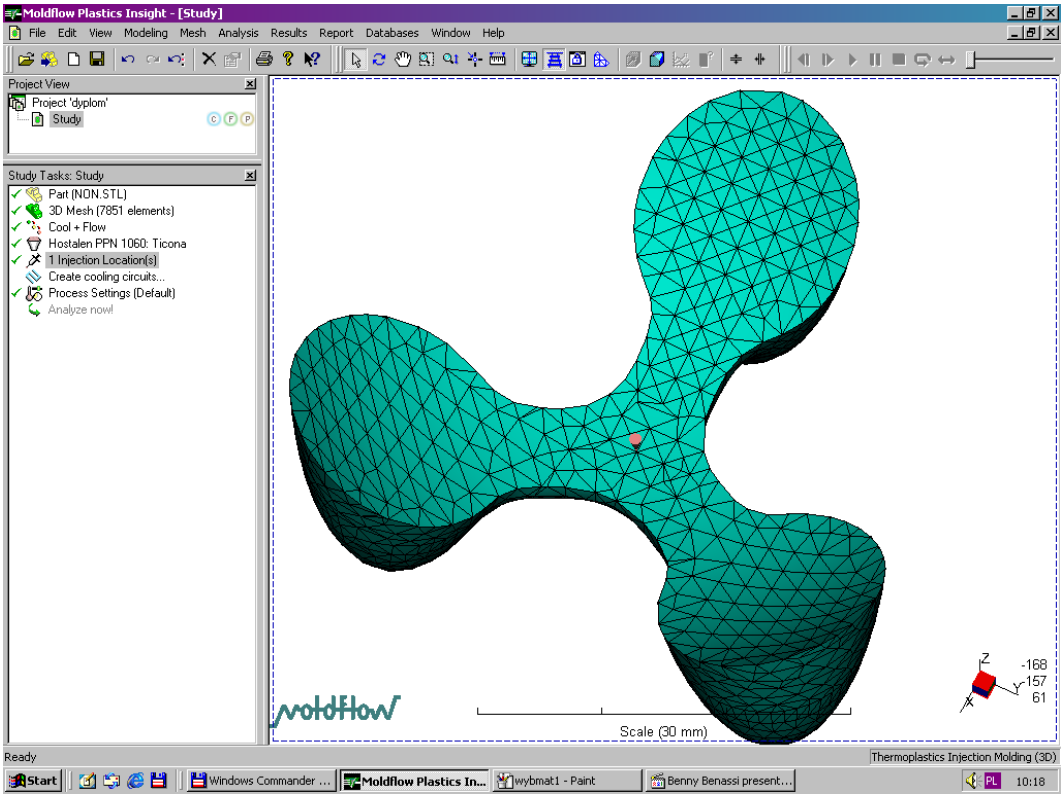
-model lepkości (Cross-WLF)
-model pvT
-model skurczu
-przewodność cieplna
-ciepło właściwe
-moduł Youngea
-współczynniki Poissona itp.

Z praktycznego punktu widzenia skompletowanie wszystkich tych informacji jest bardzo trudne, dlatego w programie Mold Flow dołączona jest baza materiałowa zawierająca ponad 7000 tworzyw sztucznych (Rys.6) W rozważanym przypadku w bazie materiałowej znajdowała się informacja na temat tworzywa Hostalen PPN 1060. Jest to handlowa nazwa polipropylenu.



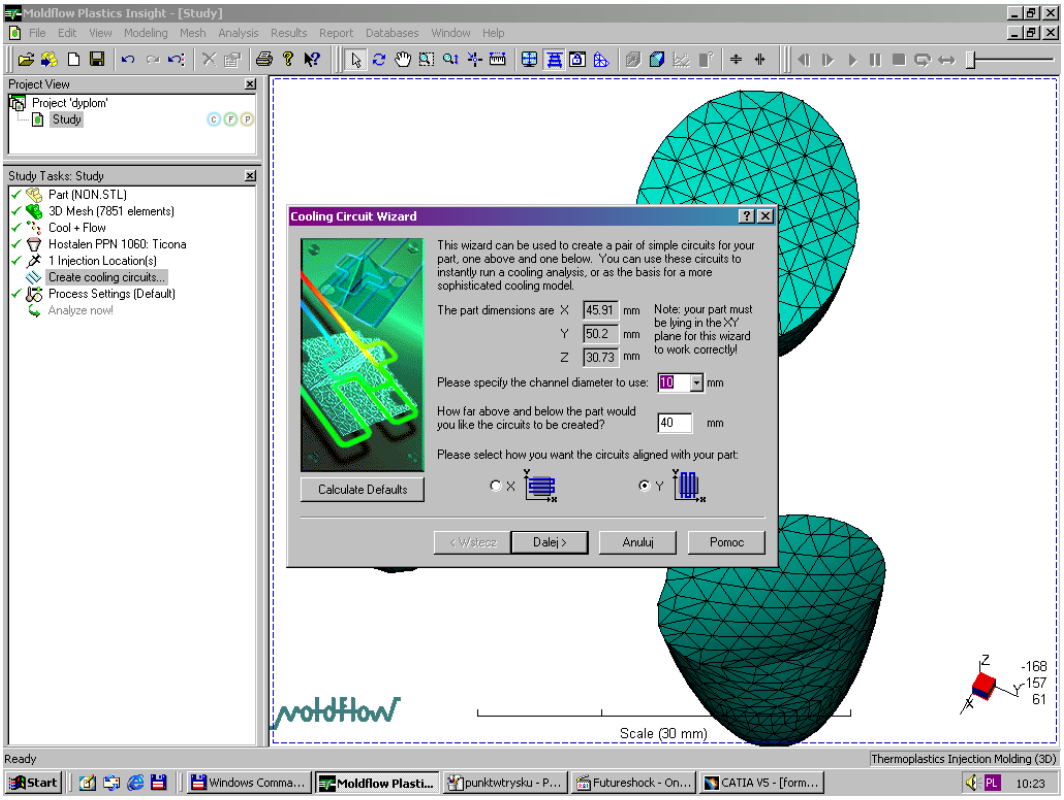
Rys.6.Wybór materiału z dostępnej bazy materiałów.

Następnym krokiem jest wskazanie punktu wtrysku, odpowiadającego końcówce dyszy wtryskowej, gorącokanałowej (rys.7).



Rys.7.Miejsce wtrysku zaznaczone jest czerwonym stożkiem.

Analiza, która została przeprowadzona składa się z 3 faz:
-fazy wtrysku (fill),
-fazy docisku (pack),
-fazy chłodzenia (cool),
zatem konieczne było zdefiniowania układu chłodzenia (rys.8, 9 i 10)
oraz wprowadzenie niektórych parametrów procesu (rys.10 i 11).



Rys.8.Definiowanie układu chłodzenia za pomocą Cooling Circuit Wizard.

Definiowanie układu chłodzenia sprowadza się do określenia ilości kanałów chłodzących, ich średnicy, odległości nad i pod wypraską, odległości od siebie oraz do określenia parametrów cieczy chłodzącej takich jak : typ cieczy, temperatura, natężenie przepływu (rys.10).

Geometrię kanałów można oczywiście wprowadzić „ręcznie", bez użycia Cooling Circuit Wizard lecz jest to dość kłopotliwe i sprawdza się dopiero wtedy gdy mamy do czynienia ze skomplikowaną geometrią.

Ułożenie i wymiary kanałów chłodzących w żadnym razie nie mogą być przypadkowe. Warunki w jakich chłodzona jest wypraska wpływają bowiem na strukturę materiału, a więc i na jego właściwości wytrzymałościowe, skurcz, wygląd powierzchni itp.. Niezbyt gwałtowne i równomierne chłodzenie wypraski minimalizuje powstanie naprężeń szczątkowych. Dzięki temu unika się deformacji wypraski, co jest istotne dla uzyskania założonej geometrii i jakości wyrobu. Z drugiej zaś strony, z punktu widzenia ekonomii procesu, warunki chłodzenia powinny być na tyle intensywne, aby maksymalnie skrócić czas cyklu wtrysku t[s].
Czas ten można opisać ogólnym wzorem:
$t = t_K + t_N$
gdzie:
-t_K – czas chłodzenia wypraski,
-t_N – czas pozostałych faz wtrysku (czas otw. i zamk. formy, czas uplastyczniania, czas wtrysku , oraz czas wypchnięcia wypraski),

Czas chłodzenia mierzony jest od momentu wypełnienia gniazda formy (zakończenia etapu wtrysku), aż do osiągnięcia przez wypraskę temperatury, w której nastąpi otwarcie formy. Z reguły dąży się do skrócenia czasu cyklu poprzez redukcję czasu chłodzenia .

Zwiększenie odbioru ciepła od wtryskiwanego tworzywa można zrealizować poprzez:
-zwiększenie różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią formującą a chłodziwem,
-zmianę geometrii układu chłodzenia (zwiększenie średnicy kanału, zmniejszenie odległości pomiędzy kanałami, zmniejszenie odległości pomiędzy kanałami a powierzchnią formującą),
-zwiększenie wartości współczynnika przejmowania ciepła przez medium chłodzące (wywołanie przepływu turbulentnego),
-zastosowanie materiałów o wysokiej przewodności cieplnej do budowy formy (brązy),

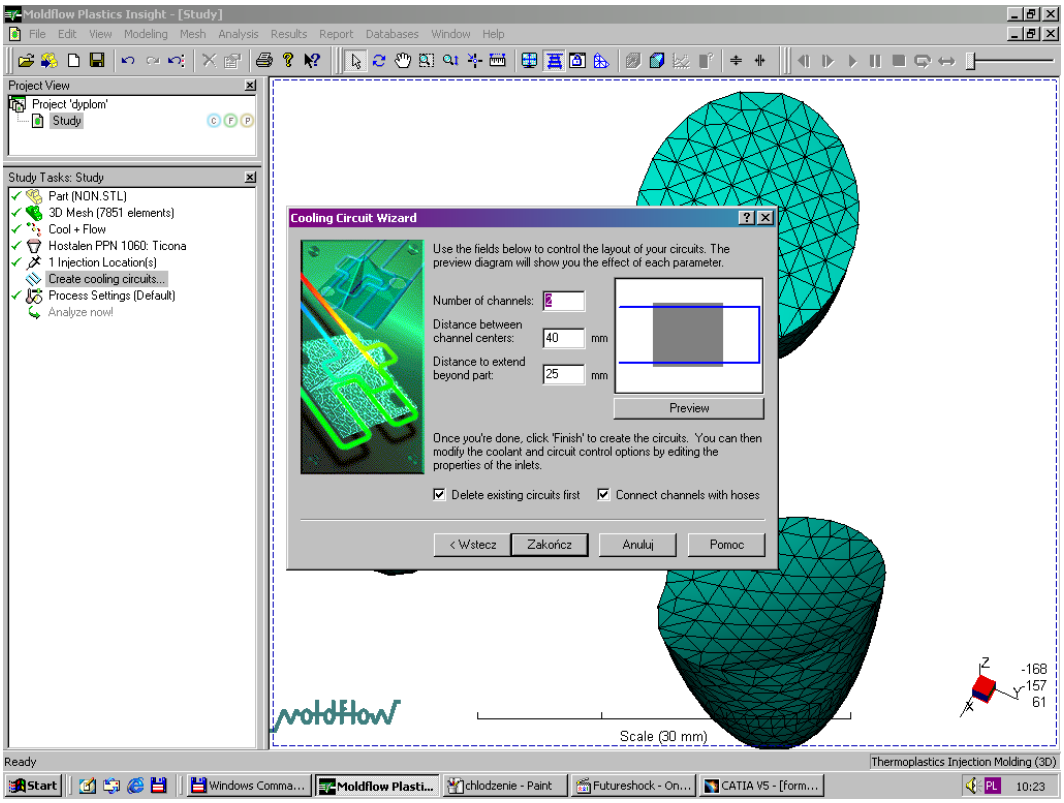
Powyższe uwagi przynoszą najlepsze efekty w przypadku wyprasek cienkościennych, gdzie strumień ciepła jest na tyle duży, że występują trudności z jego odbiorem.

Czas chłodzenia t_K w przypadku wyprasek grubościennych najsilniej zależy od grubości wypraski (jest proporcjonalny do kwadraty grubości ścianki) oraz od właściwości cieplnych tworzywa i warunków przetwórstwa. Oznacza to, że jeśli forma **może odebrać** więcej ciepła niż dostarcza go wypraska to o czasie chłodzenia decydują grubość wypraski i własności cieplne tworzywa.

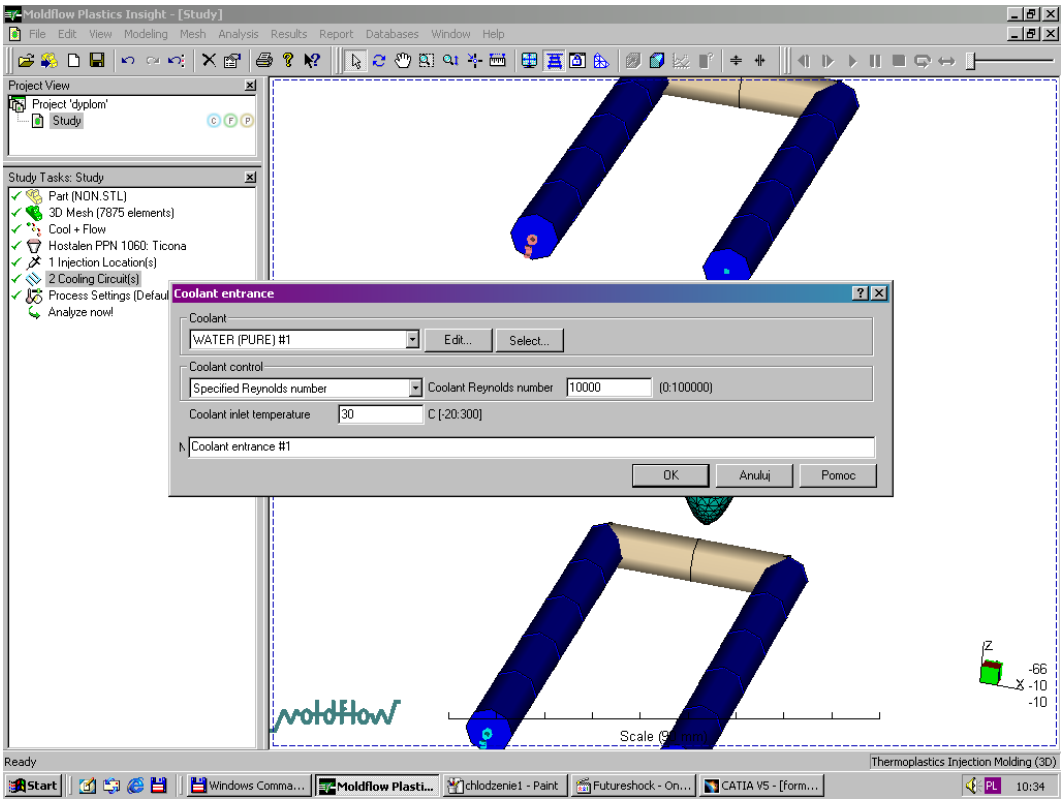
W przypadku detalu pokazanego na rys.10 czas chłodzenia będzie dość długi. Wynika z tego, że strumień ciepła jaki musi oddać gorąca wypraska jest **bardzo mały**, dlatego też geometrię układu chłodzenia mogę projektować z większą „dowolnością", gdyż nie zmieni to w dużym stopniu czasu chłodzenia wypraski a znacznie uprości konstrukcję formy wtryskowej. Stosowanie wkładek matrycowych ze stopów miedzi, szczególnie brązów (brązy aluminiowe, brązy berylowe, brązy niklowe) jest także nieuzasadnione gdyż znacznie wpływa na koszt formy a nie przynosi pożądanych efektów. Dzieje się tak dlatego, że materiały o wysokiej przewodności cieplnej, owszem ułatwiają „transport" ciepła ale w żaden sposób nie powodują zwiększenia strumienia gdy jest on mały.

Jedynym sensownym rozwiązaniem jest zmniejszenie temperatury czynnika chłodzącego ale należy pamiętać, że zbyt gwałtowne chłodzenie może powodować deformację wypraski i błędy struktury. Powyższe wnioski poparte zostały przeze mnie symulacjami. Okazało się, że bez względu na materiał matrycy, czas chłodzenia zmienia się tak nieznacznie, że podważa celowość wprowadzania jakichkolwiek zmian.

Przykładowo zastosowanie wkładek z brązu i przekonstruowanie układy chłodzenia prawie nie wpłynęło na czas chłodzenia, a zmiana temperatury powierzchni formującej na 10 st. C skróciła go tylko o 10s.



Rys.9. Definiowanie układu chłodzenia za pomocą Cooling Circuit Wizard.



Rys.10.Określenie parametrów przepływu cieczy chłodzącej.

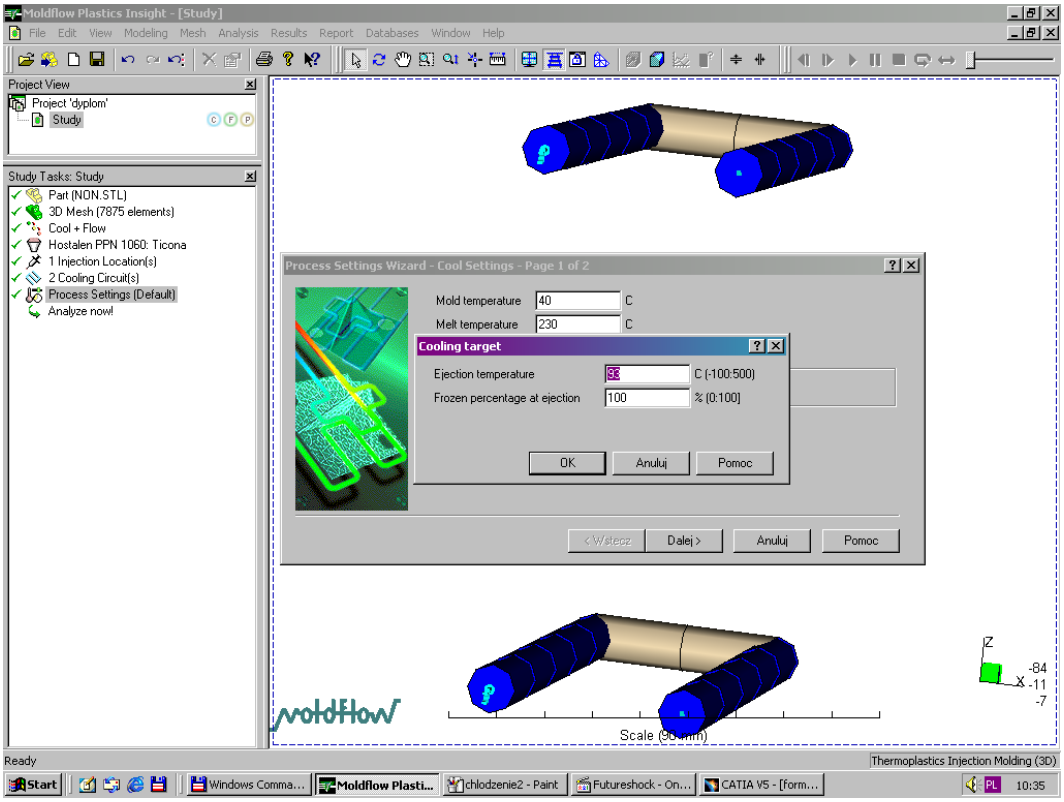
Strzałką niebieską zaznaczony jest wlot wody chłodzącej (punkt przyłączenia elastycznego przewodu zasilajacego). Należy także określić temperaturę wody chłodzącej równą 30 st.C i liczbę Reynolds'a 10000 zapewniającą przepływ turbulentny cieczy (zwiększenie wartości współczynnika przejmowania ciepła przez medium chłodzące).

Konieczne było również wprowadzenie niektórych parametrów procesu wtrysku (rys.11 i 12) takich jak:

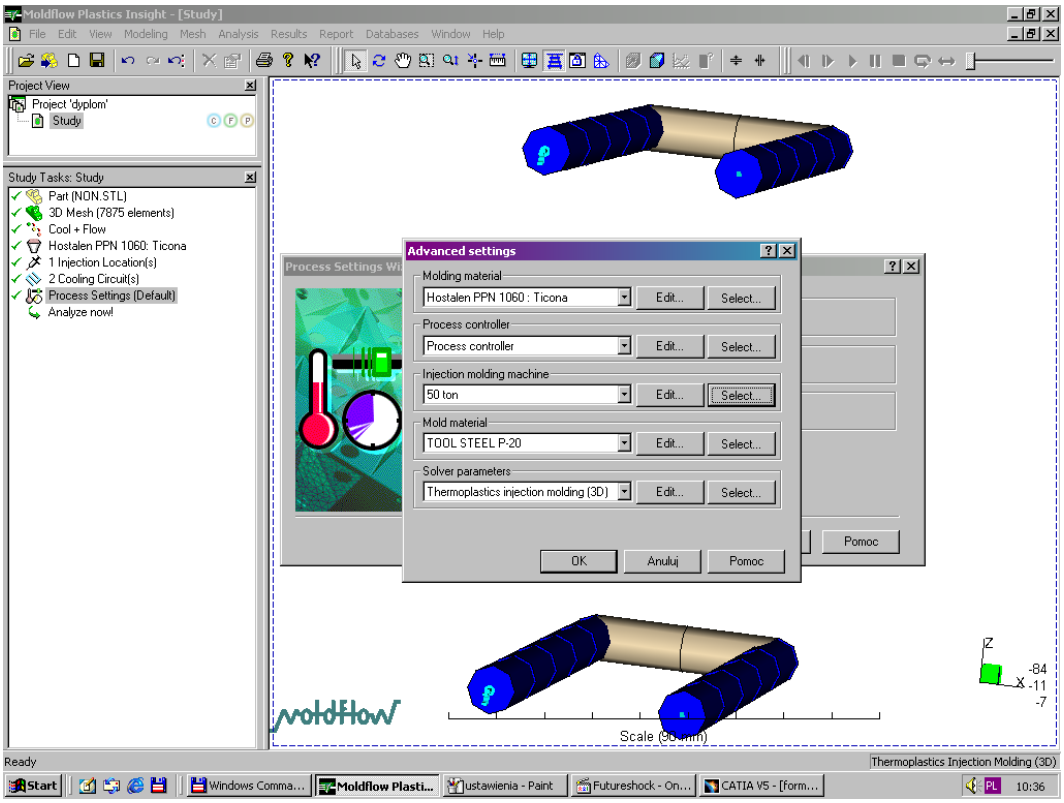
-temperatura powierzchni formujących – 40 st.C,
-temperatura wtrysku – 230 st.C,
-temperatura wyrzucenia wypraski – 93 st.C,

-czas i ciśnienie docisku – 30Mpa przez 10s (jest to parametr bardzo ważny w wypraskach grubościennych gdyż decyduje o wielkości skurczu objętościowego, oraz o zapadach. Skurcz objętościowy powinien być równomierny i minimalny w obrębie całej wypraski.
-pozostałe parametry takie jak czas i ciśnienie wtrysku, czas chłodzenia ustawiłem jako automatyczne, dzięki czemu program sam dobrał optymalne parametry.

Dopiero teraz, po określeniu danych materiałowych, warunków brzegowych i początkowych możemy „uruchomić" analizę, która przebiega automatycznie a jej czas trwania uzależniony jest od skomplikowania i liczby elementów skończonych modelu numerycznego, oraz od złożoności samej analizy (fill+pack+cool=najdłuższy czas).



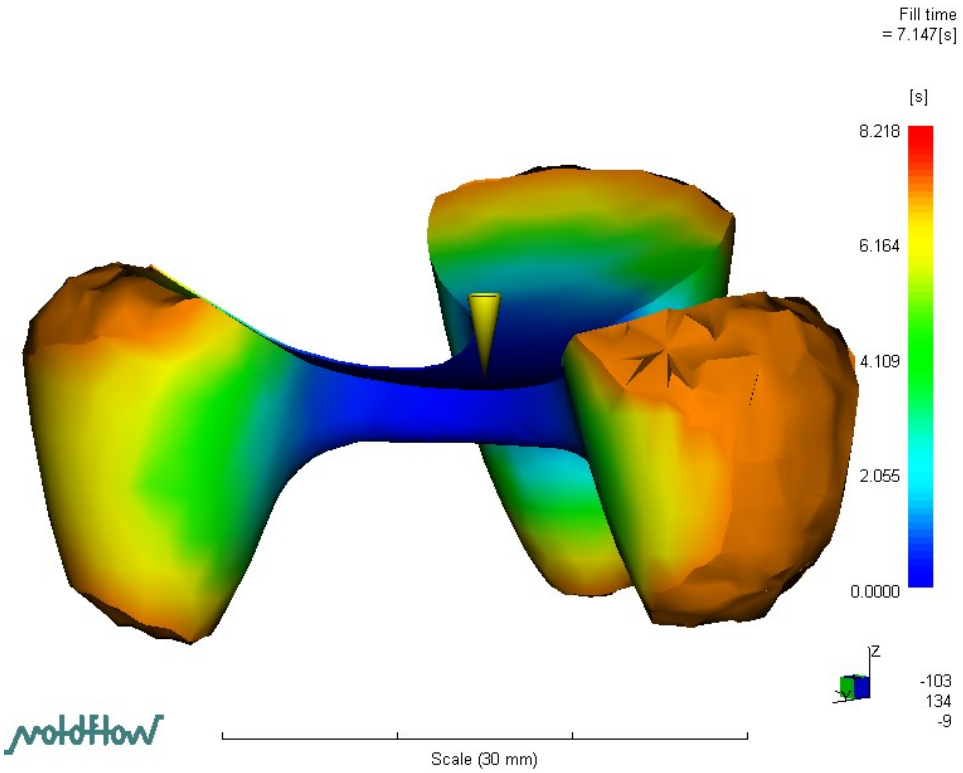
Rys.11.Określanie parametrów procesu.



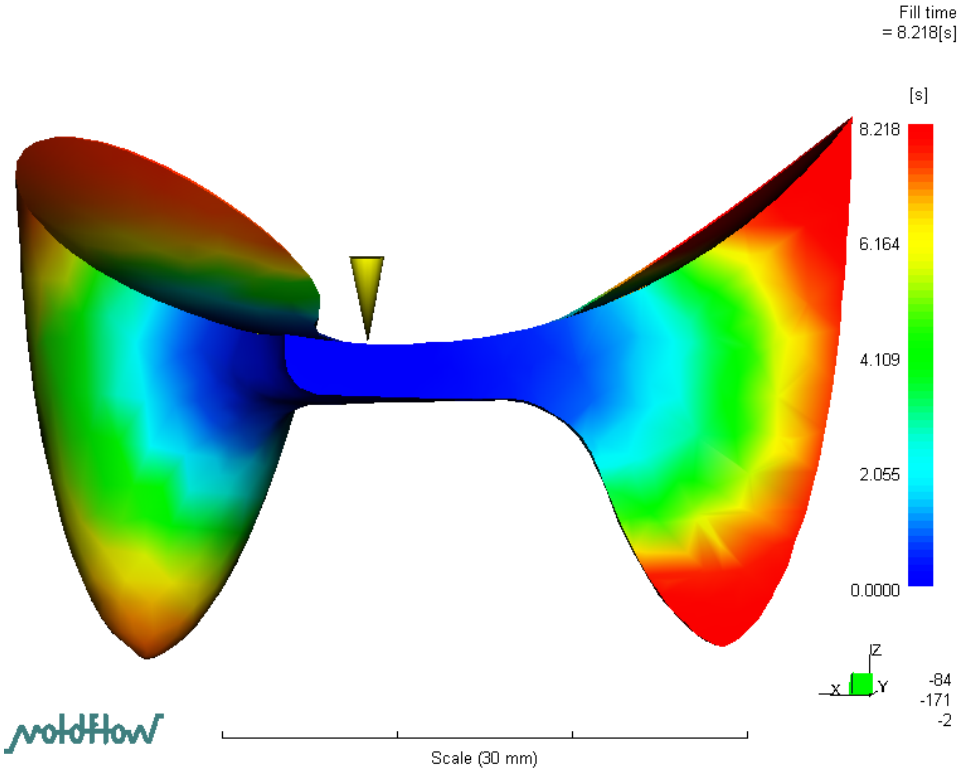
Rys.12.Określanie parametrów procesu.

Wyniki analizy reologicznej

Na rys.13 i 14 przedstawiony jest rozpływ tworzywa w gnieździe formy.



Rys.13.Rozpływ tworzywa w gnieździe formy w zależności od czasu.



Rys.14.Rozpływ tworzywa w gnieździe formy w zależności od czasu (przekrój).

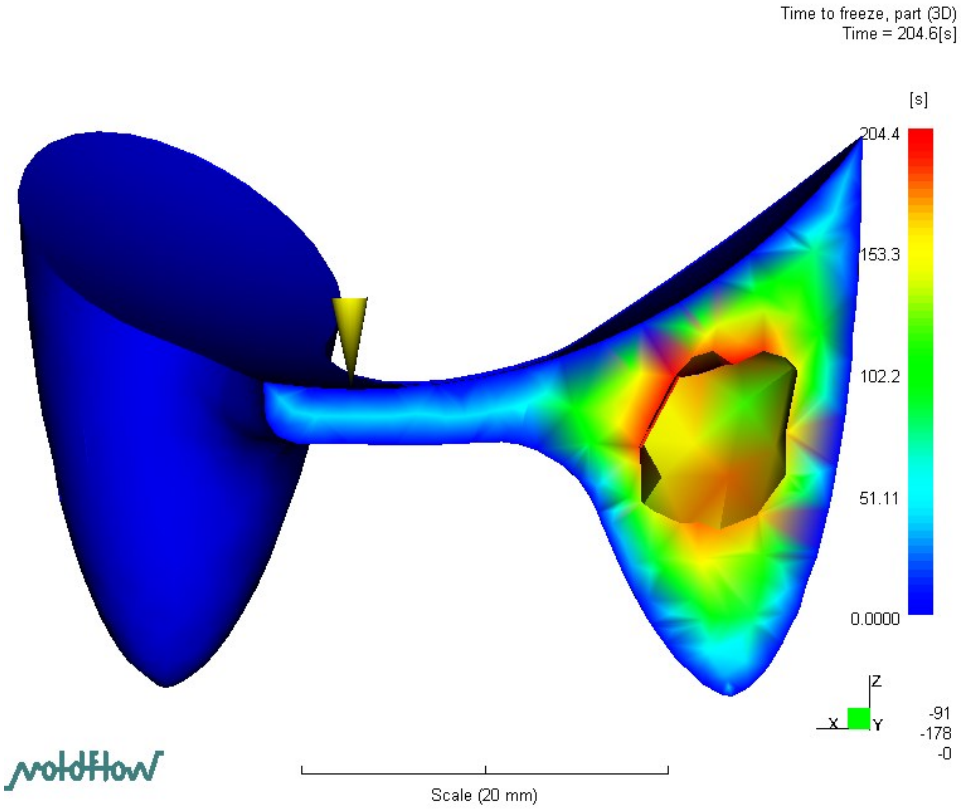
Przy zadanych parametrach procesu czas wypełniania gniazda formy wyniósł 8,2s.

„Czas wypełniania" jest jednym z ważniejszych wyników otrzymanych na drodze komputerowej symulacji wtrysku. Pokazuje bowiem nie tylko czas wypełnienia ale także jak tworzywo wypełniało gniazdo formy. Kolory na rys.13 i 14 reprezentują różne czasy, w których front płynięcia osiągnął określoną pozycję. Na podstawie wyniku „czas wypełniania" możemy dokonać oceny poprawności wtrysku to znaczy odnaleźć

obszary, w których występują problemy podczas wypełniania, miejsca potencjalnych pułapek powietrznych, linie łączenia strug tworzywa, problemy z wypełnieniem.

W tym przypadku takie problemy nie wystąpiły, ale otrzymano wiele cennych informacji np. odpowietrzanie w górnej części ustalone zostało przez podział formy (między stemplem i matrycą) a w dolnej części przez wypychacze. Podjęto taką decyzję po przeanalizowaniu frontu płynięcia (rys.13), który osiąga część górną i dolną gniazda formy po najdłuższym czasie (rys.14 patrz kolor czerwony).

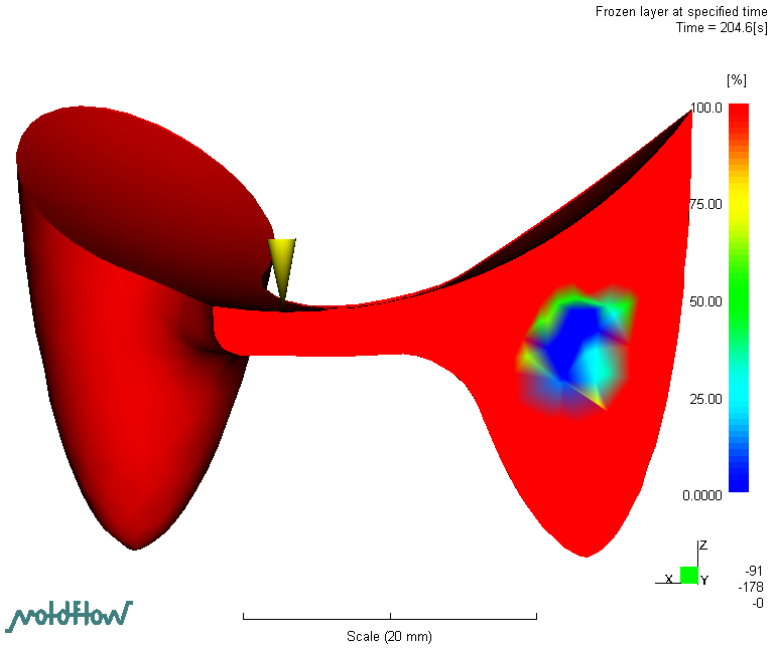
Kolejnymi ważnymi wynikami są „freeze time", czyli dosłownie „czas zamarzania" (rys.15) i „frozen layer" – stopień zestalenia tworzywa (rys 16).



Rys.15.Time to freeze. Środek nie zestalony.

„Freeze time" wynosi ok 205s.

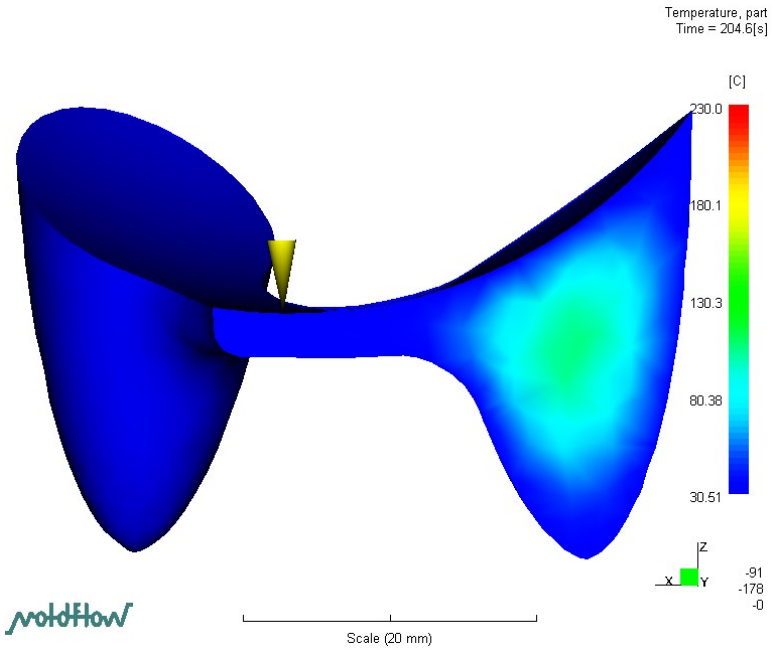
Po tym czasie według programu Mold Flow może nastąpić „wyrzucenie" wypraski z formy ponieważ materiał jest na tyle sztywny, że nie powinien ulec deformacji.



Rys.16.Frozen layer. Kolor niebieski oznacza stan niezestalony.

Tak jak wcześniej było napisane, programy symulacyjne są jedynie narzędziem w rękach konstruktora, dlatego do niektórych wyników należy podchodzić ostrożnie. Jak widać na rys.15 i 16 w wyprasce znajdują się jeszcze obszary, w których tworzywo jest jeszcze w fazie płynnej (w frozen layer kolor niebieski). Być może okaże się, że program „miał rację" i wypraska po wyrzuceniu nie ulegnie deformacji, ale o tym powinny (jeszcze) decydować próby na wtryskowni i doświadczenie ludzkie.

Temperatura wypraski w końcowej fazie cyklu zobrazowana została na rys.17. Zgodnie z wcześniejszymi wynikami temperatura w środku najgrubszej części wypraski (kolor zielony i jasnoniebieski) ma temperaturę wyższą od zalecanej temperatury usuwania dla polipropylenu (93 st.C), ale charakteryzuje się równomiernym rozkładem.



Rys.17.Temeratura wypraski na przekroju.

Przedstawione powyżej wyniki symulacji są wynikami najważniejszymi, ale nie jedynymi. Stanowią one część dostępnych wyników symulacji procesu wtrysku.

Analiza mechaniczna narzędzia

Do tego typu analiz służą programy z grupy MES (metody elementów skończonych). Ogólnie mówiąc – algorytmy w nich zawarte umożliwiają zaobserwowanie wpływu obciążenia na zamodelowany przedmiot. Jest wiele różnych programów z tej grupy. Część z nich jest samodzielnymi aplikacjami w których modeluje się zarówno element jak i przeprowadza analizę, ale również są takie, które łącząc się z programami CAD (służącymi do projektowania) pobierają z nich geometrię, a same wykonują jedynie proces obliczeniowy. Do tej pierwszej grupy możemy zaliczyć np. ANSYS, COSMOS/M, NASTRAN, FEMAP, a do drugiej odpowiedniki tych aplikacji – np. DesignSpace, Design Star, visualNastran, CATIA V5R7 (moduł Generative Assembly Structural Analysis Version 5).

Aplikacje będące kompletnym środowiskiem (czyli pierwsza grupa) posiadają większe możliwości obliczeniowe, oraz większą możliwość wpływania przez operatora na przebieg procesu obliczeniowego. Nakładki (czyli druga grupa) pod tym względem są nieco ograniczone, ale jednak mogą one być przydatne dla osób, które nie mają zbyt dużej wiedzy z teorii *Metody Elementów Skończonych*. Niezależnie od tego z którego z nich skorzystamy, mamy możliwość uzyskania wielu różnych wyników analiz. Ich dokładność jest jednak zależna od wielu czynników:

1. Dokładność opisu geometrii – poprawna siatka elementów skończonych
2. Poprawność przyłożenia tzw. warunków brzegowych
3. Dobrania odpowiednich parametrów materiałowych
4. Wybór odpowiedniego typu analizy

Jeśli chodzi o dokładność opisu geometrii, siatka zbudowana z elementów skończonych (na podstawie których są obliczane wyniki) powinna wiernie odwzorowywać geometrię modelu, z pominięciem nieważnych z punktu widzenia obliczeń elementów typu małe otwory, niektóre promienie, itp. Kwestia poprawnego przyłożenia warunków brzegowych, to nic innego jak poprawne podanie zarówno wymuszeń działających na model (siła, moment, prędkość, temperatura, itp.) jak i sposobów odebrania stopni swobody (całkowite unieruchomienie, możliwość przesunięcia, obrotu, itp.). Jest to bardzo ważne, aby dane wprowadzone w tym

miejscu były jak najbardziej zbliżone do wartości rzeczywistych, gdyż w sytuacji gdy nie mają one pokrycia w rzeczywistości – wyniki również niewiele nam powiedzą. Jeśli chodzi o wybór odpowiedniego typu analizy, to tutaj bardzo duże znaczenie ma uświadomienie sobie co właściwie chcemy obliczyć, czy możemy to liczyć jako obciążenie statyczne, czy jednak musimy uwzględnić dynamiczny charakter obciążenia, oraz czy możemy linearyzować zjawisko czy należy już korzystać z obliczeń nieliniowych.

Pominięto szczegółowy opis działań zmierzających do stworzenia poprawnego modelu numerycznego ponieważ nie różni się on znacząco od opisywanego w części poświęconej analizom reologicznym. Zmienia się oczywiście obiekt badań. Tym razem będą to dwa zespoły płyt: płyta matrycowa, słupy podporowe i płyta mocująca, oraz płyta podporowa, słupy podporowe i płyta mocująca jako, że poddam obliczeniom dwa warianty zabudowy gniazd formujących

Podstawą analizy wytrzymałościowej jest znajomość maksymalnej wartości i rozkładu ciśnień panujących w gnieździe formy podczas procesu. Możliwość obliczenia, choćby przybliżonego, sił powstających w formie jest ważne dla prawidłowej oceny jej stateczności i wytrzymałości oraz doboru właściwej wtryskarki. **Dzięki wcześniejszym analizom dysponujemy tymi wielkościami**. Na ich podstawie jesteśmy w stanie określić maksymalną siłę rozwierającą, uchylającą połówki formy. W przypadku gdy siła zamykająca (charakterystyczna dla danej wtryskarki) będzie mniejsza od siły uchylającej, lub gdy forma wtryskowa (a w szczególności stempel i matryca) nie będzie dostatecznie sztywna może nastąpić jej uchylenie a nawet trwałe odkształcenie co w konsekwencji może doprowadzić do zalania płaszczyzny podziału, zakleszczeń i innych trudności. Dopuszczalne uchylenie formy jest zależne od lepkości tworzywa i waha się od 0.03mm do 0.07mm. O ile siłę zamykającą możemy zmieniać prawie dowolnie (w ramach zmiany wtryskarki) o tyle sztywność jest wielkością stałą i charakterystyczną dla konstrukcji narzędzia, dlatego powinna być dokładnie przemyślana już na etapie projektowania.

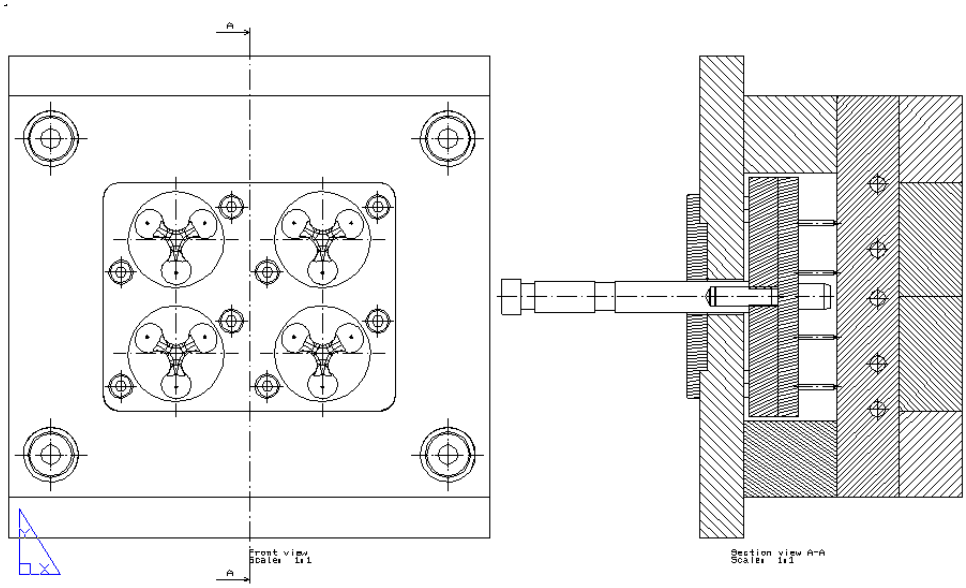
Wybór typu budowy gniazd formujących

Możemy dokonać następującego, podstawowego podziału typu budowy gniazda formującego:

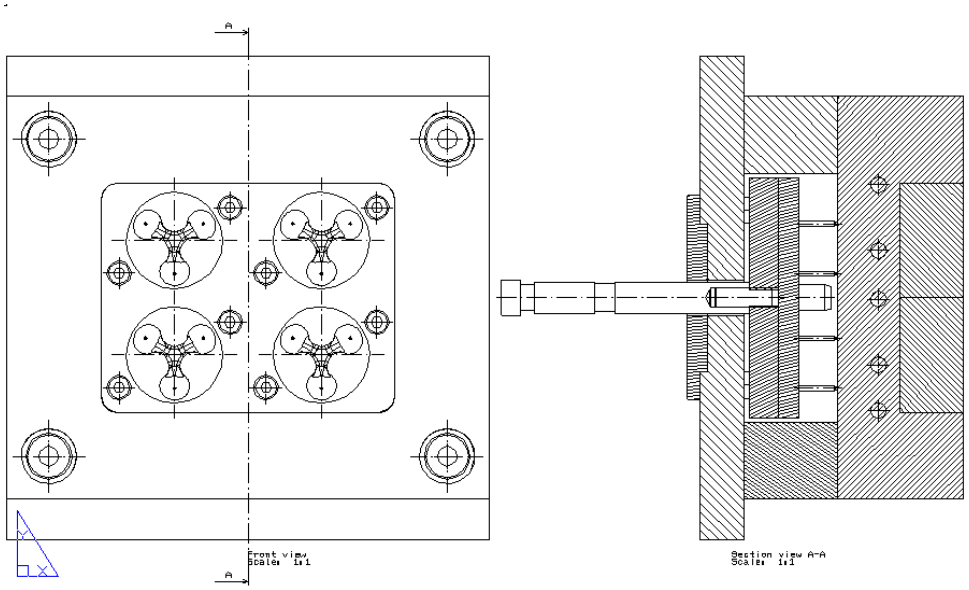
-konstrukcja blokowa, jednolita,
-konstrukcja oprawiana,

Konstrukcja blokowa, jednolita zapewnia mocną i sztywną budowę, a tym samym większą trwałość w eksploatacji. Tak więc z punktu widzenia technologii wtrysku stemple i matryce powinny być wykonane jako blokowe, gdy tylko zezwalają na to możliwości wykonawcze oraz liczba gniazd formy. Wadą tego typu konstrukcji jest duża pracochłonność wykonania ze względu na duży naddatek materiału.

Konstrukcja oprawiana charakteryzuje się tym, że stemple i matryce mocowane są w płytach formy zwanych oprawami. Mogą być one zarówno jednolite jak i dzielone, mocowane do płyty oporowej (rys.18) lub głównej (rys.19). Tego typu konstrukcje stosujemy gdy koszt wykonania będzie mniejszy niż przy konstrukcji blokowej, a w formach wielogniazdowych stosowanie stempli i matryc oprawianych jest koniecznością techniczną.



Rys.18.Schemat przedstawiający gniazdo formujące z matrycami opartymi na płycie podporowej.



Rys.19.Schemat przedstawiający gniazdo formujące z matrycami umieszczonymi w płycie głównej.

Obliczenia MES

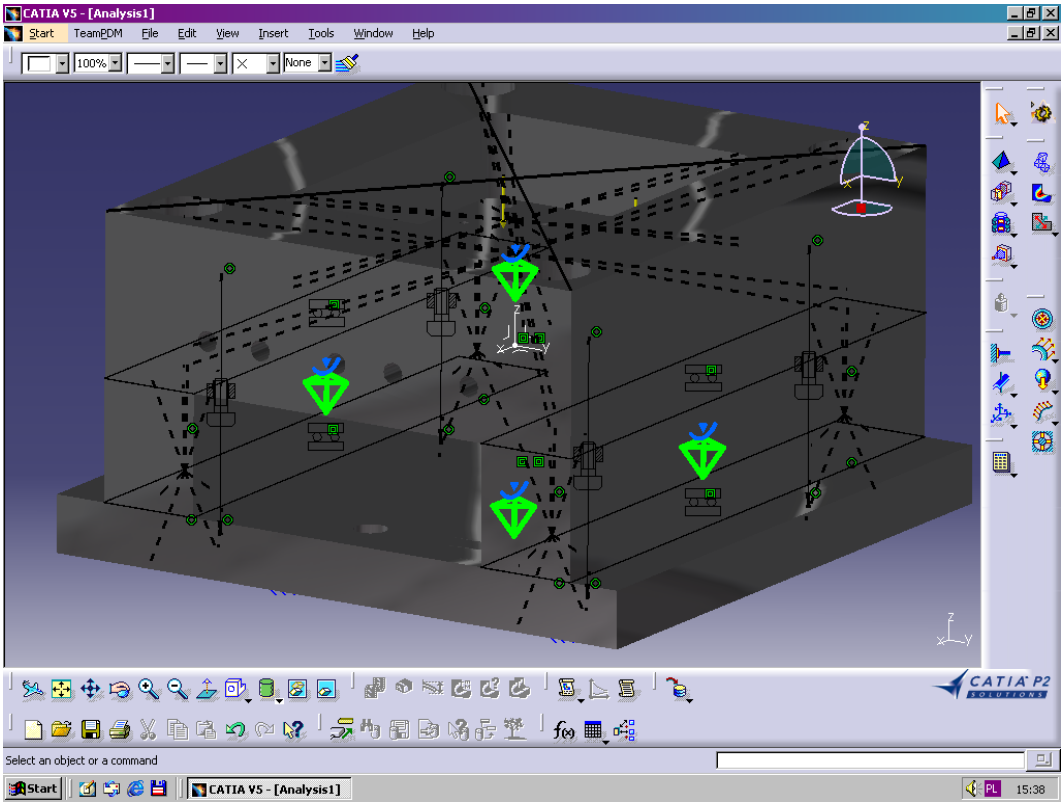
Tak jak to opisano w części poświęconej analizom reologicznej i termicznej aby wykonać symulacje ugięcia płyty matrycowej musimy stworzyć model numeryczny oraz zdefiniować warunki początkowe i brzegowe. Nie jest to tak skomplikowane jak by się mogło wydawać gdyż moduł Generative Assembly Structural Analysis Version 5 programu CATIA należy do drugiej grupy programów i jest raczej przyjazny dla potencjalnego użytkownika.
Zdecydowano na przeprowadzenie analizy zespołowej, bardziej pracochłonnej i skomplikowanej ale bardziej odpowiadającej rzeczywistym warunkom.

Model podzielony na elementy skończone tworzony jest automatycznie, pozostaje tylko wybrać materiał z dostępnej bazy materiałów, określić typy powiązań między poszczególnymi elementami (płytami), oraz zdefiniować obciążenia i więzy.

Jako, że wypraska jest grubościenna największe ciśnienie powstanie nie podczas fazy wtrysku, ale podczas docisku. Dzięki wcześniej przeprowadzonej analizie reologicznej dysponujemy wartością największego ciśnienia, a co za tym idzie siłą, która działa na płytę główną i może spowodować uchylenie, zakleszczenie lub inne nieprzyjemne konsekwencje.

Maksymalna siła działająca na jedno gniazdo wyniosła ok. 3000kG, czyli ok. 30000N. Do obliczeń MES przyjęto 120000N gdyż forma posiada 4 gniazda.

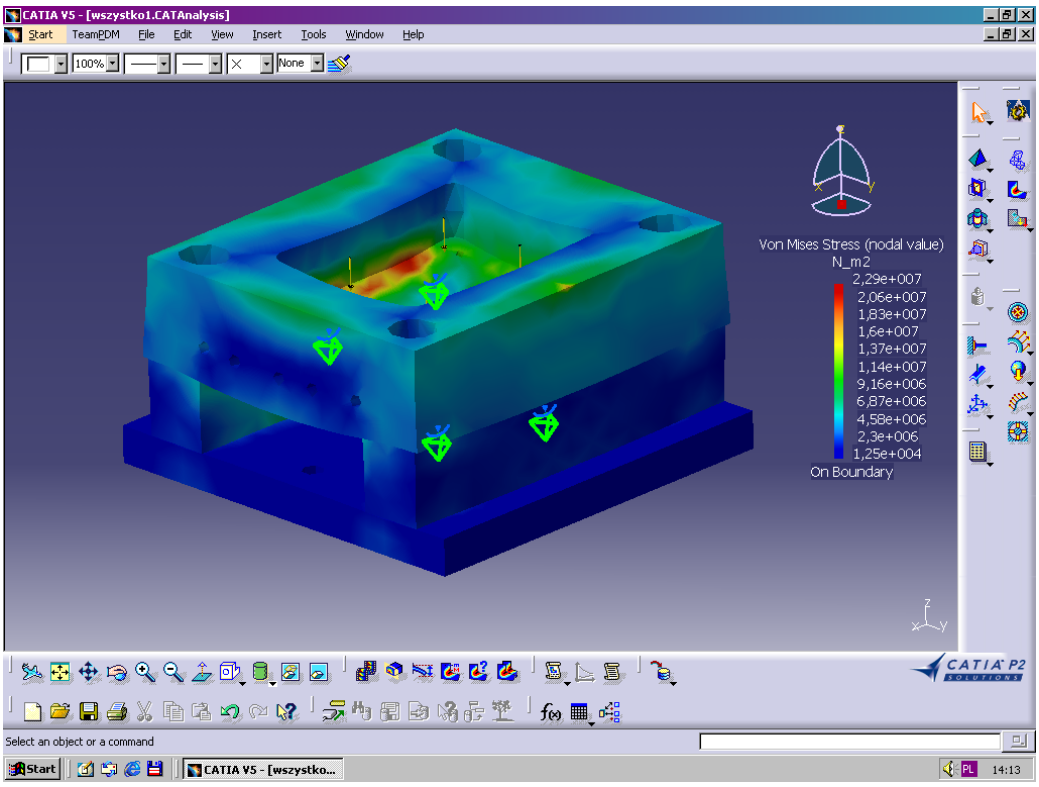
Zasymulowano także istnienie połączeń śrubowych, pozostałą części formy, oraz tuleje i słupy prowadzące. Całkowicie zdefiniowany model numeryczny jednego z zespołów gotowy do obliczeń znajduje się na rys.20.



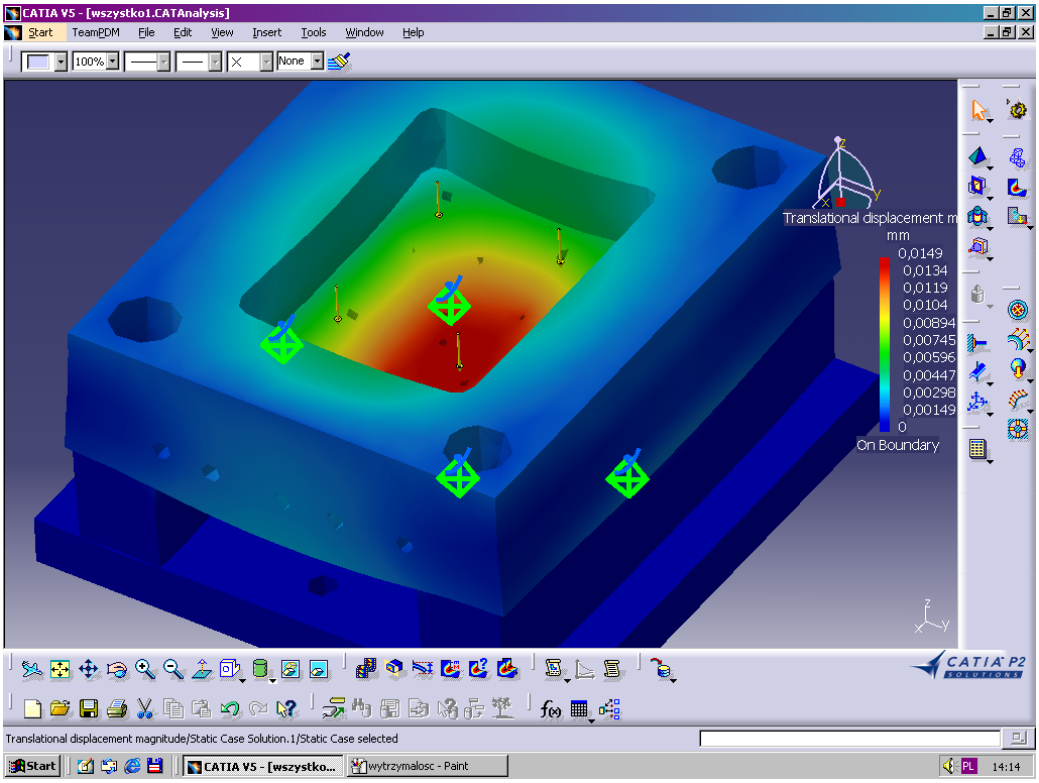
Rys.20.W pełni zdefiniowany model numeryczny. Widzimy zasymulowane połączenia śrubowe i tuleje prowadzące. Skrzyżowane dwa czarne odcinki na powierzchni formującej symulują istnienie pozostałej części formy.

Wyniki analizy MES

Wyniki analizy przedstawione są poniżej.



Rys.21.Rozkład naprężeń zredukowanych dla przypadku matryc umieszczonych w płycie głównej.

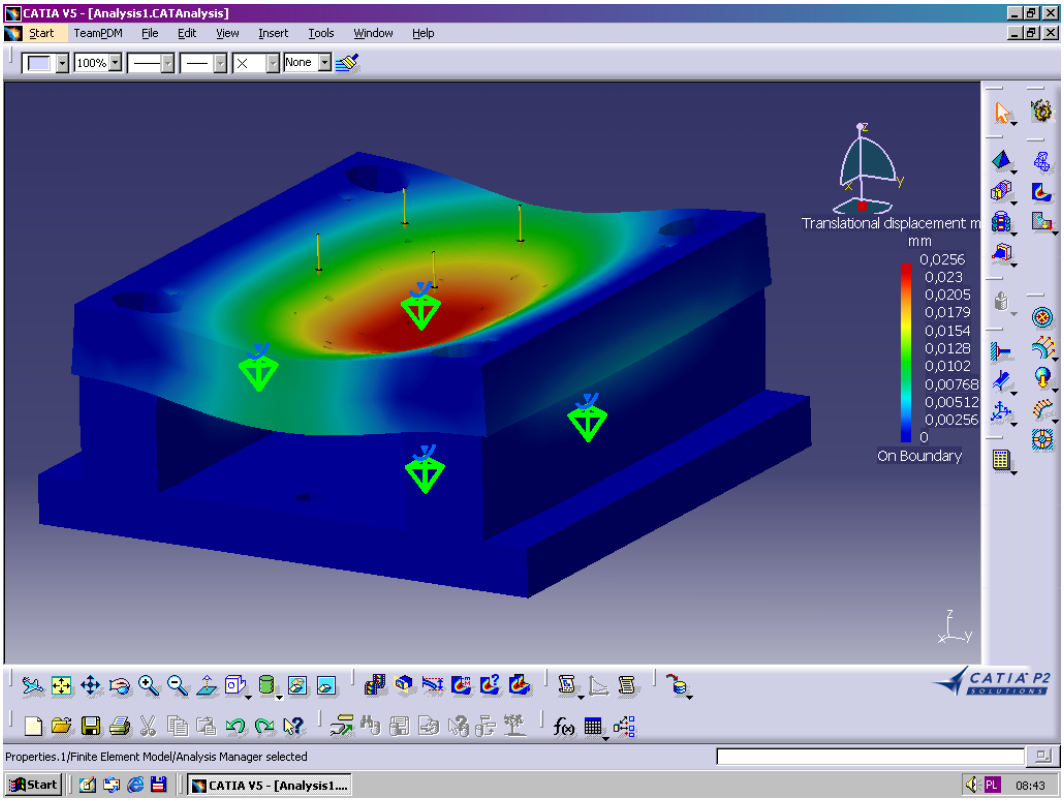


Rys.22.Rozkład przemieszczeń dla tego samego przypadku.

Jak widzimy naprężenia zredukowane nie są duże a te największe występują tylko przy krawędziach i małych otworach (zjawisko karbu). Forma z punktu widzenia wytrzymałości jest bezpieczna.

Przejdźmy do rys.22 przedstawiającego rozkład przemieszczeń, który z punktu widzenia technologii wtrysku interesuje nas najbardziej. Z analizy wynika, że największe przemieszczenia wynoszą ok. 0.015 mm, co jest wartością bezpieczną. Pamiętamy, że największe dopuszczalne ugięcie płyty w zależności od rodzaju tworzywa wynosi 0.03-0.07 mm.

Analiza ugięć dla przypadku matryc opieranych na płycie podporowej dała następujące wyniki (rys.23).

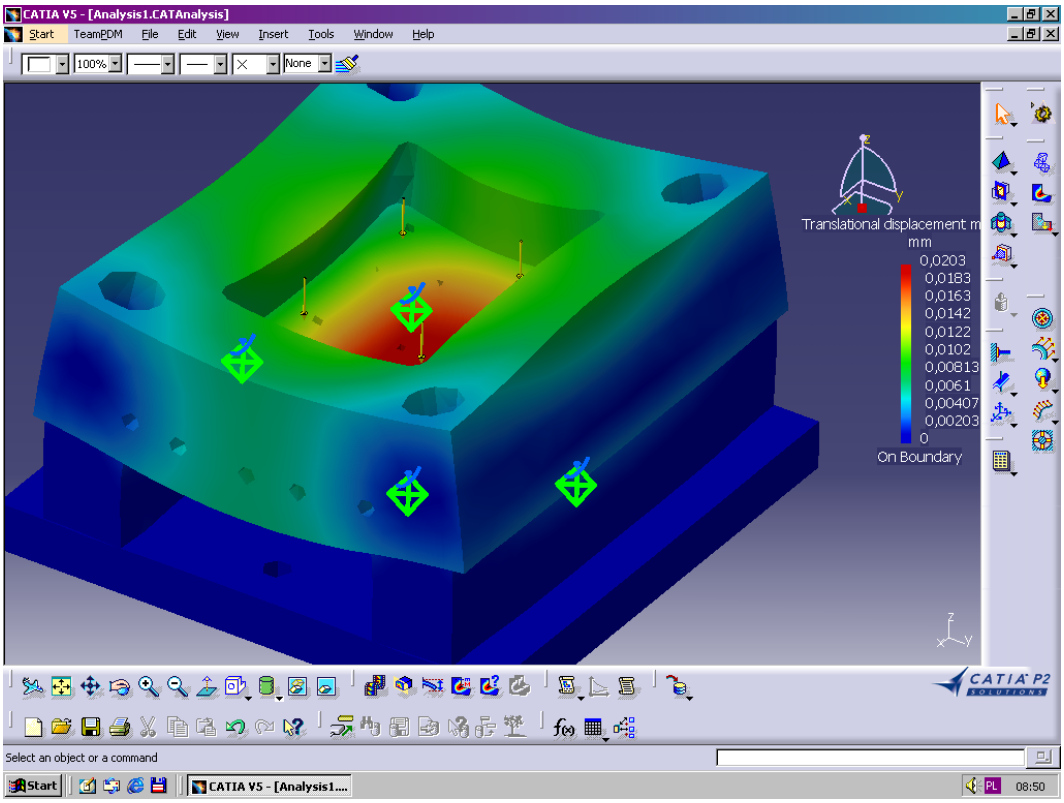


Rys.23.Ugięcia dla przypadku matryc opieranych na płycie podporowej. Wartości ok. 2 razy większe. Konstrukcja mało sztywna.

Jak można się było spodziewać przemieszczenia są ok. 2 razy większe i osiągają maksymalną wartość 0.026 mm. Dzieje się tak dlatego, że w tym przypadku matryce opierają się jedynie na płycie podporowej i to ona przenosi największe obciążenia.

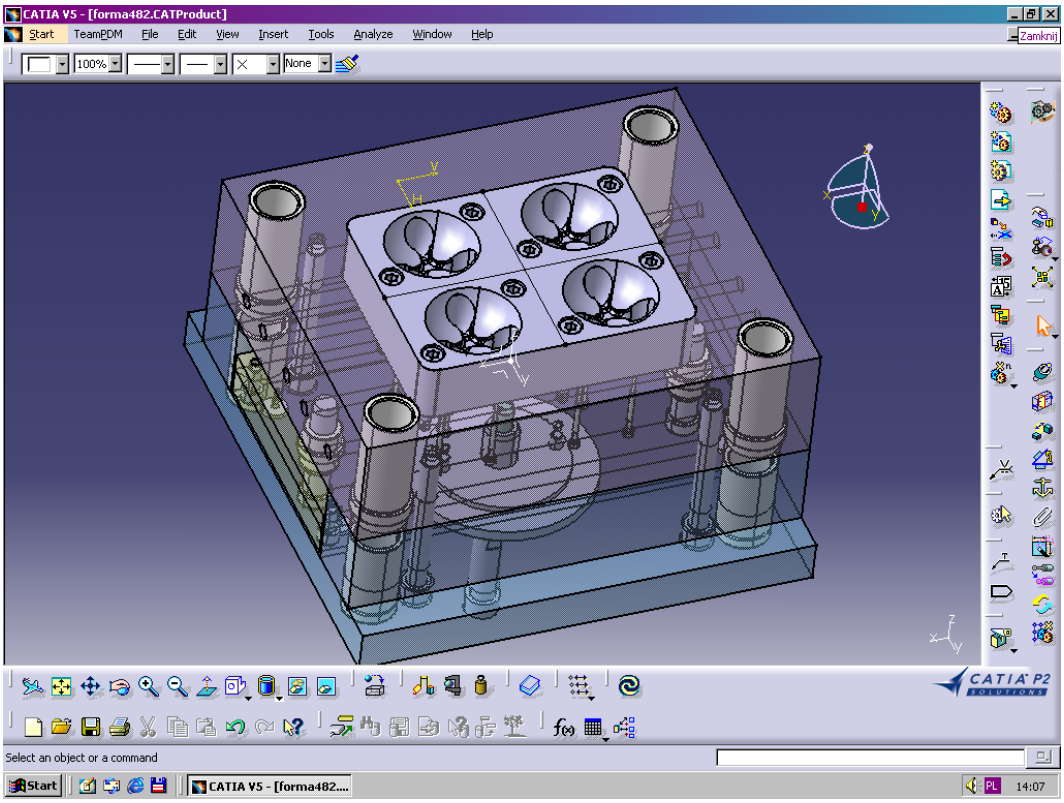
Największą sztywność otrzymalibyśmy oczywiście dla płyty jednolitej ale wcześniej wspomniano o względach, które wyeliminowały to rozwiązanie.

Należy także wspomnieć o jeszcze jednym wniosku związanym z wpływem siły zwarcia na ugięcie płyt formujących. Otóż z przeprowadzonych analiz wynika, że im siła zwarcia większa tym odkształcenie płyt formujących mniejsze. Gdy zignorowano obecność sztywnej, pozostałej części formy, odkształcenia płyty w przyjętym modelu były znacznie większe (rys.24). Z siłą tą nie należy oczywiście przesadzać gdyż może się to ujemnie odbić na trwałości formy.



Rys.24.Rozkład przemieszczeń dla przypadku bez pozostałej części formy.

Ostateczna decyzja- przyjęto koncepcję sztywniejszą pokazaną na rys.25.



Rys.25. .Forma czterogniazdowa z matrycami i stemplami wpuszczanymi i przykręcanymi od podziału.

Konstrukcja taka jest znacznie bardziej sztywna od konstrukcji, w której stemple i matryce opierają się na płycie oporowej (jeśli oczywiście mówimy o podobnych gabarytach) a jednocześnie znacznie ułatwia dostęp do gorących kanałów i umożliwia szybką wymianę stempli i matryc bez zdejmowania formy z wtryskarki.

Jak widać program CATIA nadaje się nie tylko do sprawnego projektowania w 3D, ale także jest prostym i szybkim narzędziem do obliczeń wytrzymałościowych. Może nie posiada takich możliwości jak wspomniane wcześniej programy z grupy pierwszej (ANSYS, COSMOS/M, NASTRAN, FEMAP), programów będących samodzielnymi aplikacjami, ale jeśli chodzi o czas i łatwość obsługi jest niezastąpiona. Czasami, także i w tym przypadku nie jest najważniejsze oszacowanie wartości obliczanych z **wielką dokładnością**, bo obecny rozwój wiedzy i oprogramowania takich warunków jeszcze nie zapewnia i nie musi, ale ważne jest wskazanie pewnych tendencji np. jak zmieniają się szukane wielkości gdy zmienimy warunki początkowe, w przypadku symulacji wtrysku jak zmieni się czas chłodzenia przy zmianie geometrii kanałów, materiału płyt formujących itd.. Nigdy nie będziemy w stanie dokładnie zasymulować rzeczywistości, zawsze pozostanie element niepewności wynikający ze złożoności natury, ale dzięki programom do symulacji możemy badać rząd wielkości jakiegoś zjawiska, wpływ jednych wielkości na inne a co za tym idzie poznawać mechanizmy działania przyrody co moim zdaniem jest najważniejsze.

Ustalenie połówek formy

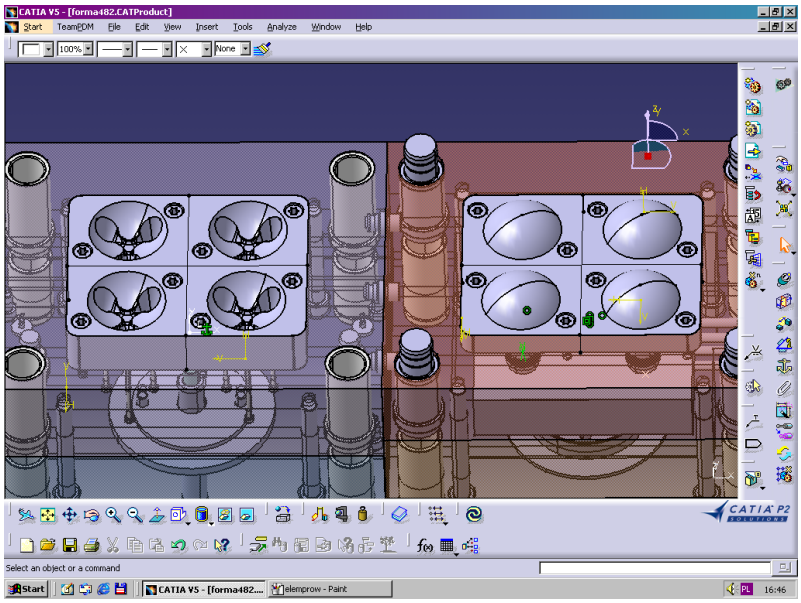
Podczas wtrysku tworzywa, a nawet podczas zamykania i otwierania formy, występują nieraz znaczne siły poprzeczne powodujące wzajemne przesuwanie się połówek formy.

Ważnym warunkiem prawidłowej pracy formy jest właściwy przebieg zamykania formy i następnie wzajemne ustalenie stempli i matryc w już zamkniętej formie.

Możemy tego dokonać przez:

-słupy prowadzące,
-listwy prowadzące,
-stożki ustalające,
-skosy ustalające,
-wałki ustalające, czopy stożkowe itp.

Wykorzystano specyficzną geometrię wypraski, połówki formy ustalone są na powierzchniach kulistych stempli i matryc (rys.26). Jest to ustalenie wystarczające, gdyż w czasie wtrysku siły poprzeczne nie występują lub są minimalne .



Rys.26.Kuliste elementy ustalające.

Konstruowanie formy wtryskowej z wykorzystaniem elementów znormalizowanych

Coraz szersze stosownie elementów znormalizowanych wynika z korzyści zarówno dla wykonawców form jak też ich użytkownika. Stopień ich udziału w formie jest obecnie jednym z kryterium oceny jakości formy i jej nowoczesności.

Normalizacja przynosi następujące korzyści:

-skrócenie czasu projektowania formy,
-zmniejszenie kosztu i skrócenie czasu wykonania formy,
-podwyższenie jakości formy,
-usprawnienie regeneracji formy.

Wszystkie te czynniki w dużej mierze wpływają na wzrost wydajności zakładów produkujących wyroby z tworzyw sztucznych. Dla przykładu można podać, że wg oceny firmy Hasco czas przygotowania formy sposobem tradycyjnym, tj. przy wykonaniu dokumentacji konstrukcyjnej i formy bez zastosowania korpusów i elementów znormalizowanych łącznie z etapem prób i dostosowania, wynosi 15 – 30 tygodni. Natomiast czas przygotowania formy w oparciu o elementy znormalizowane wynosi 3 – 9 tygodni.

Większość współczesnych form wtryskowych jest budowana na podstawie zestawów płytowych, czyli płyt z otworami pod słupy i tuleje prowadzące oraz elementów prowadzących wykonywanych niezależnie od siebie i z dużą precyzją. Duża dokładność wykonania elementów zestawu daje gwarancję pełnej zamienności i kompatybilności. Na bazie tak przygotowanych, znormalizowanych elementów zestawów płytowych powstaje wiele możliwości budowania różnych kombinacji wymiarowych i materiałowych. Dzięki temu uzyskuje się znaczne oszczędności w czasie na przygotowanie zestawu oraz pełną gwarancję jakości materiałowej i wymiarowej zastosowanych elementów.

Do konstrukcji formy wykorzystano znormalizowane elementy firmy STRACK (dostępne w programie CATIA), oraz system gorącokanałowy firmy PSG.

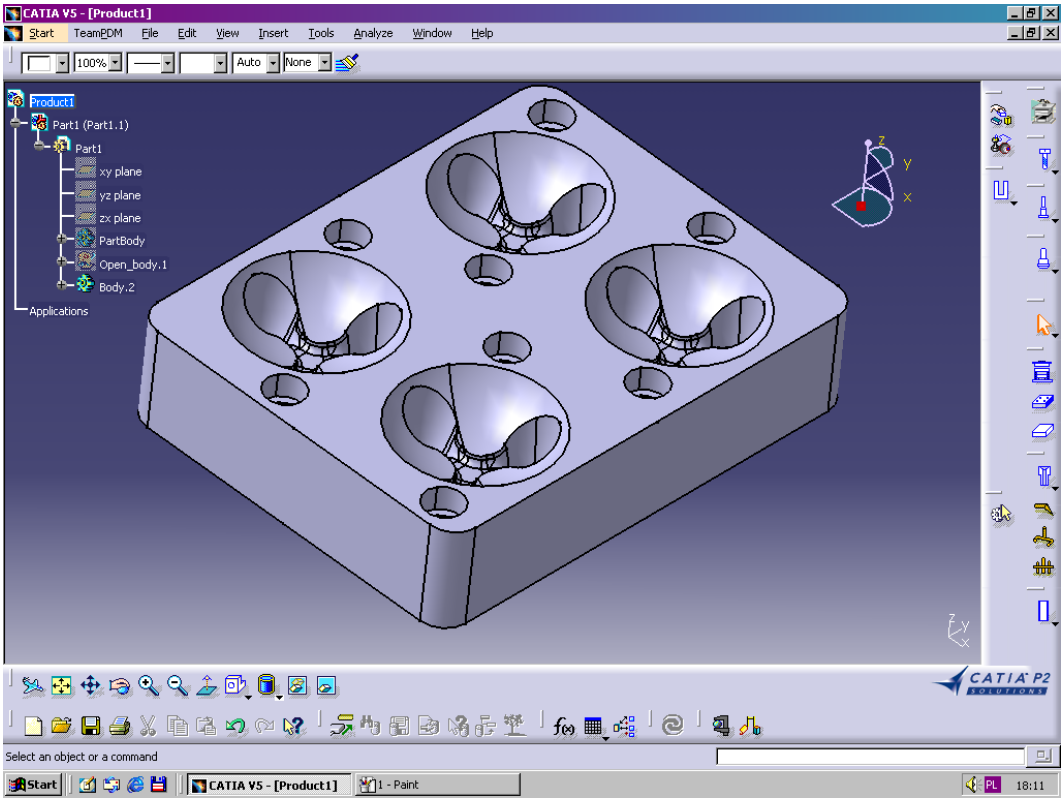
Tworzenie modelu 3D formy oraz generowanie na jego podstawie „płaskiej" dokumentacji technicznej

Po wnikliwej analizie reologicznej, termicznej i mechanicznej możemy przejść do ostatniego etapu, czyli stworzenia modelu 3D i 2D formy wtryskowej.

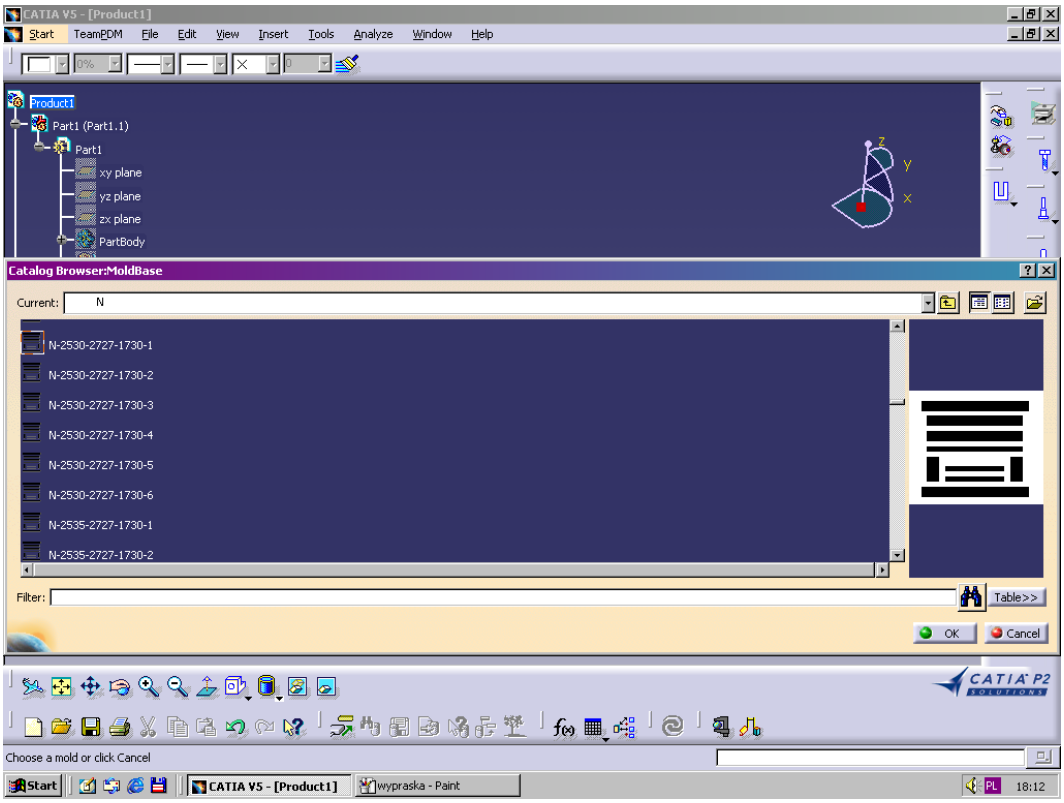
Tworzenie modelu 3D w programie CATIA odbyło się przy pomocy modułu Mold Tooling Design a generowanie dokumentacji 2D przy pomocy modułu Drafting.

Etapy te przebiegają podobnie we wszystkich programach 3D, które posiadają takie moduły, lub nakładki firm zajmujących się wytwarzaniem i dostarczaniem elementów znormalizowanych.

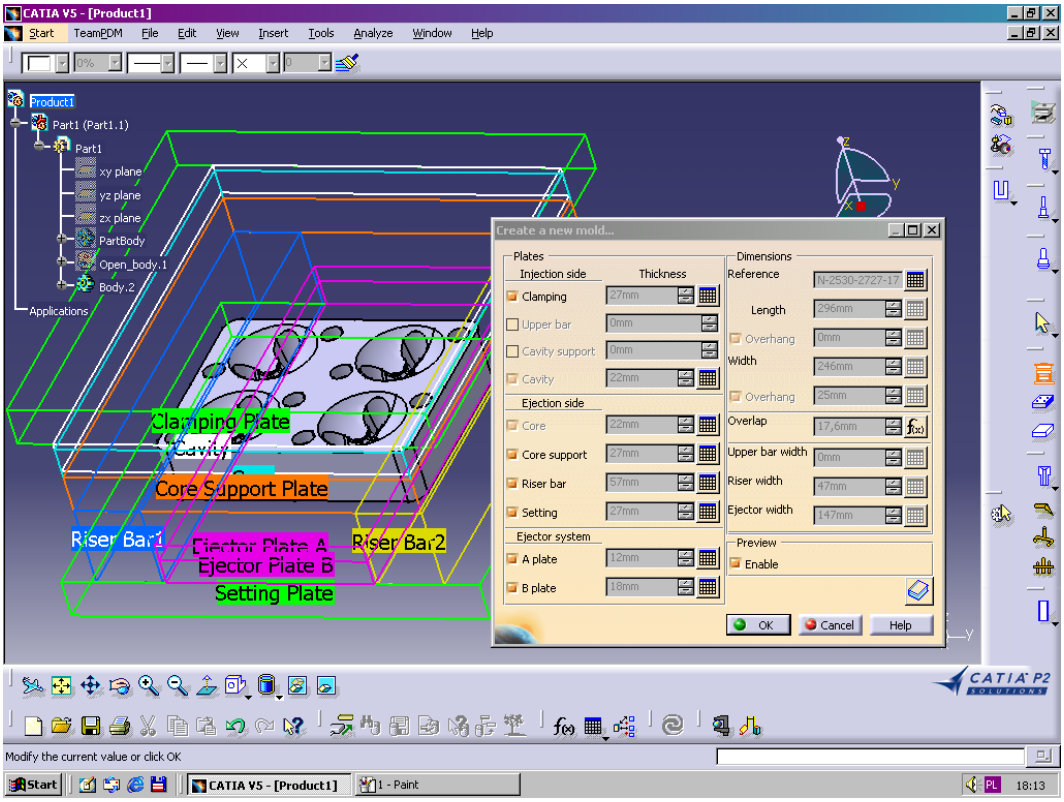
Zaczynamy oczywiście od modelu wypraski (rys.3.), następnie przy pomocy operacji Boole'a, modelowania powierzchniowego lub innych sposobów przygotowujemy powierzchnie formujące (rys.27). Powierzchnie formujące są oczywiście odwzorowaniem wypraski ale muszą być powiększone o skurcz (dobrany przez konstruktora lub/i wyliczony przez program). Kolejny krok to w tym konkretnym przypadku zabudowa kompletu matryc znormalizowanym zestawem płyt, elementów prowadzących, wypychaczy i innych (rys. 28,29,30) w zależności od tego jakim systemem 3D dysponujemy i jakiego rodzaju konstrukcję rysujemy. Takie „podejście" znacznie oszczędza czas i czyni rysowanie co by nie mówić przyjemniejszym (szczególnie jeśli chodzi o rysowanie w 2D).



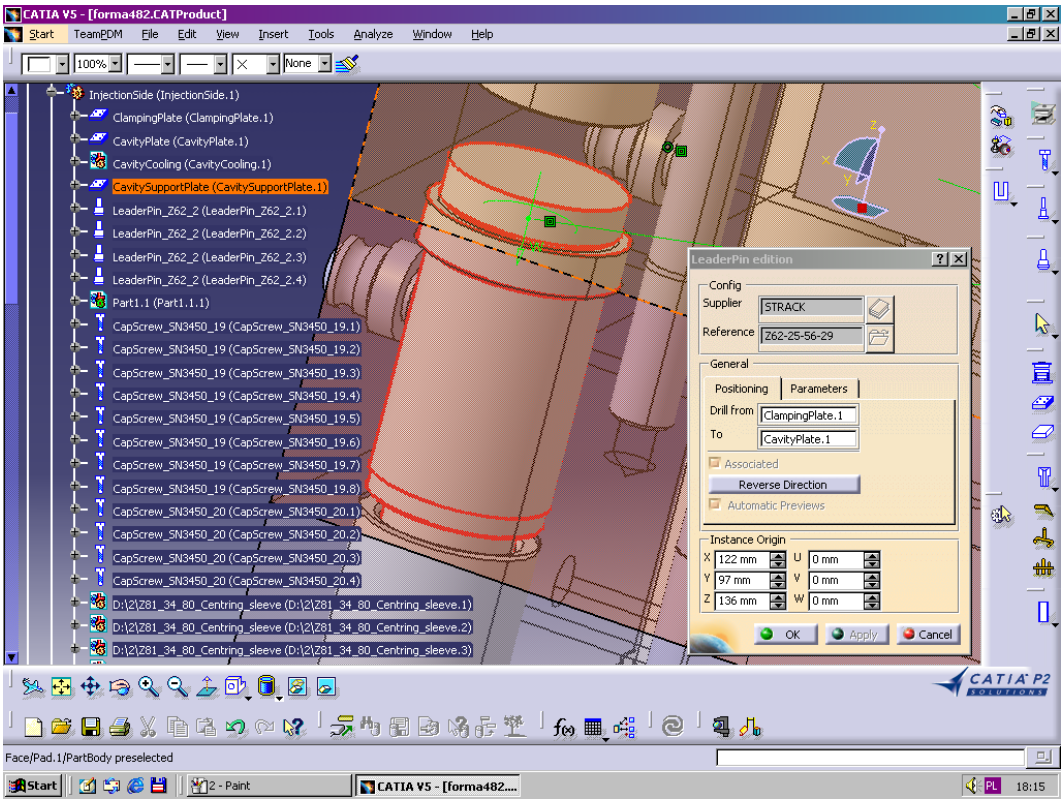
Rys.27.Komplet matryc.



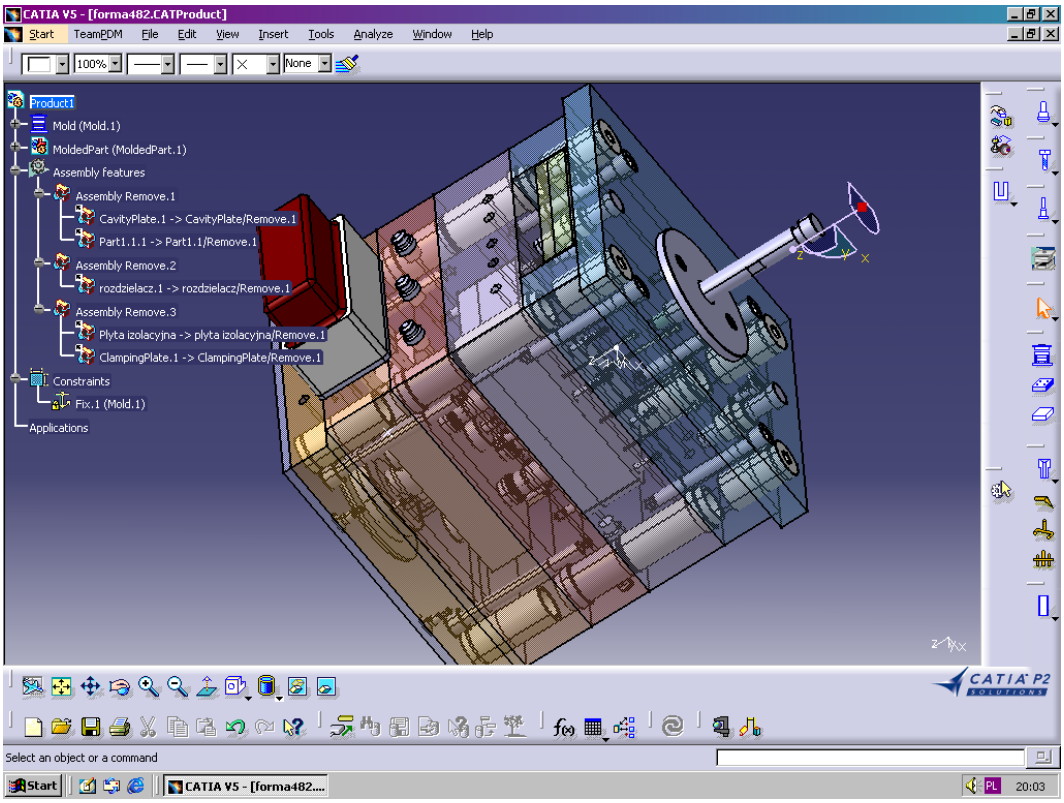
Rys.28.Wybór znormalizowanego zestawu płyt firmy STRACK.



Rys.29.Zabudowa kompletu matryc znormalizowanym zestawem płyt.

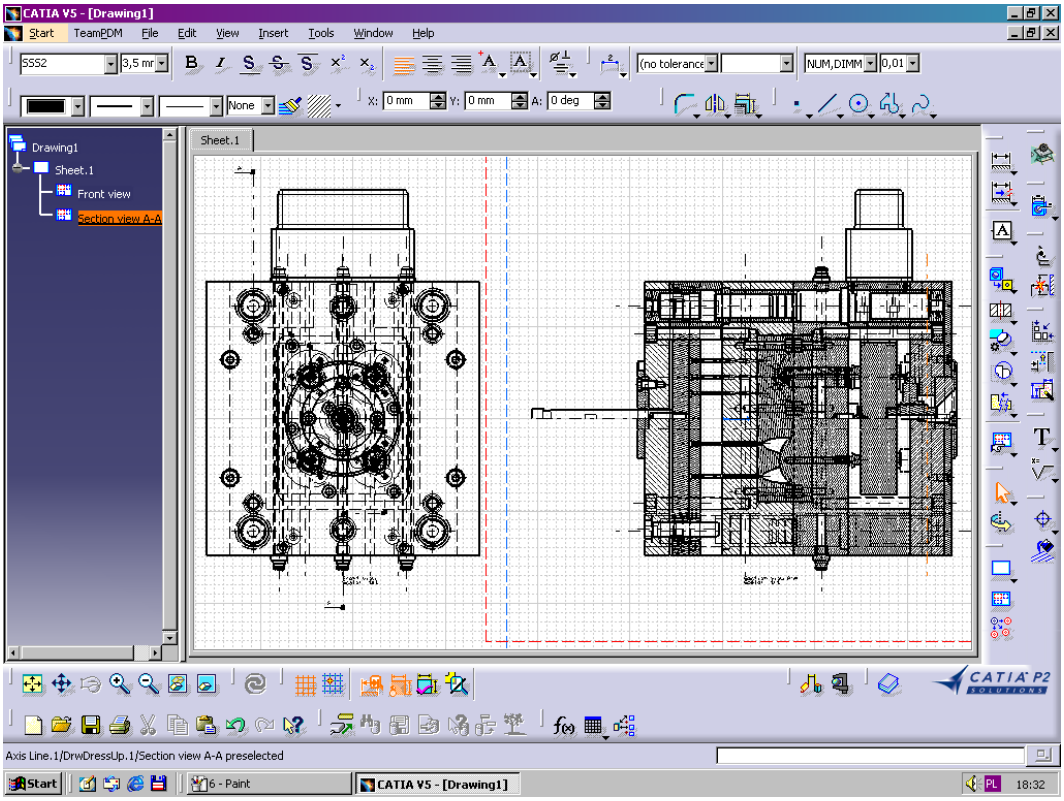


Rys.30.Wstawianie elementów znormalizowanych.



Rys.31.Komletny model 3D formy wtryskowej.

Efektem pracy jest model 3D formy wtryskowej (rys.31) na podstawie którego wygenerowano „płaską” dokumentację techniczną (rys.32).



Rys.32.Generowanie rysunków 2D.

Generowanie rysunków 2D w module Drafting odbywa się półautomatycznie. Mamy do dyspozycji wiele funkcji np. tworzenie przekrojów, wyrwań, szybkie wymiarowanie itp..

Takie podejście do rysowania pozwala zmniejszyć do minimum wystąpienie błędów, ponieważ na rysunku trójwymiarowym wszystkie elementy są lepiej widoczne i widzimy ich wzajemne usytuowanie. Poza tym mamy do dyspozycji narzędzie „clash test” wyszukujące potencjalny konflikt wynikający z nałożenia się

części na siebie. Możemy także lepiej wszystko „rozplanować” i w każdej chwili edycja modelu 3D powoduje zmianę w dokumentacji technicznej 2D.

Wnioski
Analiza wypraski powinna być pierwszą i najważniejszą czynnością w fazie projektowania form wtryskowych. Takie podejście pozwala uniknąć potencjalnych problemów jeszcze przed ich powstaniem. Dzięki szybkiemu rozwojowi komputerów i oprogramowania ocena procesów zachodzących w formie nie musi już opierać się tylko na intuicji i doświadczeniu, ale może być poparta realnymi analizami przeprowadzonymi drogą symulacji komputerowych. Ze względu na wysokie koszty formy oraz specyfikę procesów w niej zachodzących stosowanie symulacji i wspomagania komputerowego jest koniecznością, świadczy o dobrym zrozumieniu „tematu”, gwarantuje jakość, długą i bezawaryjną pracę i co najważniejsze oszczędza czas i pieniądze.

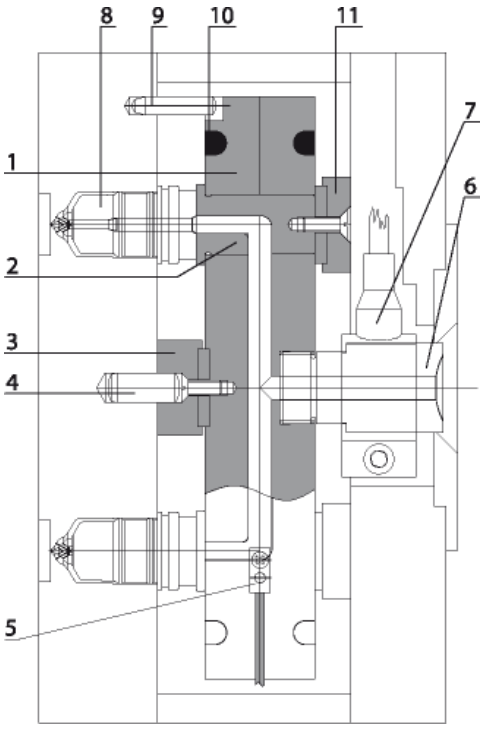
3 Termika gorącego kanału

Przy dzisiejszym rozwoju nowych technologii, który co raz bardziej widoczny jest również budowie form wtryskowych, można by rzec, że systemy GK są już elementem standardowym który wkłada się do narzędzia tak jak typowe normalia. Poza szczelnością, możliwie małym spadkiem ciśnienia, nieprzekroczenia dopuszczalnych naprężeń ścinających, trwałości i wielu innych, najważniejszym warunkiem aby system G.K poprawnie działał jest jego termika.

Równomierny i stabilny rozkład temperatury w systemie GK.

Aby zapewnić równomierny rozkład temperatury w systemie GK należy spełnić dwa warunki:
- odpowiedniej izolacji systemu;
- optymalnego doboru rodzaju elementów grzejnych jak i ich mocy.

Schemat typowego systemu GK został pokazany na poniższym rysunku.



1. Rozdzielacz
2. Tuleja rozdzielajaca
3. Element centrujący
4. Kołek centrujący
5. Czujnik temperatury
6. Centralna tuleja wtrykowa
7. Grzałka opaskowa
8. Dysza G.K.
9. Kołek ustalający
10. Grzałka rurkowa
11. Ceramiczny element dystansowy

Rys.1

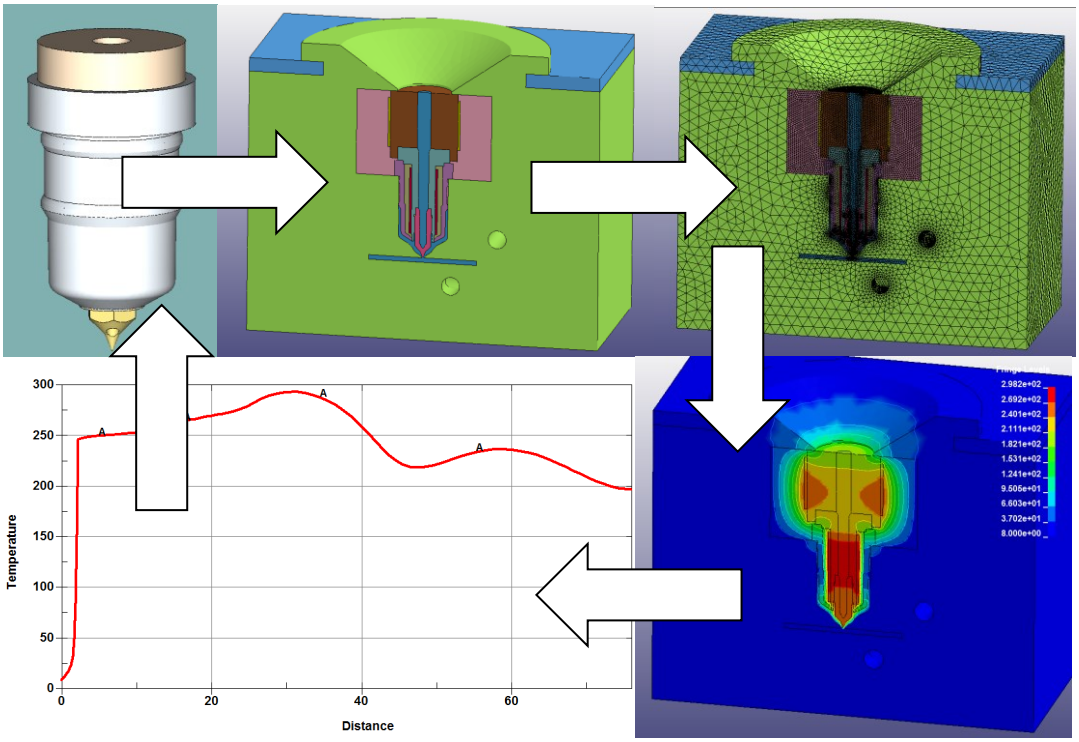
Ograniczenie ucieczki temperatury z systemu GK jest zarówno ważne dla utrzymania poprawnego rozkładu temperatury jak i zminimalizowania jej wpływu na narzędzie. W przypadku rozdzielaczy uzyskuje się najlepszą izolację stosując ceramiczne przekładki między blokiem a elementami dystansowymi oraz blokiem i elementem centrującym. Równomierny rozkład temperatury rozdzielacze zawdzięczają również grzałkom rurkowym, które są w nim zaprasowywane. Geometria, moc grzałek, oraz ilość stref grzewczych są każdorazowo analizowane pod kątem zarówno wielkości rozdzielacza jak i wymogów przetwórczych tworzywa, które będzie wtryskiwane.

W przypadku dysz, warunek jednorodnego rozkładu temperatury ma kapitalne znaczenie dla ostatecznego określenia geometrii dysz.
Istnieją dwa podstawowe rozwiązania otwartych dysz goracoknałowych:
- dysze uszczelniane w obszarze przewężki;
- dysze uszczelniane na obudowie z tzw. komorą izolacyjną.

Termika dyszy gorącokanałowej
Najważniejszym elementem systemu jest dysza GK, a najtrudniejszym etapem przy kształtowaniu walorów tego urządzenia jest uzyskanie odpowiedniej termiki dyszy i dlatego skupimy się na tym problemie.
Wszystkie funkcjonujące na rynku dysze ogrzewane są grzałkami elektrycznymi. Ze względu na regulatory temperatury zgromadzone przez wtryskownie, napięcie zasilające grzałkę powinno być standardowe jak w sieci , czyli wynosić 230 Volt. Grzałka zbudowana jest z cienkościennej rurki stalowej (o przekroju okrągłym lub prostokątnym) wypełnionej izolatorem (proszkiem tlenku magnezu), gdzie w osi rurki jest poprowadzony grzejny drut oporowy. Następnie ta rurka (z wyprowadzonymi przewodami zasilającymi) jest nawinięta na korpus dyszy. Jest to rozwiązanie najprostsze i najtańsze ale posiada wadę wynikającą z istoty grzania oporowego. Strumień energii generowany przez drut oporowy jest identyczny w każdym miejscu wzdłuż jego długości, natomiast straty ciepła wzdłuż dyszy są różne. W miejscach małych strat ciepła, zwykle w środkowej części dyszy, dochodzi do silnego jej przegrzania mimo różnych prób kształtowania geometrii grzałki i profilowania jej mocy.

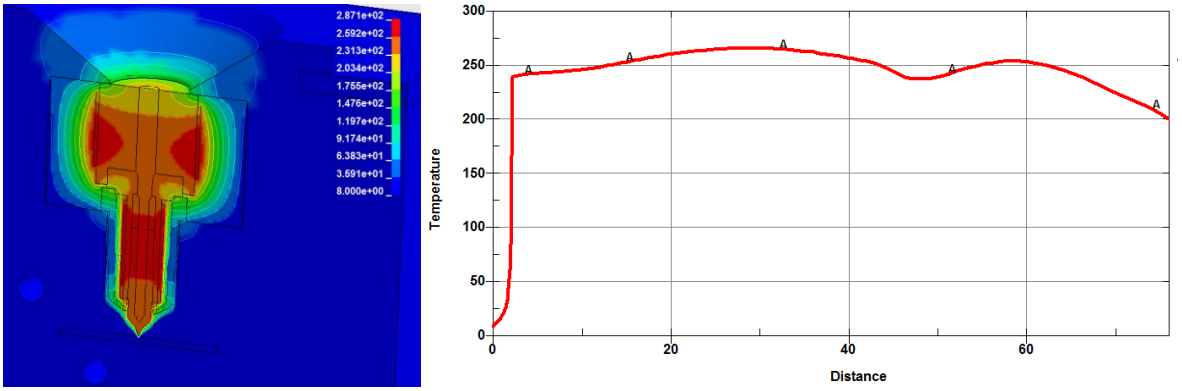
Rys.2 Różne typy grzałek.

Termika dyszy jest wtedy poprawna jeśli temperatura w kanale dyszy będzie stała na całej jego długości. Jest to warunek bardzo trudny do spełnienia i bez uruchomienia odpowiedniego ciągu analiz i badań, niemożliwy do osiągnięcia.
Dlatego proces projektowania i wdrażania produktu należy poprowadzić wielotorowo.
Ze względu na wspomniany wyżej warunek, w procesie projektowania wykorzystuje się narzędzia analityczne w postaci programów MES (metoda elementów skończonych). Bardzo ważny parametr jakim jest stały rozkład temperatury wzdłuż kanału dyszy, jest najpierw modelowany a następnie doświadczalnie weryfikowany.
Schemat z Rys.3 pokazuje kolejność postępowania przy modelowaniu rozkładu temperatur w dyszy gorącokanałowej. Najpierw powstaje koncepcja geometryczna dyszy zapisana w CAD 3D. Następnie dysza zostaje wstawiona do uproszczonej formy wtryskowej razem z wypraską. Ta geometria jest podstawą do stworzenia siatki MES. Następnie muszą zostać nałożone warunki brzegowe i początkowe. Dla tak przygotowanego modelu obliczeniowego trzeba przeprowadzić dziesiątki analiz zmieniając założenia aż zostanie dopracowany wariant o najlepszych parametrach użytkowych. Dla kolejnych analiz zmieniamy:
- pierwotnie wytypowane materiały (typ stali, stopu brązu lub spieku molibdenu czy wolframu)
- pierwotną geometrię np. w celu likwidacji mostków cieplnych
- pierwotną wielkość mocy grzejnej i jej gęstość wzdłuż korpusu dyszy.



Rys.3 – schemat modelowania rozkładu temperatur metodą MES.

Na Rys.3 pokazany proces projektowania dyszy GK odbywa się w pętli,
koncepcja – analiza – decyzja – synteza,
aż do skutku, to znaczy osiągnięcia przez obiekt założonych parametrów użytkowych.
Widać że wstępna koncepcja dyszy nie nadaje się do zastosowania, różnica temperatur mierzona w kanale dyszy jest rzędu 80 stC. Dla prostych tworzyw jak PP,PE być może dałoby się taką dyszę zastosować, ale dla tworzyw technicznych jak POM, PBT, PA66,PSU,PEEK, itp., po pierwszych wtryskach dojdzie do degradacji stopu w kanale dyszy.
Aby uzyskać zadowalający wynik końcowy musimy badać kolejne kombinacje wielu zmiennych wejściowych co powoduje konieczność wykonania wielu pętli obliczeniowych.
Idąc tą ścieżką ostatecznie dostajemy koncepcję dyszy która jest najbliższa naszemu ideałowi. Jest to cenny materiał porównawczy który dogłębnie wyjaśnia termikę dysz, który pozwala uniknąć wielu błędów z tym związanych, jako że ludzkie oko nie widzi przepływu energii. Również kamera termowizyjna nie sprawdza się przy badaniu dysz, jako że musimy sprawdzić temperatury w warunkach rzeczywistych, czyli dysza musi zostać zamontowana do formy i wypełniona stopem. Po prostu w takich warunkach nie ma dostępu do dyszy, dysza jest ukryta w formie. Dopiero technik uzbrojony w odpowiednie narzędzie obliczeniowe jest w stanie zajrzeć tam gdzie wzrok nie sięga i nigdy nie dotrze. Zamodelowany w MES proces przepływu ciepła, otwiera przed nami głębię informacji które pozwalają zaprojektować prawie optymalne rozwiązanie.

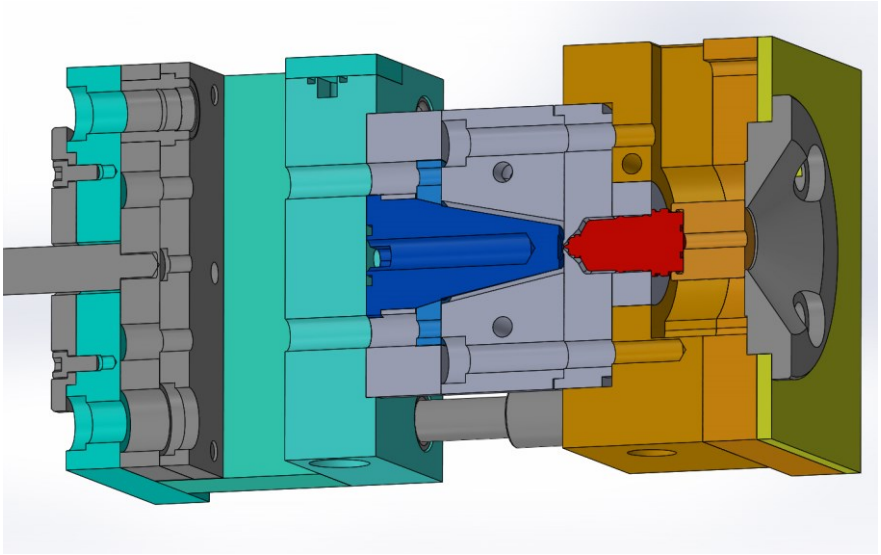


Rys.4 Rozkład temperatur dla dyszy GK z Rys 1 po wprowadzonych zmianach.

Jest to wynik optymalizacji termiki dyszy z Rys.3 uzyskany po wielu kombinacjach. Po zmianie geometrii i materiałów, różnica temperatur mierzona w kanale dyszy jest rzędu 30 stC, co jest całkiem niezłym wynikiem. Wydaje się że taka dysza mogłaby obsługiwać większość tworzyw, nawet technicznych.
Analizując rozkład temperatur na mapie termicznej z Rys.4, widać miejsce ucieczki ciepła od kołnierza i od

nakładki dyszy. Dla nakładki jest to styk z pierścieniem centrującym który dociska nakładkę do kołnierza dyszy. Już wiemy że musimy przekonstruować ten fragment nakładki i obszar kołnierza dyszy.
Niestety, ten żmudny etap jest nieodzowny , aby do następnego etapu badań laboratoryjnych na rzeczywistym fizycznym obiekcie, przekazać możliwie bezbłędne rozwiązanie. Jeżeli planujemy zawrzeć w naszej ofercie kilka typów dysz o różnych długościach, to mamy do przeanalizowania kilkadziesiąt przypadków, a to kończy się wykonaniem kilkuset analiz.

Prawdziwa weryfikacja naszych założeń i obliczeń powinna odbyć się na wtryskarce z wykorzystaniem formy testowej zbudowanej do tego zadania- Rys.5.

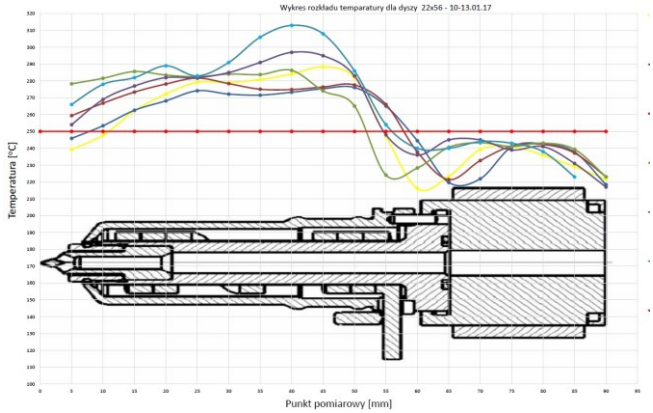


Rys5. Forma testowa do pomiaru rozkładu temperatur wzdłuż kanału dyszy

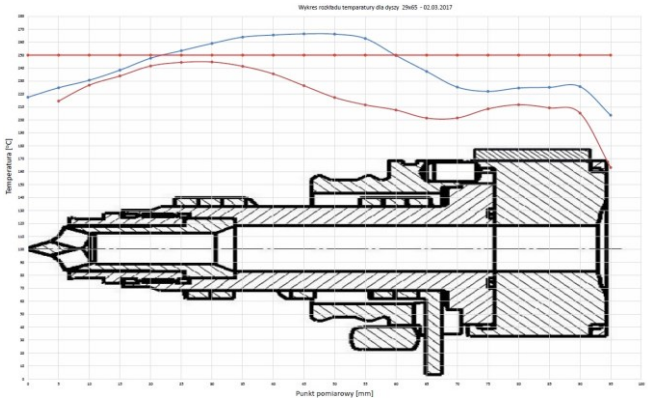
W tym celu dla każdego typu dyszy należy wykonać kilka modeli fizycznych wybranych z najlepszych rozwiązań uzyskanych z modelowania w MES. Modele fizyczne praktycznie nie różnią się od docelowej konstrukcji przewidzianej do pracy w rzeczywistej formie wtryskowej. Wybieramy modele które trafią do ostatecznego sprawdzianu jakim jest praca dyszy w formie w normalnych warunkach produkcyjnych. Dysza musi przepracować z całą grupą tworzyw dla których została przewidziana.
Taką samą metodologię stosujemy do projektowania dyszy w aspekcie reologicznym i mechanicznym.
Po przeprowadzeniu żmudnej serii pomiarów temperatury przy wykorzystaniu formy testowej założonej na wtryskarce Rys.6, jest podejmowana decyzja o uruchomieniu konkretnego modelu i wprowadzeniu go do długotrwałych testów w warunkach produkcyjnych na wtryskowni.

Rys.6 – stanowisko na wtryskarce do testów i pomiaru temperatur badanych dysz.

Metodę pomiaru temperatury pominę żeby nie zanudzać czytelnika, ważne są wyniki pomiarów które uzyskujemy w rzeczywistych warunkach pracy dyszy.
Pokażemy kilka przykładów wyników pomiarów w formie testowej dla rzeczywistych warunków pracy.



Rys.7 Przykład pomiarów uzyskanych z formy testowej dla dyszy, typ z obudową, w początkowym stadium prac.



Rys.8 Przykład pomiarów uzyskanych z formy testowej dla dyszy, typ z małą komorą, w początkowym stadium prac.

Tylko taka droga pozwala zbudować dyszę o najwyższych walorach technicznych. Działanie chaotyczne nie poprzedzone analizami i badaniami kończy się katastrofą. W przegrzanym kanale dyszy dochodzi do degradacji stopu a przewężka po pierwszym wtrysku już się nie otwiera i normalna produkcja nie jest możliwa
.
Przykładowo pokażemy wypraskę gdzie zastosowanie dyszy o złej termice spowodowało degradację termiczną tworzywa.

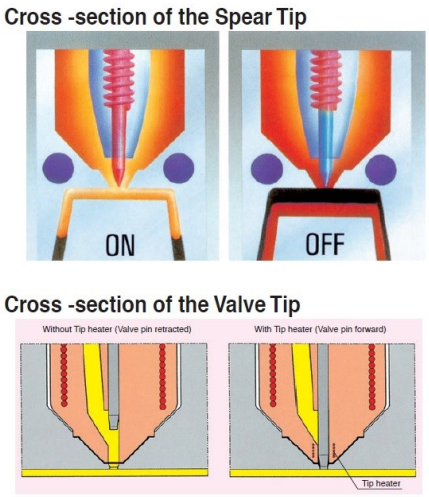
Rys 9 Przypalenia na wyprasce z PS w wyniku zastosowania dyszy o niewłaściwym rozkładzie temperatury

Rys 10 Rozwiązanie problemu poprzez zastosowanie odpowiedniej dyszy

Dopiero zakup dyszy u innego producenta i zastosowanie jej w formie pozwoliło na normalną produkcję.

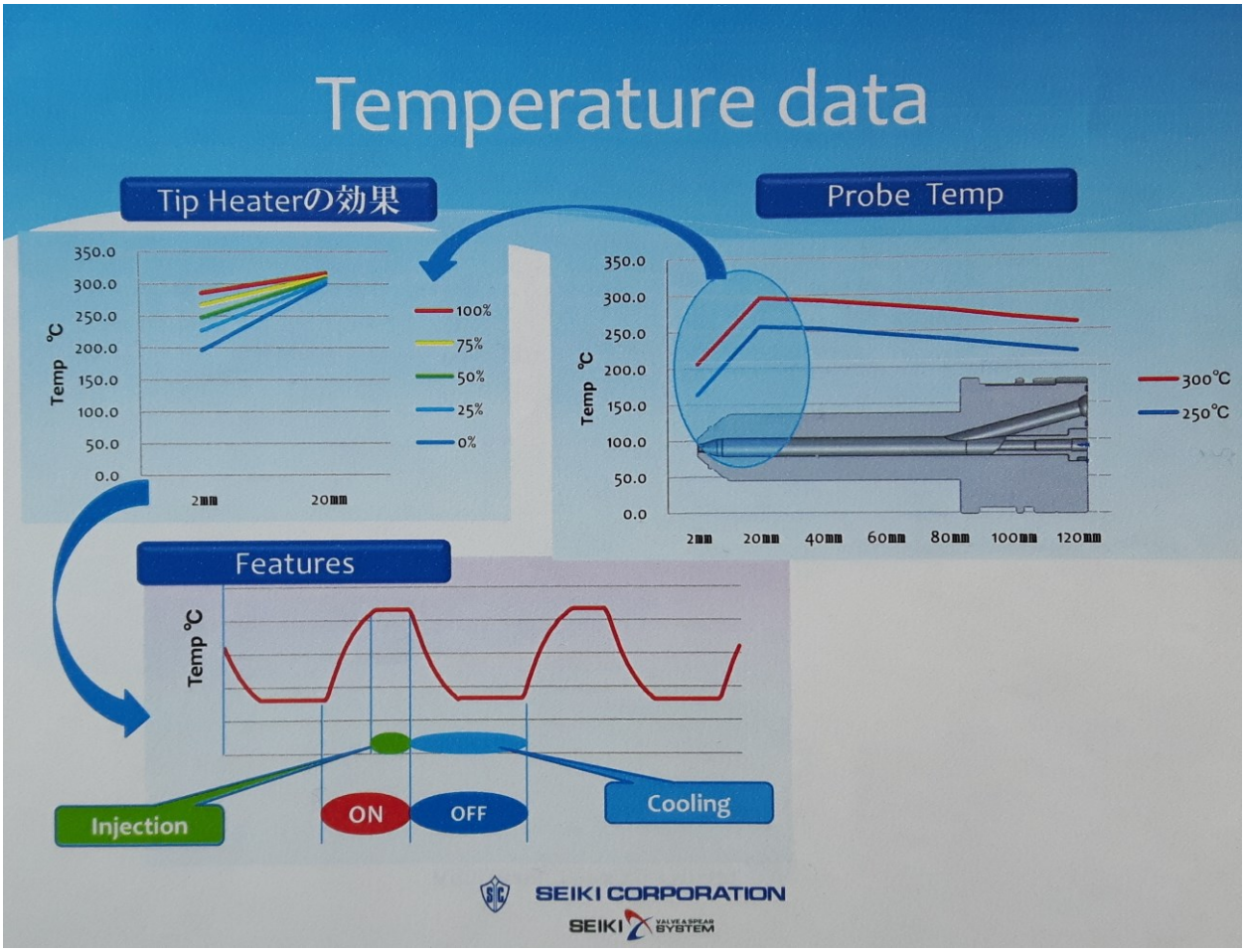
Co proponuje czołówka światowa?

Przy rozwiązywania najtrudniejszych tematów świat stosuje bardzo wymyślne rozwiązania. Z doświadczenia autora wynika że uzyskanie idealnego przebiegu temperatury jest bardzo trudne, a nawet niemożliwe bez stosowania unikalnych rozwiązań.
Takim unikalnym rozwiązaniem jest termiczne otwieranie i zamykanie przewężki przez zastosowanie dodatkowej grzałki na końcówce Rys.11.

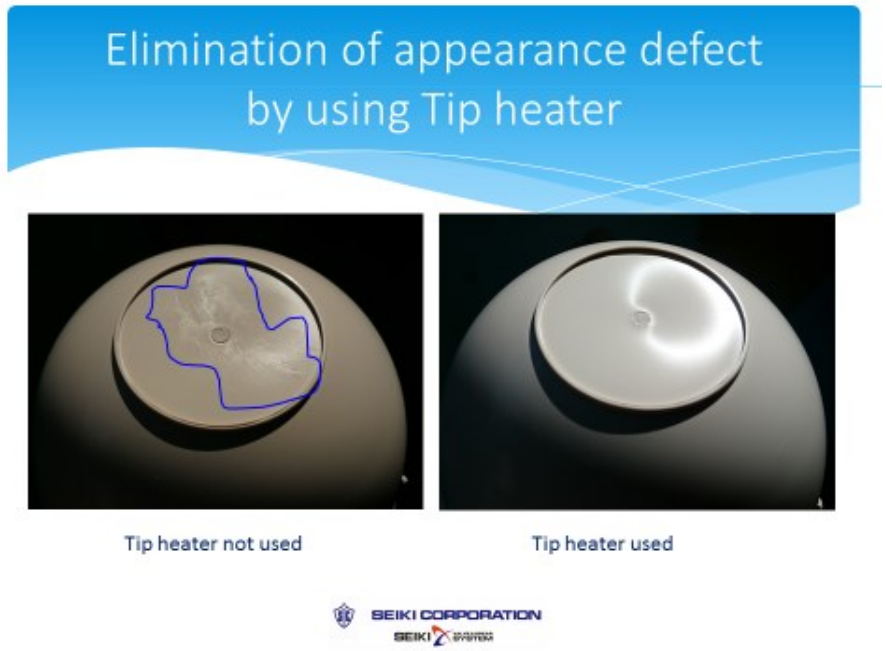


Rys.11 Idea rozwiązania dyszy z dodatkową grzałką na końcówce (Seiki).

Cykl pracy dla takiej dyszy i rozkład temperatur w kanale pokazuje Rys.12. Na górnym lewym wykresie (patrz dalej na Rys.12) widzimy jak zmienia się temperatura końcówki w zależności od strumienia mocy zasilającego dodatkową grzałkę zlokalizowaną blisko przewężki. Dzięki takiemu rozwiązaniu dostajemy bardziej równomierną temperaturę w kanale dyszy i obszarze końcówki, a efekt jaki można uzyskać dzięki takiemu rozwiązaniu pokazuje Rys.13.

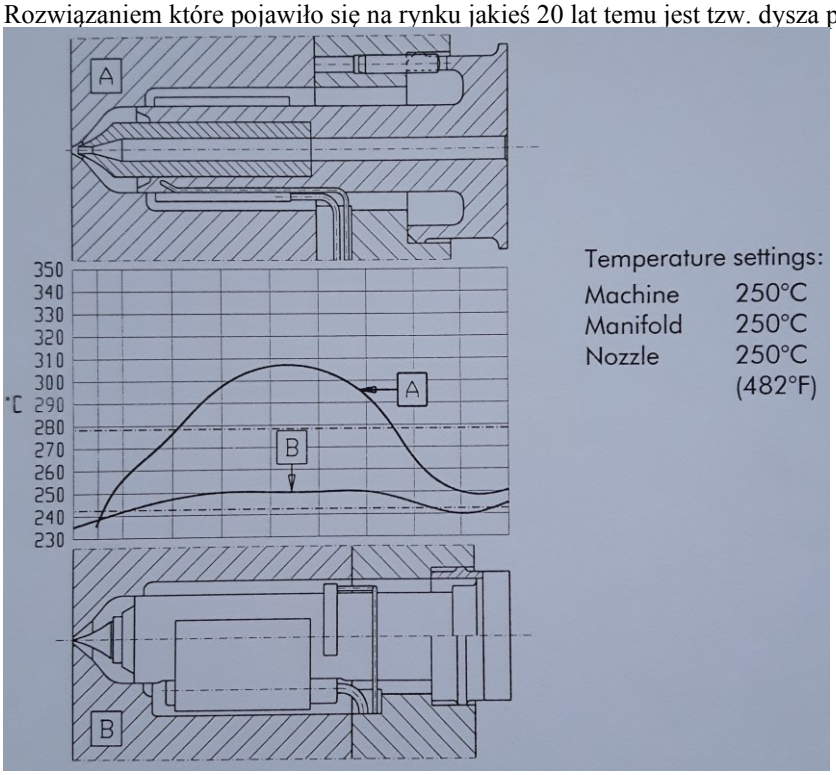


Rys.12 cykl pracy dyszy z dodatkową grzałką na końcówce (Seiki).



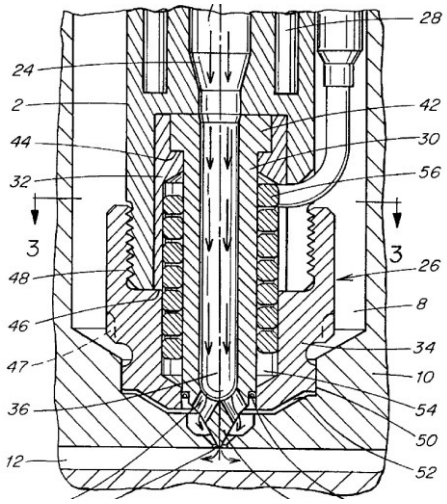
Rys.13 - po lewej stronie wypraska wtryskiwana dyszą tradycyjną, po prawej dyszą z grzałką na końcówce (Seiki).

I jeszcze dwa ciekawe rozwiązania które są już historią a z nieznanych powodów nie zdobyły rynku, a wielka szkoda, bo uważam je za rewelacyjne jako że sięgnęły ideału.
Rozwiązaniem które pojawiło się na rynku jakieś 20 lat temu jest tzw. dysza płynowa – Fluid Nozzle.



Rys.14 Porównanie temperatury w kanale dla dyszy tradycyjnie grzanej **A** i dla dyszy płynowej **B** - Fluid Nozzle (Schoettli)
Dysza płynowa zbudowana jest z dwóch rurek między którymi znajduje się płyn, podgrzewany od spodu patronową grzałką elektryczną za pośrednictwem obejmy. Dzięki wykorzystaniu zjawiska konwekcji - transport ciepła przez konwekcję jest dużo bardziej efektywny jak przez przewodzenie - płyn o stałej założonej temperaturze krąży w przestrzeni pomiędzy rurkami. Jest to jedyne rozwiązanie które pozwala uzyskać prawie idealny rozkład temperatury w kanale dyszy. Firma Schoettli zbudowała na podobnej zasadzie również ogrzewanie rozdzielacza.

Drugim bardzo ciekawym rozwiązaniem, jakie wprowadziła na rynek firma Kona, jest wykorzystanie ciepłowodów do ogrzewania dyszy. Ciepłowody pobierają energię od gorącego rozdzielacza i transportują ją do korpusu dyszy.

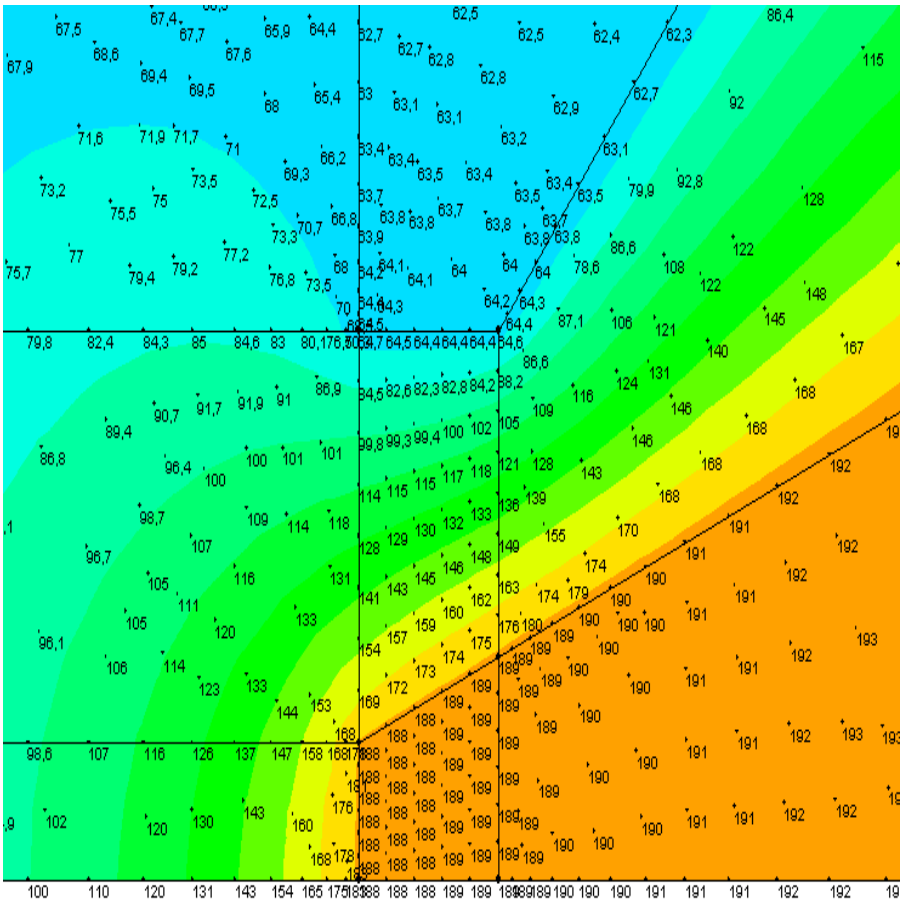


Rys.15 Patent firmy Kona na ogrzewanie dyszy GK. Poz. 28 – ciepłowód.

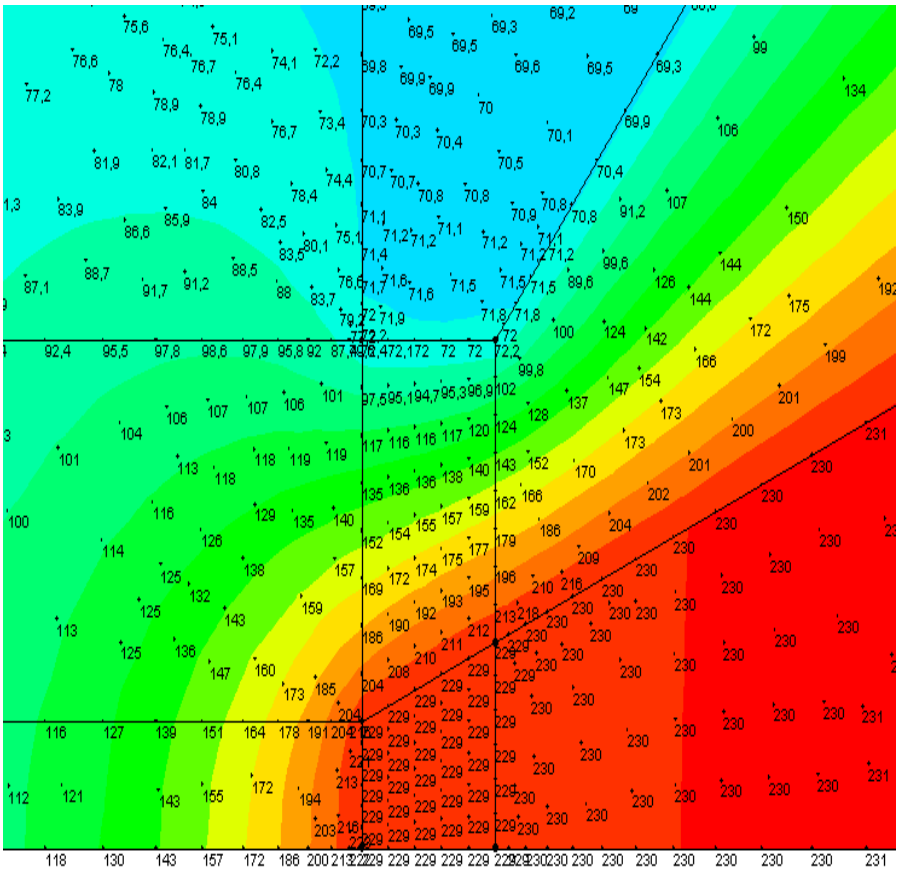
Firma Kona jako jedna z pierwszych wykorzystała ciepłowody za co została wyróżniona nagrodą przyznawaną przez NASA za ich cywilne wykorzystanie. Końcówka dyszy jest ogrzewana oddzielną grzałką poz.56. Takie rozwiązanie pozwala na prawidłowe dogrzanie końcówki bez przegrzania korpusu (podobnie jak w rozwiązaniu Seiki). Zysk polega na tym że nie jest konieczne stosowanie 2 stref regulatora do jednej dyszy.
Niestety, ostatnie dwa wspaniałe rozwiązania były droższe od tradycyjnych i dlatego swój byt skończyły w biurze patentowym.

Moi niektórzy koledzy z branży twierdzą że dysza GK to tylko rurka z grzałką, a więc nie ma bardziej banalnego i prostego urządzenia, chyba że przywołamy cep. Mam nadzieję że ten krótki opis wskaże najważniejsze aspekty jakie muszą zostać rozważone aby prawidłowo zrozumieć i zbudować nie tylko dyszę ale i cały system. Autor wielokrotnie spotykał się z tzw. samorubami które rzadko poprawnie pracowały, narażając wtryskownie na duże straty ze względu na przestoje i produkcję wadliwych wyprasek. Dlatego proponuję nie lekceważyć rurki z grzałką i powierzać dostawę systemów GK wyspecjalizowanym firmom.

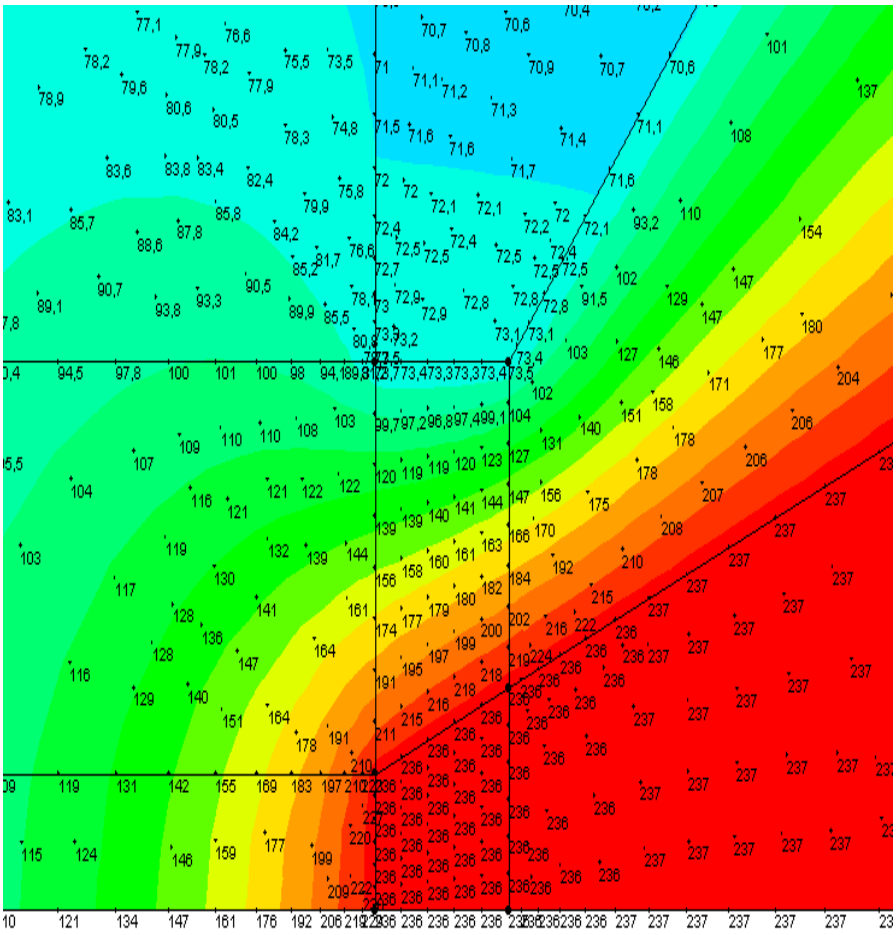
Możliwość sterowania drożnością przewężki jako zaworu termicznego.
Ostatnim elementem który kontroluje temperaturę w obszarze przewężki i można powiedzieć że styka się z wypraską jest końcówka zwana inaczej torpedą.
System GK powinien zapewnić każdorazowe otwarcie przewężki w momencie wtrysku i ograniczenie możliwości wypływania tworzywa z przewężki w chwili otwarcia formy.
Drugim ważnym aspektem pracy systemu GK jest unikniecie wad detalu w obszarze przewężki (np. wysokiego śladu po wtrysku, przypaleń, kroplenia, ciągnięcia nitki).
Wady optyczne wypraski w obszarze przewężki są prawdziwą zmorą w przypadku nieprzemyślanego doboru systemu GK.
Stąd rozkład temperatury w samej końcówce dyszy ma bardzo duże znaczenie, dlatego też koniecznym jest stosowanie końcówek wykonanych z materiału o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła (np. stopów Cu – współ. przew. ciepła ok. 160 W/mK, lub stopów Mo – współ. przewodzenia ciepła ok 130 W/mK).
Poniższe rysunki pokazują rozkład temperatury dla końcówki z różnych materiałów przy tej samej temperaturze dyszy 250 stC.



Końcówka ze stali 1.2343 - współ. przew. ciepła 25 W/mK



Końcówka z molibdenu - współ. przewodzenia ciepła ok 130 W/mK



Końcówka z brązu - współ. przew. ciepła ok. 160 W/mK

W zależności od wtryskiwanego materiału dobierane są końcówki dysz z odpowiednich stopów tak aby nie doszło do zablokowania przewężki przy jednoczesnej degradacji stopu w korpusie dyszy. Np. POM homopolimer powinien być przetwarzany przy różnicy temperatur nie większej jak 20 stC więc zastosowanie końcówki ze stali dla tego polimeru skończyłoby się katastrofą.

Staraliśmy się przekazać czytelnikowi najbardziej podstawowe informacje gdyż tematyka GK jest ogromna. Wszystkich zaciekawionych budową i działaniem systemów GK odsyłamy do bogatej literatury w/w przedmiocie. Na rynku ukazało się mnóstwo artykułów i książek na temat GK i w przypadku ich stosowania warto się podszkolić. Również mnóstwo informacji można znaleźć w katalogach firmowych producentów systemów GK.

Część II – rozważania szczegółowe na podstawie konkretnych przypadków z praktyki przemysłowej

4. Formy na wypraski medyczne

Wypraski medyczne muszą spełniać szereg ostrych wymagań którym nie podlegają tzw. wypraski pospolite. Te podstawowe wymagania to:
1 - **jakościowe**
-wysoka czystość w momencie opuszczania formy (wolne od zanieczyszczeń np. typu smar z wypychaczy czy produkty ścierania prowadnic)
-wąskie tolerancje wymiarowe (przykład to farmaceutyczne opakowanie leku wziewnego składające się z kilkunastu wyprasek)
-wysoka jakość powierzchni bez smug, zapadów, niedolewów, wypływek, zatarć faktury
-wolne od nitek a szczególnie mikronitek zwykle tworzących się przy wlewku GK.
2 – **ekonomiczne**
-dla wyprasek masowych możliwie niski koszt jednostkowy (b. krótki cykl i duża krotność formy)
-możliwie wysoka trwałość narzędzia
-łatwe i szybkie przeglądy okresowe i naprawy poprzez nieskomplikowaną wymianę matryc i stempli.

Pogodzenie wymagań jakościowych z ekonomicznymi zmusza narzędziownie do stosowania:
-nowoczesnych technik obliczeniowych i projektowych przy tworzeniu konstrukcji,
-dokładnych i wydajnych obróbek,
-odpowiednich materiałów (stale nierdzewne i stopy nieżelazne)

Z tych wymagań wynikają kryteria stosowane przy budowie formy wtryskowej.
Zależnie od charakteru wypraski (produkcja masowa lub jednostkowa/małoseryjna) możemy podzielić wymagania na odnoszące się do jednej lub drugiej grupy wyprasek :

Formy wtryskowe na wypraski medyczne

Produkcja masowa

- Sprzęt medyczny jednorazowy np. strzykawki
- Opakowania farmaceutyczne

Krótkie serie

- Obudowy przyrządów medycznych
- Elementy funkcjonalne – np. sztuczne serce

WYMAGANIA PRODUCENTA WYPRASEK
JAKOŚĆ, KOSZT , TERMIN

- Możliwie krótki cykl
- Bezawaryjna praca (wysoka niezawodność)
- Odpowiednia trwałość (mln. cykli)
- Krótki termin dostawy
- Niska cena
- Ograniczona trwałość (nawet kilkaset cykli

WYMAGANIA DLA NARZĘDZIA
JAKOŚĆ, KOSZT , TERMIN

- **Wysoka sztywność**
- Doskonałe chłodzenie (termostatowanie)
- Bardzo sprawny system uwalniania wypraski
- Brak lub minimum odpadu technologicznego (w postaci kanałów doprowadzających), najczęściej GK
- Przyjazne w eksploatacji (podatne na naprawę)
- Odpowiednio sztywne
- Chłodzenie uproszczone
- Dopuszcza się formowanie przez wymienne, wyjmowane wkładki i ręczne uwalnianie
- Objętość kanałów bez znaczenia
- Naprawa polega na wykonaniu nowych matryc

TECHNIKI I SPOSOBY REALIZACJI

O dużej krotności formy stalowe; formy piętrowe	Formy o możliwie uproszczonej budowie
Dokładna analiza -reologiczna -termiczna -mechaniczna	Analiza reologiczna w ograniczonym zakresie
Materiały	
-hartowane, wysokiej jakości nierdzewne stale narzędziowe -stopy nieżelazne bez metali ciężkich	stale nierdzewne w stanie ulepszonym
Obróbka cieplno-chemiczna	
-pokrycia PVD	
Sprawdzone mechanizmy - prowadnice bezsmarowe -napędy elektryczne - głównie serwosilniki	Proste mechanizmy z ręcznym napędem

Spróbujemy teraz omówić sposoby realizacji wyżej przedstawionych wymagań.
Zaczniemy klasycznie. Zgodnie z metodologią przyjętą w Wadim Plast projektowanie formy zaczyna się od wstępnej koncepcji konstrukcyjnej a potem serii analiz. Tutaj nie jesteśmy odkrywczy, kanon „ **przez analizę do syntezy**" obowiązuje całą działalność konstrukcyjną a został rozwinięty już w wieku XIX przy projektowaniu konstrukcji stalowych (kratownice). Jeśli konstruktor nie chce być zaskoczony efektem swoich działań obowiązkowo musi zacząć od szczegółowych analiz. Spróbujemy to pokazać na 2 przykładach.

Formy do krótkich serii

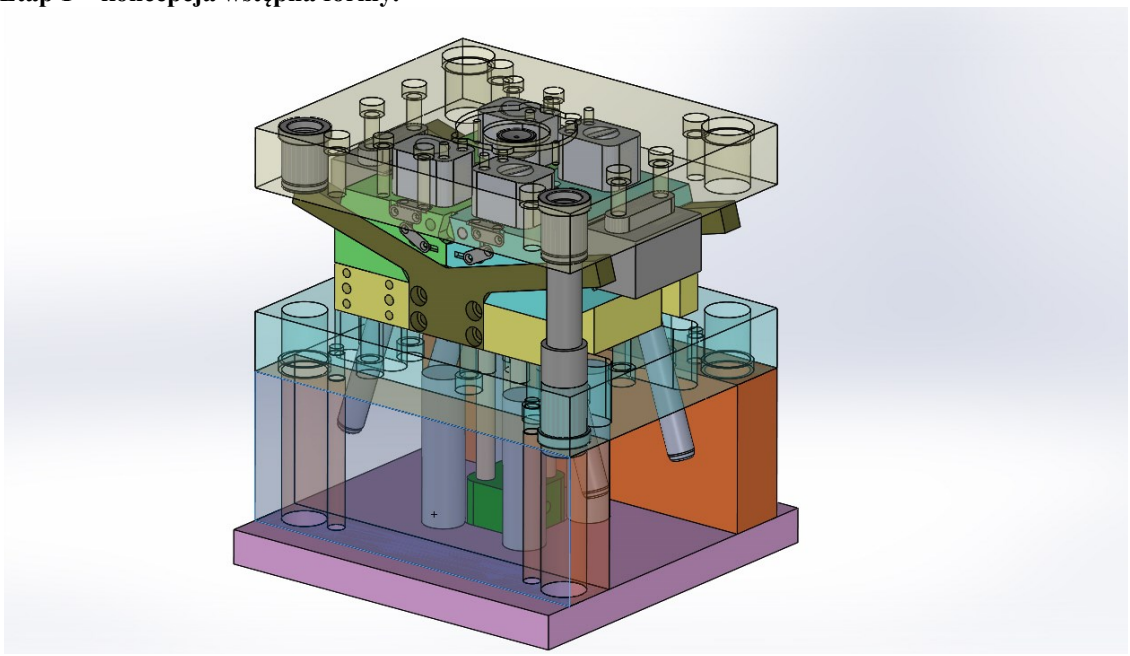
Przykład 1- czasza krwista sztucznego serca.
WadimPlast opracował i wykonał zestaw form wtryskowych składających się na prototypowy egzemplarz pozaustrojowej pompy wspomagania serca **ReligaHeart PED**.

W artykule zajmiemy się formą na najtrudniejszą wypraskę – czaszą krwistą.
Jest to wypraska z grupy „krótkie serie" ale o bardzo ostrych wymaganiach dotyczących geometrii, jakości powierzchni i idealnej przezroczystości, produkowana z „egzotycznego" dla nas materiału o bardzo wąskim oknie przetwórczym.

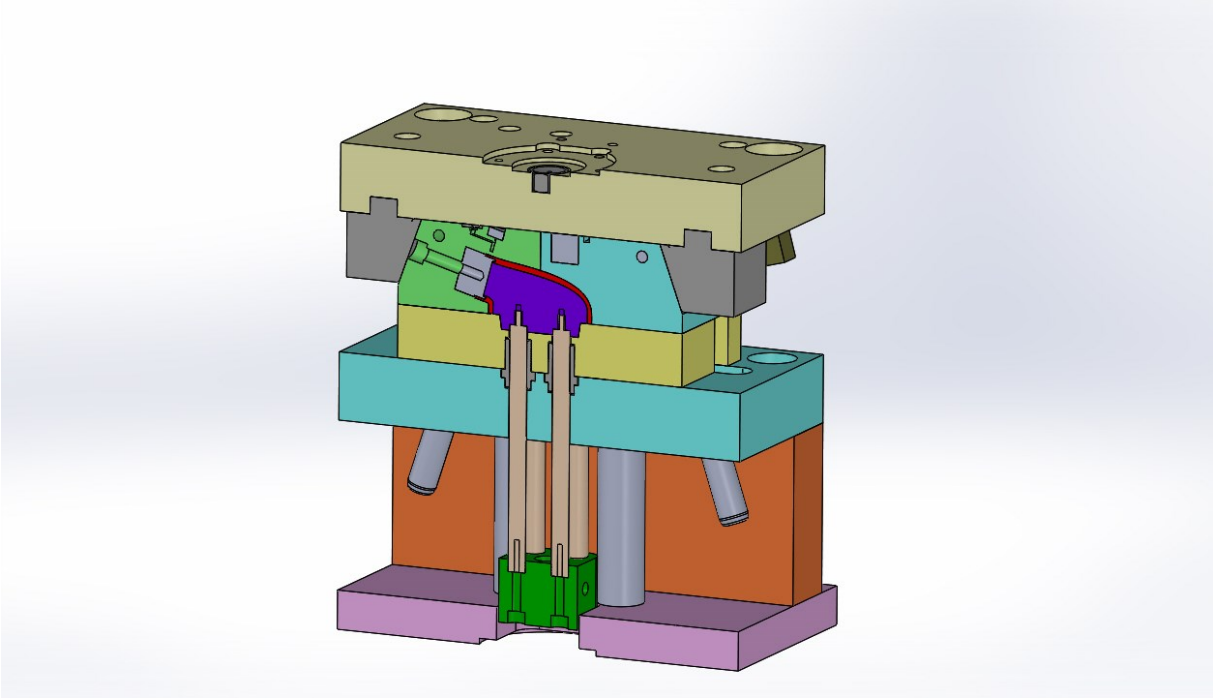
Czasza krwista wykonana z biozgodnego poliuretanu.

Podczas fazy koncepcyjnej form wtryskowych wykonano analizy procesu wtrysku detali, w szczególności czaszy krwistej, która jest najbardziej złożonym geometrycznie elementem całej konstrukcji pompy. Z uwagi na jej skomplikowany asymetryczny kształt utrudniający możliwość bezkolizyjnego zdjęcia wypraski z rdzenia formy wtryskowej proces projektowy wymagał zastosowania symulacji komputerowych.

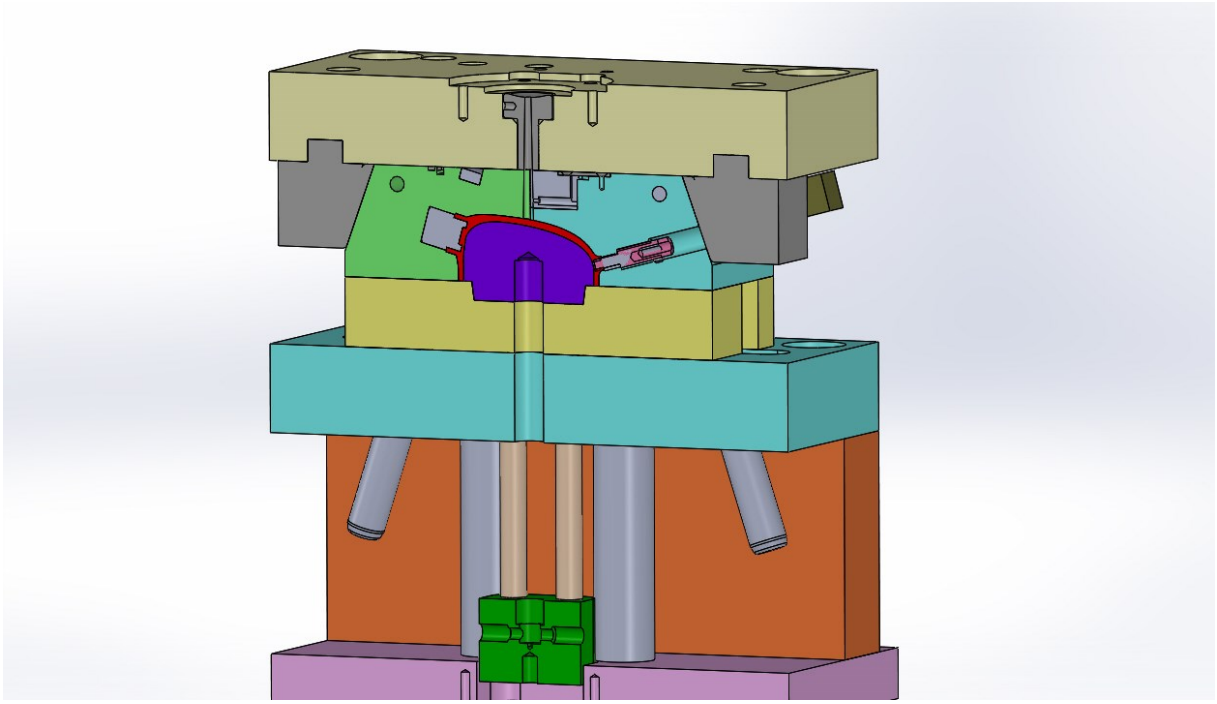
Etap 1 – koncepcja wstępna formy.



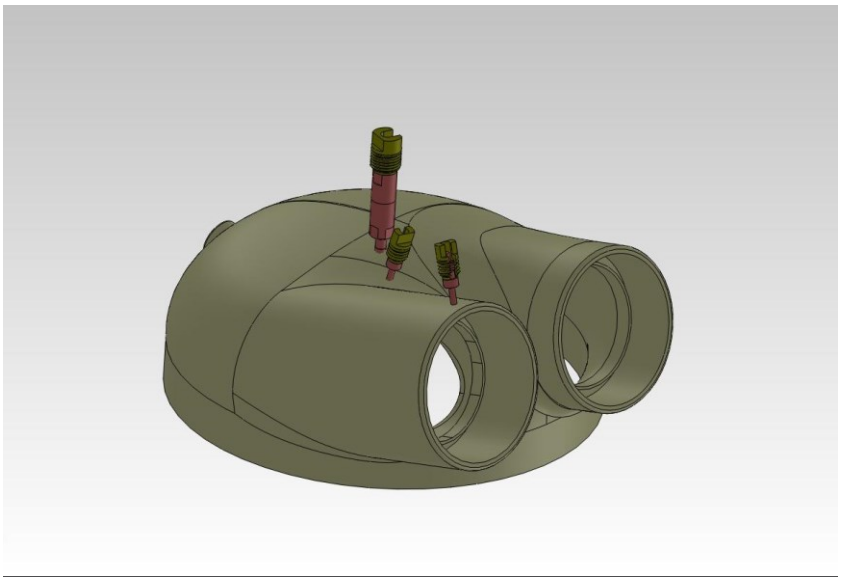
Ze względu na króćce po obu stronach wypraski matrycę tworzą 2 suwaki.



Przekrój przez króciec krwisty. W zielonym suwaku widać wnękę pod montaż czujnika temperatury **Priamus**.

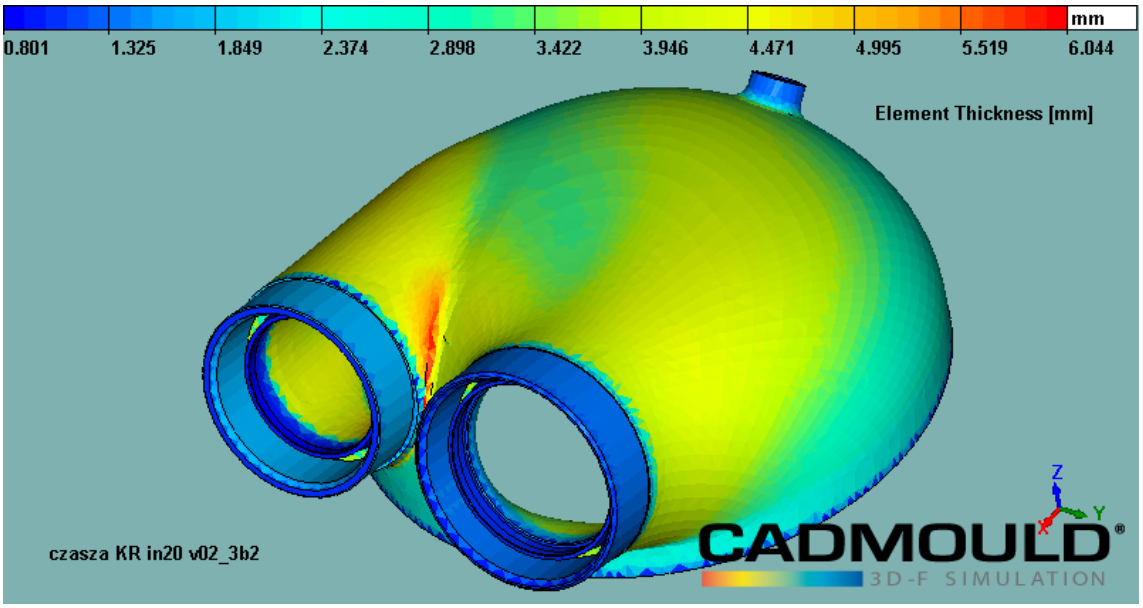


Przekrój przez króciec czujnika – niebieski suwak. W niebieskim suwaku widać wnękę pod montaż czujnika ciśnienia **Priamus**.

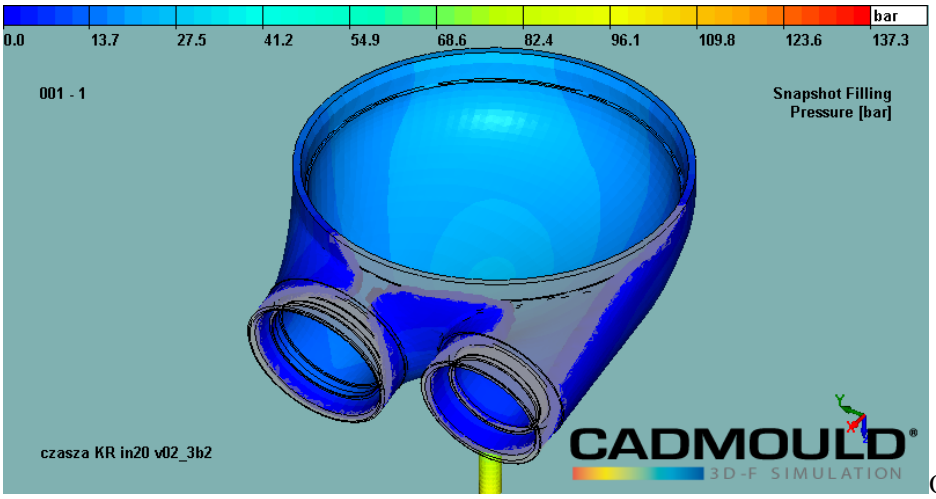


Rozmieszczenie czujników ciśnienia i temperatury względem wypraski jest kluczowym zagadnieniem przy prowadzeniu procesu na podstawie pomiarów rzeczywistych parametrów procesu w gnieździe formy. Jak się okaże, przy tego typu wyprasce nietechnologicznej (duże różnice w grubościach ścian), zastosowanie czujników i technologii obróbki sygnału **Priamus**, umożliwi uzyskanie poprawnych wyprasek.

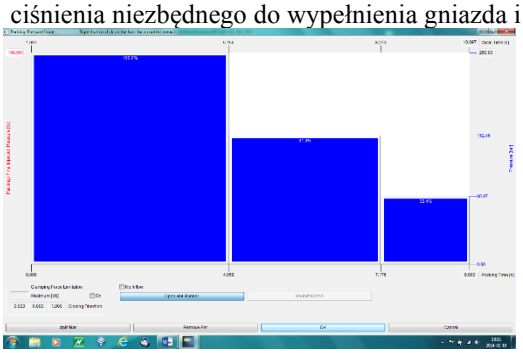
Zaczynamy analizę.

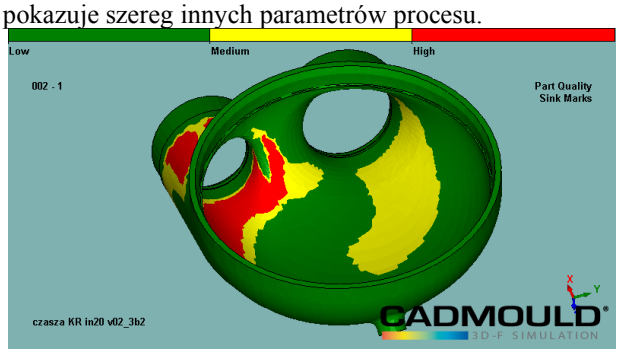


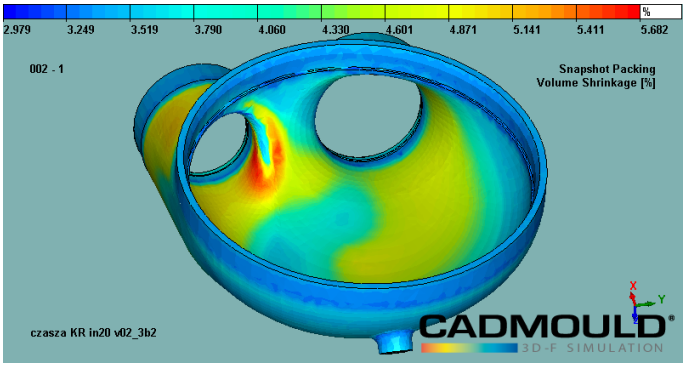
Analiza grubości ścian pokazuje że mamy do czynienia z wypraską nietechnologiczną. Grubość zawiera się w zakresie od 0,8 do 6 mm. Takie wypraski sprawiają dużo problemów przy produkcji zwłaszcza jeśli stawiane są wysokie wymogi co do jakości powierzchni.



Obraz wypełniania gniazda pozwala łatwo lokalizować miejsca łączenia frontów i pułapki powietrzne. Informuje o wielkości ciśnienia niezbędnego do wypełnienia gniazda i pokazuje szereg innych parametrów procesu.

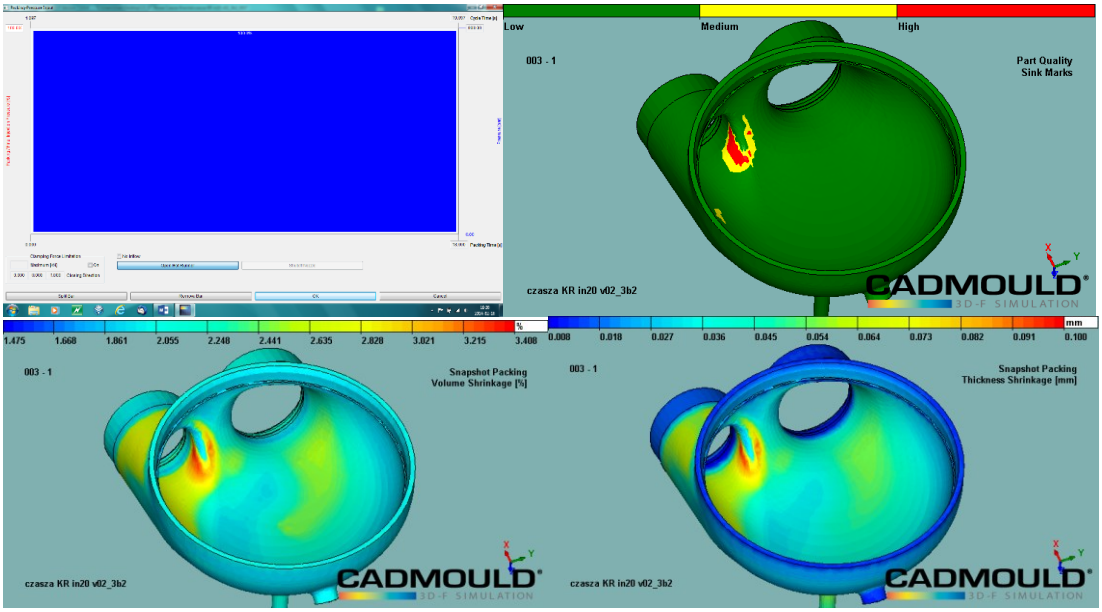






Dla tej wypraski która musi posiadać nieskazitelną powierzchnię, jakiekolwiek zapadnięcia są niedopuszczalne. Jak widać w obszarach grubych ścian występuje największy skurcz objętościowy i największe tendencje do zapadnięć. Przyjęty profil docisku, ciśnienie 250 bar i czas docisku 9 s jest za niskie i za krótkie. Spróbujemy zmienić profil i wielkość docisku i zbadać jego wpływ na tworzenie się zapadnięć.

Po kilku eksperymentach obliczeniowych mamy sytuację jak niżej.



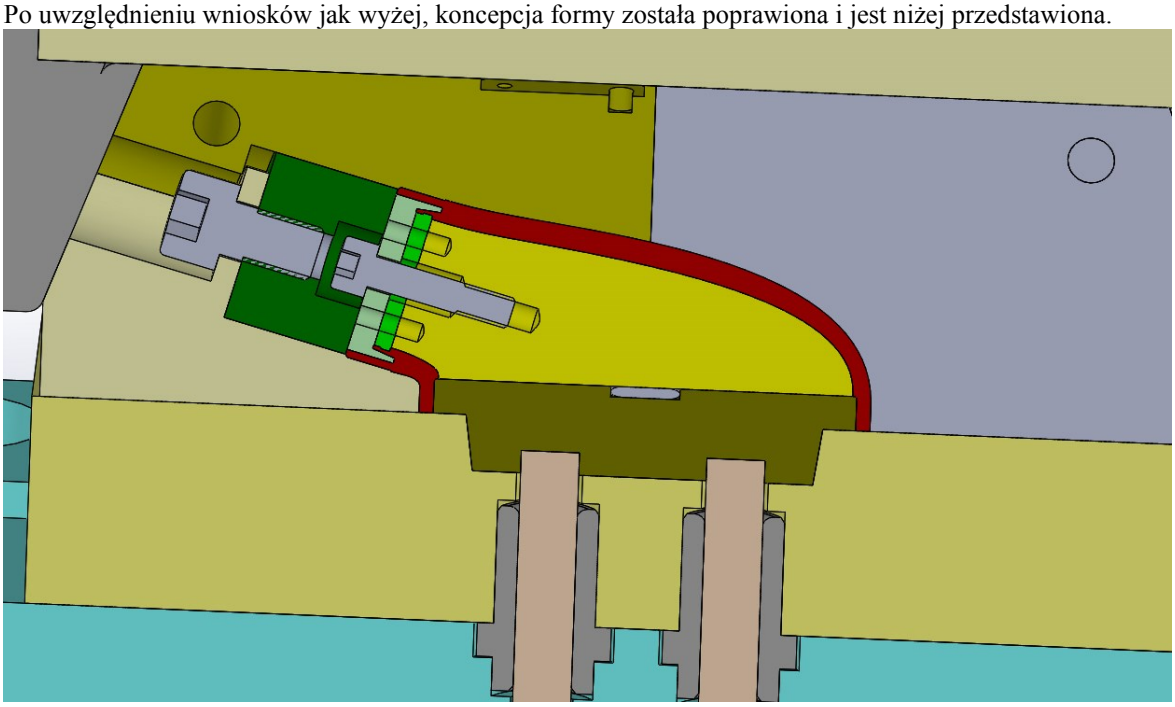
Profil docisku jak dla materiałów krystalicznych; ciśnienie 1200 bar, czas 18 s. Max. skurcz objętościowy spadł do 3,4% a max. skurcz na grubości ściany w miejscu najgrubszym nie przekracza 0,1 mm. Mimo tak dużego ciśnienia nie można pozbyć się fragmentu w którym wystąpi minimalny ale jednak zapad.
Co jest jeszcze niepokojące w przedstawionych wynikach?
1 – króćce krwiste (najcieńsze ścianki) posiadają na grubości skurcz równy 0,008 mm,
2 – siła rozwierająca suwaki, kierunek osi X, przy tak dużym ciśnieniu docisku jest na poziomie 35 Ton.

Wnioski wynikające z przedstawionej analizy zmusiły konstruktora do zmiany koncepcji formy.

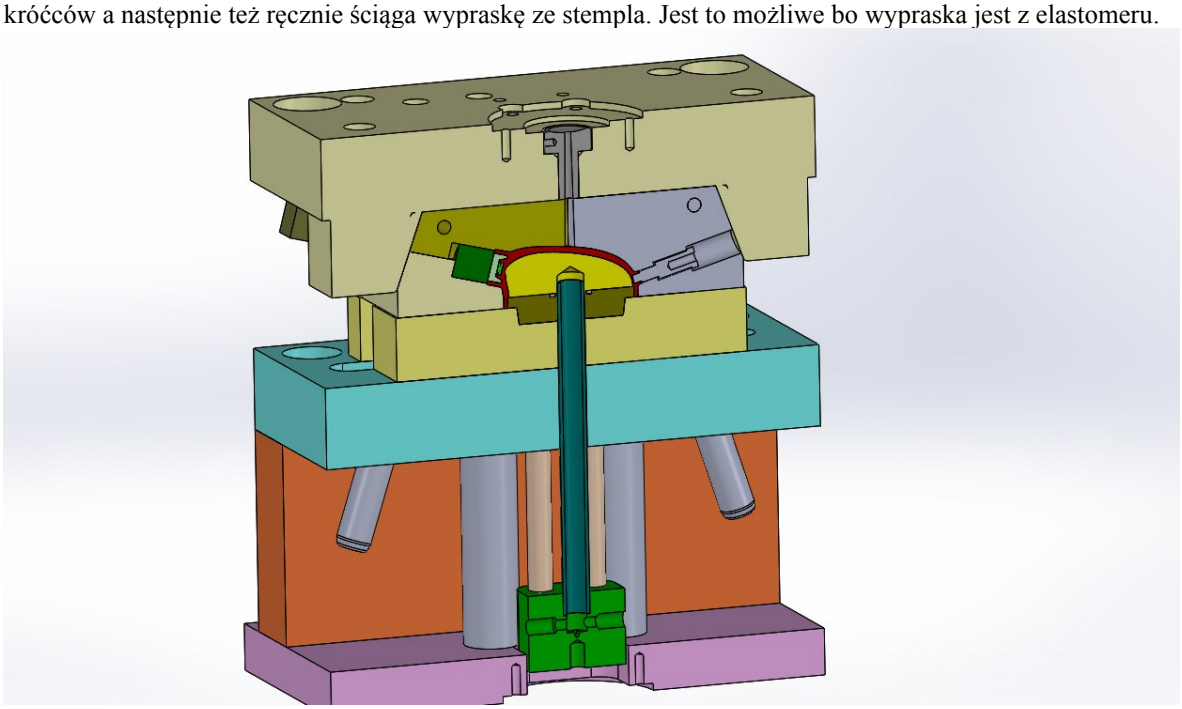
1 – musi się zmienić sposób uwolnienia króćców krwistych. W pierwszej koncepcji króćce są wyciągane ze szczeliny pomiędzy suwakiem a stemplem co przy tendencji przywierania poliuretanu do powierzchni formującej może doprowadzić do ich urywania lub niedopuszczalnych deformacji.
2 – zaryglowanie suwaków przez kliny oprawione w płycie matrycowej jest zbyt wiotkie. Kliny ryglujące suwaki powinny być integralne z płytą matrycową.

Etap 2 – ostateczna koncepcja formy.

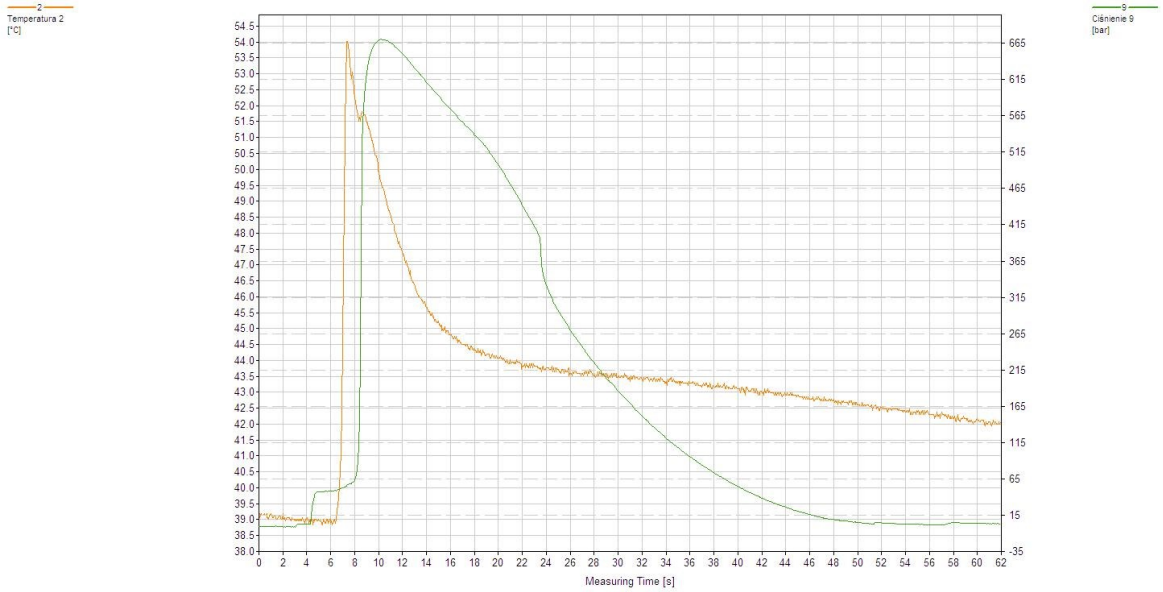
Po uwzględnieniu wniosków jak wyżej, koncepcja formy została poprawiona i jest niżej przedstawiona.



Suwak formujący króćce krwiste (po lewej) został podzielony i po otwarciu formy stempel jest wysuwany do przodu przez wypychacz hydrauliczny wtryskarki. Wtedy operator usuwa ręcznie pierścienie formujące wnętrze króćców a następnie też ręcznie ściąga wypraskę ze stempla. Jest to możliwe bo wypraska jest z elastomeru.



W celu nadania dużej sztywności zamknięciu suwaków, kliny ryglujące zostały zintegrowane z płytą.
Z małym zapadem poradził sobie technolog odpowiednio kształtując profil docisku w gnieździe formy. Tylko dzięki zastosowanym czujnikom Priamus do pomiaru temperatury i ciśnienia bezpośrednio w gnieździe, można było tak zoptymalizować profil ciśnienia że przy ciśnieniu docisku 600 bar zapady zostały całkowicie usunięte.



Wykres temperatury (brązowy) i profil ciśnienia (zielony) pomierzony przez czujniki i obrobiony przez jednostkę pomiarowo-sterującej **Priamus**.
Wszystkie elementy formujące zostały wykonane ze stali nierdzewnej 1.2316 a płyty ze stali 1.2085. Słupy i tuleje prowadzące zostały dobrane w wersji bezsmarowej. Prowadnice suwaków zostały wykonane ze stali nierdzewnej w stanie hartowanym. Do ich smarowania wykorzystano specjalny syntetyczny smar Strack Z-9070.

Wytworzone technologią wtrysku pierwsze elementy pompy spełniają postawione wymagania zarówno pod względem jakości powierzchni a także zgodności wymiarowej detali.

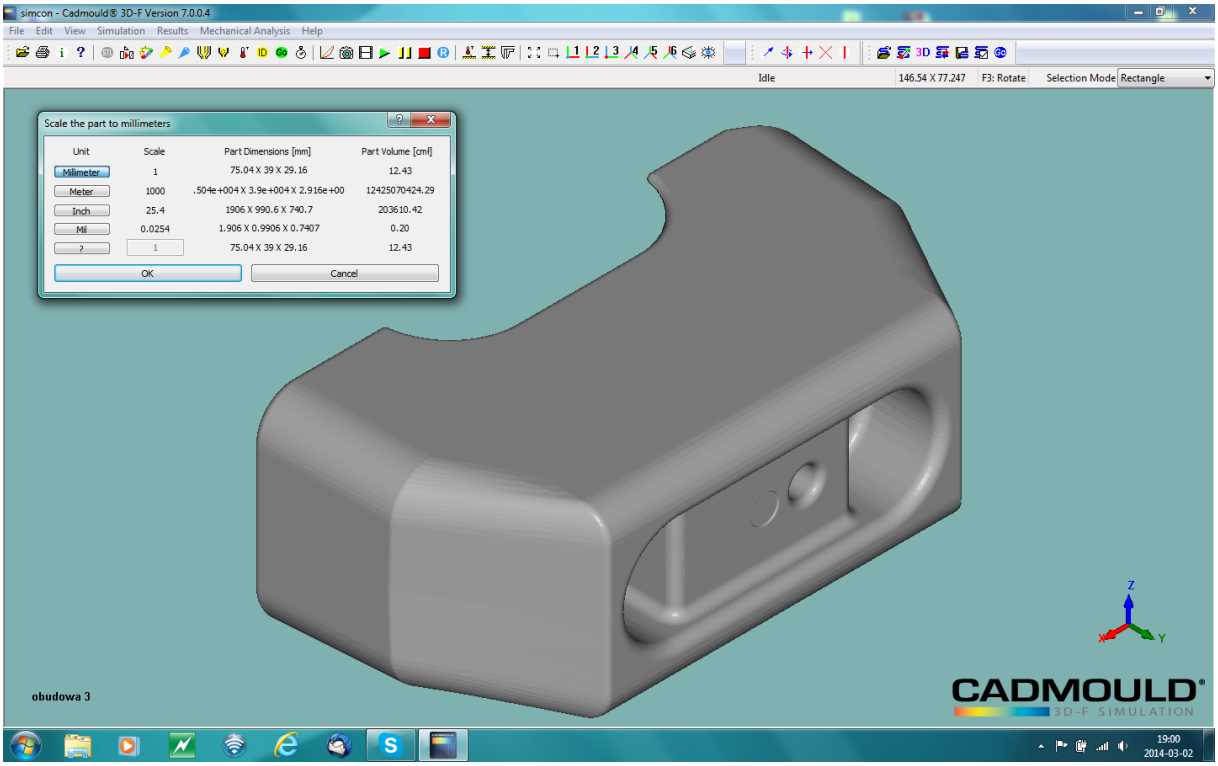
Elementy składowe pompy ReligaHeart PED: (od lewej kolejno) czasza krwista, czasza pneumatyczna, pierścień.

Posiadają gładkość i ciągłość powierzchni oraz zgodność odwzorowania kształtów. Ściany elementów charakteryzują się wysoką przeźroczystością. Wytworzone elementy posłużyły do przeprowadzenia pierwszych prób montażu prototypu pompy jednak już z nowego biopolimeru BIONATE II.

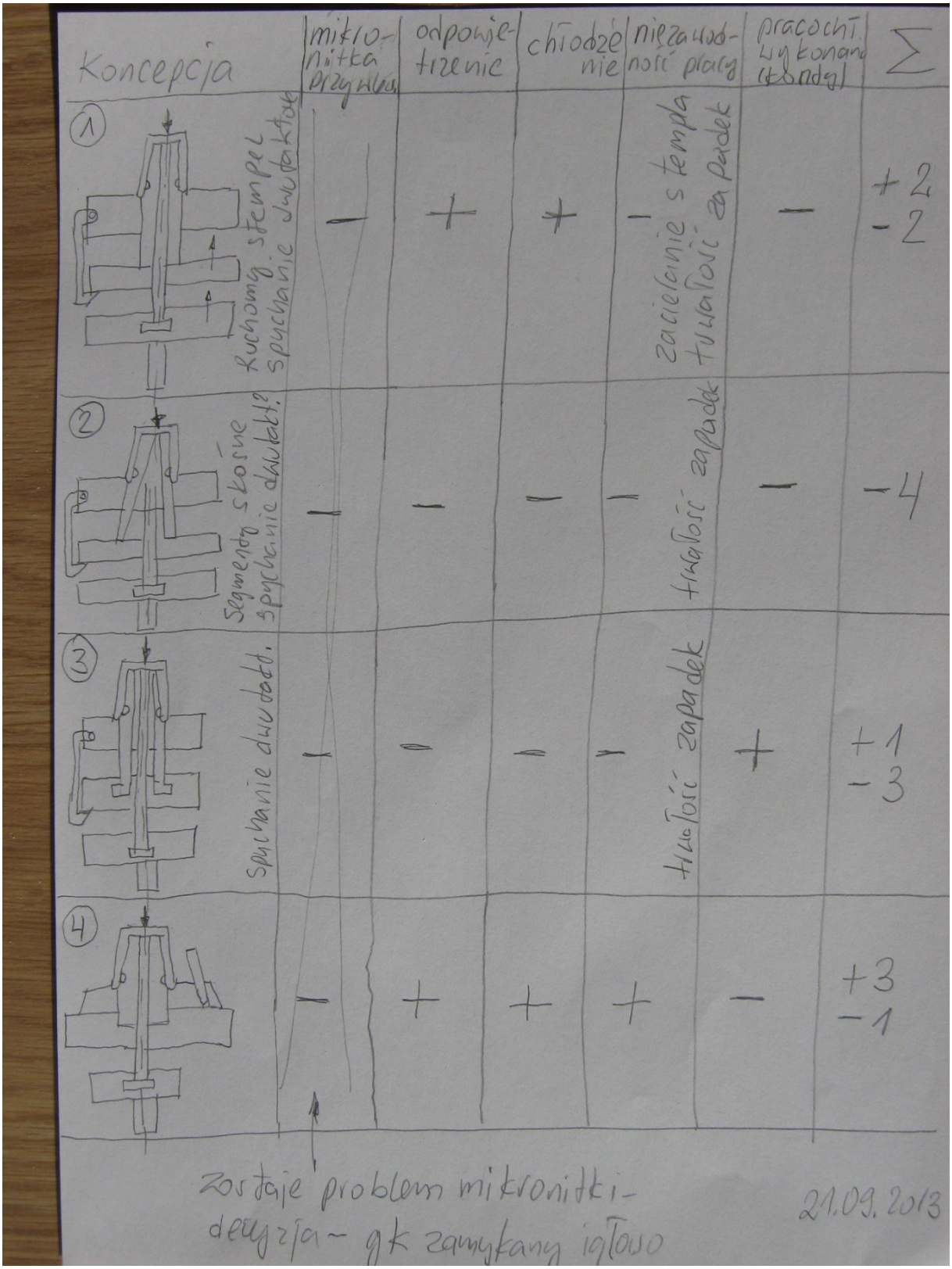
Formy dedykowane do produkcji masowej

Typowe wypraski medyczne produkowane masowo.

Przykład 2- obudowa dozownika płynnego preparatu.
Jest to wypraska z grupy „produkcja masowa" produkowana w milionach sztuk (wymagany możliwie krótki cykl) o bardzo dużych wymaganiach dotyczących geometrii i jakości powierzchni. Ze względu na współpracę z innymi częściami, tolerancje wymiarów są bardzo małe. Tworzenie się mikronitek przy wlewku GK jest niedopuszczalne.



Wypraska będzie produkowana z PP w ilości 12 mln sztuk w ciągu roku.
Tak jak dla czaszy krwistej, w **WadimPlast** projektowanie formy zaczyna się od wstępnej koncepcji konstrukcyjnej a potem serii analiz.

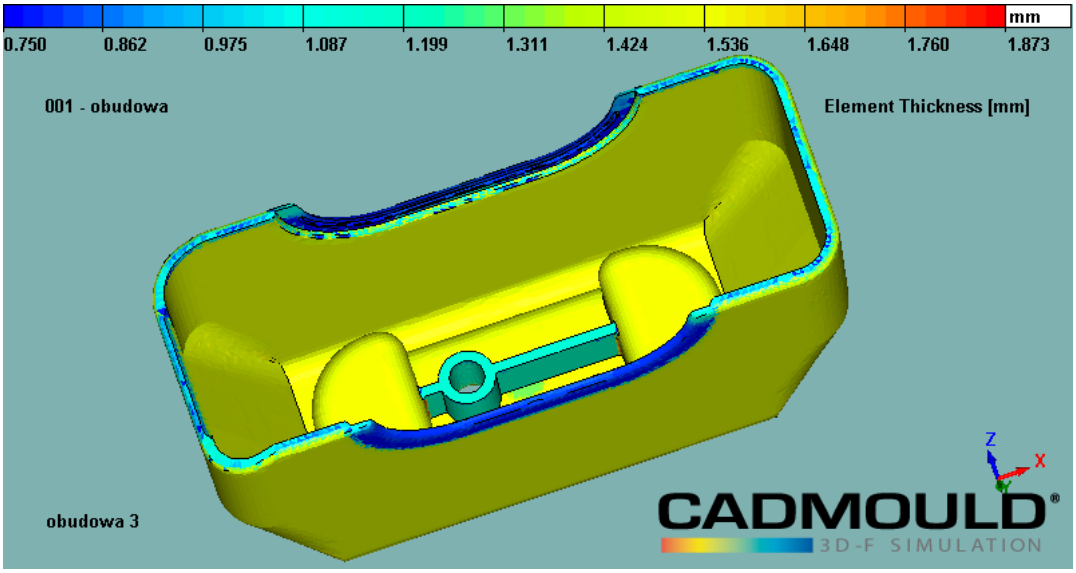


Rysunek przedstawia wybór wariantu koncepcji konstrukcyjnej formy uproszczoną metodą nadawania wartości poszczególnym kryteriom oceny. Na tej podstawie do realizacji został przyjęty wariant 4 który uzyskał najwięcej ocen pozytywnych.

Kolejny etap to konkretyzowanie wybranego wariantu do postaci konstrukcyjnej z jednoczesnym przeprowadzeniem wymaganych analiz.

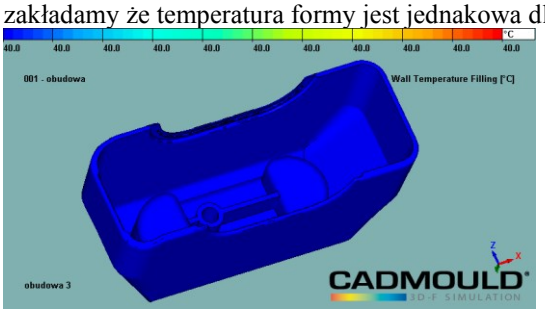
Zaczynamy analizy.

Analiza wstępna wypraski.

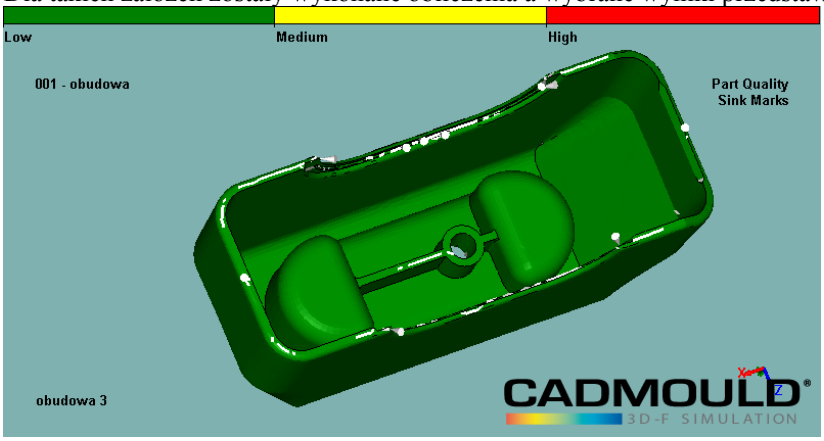


Jak zwykle zaczynamy od analizy grubości ścianek. Widzimy że prawie cała wypraska posiada stałą grubość równą 1,5 mm poza małymi fragmentami o grubości 0,75 mm. Sprawdzimy jaki to będzie miało wpływ na deformacje wypraski.

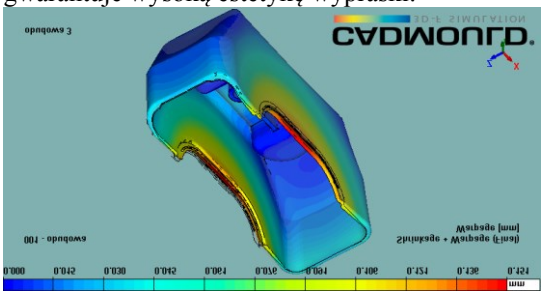
Przy analizie wstępnej ze względu na brak systemu chłodzenia (brak geometrii kanałów chłodzących) zakładamy że temperatura formy jest jednakowa dla całej powierzchni formującej i stała przez cały czas cyklu.

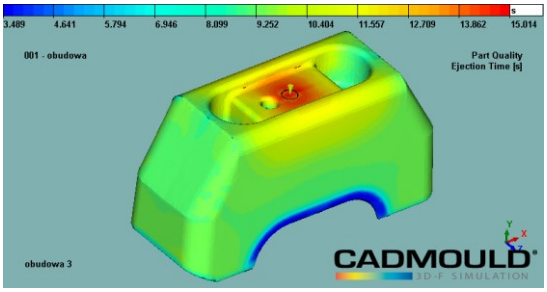


Dla takich założeń zostały wykonane obliczenia a wybrane wyniki przedstawione niżej.

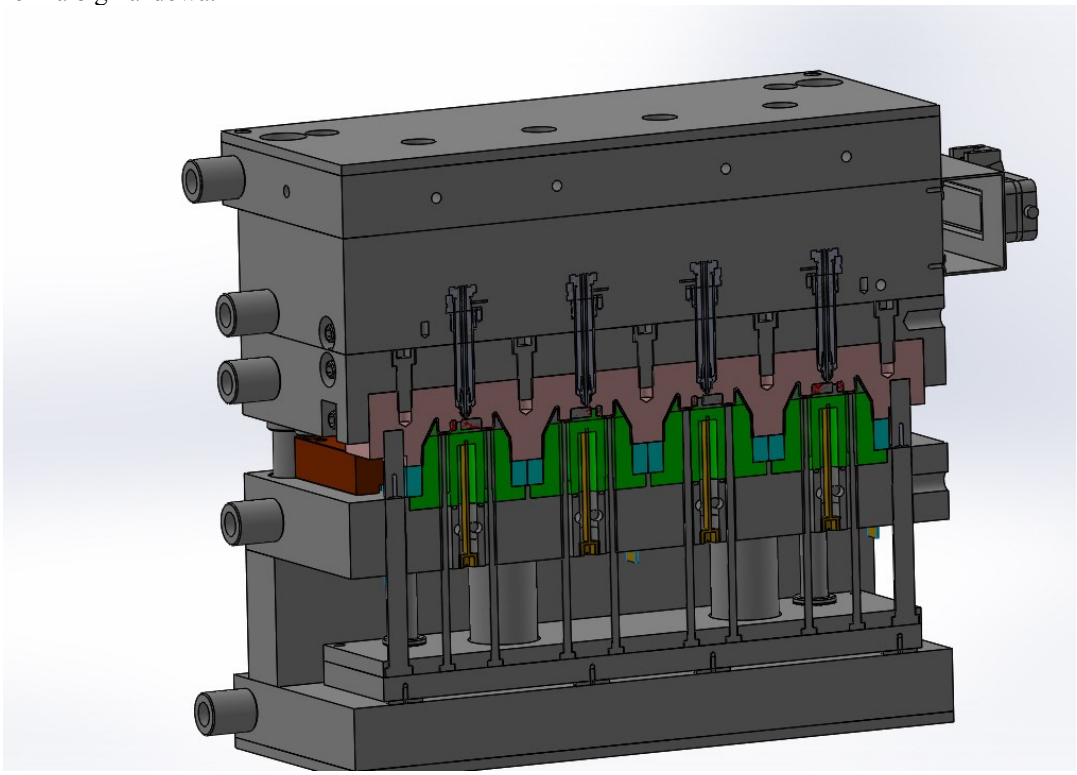


Slajd Sink Marks pokazuje że na na powierzchni wypraski nie będzie zapadów. Białe stożki pokazują miejsca gromadzenia się powietrza, powietrze gromadzi się przy podziale a więc nie będzie problemów z jego usunięciem. Białe linie czyli miejsca łączenia frontów stopu nie występują na powierzcniach zewnętrznych co gwarantuje wysoką estetykę wypraski.

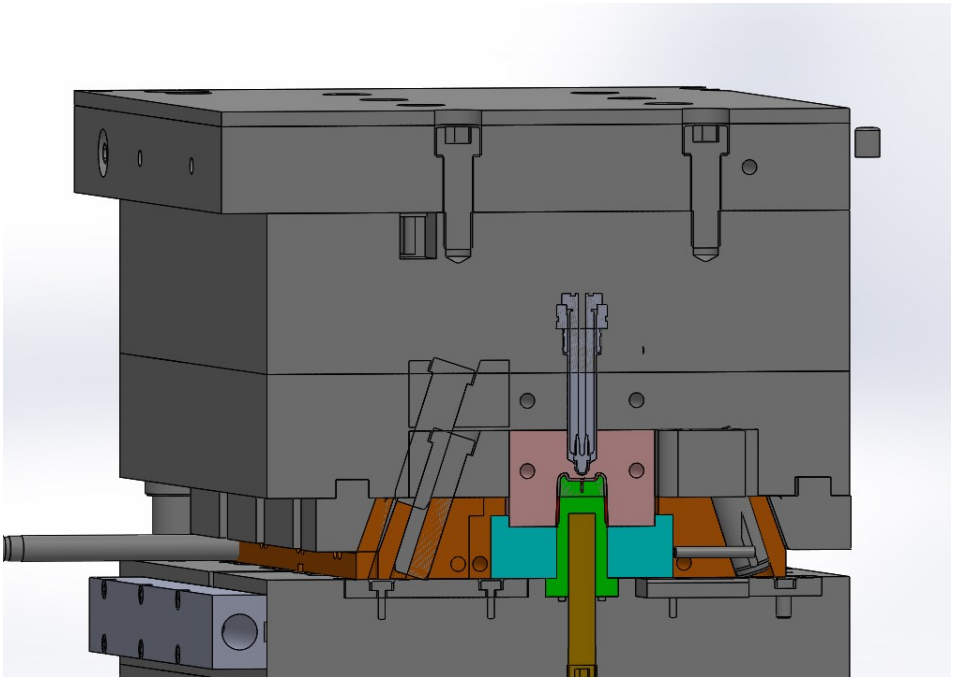




Wyliczone wartości deformacji należy wyłącznie traktować jako tendencje jako że ma się to nijak do rzeczywistych warunków formowania wypraski. Również z tego samego powodu należy z rezerwą podejść do wyliczonego czasu chłodzenia wypraski (ejection time). Przy uwzględnieniu w obliczeniach kanałów chłodzących, program wylicza rzeczywiste temperatury dla powierzchni formującej i pokazuje miejsca przegrzane (tzw. hot spots) które z reguły wymagają dużo dłuższych czasów chłodzenia. Oczywiście konstruktor musi stworzyć takie narzędzie aby rzeczywisty czas chłodzenia możliwie mało odbiegał od czasu obliczeniowego.
Na podstawie analizy wstępnej powstaje wstępna postać konstrukcyjna formy. Przy planowanej rocznej produkcji 12 mln sztuk i czasie cyklu 15 s (dla takiego czasu cyklu zostały policzone deformacje) wystarczyła by forma 8 gniazdowa.



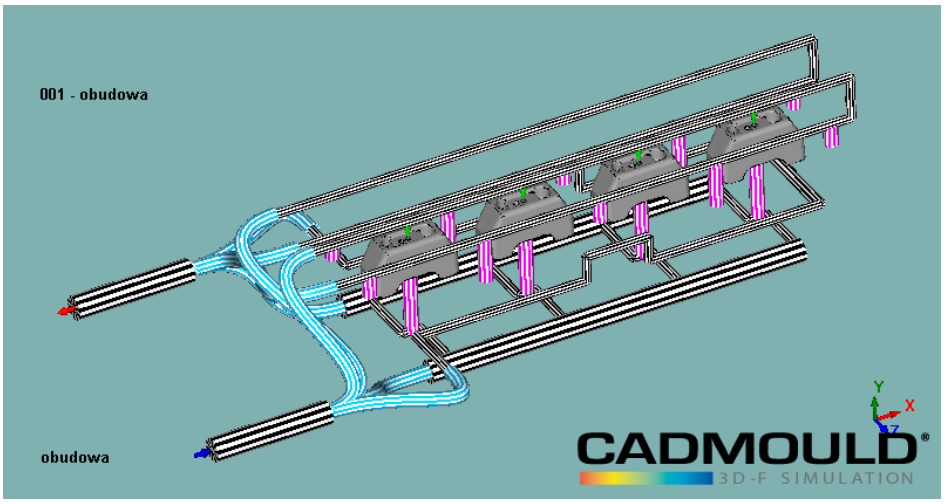
Koncepcja konstrukcyjna formy.



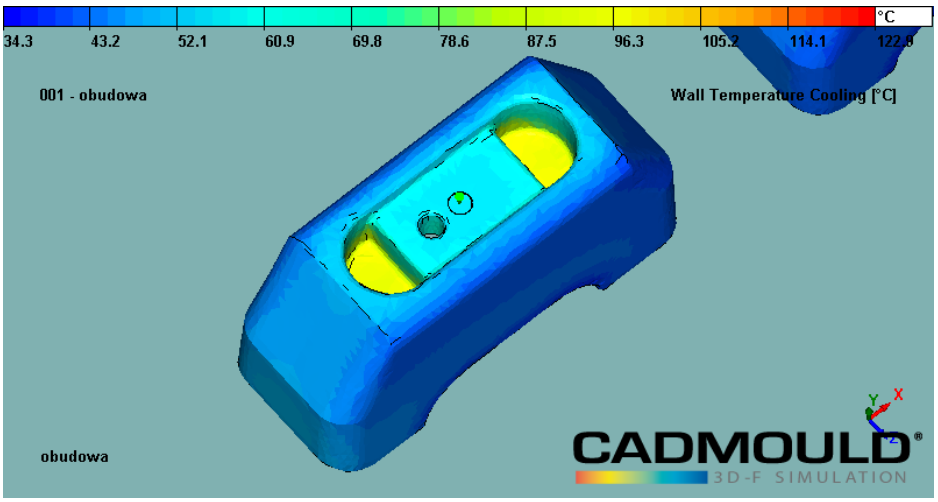
Moduł formy na 4 wypraski.

Zależnie od rzeczywistego czasu chłodzenia forma będzie się składała z takich 2, 3 lub 4 modułów. Zależnie od tego jak się zbliżymy do obliczeniowego czasu chłodzenia forma może być 8, 12 lub 16 gniazdowa.

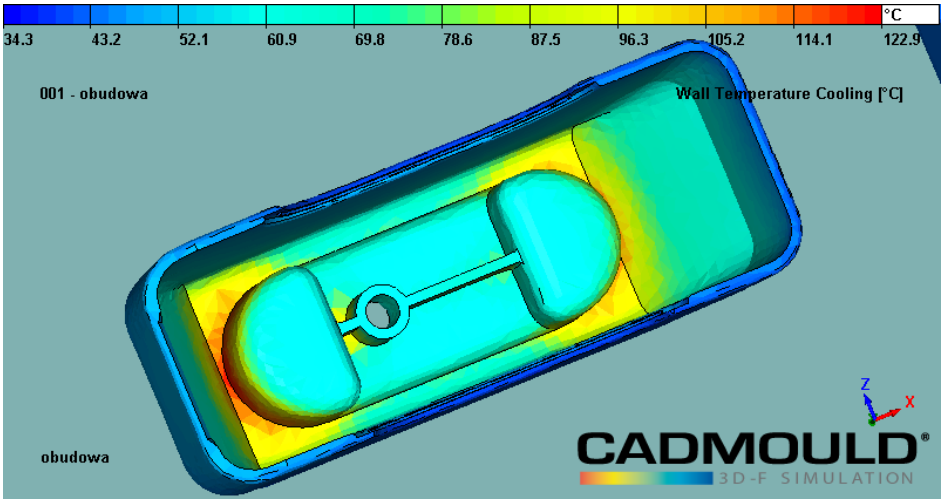
Analizy szczegółowe
W koncepcji konstrukcyjnej konstruktor zawarł geometrię kanałów chłodzących dla 1 modułu (który w formie docelowej będzie odpowiednio powielony). Możemy więc wyliczyć rzeczywisty czas chłodzenia i rzeczywiste deformacje wypraski. Konstruktor ustalił że elementy formujące będą wykonane z narzędziowej stali nierdzewnej 1.2083 a obudowa (korpus) ze stali nierdzewnej 1.2085.
Ruszamy z analizą szczegółową.



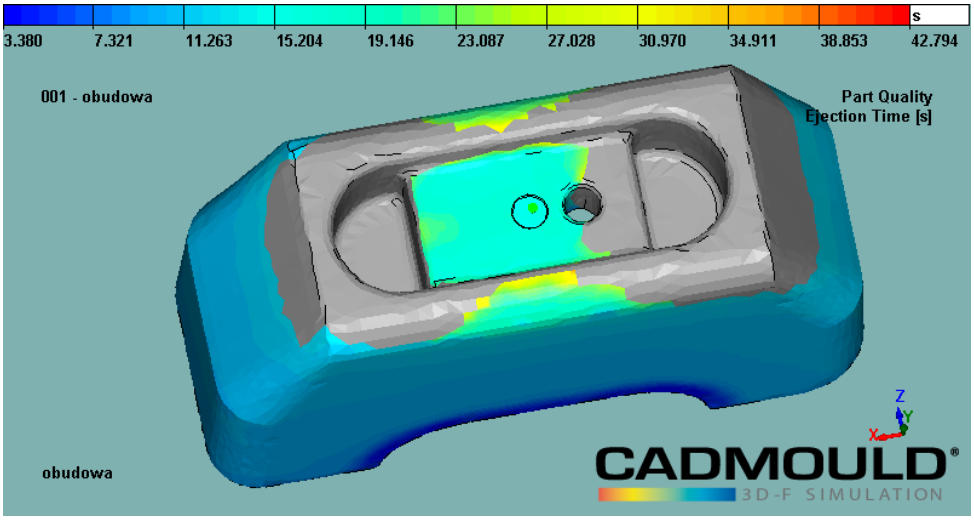
Konfiguracja kanałów chłodzących zaproponowana przez konstruktora. Temperatura wody zasilającej 15 stC.
Dla przejrzystości pokażemy interesujące nas wyniki bez kanałów i dla jednej wypraski.



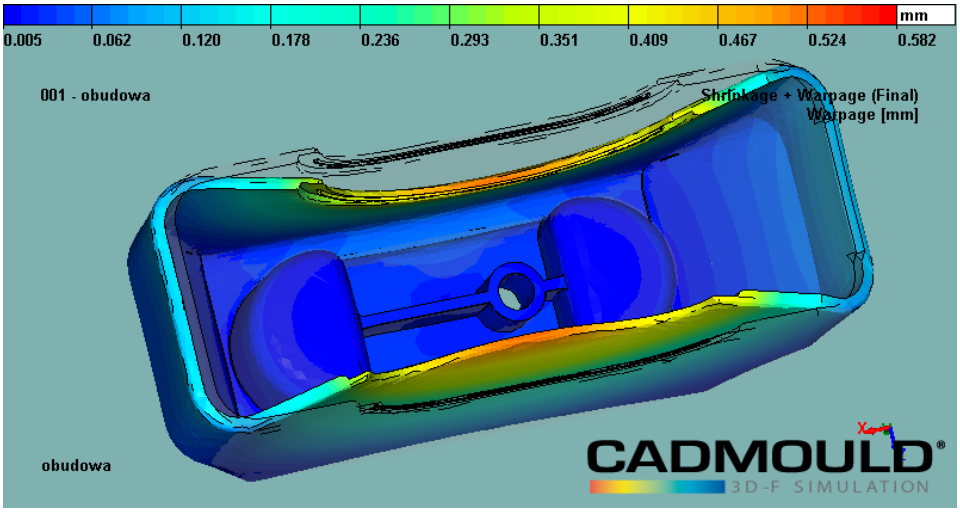
Temperatura powierzchni formującej matrycy w chwili wyrzucania wypraski. Max=90 stC.



Temperatura powierzchni formującej stempla w chwili wyrzucania wypraski. Max=123 stC.



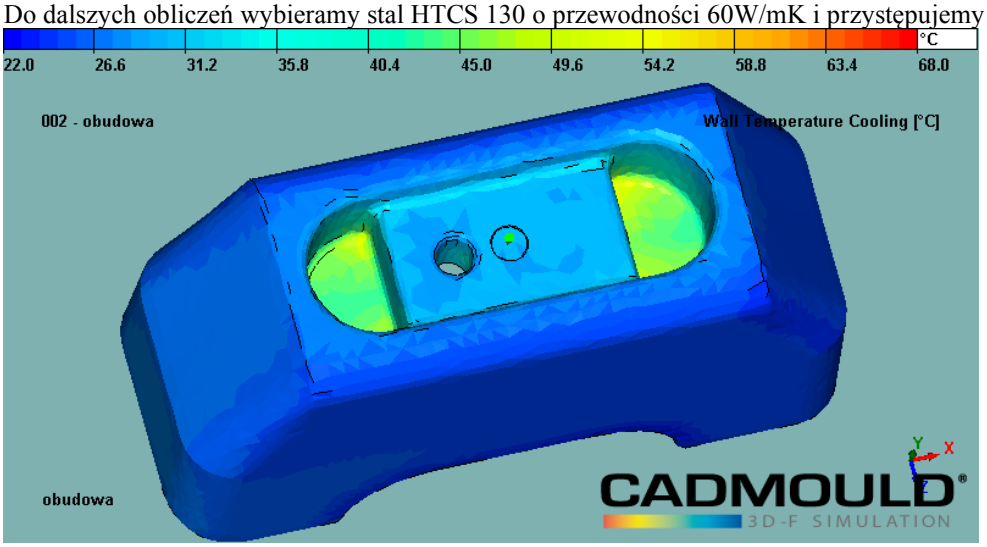
Rzeczywisty czas chłodzenia w stosunku do obliczeniowego kilkakrotnie dłuższy a co za tym idzie i czas cyklu odpowiednio wzrośnie.



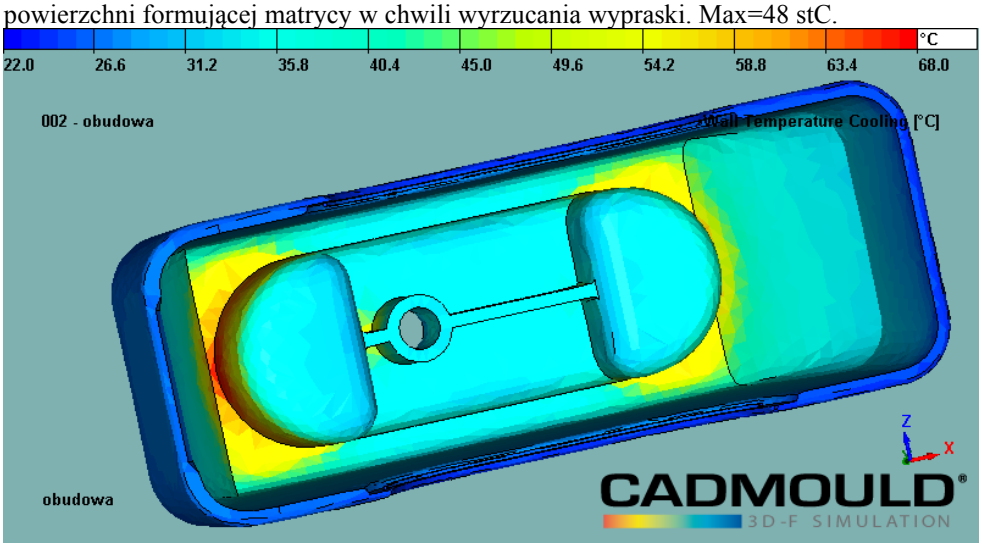
Ze względu na nierównomierną i wysoką temperaturę powierzchni formującej znacznie wzrosły deformacje do niedopuszczalnego poziomu.

Mamy problem. Rozbudowanie systemu kanałów aby zwiększyć intensywność odbioru ciepła od wypraski będzie drogie i kłopotliwe technicznie. Zastosowanie specjalnych technik chłodzenia jak Contura, CO2 itp. wywinduje koszty na poziom nieakceptowalny dla klienta. Ze względu na dużą produkcję musimy wykonać stemple i matryce stalowe hartowane. Spróbujemy pokonać problem stosując stal o wysokiej przewodności. Hiszpańska huta ROVALMA produkuje stale z grupy HTCS (High Thermal Conductivity Steels) o bardzo wysokiej przewodności cieplnej do 70W/mK, czyli ponad dwukrotnie większej jak konwencjonalne stale narzędziowe (np. stal 1.2343 posiada przewodność 25W/mK, a zastosowana przez konstruktora 1.2083, 20W/mK).

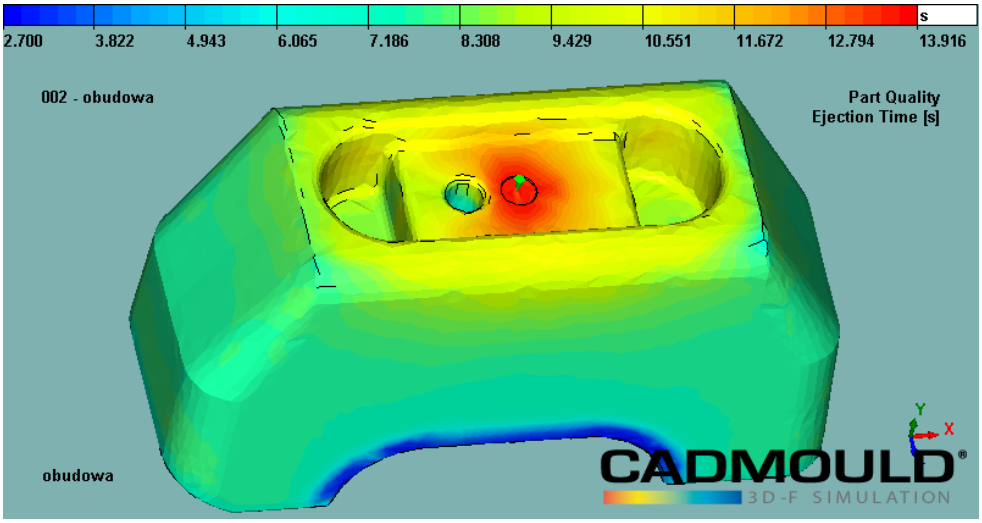
Do dalszych obliczeń wybieramy stal HTCS 130 o przewodności 60W/mK i przystępujemy do kolejnej analizy.



Temperatura powierzchni formującej matrycy w chwili wyrzucania wypraski. Max=48 stC.

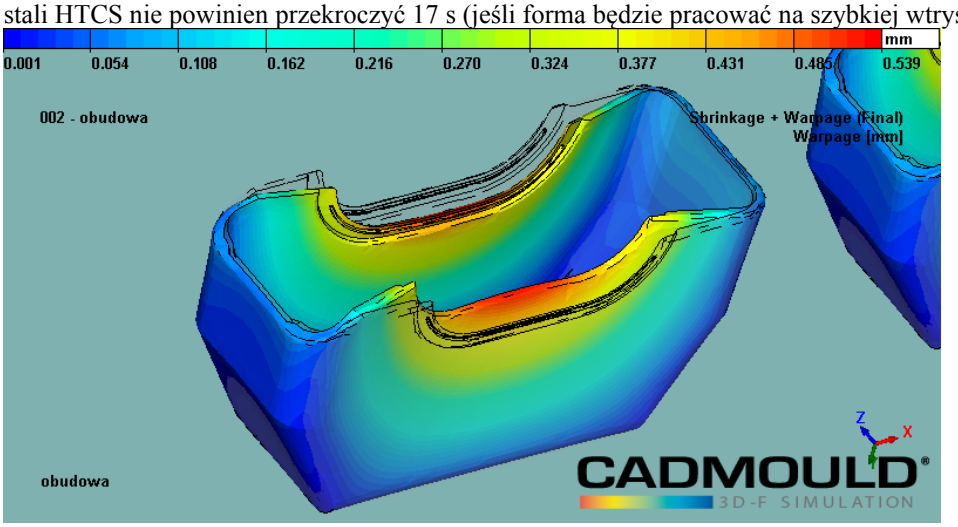


Temperatura powierzchni formującej stempla w chwili wyrzucania wypraski. Max=66 stC.

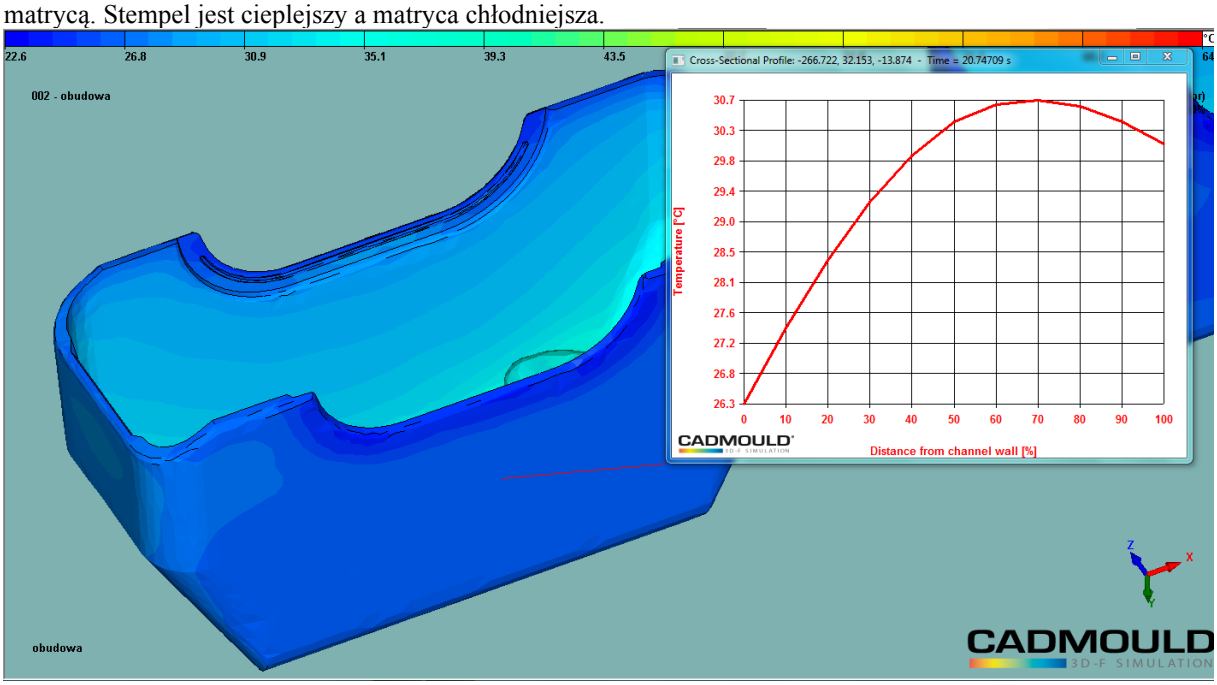


Rewelacja.

Rzeczywisty czas chłodzenia jest porównywalny z obliczeniowym i wynosi 14 s. Czas cyklu przy zastosowaniu stali HTCS nie powinien przekroczyć 17 s (jeśli forma będzie pracować na szybkiej wtryskarce).



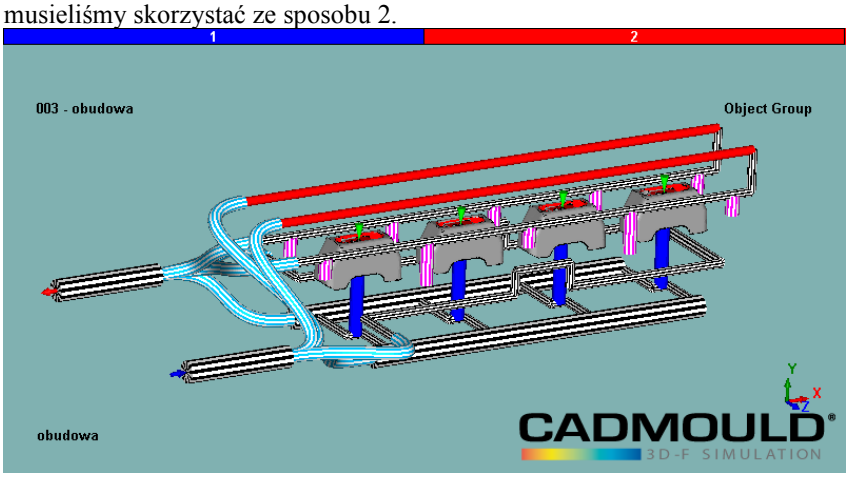
Niestety, deformacje pozostały na poprzednim poziomie, a wynika to z różnicy temperatur pomiędzy stemplem a matrycą. Stempel jest cieplejszy a matryca chłodniejsza.



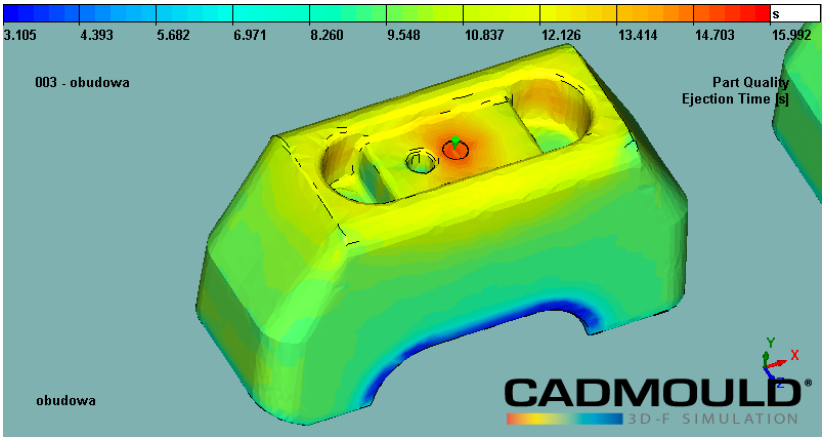
Różnicę temperatur po obu stronach ściany wypraski dokładnie pokazuje załączony wykres.

Mniej więcej na środku ściany ta różnica wynosi 4,4 stC i ona jest przyczyną deformacji. Wniosek jest oczywisty - aby zlikwidować deformację musimy wyrównać temperaturę po obu stronach ściany wypraski. Możemy to zrobić na 3 sposoby:
1 – podać cieplejsza wodę na obieg matryc; sposób nieco kłopotliwy bo wymaga stosowania wielo- strefowych termostatów lub kilku termostatów, i eksperymentów z doborem właściwej temperatury wody chłodzącej. Przy większych formach ten sposób jest często niemożliwy do realizacji.
2-do budowy formy dobrać materiały o różnej przewodności tak, aby przy zasileniu wodą o jednakowej temperaturze wody uzyskać jednorodną temperaturę dla całej wypraski
3 – tak zmienić geometrię układu chłodzenia aby temperatury ściany wypraski po obu stronach były jednakowe przy zasileniu całej formy wodą o jednakowej temperaturze.
Tak powinny być budowane układy chłodzenia w formach wtryskowych.

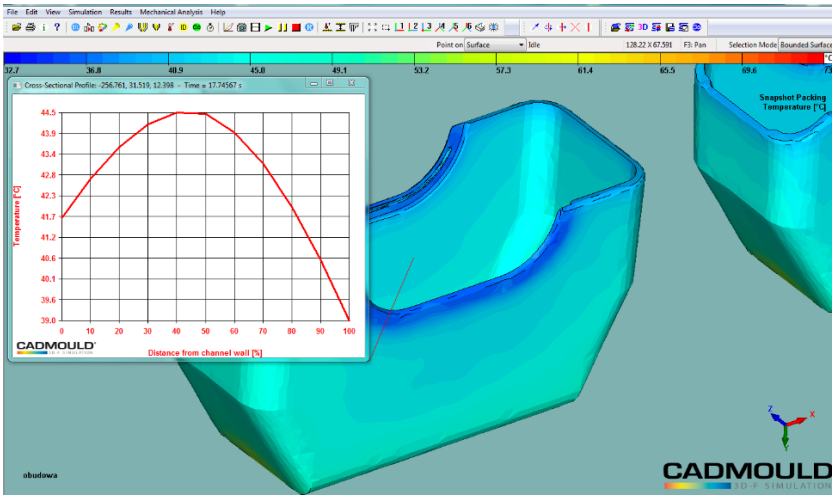
Spróbujemy wyprostować wypraskę trzecim sposobem.
Po kilku zmianach geometrii układu chłodzenia matryc i przeprowadzeniu kilku analiz okazało się że ten sposób prowadzi do wzrostu czasu chłodzenia wypraski i został w tym przypadku uznany za niekorzystny. Dlatego musieliśmy skorzystać ze sposobu 2.



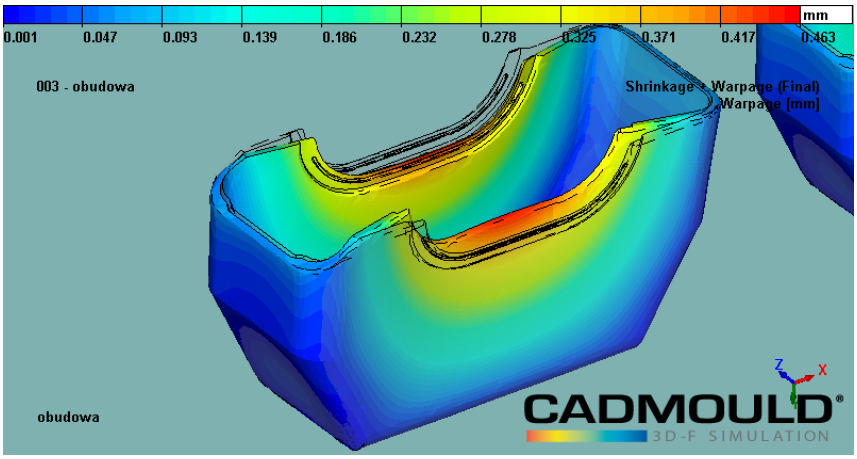
Niebieski i czerwony kolor pokazuje obiegi gdzie zastosowaliśmy stal HTSC130 (stemple). Matryca jest wykonana ze stali 1.2083. Tak jak poprzednio forma jest zasilana wodą o temperaturze 15 stC.



Czas chłodzenia wzrósł do 16s czyli 2s więcej jak poprzednio kiedy całe gniazdo formujące zostało wykonane ze stali HTCS130.

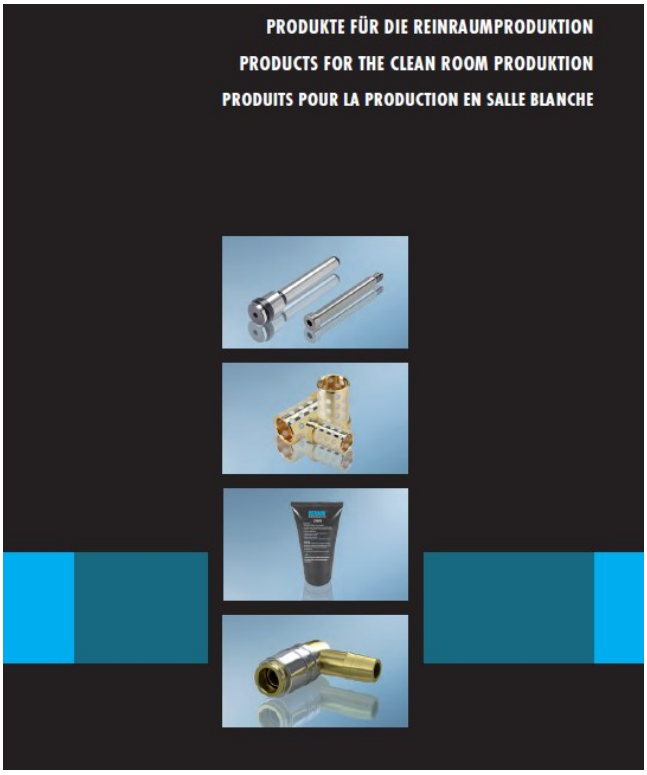


Widać że odwróciliśmy sytuację i wypraska od strony matrycy jest teraz cieplejsza.



W tym podejściu nie udało się całkowicie wyprostować wypraski ale tendencje są właściwe. Po czwartej modyfikacji układu chłodzenia wypraska osiągnęła kształt mieszczący się w założonych tolerancjach.
Dla czasu chłodzenia 16s, czasu wtrysku 0,5s i pozostałych czasów cyklu 2,5s możemy przyjąć czas cyklu równy 19s. Zapadła decyzja że dla planowanej produkcji 12 mln sztuk w ciągu roku musimy zbudować formę 16 gniazdową.
Dopiero teraz, po uzyskaniu odpowiednich informacji z przeprowadzonych analiz, konstruktor może podjąć właściwe decyzje i rozpocząć prace nad docelową konstrukcją. Jak widzimy proces konstruowania jest procesem iteracyjnym: **analiza – decyzja - synteza** i tak w kółko aż do skutku.
Wszystkie analizy zostały przeprowadzone w programie **Cadmould**. Z tego programu korzystamy nieprzerwanie w **WadimPlast** od 15 lat i dla naszych konstruktorów jest niewyobrażalne że można zbudować dobrą formę bez ciągłego odwoływania się do analiz.
Żeby czytelnika nie zanudzać nadmierną ilością informacji o analizach, przejdziemy do omówienia aspektów związanymi z budową form pracujących w tzw. czystych pomieszczeniach.
Formy muszą być tak zbudowane aby podczas pracy nie wydzielały żadnych pyłów i drobinek smaru. Wszystkie elementy musza być odporne na korozję i posiadać odpowiednie atesty medyczne, wszystkie prowadnice powinny pracować bezsmarowo, a wszystkie napędy powinny być hermetyczne i nie mogą wydzielać podczas pracy produktów ubocznych typu pyły, zawiesiny itp.

Komponenty do budowy form na wypraski medyczne



Zaczniemy od propozycji Strack na komponenty do budowy form na wypraski medyczne. Firma przedstawia swoją propozycję w oddzielnym katalogu.

Poczynając od kpl. korpusów i płyt z 3 gatunków narzędziowych stali nierdzewnych, poprzez elementy funkcjonalne wszystkie odporne na korozję, oraz tuleje prowadzące w wykonaniu bezsmarowym. Stale 1.2083 i 1.2316 są dedykowane na gniazda form a stal 1.2085 na płyty. Stal 1.2085 posiada dodatek siarki dzięki czemu wykazuje się lepszą obrabialnością jak dwie wcześniej wymienione ale kiepsko się poleruje. Słupy, kołki, śruby, zatrzaski wykonane są ze stali o zawartości 17% chromu i hartowane do 60 HRC. Wypychacze pokryte odpowiednią powłoką posiadają zmniejszony współczynnik tarcia o 50%.
W przypadku konieczności skorzystania ze stali nieodpornych na korozję, wszystkie powierzchnie powinny zostać pokryte odpowiednimi powłokami. Najlepiej sprawdziły się powłoki typu pvd oferowane przez firmę

Oerlikon Balzers pod nazwą Balinit. Jest to rodzina prawie 30 różnych powłok o różnych właściwościach i zastosowaniach. W formach do zastosowań medycznych preferujemy dwie:

BALINIT® C
Tarcie i zużycie pod kontrolą

Coating Properties	
Materiał powłoki	WC/C (a-C:H:W)
Mikro twardość* (HV 0.05)	1,500 / 1,000
Współczynnik tarcia* o stal (na sucho)	0.1 - 0.2
Max. temperatura pracy (°C)	300
Kolor powłoki	antracytowy

* depends on application and test conditions

BALINIT® C, który charakteryzuje się niskim współczynnikiem tarcia i dobrymi właściwościami ślizgowymi znajduje zastosowanie głównie do zmniejszenia zużycia adhezyjnego (zacierania się, zakleszczania, zgrzewania na zimno) i może również wytrzymać wysokie obciążenia przy niedostatecznym smarowaniu i pracy na sucho. Powłoka w dużym stopniu zapobiega zmęczeniu powierzchniowemu (pitting) i trybo-utlenianiu (zużyciu ciernokorozyjnemu). Drogie materiały bazowe można często zastąpić tańszą stalą. BALINIT® C jest kompatybilny biologicznie i neutralny dla artykułów żywnościowych.

Kliknij tutaj, aby uzyskać dodatkowe informacje:

- Napędy mechaniczne

które głównie stosujemy na bezsmarowe pary cierne

BALINIT® CROVEGA
Doskonałe zabezpieczenie dla gładkich powierzchni

Coating Properties	
Materiał powłoki	CrN
Mikro twardość* (HV 0.05)	1,750
Współczynnik tarcia* o stal (na sucho)	0.5
Max. temperatura pracy (°C)	700
Kolor powłoki	srebrno-szary

* depends on application and test conditions

BALINIT® CROVEGA jest szczególnie "zwartą" i gładką powłoką CrN. Wysoka odporność na zużycie w połączeniu z bardzo wysoką odpornością na korozję czyni powłokę BALINIT® CROVEGA bardzo pożądanym rozwiązaniem w przetwórstwie tworzyw sztucznych i zastosowań medycznych. BALINIT® CROVEGA jest kompatybilna biologicznie i neutralna dla artykułów żywnościowych.

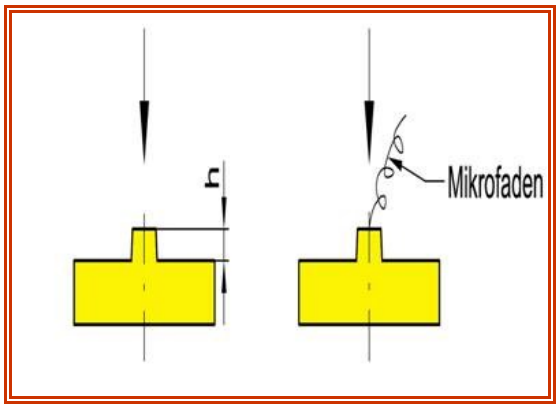
Zalecane zastosowania:

- narzędzia medyczne
- formy wtryskowe do tworzyw sztucznych
- gniazda fromujące z wysokim połyskiem (lustrzana powierzchnia)

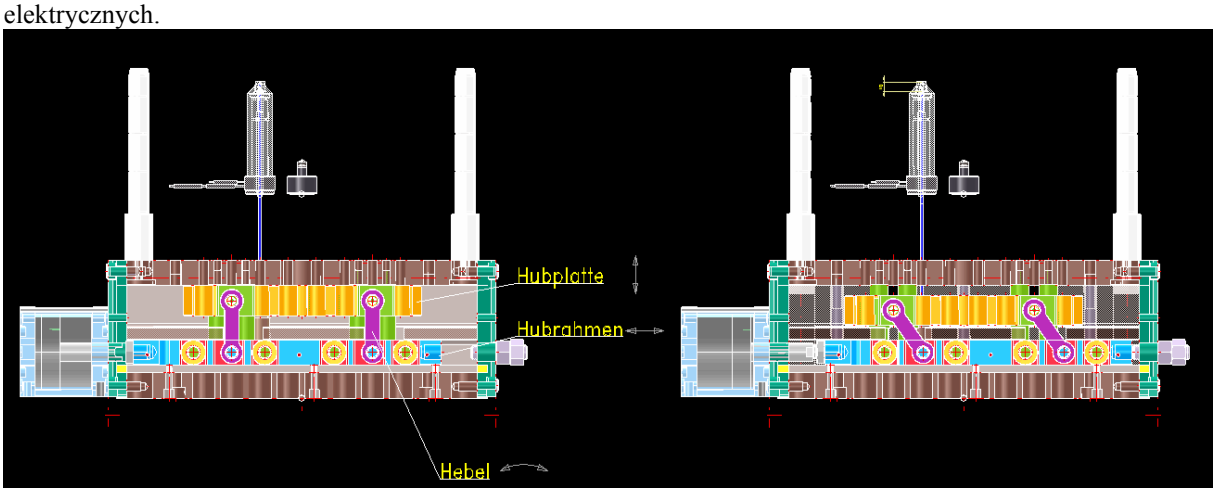
które stosujemy na stemple i matryce.

Balinit Crovega musiał zostać zastosowany do stempli ze stali HTSC 130 która nie posiada odpowiedniej odporności korozyjnej.
Bardzo dobrym rozwiązaniem na niezacierające się prowadnice są prowadnice kulkowe i wałeczkowe które praktycznie mogą pracować na sucho oraz porowate tuleje spiekane z brązu nasączone minimalna ilością smaru.

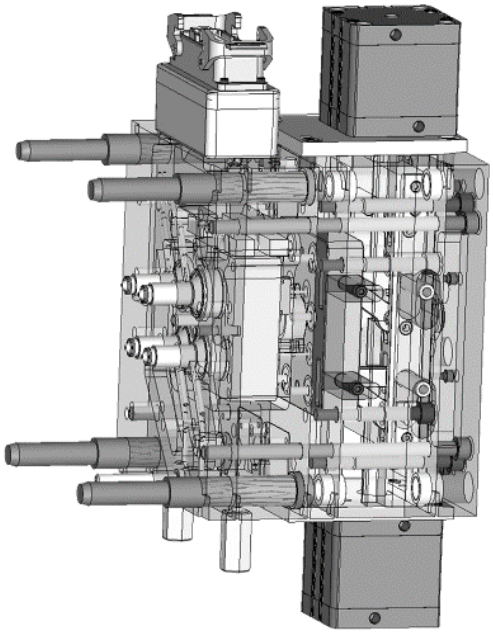
Systemy gorącokanałowe
Jak wcześniej sygnalizowaliśmy w zamykanych termicznie przewężkach bardzo trudno jest opanować powstawanie tak zwanej mikronitki która dyskwalifikuje wypraski medyczne.



Mikronitki mogą być tej wielkości że są widoczne dopiero pod mikroskopem w powiększeniu 100x.
Jedyny skuteczny sposób na ich eliminację to stosowanie systemów zamykanych igłowo . Taki system został wykorzystany do naszej formy. Wcześniej wyjaśniliśmy sobie że napęd stosowany w formie medycznej nie może emitować jakichkolwiek zanieczyszczeń. Stąd konieczność stosowania do napędu serwosilników elektrycznych.

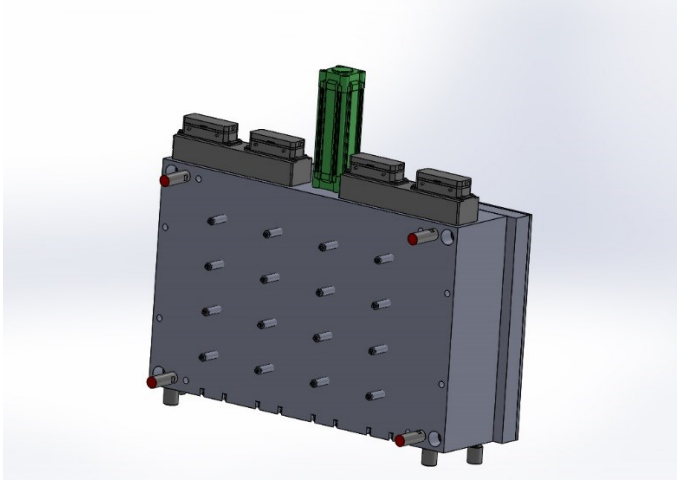


Firma **PSG** opracowała specjalny system do napędu igieł, gdzie wykorzystano ideę mechanizmu kolanowego napędzanego przez serwosilnik elektryczny. System o nazwie „Sumo" jest dedykowany do form o małej i dużej liczbie gniazd.



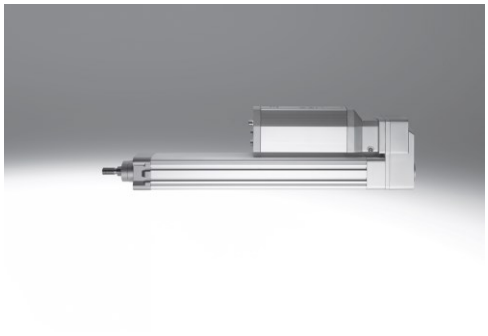
Sumo wybudowuje największą siłę pod koniec skoku zamykania igieł czyli wtedy kiedy jest to najbardziej potrzebne.

Z wykorzystaniem systemu Sumo została zbudowana tzw. gorąca połówka do naszej formy 16 gniazdowej.

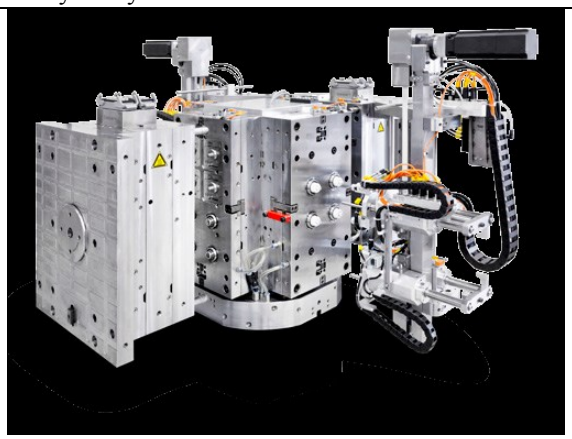


Napędy

Serwonapędy elektryczne w ostatnich latach niesamowicie się rozwinęły a ich ceny są przystępne.
W **WadimPlast** wykorzystujemy serwonapędy w formach wtryskowych od 2010 roku i robimy to we współpracy z firmą FESTO. W Polsce byliśmy pierwsi w tego typu zastosowaniach.



Siłownik z serwosilnikiem i pozycjonerem firmy FESTO.
Pozycjoner (sterownik silnika) programuje się za pomocą komputera PC z wykorzystaniem oprogramowania dostarczonego przez firmę FESTO. Takie napędy doskonale zastępują siłowniki pneumatyczne i hydrauliczne z dużo większą precyzją ruchu, jednocześnie czyniąc otoczenie wolne od zanieczyszczeń typowych dla pneumatyki i hydrauliki.



Forma firmy Zahoransky z widocznymi serwonapędami. Forma produkuje dozowniki do buteleczek składające się z kilku wyprasek które są jednocześnie montowane w formie .
Oczywiście nie należy zapominać o prostych napędach jak sprężyny, kołki skośne, krzywki itp. Należy pamiętać aby elementy składowe nie podlegały korozji a pary cierne pracowały bezsmarowo. Łatwo powiedzieć bezsmarowo. Jeśli jednak zachodzi konieczność użycia smaru to można skorzystać z oferty kilku firm które dostarczają smary do zastosowań medycznych. Są to znane produkty DuPont z rodziny Krytox lub firmy Nye Lubricants jak np. Rheolube.

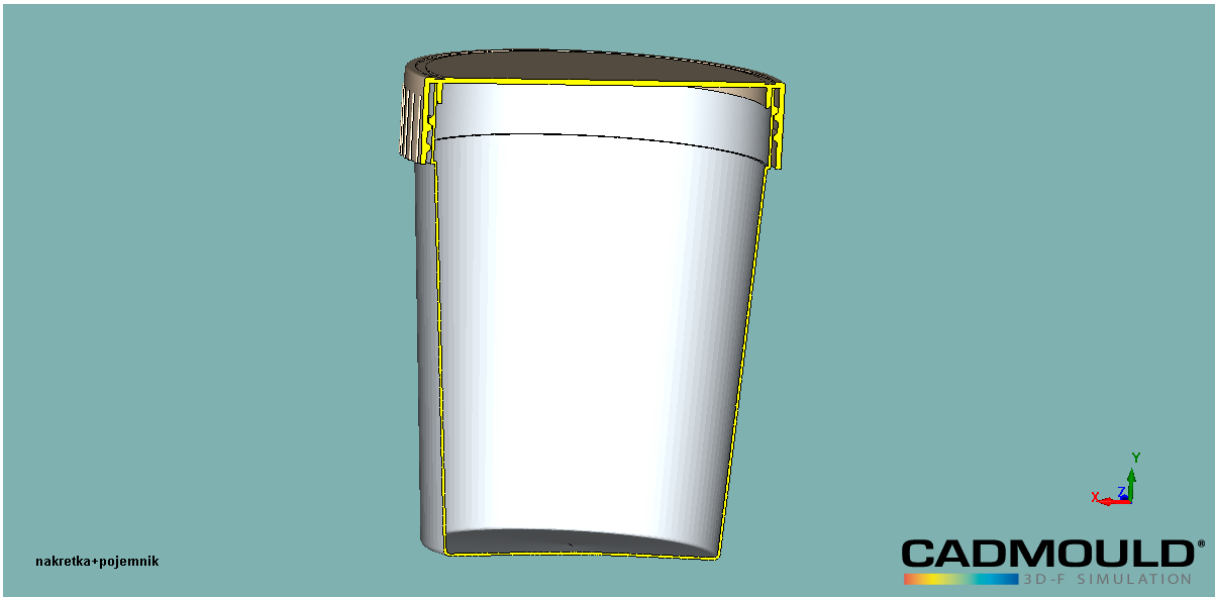
Czas na podsumowanie
Na podstawie załączonych przykładów dochodzimy do wniosku że budowa form na wypraski medyczne i metodologia ich konstruowania niczym nie różni się od form na wypraski precyzyjne i opakowania kosmetyczne poza użytymi materiałami do ich budowy. Wszystkie zastosowane komponenty nie mogą korodować i uwalniać jakichkolwiek substancji. Aby utrzymać parametry procesu na stałym stabilnym poziomie, standardem jest wyposażanie formy w czujniki temperatury i ciśnienia oraz systemy pomiarowo sterujące firmy **PRIAMUS**.

5.Formy na pojemnik na próbki medyczne

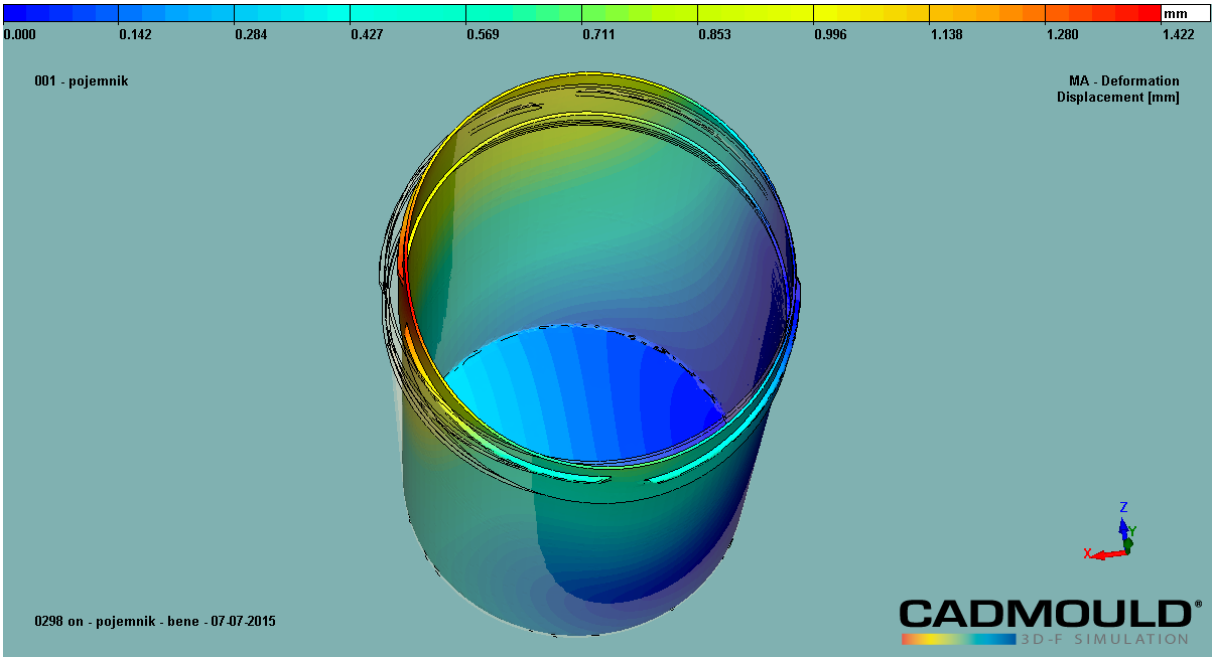
Brak podstawowych analiz inżynierskich podczas projektowania form wtryskowych często kończy się niepowodzeniem i po pierwszych próbach narzędzia wymaga zmian konstrukcyjnych i poprawek. Produkcja wtryskowa jest mniej efektywna niż mogłoby być możliwe, a wypraski są gorszej jakości. W Kanadzie (największy producent form wtryskowych na świecie) oszacowano, że średnio 49 spośród 50 form wymaga różnych modyfikacji podczas procesu rozruchu formy [1]. Dlatego właśnie w Kanadzie pojawił się silny ruch na rzecz upowszechnienia analiz w budowie form.
Jako przykład korzystania z analiz posłuży nam wykonanie form na jednorazowe opakowanie medyczne. Aby uniknąć kosztownych poprawek po wykonaniu i próbach form, konstruktorzy z narzędziowni WadimPlast przeprowadzili przed rozpoczęciem konstrukcji jak i w trakcie jej wykonywania wiele analiz. W tym artykule chcemy pokazać część z nich.
Oczywistym jest, że jednorazowe przyrządy medyczne takie jak pojemniki na odpady medyczne, które po wykorzystaniu trafiają na śmietnik, powinny być możliwie lekkie. Wtedy koszty ich produkcji i recyklingu będą najniższe. I tu zaczynają się ścierać dwa kryteria które muszą zostać jednocześnie spełnione:

1- Funkcjonalność czyli możliwość łatwego użytkowania,
2- Wykonalność czyli zastosowanie odpowiedniej technologii produkcji, tutaj wtrysk.

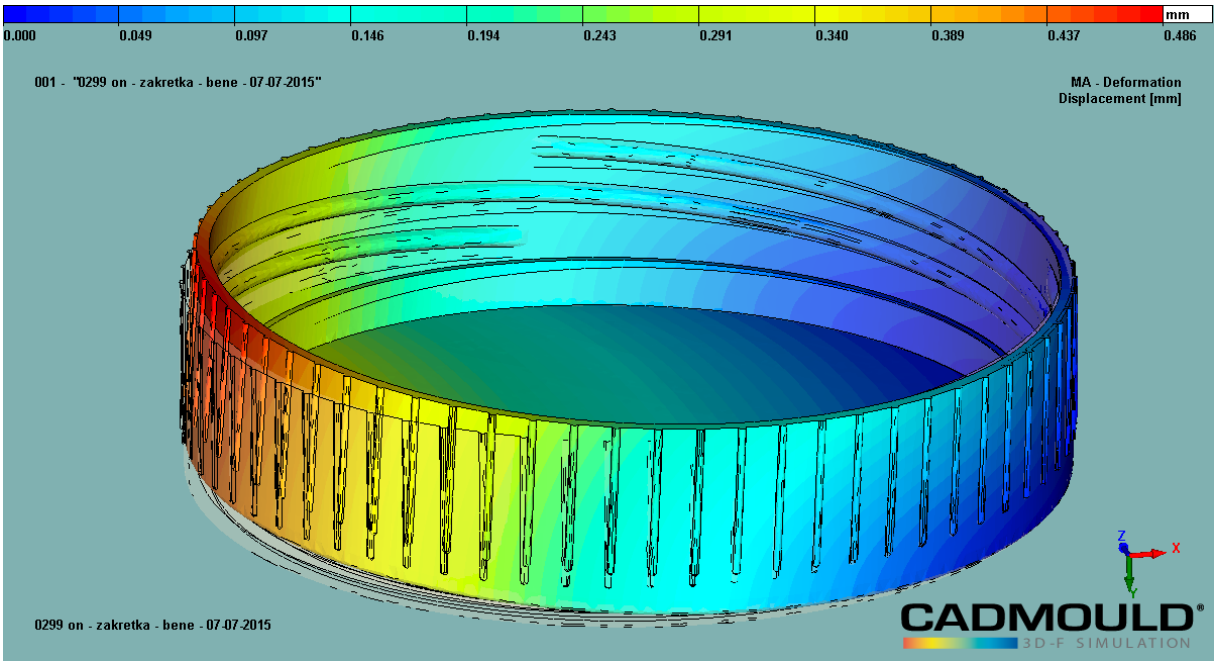
Ad 1- funkcjonalność wyrobu.
O tej części procesu projektowego tylko wspomnimy bez pokazywania analiz które pozwoliły zoptymalizować wyrób. Stwierdzono że optymalnym materiałem na kubek jest PP. Aby operowanie kubkiem i zakrętką odbywało się sprawnie, cienkościenne wypraski nie mogą podlegać zbyt dużym ugięciom. Jednocześnie nadmierne ugięcie może spowodować problemy szczelnego zamknięcia kubka i przecieki zawartości płynnej podczas transportu.
W wyniku przyjętych kryteriów, inżynierowie z WadimPlast przygotowali konstrukcję kubka przedstawioną niżej.



Gabaryty kubka i nakrętki zostały narzucone przez klienta (wynika to z potrzeb rynku), natomiast grubości ścian zostały określone przez konstruktorów na podstawie wspomnianych kryteriów.
Jako surowiec na kubek zaproponowano PP Moplen HP 648T-odmiana dobrze płynąca o wskaźniku płynięcia MVR=70; a na nakrętkę regranulat PP o lepkości MVR=12. Grubość ścian kubka wynosi 0,4 mm a grubo ścian nakrętki 0,8 mm. W ten sposób osiągnięto masę kubka 4,5 gr. i masę nakrętki 3,8 gr. W sumie całe opakowanie waży 8,3 gr.
W analizie numerycznej zostało sprawdzone czy kubek pod wpływem założonego nacisku nie przekroczy ugięcia 1,5 mm. Obliczenia przeprowadzono dla PP Moplen HP 648T który w temperaturze 20 stC posiada moduł Younga E=1600 MPa.

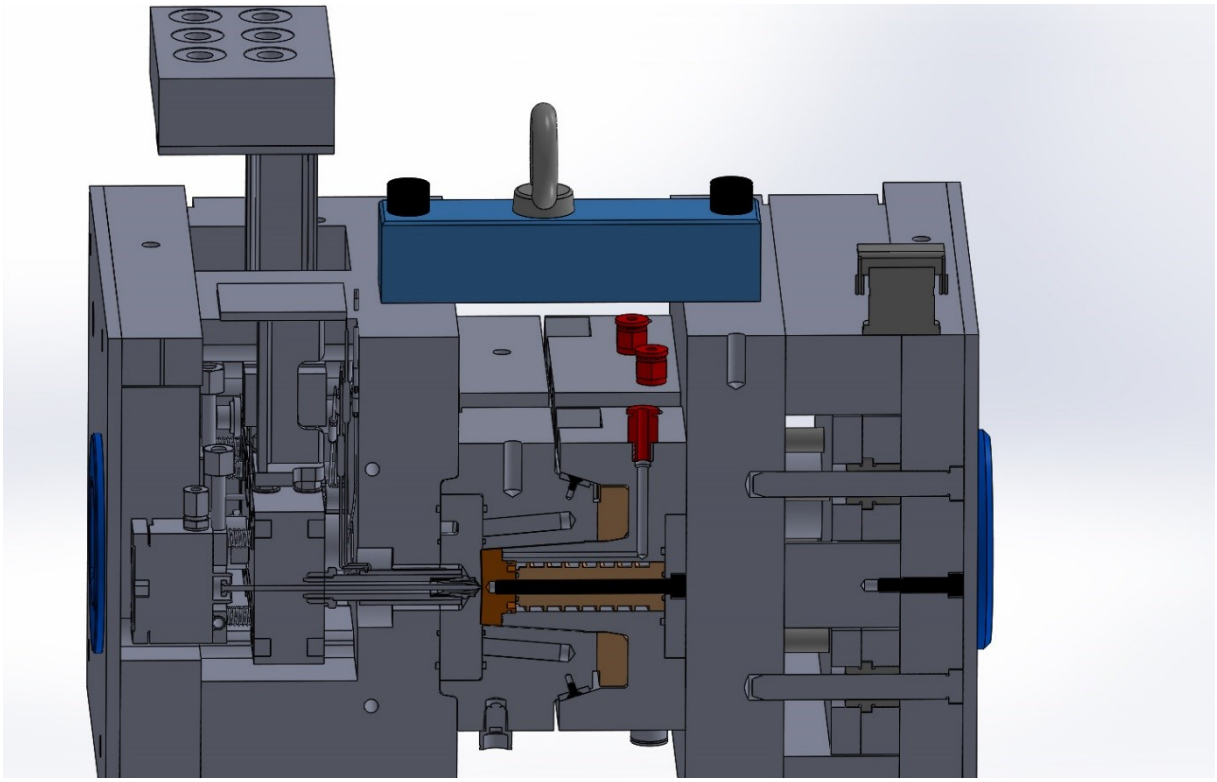


Widzimy że ugięcie kubka wynosi 1,4 mm a więc nie przekracza ugięcia krytycznego.
Nakrętka została sprawdzona czy pod wpływem nacisku nie przekroczy założonego ugięcia. Obliczenia przeprowadz0no dla PP Moplen HP 340R który w temperaturze 20 stC posiada moduł Younga E=1150 MPa.

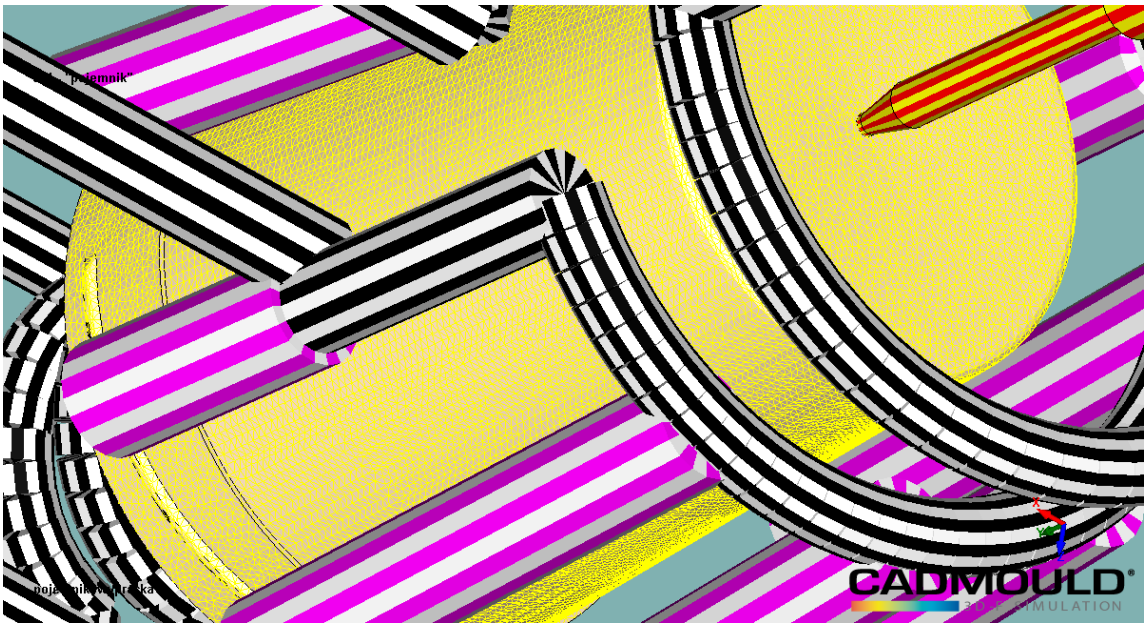


Widzimy że ugięcie nakrętki wynosi 0,5 mm a więc nie przekracza ugięcia krytycznego.
Możliwie małe ugięcie nakrętki będzie sprzyjało zachowaniu szczelności. Powyższe obliczenia wskazują że dla przyjętych kryteriów, użytkowanie kubka i nakrętki będzie prawidłowe i nie sprawi problemów.

Ad2- sprawdzimy wykonalność wyprasek proponowaną technologią wtrysku.
Kubek - szczególnie interesuje nas możliwość wtrysku kubka który posiada ścianki o grubości 0,4 mm. Taka grubość ścian jest wartością graniczną która może spowodować niewypełnienia gniazda formy a zatem uniemożliwić produkcję tej wypraski. Sprawdzimy ciśnienie wtrysku i wymaganą siłę zwarcia oraz czas chłodzenia w celu oszacowania czasu cyklu czyli wydajności produkcji.

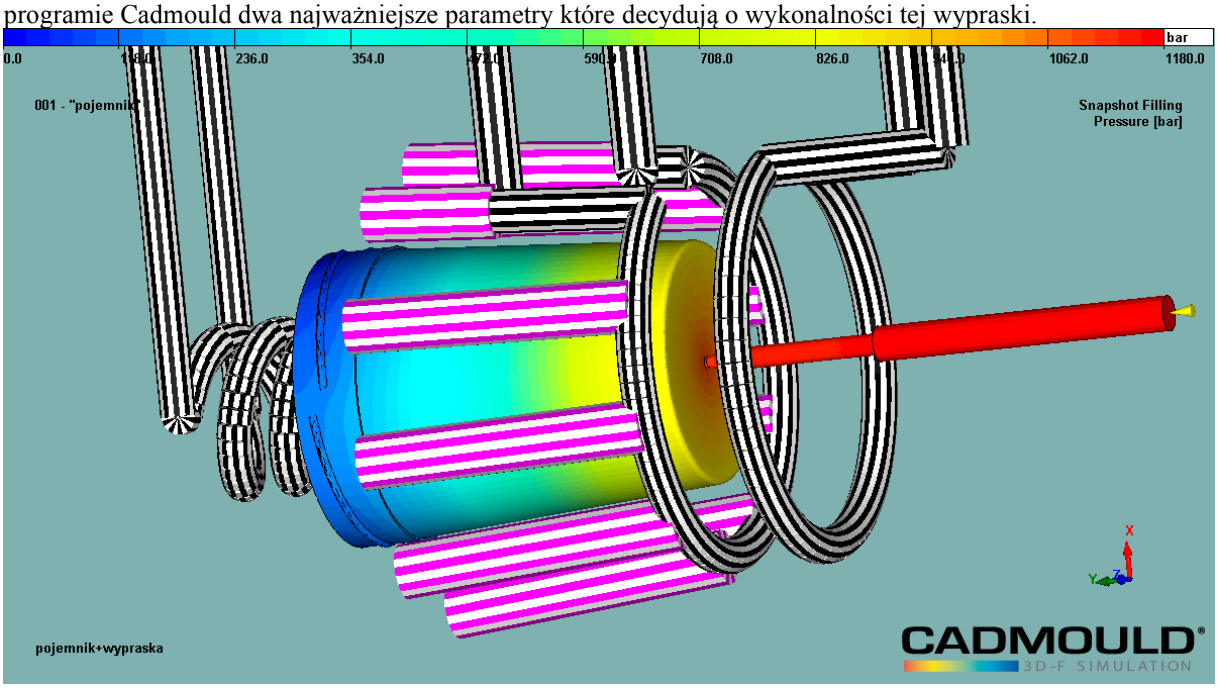


Na podstawie wstępnej konstrukcji formy [2] powstał model gniazda formującego który służy do obliczeń reologicznych parametrów wypełniania gniazda i czasu chłodzenia. Forma została bardzo starannie zaprojektowana z wykorzystaniem stali i brązów o najlepszych parametrach użytkowych i termicznych.

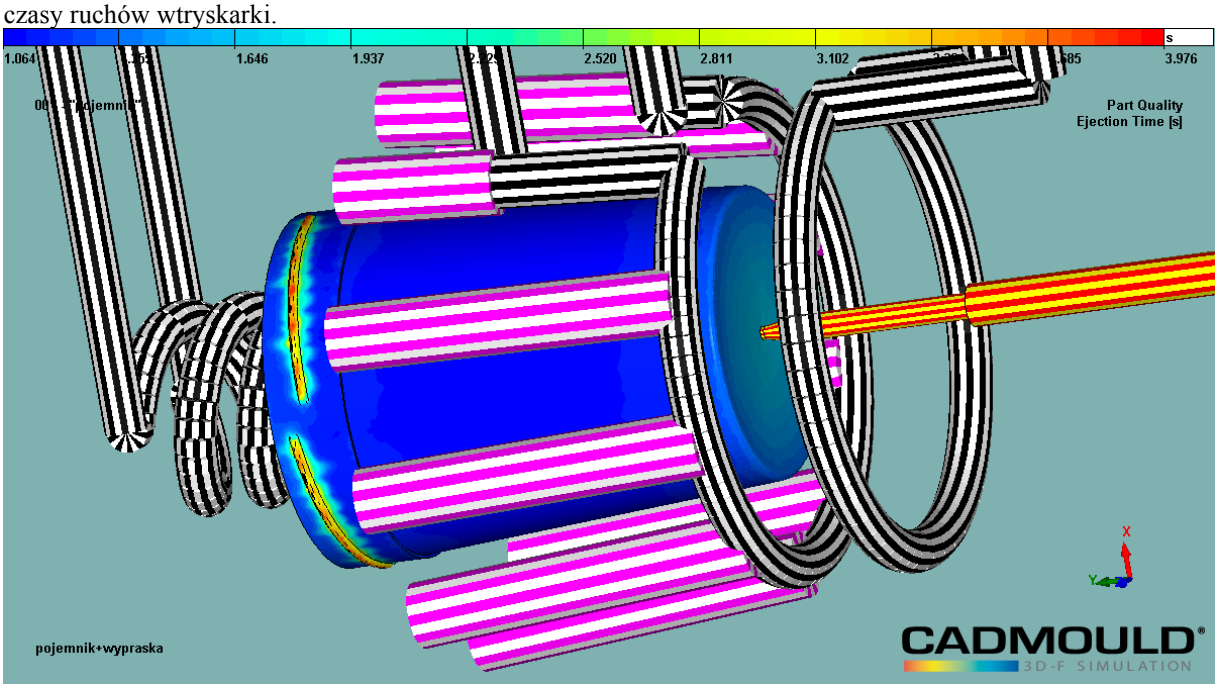


Numeryczny model gniazda pozwala praktycznie na wyliczenie wszystkich parametrów procesu wtrysku oraz ich optymalizację. Jest jednocześnie pełnym modelem procesu. Żółta siatka trójkątów rozpięta na wyprasce, jest siatką MES (metoda elementów skończonych) która jest podstawą do przeprowadzenia obliczeń z

wykorzystaniem praw fizyki i odpowiednich teorii matematycznych. Tutaj przedstawimy wyliczone w programie Cadmould dwa najważniejsze parametry które decydują o wykonalności tej wypraski.

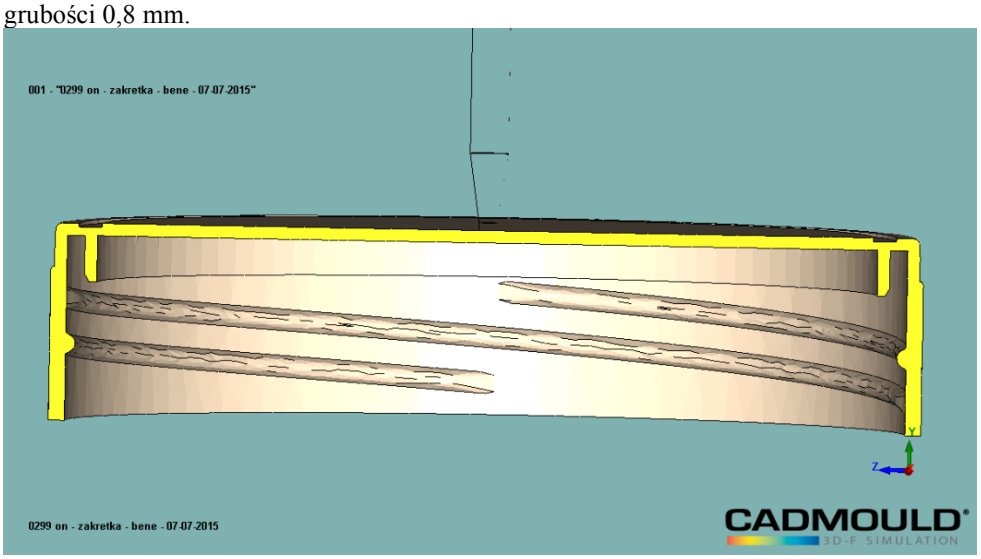


Jak widać ciśnienie wtrysku jest rzędu 1180 bar, co jest wysoką wartością ale charakterystyczną dla wyprasek cienkościennych. Siła zwarcia na 1 gniazdo jest rzędu 20 T. To ciśnienie uzyskano dzięki bardzo krótkiemu czasowi wtrysku rzędu 0,1 do 0,15 s. Wypełnianie z taką prędkością jest możliwe na wtryskarkach elektrycznych które dysponują odpowiednią mocą napędu do realizacji dużych prędkości wtrysku. Dlatego wtryskownia zdecydowała się na maszynę elektryczną japońskiej firmy JSW, lidera na rynku takich wtryskarek. Parametrem decydującym o produktywności jest czas chłodzenia zależny od wypraski i budowy formy, oraz czasy ruchów wtryskarki.

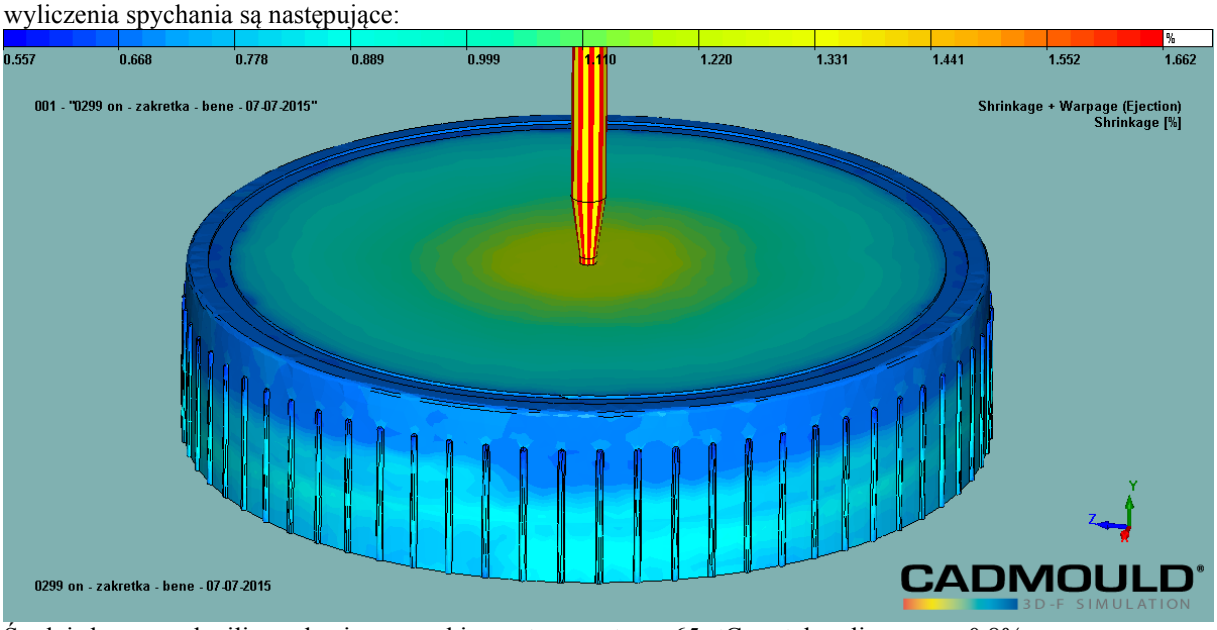


Widzimy że przy temperaturze wody zasilającej 15 stC, na formie skonstruowanej przez [2] możemy uzyskać czas chłodzenia 3 s. Zastosowanie szybkiej wtryskarki JSW pozwala uzyskać sumaryczny czas ruchów jednostki wtryskowej i jednostki zamykania nie dłuższy jak 1 s. Stąd klient ma możliwość pracy w czasie cyklu na poziomie 4 s co jest wynikiem całkiem niezłym.

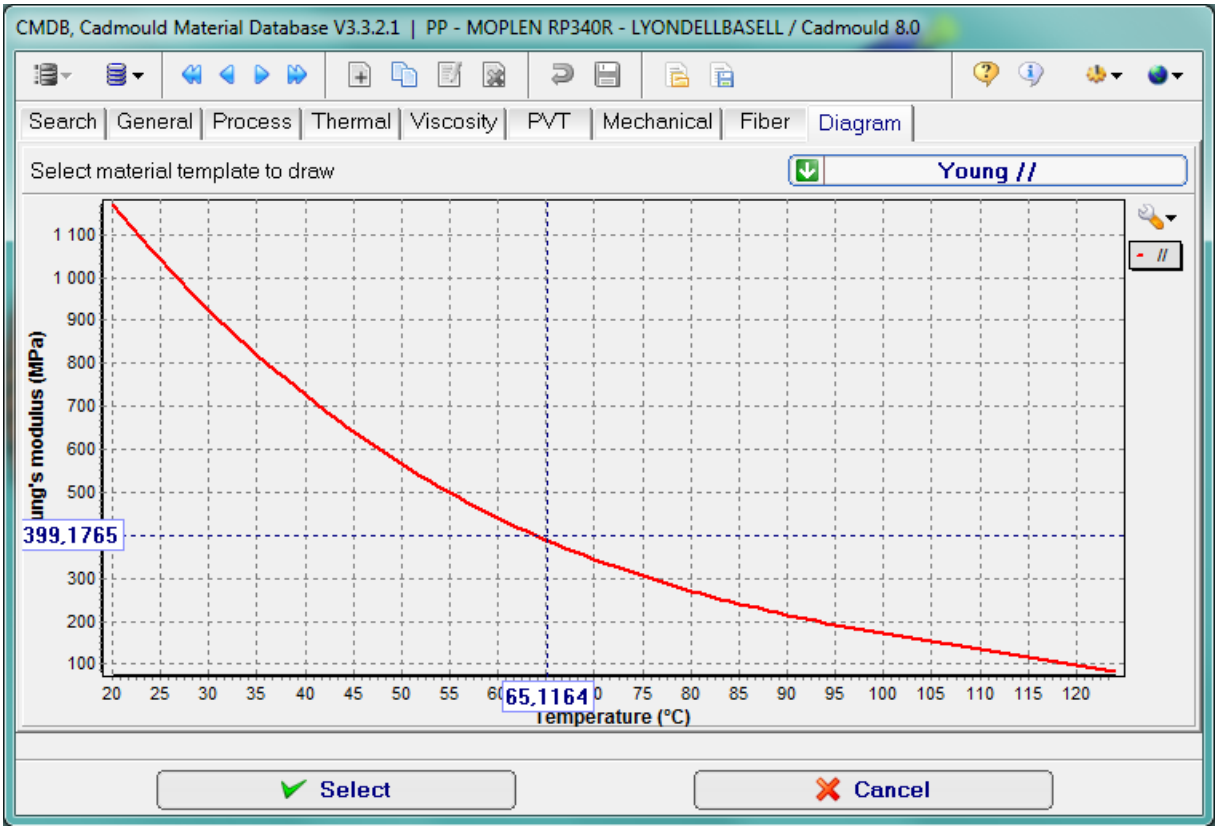
Nakrętka – jest zdecydowanie łatwiejszą wypraską pod względem wypełniania gniazda ze względu na krótszą drogę płynięcia stopu i grubszą ściankę. Natomiast problemem jest gwint który można uwolnić tylko przez spychanie. Inżynierowie WadimPlast wybrnęli z tego problemu projektując odpowiedni zarys gwintu i ściankę o grubości 0,8 mm.



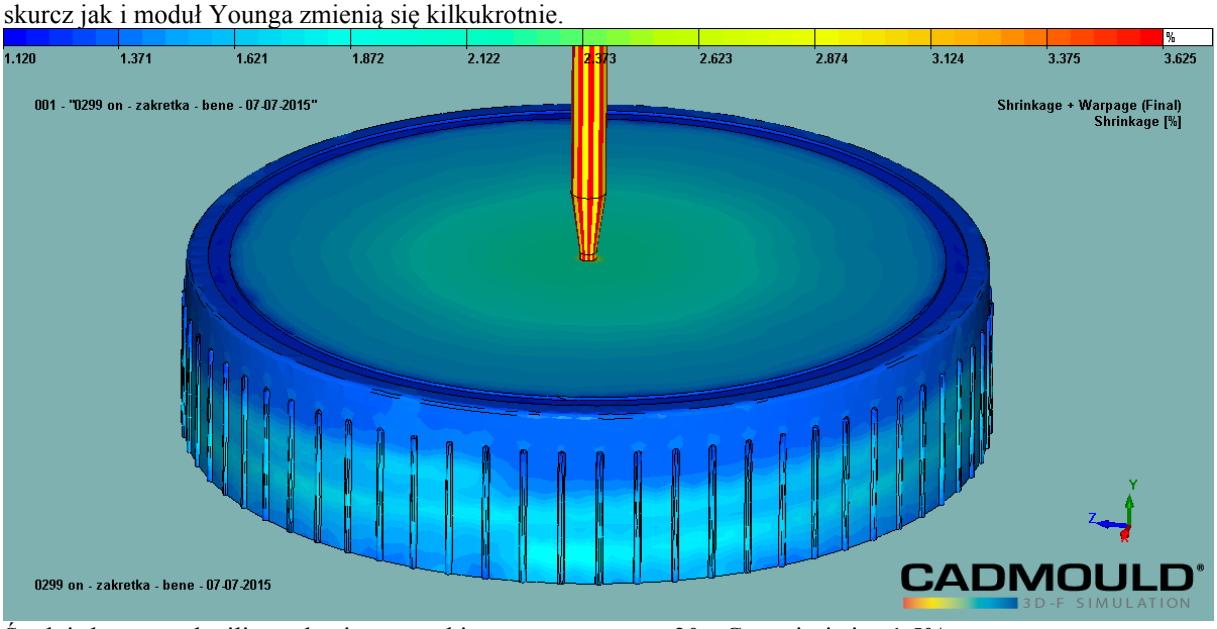
Taki zarys gwintu i ścianka o grubości 0,8 mm pozwala na bezpieczne zepchnięcie wypraski bez zgniecenia walca na którym umiejscowiono gwint, a jednocześnie zapewnia poprawną współpracę nakrętki z kubkiem. Znalezienie kompromisu jest trudne, ale zastosowanie nowoczesnych metod obliczeniowych stosowanych w WadimPlast pozwoliło rozwiązać problem. Aby oszacować możliwość zepchnięcia nakrętki bez uszkodzenia gwintu, należy wcześniej określić parametry mechaniczne PP w momencie otwarcia formy i spychania wypraski. Program Cadmould w wyniku przeprowadzonej analizy pozwala na obliczenie większości danych materiałowych dla konkretnych parametrów procesu wtrysku. Dla PP Moplen HP 340R wypraska jest wyrzucana z formy kiedy osiągnie średnią temperaturę 65 stC. Wtedy dane materiałowe PP niezbędne do wyliczenia spychania są następujące:



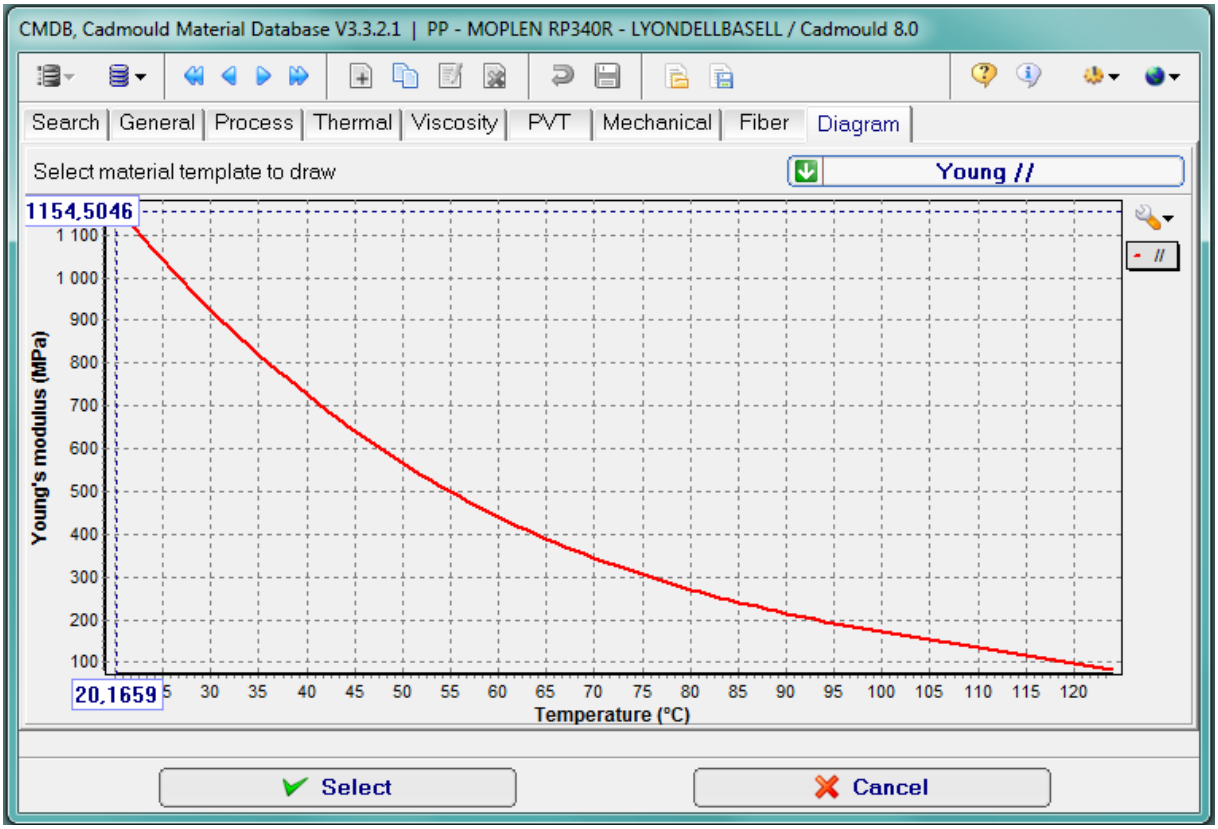
Średni skurcz w chwili spychania wypraski przy temperaturze 65 stC został wyliczony na 0,8%.



Dla tych samych warunków moduł Younga jest równy 400 MPa a współczynnik Poissona 0,35.
Gdybyśmy chcieli zepchnąć wypraskę w temperaturze 20 stC (przytrzymanie dłużej w formie) to zarówno skurcz jak i moduł Younga zmienią się kilkukrotnie.

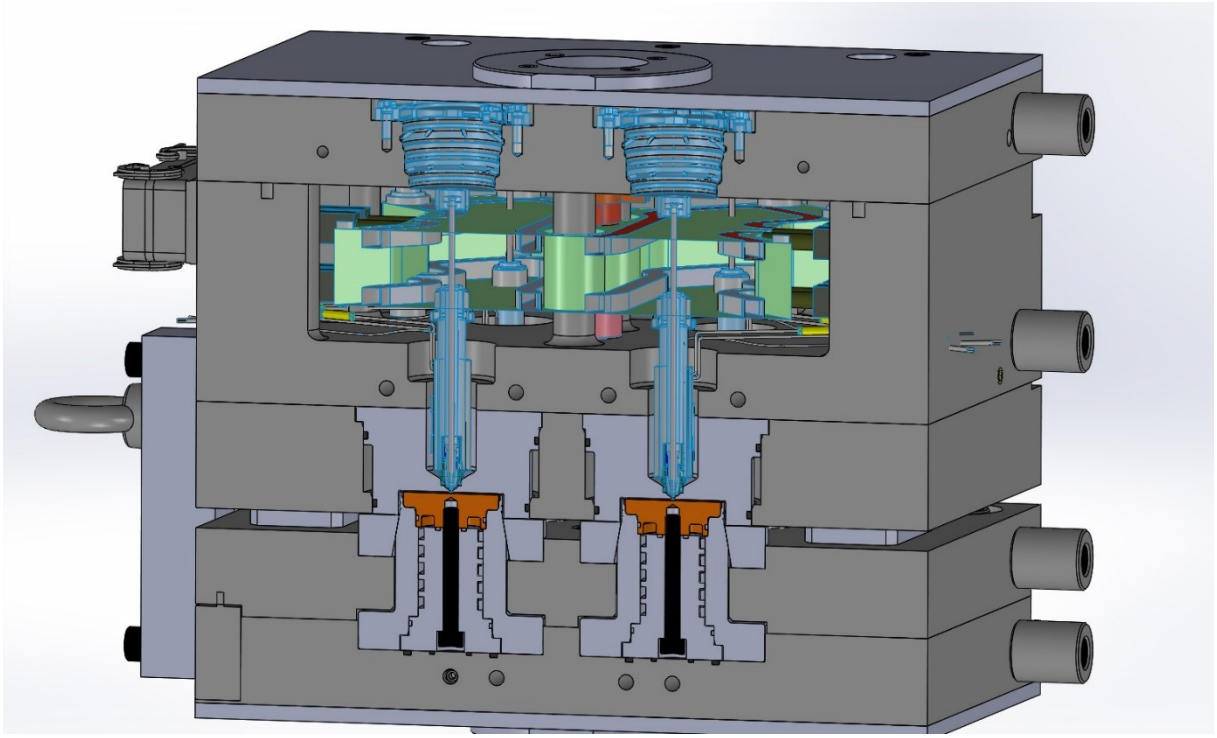


Średni skurcz w chwili spychania wypraski przy temperaturze 20 stC wyniesie już 1,5%,

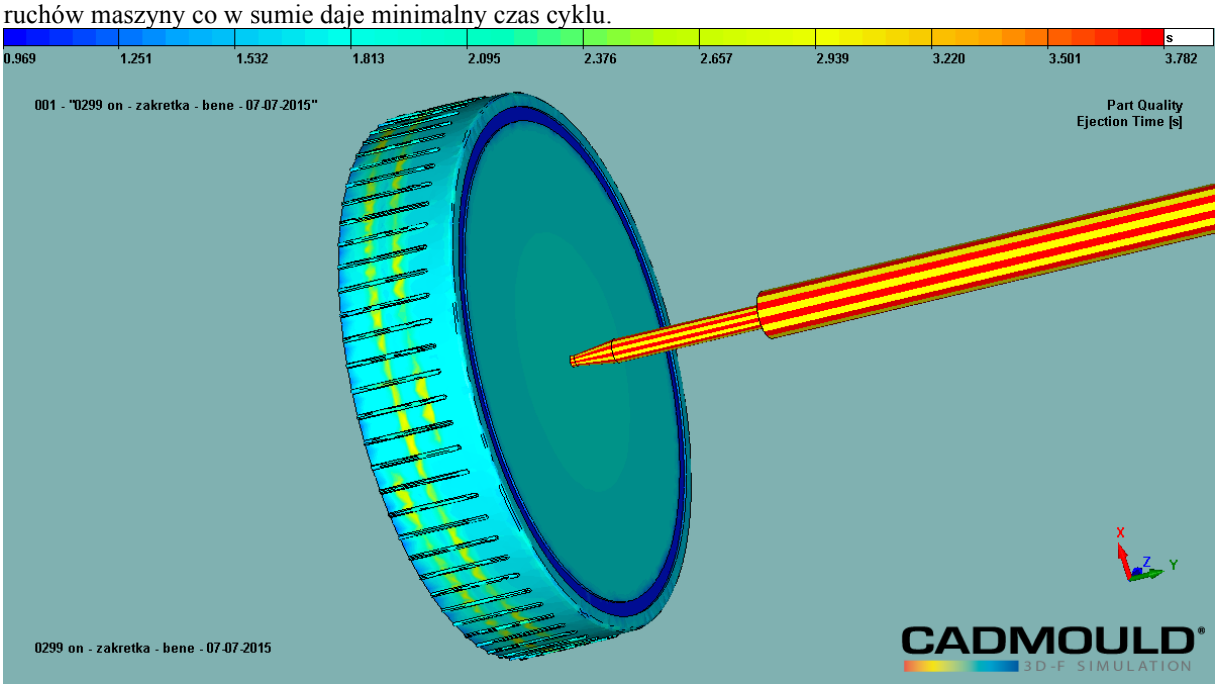


a moduł Younga wzrósł 3 krotnie do wartości 1150 MPa.

Musimy jeszcze określić granicę plastyczności i współczynnik tarcia pomiędzy wypraską a stemplem. Współczynnik tarcia jest ważnym parametrem a jednocześnie jego dokładne określenie teoretycznie jest niemożliwe a praktycznie bardzo kłopotliwe ze względu na dużą liczbę zmiennych wpływających na jego wartość. Dlatego powinniśmy przeprowadzić oszacowanie siły spychającej dla skrajnych wartości wsp. tarcia. I tak tabele w materiałach technicznych firmy Bayer [3] zalecają wartość μ 0,25 do 0,3 ale z doświadczeń kolegów WadimPlast wynika że μ osiąga wartość 0,5 i wyżej. Po przeprowadzeniu obliczeń okazało się że przy spychaniu wypraski w temperaturze 65 stC (praca formy w krótkim cyklu) gwint nakrętki nie ulegnie uszkodzeniu.
Konstrukcja formy na nakrętkę została dopracowana podobnie jak na kubek, również zastosowano zamykany szpilką system gorącokanałowy. Dzięki takiemu rozwiązaniu czołowa powierzchnia nakrętki jest gładka a więc użytkownikowi i personelowi medycznemu nie grozi skaleczenie przy operowaniu pokrywką.



Zastosowanie na stempel wysoko wytrzymałych i wysoko przewodzących brązów berylowych pozwoliło zminimalizować czas chłodzenia. Zastosowanie wtryskarki elektrycznej JSW pozwoliło zminimalizować czas ruchów maszyny co w sumie daje minimalny czas cyklu.



Widzimy że teoretyczny czas chłodzenia nie przekracza 3,5 s co przy czasie ruchów wtryskarki 1s daje czas cyklu 4,5 s.

Podsumowanie

Pierwsze próby formy wykazały że wszystkie założenia do konstrukcji zdobyte dzięki przeprowadzonym analizom, sprawdziły się. Z opinii kolegów budujących formy w narzędziowni WadimPlast wynika, że nakład pracy poświęcony na przeprowadzenia analiz daje duże oszczędności finansowe i czasowe pozwalając na uniknięcie kosztownych i pracochłonnych poprawek.

Literatura

1 – Dawid O. Kazmer Injection Mold Design Engineering

2 – Biuro Konstrukcyjne Formtech Andrzej Słupecki

3 – ATI 1119 Snap Joints and springs in Plastics

6.Wykorzystanie stopów i stali wysoko przewodzących do skracania cyklu wtrysku

Narzędziownie, tak jak wszystkie branże, działają na silnie konkurencyjnym rynku. Z drugiej strony poziom wiedzy technologicznej w naszych wtryskowniach rośnie i ich szefowie mają wiedzę jak powinien wyglądać optymalny proces wtrysku. Najważniejszym kryterium opłacalności (zyskowności) produkcji jest czas cyklu. Dla większości wyprasek (poza cienkościennymi) największą składową czasu cyklu jest czas chłodzenia. Aby skrócić cykl, chłodzenie musi być możliwie krótkie zbliżając się do czasu teoretycznego. Nie wnikając w skomplikowane formuły potrzebne do wyliczenia czasu chłodzenia, praktycy korzystają z prostej reguły pozwalającej szybko oszacować ten czas:

t chłodzenia=**a** x **s**2 [sek] gdzie

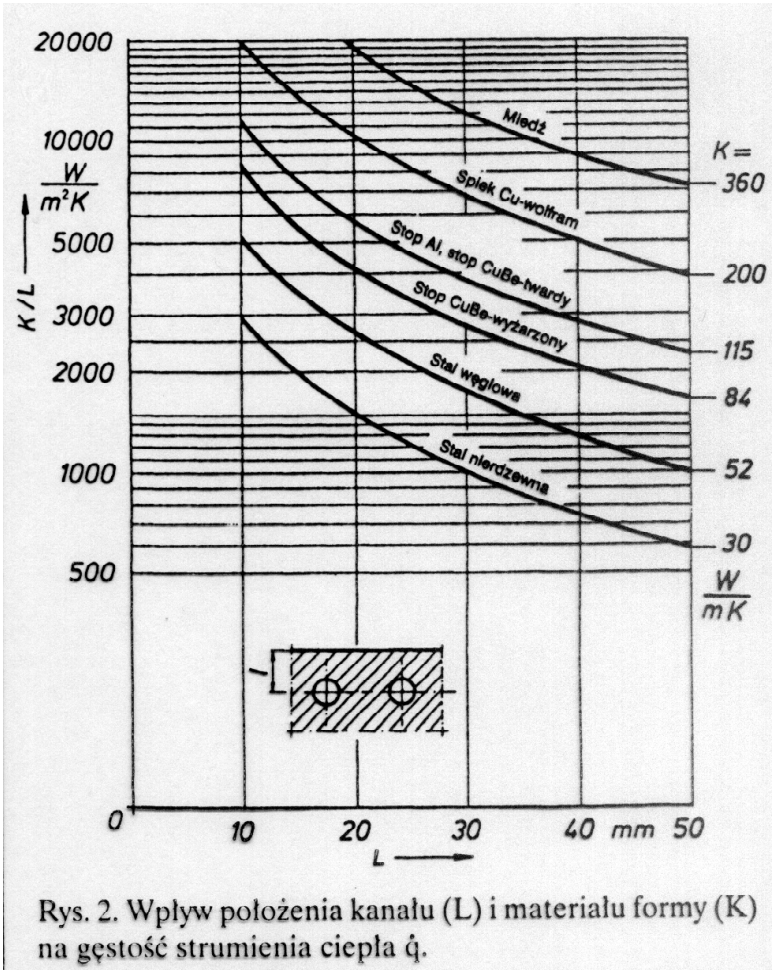
s oznacza grubość ściany w mm
a=2 do 3, współczynnik zależny od typu tworzywa;
dla krystalicznych **a** bliżej 2**,** dla amorficznych **a** bliżej 3**.**

Wtryskownie dysponujące wiedzą zmuszają narzędziownie do zagwarantowania odpowiedniego czas chłodzenia. I tu w wielu przypadkach zaczyna się problem bo czas wyliczony z powyższej reguły potrafi być przekroczony kilkukrotnie. Kiedy to się dzieje?
Wiele wyprasek ma bardzo wredne kształty, posiadają blisko siebie ściany i odprowadzenie ciepła z takich wąskich fragmentów formy w prosty sposób jest niemożliwe. Zastosowanie skomplikowanych technik jak chłodzenie konformalne wymaga budowania matrycy metodami przyrostowymi typu SLM co znacznie podraża koszt wykonania narzędzia.
Coraz więcej form jest wyposażanych w systemy gorącokanałowe. Zdarzają się przypadki że konstruktor narzędzia wchodzi grzaną dyszą we wnękę wypraski co powoduje że zamiast odbierać ciepło od tworzywa, dodatkowo je dostarcza. Zdarzają się również sytuacje zupełnie nietypowe jak formowanie otworów w grubych ścianach wyprasek. Takie niespodzianki są trudne do przewidzenia. Żeby zapobiec im na etapie konstrukcji formy, niezbędne jest korzystanie z programów symulacyjnych wyposażonych w moduły do analiz termicznych.
A jak się ratować kiedy jest już po przysłowiowej herbacie i wykonana forma nie realizuje „teoretycznego czasu chłodzenia" a wtryskownia nie chce odebrać i co gorsza zapłacić za narzędzie?. Wtedy ratunkiem może być ponowne wykonanie matrycy ze stali lub stopu o wysokiej przewodności termicznej.
Dlaczego zastosowanie materiałów o wysokiej przewodności skraca czas chłodzenia? Fizykę przepływu ciepła w ruchu ustalonym, od wypraski do kanałów chłodzących formy, opisuje znana formuła zwana prawem Fouriera:

$$Q = \frac{\lambda A}{d}\Delta T$$

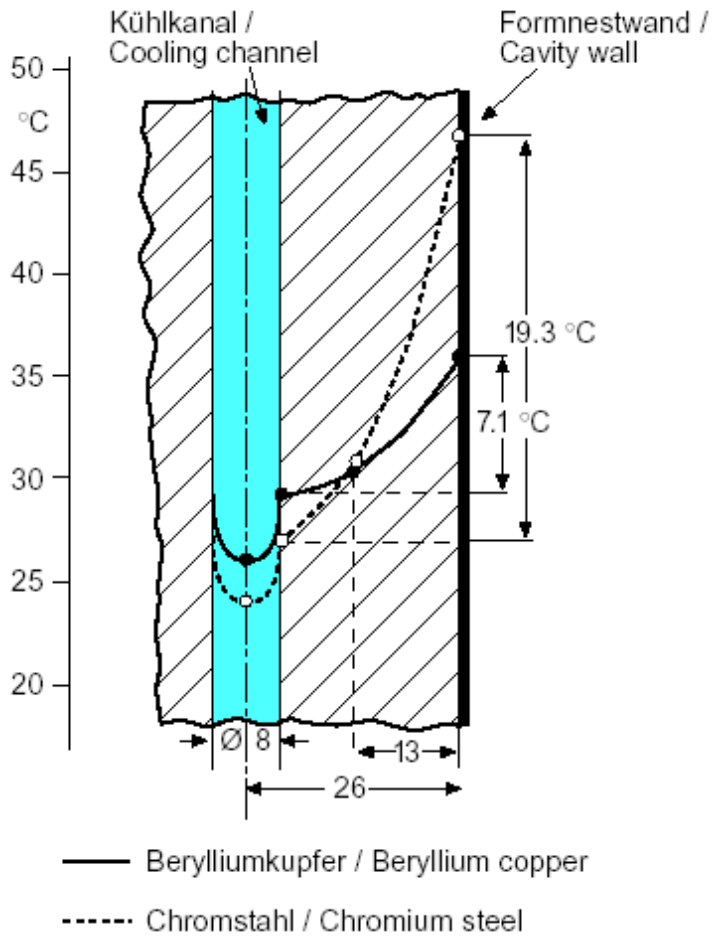
gdzie

Q – strumień ciepła płynący od powierzchni formującej do kanału chł [W]
λ – przewodność termiczna [w/m*K]
A – powierzchnia przepływu ciepła [m2]
d – odległość kanału chłodzenia od powierzchni formującej [m]
ΔT – różnica temperatur pomiędzy powierzchnią formująca a kanałem chł. [K]
Interpretację graficzną przepływu strumienia ciepła zgodnie z prawem Fouriera przedstawia poniższy rysunek [1].



Rys. 2. Wpływ położenia kanału (L) i materiału formy (K) na gęstość strumienia ciepła q̇.

Widzimy że strumień ciepła będzie tym większy im przewodność materiału formy będzie większa, odległość kanałów od powierzchni formującej mniejsza, różnica temperatur pomiędzy kanałem a pow. formująca większa (niższa temperatura medium chłodzącego). Ta prosta zależność pozwala konstruktorowi obliczyć podstawowe parametry układu chłodzenia jak typ materiału formy i odległość kanałów od wypraski dla oszacowanego czasu chłodzenia wypraski. Żeby żmudnie nie poszukiwać danych materiałowych, można skorzystać z bardzo prostych programów które obliczają wyżej podane zależności. Takie programy można znaleźć na stronach internetowych dużych producentów tworzyw. W firmie WadimPlast dr.inż. Mariusz Ambroziak napisał program pod nazwą „Chłodzenie" który świetnie się sprawdza w tego typu obliczeniach [2].



Poziom temperatury na powierzchni formującej dla różnych materiałów formy [3].

Widzimy więc że dysponujemy prostymi narzędziami obliczeniowymi, a rynek proponuje nam odpowiednie materiały, dzięki którym unikniemy przykrych niespodzianek.

Obecnie rynek metali oferuje całą gamę stali narzędziowych i stopów o bardzo wysokiej przewodności w stosunku do powszechnie stosowanych stali do budowy form.

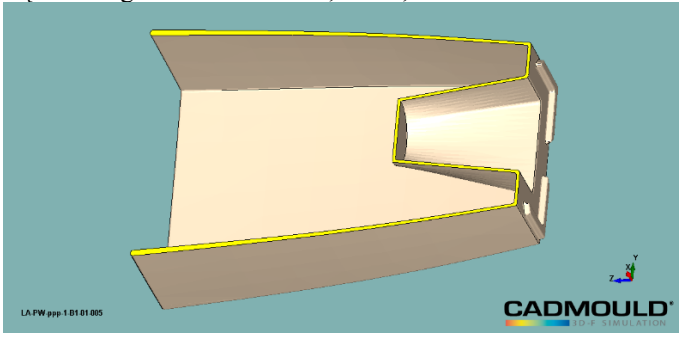
WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE		**HCTS-230**	**HCTS-260**	**HCTS-150WU**	**1.2344**
Udarność (metoda Charpy'ego)*	[J]	> 450	220	260	180
Odporność na zużycie cierne		220	340	310	100
Odporność na zużycie adhezyjne		280	360	250	100
Gęstość	[g/cm^3]	7,88	7,88	7,97	7,80
Najwyższa twardość	HRC	54	58	54	54
WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE					
Przewodność cieplna w 20°C*	[$^W/_{m*K}$]	**47**	**60**	**51**	21
Najwyższa osiągalna przewodność cieplna	[$^W/_{m*K}$]	55	72	66	27
Dyfuzyjność cieplna w 20°C*	[mm^2/s]	12,20	15,20	12,90	5,96
Najwyższa osiągalna dyfuzyjność cieplna	[mm^2/s]	13,50	19,20	16,00	6,25

Własności mechaniczne i termiczne wysoko przewodzących stali narzędziowych produkowane przez hiszpańską hutę ROVALMA [4].
Na uwagę zasługuje bardzo wysoka osiągalna twardość przy jednoczesnej wysokiej przewodności termicznej. Jest to własność unikalna, bo wiemy że dla zwykłych stali narzędziowych wzrostowi własności mechanicznych i twardości towarzyszy coraz nisza przewodność termiczna.

Nazwa materialu	HOVADUROK150	HOVADUROK190	HOVADUROK220	HOVADUROK230	HOVADUROK250	HOVADUROK265	HOVADUROK350
Analiza (Ciężar - udział %) Cr	0,7	-	0,4	-	-	-	-
Zr	0,1	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	1,0	1,0	Ni+Co 0,4
Ni	-	-	2,5	1,7	1,0	1,0	Ni+Co 0,4
Be	-	-	-	0,3	0,5	0,5	1,9
Al	-	10,5	-	-	-	-	-
Si	-	-	0,7	-	-	-	-
Fe	-	3,5	-	-	-	-	-
pozostałe	max.0,2	max.0,3	max.0,3	max.0,2	max.0,2	max.0,2	max.0,2
Cu	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest
Własności mechaniczne (wartości osiągnięte przy 20°C):							
Twardość HB	135-170	180-220	190-230	210-250	230-260	260-285	320-370
Wytrzymałość na zrywanie N/mm^2	380-470	680-780	650-750	700-760	720-820	750-850	1200-1300
0,2%- umowna granica plastyczności N/mm^2	320-410	320-450	500-650	650-700	660-740	700-760	950-1050
Wydłużenie A5 %	14-18	10-14	10-14	10-14	10-14	8-12	2-5
Moduł sprężystości podłużnej N/mm2	125x10 3	116x10 3	140x10 3	135x10 3	135x10 3	135x10 3	135x10 3
Temperatura mięknienia °C	500	620	480	480	480	480	300
Właściwości fizyczne (wartości osiągnięte przy 20°C):							
Ciężar właściwy g/cm 3	8,9	7,45	8,8	8,8	8,8	8,8	8,3
Przewodność cieplna W/mK	320	80	200	290	250	250	130
Przewodność elektryczna %IACS	80(47 MS/m)	12(7 MS/m)	38(22 MS/m)	69(40 MS/m)	80(47 MS/m)	80(47 MS/m)	80(47 MS/m)
Współczynnik wydłużenia 20-300°C	17,0x10 $^{-6}$ /K	16,0x10 $^{-6}$ /K	16,2x10 -6 /K	17,2x10 $^{-6}$ /K	17,2x10 $^{-6}$ /K	17,2x10 $^{-6}$ /K	17,0x10 $^{-6}$ /K

Zdecydowanie wyższe przewodności oferują stopy miedzi, niestety przy dużo niższych własnościach mechanicznych. Mimo tej wady stopy miedzi są chętnie stosowane w tych miejscach formy, z których musimy wyprowadzić największy strumień cieplny. Na uwagę zasługuje brąz K-350, tzw. brąz berylowy, będący kompromisem pomiędzy własnościami mechanicznymi a przewodnością [5].
Wiemy już jakimi dysponujemy możliwościami żeby zintensyfikować odbiór ciepła od wypraski, więc możemy rozważyć dwa ciekawe przypadki które sprawiły problem ze zbyt długim czasem chłodzenia.

Przykład - Forma dwu gniazdowa na osłonę doniczki.
Wtryskiwane tworzywo PS. Czas cyklu osiągnięty przez wtryskownię to 40s. Wymiary wypraski 125x125x200, ciężar 210 gr. Grubość ścian 1,5 do 1,6 mm.

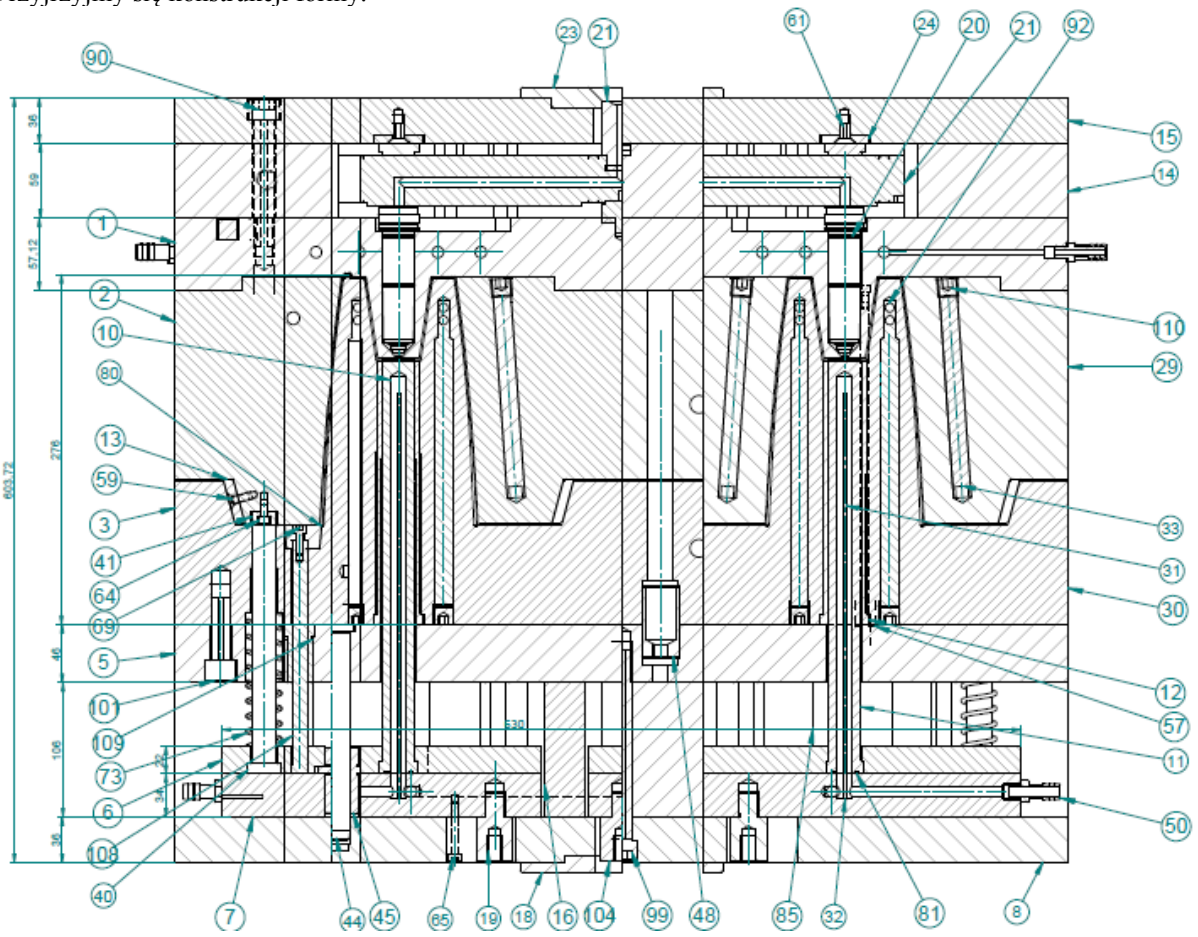


Oszacujmy na podstawie naszej reguły „teoretyczny” czas chłodzenia:

$$t = 3x1,6x1,6 = 7,7\ s$$

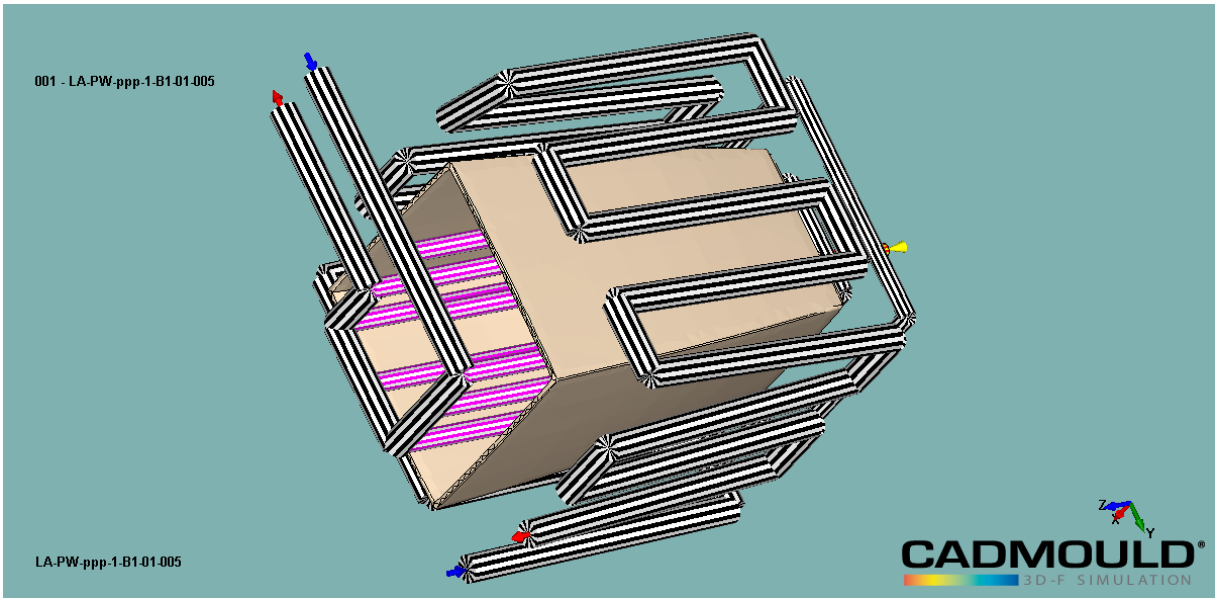
Doliczając pozostałe czasy, dochodzimy do wniosku że czas cyklu powinien zmieścić się między 15s a max 20 s.

Przyjrzyjmy się konstrukcji formy.



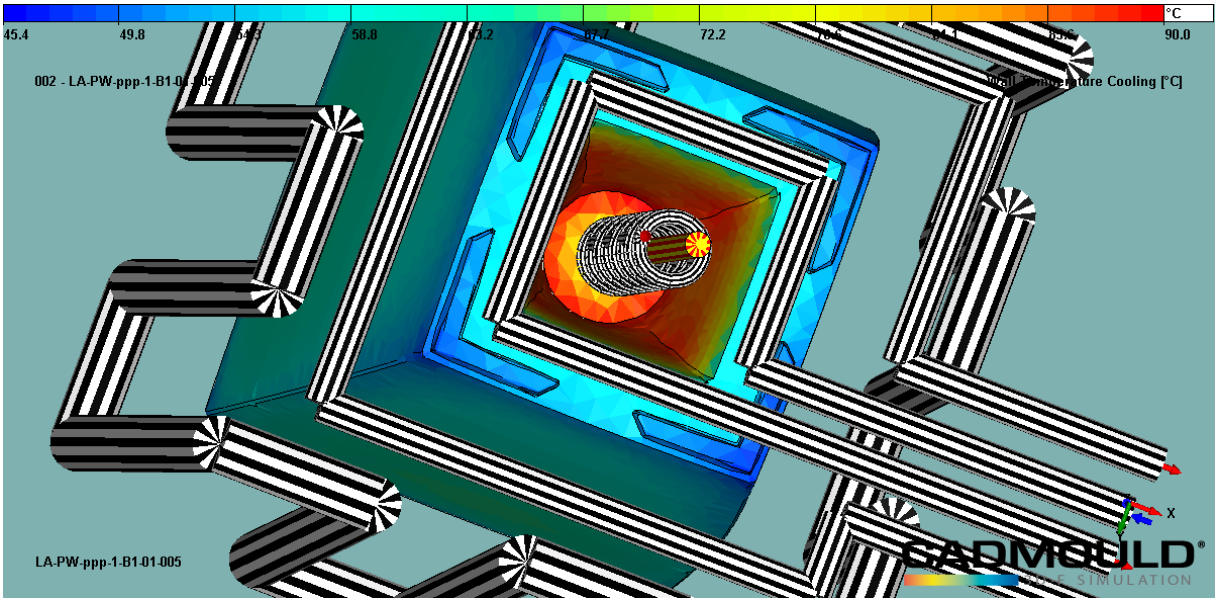
Jak zwykle dla tej firmy, forma została bardzo starannie zaprojektowana. Matryce i stemple zostały wykonane ze stali NIMAX która posiada przewodność 26 W/mK, typową dla tego typu stali i tego typu zastosowań. Kanały chłodzące otaczają wypraskę prawie konformalnie. Widzimy że tylko jeden obszar nie jest dostatecznie chłodzony, jest to wnęka w dnie wypraski w którą wstawiono grzaną dyszę. Brak kanałów w tym obszarze wynika z ciasnoty, po prostu nie ma jak (poprzez wiercenie otworów), wprowadzić chłodzenia. Firma skierowała zapytanie do dostawcy systemu GK o dysze o mniejszej średnicy zewnętrznej. Niestety, okazało się że przy masie wypraski 210 gr. dysze o mniejszej średnicy nie sprostały by zadaniu.

Co zrobić w tej sytuacji jeśli posiadamy świadomość, że forma mogłaby pracować w cyklu 2 razy krótszym? Powstała propozycja aby odebrać ciepło z wnęki korzystając z materiału o wysokiej przewodności. Korzystając z programu symulacyjnego sprawdzimy efekt zastosowania stopu i stali wysoko przewodzących.

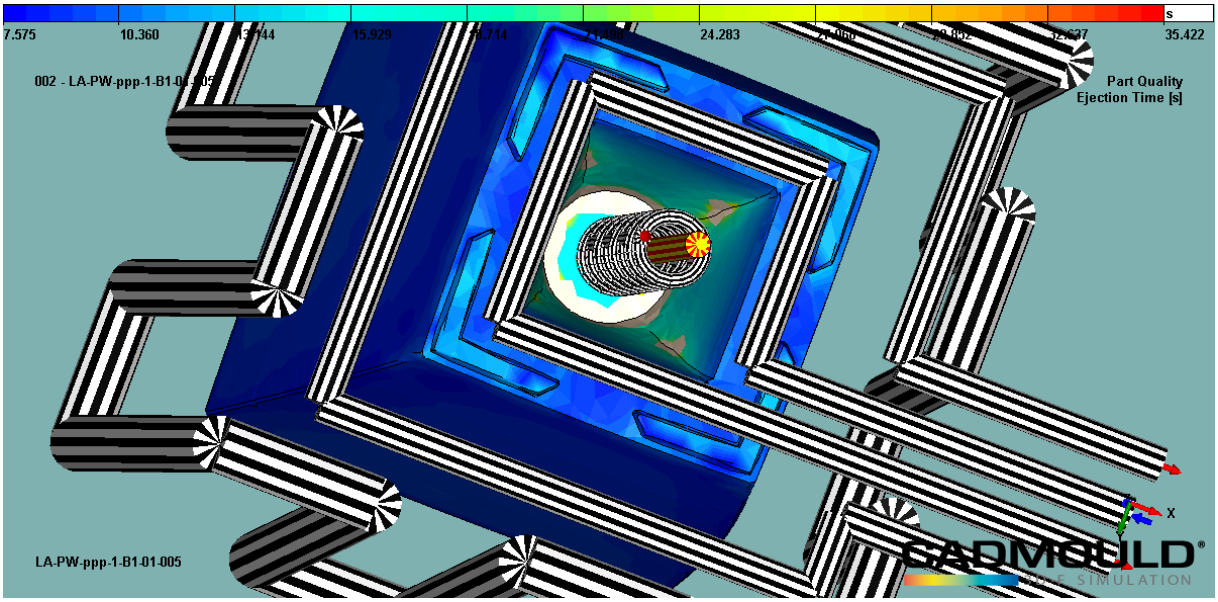


Tak jak wcześniej zaznaczyliśmy, kanały chłodzące oplatają wypraskę poza wnęką w której zlokalizowana jest dysza.

Najpierw zobaczymy jaka jest sytuacja w istniejącej formie zbudowanej ze stali NIMAX.

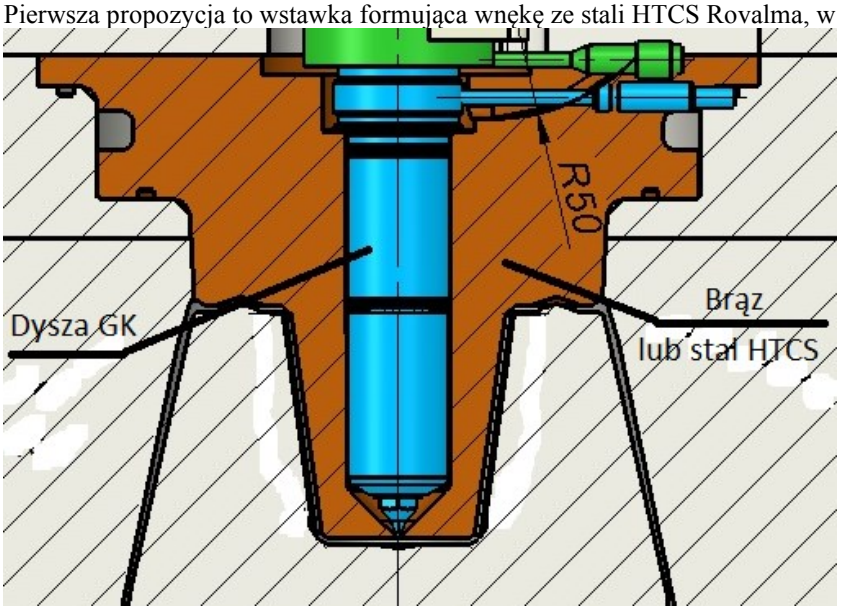


Efekt braku chłodzenia we wnęce - wzrost temperatury tej części formy do 90 stC.

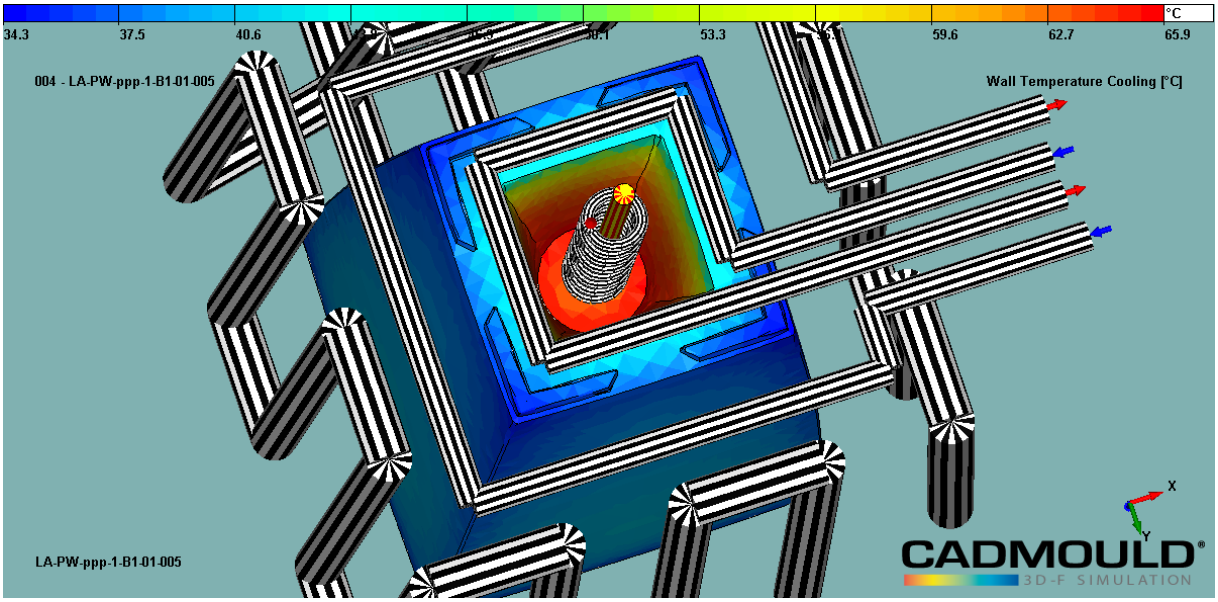


Nic dziwnego że czas chłodzenia wnęki jest wyższy jak 35s co prowadzi do czasu cyklu rzędu 40s.

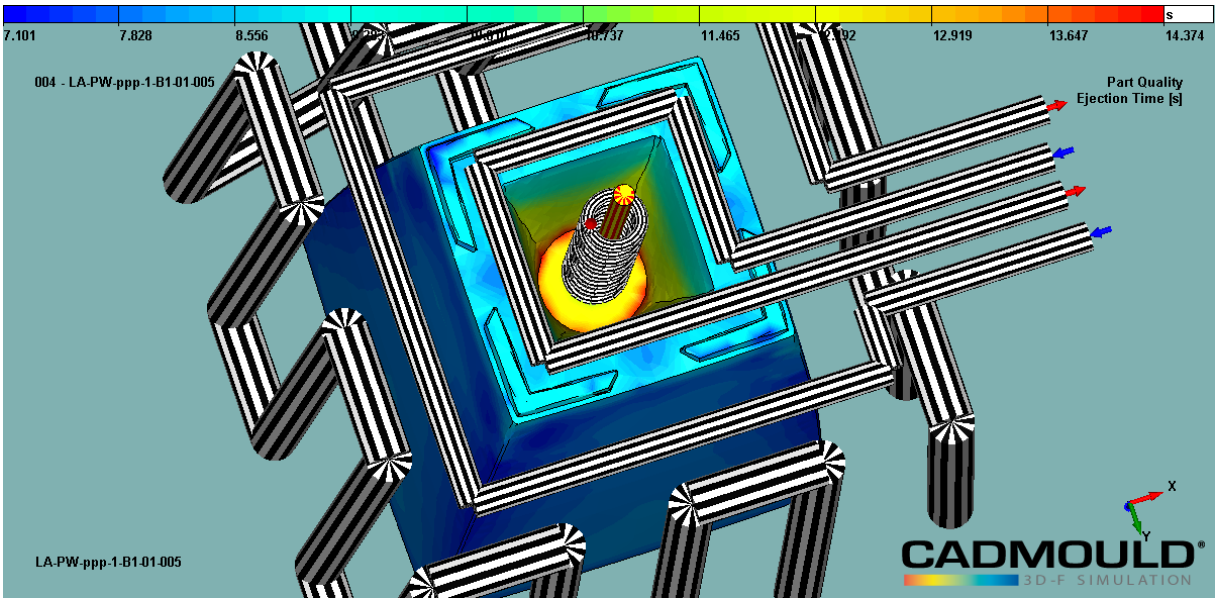
Pierwsza propozycja to wstawka formująca wnękę ze stali HTCS Rovalma, w której jest umieszczona dysza GK.



Do analiz została wytypowana stal HTCS-230 o współczynniku przewodzenia 60 W/mK.

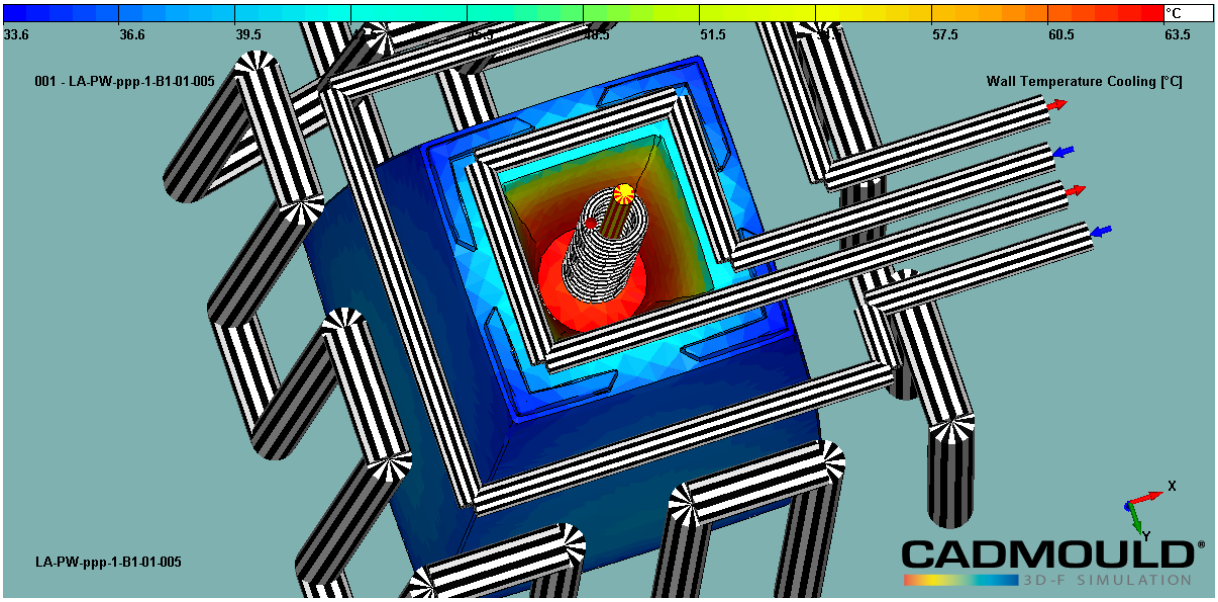


Program wyliczył że zastosowanie stali HTCS obniży temperaturę wstawki która wynosi teraz max 65,9 stC.

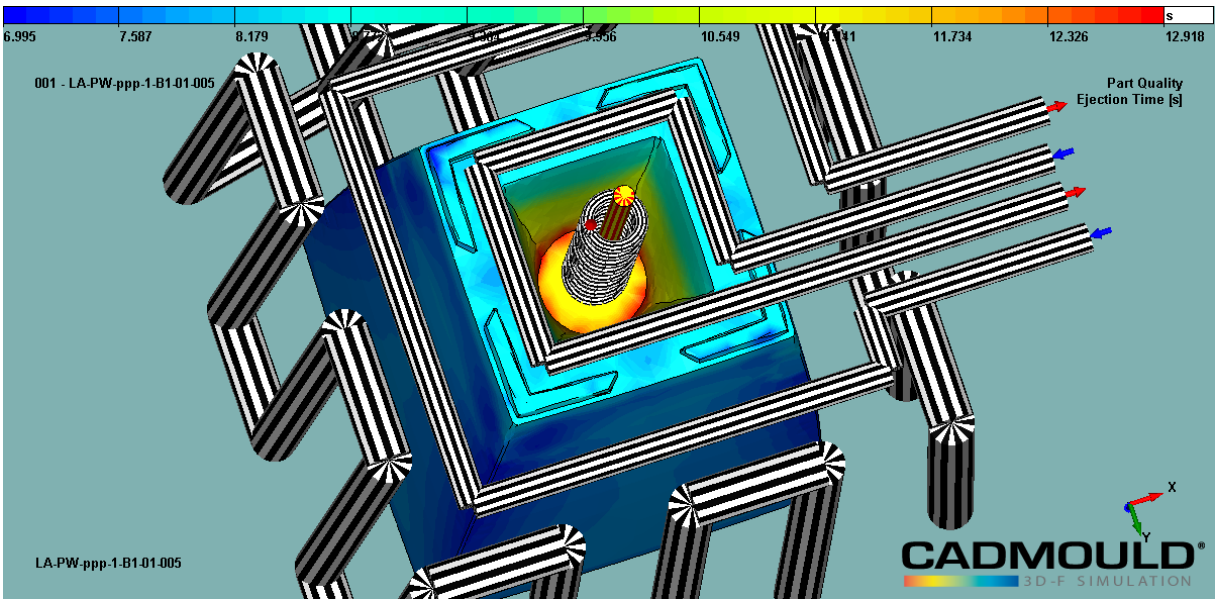


Dzięki obniżeniu temperatury, max czas chłodzenia wynosi teraz 14,4 s, a czas cyklu skraca się do 22 s.

Druga propozycja to wstawka z brązu Hovadur K-350 który posiada kompromisowe własności pomiędzy twardością a przewodnością. Materiał ten posiada twardość rzędu 320 – 370 HB a przewodność 130 W/mK.



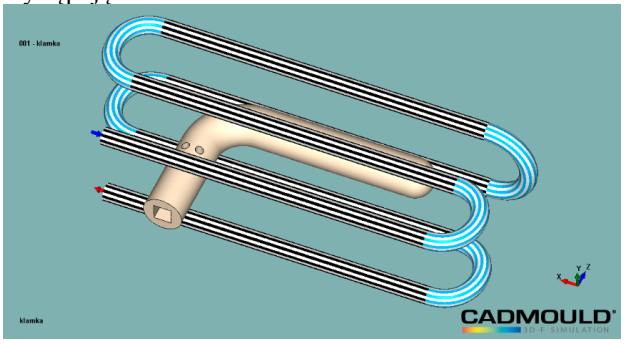
Program wyliczył że zastosowanie brązu obniży temperaturę wstawki która wynosi teraz max 63,5 stC.



Dzięki obniżeniu temperatury, max czas chłodzenia wynosi teraz 12,9 s, a czas cyklu skraca się do 20 s.

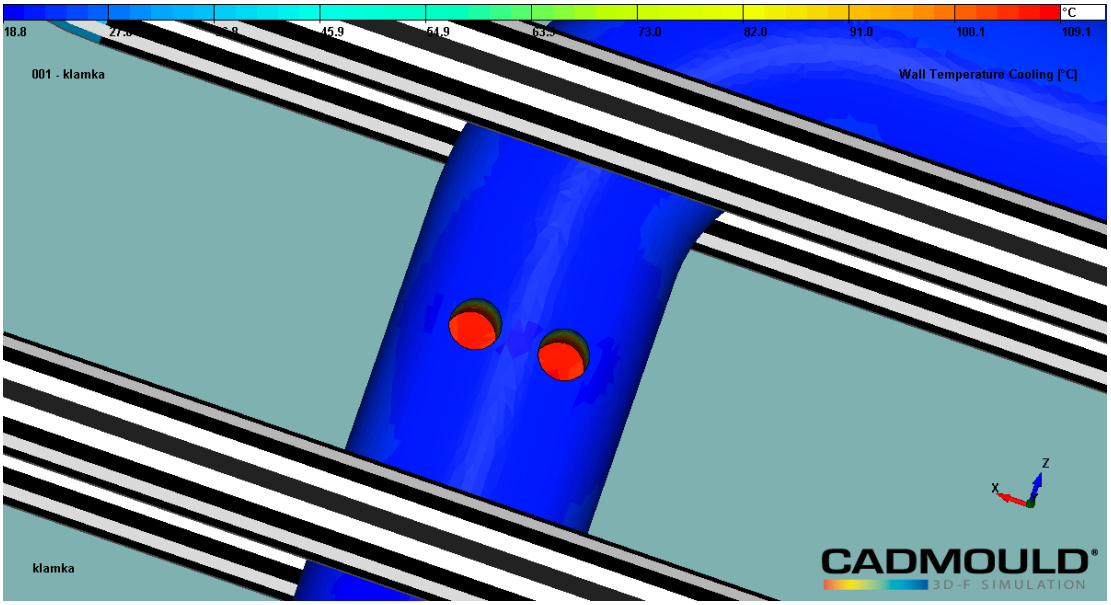
Można powiedzieć, że zastosowanie na wkładkę stali typu HCTS lub brązu, dla tego przypadku dwukrotnie podnosi produktywność.

Wspomniany na początku artykułu drugi przypadek to wypraska grubościenna z głębokimi otworami o małej średnicy. Jest to ciekawy przypadek rzadko spotykany jako że wypraski grubościenne o tak dużych przekrojach występują stosunkowo rzadko.

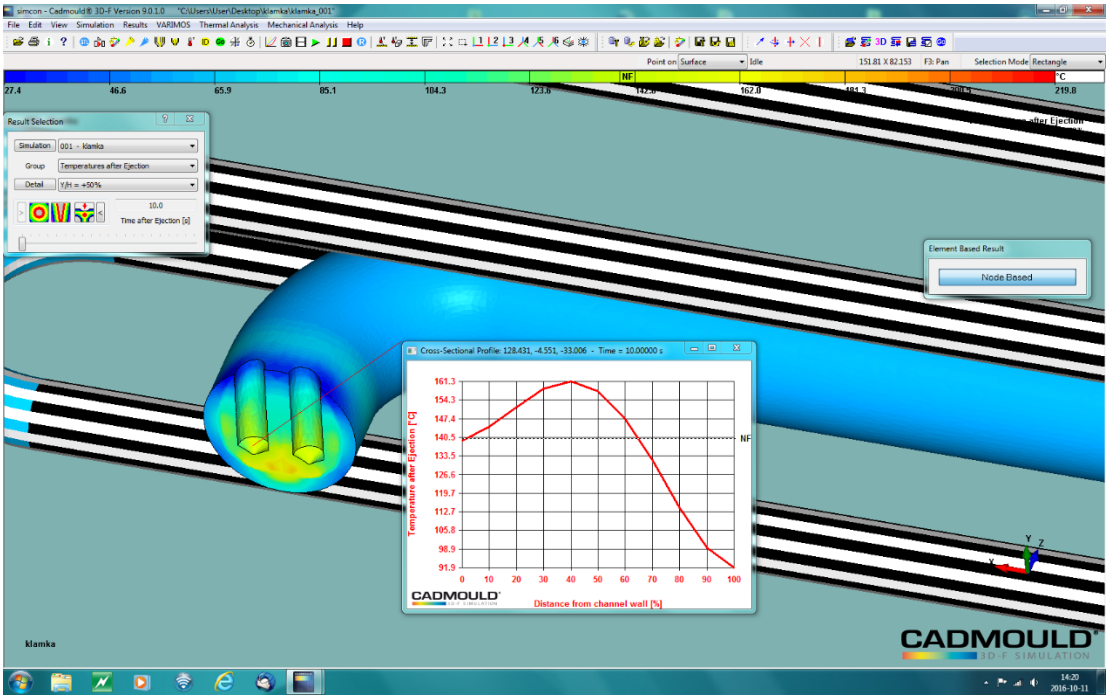


Wypraska to klamka w postaci zagiętego walca o średnicy 22 mm, zaopatrzona w 2 otwory ϕ4 mm wychodzące od powierzchni walcowej. Wypraska produkowana jest z PP w formie 4 krotnej. Płyty formujące zostały wykonane ze stali 1.2311 o przewodności 37 W/mK a rdzenie formujące otwory ϕ4, z wypychaczy ze stali 1.2344 (przewodność 21 W/mK). Do granulatu oprócz barwnika dodawany jest w niewielkiej ilości spieniacz aby nie dopuścić do powstawania zapadnięć.
Przy zejściu z cyklem do ok 60 s, po krótkim czasie od wyrzucenia wypraski z formy, z otworów zaczyna wypływać stopione tworzywo. Dla wyprasek grubościennych dopuszcza się sytuację, gdzie w chwili opuszczenia formy, rdzeń w wyprasce jest jeszcze płynny. Przy dłuższych cyklach ten problem nie występuje, ale wtryskowni zależy na możliwie krótkim czasie cyklu.

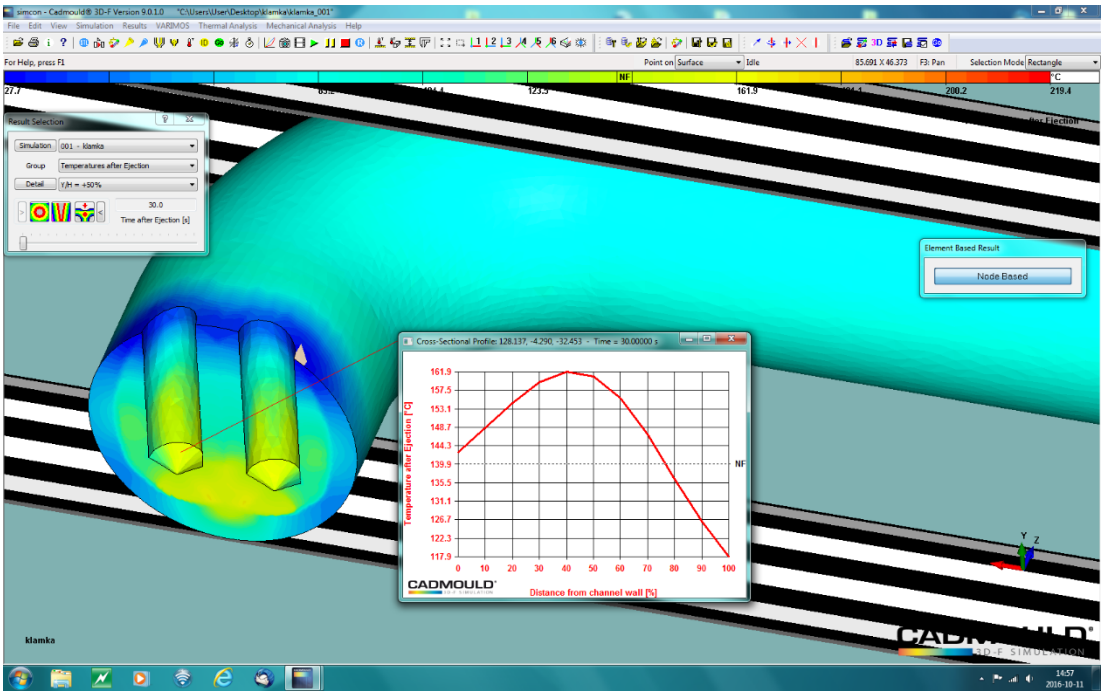
Spróbujemy wyjaśnić ten fenomen i znaleźć sposób na usunięcie problemu, analizując proces w programie symulacyjnym.



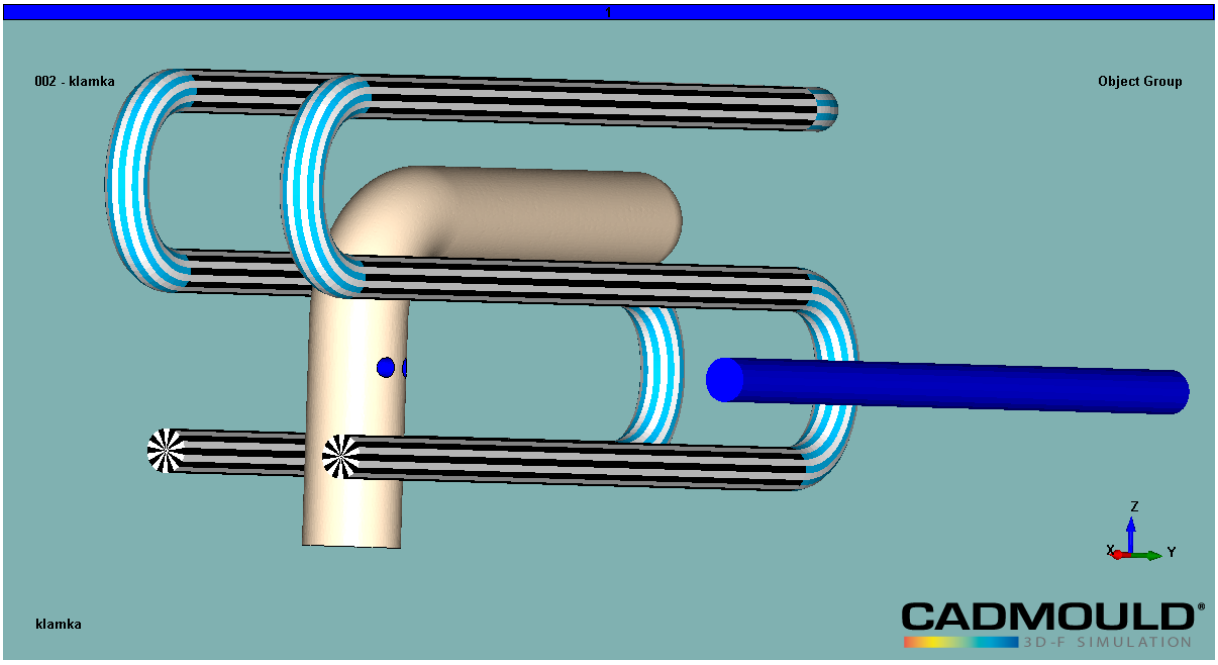
Temperatura stalowego rdzenia formującego otwór, po wyrzuceniu wypraski, wynosi 110 stC a płyt formujących ~20 stC.



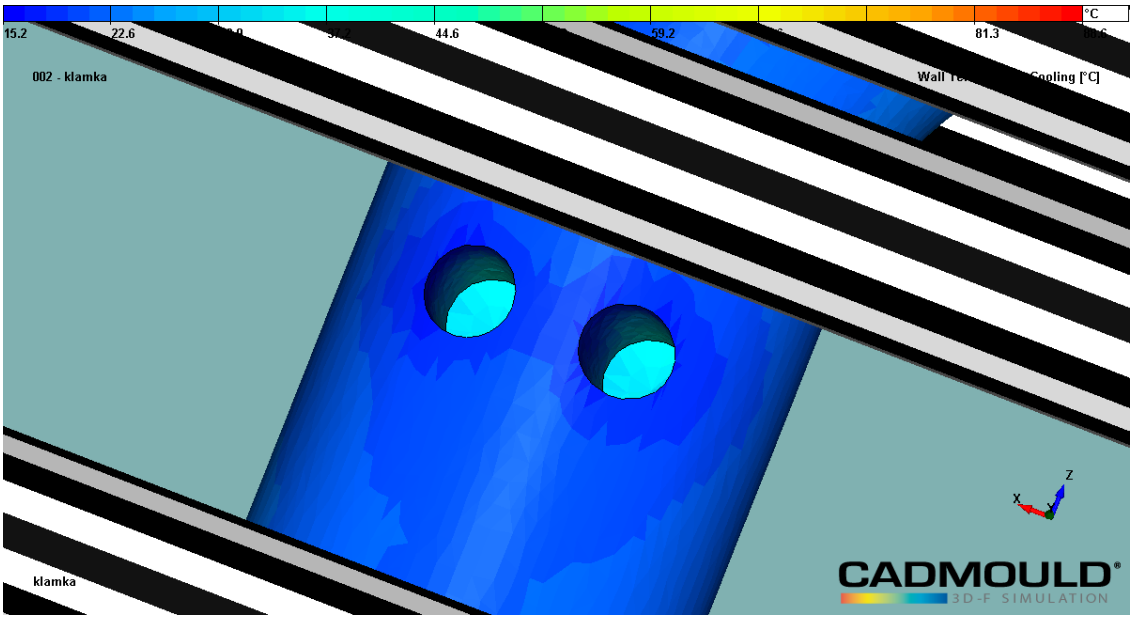
Po wyrzuceniu wypraski z formy ściany otworu ϕ4 posiadają temperaturę przy której tworzywo już nie płynie. Natomiast rdzeń jest jeszcze płynny.



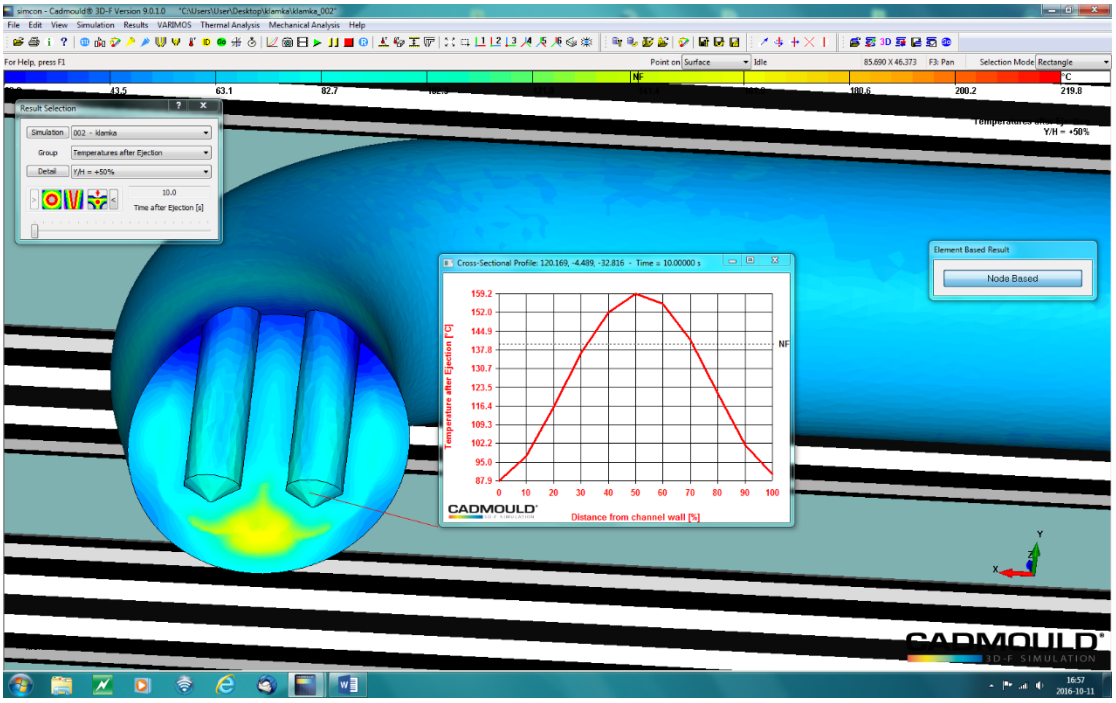
Po 30 s od wyrzucenia wypraski, ciepło które płynie od rdzenia który jest jeszcze w płynnym stanie, topi ściankę otworu. Pod wpływem niewielkiego ciśnienia jakie daje spieniacz, płynne tworzywo jest wypychane na zewnątrz. Mamy dwie możliwości, albo przedłużymy czas chłodzenia czyli cyklu (czego nie chcemy), albo schłodzimy otoczenie otworu do tak niskiej temperatury że ścianki nie ulegną stopieniu.
Spróbujemy rdzenie formujące otwory wykonać z brązu Hovadur K-350 (pamiętamy że jego przewodność to 130 W/mK), oraz dodać dodatkowy kanał chłodzenia odbierający ciepło od rdzeni.



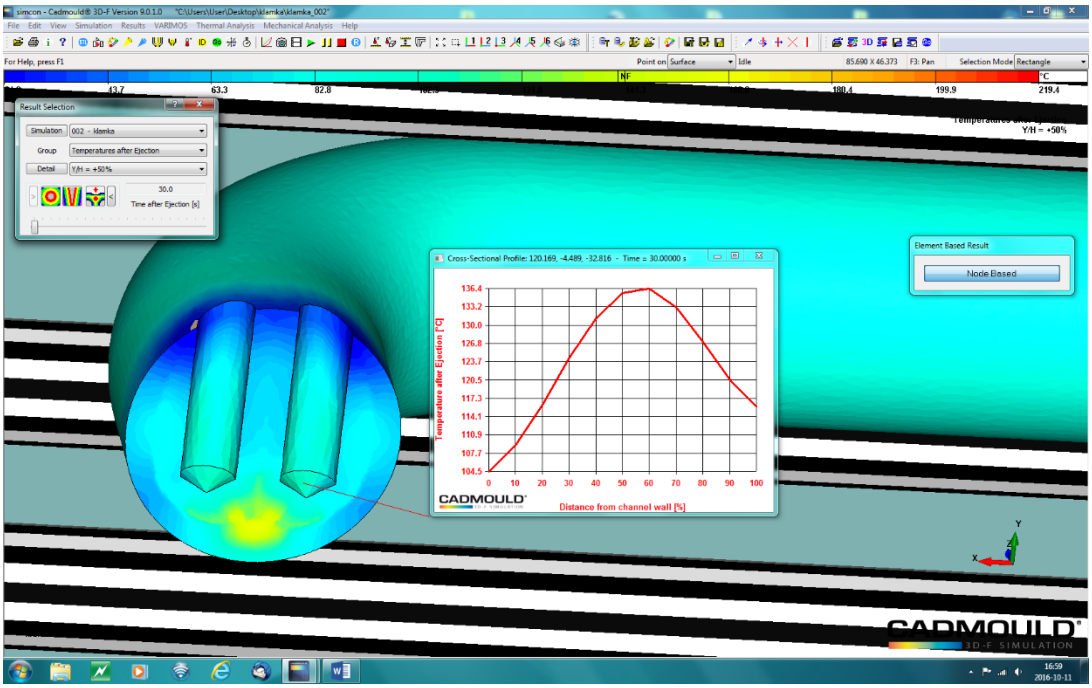
Na niebiesko zaznaczyliśmy rdzenie formujące otwory ϕ4 oraz dodatkowy kanał który odbiera ciepło od rdzeni.



Widzimy że zastosowanie rdzeni z brązu, przy tym samym czasie cyklu, obniżyło ich temperaturę do 38 stC. W takim razie zapytamy jak to wpłynie na temperaturę wypraski w otoczeniu otworów?
Oto odpowiedź.



Temperatura ścian wypraski wokół otworów zdecydowanie spadła, również stopiony rdzeń zajmuje teraz znacznie mniejszy przekrój.



Po 30 s od wyrzucenia wypraski zarówno ściany jak i rdzeń są całkowicie zakrzepnięte. Nie grozi nam wypłynięcie tworzywa z otworu a więc forma może pracować w cyklu 60s.

Podsumowując oba przypadki dochodzimy do następujących wniosków:
-stosowanie stali i stopów wysoko przewodzących zdecydowanie obniża czas cyklu prowadząc do lepszej produktywności,
-mimo że w/w stale i stopy potrafią być 2-4 razy droższe od tradycyjnych stali narzędziowych, to ten sposób skracania cyklu jest zdecydowanie tańszy jak wykonywaniu matryc z chłodzeniem konformalnym metodami SLM.

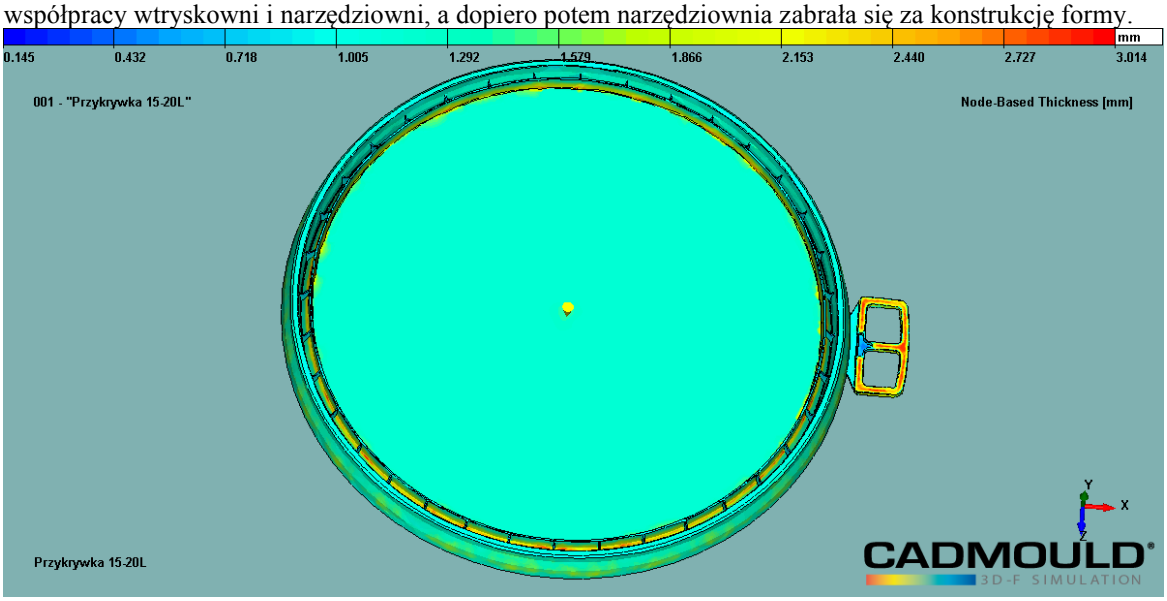
Literatura:

1. Menges, Mohren, How to Make Injection Mold, Hanser Verlag 1993

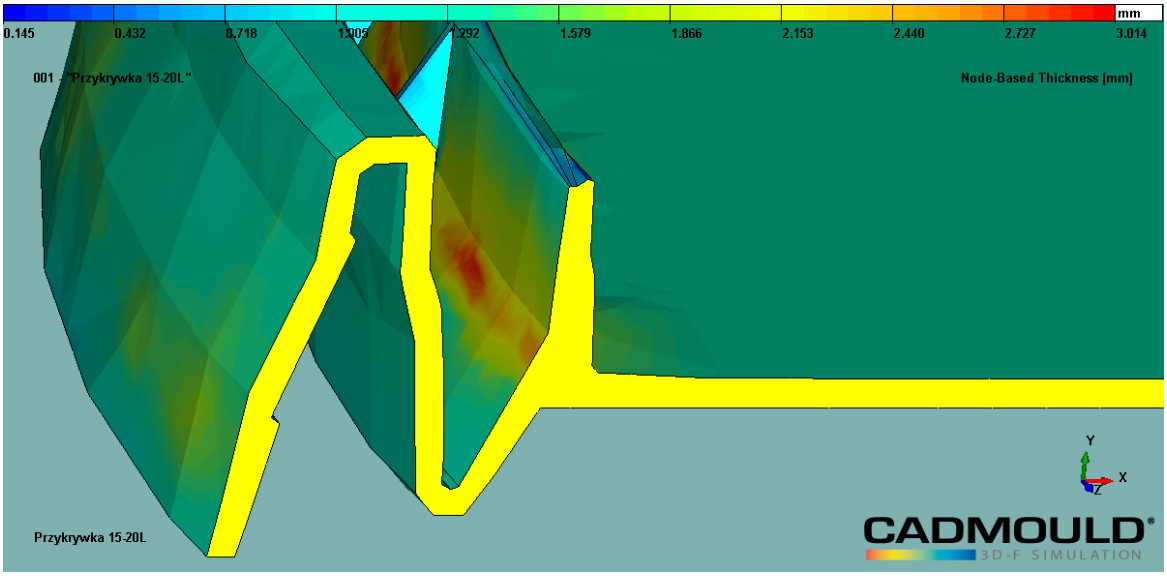
2. Program chłodzenie – Mariusz Ambroziak; Wadim Plast
3. ATI 1104 – Bayer: Optimierte Werkzeugtemperierung. 1997
4. www.rovalma.com
5. www.schmelzmetall.com – polski przedstawiciel –KONEK PSN www.konek.com.pl

7.Forma na pokrywę wiadra 20 L

Duża polska wtryskownia która specjalizuje się w produkcji opakowań do farb (wiadra plastykowe), zamówiła w dobrej polskiej narzędziowni formę na pokrywę do wiadra 20 l. Ze względu na wymagania klienta końcowego, dno pokrywy powinno zachować płaskość w wąskich granicach. Najpierw powstała konstrukcja wypraski we współpracy wtryskowni i narzędziowni, a dopiero potem narzędziownia zabrała się za konstrukcję formy.

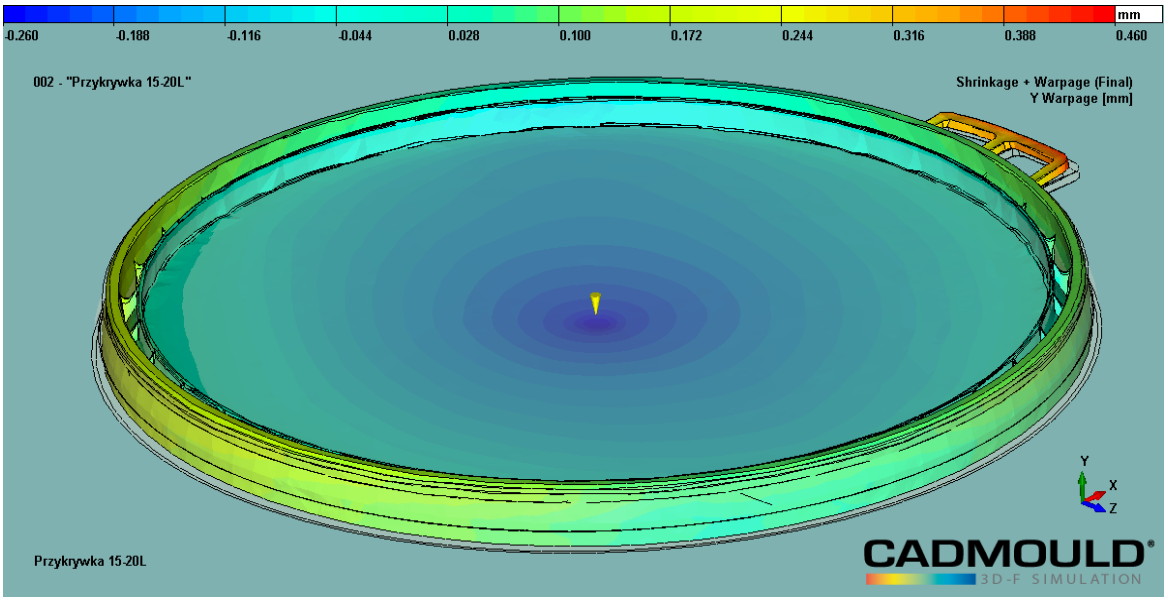


Pokrywa o średnicy 316 mm i masie 144 gr wtryśnięta z PP o wskaźniku płynięcia MFI=23 posiada ścianki o przeważającej grubości 1,3 mm.

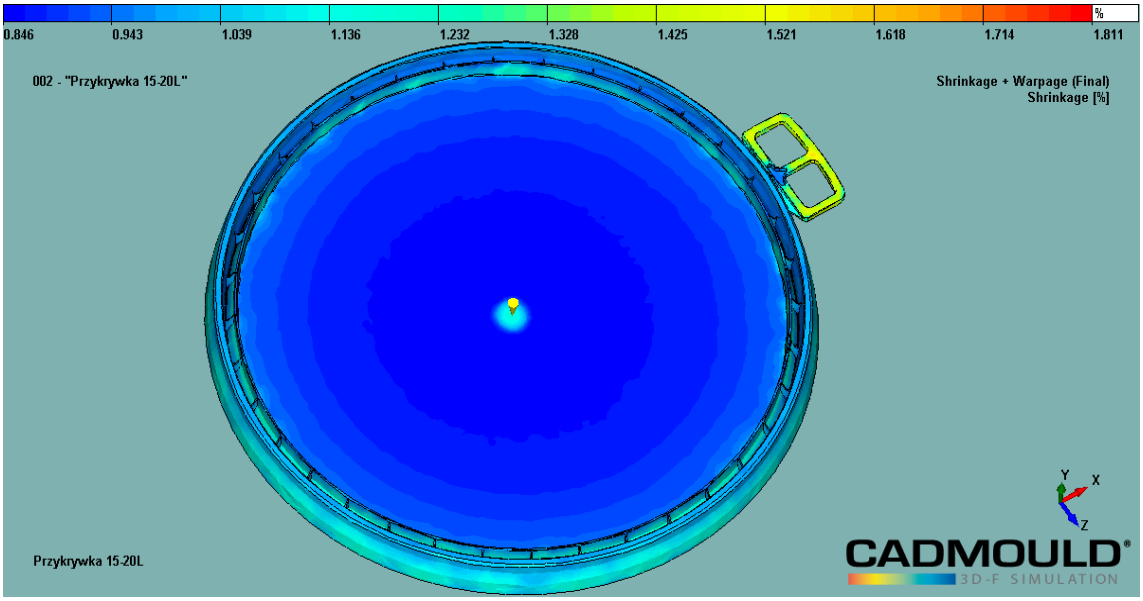


Nie uwzględniając zaczepu, grubość ścianek lokalnie na obrzeżu rośnie do 2 - 3 mm.
Po próbach formy mimo pracochłonnego szukania odpowiednich parametrów wtrysku, okazało się że dno wypraski jest pofalowane i wypukłe do ~12 mm wysokości.

Klient końcowy nie zaakceptował takiej wypraski.
W zaistniałej sytuacji żeby wyjaśnić przyczynę wady (bez zaglądania do konstrukcji formy) zostały wykonane analizy wstępne. W analizie wstępnej nie uwzględniono układu kanałów chłodzących w formie. Założono wyidealizowane chłodzenie formy dla którego temperatura powierzchni formującej jest stała i jednakowa dla całej powierzchni gniazda formującego i dla całego cyklu wtrysku.

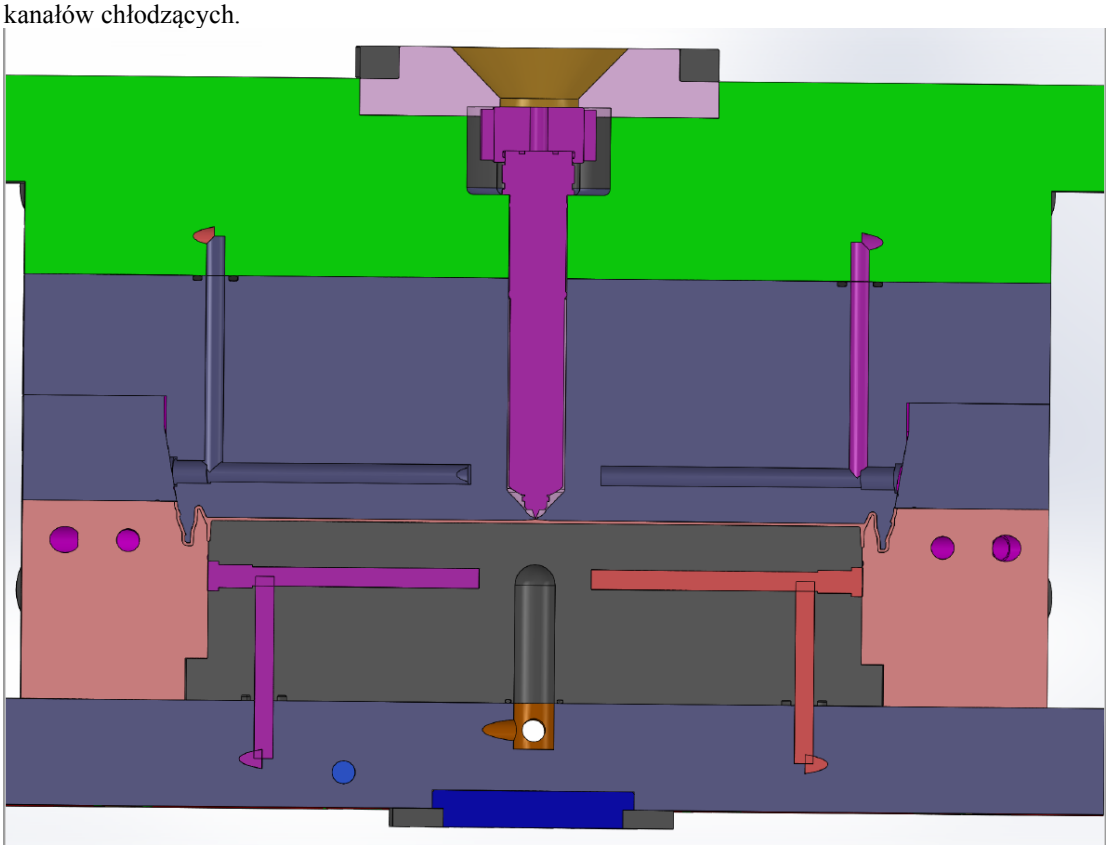


Po wykonaniu analizy okazało się że występują tendencje do tworzenia wypukłości dna wypraski. Jeżeli przeanalizujemy rozkład skurczu to zauważymy że skurcz dla dna jest mniejszy jak dla obrzeża.



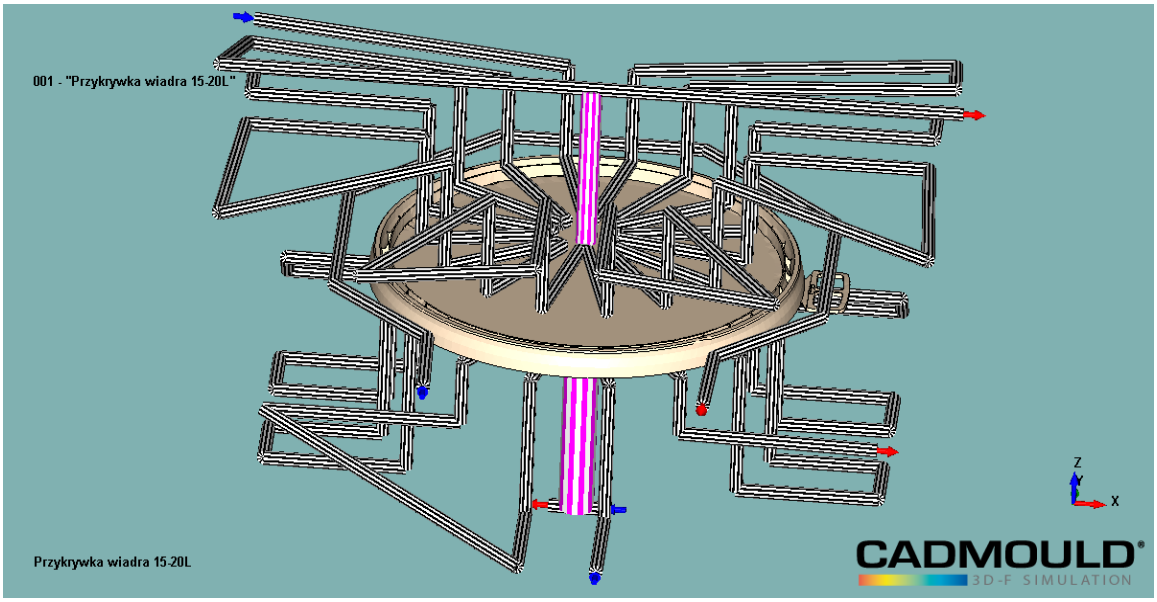
Jeśli porównamy obszary mniejszego (dno) i większego (obrzeże) skurczu z grubością ścian to zauważymy wyraźną zależność, im grubsza ściana tym większy skurcz. Stąd możemy postawić pierwszy wniosek – grubsze ściany obrzeża spowodują wypukłość cieńszego dna.

I teraz rodzi się pytanie dlaczego rzeczywista wypraska doznaje zdecydowanie większych deformacji (wypukłość dna ~12 mm). Odpowiedzi powinna nam udzielić analiza formy, ściśle mówiąc budowa układu kanałów chłodzących.

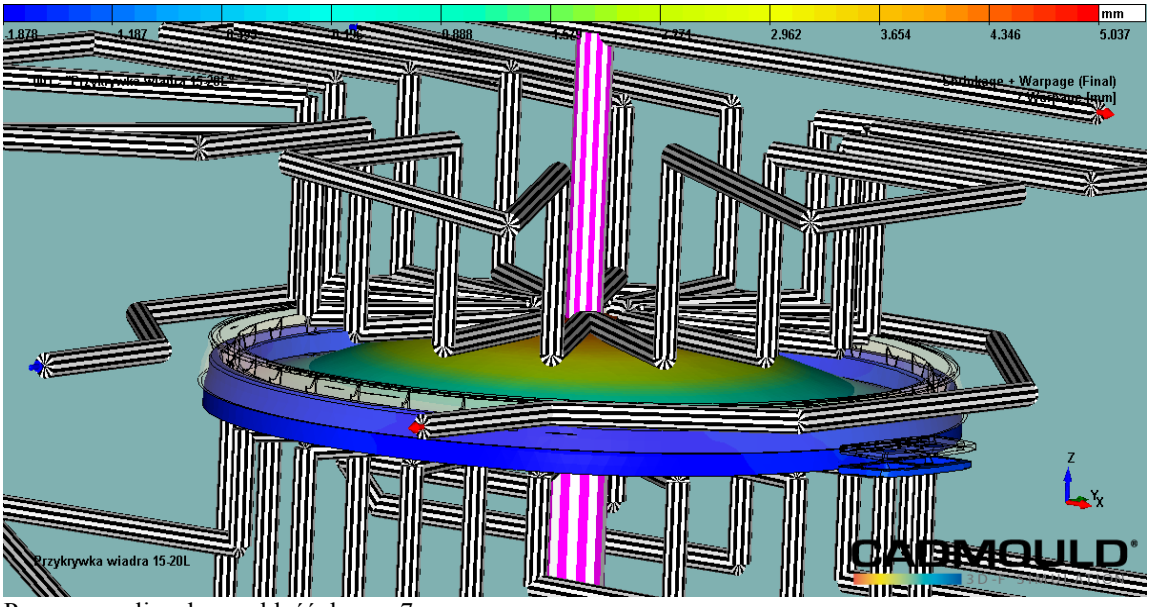


Musimy przeprowadzić pełną analizę i sprawdzić wpływ chłodzenia na własności wypraski. Ta czynność powinna zostać wykonana przed uruchomieniem wykonania formy w metalu.

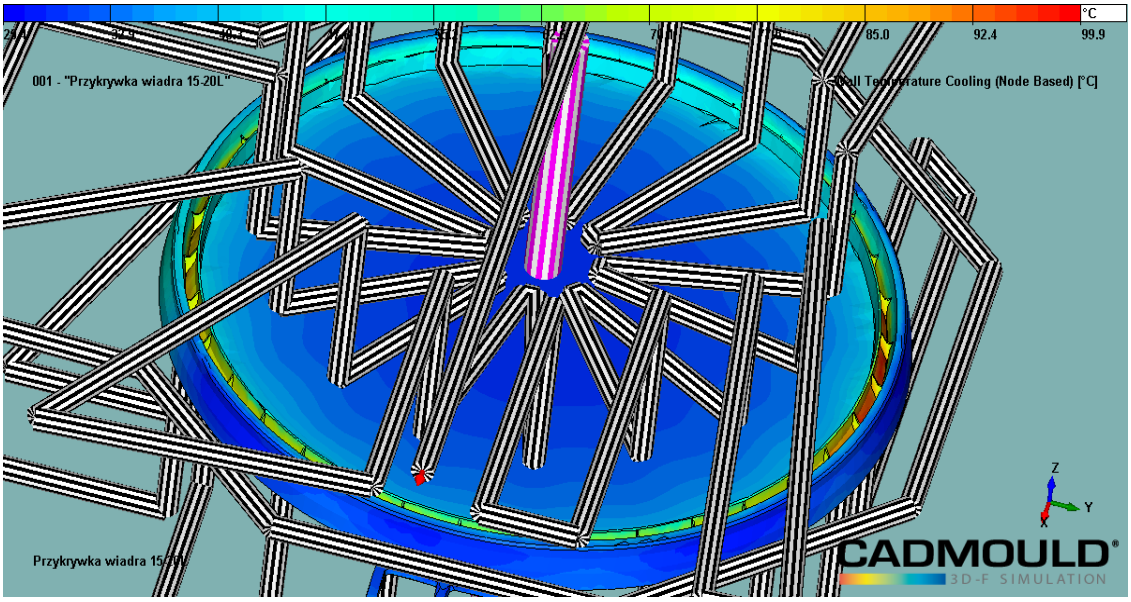
Po zamodelowaniu chłodzenia w Cadmould, układ kanałów i ich położenie względem wypraski wygląda następująco:



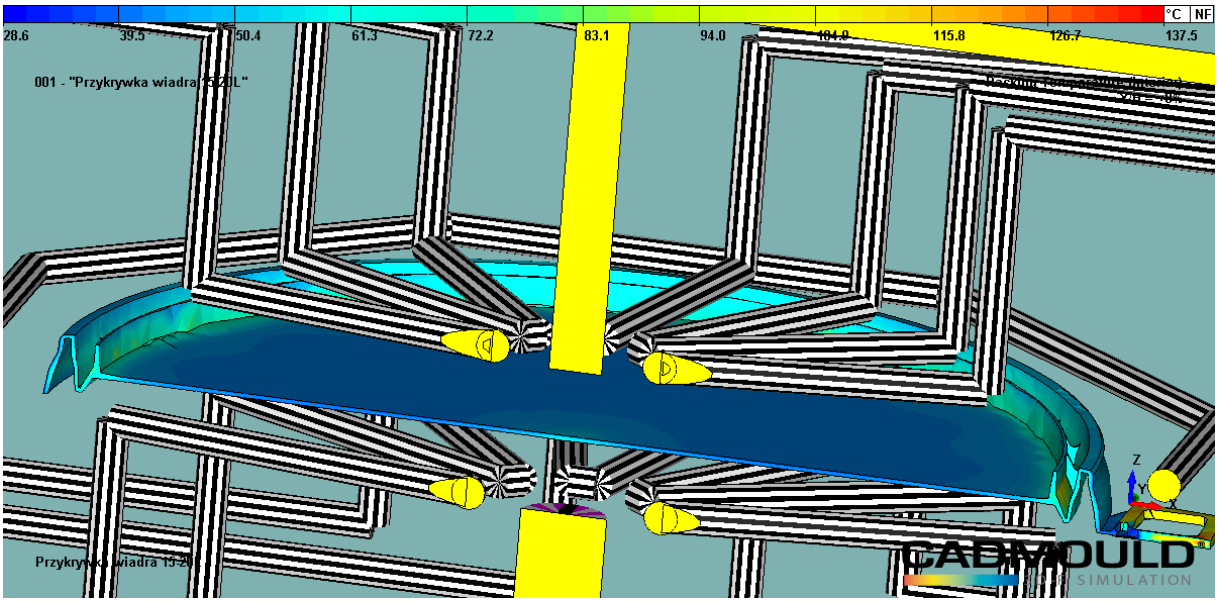
Po wykonaniu obliczeń okazało się że tendencje do deformacji gwałtownie wzrosły w stosunku do wyników z analizy wstępnej.



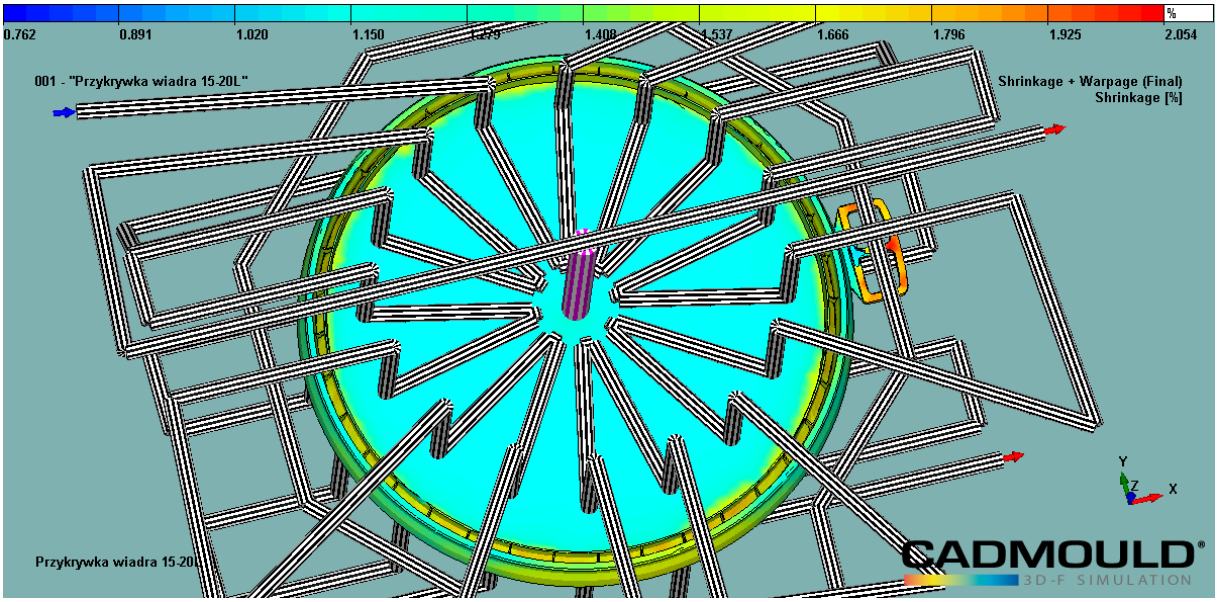
Program wyliczył wypukłość dna na 7 mm.
Sprawdzimy te wyniki które mają największy wpływ na deformacje wypraski i spróbujemy wyjaśnić przyczynę tak dużych odkształceń.



Temperatura powierzchni formującej po wyrzuceniu wypraski; różnica temperatur od 25 do 99 stC (nie powinna być większa jak 15 stC). Dodatkowo temperatura stempla jest wyższa o kilka stC od temperatury matrycy w obszarze dna wypraski.



Temperatura wypraski w momencie wyrzuceniu z formy; różnica temperatur pomiędzy dnem wypraski a jej obrzeżem jest rzędu 30 – 50 stC



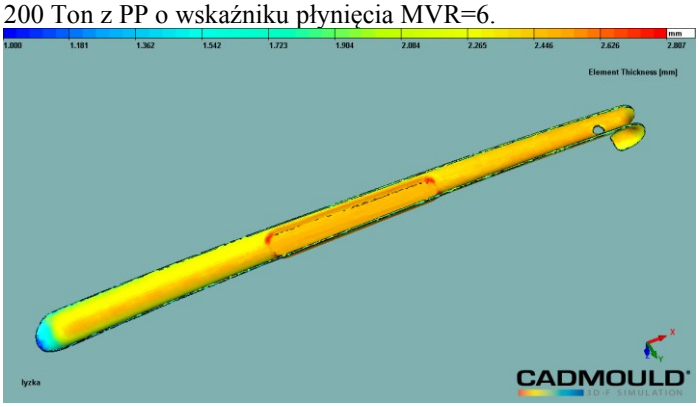
Skurcz liniowy; jego różnica od 1,2% dla powierzchni dna do prawie 1,8% dla obrzeża, jest przyczyną deformacji wypraski.

Teraz powinniśmy zadać sobie pytanie, skąd się bierze taka duża różnica w skurczu?
Na podstawie przeprowadzonych analiz możemy stwierdzić że istnieją 3 główne przyczyny:
1 - grubsze ściany na obrzeżu wypraski,
2 - kształt obrzeża uniemożliwiający prostymi metodami intensywne schłodzenie tego fragmentu wypraski
3 – nie do końca przemyślany układ kanałów chłodzących które omijają naroża stempla i matrycy, a te obszary należałoby chłodzić najintensywniej.
Generalny wniosek jest następujący – gdyby koncepcja formy (jej chłodzenie) powstawały równolegle z konstrukcją wypraski i temu procesowi towarzyszyły odpowiednie analizy, to konstruktor narzędzia wiedział by, że nie jest w stanie sprostać oczekiwaniom klienta. Prawdopodobnie konstruktor formy zasugerował by zmianę geometrii wypraski i musiał by skorzystać z intensywnych metod chłodzenia. Zastosowanie stopów wysoko przewodzących lub wykonanie fragmentu stempla i matrycy metodą SLA która pozwala bardzo blisko podejść kanałem do wypraski (tzw. chłodzenie konformalne), zdecydowanie intensyfikuje chłodzenie. Oczywiście wszystko się zasadza na odpowiedniej strategii czyli zastosowaniu odpowiedniej kolejności kroków projektowych.

8.Problemy z chłodzeniem wypraski w formie z gorącym kanałem

Przedmiotem analizy jest forma 2 gniazdowa gorącokanałowa na łyżkę do butów.

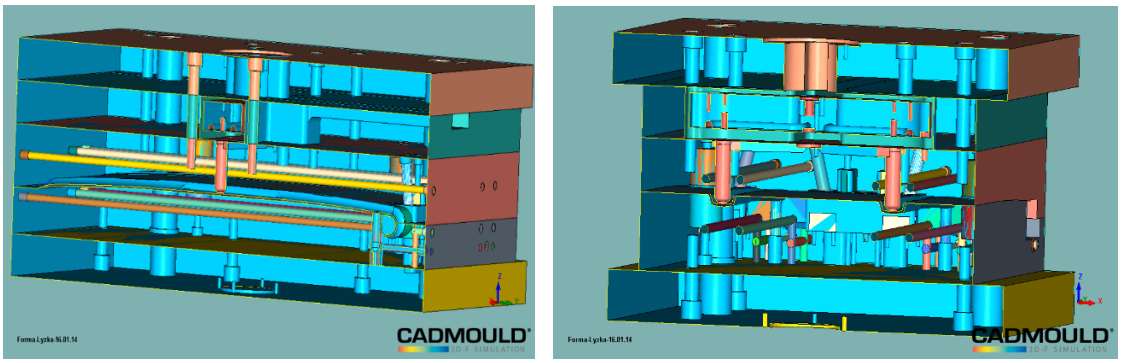
Wypraska o masie 60 gr i długości 640 mm produkowana jest w czasie cyklu = 32 s, na maszynie o sile zwarcia 200 Ton z PP o wskaźniku płynięcia MVR=6.



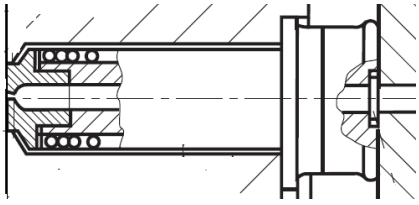
Grubość ścian wypraski jest rzędu 2-2,5 mm.

Problem – długi czas cyklu, deformacje wypraski szczególnie w obszarze przewężki, konieczny odbiór wyprasek przez obsługę. Wypraska po wyrzuceniu z formy wygina się w sposób nadmierny. Pracownik układa wypraski w prostym przyrządzie i po ostatecznym ostygnięciu pakuje do kartonu. Przy próbie skracania cyklu w obszarze przewężki powstają zapadnięcia dyskwalifikujące wyrób.

Forma



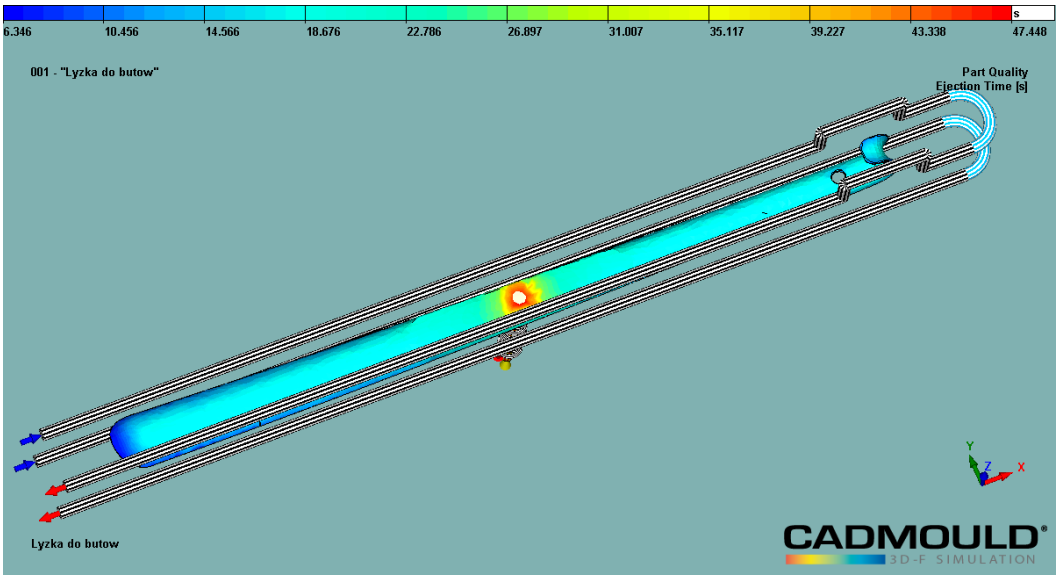
Forma 2 gniazdowa gorącokanałowa. Przekrój przez formę przez gniazdo formujące pokazuje położenie kanałów chłodzących i dysz gk zasilającej wypraskę.



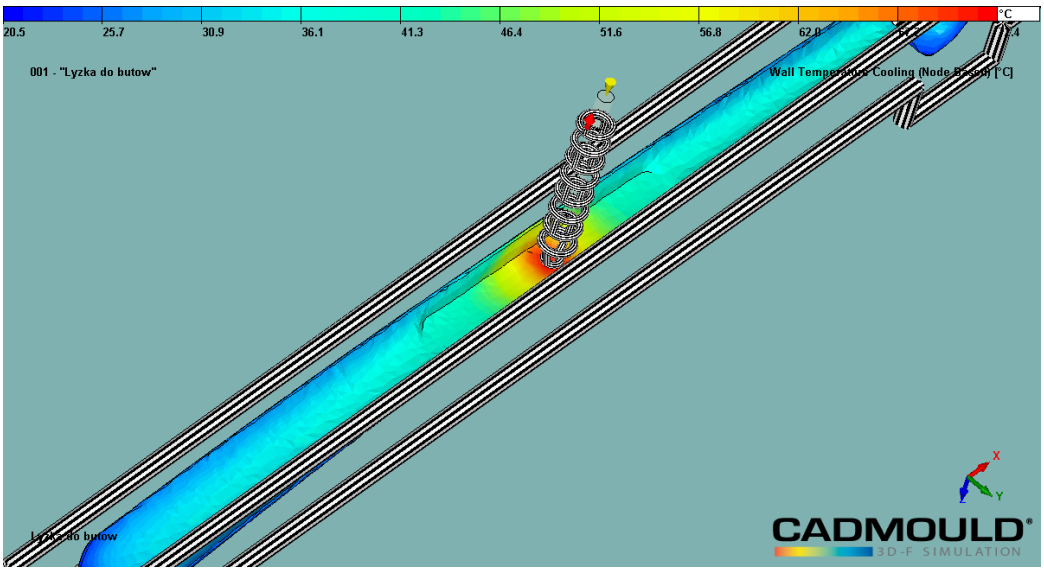
Typ dyszy wykorzystanej w systemie GK zabudowanym w formie.

Analiza przyczyn nadmiernych deformacji i zapadnięć.
W programie symulacyjnym zostało przeanalizowane aktualne zasilenie wieszaka i aktualne chłodzenie. Dla skrócenia czasu obliczeń analizie poddano 1 gniazdo.

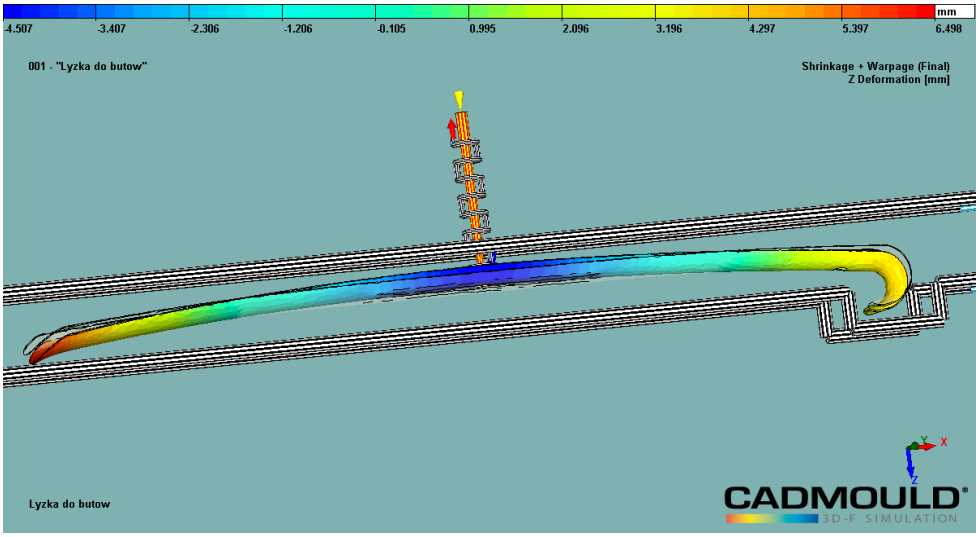
Eksperyment 1:



Czas chłodzenia przy zasileniu stempla i matrycy przez wodę o temp. 13 stC. wynosi ~18s, natomiast w obszarze dyszy wzrasta do 40s.



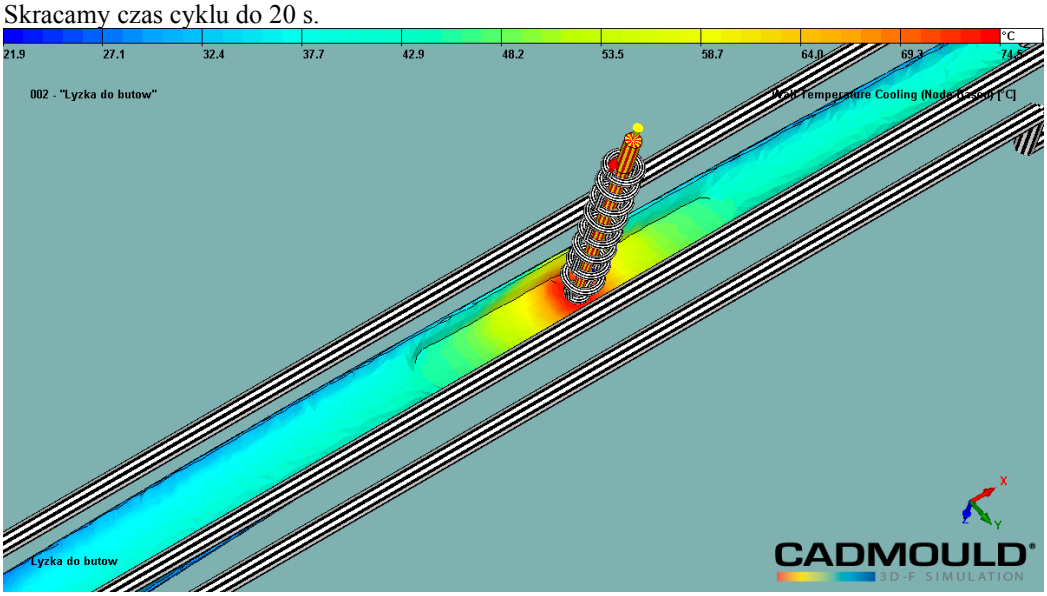
Przyczyną takiego zróżnicowania czasu chłodzenia są różnice temperatury wypraski w momencie jej wyrzucenia z formy. Jak widać na rysunku, obszar przewężki posiada temperaturę powyżej 72 st C, natomiast reszta wypraski posiada temperaturę 32 st C i niżej.



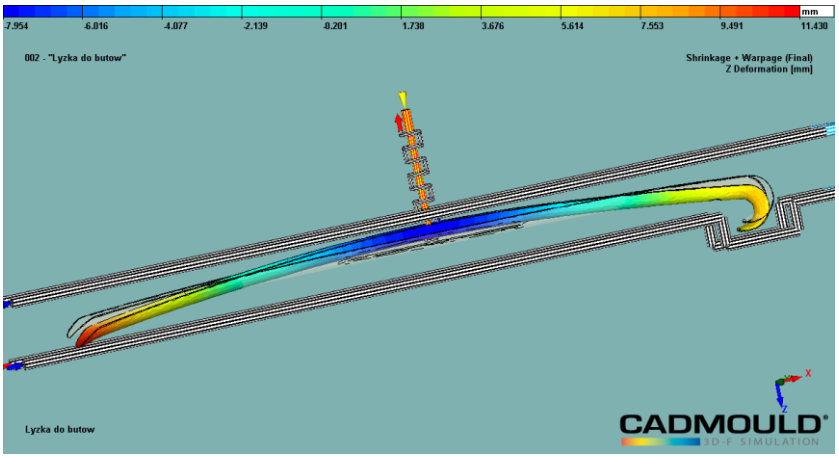
Właśnie taki rozkład temperatury powoduje przegięcie wypraski, największe w okolicy przewężki. Przy chłodzeniu jw. i czasie cyklu 32s całkowite przegięcie wypraski wynosi ~12 mm.

Eksperyment 2:

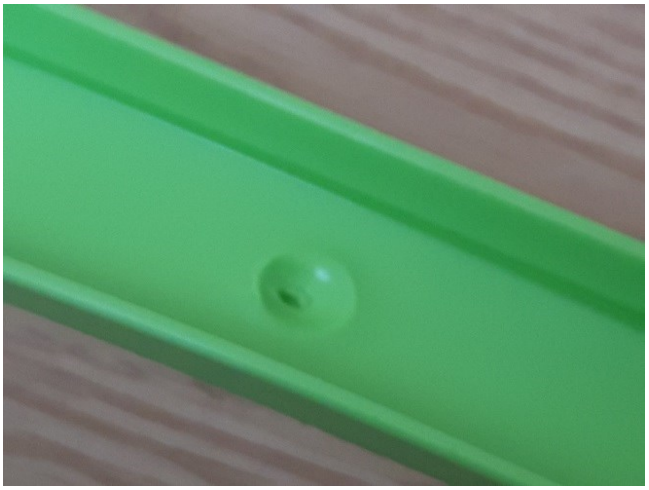
Skracamy czas cyklu do 20 s.



Widzimy że obszar przewężki posiada temperaturę powyżej 75 st C, natomiast reszta wypraski posiada temperaturę 40 st C i niżej.



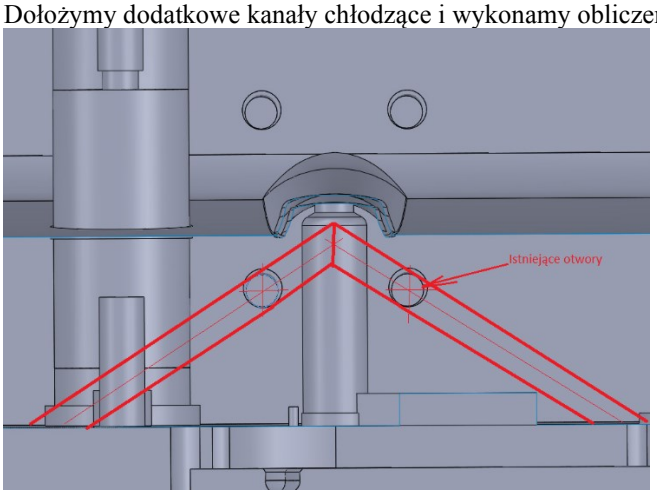
Przy czasie cyklu 20 s całkowite przegięcie wypraski jest prawie 2 razy większe i wynosi ~20 mm.



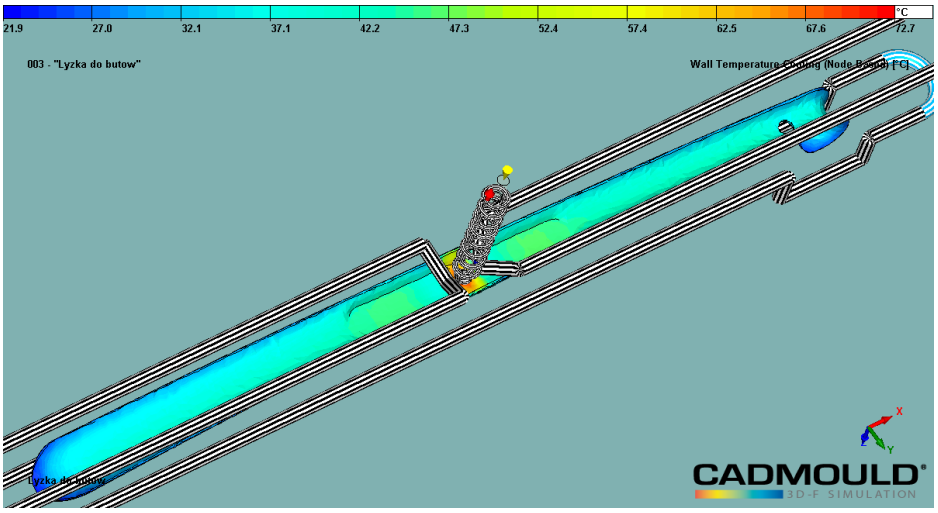
Skracając cykl poniżej 30s, dodatkowo w obszarze przewężki pojawiają się zapadnięcia które dyskwalifikują wypraskę. Należy zatem zadać sobie pytanie, co jest główną przyczyną przegrzewaniu okolicy przewężki. Jak wynika z eksperymentu 1, obliczeniowy czas chłodzenia dla wypraski wynosi ~18s poza przegrzanym obszarem środkowym. Stąd powstała propozycja aby wokół dyszy zintensyfikować chłodzenie.

Eksperyment 3:

Dołożymy dodatkowe kanały chłodzące i wykonamy obliczenia dla czasu cyklu 20s.



Propozycja na dodatkowe kanały chłodzące.

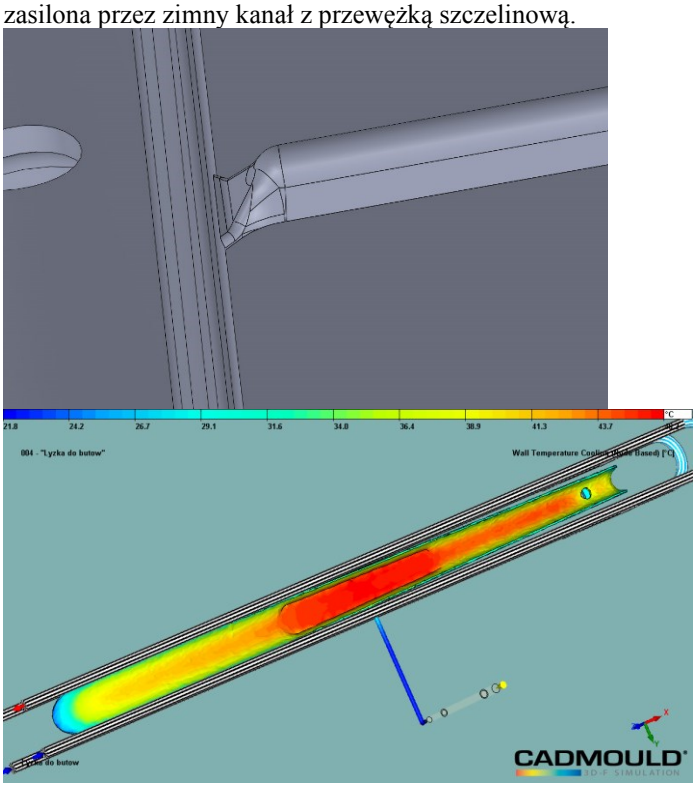


Prawie dla całej wypraski temperatury spadły poniżej 45 stC natomiast wokół wlewka dalej utrzymuje się wysoka temperatura.

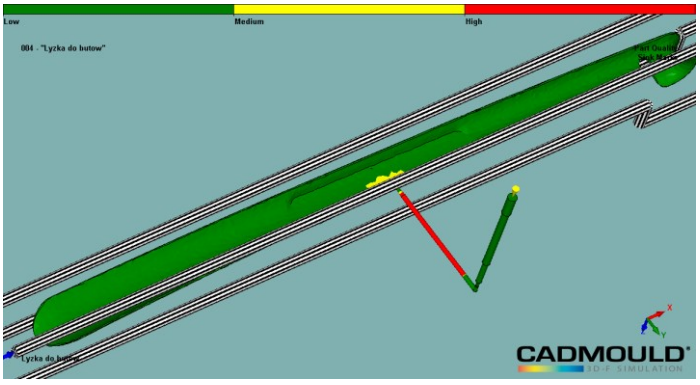
W dalszym ciągu możemy spodziewać się dużych deformacji i wad w obszarze przewężki. Part Quality pokazuje nam spodziewane zapady wokół przewężki.

Eksperyment 4:

Dlatego żeby skrócić czas cyklu podjęto radykalną decyzję; system gk zostanie zlikwidowany a wypraska będzie zasilona przez zimny kanał z przewężką szczelinową.



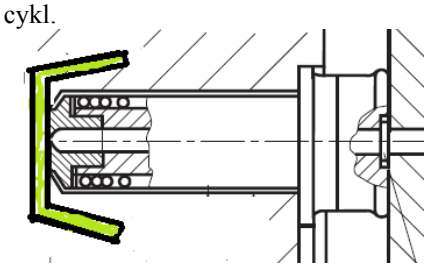
Przy czasie cyklu 20s i zasileniu wypraski przez zimny kanał, jej temperatury w momencie wyrzucenia z formy są na poziomie 40 stC a maksymalna temperatura nie przekracza 46 stC.



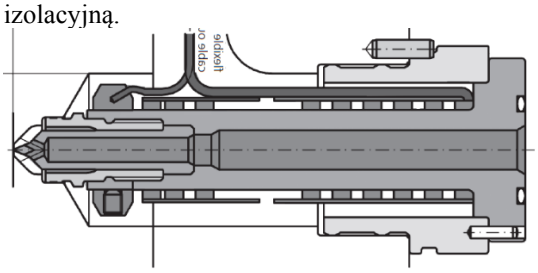
Tendencje do powstawania zapadów praktycznie nie występują.

Efekt końcowy jaki uzyskano przekroczył oczekiwania. Dla porównania pokazano dwie wypraski; zielona wtryśnięta przez GK w czasie cyklu poniżej 30s (nie nadaje się do sprzedaży) i czarna wtryśnięta przez zimny kanał w czasie cyklu 16s. Likwidacja GK pozwoliła dwukrotnie skrócić czas cyklu i uzyskać wzorową estetykę wyrobu. Konkurencyjność wyrobu po wprowadzonych zmianach zdecydowanie poprawiła się.

Wnioski:
Stosowanie dysz typu otwartego z czołem dyszy wchodzącym w gniazdo formy w ciasny obszar zamknięty (wchodzimy dyszą w środek ceownika), ogranicza możliwość odbioru ciepła, wydłuża czas chłodzenia a zatem i cykl.



Powoduje również powstawanie wad powierzchniowych wokół czoła dyszy. Tego typu dysza wymaga wysokich temperatur aby utrzymać drożność przewężki. Wyższe temperatury dyszy powodują wzrost przekazywania energii czyli wzrost temperatury formy w tym miejscu. Koło się zamyka, konieczność utrzymania wyższej temperatury dla dyszy powoduje wzrost czasu chłodzenia/cyklu i wprowadza wady estetyczne. Dlatego z jednej strony powinniśmy unikać lokalizacji wlewka w takich miejscach, a z drugiej należy stosować dysze z komorą izolacyjną.



Dysza z komorą izolacyjną i tzw. przewężką pierścieniową jak na rys. wyżej, pozwala na spełnienie wysokich wymagań estetycznych dla przedmiotów codziennego użytku, AGD, obudów dla elektroniki itp. Jednocześnie taka dysza pozwala na utrzymanie niższej temperatury wokół przewężki co poprawia estetykę tego obszaru. Jeśli klient oczekuje najwyższej estetyki należy stosować dysze z komorą izolacyjną zamykane mechanicznie igłą. Albo zrezygnować ze stosowania GK tak jak to uczyniono w tym przypadku. Niestety, konieczność ręcznego odcinania wlewka nieco psuje nam ten idylliczny obraz. Mimo wszystko sporo zyskaliśmy rezygnując ze źle dobranego GK.

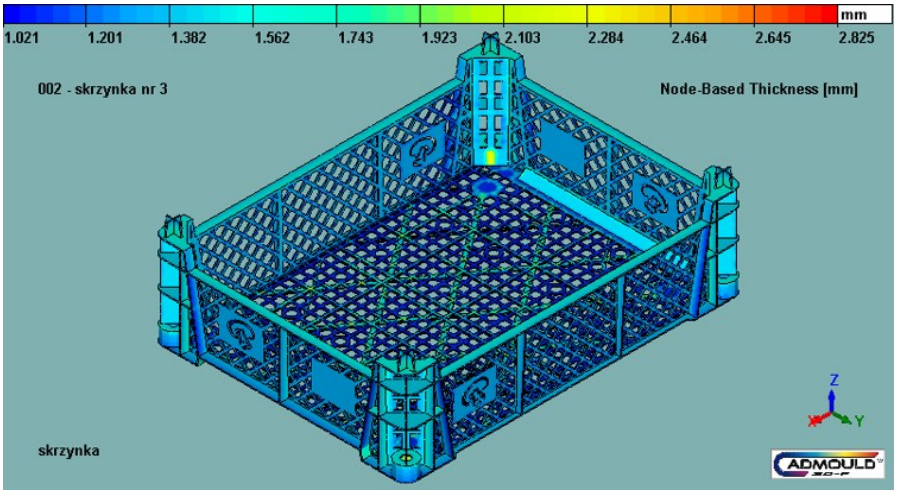
9.Badanie sztywności dużych form o złożonej kinematyce

Tworzywa sztuczne zwane potocznie plastykami zdominowały nasze życie powszednie. Tysiące wyrobów przydatnych w codziennym funkcjonowaniu każdego człowieka są produkowane z plastyku najczęściej metodą wtryskiwania. Chyba niewyobrażalny jest powszechny powrót do blaszanych wiader i misek czy drewnianych skrzynek i wiklinowych koszyków. Ze względu na wymogi ekologii te plastikowe wyroby muszą być coraz lżejsze a ze względu na modę coraz bardziej wymyślne. Wszystkie w/w wyroby posiadają z reguły cienkie ściany z usztywniającymi żebrami, ażurowe wybrania i dowolne faktury na swoich powierzchniach. Dla przykładu większość skrzynek, doniczek, koszyków itp. posiada fakturę naśladującą splot wiklinowy zwany rattanem.

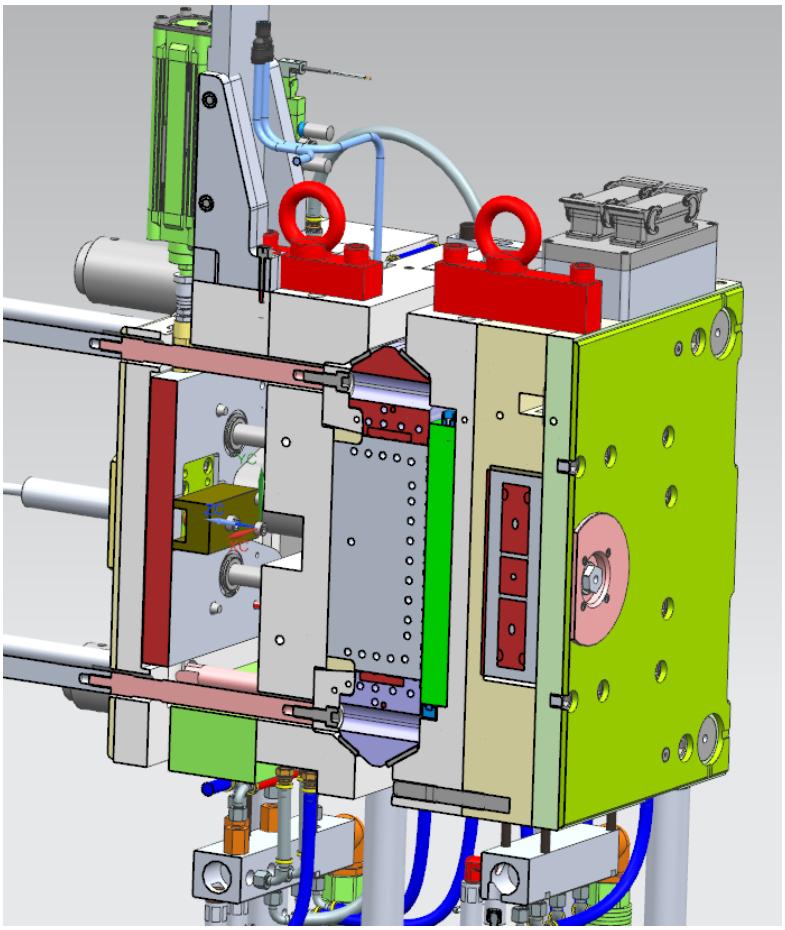
Powszechnie wykorzystywana technologia wtrysku takich wyrobów produkowanych zwykle w setkach tysięcy i milionach szt. posiada jedną wadę, wymaga wykonania formy wtryskowej. Formy wtryskowe są bardzo kosztownymi narzędziami. Dlaczego kosztownymi? Tak jak stwierdziliśmy wyżej, współczesne produkty o cienkich ściankach, użebrowane czy zaopatrzone w fakturę, wymagają zbudowania bardzo sztywnej (ze względu na wysokie ciśnienia wtrysku nawet powyżej 200 MPa) formy, jednocześnie o złożonej kinematyce. Forma żeby uwolnić wypraskę musi otwierać się we wszystkich trzech kierunkach. Dodatkowo produkcja musi odbywać się bez odpadowo (konieczny gorący kanał) w możliwie krótkim cyklu a wypraski powinny posiadać bezbłędną powierzchnię bez wypływek i wad optycznych.
Mimo że z punktu widzenia użytkownika produkt jest trywialny , to przed narzędziownią, wykonawcą formy, stawia bardzo wysokie wymagania. Budując taką formę, narzędziownia musi uwzględnić aspekty reologiczne - wypełnianie gniazda, termiczne – chłodzenie wypraski, mechaniczne – zapewnienie odpowiedniej sztywności narzędzia przy złożonych ruchach elementów formujących. Te wszystkie zagadnienia są szczegółowo opisane w wielu publikacjach książkowych i artykułach w prasie fachowej.
W tym artykule zajmiemy się głównie sztywnością formy. Jest to podstawowy warunek uzyskania poprawnej wypraski. Autor zna wiele przypadków gdzie wiotka forma uniemożliwiła uruchomienie produkcji narażając narzędziownię i wtryskownię na poważne straty finansowe.

W artykule opiszemy 2 przypadki: formę na skrzynkę do pieczarek i formę na donicę z fakturą typu rattan. Formy na takie wyroby są gabarytowo spore, ważą po kilka Ton i do uwolnienia wypraski wymagają ruchów swoich elementów funkcjonalnych w kilku kierunkach a więc są złożonymi konstrukcjami.

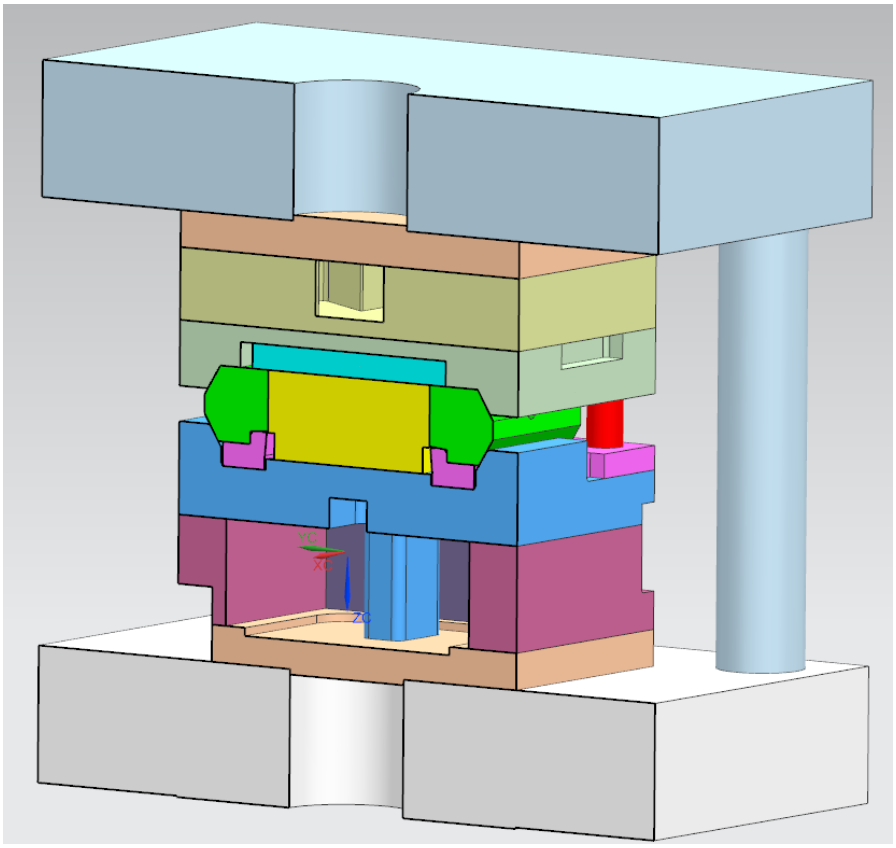
Przypadek I - Forma na skrzynkę na pieczarki.



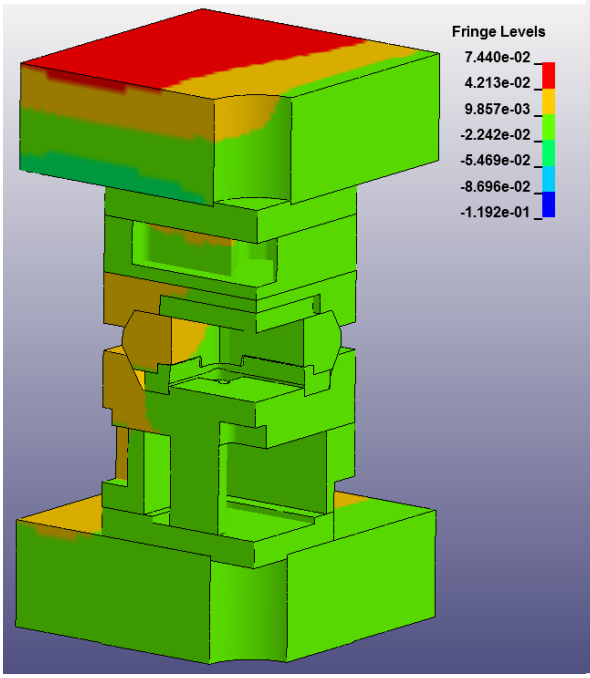
Wypraska posiada gabaryty 400x300x110 mm, wagę ~200 gr i jest produkowana z przemiałów PP. Dominująca grubość ścian to 1,2 do 1,5 mm. Czas cyklu oczekiwany przez wtryskownię to 7-8 s.
W Polsce rocznie produkuje się ~250000 ton pieczarek a do jednej skrzynki pakowane jest 3kg. Z prostego rachunku wynika że rocznie należy wyprodukować kilkadziesiąt milionów skrzynek. Jedna dobrze zbudowana forma (przyjmiemy czas cyklu 8s) pracując 24 h na dobę może rocznie wyprodukować ok. 3,5 mln skrzynek. Będzie to możliwe jeśli forma zostanie dokładnie przemyślana we wszystkich aspektach o których wspomniano wcześniej. Formy II generacji budowane przez narzędziownię WadimPlast spełniają te warunki dzięki zastosowaniu:
- analiz CAE na każdym etapie konstruowania formy,
- stali wysoko przewodzących na elementy formujące (stale Rovalma osiągają przewodność nawet 60W/mK) w -stanie zahartowanym 52-56 HRC,
-odpowiedniej sztywności, co przy hartowanych elementach pozwala uzyskać trwałość do pierwszej regeneracji rzędu milionów cykli.



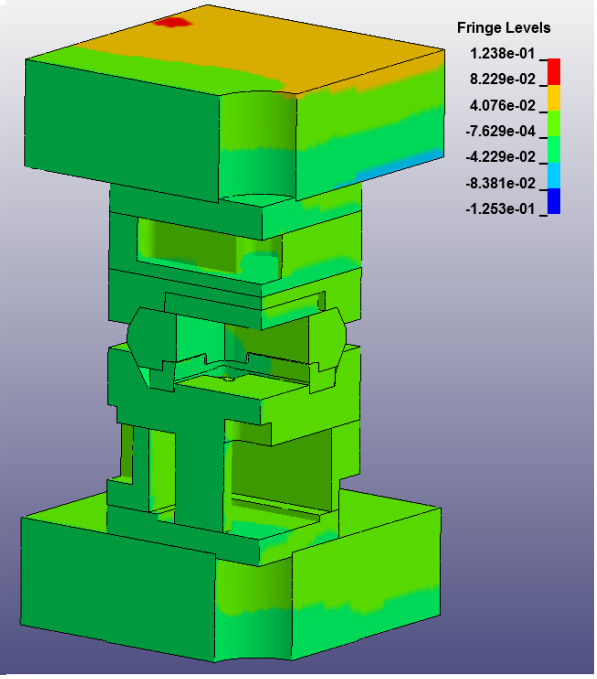
Forma została bardzo starannie zaprojektowana i zbudowana. Wypraska jest zasilana przez 6 pkt. system GK, układ chłodzenia jest konformalny co zapewnia równomierną temperaturę całej powierzchni formującej. Do uwolnienia bocznych ścian wypraski zastosowane 4 szczęki wodzone po (niewidocznych na rys.) kołkach skośnych. Szczęki dostają napęd od płyty pchającej po której się ślizgają, natomiast płyta jest napędzana przez wyrzutnik wtryskarki. Na koniec wypraska zostaję zepchnięta ze stempla wypychaczami, zaś płyta wypychaczy jest napędzana siłownikiem pneumatycznym lub elektrycznym. Jak widać do budowy formy nie wykorzystano siłowników hydraulicznych co pozwala na uzyskanie czystości w obszarze roboczym.
Żeby osiągnąć założony cykl 8s taka forma musi pracować na szybkiej wtryskarce z ruchami współbieżnymi, najlepiej jeśli jest to maszyna w pełni elektryczna. Z reguły maszyna musi posiadać siłę zwarcia 350 do 450 Ton. Jako ciekawostkę możemy podać że wypraski i formy zaprojektowane przez WadimPlast wymagają maszyn o sile zwarcia tylko 280 Ton.
Zanim formę skierowano do wykonania w narzędziowni, konstruktorzy musieli sprawdzić czy jej sztywność będzie wystarczająca. Należało przygotować uproszczony model formy tak aby można było przeprowadzić analizę strukturalną.



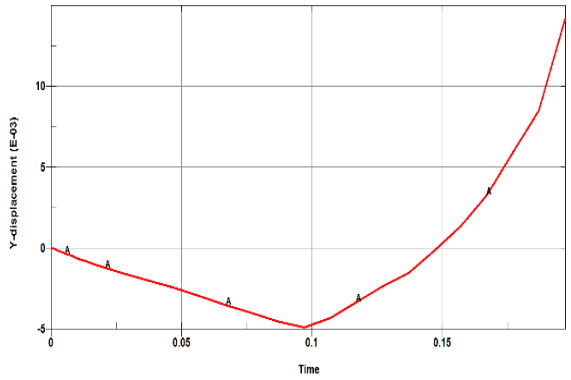
Z rzeczywistej formy usuwa się wszystkie nieistotne szczegóły które nie mają wpływu na sztywność a niepotrzebnie utrudniły by lub uniemożliwiły wykonanie obliczeń numerycznych. Dla uzyskania dokładniejszych wyników, zostały wprowadzone stoły i kolumny wtryskarki, co pozwala ocenić wpływ układu zamykania maszyny na deformacje formy.
Z analiz reologicznych wiemy że max ciśnienie potrzebne do wypełnienia gniazda tej cienkościennej wypraski to 580bar a wyliczona siła zwarcia to 230 Ton. Siły działające na szczęki: szczęka dłuższa to 79 Ton, krótsza to 64 Tony. Dla takich warunków forma została poddana analizie numerycznej celem sprawdzenia jej deformacji.



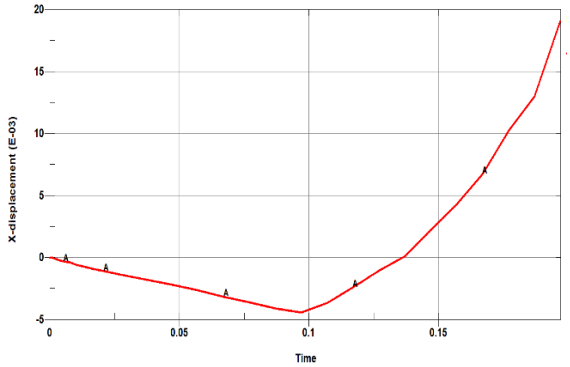
Deformacje w kier. prostopadłym do szczęki krótkiej.



Deformacje w kier. Prostopadłym do szczęki długiej.



Max ugięcie szczęki krótkiej – 0,02 mm

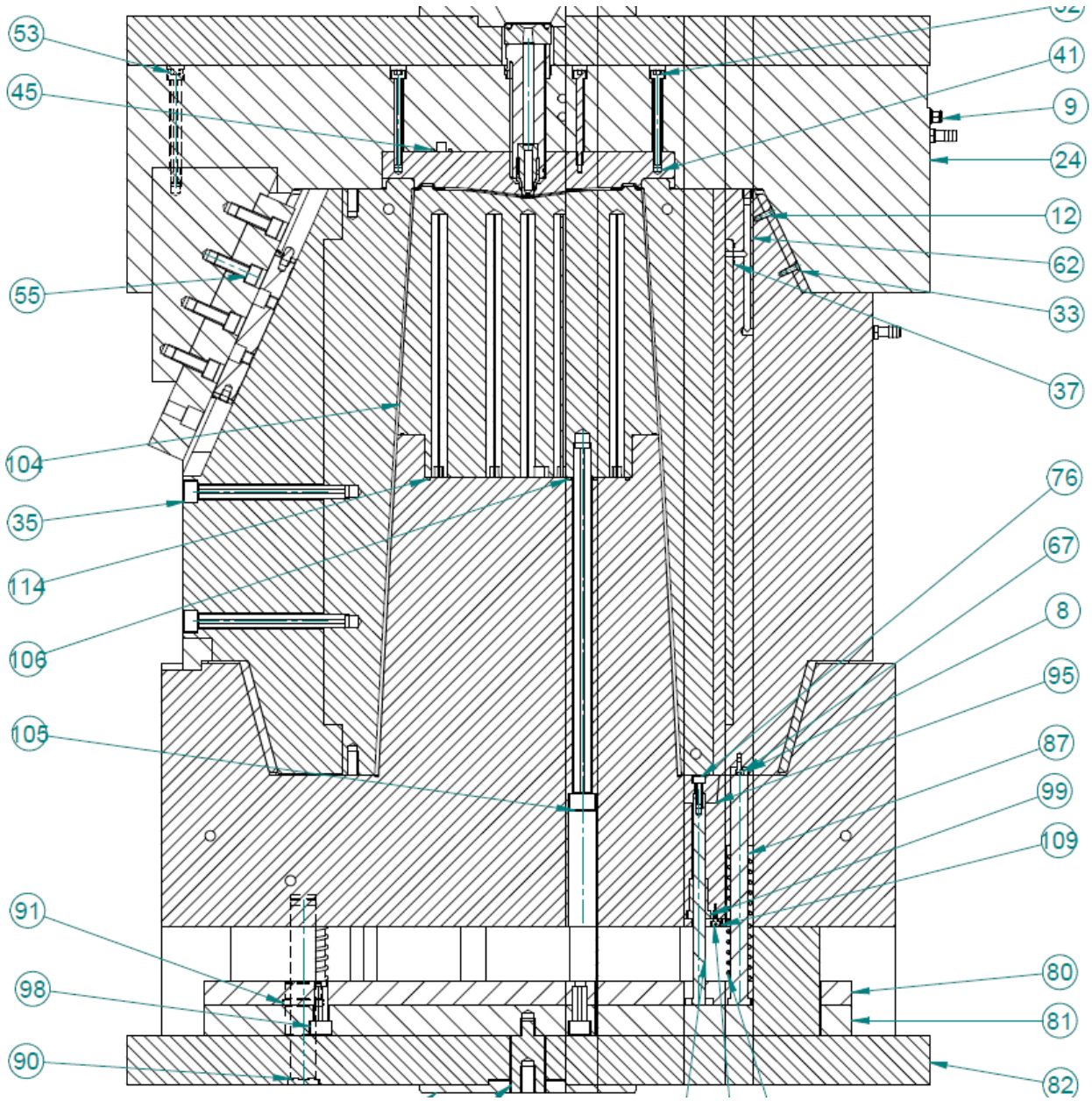


Max ugięcie szczęki długiej –0,014 mm

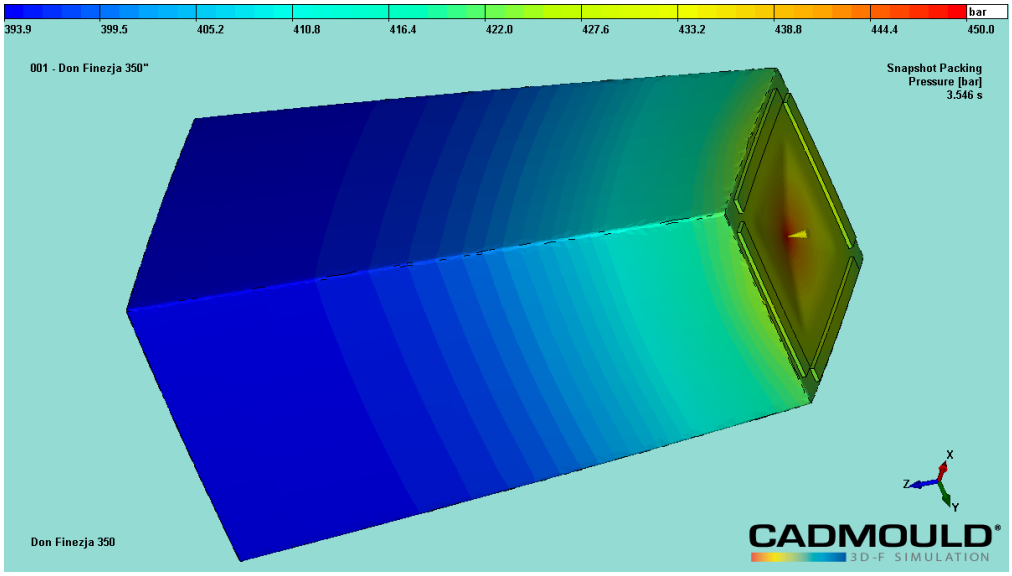
Krzywe pokazują deformacje w środku szczęk najpierw po wybudowaniu siły zwarcia, a następnie w momencie najwyższego ciśnienia wtrysku. Wyliczenia pokazały że forma jest bardzo sztywna i przy max ciśnieniach wtrysku nie powinny powstawać żadne wypływki co zostało potwierdzone podczas pracy formy na wtryskarce. Jak zauważymy na drugim przykładzie, wykonanie analizy sztywności dla modelu całej formy jest bardzo ważne, bo zbliża nas do realnych skutków deformacji narzędzia.
Sztywna, poprawnie zbudowana forma pod każdym aspektem, pracująca na wtryskarce elektrycznej, pozwala uzyskać bardzo krótkie czasy cyklu przy dużej niezawodności i trwałości.

Przypadek II – Forma na skrzynkę ogrodową „Rattan”.

Wypraska posiada wymiary 350x350x670 mm, wagę 2,7 kg i jest produkowana z PP. Grubość ścian to od1,2 - 1,5 mm, do 3,5 mm. Ściany boczne posiadają głęboką fakturę typu rattan. Tego typu wypraski są produkowane w firmie Lamela w Łowiczu w sporych ilościach bo rynek zaakceptował takie wzornictwo. Jak widać jest to duża donica a przy tej grubości ścian trudno oczekiwać krótkiego czasu cyklu. Podstawowym kryterium dla tych wyrobów jest wysoka estetyka powierzchni. Lamela posiada swoją narzędziownię o wysokim profesjonalizmie i w tej narzędziowni została wykonana forma na ten wymagający wyrób. Biuro konstrukcyjne narzędziowni przy projektowaniu form korzysta z programu do symulacji wtrysku Cadmould, oraz z programów do analiz strukturalnych. Mimo że konstruktorzy dysponują dużym doświadczeniem to jednocześnie wspierają się rozlicznymi analizami. Nie przesadzę, twierdząc że Lamela jest wysokiej klasy profesjonalną firmą jeśli chodzi o technologię wtrysku i produkcję narzędzi.

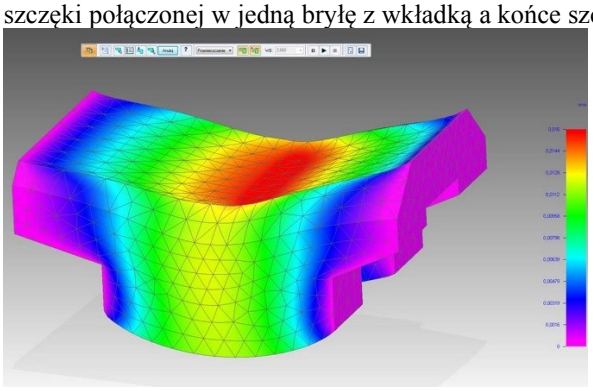


Rysunek przedstawia formę której gabaryty są stosowne do gabarytów wypraski. Wymiary formy to 850x850x1260 mm a jej ciężar to 7 ton. Szczęki formujące boczne ściany donicy posiadają wymienne wkładki co pozwala na uzyskiwanie wyprasek o różnych fakturach. Uwalnianie wypraski polega na otwieraniu formy przy opóźnionym ruchu szczęk które napędzane są siłownikami hydraulicznymi. Taka kinematyka pozwala na częściowe zsunięcie wypraski ze stempla, co zmniejsza siłę konieczną do jej zepchnięcia ze stempla przy współudziale sprężonego powietrza. Jest to sprytna konstrukcja pozwalająca uzyskać oszczędne gabaryty formy o złożonej kinematyce pracy przy wysokiej wyprasce.
Wypraska jest zasilana przez centralną grzaną dyszę. Z analiz reologicznych wynika że ciśnienie wtrysku wynosi 34 MPa. Żeby odwzorować dokładnie fakturę i przy tych grubościach ścian uniknąć zapadów, ciśnienie docisku osiąga wartości 45 MPa.

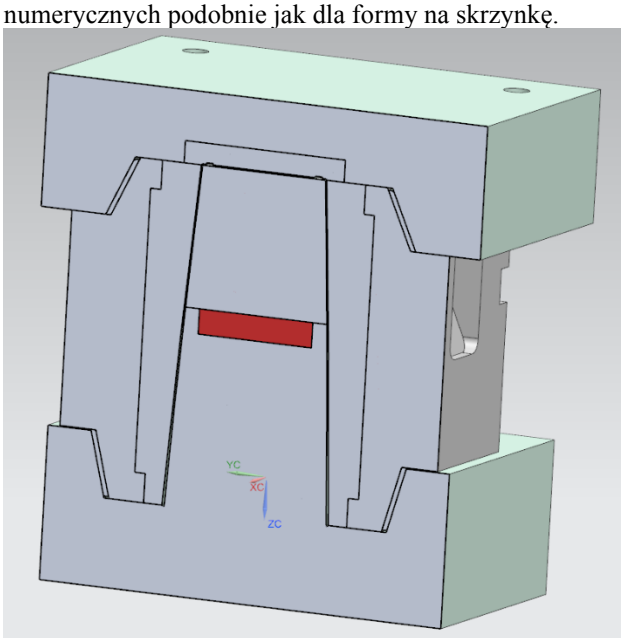


Średnie ciśnienie działające na powierzchnie formujące szczęk możemy przyjąć na poziomie 40 MPa.

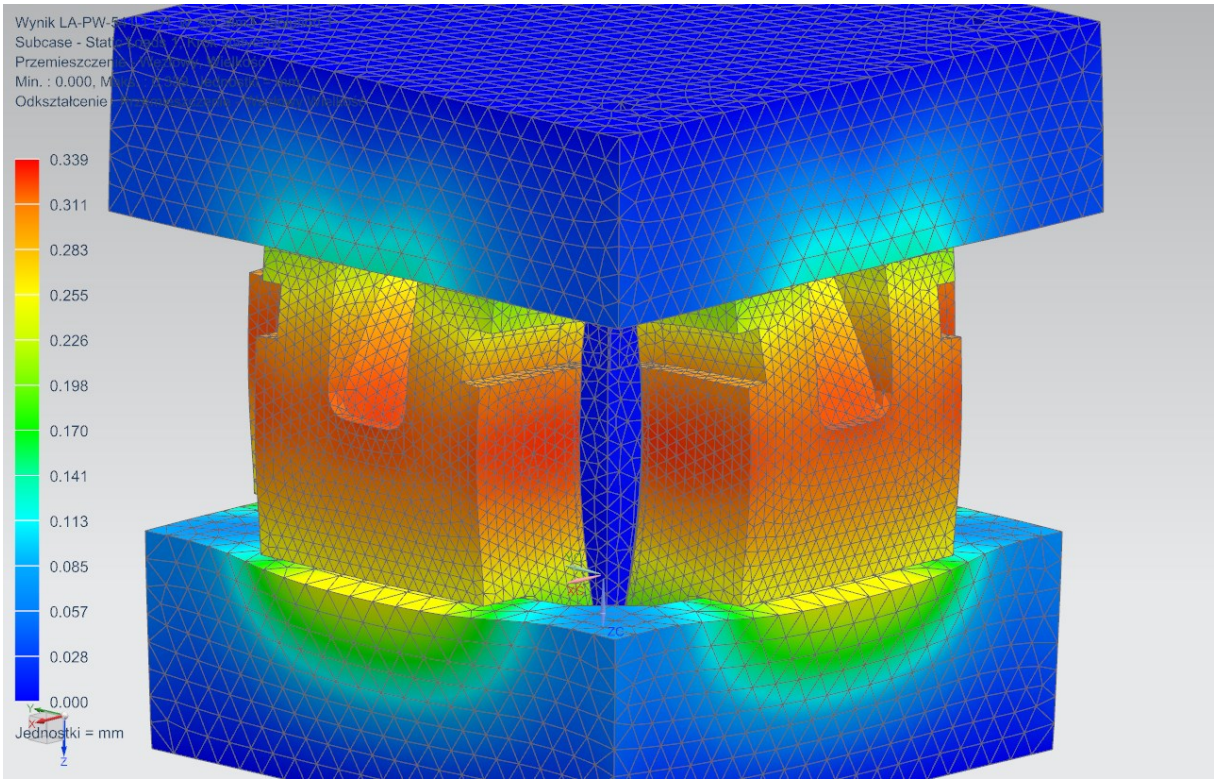
Dla tego ciśnienia konstruktor sprawdził sztywność szczęk czyli ich ugięcie. Analizę przeprowadził dla samej szczęki połączonej w jedną bryłę z wkładką a końce szczęki podparł sztywno.



Z wyliczeń wyszło że max ugięcie wynosi 0,016 mm, max naprężenie 54 MPa, więc konstruktor uznał że ugięcia i naprężania są w bezpiecznym zakresie i pozostawił gabaryty formy bez zmian. Forma została wykonana, trafiła na wtryskarkę i rozpoczęto wtryski. Szybko okazało się, że na podziale szczęk pojawiły się wypływki. Było to zastanawiające, bo wszelkie analizy nie dostarczyły obaw co do wystąpienia problemów tego typu. Wtedy postanowiono sprawdzić sztywność całej formy. Został wykonany uproszczony model do obliczeń numerycznych podobnie jak dla formy na skrzynkę.



Forma jest zwierana na wtryskarce siłą 650 Ton a powierzchnie formujące są poddawane ciśnieniu 40 MPa.

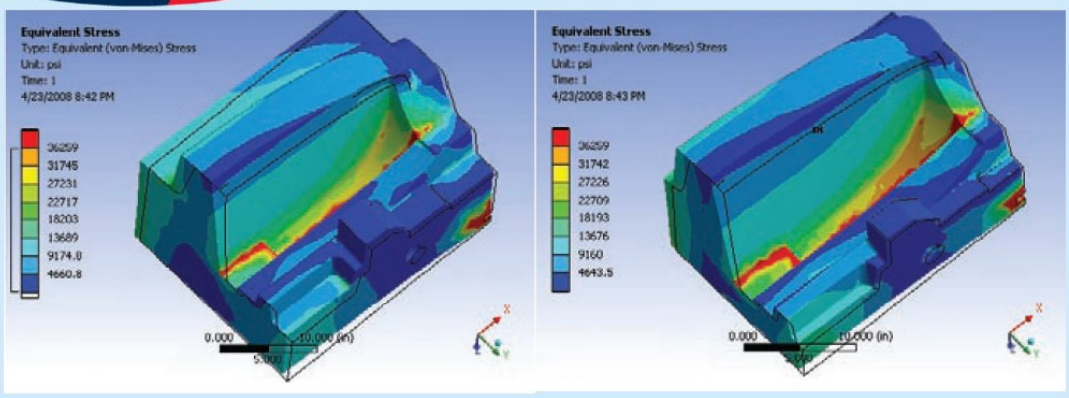


Obliczenia pokazują że max przemieszczenie szczęk wynosi 0,39 mm. Z tak przeprowadzonej analizy okazało się że oprócz ugięcia samych szczęk, dochodzi również do ugięcia klinów oporowych płyt. Analiza pokazała przyczynę pojawiania się wypływek. Problem wstępnie został opanowany na wtryskowni przez technologa poprzez dobranie optymalnych parametrów wtrysku. Docelowo forma wymagała jednak wprowadzenia sztywniejszych szczęk. Tego typu forma jest dużo trudniejszym przypadkiem jak forma na skrzynkę. Wysoka smukła donica jest niewdzięczną wypraską bo pociąga za sobą konieczność zbudowania formy o nietypowych proporcjach, podstawa jest mniejsza jak wysokość. Na tym przykładzie widać że firma Lamela posiada bardzo dobre biuro konstrukcyjne i konstruktor nieźle sobie poradził z tym zadaniem.
Z przedstawionych przykładów wynika że duże formy wymagają prowadzenia bardziej szczegółowych analiz, najlepiej na uproszczonym modelu całej formy razem ze stołami wtryskarki. Nawet doświadczeni konstruktorzy mogą popełnić błędy dyskwalifikujące narzędzie, co skutkuje koniecznością wprowadzania poprawek albo przebudowy formy.

W Kanadzie (duży światowy producent form wtryskowych) oszacowano, że średnio 49 spośród 50 form wymaga różnych modyfikacji podczas procesu rozruchu formy. Dlatego właśnie w Kanadzie, rząd poprzez swoją agencję NRC - (National Research Council of Canada) uruchomił program IRAP (Industrial Research Assistance Program) który wspiera działania na rzecz upowszechnienia analiz w działaniach przemysłowych w tym w budowie form.
Na jednym z przykładów prezentowanych przez IRAP widać jakie oszczędności można uzyskać dzięki szerokiemu wprowadzeniu analiz:

NRC·CNRC
Industrial Research Assistance Program

Example: Mold Optimization



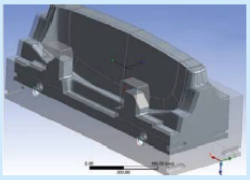
Stress distribution for initial design

Stress distribution for new design, weight reduced by 58%

Courtesy of WIDL –Windsor industrial Development Laboratory Inc

NRC·CNRC
Industrial Research Assistance Program

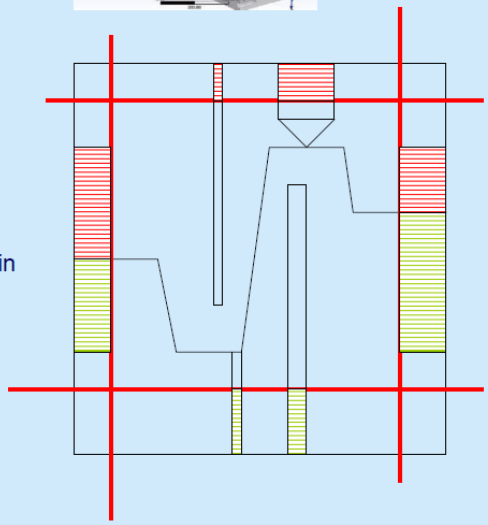
Mold Cost Benefits



Assumed Mold Size: 24in x 60in x 30in

- Material cost savings
  - Assumed $2/Lb, removed volume 12,741 in3
  - **Approx. $7,400**
- Roughing cost & time savings
  - Assumed removal rate 400 Lb/hr, cost $75/hr, 50% of removed volume
  - **Approx. $330 and 4.5hrs**
- Gun-drilling cost savings
  - Assumed 40 WL, 34 EP, ½" dia, removal 3"/min $75/hr
  - **Approx. $180 and 2.5hrs**
- Drilling cost savings
  - Assumed 4 GP, single drop, removal 2"/min
  - **Approx $70 and 1hr**

TOTAL: $7,980 and 8hrs

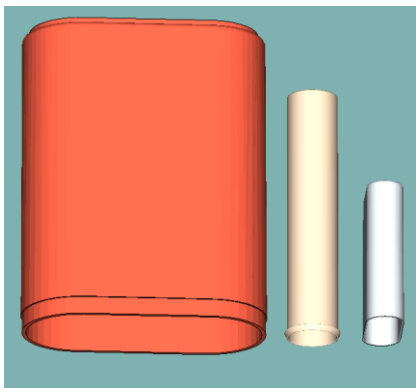


Ten przykład pokazuje jakie oszczędności można uzyskać na jednym narzędziu, a przecież w Kanadzie są ich produkowane dziesiątki tysięcy (przykład zaczerpnięty od Vladimir Franjo, B.Sc., P.Eng. Industrial Technology Advisor,Windsor, Ontario vladimir.franjo@nrc.gc.ca http://www.irap.nrc.gc.ca)

W Polsce ostatnio dużo się mówiło o innowacyjnej gospodarce, o start-up'ach i współpracy z nauką. Obawiam się, że jak zwykle skończy się na przemowach i wyrwaniu paru milionów przez cwaniaków. Rozumiem że wiele małych narzędziowni nie posiada odpowiedniego potencjału ludzkiego żeby wprowadzić te nowe-stare metody do budowy narzędzi. Rozbudowane analizy na obiektach wieloelementowych wymagają od konstruktora sporej wiedzy w obsłudze programów MES. Ale przecież nasze Politechniki wypuszczają corocznie tysiące młodych inżynierów którzy są zapoznawani z komputerowymi technikami obliczeniowymi. Trafiając do przemysłu niestety natychmiast o nich zapominają. Z moich obserwacji wynika że tylko nieliczne narzędziownie korzystają z obliczeń komputerowych mimo że na krajowym rynku działa kilka-kilkanaście firm oferujących takie usługi. Widocznie przeważająca ilość naszych narzędziowni, wyrosła z tradycji rzemieślniczych (naprawdę dobrych tradycji i bardzo ważnych) nie czuje takiej potrzeby. W wielu krajach europejskich i USA działają stowarzyszenia producentów narzędzi (http://www.istma-europe.com/istma-europe) . Celem tych stowarzyszeń jest nie tylko pobieranie składek. Stowarzyszenia prowadzą szkolenia fachowe, posiadają swoje laboratoria i działy badawcze i udzielają pomocy fachowej swoim członkom. Swego czasu w Polsce powstało kilka takich stowarzyszeń ale nie widać ich działalności. Czy środowisko zintegruje się i zacznie nawzajem wspierać? – jest to konieczny ruch żeby branżę uczynić konkurencyjną na rynku europejskim i zarabiać dobre pieniądze.

10.Formy na „smukłe" wypraski

Tak jak trudne jest zbudowanie i utrzymanie smukłej sylwetki, tak równie trudne jest zbudowanie dobrej formy na „smukłe" wypraski. Co to znaczy smukła wypraska?
Z doświadczenia wynika że jest to wysoka cienkościenna geometria dla której wysokość/średnicy lub szerokości H/d podstawy jest większa od 2. Jeśli jeszcze droga płynięcia/grubości ścianki L/g posiada sporą wartość to w połączeniu z niekorzystną proporcją H/D dostajemy niezły problem.

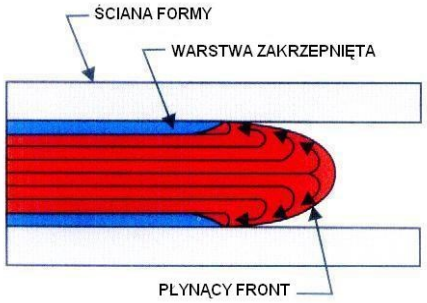


Smukłe wypraski.

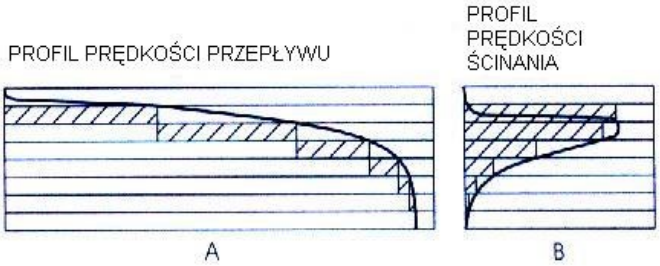
Dlaczego tak się dzieje?
Przy centralnym wtrysku wysokich wyprasek w środek denka, które w sposób naturalny nie mogą być podparte od strony dna, zawsze pojawia się problem przesunięcia i/lub ugięcia długiego wiotkiego stempla.
Za zaistnienie takiej sytuacji są odpowiedzialne razem i/lub osobno dwie przyczyny:

1) Dokładność wykonania matrycy i stempla oraz ich wzajemnego ustawienia i zaryglowania względem siebie, nawet przy największej staranności narzędziowni, ma swoje granice i zawsze będzie obarczona błędem. Również ruchy termiczne formy wynikające ze zmiany wymiarów płyt pod wpływem różnicy temperatur, przy niewłaściwej konstrukcji, będą przestawiać matrycę i stempel względem siebie.
2) Nawet jeśli założymy idealną współosiowość elementów formujących ,to dla formy dwugniazdowej (i większej krotności) zawsze wystąpi niezbalansowane wypełnianie gniazda. Przyczyną jest podział strugi tworzywa na rozgałęzieniu kanałów doprowadzających na dwie, które niestety posiadają już

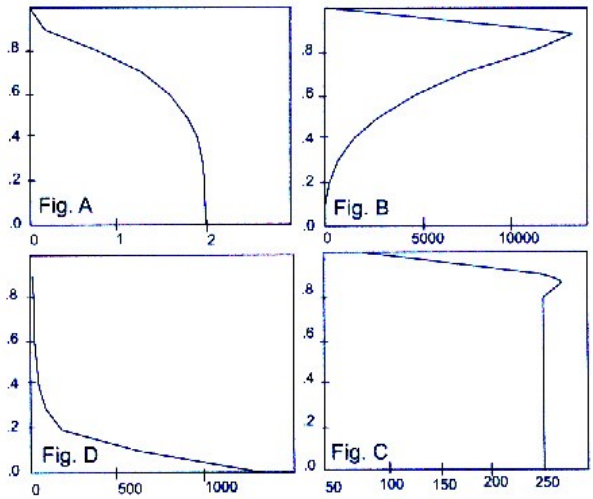
asymetryczny rozkład temperatury i lepkości.(patrz książka Runner and Gating Design Handbook napisana przez prof. John Phillip Beaumont)
Sprawcą tego całego zamieszania jest Matka Natura która za przyzwoleniem Stwórcy wymyśliła **laminarny** przepływ tworzywa przez kanały i przewężki (nawet przy max prędkościach wtrysku tworzywo nie miesza się czyli nie przechodzi z warstwy do warstwy) oraz związany z tą prawidłowością rozkład prędkości ścinania. Jest on odpowiedzialny za charakterystyczny rozkład temperatury i lepkości tworzywa płynącego przez kanały formy. Całą sytuację wyjaśniają rysunki zaczerpnięte z cytowanej publikacji prof. Beaumont (jest to najlepsza książka jaką znam jeśli chodzi o wyjaśnienie istoty zjawisk biorących udział podczas wtrysku) .



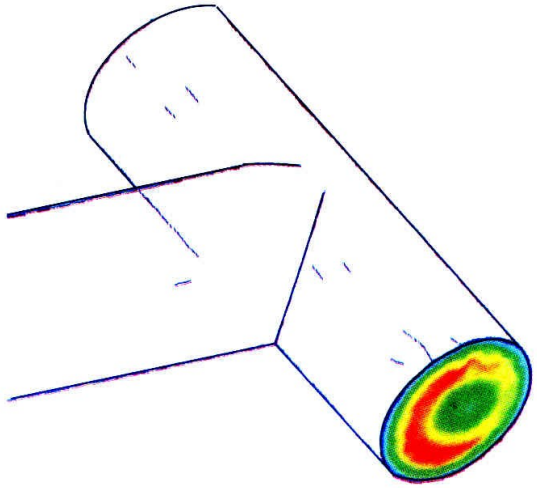
Tak wygląda ,zawsze laminarny, przepływ tworzywa w kanale



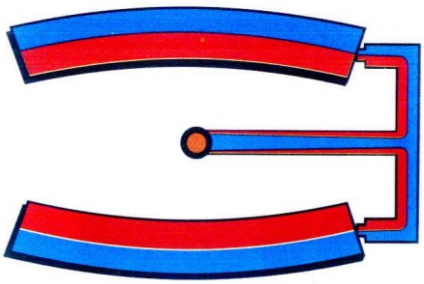
Rozkład prędkości ścinania (B) w kanale wynika z profilu prędkości przepływu laminarnego(A)



Wykresy uzyskane z symulacji. Program pozwolił na analizę niektórych parametrów płynącego tworzywa wzdłuż zimnego kanału.
Oś Y - promień kanału, Oś X - oś symetrii kanału. A – prędkość przepływu, B – prędkość ścinania, C – temperatura stopu, D – lepkość stopu



W rezultacie przepływu laminarnego i pokazanych wyżej zjawisk, na rozgałęzieniu kanału pojawia się niesymetryczny rozkład temperatury i lepkości stopu.



Deformacja wypraski jako skutek asymetrii (zgodnie z fig. C i D) parametrów tworzywa wpływającego do gniazda .

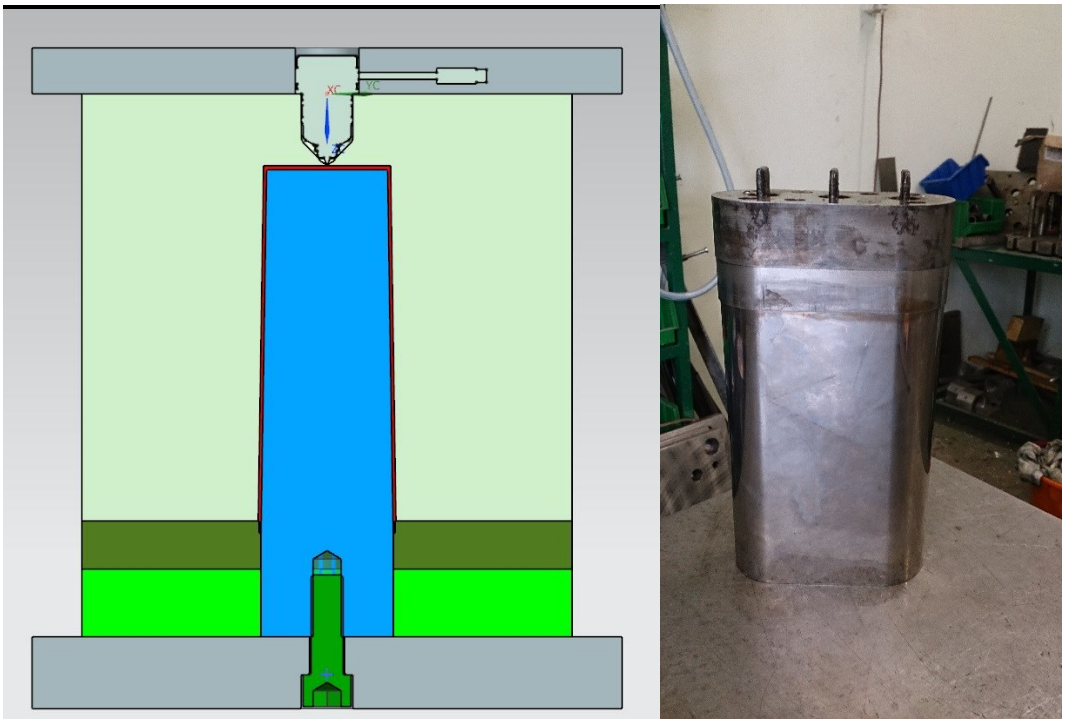
Nie zbalansowane wypełnianie formy 4 gniazdowej (mimo geometrycznego balansu kanałów) jako skutek asymetrii parametrów przepływu stopu przez kanały formy.

Pojemnik wtryskiwany centralnie w formie 16 gniazdowej GK. Pokazano nie zbalansowane wypełnianie gniazda na skutek wcześniej wyjaśnionych przyczyn.

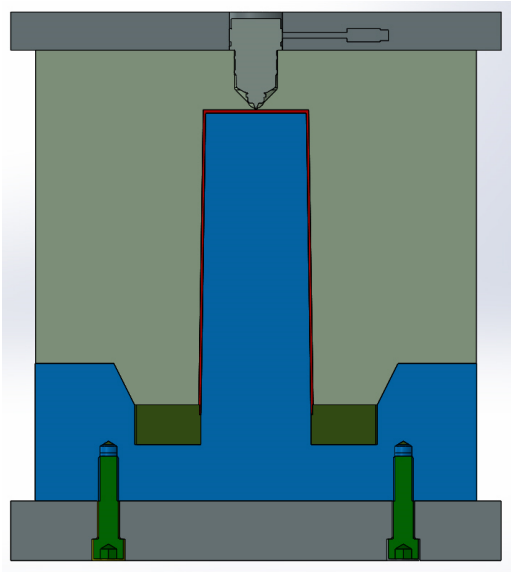
Podane wyżej przyczyny powodują skutki które udokumentujemy kilkoma przykładami z praktyki przemysłowej. Wskażemy również jak powinny wyglądać poprawne rozwiązania. Nasz opis zaczniemy od często występującej przyczyny nr. 1.

Przykład nr.1
Pojemnik na materiały sypkie produkowany z przezroczystego PS.

Pojemnik posiada wysokość H=190 mm i węższą szerokość podstawy B=68 mm. Stosunek H/B=2,8 więc możemy uznać że jest to smukła wypraska. Ściany boczne posiadają grubość ~2,5 mm, a dno 3 mm. Stosunek L/g jest rzędu 90.
Nie jest to wypraska cienkościenna a mimo to wystąpiły poważne problemy z jej produkcją. Podczas produkcji pojawiły się duże różnice w grubości ścian bocznych, co w konsekwencji prowadzi do zacierania wypolerowanej na lustro bocznej powierzchni wypraski. Pojemnik produkowany jest na formie jednogniazdowej. Forma powstała jakieś 20 lat temu. Przyjrzyjmy się budowie formy.



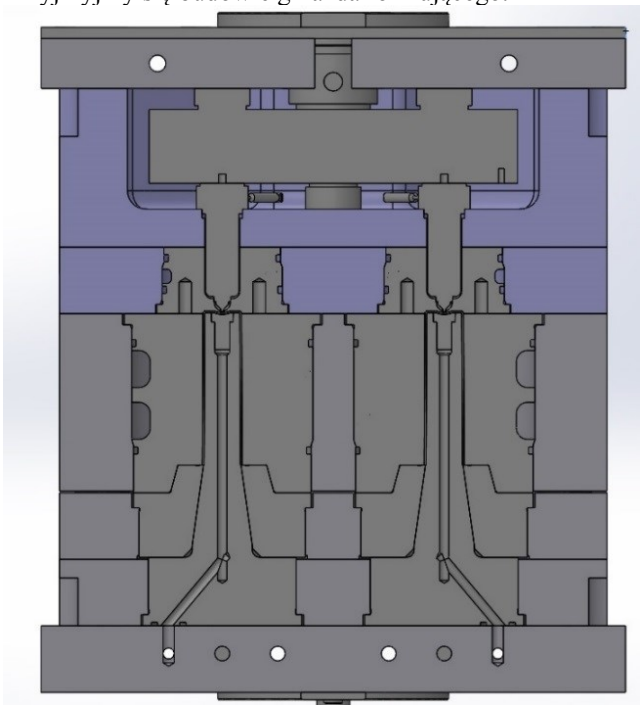
Widzimy że stempel jest osadzony w cienkiej płycie stemplowej i został przykręcony do płyty mocującej czterema śrubami M10. Płyta matrycowa względem stempla nie została zaryglowana. Taka budowa formy powoduje możliwość przechylania i przesuwania się stempla względem matrycy podczas fazy wtrysku. Różnica na grubości ścian przy dnie wypraski wynosi 0,88 mm. Po wykonaniu nowego stempla i ciasnym osadzeniu w płycie (wykonano nową płytę o gr. 48 mm), różnica zmalała do 0,2 mm. W miarę produkcji (wzrostu liczby cykli) ta różnica będzie rosła. Niestety, błędne rozwiązanie budowy formy zawsze utrudni lub uniemożliwi produkcję poprawnych wyprasek.
Jak powinna wyglądać prawidłowo zbudowana forma na tą wypraskę?



Zintegrowanie stempla z płytą stemplową które tworzą jedną bryłę i zaryglowane są z matrycą, daje gwarancję że taka forma będzie poprawnie pracowała a jej trwałość (liczba cykli do pierwszego remontu) przekroczy kilkakrotnie trwałość formy istniejącej.

Przykład nr. 2
Forma 4 gniazdowa gorąco kanałowa do produkcji małych pojemników z przezroczystego PS.

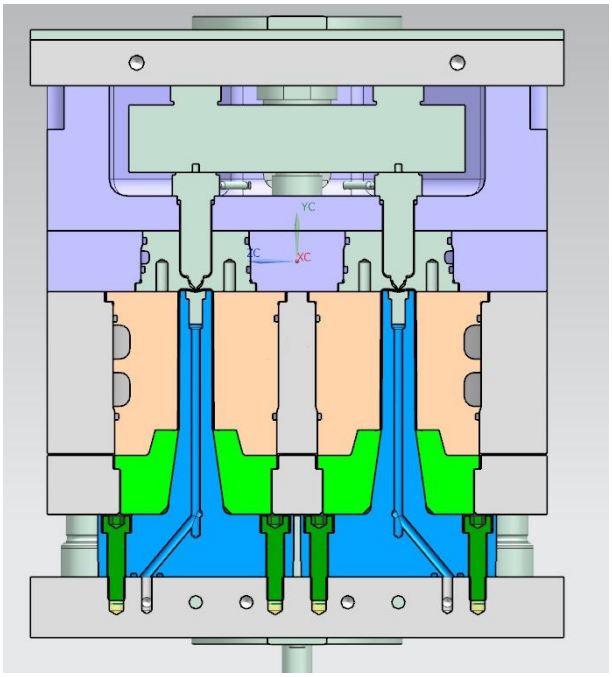
Pojemnik posiada wysokość H=83 mm i węższą szerokość podstawy B=20,6 mm. Stosunek H/B=4 więc możemy uznać że jest to smukła wypraska. Grubość ścian wypraski wynosi 1 mm. Stosunek L/g jest rzędu 93. Tak jak w poprzednim przykładzie nie jest to wypraska cienkościenna, a mimo to podczas produkcji wypraski wystąpiły podobne problemy jak w przykładzie 1.
Gołym okiem widać spore różnice w grubości ścian po przeciwnych stronach pojemnika. Z pomiaru wychodzi że jedna ściana posiada grubość 0,71 mm a druga 1,28 mm. Różnica grubości przy dnie wynosi więc lub aż 0,57 mm.
Przyjrzyjmy się budowie gniazda formującego.



Widzimy że wysoki wiotki stempel jest osadzony w cienkiej płycie stemplowej. Stempel został zaryglowany względem matrycy za pośrednictwem tulei spychającej.
Jednak ruchy termiczne formy wynikające ze zmiany wymiarów płyt pod wpływem różnicy temperatur będą przesuwać matrycę i stempel względem siebie. Taka budowa formy powoduje przechylanie i przesuwanie się

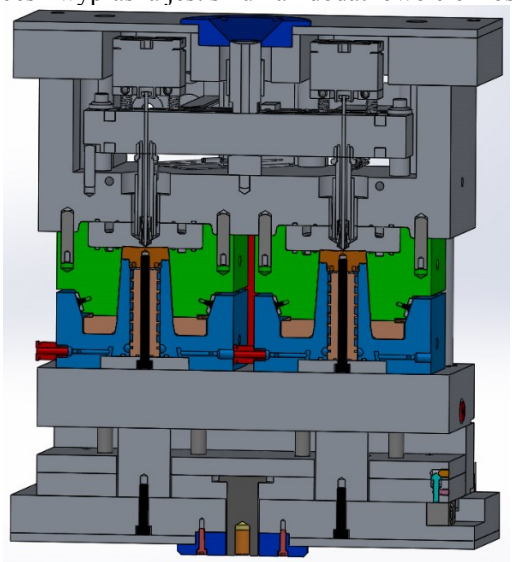
stempla względem matrycy co daje nierówne ścianki wypraski i w konsekwencji pozacierane powierzchnie boczne.

Jak powinna wyglądać ta forma poprawnie zbudowana?
Wystarczy przeprowadzić prostą modyfikację. Należy usunąć płytę stemplową, powiększyć kołnierze stempli, stemple przykręcić do płyty mocującej śrubami, najlepiej od strony płyty spychającej.



Tak zbudowana forma jest nieczuła na ruchy termiczne płyt. Stempel poprzez wyluzowany pierścień spychający (wyluzowany względem swojego osadzenia w płycie spychającej) jest cały czas ustawiany centrycznie względem matrycy przez matrycę.

Jeśli wypraska jest smukła i dodatkowo cienkościenna to forma powinna być zbudowana nieco inaczej.



Na rys. jest przedstawiona budowa formy 2 gniazdowej na cienkościenny pojemnik. Stempel musi być precyzyjnie ustawiony względem matrycy i solidnie względem matrycy zaryglowany. Na powierzchniach ryglujących zaleca się zacisk wstępny (preload) rzędu 0,01 do 0,02 mm zależny od ilości gniazd i budowy formy (szczegóły znajdzie czytelnik w książce - Mold Engineering - Herbert Rees) Dlatego forma posiada budowę modułową, każde gniazdo stanowi oddzielny zespół. Ze względu na ruchy cieplne płyt, stempel nie jest zamurowany w płycie stemplowej ale może swobodnie podążać za matrycą.

Ciekawy sposób na umożliwienie stemplowi przemieszczania się za matrycą podaje w przywołanej już książce Mold Engineering - Herbert Rees.

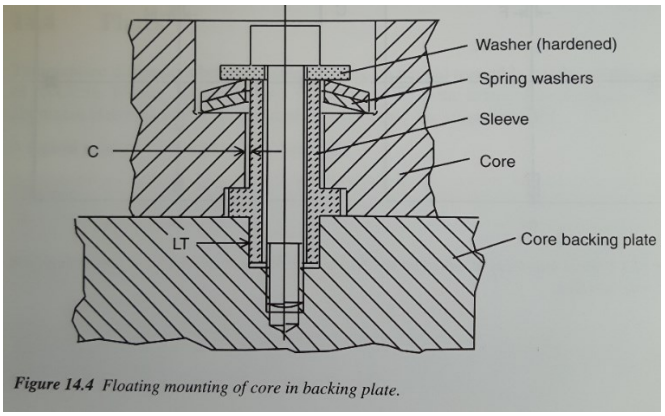
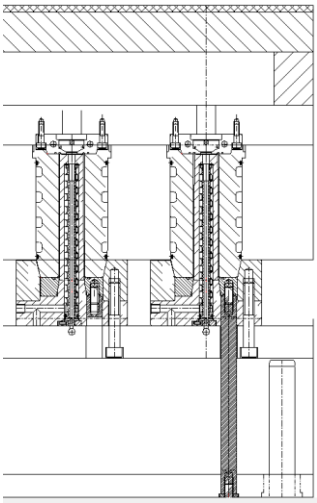


Figure 14.4 Floating mounting of core in backing plate.

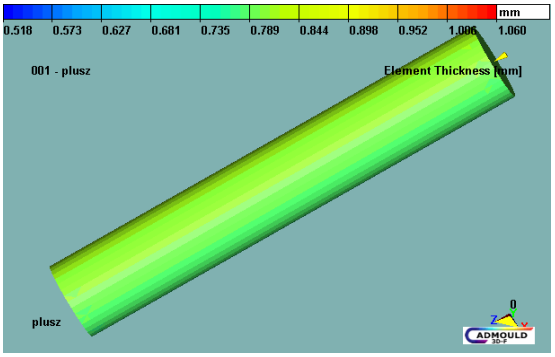
Wymiar C określa możliwy ruch stempla po płycie i nie może być większy jak 0,1 mm ze względu na utratę szczelności układu chłodzenia jeżeli kanały prowadzone są przez podstawę stempla.

Problemy narastają w miarę jak rośnie wysokość wypraski w stosunku do jej średnicy. Poniższy trzeci przykład jest dobrą ilustracją typowej sytuacji jaką spotyka wtryskownia przy cienkościennych bardzo wysokich wypraskach.

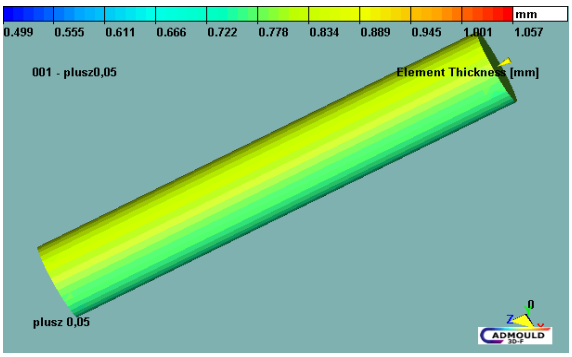
Przykład nr. 3
Wypraska- walec fi 29x170 mm (l/d=6) z PP o grubości ścianki 0,8 mm, stosunek L/g=230.
Forma - 2 gniazdowa GK, centralny wtrysk w środek dna wypraski.



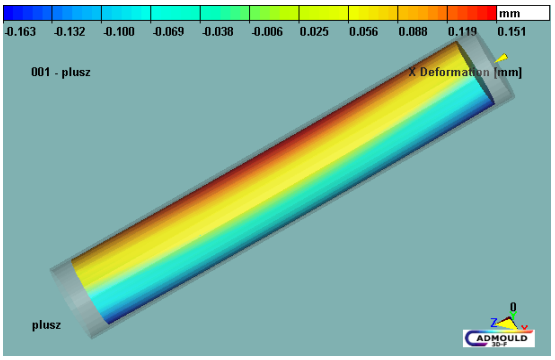
Mimo poprawnej budowy i wzorowego wykonania formy, wtryskownia nie była w stanie wtrysnąć prostej wypraski. Wadą wypraski było wygięcie w łuk na kształt banana, co uniemożliwia wykonanie nadruku sitodrukiem na zewnętrznej powierzchni walcowej.
W wyniku podanych przyczyn (patrz początek artykułu) zawsze powstaje różnica grubości ścianek od kilku do kilkunastu setnych mm która z wiadomych powodów (ugięcie stempla z powodu różnicy ciśnień po obu stronach powierzchni walcowej) powiększa się podczas wypełniania gniazda tworzywem. Zjawisko jest o tyle wredne że im większe jest ugięcie stempla tym większa jest różnica grubości i ciśnień po obu stronach wypraski, a im większa różnica ciśnień, tym większe ugięcie stempla i tak to idzie dalej. Występuje znane w automatyce a bardzo niekorzystne **dodatnie sprzężenie zwrotne** które w skrajnej sytuacji może doprowadzić do zetknięcia się stempla (na wysokości czoła) z matrycą. Jeśli jeszcze do tego dołączy się przyczyna 2 (patrz początek artykułu) to wtryskownia zostaje wmanewrowana w niezły pasztet.
Jaki jest ostateczny efekt z tak powstałej różnicy grubości ścianek i dlaczego, wyjaśniają wyniki uzyskane z symulacji:



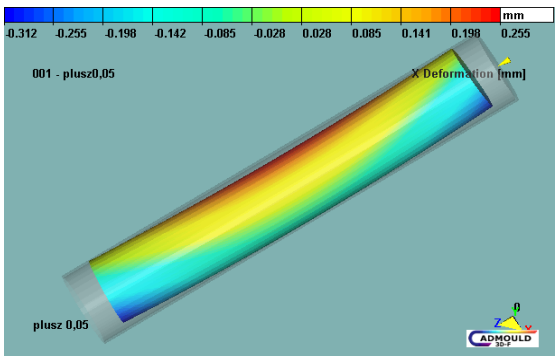
Różnica grubości ścianek = 0,04 mm



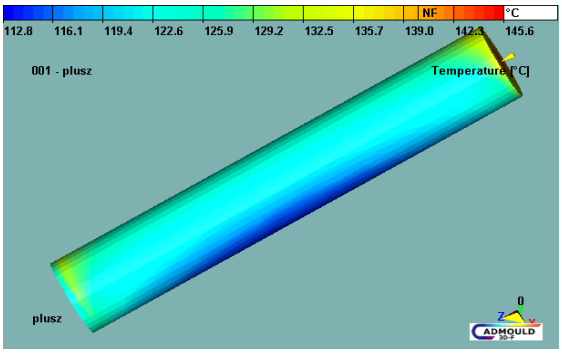
Różnica grubości ścianek = 0,1 mm



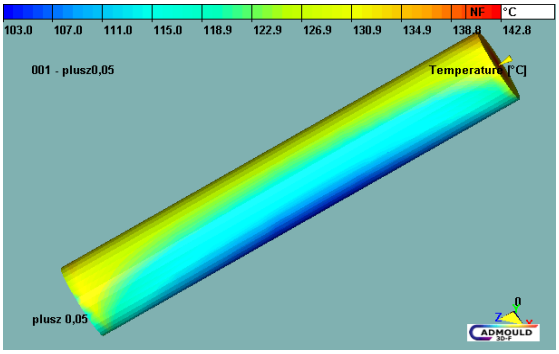
Wygięcie wypraski = 0,3 mm



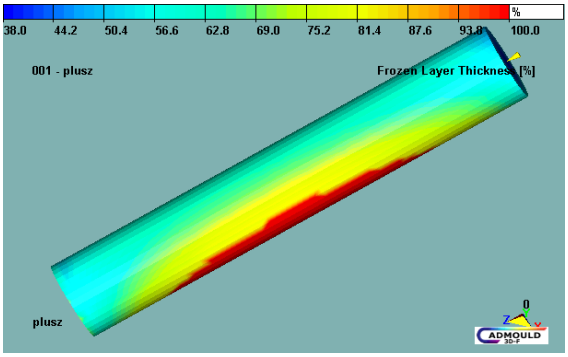
Wygięcie wypraski = 0,6 mm



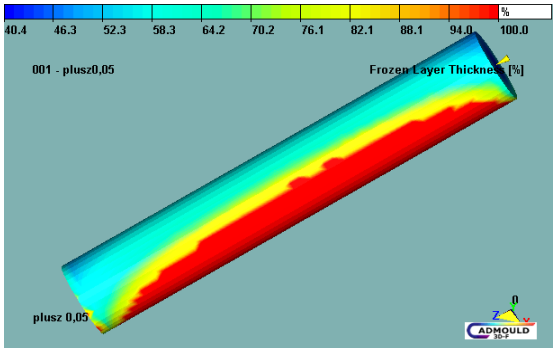
Temperatura wypraski na koniec fazy docisku.



Temperatura wypraski na koniec fazy docisku.



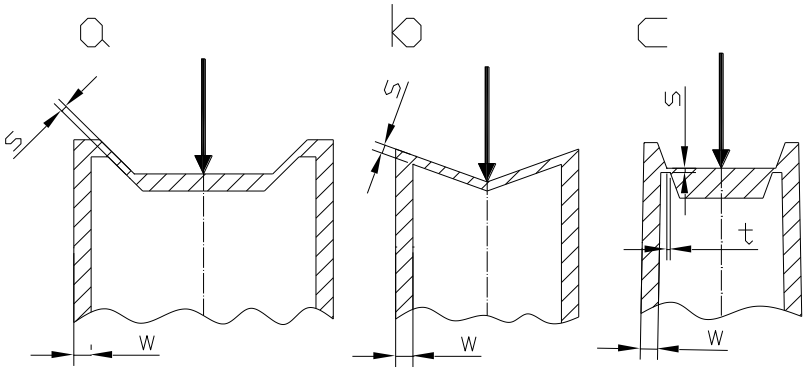
Warstwa zakrzepnięta na koniec fazy docisku.



Warstwa zakrzepnięta na koniec fazy docisku.

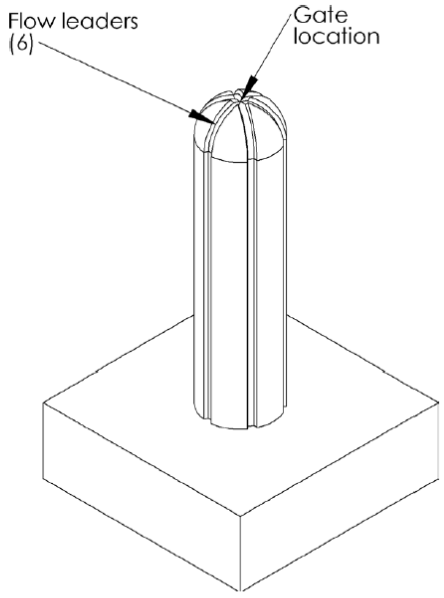
Analizując przedstawione wyniki natychmiast możemy sobie łatwo wyjaśnić przyczynę deformacji wypraski; im różnica grubości ścianek większa, tym większe będą różnice wynikowych parametrów jak temperatura czy grubość warstwy zakrzepniętej ścianki wypraski. Im większe różnice, tym jak widać większa deformacja. Rozpoznany ciąg przyczynowo skutkowy pozwolił znaleźć pierwotną przyczynę wady wypraski jaką jest różnica grubości ścianek .

Teraz musimy podjąć działanie naprawcze. Wcześniej doszliśmy do wniosku że różnicę grubości ścianek wypraski powoduje niekorzystne dodatnie sprzężenie zwrotne i ono jest pierwszym sprawcą naszych niepowodzeń. W takim razie musimy usunąć wroga i zastąpić go sprzymierzeńcem czyli ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Jak to zrobić, fachowcy wiedzą już od dawna. Poniższe rysunki przedstawiają rozwiązanie problemu. Zależnie od wymiarów wypraski stosuje się jedną z przedstawionych propozycji-wszystkie zostały sprawdzone w praktyce produkcyjnej z pozytywnym efektem.



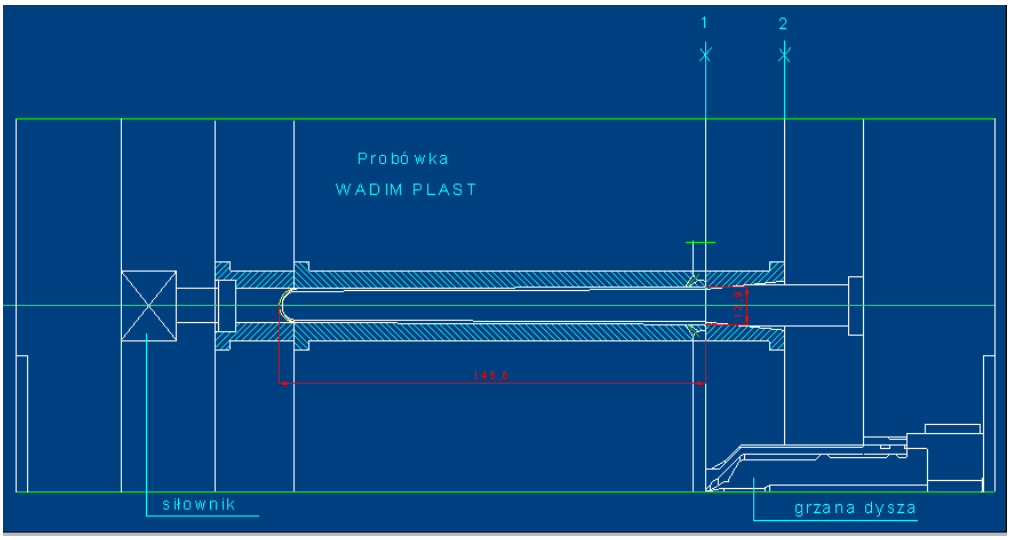
Zadaniem konstruktora jest prawidłowe dobranie proporcji pomiędzy grubością ścianki **w** a grubością szczeliny **s** i szerokością **t**-(przypadek c).
Poprawnie zaprojektowana geometria dna wypraski umożliwia takie oddziaływanie skutku na przyczynę że stempel podczas napełniania gniazda formującego jest cały czas utrzymywany centralnie względem matrycy. Grubość wypraski na całym obwodzie jest identyczna – wypraska pozostaje prosta.
Niestety, nie wszystkie wypraski można wyposażyć w tak ukształtowane dno.

Co wtedy możemy zrobić?
W książce Injection Mold Design Engineering - Davida O. Kazmera znajdziemy następującą propozycję.



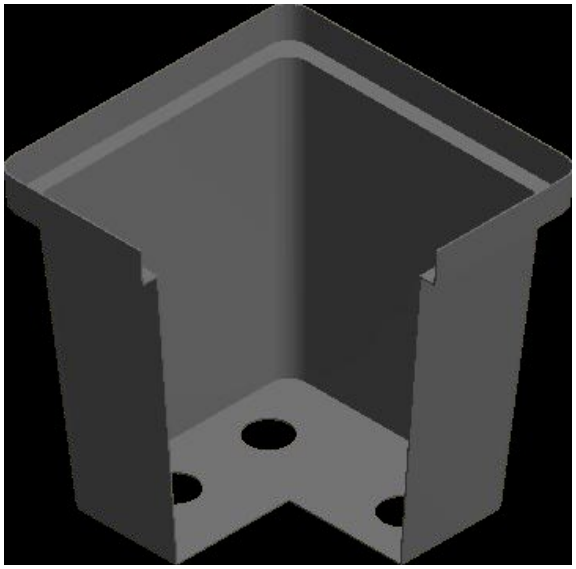
Use of flow leaders to minimize core deflection

A jeśli nasz klient nie zgodzi się na takie rozwiązanie?
Zostaje nam do zastosowania jeszcze jeden chwyt. Jako przykład posłuży wypraska z PP o kształcie probówki o wysokości 146 mm i średnicy u podstawy 12,9 mm przy grubości ścianki 0,9 mm co daje H/D=11 i L/g=170, a wiec wypraska jest bardzo smukła i do tego cienkościenna.

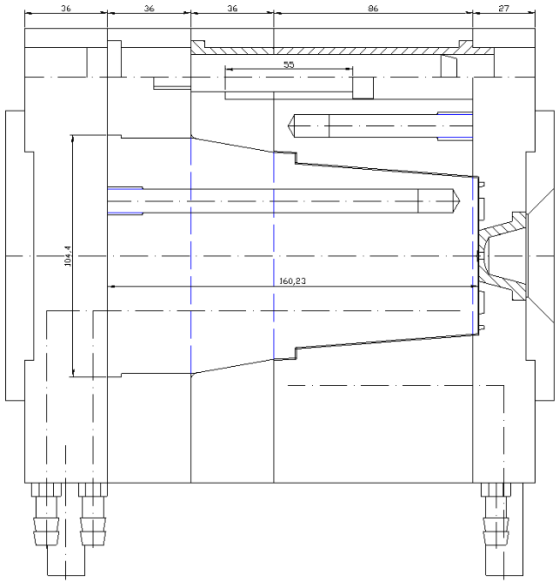


Forma na taką wypraskę pracuje w ten sposób że do zakończenia fazy wtrysku, czoło stempla jest zaryglowane przez rdzeń w matrycy, a po przełączeniu na fazę docisku element ryglujący jest odsuwany przez siłownik hydrauliczny (lub sprężynę-rozwiązanie niezalecane) o odpowiednią wielkość, aby brakujący fragment wypraski został dopełniony. Dla wyprasek o większej średnicy można zastosować trzpień ryglujący w stemplu co pozwala centralnie wtrysnąć wypraskę przez grzaną dyszę.

Sytuacje opisane w niniejszym artykule są znane większości narzędziowców. Mimo to autor napotyka regularnie podobne problemy. Przykład z ostatniego roku to cienkościenna jednorazowa doniczka z PP na sadzonki.



Doniczka o gabarytach: podstawa kwadrat 88x88 i wysokości 90 mm; grubość ścianek 0,5 mm. Jest to wypraska cienkościenna ale nie smukła.



Patrząc na rysunek, konstatujemy że przy budowie tej prostej formy popełniono podstawowe błędy jak:
- brak sztywności poprzecznej w postaci braku zaryglowania stempla wzgl. matrycy,
- mało sztywne obsadzenie stempla w płycie stemplowej (stempel powinien tworzyć jedną całość z płytą stemplową).
Są to błędy identyczne jak w formie z przykładu nr.1.
Jaka jest różnica w stosunku do przykładu nr.1?
Forma na pojemnik powstała 20 lat temu a forma na doniczkę w ostatnim roku.

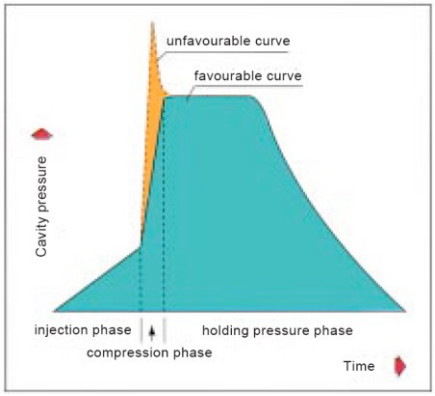
Efekt widzimy na zdjęciu.
Pomimo zastosowania PP o bardzo dobrym płynięciu, wtryskowni nie udało się wtrysnąć poprawnej wypraski.
Jakie działania zostały podjęte żeby uzyskać poprawną wypraskę?
Narzędziownia pogrubiła ścianki wypraski. Klient dostał doniczkę, ale 2 razy cięższą.
Produkcja jednorazowych doniczek o grubych ściankach przestała się opłacać.

Te trzy opisane przykłady pokazują jak nie należy budować form na smukłe wypraski. Pokazują jednocześnie jak poprawnie budować formy i z jakich rozwiązań korzystać przy wysokich a coraz częściej cienkościennych wypraskach. Nie jest to wiedza tajemna i w powszechnie dostępnej literaturze oraz na wszystkich targach branżowych można znaleźć poprawne rozwiązania tego typu form. Namawiam do bacznego podglądania lepszych, w tym przypadku wyjdzie nam na zdrowie.

11.Jak balans wypełniania wypraski wpływa na wielkość siły zwarcia

Ciśnienie wewnątrz formy, które powstaje w fazie wtrysku i docisku, powoduje powstanie sił wewnętrznych dążących do otwarcia formy. Siła zwarcia wtryskarki działa w przeciwnym kierunku i utrzymuje formę w zamknięciu. Aby uniknąć wypływek, potrzebujemy aby siła zwarcia była nieco większa jak siły wewnętrzne.

Obliczenie siły zwarcia dla „małych" wyprasek grubościennych (wypraski techniczne, nakrętki itp.) nie przedstawia większych problemów. Średnie ciśnienie wewnątrz formy jest w przybliżeniu tak wysokie jak nastawiona początkowa wartość ciśnienia docisku.



Jeśli przełączenie z fazy wtrysku na docisk jest poprawne, to ciśnienie w fazie docisku jest najwyższym ciśnieniem wewnątrz formy. Jako kryterium pozwalające zaliczyć naszą wypraskę do kategorii „małych'' wyprasek grubościennych można przyjąć ciśnienie wtrysku – pwtr<300~400 bar. Wtedy ciśnieniem obliczeniowym do oszacowania wymaganej siły zwarcia jest ciśnienie docisku. Ciśnienie docisku jest zależne od typu tworzywa i powinno być na tyle duże aby wypraska była poprawna geometrycznie a jednocześnie nie powinno dojść do powstania wypływek. Z powyższego wynika że obliczenie siły zwarcia dla „małych'' wyprasek jest bardzo proste i dlatego tym zagadnieniem w artykule nie będziemy się zajmować.

Sytuacja zupełnie się zmienia kiedy wtryskujemy duże wypraski cienkościenne które zdominowały rynek agd, elektroniki użytkowej, sprzętu ogrodowego, opakowań itp.

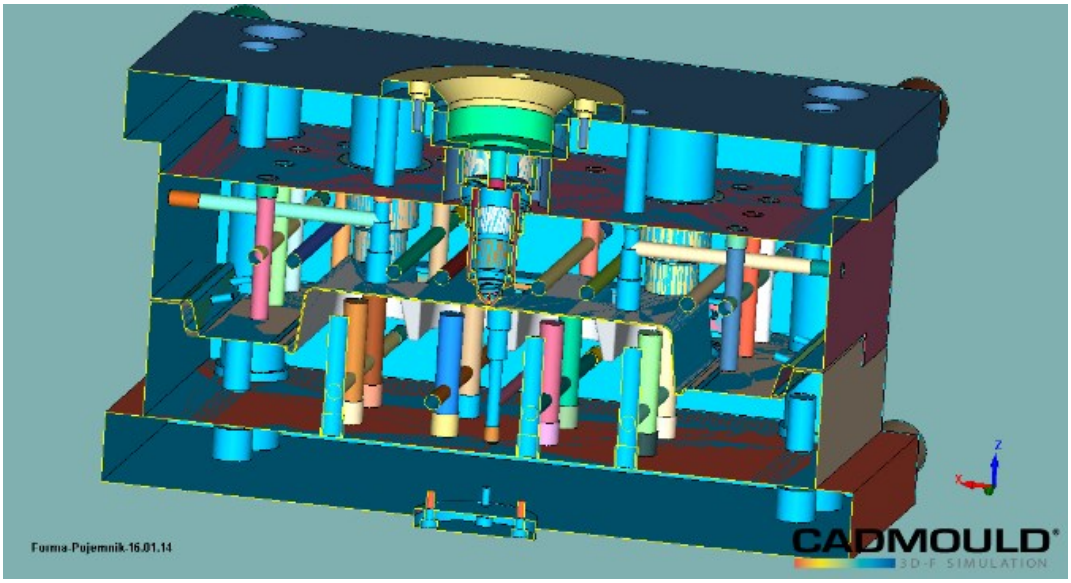
Jako kryterium pozwalające zaliczyć naszą wypraskę do kategorii „średnich i dużych" wyprasek cienkościennych można przyjąć ciśnienie wtrysku – pwtr>800 bar. Wtedy decydującym parametrem o wymaganej sile zwarcia wtryskarki jest ciśnienie wtrysku (faza wypełniania gniazda).

Dla wyprasek o dużych gabarytach i/albo dużym ciśnieniu wtrysku dobór odpowiedniej wtryskarki jest szczególnie istotny. Zbyt mała maszyna uniemożliwi produkcję, zbyt duża uniemożliwi ekonomiczną produkcję wyprasek.

Żeby wykazać jak ważnym elementem jest prawidłowe oszacowanie siły zwarcia dla takich wyprasek i jakie jeszcze przyczyny mogą spowodować gwałtowny wzrost siły zwarcia, posłużymy się ciekawym przykładem z praktyki.

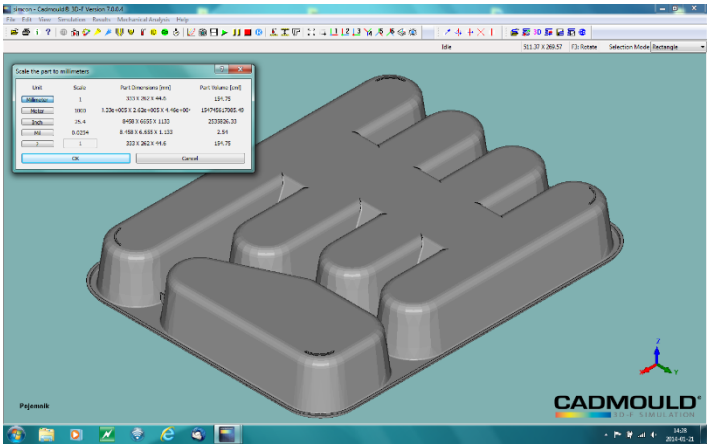
Przedmiotem naszej analizy będzie pojemnik na sztućce produkowany przez wiele wtryskowni.

Pojemnik produkowany jest na formie 1 gniazdowej w czasie cyklu = 16 s, na maszynie o sile zwarcia 250 Ton z PP o wskaźniku płynięcia MVR=50. Forma jest wyposażona w centralną grzaną dyszę.

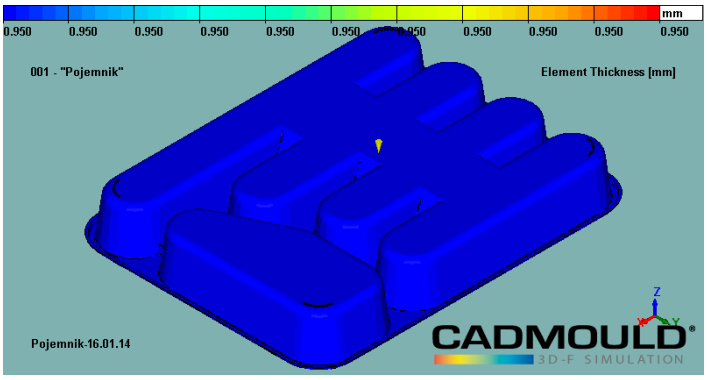


Problem jaki pojawił się od początku produkcji to powstawanie wypływek na zewnętrznych krawędziach wypraski jeszcze przed całkowitym wypełnieniem gniazda. Jako przyczynę określono zbyt małą siłę zwarcia wtryskarki.

Analizy – sprawdzimy niezbędną siłę zwarcia dla tej wypraski i poszukamy sposobu na jej obniżenie.
Do analizy siły zwarcia został wykorzystany program symulacji wtrysku Cadmould, produkt niemieckiej firmy Simcon.

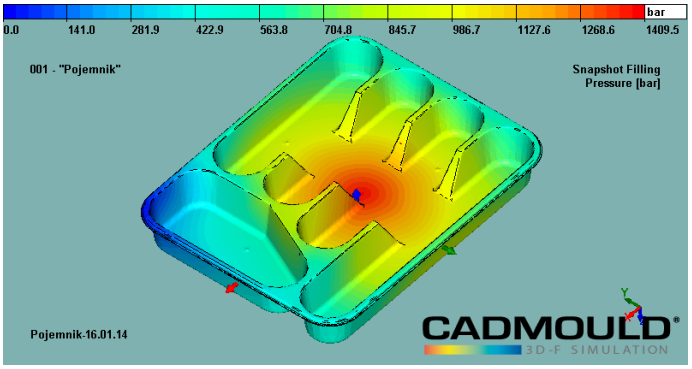


Model 3D wypraski i jej podstawowe parametry – wymiary 339x267x45 mm, masa 145 gr.

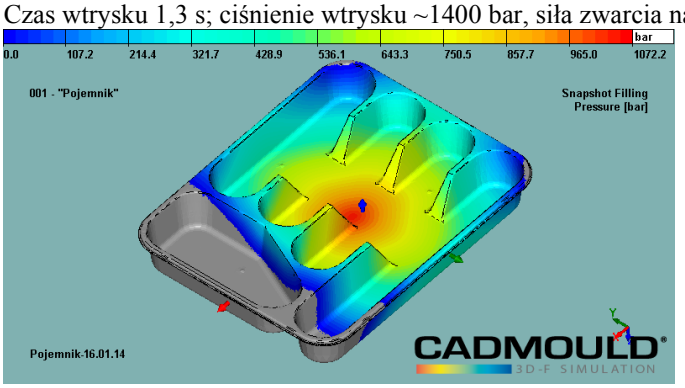


Forma była budowana dla pojemnika o jednakowej grubości ścian =0,95 mm dla całej wypraski. Żółty stożek pokazuje lokalizację wlewka w istniejącej formie.

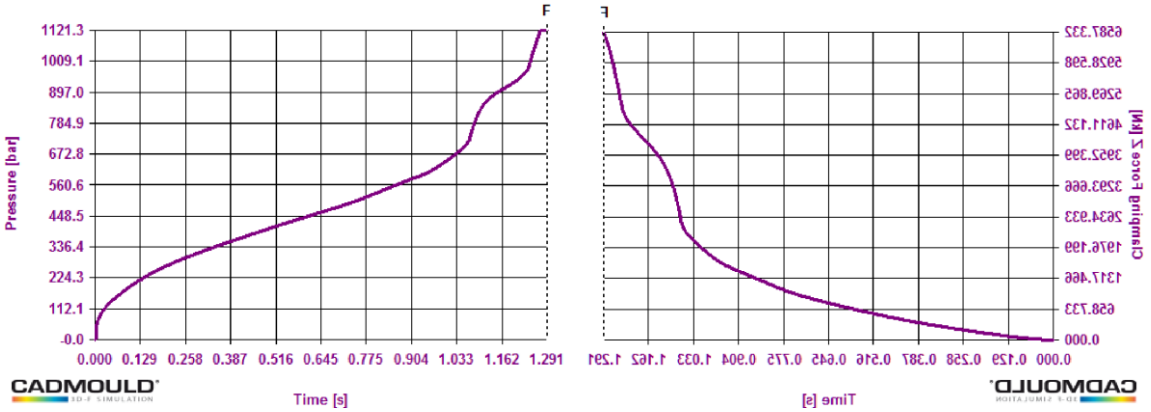
Eksperyment 1: wypraska o stałej grubości ścian = 0,95 mm.



Czas wtrysku 1,3 s; ciśnienie wtrysku ~1400 bar, siła zwarcia na 1 wypraskę = 680Ton.

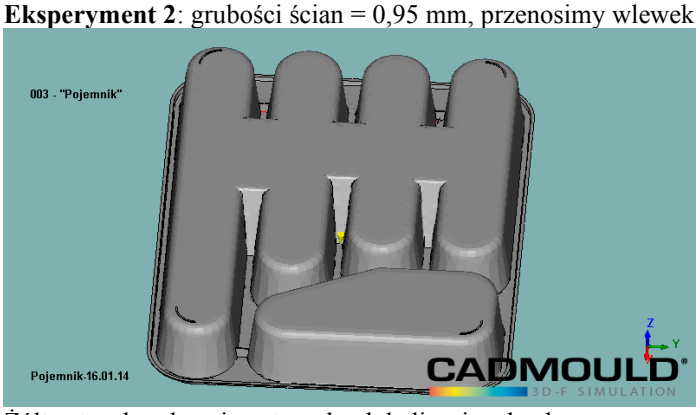


Wypełnienie wypraski 77%, siła zwarcia 380 Ton. Ta faza wtrysku pokazuje że wypraska jest wypełniana nieprawidłowo. Wypełnianie gniazda jest niezbalansowane a przyczyną błędna lokalizacja wlewka.

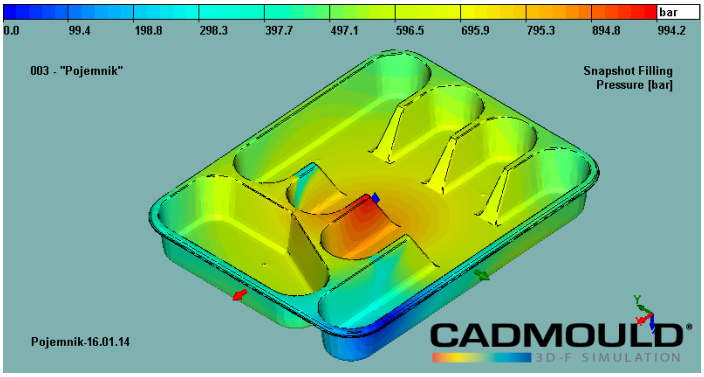


Gwałtowny przyrost ciśnienia i siły pod koniec fazy wtrysku są skutkiem braku balansu wypełniania gniazda.

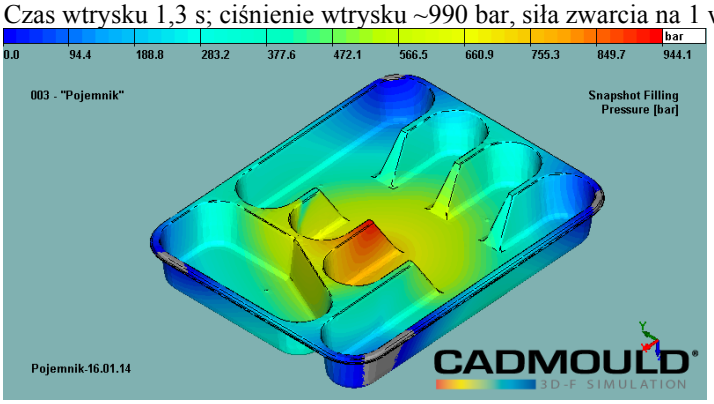
Eksperyment 2: grubości ścian = 0,95 mm, przenosimy wlewek w optymalne miejsce.



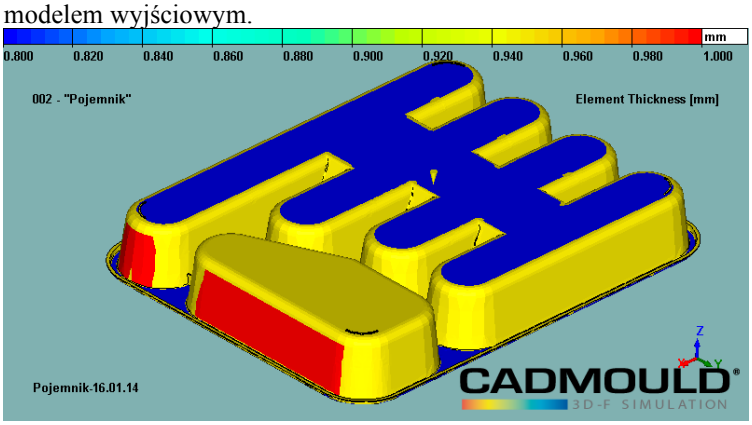
Żółty stożek pokazuje optymalną lokalizację wlewka.



Czas wtrysku 1,3 s; ciśnienie wtrysku ~990 bar, siła zwarcia na 1 wypraskę (przy wypełnieniu 100%) = 500Ton.

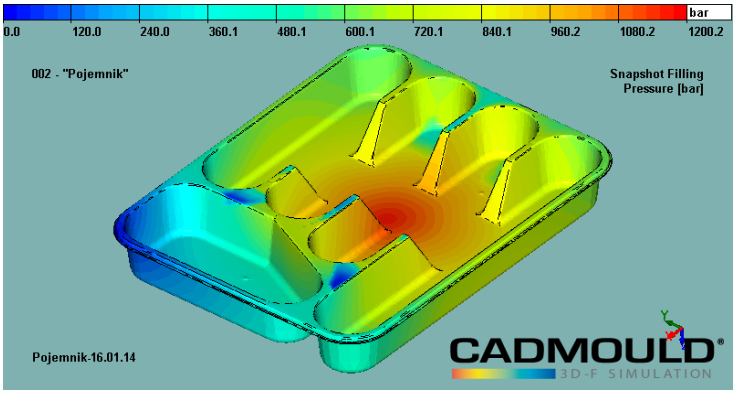


Wypełnienie wypraski 98%, ciśnienie wtrysku ~940 bar, siła zwarcia 330 Ton; jest to moment w którym powinniśmy przełączyć proces na docisk. Ta faza wtrysku pokazuje że wypraska jest wypełniana prawidłowo. Wypełnianie gniazda jest zbalansowane dzięki prawidłowej lokalizacji wlewka. Ten eksperyment pokazał że optymalna lokalizacja wlewka daje najniższą siłę zwarcia i do produkcji takiej wypraski powinna być dedykowana wtryskarka o sile zwarcia 350 Ton.
Po zgrubnych pomiarach wypraski okazało się że aktualnie produkowana posiada grubości niezgodne z modelem wyjściowym.

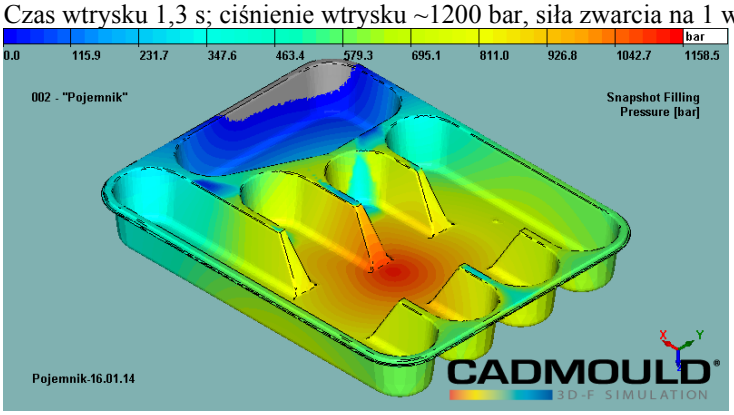


Grubość ścian wypraski zawiera się pomiędzy 0,8 mm a 1 mm.

Eksperyment 3: wypełniamy wypraskę o nierównej grubości ścian przy aktualnej lokalizacji przewężki.



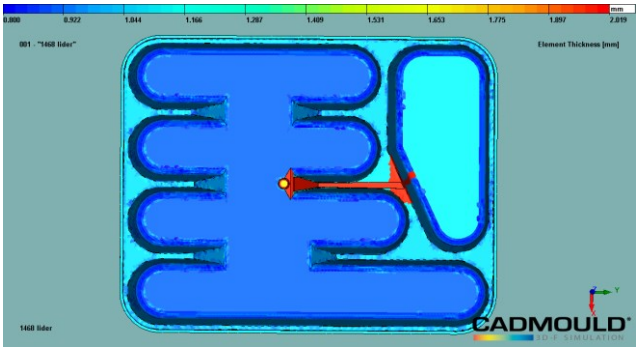
Czas wtrysku 1,3 s; ciśnienie wtrysku ~1200 bar, siła zwarcia na 1 wypraskę = 600Ton.



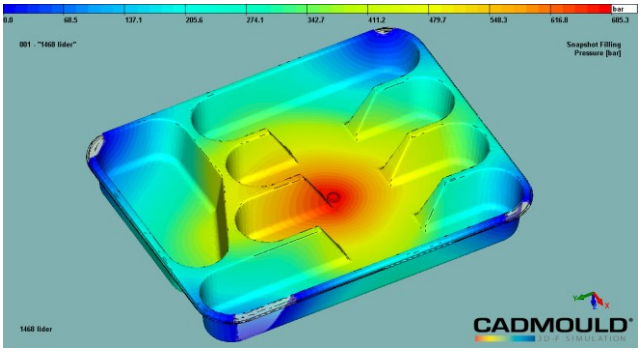
Wypełnienie wypraski 98%, siła zwarcia 530 Ton.
Ta faza wtrysku pokazuje że wypraska jest wypełniana nieprawidłowo. Wypełnianie gniazda jest niezbalansowane a przyczyną zła lokalizacja wlewka. Aktualna wypraska i forma wymaga do produkcji maszyny o sile zwarcia minimum 500 Ton.

Wnioski
Przyczyną powstawania wypływek jest za mała wtryskarka do produkcji tej wypraski. Ponadto wysoka siła rozwierająca formę wynika z błędnej lokalizacji wlewka. Przesunięcie dyszy w istniejącej formie jest kłopotliwe i kosztowne. Można się pokusić o wprowadzenie do istniejącej wypraski tzw. liderów które poprawią zbalansowanie wypełniania wypraski.

Eksperyment 4: wprowadzamy lidery i wypełniamy wypraskę o rzeczywistych grubościach ścian i obecnej lokalizacji wlewka.



Czerwona ścieżka to lider o grubości ściany 2 mm.



Wypełnienie wypraski 98%, ciśnienie wtrysku 685 bar a siła zwarcia 290 Ton.
Ta faza wtrysku pokazuje że wypraska jest wypełniana prawidłowo. Wypełnianie gniazda jest zbalansowane dzięki zastosowaniu lidera. W ten sposób poprawiliśmy poważny błąd konstruktora formy. Aktualna wypraska i forma wymaga do produkcji maszyny o sile zwarcia 300 Ton. Dokładnie jak wykazała analiza, w formie został wykonany lider i dla dobrze płynącego PP (MVR=70) została uruchomiona bezbrakowa produkcja na wtryskarce 250 Ton.

Wypraska z liderem produkowana na maszynie 250 Ton.

Oszacujemy jeszcze czas chłodzenia dla wypraski z liderem.

Musimy liczyć się z tym że lider o grubości 2 mm wydłuży czas chłodzenia a zatem i czas cyklu. Jednak praktyka produkcyjna nie potwierdziła wydłużenia cyklu i wypraska jest produkowana tak jak poprzednio w cyklu 16s.

Wnioski

Dla „średnich i dużych" wyprasek cienkościennych decydującym parametrem o wymaganej sile zwarcia wtryskarki jest ciśnienie wtrysku.

To ciśnienie wtrysku silnie zależy od geometrii wypraski (droga płynięcia i grubość ścianki), lepkości stopu i nastawionych parametrów procesu.

Natomiast na siłę zwarcia dodatkowo duży wpływ wywiera balans wypełniania gniazda. Warunkiem osiągnięcia balansu jest taka budowa gniazda formującego która umożliwi dopłynięcie frontu tworzywa do wszystkich zewnętrznych krawędzi wypraski w tym samym czasie.

Dlatego przy danej (z reguły nie podlegającym zmianom) geometrii wypraski, kluczową decyzją jaką musi podjąć konstruktor jest właściwa lokalizacja przewężki/przewężek.

W przypadku wyprasek symetrycznych (typu pojemniki) lub/i o stałej grubości ścianki do szacowania siły zwarcia można z dobrym skutkiem stosować programy eksperckie jak CalcMaster, Proset itp.

Jeśli wypraska posiada nieregularny kształt i dążymy do optymalizacji siły zwarcia to jedynym sensownym narzędziem analitycznym jest skorzystanie z programu symulacji wtrysku.

12.Rozwiązywanie problemów z deformacjami wyprasek przy pomocy programów symulacyjnych

Rozpieszczony rynek konsumencki (podaż zawsze przewyższa popyt) żąda od dostawców (przemysł), produktów wysokiej jakości i o doskonałej estetyce. Jednocześnie silna presja rynku na ceny (jak najniższe), zmusza przemysł do ciągłej obniżki kosztów wytwarzania. Ta obniżka nie była by możliwa bez stosowania nowych materiałów i nowych technologii. Masowa produkcja dóbr konsumpcyjnych przez kilkadziesiąt lat dowiodła, że materiałami które spełniają kryterium najniższych kosztów wytwarzania są tworzywa sztuczne, a najtańszą technologią dla skomplikowanych geometrycznie detali jest wtrysk. Większość dzisiejszych wyrobów rynkowych o wysokim stopniu przetworzenia jest „pakowana" w obudowy z tworzyw sztucznych. Również większość mechanizmów albo w całości albo z dużym udziałem jest wykonana z polimerów technicznych. Współczesny rynek żąda coraz tańszych wyrobów. Wyobraźmy sobie ile kosztował by samochód, pralka czy lodówka wykonane w technologii z przełomu lat 50 i 60.

Prawie zawsze wypraska jest wykonana na gotowo w bardzo krótkim cyklu produkcyjnym rzędu kilkanaście do kilkadziesiąt sekund, natomiast odlew czy odkuwka ze stopu lekkiego prawie zawsze musi zostać poddany dodatkowej obróbce skrawaniem. Różnica w kosztach wytwarzania na korzyść wypraski staje się oczywista. Jeżeli jeszcze weźmiemy pod uwagę niższy ciężar urządzenia (np. samochód), gdzie zastosowano dużą ilość detali polimerowych, to w dobie kolejnego kryzysu energetycznego i restrykcji ekologicznych, konieczność stosowania maksimum tworzyw sztucznych we współczesnych wyrobach staje się oczywista.

I tu nasuwa się pytanie - dlaczego wprowadzanie tworzyw do skomplikowanych wyrobów przemysłowych, szczególnie stosowanie tworzyw wzmocnionych włóknami, idzie bardzo opornie mimo wyżej wymienionych oczywistych ich zalet?

Aby produkt złożony z dużej ilości detali poprawnie funkcjonował, a wie o tym każdy konstruktor, wszystkie detale składowe muszą posiadać wymaganą dokładność wymiarowo kształtową. Z reguły we współczesnym produkcie te wymogi są bardzo wysokie i z każdą nową generacją produktów wyższe. Otóż w naturze jak i w życiu zawsze jest coś za coś.

Dostaliśmy do dyspozycji znakomite materiały i tanie technologie ale ciągle mamy problemy z uzyskaniem prawidłowych (zgodnie z wymogami odbiorców) wyprasek.

Od dawna wiadomo że główny wpływ na skurcz i związaną z nim dokładność wymiarową oraz deformacje wypraski mają wzajemnie ze sobą powiązane cztery składowe procesu produkcyjnego(1):

- zastosowane tworzywo
- geometria wypraski
- konstrukcja formy wtryskowej
- parametry procesu

Często spotykane problemy to odstępstwo od narzuconych tolerancji (mimo że tolerancje dobrane przez konstruktora mieszczą się w granicach wyznaczonych przez normy), a jeszcze częściej niedopuszczalne deformacje.

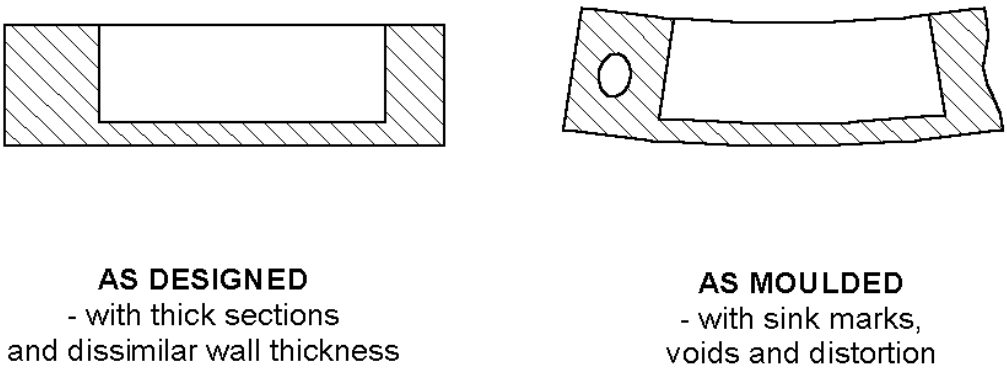
Przyczyny zaistniałych problemów chcemy omówić na kilku przykładach, które trafiły do Działu Analiz w firmie Wadim Plast. Regularnie (kilka zapytań tygodniowo) nasz Dział Analiz jest zasypywany problemami, o które potykają się wtryskownie i narzędziownie. Taka sytuacja trwa już kilka lat. Stąd potrafimy podzielić zgłaszane problemy na kilka grup. Otóż sporą (może zdecydowaną) grupę stanowią niedopuszczalnie

zdeformowane (paczenie, krzywienie) wypraski. Żeby łatwiej i przystępniej wyjaśnić przyczyny należy podzielić wypraski na dwie grupy:

I. wypraski wtryskiwane z tworzyw bez wypełniaczy włóknistych
II. wypraski wtryskiwane z tworzyw z wypełniaczami włóknistymi

Grupa I - czyli co wyczyniają ściany o różnych grubościach

Najczęstszą przyczyną deformacji, szczególnie wyprasek wtryskiwanych z tworzyw krystalicznych, jest niejednorodna grubość ścian. Mimo, że we wszystkich podręcznikach, poradnikach i folderach firmowych wyraźnie podkreśla się że warunkiem podstawowym



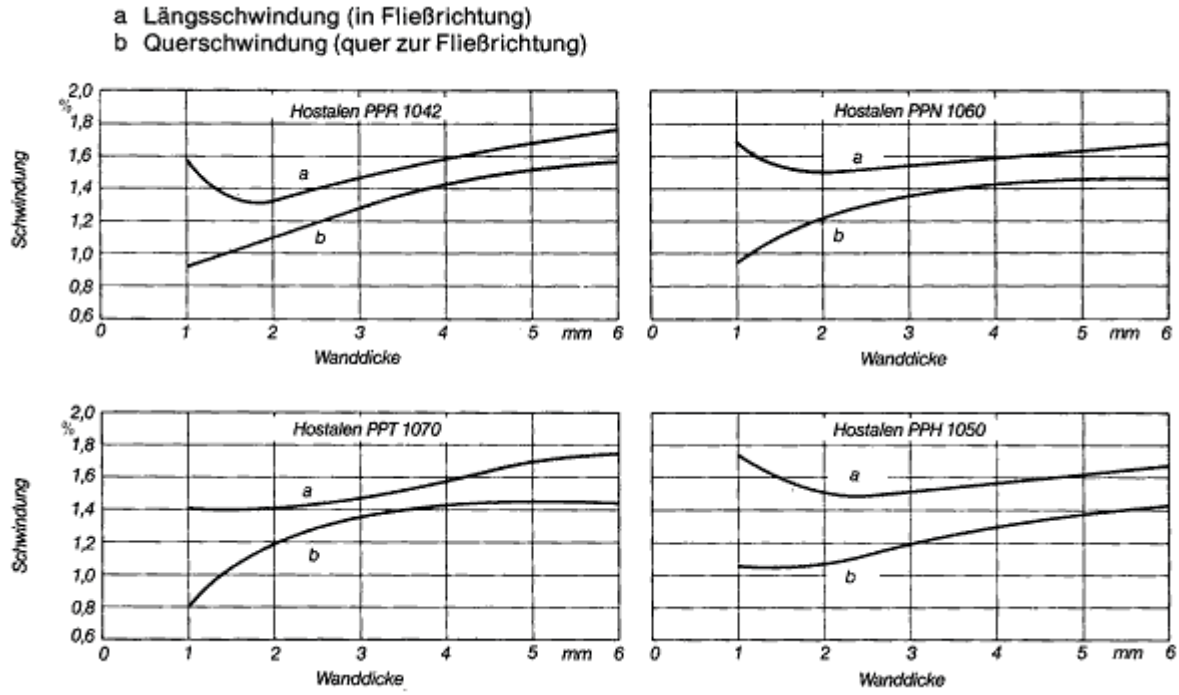
Rys. 1 **Thick sections and non-uniform walls cause problems** (Econology Ltd.)

uniknięcia problemów przy wtrysku, jest zaprojektowanie wypraski o stałej grubości ścian (rys. 1), to rzadko zdarza się żeby nasz Dział Analiz spotkał wypraskę spełniającą to podstawowe kryterium projektowe.

W tym momencie powinniśmy sobie zadać dwa pytania:

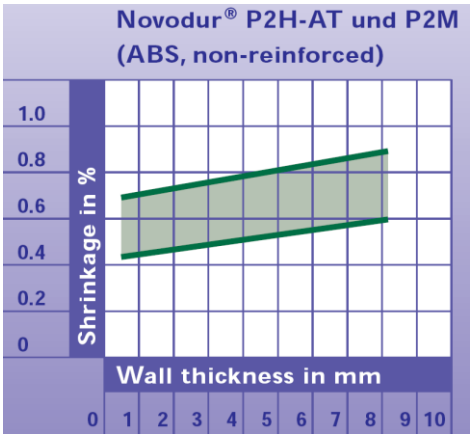
1. dlaczego każda wypraska powinna posiadać wszystkie ściany o jednakowej grubości?
2. dlaczego konstruktorzy wyprasek nie przestrzegają tego podstawowego kryterium projektowego?

Odpowiedź na pierwsze pytanie jest prosta i w zasadzie znajdziemy ją w każdym szanującym się zestawie kart katalogowych dla konkretnego materiału. I tak dla przykładu dla PP Hostalen PPR1042 skurcz liniowy (w poprzek drogi płynięcia) może zmienić się o 0,6% przy zmianie grubości ściany od 1 do 6 mm (rys. 2).



Rys. 2 Zależność skurczu dla 4 typów PP dla różnej grubości ściany (temperatura stopu 260 °C; temperatura formy 40 °C) (Hoechst)

Polimery amorficzne, mimo dużo mniejszego skurczu liniowego posiadają te same tendencje do zmiany skurczu przy zmianie grubości ściany, aczkolwiek w dużo mniejszym zakresie (rys. 3), co w efekcie przekłada się na dużo mniejsze zmiany wymiarowe i deformacje.



Rys. 3 Zależność skurczu dla ABS dla różnej grubości ściany (Bayer)

Odpowiedź na pytanie drugie jest bardziej złożona i wynika z wielu uwarunkowań. Te same podręczniki i poradniki, które w pierwszej regule apelują o stałą grubość ścian, następnie namawiają nas do redukcji masy wypraski bez utraty jej sztywności, poprzez wprowadzenie żeber. Aby żebra od strony licowej nie powodowały zapadów, postuluje się odpowiednie zmniejszenie ich grubości, co sprzeczne jest z podstawową regułą jednorodnej grubości. Niestety, te same podręczniki nie podają żadnej recepty jak pokonać ten paradoks. Do tego dokładają się wymogi poprawnej pracy narzędzia, a szczególnie fazy uwalniania i spychania wypraski. Wyobraźmy sobie uwalnianie wypraski z długimi żebrami, które nie posiadają pochyleń technologicznych.

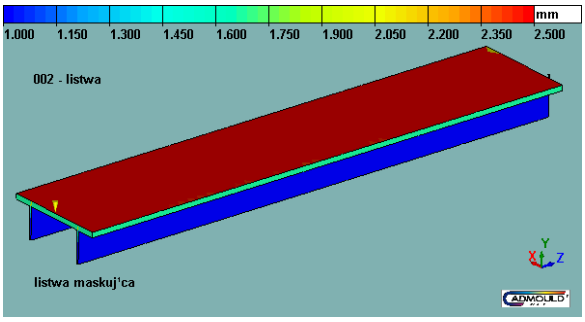
Tragedia gotowa, urwane żebra tkwią w szczelinach formujących a nas czeka kilka godzin dłubaniny lub demontaż formy (która waży kilka ton).
Pochylenia technologiczne przy długich żebrach mogą spowodować 2-3 krotne zmniejszenie grubości ścianki - proszę zerknąć na rys. 2 i wyobrazić sobie jakie będą tego skutki.
Inna przyczyna to konieczność integracji wielu funkcji w jednej wyprasce (zatrzaski, sprężyny, zawiasy) w celu eliminacji kosztownych operacji montażowych. Prowadzi to do coraz większej złożoności geometrii detali i zmusza do różnicowania w dużym zakresie grubości ścianek. Skrajnym przykładem mogą tutaj być zamknięcia typu fliptop czy pudełka z zawiasem integralnym.

Poniżej zbadamy wpływ zróżnicowanej grubości ścian na deformacje wyprasek na kilku przykładach.

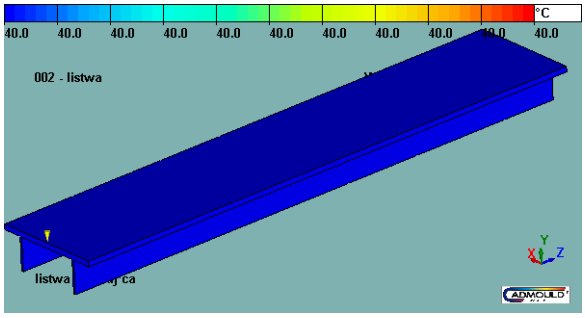
Przykład I

Listwa maskująca z PP - Hostalen PPN1060. Gabaryty wypraski 50x250x17,5mm; masa 35 gr. Grubość ścian zmienia się od 2,5 mm - podstawa do 1 mm - żebra. Wypraska wtryskiwana przy stałej (wyidealizowanej) temp. powierzchni formującej 40 °C.

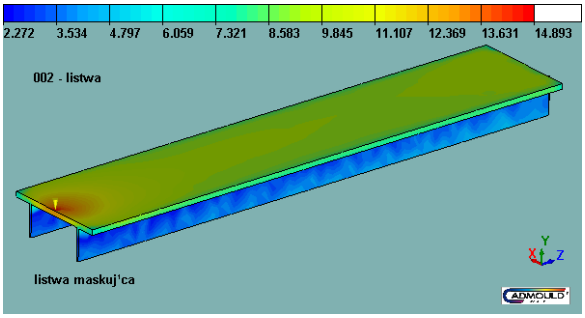
Analiza wyjściowa



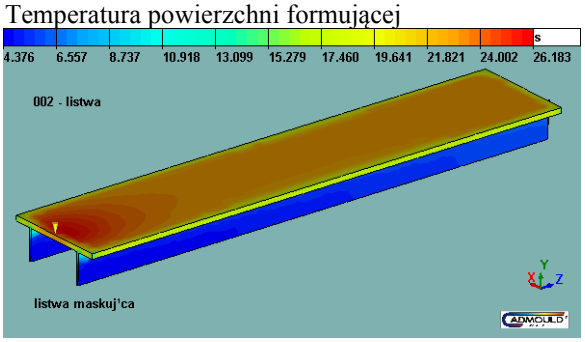
Grubość ścian



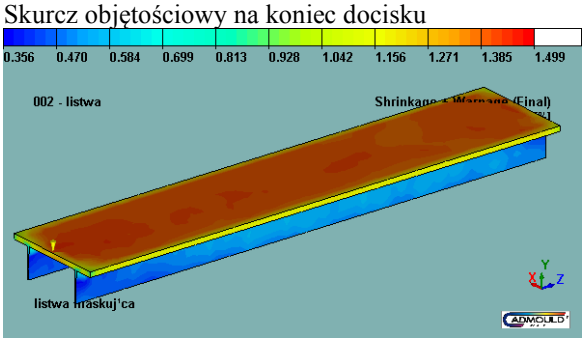
Temperatura powierzchni formującej



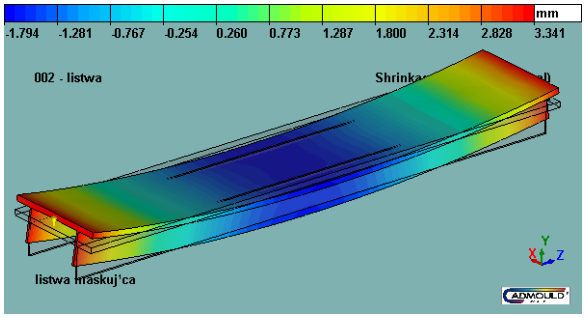
Skurcz objętościowy na koniec docisku



Czas chłodzenia



Skurcz liniowy



Skrzywienie w płaszcz. YZ

Rys. 4 Wybrane wyniki z analizy listwy maskującej

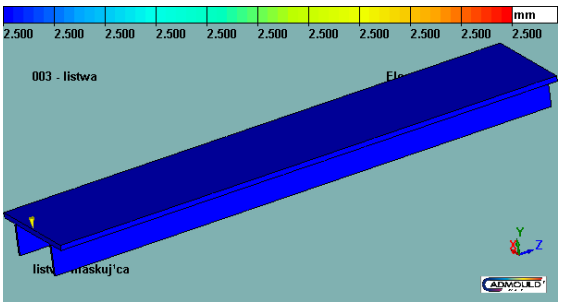
Jest to typowy przykład deformacji dla wyprasek o tej geometrii. Dyskusja nad wynikami wykresów z rys. 4 doprowadzi nas do następujących wniosków:

- stała temperatura formy nie gwarantuje poprawnej geometrycznie wypraski posiadającej ściany o różnej grubości

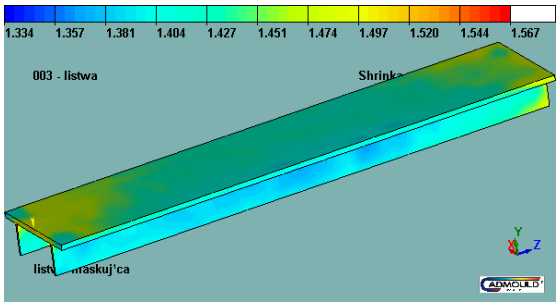
- skurcz objętościowy i liniowy wyraźnie zależą od grubości ściany; skurcz liniowy zmienia się od 1,5% dla najgrubszej ściany licowej do 0,4% dla najcieńszych żeber i obrzeży
- ta różnica skurczu (1,1%) jest przyczyną deformacji wypraski.

W takiej sytuacji przed uczestnikami procesu produkcyjnego pojawia się problem do rozwiązania; w jaki sposób wyprostować wypraskę?
Najmniej kosztowne i dopuszczalne technicznie rozwiązanie spróbujemy znaleźć poprzez przeprowadzenie kilku eksperymentów w programie **Cadmould**.

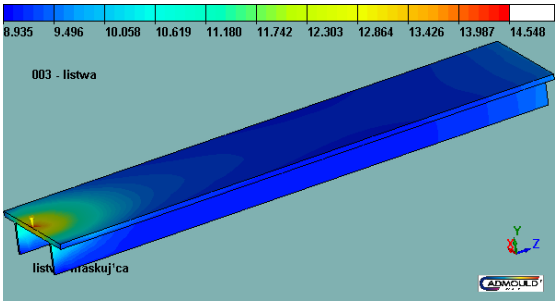
Eksperyment 1 - poprawienie geometrii wypraski poprzez doprowadzenie wszystkich ścian do jednakowej grubości (w naszym przypadku 2,5 mm). Parametry wtrysku identyczne jak dla analizy wyjściowej.



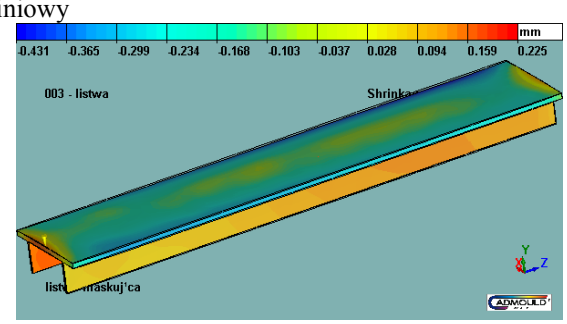
Grubość ścian



Skurcz liniowy



Skurcz objętościowy na koniec docisku



Skrzywienie w płaszcz. YZ

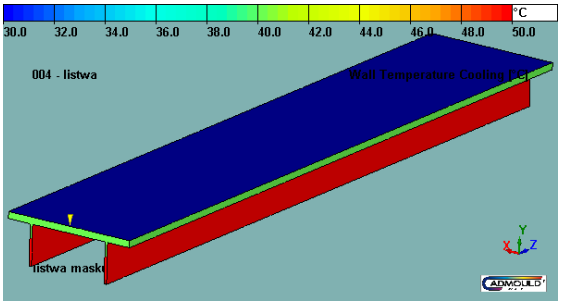
Rys.5 Wybrane wyniki dla analizy z Eksperymentu 1

Dyskusja nad wynikami z rys. 5 prowadzi do następujących wniosków:

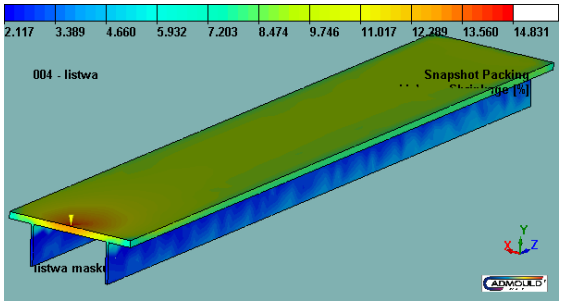
- skurcz objętościowy i liniowy wyrównują się dla całej wypraski
- deformacje wypraski są akceptowalne.

To rozwiązanie, chociaż wydaje się najprostsze, zwykle jest niemożliwe do przyjęcia. Albo pogarsza estetykę (niedopuszczalne zapady na licowej powierzchni wypraski), albo powoduje dodatkowy duży nakład kosztów (np. związany z przebudową narzędzia), albo co najważniejsze, nie uzyskuje akceptacji klienta.

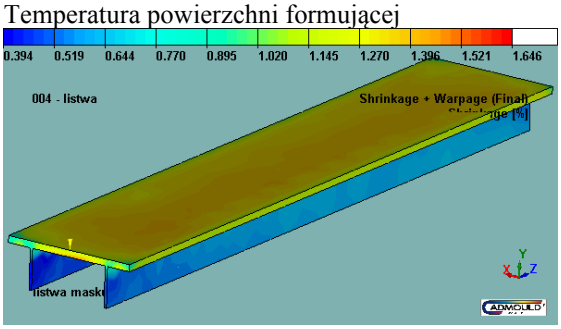
Eksperyment 2 - odpowiednie zróżnicowanie temperatur dla matrycy i stempla. Wracamy do pierwotnej geometrii listwy z analizy wyjściowej (od 2,5 mm - podstawa do 1 mm - żebra) i próbujemy wyprostować listwę nastawiając temperaturę matrycy na 30 °C i stempla na 50 °C. Pozostałe parametry wtrysku identyczne jak dla analizy wyjściowej.



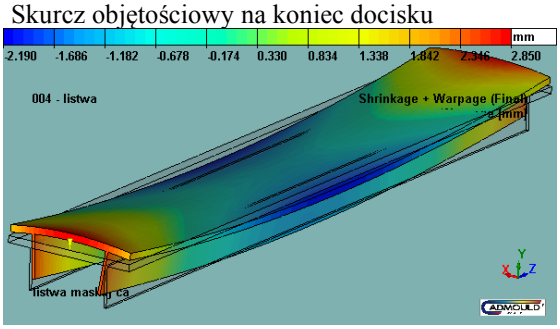
Temperatura powierzchni formującej



Skurcz objętościowy na koniec docisku



Skurcz liniowy



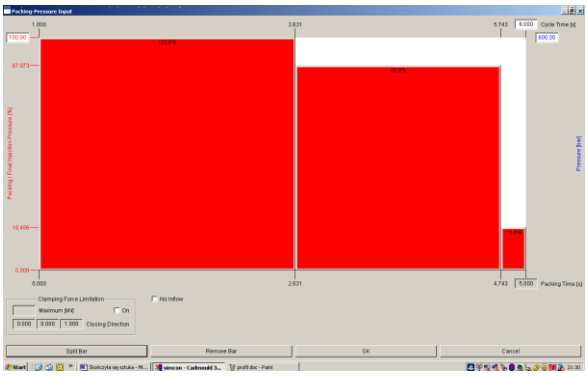
Skrzywienie w płaszcz. YZ

Rys.6 Wybrane wyniki dla analizy z Eksperymentu 2

Dyskusja nad wynikami z rys. 6 prowadzi do następujących wniosków:

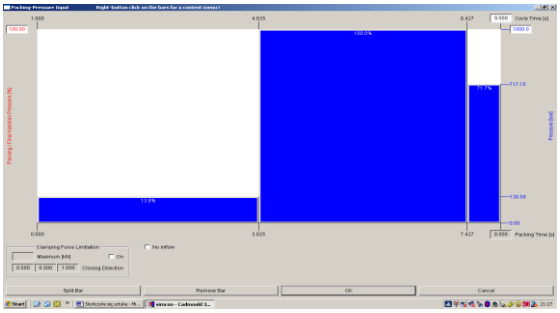
- różnicowanie temperatury formy nie prostuje wypraski, a dodatkowo wprowadza skrzywienie podstawy w płaszczyźnie XY
- ten sposób nie nadaje się dla wyprasek o długich, cienkich, nie krzyżujących się żebrach.

Eksperyment 3 - odpowiedni profil ciśnienia docisku. Podobnie jak w eksperymencie 2 bierzemy pierwotną geometrię listwy z analizy wyjściowej (od 2,5 mm - podstawa do 1 mm - żebra) i próbujemy wyprostować listwę zmieniając tylko jeden parametr procesu jakim jest ciśnienie docisku. Aby mieć pełen obraz sytuacji na rys. 7 jest przedstawiony profil ciśnienia zastosowany w poprzednich eksperymentach.

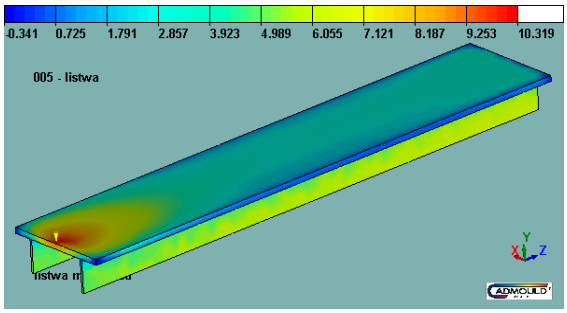


Rys. 7 Profil ciśnienia docisku w analizie wyjściowej oraz eksperymencie 1 i 2.

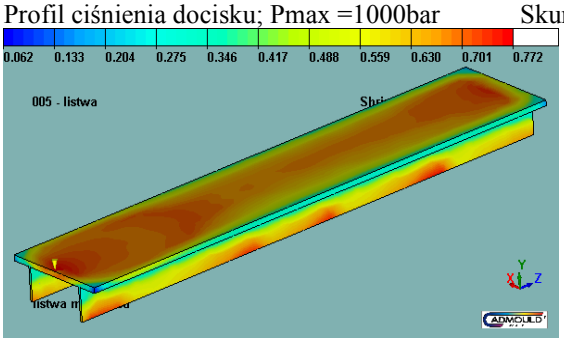
Przedstawiony na rys. 7 profil docisku jest typowy dla tworzyw częściowo krystalicznych, w naszym przypadku PP. Ciśnienie maksymalne Pmax~380 bar.



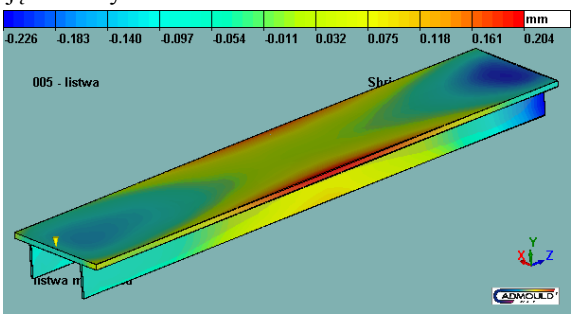
Profil ciśnienia docisku; Pmax =1000bar



Skurcz objętościowy na koniec docisku



Skurcz liniowy



Skrzywienie w płaszcz. YZ

Rys. 8 Wybrane wyniki dla analizy z Eksperymentu 3

Dyskusja nad wynikami z rys. 8 prowadzi do następujących wniosków:

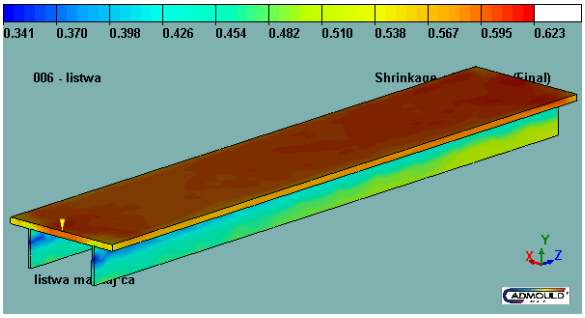
- zastosowanie odpowiedniego profilu i odpowiedniej wartości ciśnienia docisku, powoduje wyrównanie skurczu liniowego dla całej wypraski
- skurcz liniowy zmalał i wypraska zwiększyła swoje wymiary
- deformacje wypraski są akceptowalne
- ten sposób nadaje się szczególnie dla wyprasek o długich cienkich żebrach pod warunkiem, że **punkt wtrysku został przyłożony do najgrubszej ściany**.

Doprowadzenie tworzywa w najgrubszy przekrój jest kardynalnym warunkiem obowiązującym w technologii wtrysku.

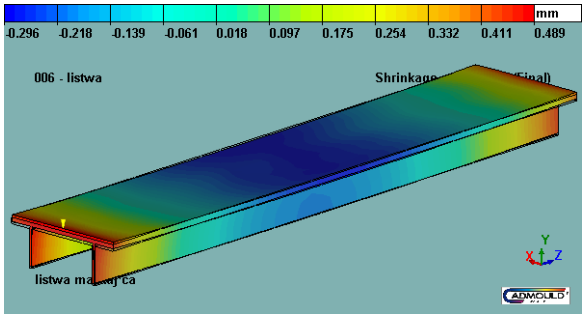
Eksperyment 3 zakończył się pełnym sukcesem. Ale w technice tak jak w życiu. Nie ma nic za darmo. Za złamanie reguły stałej grubości ścianki zapłacimy koniecznością pracy na większej wtryskarce. Jeśli w eksperymentach poprzednich wystarczała maszyna o sile zwarcia 40 Ton na 1 gniazdo (pmax~374 bar), to wyprostowanie wypraski za pomocą odp. profilu docisku wymaga maszyny 120 Ton (pmax = 1000 bar). Ten sposób „prostowania" zalecany jest szczególnie do małych detali, gdzie siła zwarcia nie decyduje o wielkości maszyny.

W tym momencie powinniśmy zadać sobie pytanie; co zrobić, jeśli nie dysponujemy odpowiednio dużą wtryskarką, albo zastosowanie dużej maszyny niszczy nam opłacalność projektu?

Eksperyment 4 - zmiana tworzywa z krystalicznego (PP posiada duży rozrzut skurczu; patrz rys. 2 i rys. 4) na amorficzne np. PS-HI (posiada mały rozrzut skurczu; patrz rys. 3).



Skurcz liniowy



Skrzywienie w płaszcz. YZ

Rys. 9 Wybrane wyniki dla analizy z Eksperymentu 4

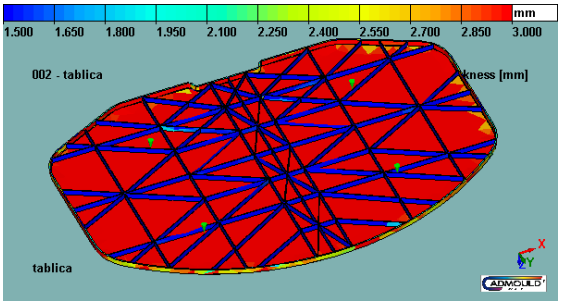
Dyskusja nad wynikami z rys. 9 prowadzi do następujących wniosków:

- różnica skurczu liniowego dla całej wypraski nie przekracza 0,3%
- skrzywienie wypraski w płaszcz. YZ nie przekracza 0,8 mm
- nie musimy podejmować żadnych specjalnych działań. Korzystamy nadal z wtryskarki 40 Ton, pod warunkiem że zmiana tworzywa i wielkość skrzywienia są akceptowalne dla klienta.

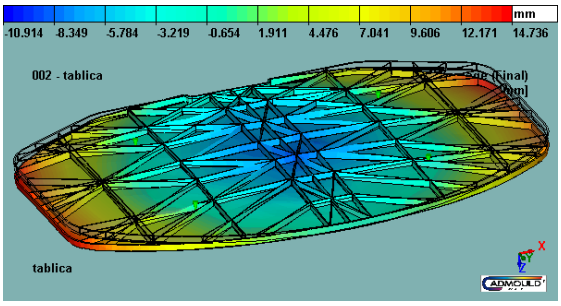
Musimy jednak wziąć pod uwagę, że zastąpienie jednego tworzywa drugim (PP przez PS-HI), jest możliwe na etapie projektowania wyrobu, a czasami projektowania oprzyrządowania. Dużo mniejszy skurcz dla PS spowoduje taką zmianę wymiarów wypraski (pomijając wymogi np. sztywności, palności itp.), że ta nie będzie akceptowalna. Próba przejścia na inny surowiec podczas uruchamiania produkcji na wtryskowni może zakończyć się katastrofą finansową.

Przykład II

Tablica do gry w koszykówkę z PP + 20% talku, wtryskiwana w 6 punktach. Gabaryty wypraski 910x605x16mm; masa 1850 gr. Grubość ścian zmienia się od 3 mm - podstawa do 1,5 mm - żebra. Wypraska wtryskiwana przy stałej (wyidealizowanej) temp. powierzchni formującej 55 °C.



Grubość ścian

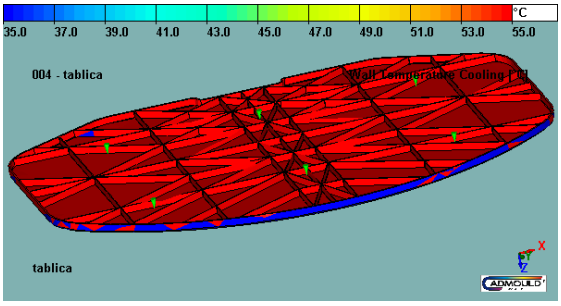


Skrzywienie w osi Z

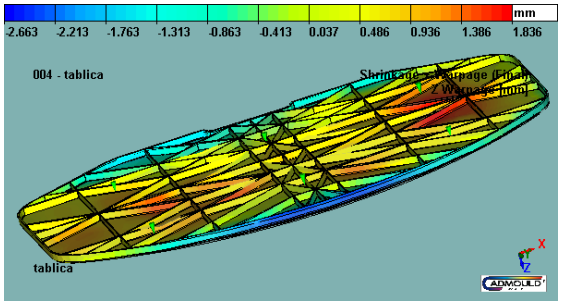
Rys. 10

Do wtrysku tak dużej wypraski konieczna jest maszyna o sile zwarcia 1300 Ton. Jak widać na rys. 10 wypraska wypaczyła się o prawie 18 mm. Żeby wyprostować wypraskę metodą profilowanego docisku musimy dysponować maszyną 2 do 3 razy większą. Pomijając koszt produkcji na tak dużej maszynie, znalezienie wolnych mocy na wtryskarce rzędu 3000 Ton nie jest proste. Jak wybrnąć z tego impasu znowu podpowie nam **Cadmould**.

Geometrycznie nasza tablica nieco odbiega od listwy. Model tablicy pokazuje że cienkie żebra krzyżują się, tworząc kratę. Ta drobna różnica pozwoli nam skorzystać z metody proponowanej w eksperymencie 2, polegającej na odpowiednim zróżnicowaniu temperatur dla matrycy i stempla.



Stempel = 55 °C; matryca = 35 °C



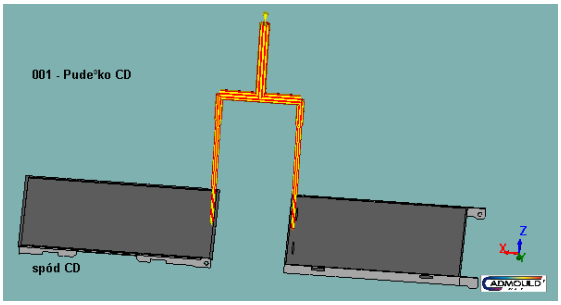
Skrzywienie w osi Z

Rys. 11

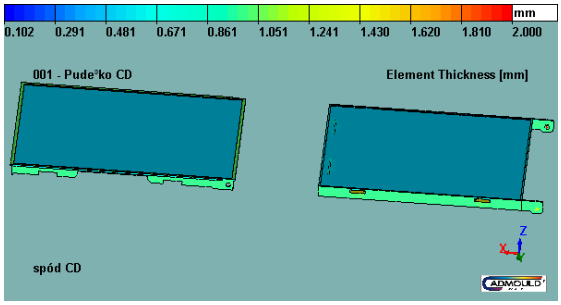
Wypaczenie wypraski wynosi 4,5 mm (rys. 11) i jest teraz 4 razy mniejsze. Siła zwarcia praktycznie nie zmieniła się. Technolog byłby bardzo zadowolony z tego rozwiązania, gdyby konstruktor narzędzia przewidział możliwość pracy tak dużej formy (długość płyty ~ 1200 mm) przy różnych temp. matrycy i stempla. Otóż różnica 20 °C pomiędzy płytą stemplową i matrycową spowoduje różnicę ich długości równą 0,3 mm. Jeżeli konstruktor nie przewidzi tej sytuacji to praca formy nie będzie możliwa.

Przykład III

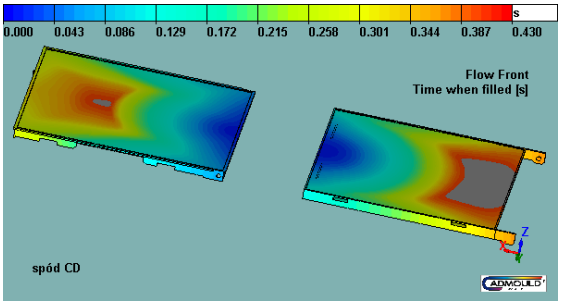
Opakowanie CD z PS niski udar; forma familijna GK, spód 12,4gr + wierzch 10,6gr. Grubość ścian zmienia się od 1 mm dla obrzeża do 0,5 mm dla powierzchni płaskich.



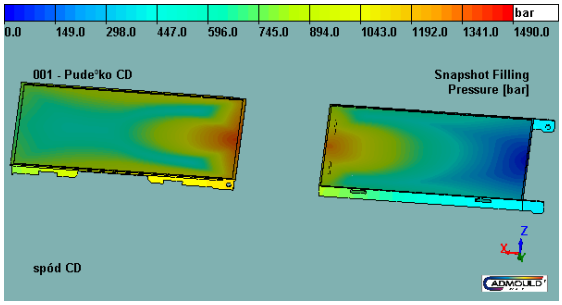
Położenie wyprasek i GK



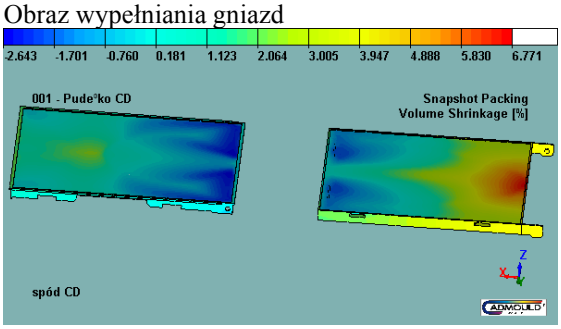
Grubość ścian



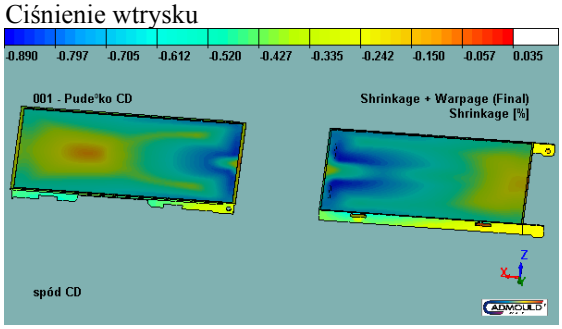
Obraz wypełniania gniazd



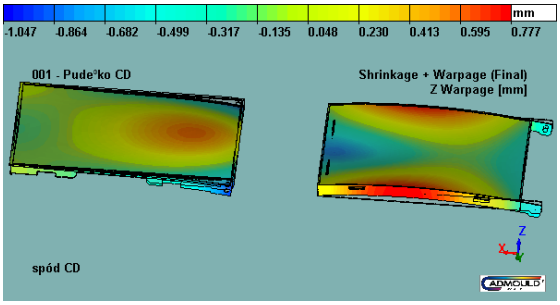
Ciśnienie wtrysku



Skurcz objętościowy



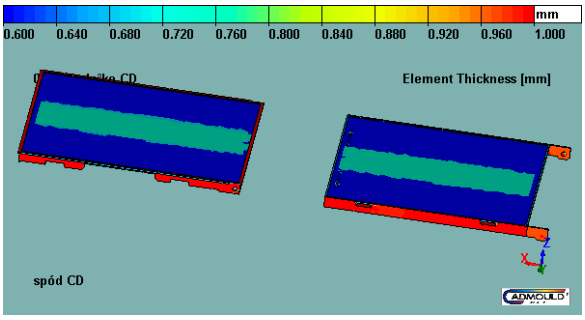
Skurcz liniowy



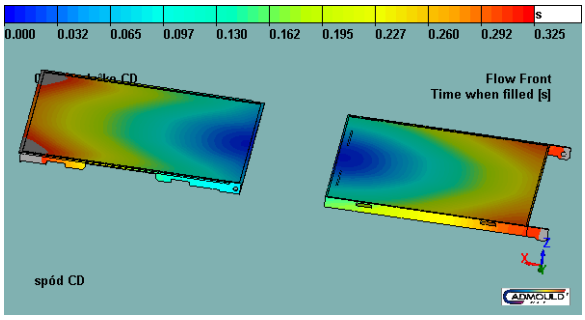
Skrzywienie w osi Z

Rys. 12

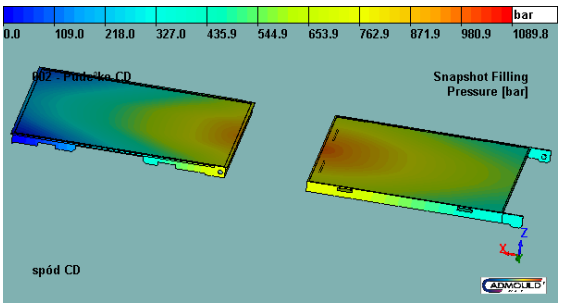
Na rys. 12 widzimy, że nasz „chytry" producent opakowań CD przesadził z odchudzeniem wypraseк. Próbując usztywnić tak cienkościenne wypraski, zaprojektował obrzeża 2 razy grubsze względem płaskiego dna. Doprowadzając tworzywo do wypraski w pobliżu krótszego boku (względy estetyczne), uzyskał nieprawidłowe wypełnianie gniazd formy. Widzimy jak tworzywo szybciej płynąc grubszym obrzeżem, zamyka powietrze wewnątrz wypraski. Dodatkowo nadmierne ciśnienie wtrysku doprowadziło do sytuacji, że skurcz objętościowy, a zatem i liniowy w obszarach bliskich przewężce, osiągają ujemną wartość. Wypraska w tych obszarach została przepakowana. Jednocześnie duża różnica ciśnienia wzdłuż drogi płynięcia spowodowała tak dużą różnicę skurczu, że mimo zastosowania polimeru amorficznego, wypraska doznała niedopuszczalnej deformacji. Zobaczymy jak z tym problemem poradzi sobie **Cadmould**. Sytuacja jest o tyle trudniejsza w porównaniu z poprzednimi przykładami, że została złamana reguła doprowadzenia wlewka w najgrubszą ścianę. Ze względów technicznych tworzywo zostało doprowadzone za pomocą GK prostopadle w dno o grubości 0,5 mm. Nie możemy zatem zastosować poprzednich chwytów.
Spróbujemy poprawić obraz wypełniania gniazda i obniżyć ciśnienie wtrysku poprzez wprowadzenie tzw. liderów.



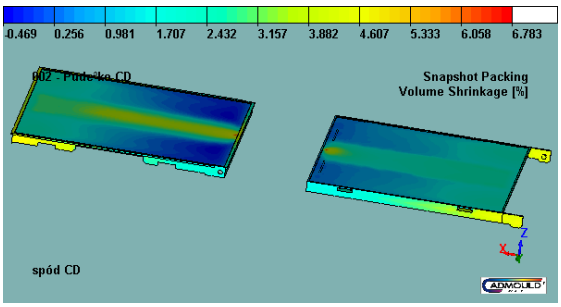
Grubość ścian



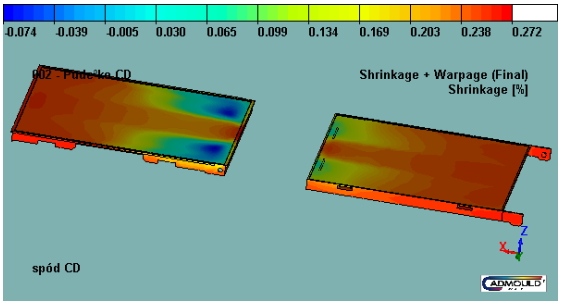
Obraz wypełniania gniazd



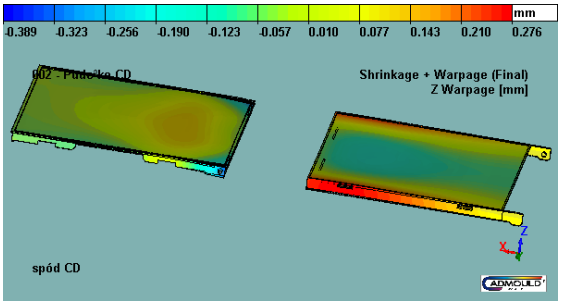
Ciśnienie wtrysku



Skurcz objętościowy



Skurcz liniowy



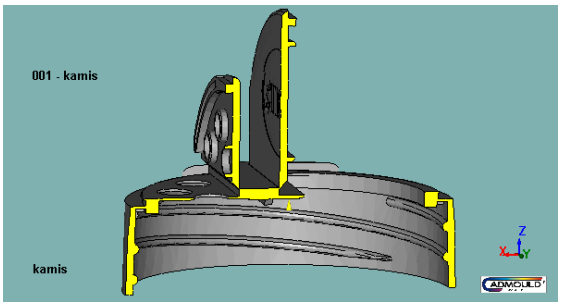
Skrzywienie w osi Z

Rys. 13

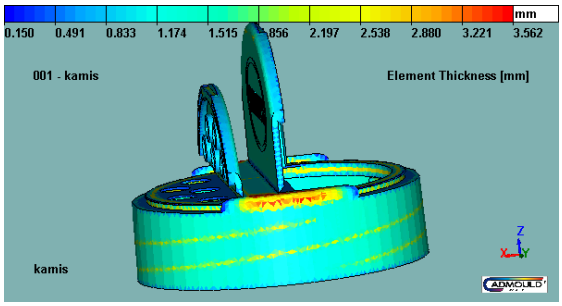
Wprowadzenie liderów w osi wypraski obniżyło wszystkie krytyczne parametry. Ciśnienie wtrysku spadło o 400 bar (nadal jest za wysokie), praktycznie nie ma przepakowania wypraski, a różnica skurczu zmniejszyła się. W efekcie skrzywienie zmniejszyło się 3 razy.
Całkowite wyprostowanie wyprasek pozostawiamy „chytremu" producentowi. Będzie musiał jeszcze trochę pogrubić dna wyprasek, a być może zastosować PS lepszej płynności (lepsza płynność spowoduje spadek parametrów mechanicznych tworzywa).

Przykład IV

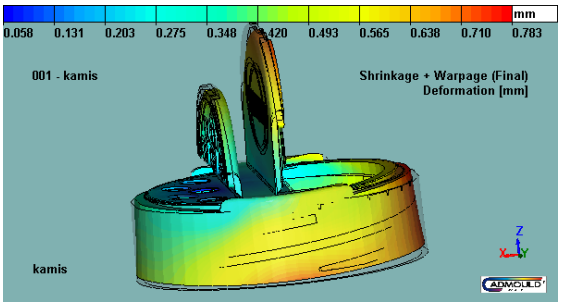
Nakrętka z PP do pojemnika na przyprawy sypkie wtryskiwana centralnie od wewnątrz. Gabaryty wypraski; fi 67x21mm (po zamknięciu klapek); masa 12,6 gr. Grubość ścian zmienia się w bardzo szerokim zakresie (od 0,15 mm dla 2 zawiasów integralnych do 3,7 mm na lokalnych pogrubieniach).



Przekrój - widoczne 2 zawiasy integralne



Grubość ścian



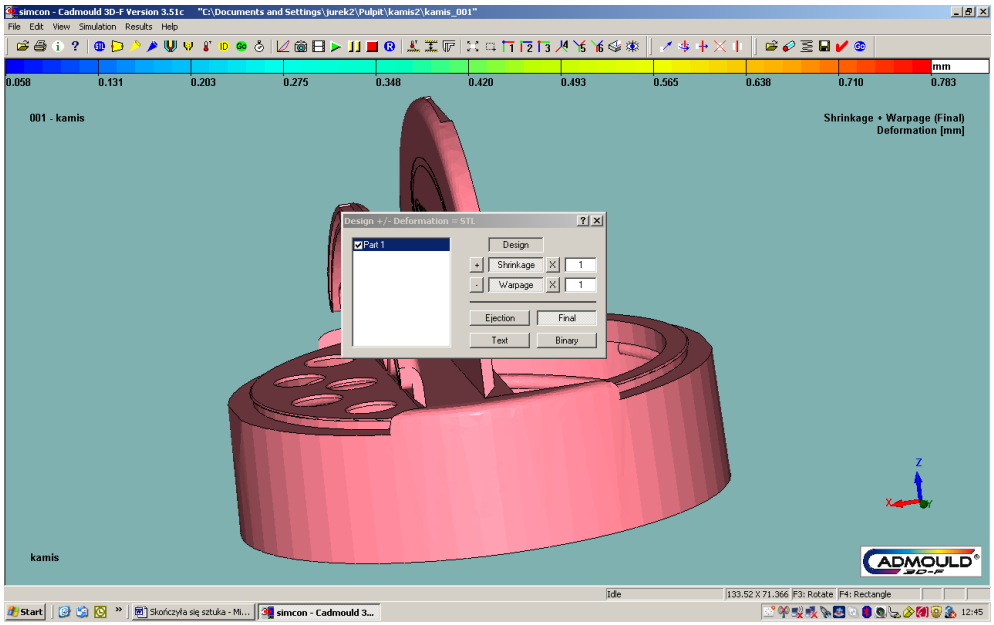
Deformacje

Skutek deformacji-klapki nie domykają się

Rys. 14

Deformacje wypraski są na tyle duże że klapki nie domykają się (rys. 14). Próby technologiczne na wtryskarce przy kombinacjach różnych parametrów nie dały zadowalającego rezultatu. Przyczyna tkwi w dużej różnicy grubości poszczególnych fragmentów wypraski
i położenia punktu wtrysku na cienkiej ścianie. Również konfiguracja kanałów chłodzenia nie pozwoliła na odpowiednie dopasowanie temperatury poszczególnych elementów gniazda.

Jak wybrnąć podpowie **Cadmould**. Przy takich złośliwych przypadkach, jedyny sposób to wcześniejsze przewidzenie skutków.

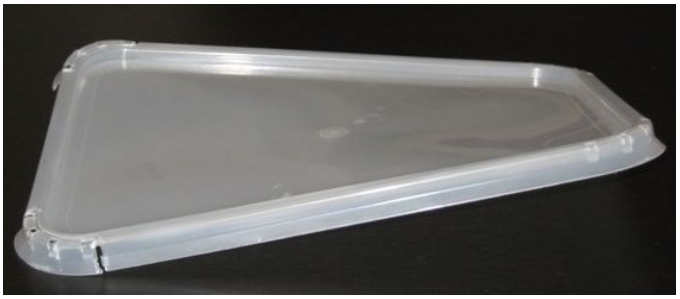


Rys. 15

Cadmould pozwala, w wyniku przeprowadzonej analizy i obliczonych skurczów (i deformacji), na wygenerowanie skorygowanej geometrii wypraski (rys. 15). Taką geometrię powiększoną o wyliczony skurcz (w każdym punkcie wypraski inny) i wypaczoną przeciwnie do wyliczonych deformacji, możemy zapisać w formacie stl lub iges. W ten sposób dostajemy kształt gniazda formującego uwzględniający wszystkie zmiany skurczowe, a w efekcie poprawną wypraskę.
Niestety, nasz narzędziowiec nie przewidział deformacji i skończyło się jak zwykle. Trzeba było napawać fragmenty gniazda, ponownie drążyć (nowe elektrody?) i polerować.

Przykład V

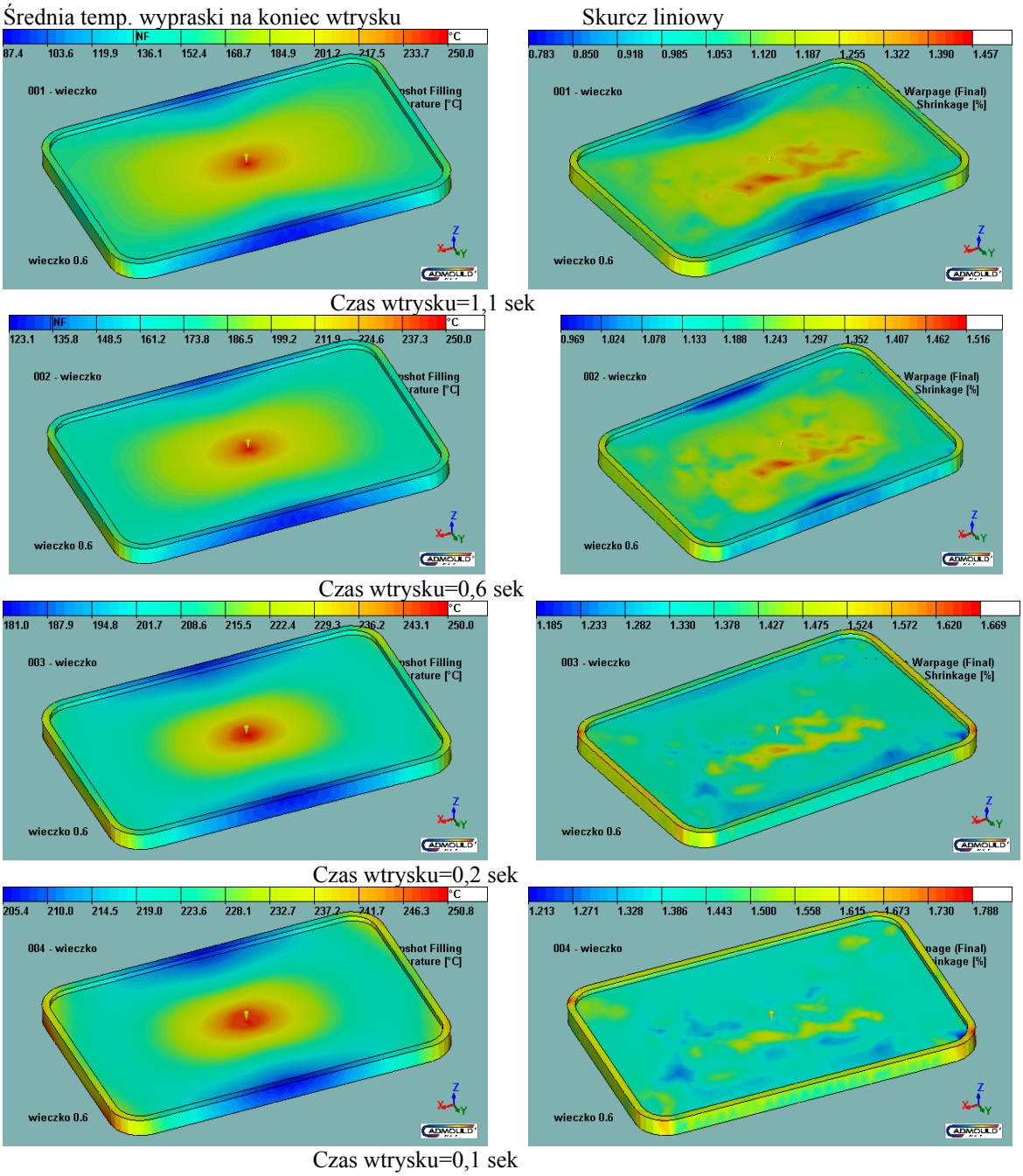
Analiza wykresów z rys. 2 pozwoli nam wyciągnąć jeszcze jeden ważny wniosek. Dla tego typu PP nawet wypraska o stałej grubości ścian (0,6 mm) i płaskiej geometrii (np. pokrywa) ze względu na różnicę skurczu wzdłuż i w poprzek drogi płynięcia (orientacja), będzie miała tendencje do deformacji typu śmigło.



Rys. 16 Zdeformowana wypraska

Poniższy przykład pokazuje nam, że mimo spełnienia warunku stałej grubości ścian, dochodzi do znacznych deformacji, a jak temu przeciwdziałać podpowie **Cadmould**.
Wypraską jest pokrywka pojemnika na lody o pojemności 1 litr. Gabaryty pokrywy to 190x142x9 mm; jednolita grubość ściany 0,6 mm i gramatura 16,5 gr.

Jednym z kluczowych parametrów przy wtrysku tego typu wyprasek jest prędkość wtrysku. Na maszynie najczęściej jest to nastawa czasu wtrysku. Wtryskarka hydrauliczna bez akumulatora (tylko taką maszyną dysponowała wtryskownia) pozwoliła na uzyskanie czasu wtrysku 0,6 s. Ze względu na określoną moc napędu dalsze skracanie czasu było niemożliwe. Aby wyjaśnić problem, została wykonana symulacja dla parametrów nastawionych na wtryskarce. Analizy zostały przeprowadzone na uproszczonym modelu wypraski co pozwoliło na znaczne skrócenie czasu obliczeń.
Poniżej zostały zamieszczone wybrane wyniki z kilku analiz, gdzie jedynym zmienianym kolejno parametrem procesu, była prędkości wtrysku, definiowana poprzez czas wtrysku.



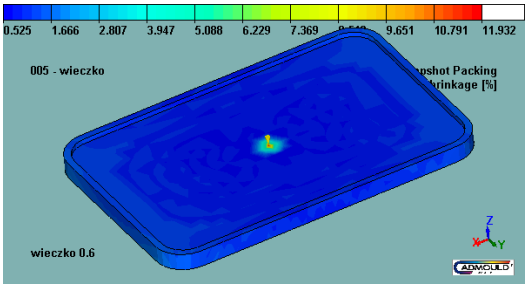
Rys. 17

Widzimy, że w miarę wzrostu prędkości wtrysku następuje wzrost temperatury na drodze płynięcia (rys. 17) tzn., że najbardziej oddalone regiony wypraski osiągają coraz wyższą temperaturę. Dzięki temu zmienia się rozkład skurczu, który przy dużych prędkościach wtrysku jest znacznie mniejszy w centrum wypraski jak na jej skraju.

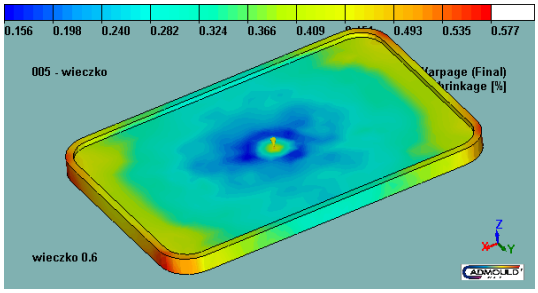
Im większy skurcz w centrum w stosunku do skrajnych regionów, tym większa tendencja do deformacji w kształcie śmigła. I odwrotnie, wzrost prędkości wtrysku „prostuje” wypraskę.
Oczywiście nie tylko niska prędkość wtrysku daje niekorzystny obraz skurczu. Również źle zaprojektowany lub źle podłączony układ kanałów chłodzących może spowodować podobne skutki. Jeżeli temperatura powierzchni gniazda w jego środku będzie wyższa niż na końcu drogi płynięcia, to skurcz rozłoży się podobnie jak dla małej prędkości wtrysku.
Wiemy już co jest przyczyną deformacji typu śmigło:

- **Skurcz** - rys. 17 - środkowy obszar ma większy skurcz niż obszar zewnętrzny
- **Orientacja** - rys. 2 - skurcz poprzeczny jest mniejszy od skurczu w kierunku płynięcia.

Aby uzyskać płaską (lub lekko wypukłą) wypraskę, musimy zniwelować efekt orientacji poprzez odpowiedni wzrost skurczu na skraju wypraski względem jej centrum.
Jeden sposób znamy - odpowiednio duża prędkość wtrysku (przy prawidłowym chłodzeniu). Aby go zrealizować, musimy dysponować wtryskarką z odpowiednio dużą mocą napędu. Musi to być wtryskarka hydrauliczna z akumulatorem, albo wtryskarka **elektryczna**.
Wtryskownia uruchamiając produkcję pokrywki nie dysponowała odpowiednią maszyną. Musimy więc znaleźć właściwy chwyt technologiczny, który pozwoli produkować „prosto”.
Układ kanałów chłodzenia w formie nie pozwolił na odpowiednie ustawienie temperatur dla gniazda formującego. Ale został nam jeszcze **Cadmould**.
Dla maksymalnej osiągalnej prędkości wtrysku na naszej wtryskarce, czyli czasu wtrysku 0,6 s, musimy znaleźć taki profil i wielkość docisku, który zniweluje deformacje. Zaczęliśmy badać wpływ docisku na rozkład skurczu. I co się okazało?



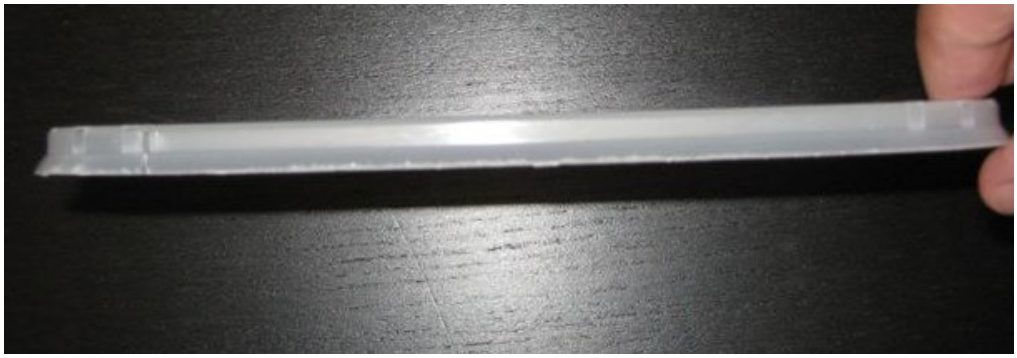
Skurcz objętościowy



Skurcz liniowy

Rys. 18

Dla ciśnienia docisku 800 bar i czasu 2.4 s obraz skurczu objętościowego i liniowego okazał się na tyle poprawny, że parametry te (odpowiednio skorygowane o straty ciśnienia w kanałach) zostały nastawione na wtryskarce i wykonano pierwsze wypraski. Efekt jak niżej.



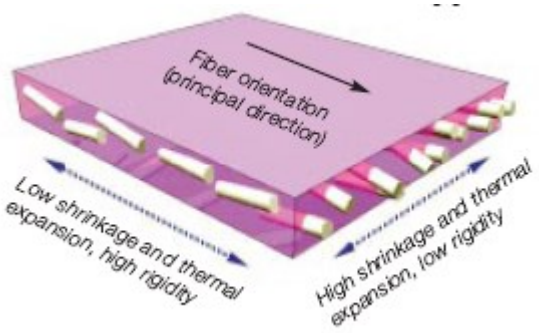
Rys. 19 Wyprostowana wypraska

Niestety, był to sukces połowiczny. Produkcja na maszynie niedopasowanej do wypraski kosztuje. Wzrost ciśnienia i wydłużenie czasu docisku spowodowały wydłużenie cyklu o 1,4 s i wzrost siły zwarcia ze 104 Ton do 170 Ton. Wzrosła również gramatura wypraski do 17 gr., czyli o 0,5 gr.
Teraz widzimy o ile i dlaczego wzrastają koszty produkcji na niewłaściwej maszynie oraz dlaczego koledzy z Europy produkują szybciej i taniej. Oni po prostu wiedzą.

Grupa 2 - czyli do czego jest zdolna orientacja

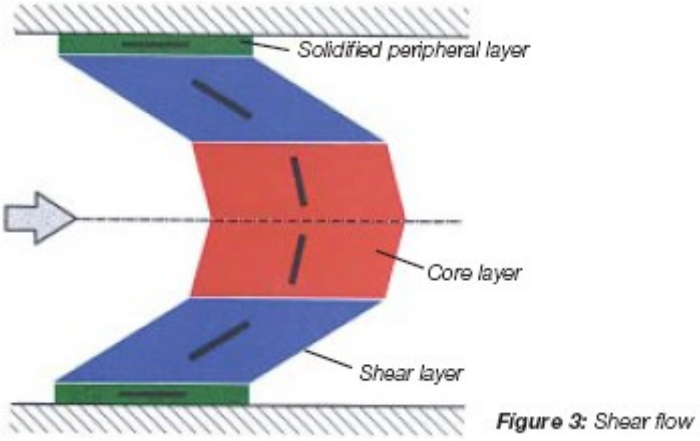
Odpowiedź jest zawsze ta sama - do wszystkiego aby maksymalnie uprzykrzyć nam życie.
Dominujące branże wytwórcze jak przemysł samochodowy, AGD, elektronika i elektrotechnika już nie mogą obejść się bez tworzyw wzmocnionych wypełniaczami włóknistymi. Wypełniacz włóknisty jest dodawany w celu podniesienia parametrów mechanicznych tworzywa, a zatem i wypraski. W coraz większej ilości przypadków osiągamy tak wysoką sztywność, wytrzymałość i odporność na pełzanie, że możemy bez obaw zastępować wypraskami pracochłonne (czyt. kosztowne) detale ze stopów lekkich.

I tu zaczyna się bardzo poważny problem technologiczny dla producentów wyprasek.
Zwykle wypraska wtryskiwana z dowolnego tworzywa z wypełniaczem włóknistym tak odbiega wymiarowo od założeń konstrukcyjnych i jest tak zdeformowana, że nie nadaje się do montażu. Pomimo podporządkowania geometrii wypraski obowiązującym zasadom konstrukcji, to orientacja włókien pozostaje dominującym czynnikiem, powodującym nadmierne deformacje. Zmiany parametrów procesu technologicznego jak temperatury, prędkości i ciśnienia mają drugorzędne (często znikome) znaczenie.
Orientacja jest szczególnie niedoceniana w swej złośliwości w przypadku wyprasek wtryskiwanych z tworzyw wypełnianych włóknami o własnościach mechanicznych i termicznych, dużo różniących się od własności wypełnianej żywicy. Dla przykładu, najczęściej dodawane włókno szklane posiada sztywność ok. 40 razy wyższą, a wydłużenie termiczne ok. 30 razy mniejsze, jak otaczająca go żywica (2). Na skutek orientacji powstaje skurcz przetwórczy znacznie różniący się między równoległym i poprzecznym kierunkiem przepływu tworzywa w gnieździe formy (rys. 20). Ta różnica skurczu jest główną przyczyną powstałych błędów.



Rys. 20 Fragment wypraski wypełnionej włóknem szklanym z warstwą zorientowaną (2)

Nieuwzględnianie wszechobecnej orientacji wynikającej z istoty przepływu tworzywa przez gniazdo formujące prowadzi do poważnych problemów.
Oczywiście pierwszym i jedynym sprawcą orientacji jest przepływ laminarny, ustawiając identycznie łańcuchy i włókna. W warstwach przyściennych gdzie dominuje ścinanie, włókna są ustawiane w kierunku płynięcia (rys. 21). W warstwie środkowej gdzie dominuje przepływ rozciągający, włókna są ustawiane prostopadle do kierunku przepływu i w przeciwieństwie do łańcuchów polimeru, nie podlegają relaksacji (rys. 22).



Rys. 21 Przepływ ścinający(2)

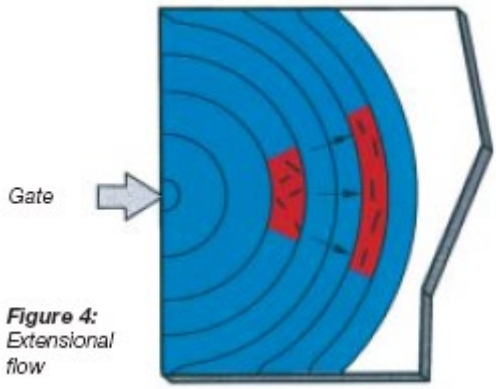


Figure 4: Extensional flow

Rys. 22 Przepływ rozciągający(2)

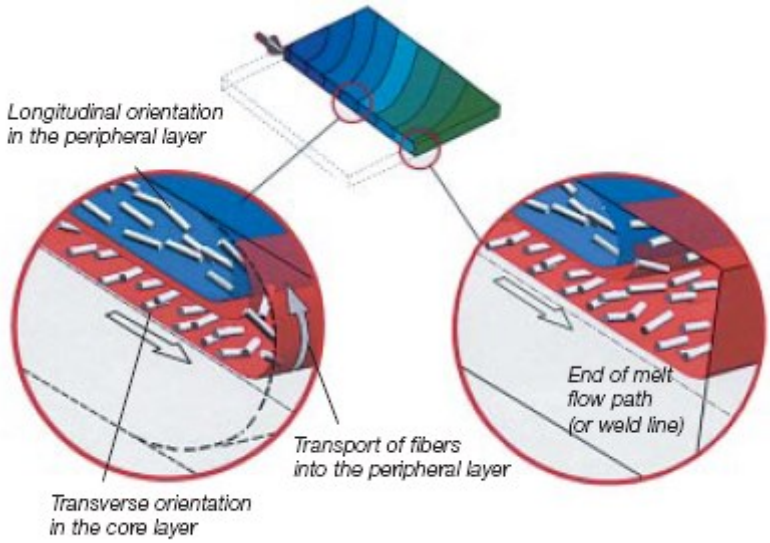


Figure 5: Fiber orientation in a sheet

Rys. 23 Tworzenie się warstw o różnej orientacji(2)

Rysunek 23 wyjaśnia mechanizm powstawania w wyprasce trzech warstw (dwie zewnętrzne, gdzie dominuje ścinanie i jedna środkowa, gdzie dominuje rozciąganie) o różnej orientacji. Mechaniczne właściwości wypraski i jej skurcz zależą od grubości każdej z warstw i od stopnia orientacji każdej z nich. Warstwy zewnętrzne przeważają, więc wypraska jest bardziej sztywna w kierunku przepływu niż w kierunku do niego prostopadłym. Podobne zależności dotyczą skurczu, włókna hamując skurcz w kierunku swojej długości czyli w kierunku nadanej orientacji, powodują że skurcz w kierunku płynięcia, jest kilkakrotnie mniejszy jak w poprzek włókien (2).
Właśnie taki mechanizm wywodzący się z przepływu laminarnego, jest odpowiedzialny za orientację, a w efekcie anizotropię wszystkich własności w tym i skurczu wypraski.
Niestety, przepływu laminarnego nie unikniemy bo praw natury nie zmienimy. Jedyne co możemy zrobić to podjąć próbę zapanowania nad składowymi procesu produkcyjnego jak:

1. dobór tworzywa
2. geometria wypraski
3. konstrukcja formy wtryskowej,

w celu uzyskania poprawnej wypraski.

Tworzywo

Również dla tworzyw wzmocnionych skurcz jest zależny od grubości ściany (rys. 24), a dodatkowo silnie zależy od zawartości włókna szklanego (rys. 25).

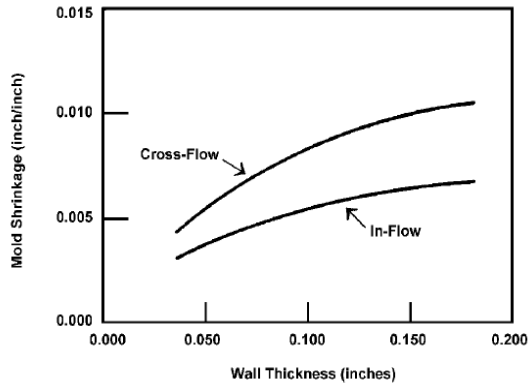
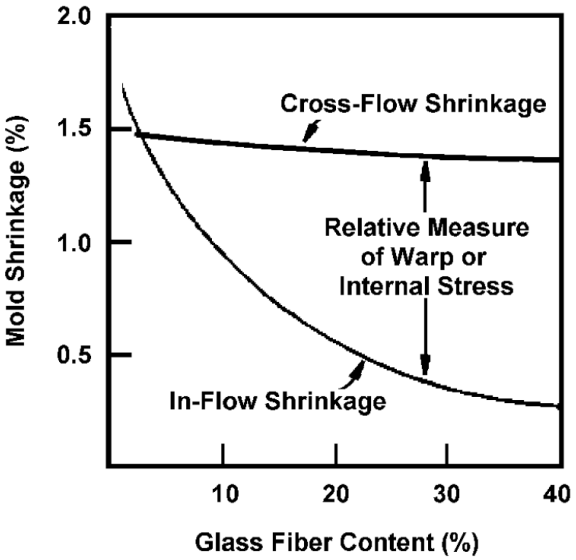


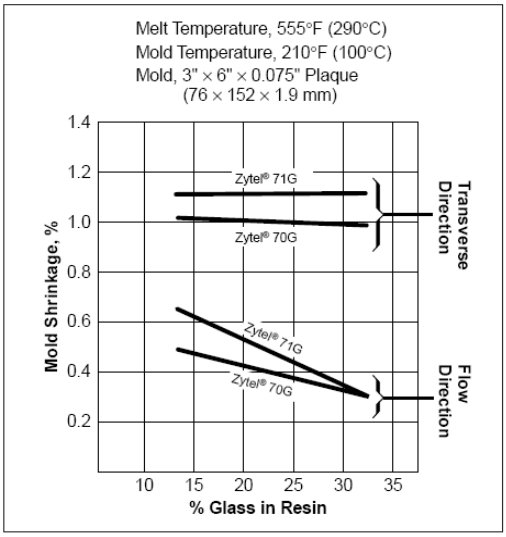
Figure 4.5 The mold shrinkage for 30%-glass-fiber reinforced PBT varies with direction (in-flow vs cross-flow) and with part thickness.[6] *(Reproduced by permission of Hanser-Gardner.)*



Rys. 24 Zależność skurczu od grubości ściany (3)

Rys. 25 Wpływ ilości włókna na skurcz(3)

Figure 13. Mold Shrinkage versus Glass Content Thickness—1.9 mm (0.075 in)



Rys. 26 Wpływ ilości włókna na skurcz dla PA66; Zytel 70G i 71G (DuPont)

Niehamowany skurcz poprzeczny zmienia się nieznacznie, natomiast hamowany skurcz wzdłużny gwałtownie maleje. Dlatego w miarę wzrostu zawartości włókna rośnie różnica pomiędzy skurczem wzdłużnym i poprzecznym (rys. 25 i 26). Ta różnica może być traktowana jako względna miara skłonności wypraski do deformacji i pojawiania się naprężeń wewnętrznych. Oznacza to, że w miarę podnoszenia zawartości włókna we wtryskiwanym tworzywie, deformacje wypraski będą rosły.
Dlaczego więc robimy sobie na złość? Dlatego, że (jak wcześniej nadmieniono) nasze wypraski muszą osiągnąć takie parametry mechaniczne, aby mogły zastąpić detale metalowe. Jak obejść ten problem?

DATA SHEET - LET01 - Released 18/03/2008 - Technical Assistance

LATI HIGH PERFORMANCE THERMOPLASTICS

KELON A FR H2 CETG/300-V0

Compound based on Polyamide 66 (PA 66).
Heat stabilised. Mineral filler / Glass fibres. UL94 V-0 classified, with halogens, PBB/PBDE and antimonium trioxide free. Product UL certified.
Low thermal expansion coefficient. Very high dimensional stability.

PHYSICAL PROPERTIES - Typical values	STANDARD	VALUE MEASURE UNITS
Density	ISO 1183	1.62 g/cm³
Linear shrinkage at moulding - 2.0 mm thickness (at 60 MPa of cavity pressure)		
Longitudinal	ISO 294-4	0.50 ÷ 0.65 %
Transversal	ISO 294-4	0.60 ÷ 0.85 %

Rys. 27 Skurcz wzdłużny i poprzeczny dla wzmocnionego PA 66 (Lati)

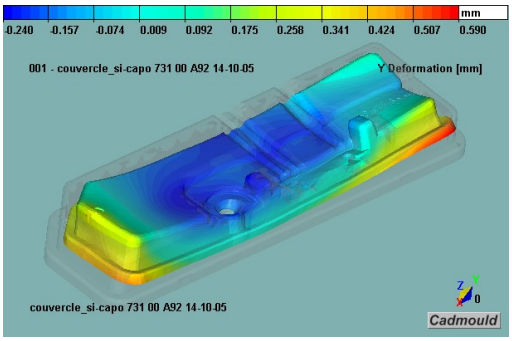
Na przykładzie firmy Lati widzimy, że część włókna zastąpiono ziarnistym wypełniaczem mineralnym i przy żądanych parametrach mechanicznych, uzyskano jednocześnie bardzo małą różnicę skurczu. Przy tak spreparowanym polimerze skłonność wypraski do deformacji będzie malała.

Geometria wypraski i konstrukcja formy

Praktycznie, rozpatrywanie wpływu kształtu wypraski na deformacje, bez lokalizacji przewężki / przewężek, nie jest możliwe. A lokalizacja przewężki to nic innego jak element ściśle związany z konstrukcją formy. Najlepiej zbadać wpływ różnych czynników na zmianę wymiarów i deformacji wypraski na prostych przykładach (wypraski o prostych geometriach).

Przykład I

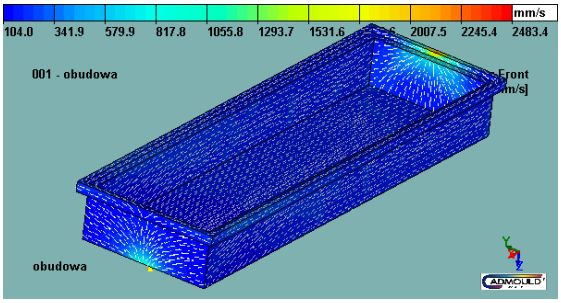
Obudowa modułu elektronicznego wtryskiwana z PA6+30%GF. Wymiary wypraski 180x59x23 mm; gramatura 54,5 gr. Klient zgłosił się do naszego Działu Analiz z problemem nadmiernych deformacji. Wypraska musi spełniać ostry warunek szczelności i obrzeże powinno być dokładnie płaskie.

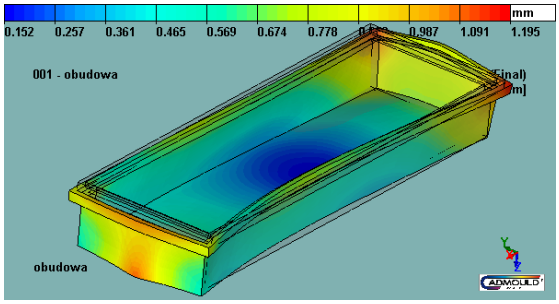


Rys. 28 Obraz deformacji obudowy (powiększone x5)

Spróbujemy wyjaśnić przyczyny deformacji, wykonując kilka analiz w programie **Cadmould** na uproszczonym modelu.

Analiza wyjściowa



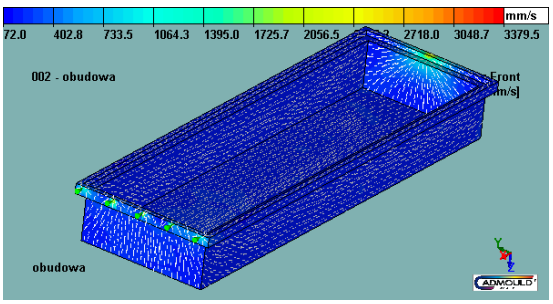


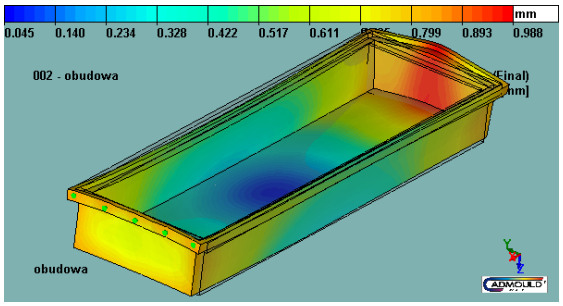
Orientacja Deformacja

Rys. 29 Obraz orientacji i deformacji

Na rys. 29 widać, że deformacje spowodowała orientacja, która jest wypadkową geometrii wypraski i lokalizacji przewężki. Mimo, że forma już istnieje (2 gniazdowa GK) hipotetycznie możemy założyć możliwość zasilenia wypraski w innym miejscu.

Eksperyment I - została zaproponowana przewężka szczelinowa na krótszym boku.



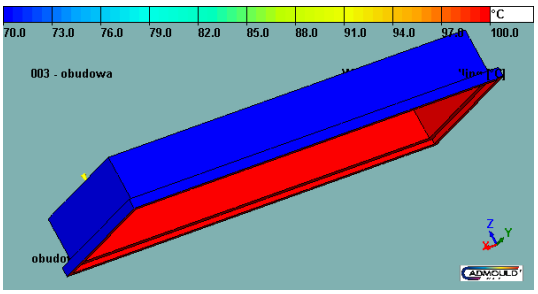


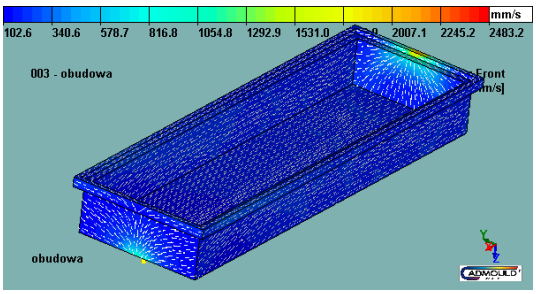
Orientacja Deformacja

Rys. 30

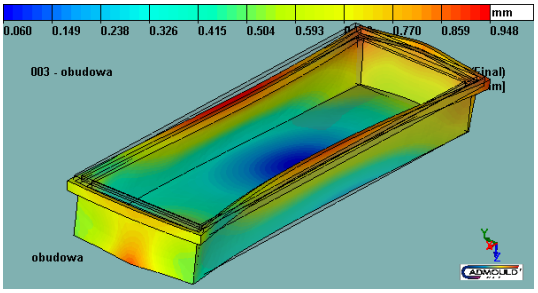
Widzimy, że dzięki zmianie orientacji deformacje od strony zasilenia są akceptowalne. Na długich bokach nieco mniejsze, ale na przeciwległym boku wszystko zostało po staremu. Poza tym narzędziownia nie chce radykalnie przebudowywać formy i trzeba znaleźć delikatniejszy sposób na wyprostowanie wypraski. Podejmujemy więc próbę znalezienia odpowiednich parametrów procesu.

Eksperyment II - zaczynamy od cieplejszego stempla i chłodniejszej matrycy. Pozostałe parametry pozostają nie zmienione.





Temperatura formy Orientacja



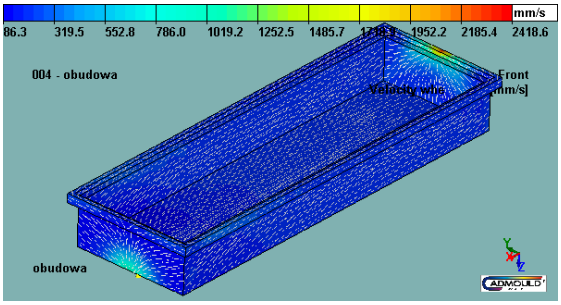
Deformacje

Rys. 31

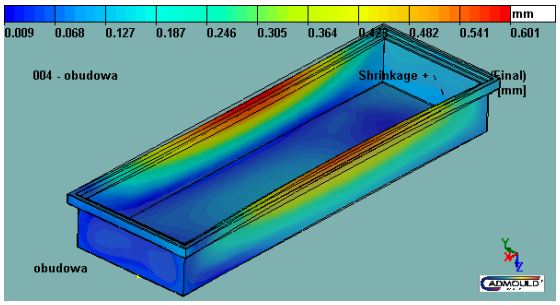
Widzimy, że ta próba jest bezowocna (rys. 31). Orientacja jest identyczna, deformacje w swoim kształcie i wartości są podobne jak w analizie wyjściowej.
Wniosek: W przypadku wtrysku tworzywa z włóknem, dominujący wpływ na deformacje posiada orientacja. Aby zmienić wielkość i rodzaj deformacji trzeba przede wszystkim zmienić obraz orientacji.
Z naszego doświadczenia wynika, że zmiana innych parametrów, takich jak prędkość, czas i ciśnienie nie zmieniają obrazu orientacji, więc ich wpływ na zmianę deformacji jest znikomy. Szkoda czasu na takie eksperymenty.
W tej sytuacji jedyny sensowny ruch to próba zmiany orientacji. Najłatwiej zmienić orientację poprzez zmianę położenia przewężki. Najłatwiej w **Cadmould**, ale nie w istniejącej formie. Dlatego spróbujemy skorygować geometrię wypraski poprzez zmianę grubości ścian w wybranych miejscach.

Eksperyment III - ten eksperyment zakończył się wynikiem negatywnym. Kilka prób z różnymi zmianami grubości w różnych miejscach nie zmieniło orientacji i deformacje pozostały na poprzednim poziomie.
Tego typu wypraski „prostuje" się sposobem podanym w przykładzie IV w części I artykułu. Niektóre polskie narzędziownie od wielu lat z powodzeniem stosują ten sposób.

Eksperyment IV - pozostała ostania próba do sprawdzenia. Zaproponowano zmianę tworzywa na materiał z wypełniaczem ziarnistym, który posiada podobny skurcz wzdłuż i w poprzek. Wtryśniemy teraz PA + 50% mikrokulek szklanych.



Orientacja



Deformacje

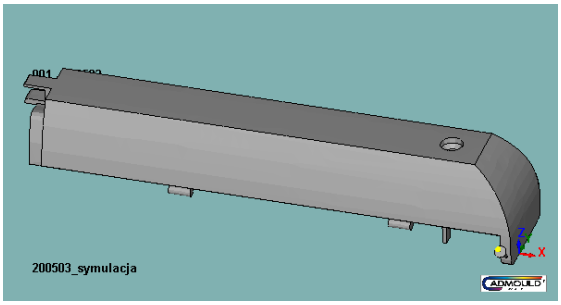
Rys. 32

Mimo tej samej orientacji uzyskaliśmy płaską wypraskę z nieznacznymi odchyleniami długich bocznych ścian. Tylko jednorodny skurcz (włókno zastąpiono wypełniaczem ziarnistym) jest w stanie przeciwstawić się zgubnym wpływom orientacji.
Ta prosta geometria dała nam strasznie w kość. Od tej pory zaczęliśmy doceniać potęgę orientacji.

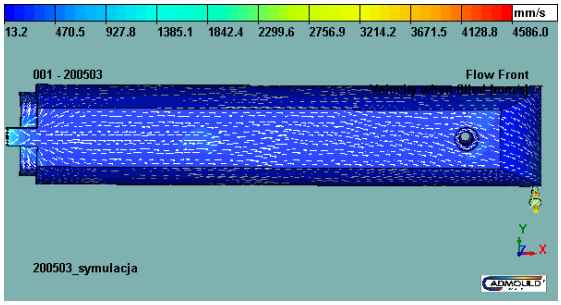
Przykład II

Osłona wtryskiwana z PA Zytel 70G 33L, wymiary 115x26x23, gramatura 16,8 gr. Klient zgłosił problem krzywienia się wypraski w płaszczyźnie XY.

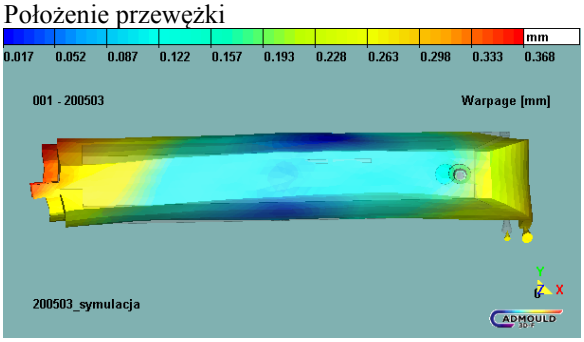
Rys. 33 Wykrzywiona osłona- wtryskiwana w dolny prawy róg.



Położenie przewężki



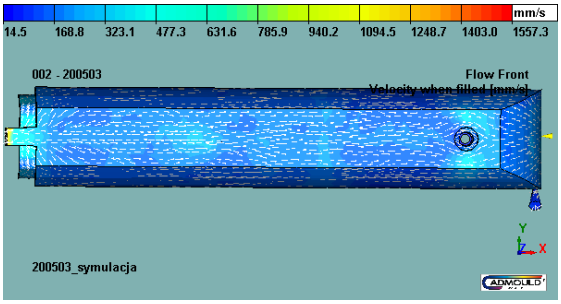
Orientacja



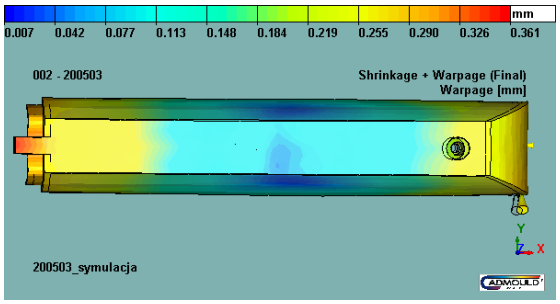
Skrzywienie

Rys. 34 Wpływ orientacji na skrzywienie

Tym razem już pierwsza próba przyniosła rozwiązanie problemu. Przeniesienie przewężki na oś symetrii wyprostowało wypraskę.



Orientacja



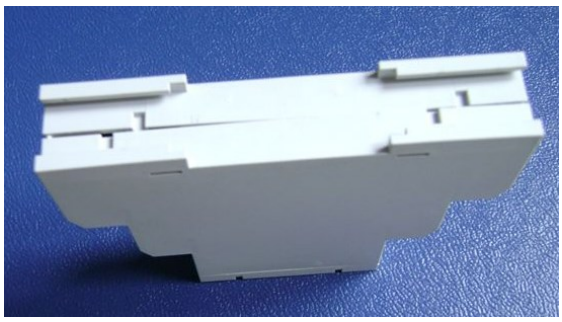
Skrzywienie

Rys. 35 Wyprostowana przez orientację wypraska.

Dla tego przykładu dalsze komentarze są zbędne. Klient przesunął przewężkę zgodnie z zaleceniem i zaczął zarabiać pieniądze.

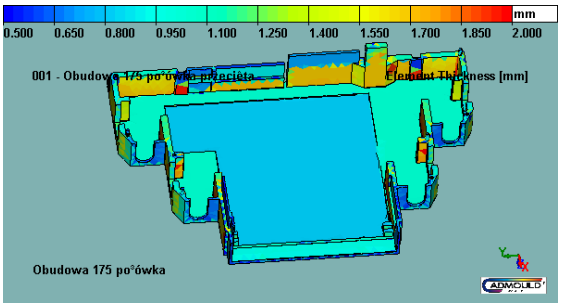
Przykład III

Obudowa, wypraska wtryskiwana z PA66+25%GF. Wymiary wypraski 63x90x16, gramatura 9,6 gr. Przewężka doprowadzona centralnie w ścianę czołową wypraski.

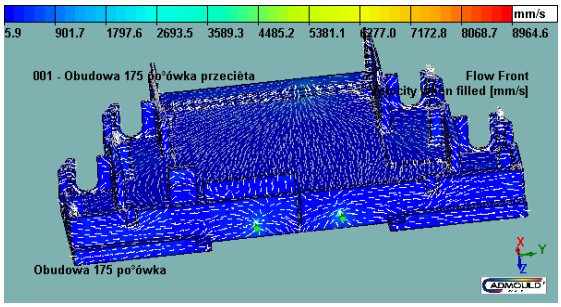


Rys. 36 Zmontowany zespół

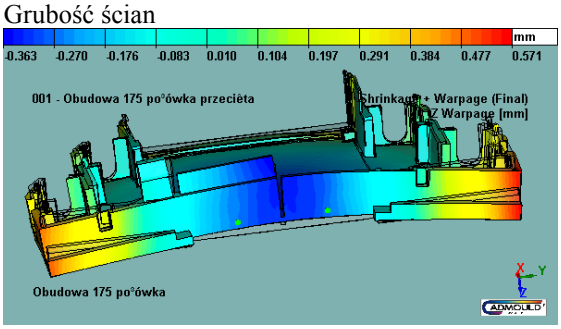
Wykrzywienie wypraski uniemożliwia prawidłową współpracę obudowy z zamkniętym modułem elektronicznym.



Grubość ścian



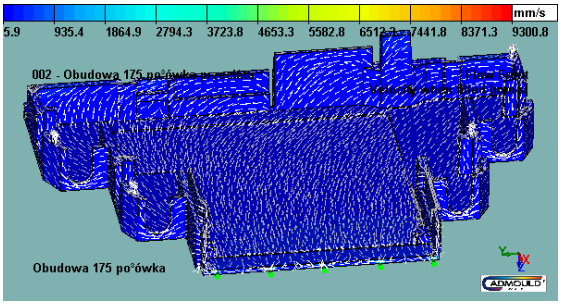
Orientacja



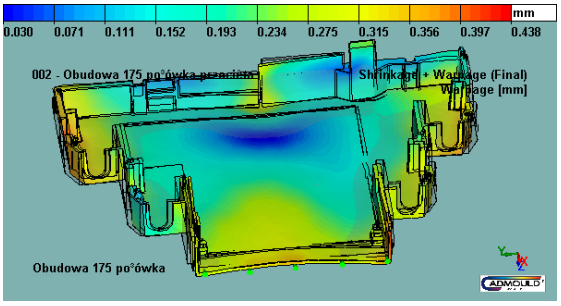
Deformacje

Rys. 37 Orientacja narzuciła kierunek deformacji

Kombinacje z przecięciem ściany czołowej i dołożeniem przewężki nic jak widać nie zmieniły. Podejmiemy próbę prostowania wypraski poprzez zmianę lokalizacji przewężek i modyfikację grubości wybranych ścian.



Orientacja



Deformacje

Rys.38

Dopiero drastyczna ingerencja w grubość ścian (ok. 1,2 mm dla całej wypraski) i zastosowanie przewężki szczelinowej po stronie przeciwnej, spowodowało zmianę charakteru deformacji. Jednak ich wartość jest w dalszym ciągu za wysoka. W tej sytuacji możemy jedynie zalecić przejście na polimer z wypełniaczem ziarnistym (np. mikrokulki szklane), podobnie jak w przykładzie I, lub modyfikację geometrii gniazda formującego.

Wnioski:

1 – geometria wypraski:
Geometria jest podstawowym czynnikiem wpływającym na deformacje wypraski. Deformacje należy rozpatrywać i przewidywać w ścisłym związku z typem polimeru wytypowanego do aplikacji na konkretny detal. Zupełnie inaczej wypaczy się ta sama wypraska wtryśnięta np. z czystego PA, a zupełnie inaczej z PA wzmocnionego 30% włókna szklanego. Dla polimerów nie wzmocnionych zasada stałej grubości ściany jest kardynalnym wymogiem bezproblemowej produkcji po najniższych kosztach.

2 - konstrukcja formy:
Dla polimerów wzmocnionych włóknami, położenie przewężki jest główną przyczyną takiej a nie innej orientacji i powoduje taką a nie inną deformację i błędy wymiarowe. Dlatego ścisłe powiązanie geometrii wypraski z lokalizacją przewężki, jest podstawowym wymogiem projektowym. Jego spełnienie nie jest możliwe bez prowadzenia odpowiednich analiz w programach symulacyjnych.

3 - technologia:
Parametry wtrysku jak:

- temperatura stopu i formy (różnicowana dla obu połówek)
- prędkość wtrysku
- ciśnienie docisku
- czas docisku i chłodzenia

praktycznie nie mają wpływu na zmianę obrazu orientacji, a zatem na wynik w postaci określonej deformacji dla wyprasek z polimerów wzmocnionych włóknami.

Odwrotna sytuacja obowiązuje dla tworzyw nie wzmocnionych: wymienione wyżej parametry mają decydujący wpływ na wymiary i deformacje wypraski.

4 - zastosowane tworzywo:
Polimery amorficzne ze względu na dużo mniejszy skurcz i związane z tym mniejsze różnice skurczowe względem polimerów krystalicznych, pozwalają na uzyskanie wyprasek o mniejszych tolerancjach i deformacjach. Wszystkie polimery wzmacniane włóknami sztywnymi powodują gwałtowny wzrost deformacji. Aby korzystać z wysokich parametrów mechanicznych oferowanych przez materiały wzmocnione, należy szerzej korzystać z wypełniaczy ziarnistych.

Literatura

1. John Phillip Beaumont - Runner and Gating Design Handbook Hanser
2. Technical Information for Experts 05/99e Warpage characteristics of fiber reinforced injection-molded parts BASF

13.Wykorzystanie programów symulacyjnych do analizy niesprawności form wtryskowych

Oczekiwania

Każda narzędziownia wykonując formę stawia sobie za cel realizację żądań klienta. Narzędziownia uważa że posiada fachowych konstruktorów z wieloletnim doświadczeniem oraz możliwości precyzyjnej obróbki metalu. Wychodząc z tego założenia twierdzi że spełni wszystkie życzenia odbiorcy.
Wtryskownia oczekuje że zakupione narzędzie, zgodnie z zapewnieniem narzędziowni, spełni postawione wymogi :

-Terminowa dostawa
-Możliwie duża wydajność (krótki cykl)
-Bezawaryjna praca (wysoka niezawodność)
-Odpowiednia trwałość (miliony cykli)
-Wysoka jakość wypraski(bezbłędna powierzchnia i kształt)

Efekty

Często są opłakane. Niestety, mimo zapewnień narzędziowni, większość wymagań nie jest spełniona. Można mówić o sukcesie kiedy forma została dostarczona terminowo i chce pracować. Jednak nagminnie występują problemy z jakością wypraski (jakość powierzchni i kształtu)
Przyczyny zaistniałej sytuacji były wielokrotnie poruszane i wyjaśniane na łamach prasy fachowej i w wielu dyskusjach. Chciałbym przypomnieć tutaj wysiłki naszego niestrudzonego kolegi Henryka Zawistowskiego i odesłać zainteresowanych do Jego niezliczonych artykułów i publikacji.
Jednak na dziś problem pozostaje i żeby produkować (czyt. przeżyć) musimy we własnym zakresie go rozwiązać. To znaczy że wtryskownia samodzielnie musi zidentyfikować przyczyny wad, postawić właściwą diagnozę i zmusić narzędziownię do wprowadzenia poprawek a w najgorszym przypadku do gruntownej przebudowy formy.
Jest to zadanie heroiczne i bez pewnych procedur i narzędzi jesteśmy skazani na porażkę.

Próba naprawy

Jak już wcześniej powiedziano, należy zacząć od przeprowadzenia rzeczowej analizy która wyjaśni przyczyny istniejących wad i pozwoli podjąć właściwe działania.
Proponujemy następującą procedurę, zgodną zresztą z metodami wypracowanymi przez fachowców od eksploatacji – nic nowego tu nie wymyślamy.

Kolejne kroki przy analizie wad

1- dokładne zdefiniowanie problemu

2- analiza konstrukcji na podstawie dokumentacji

3-sprawdzenie budowy formy na zgodność z dokumentacją konstrukcyjną

4-analiza technologiczna
-analiza reologiczna
-analiza termiczna
- analiza mechaniczna

5- wnioski

6- działanie naprawcze

Najbardziej szczegółowa i dla trudnych przypadków najbardziej efektywna jest analiza technologiczna. Jest wtedy efektywna kiedy korzystamy z odpowiednich narzędzi analitycznych .Są to programy do symulacji wtrysku np. Cadmould itp. przy analizie reologicznej i termicznej i/lub programy do analiz strukturalnych np. Nastran w NX itp. do analiz mechanicznych. Wymienione programy są stosunkowo łatwe w obsłudze i możliwe do szybkiego opanowania nawet przez starszych wiekowo inżynierów.

Z **analizy reologicznej** dostaniemy dużo informacji takich jak:

-Obraz wypełniania gniazda tworzywem(linie łączenia, pułapki gazowe)

-Parametry przepływu: temperatura (ciśnienie, prędkość, naprężenia ścinające itd..,)

-Sprawdzenie poprawności lokalizacji przewężki (przewężek)

Z **analizy termicznej** uzyskamy m/in bardzo ważną jeśli nie najważniejszą informację jaką jest kontrola jednorodności termicznej. W praktyce produkcyjnej jest to parametr nie do sprawdzenia (chyba że posiadamy kamerę termowizyjną, ale takowe w polskich wtryskowniach są b. rzadko spotykane)

Analiza mechaniczna wyjaśni przyczynę pękania matrycy, nadmiernego uginania się płyty czy stempla itd.

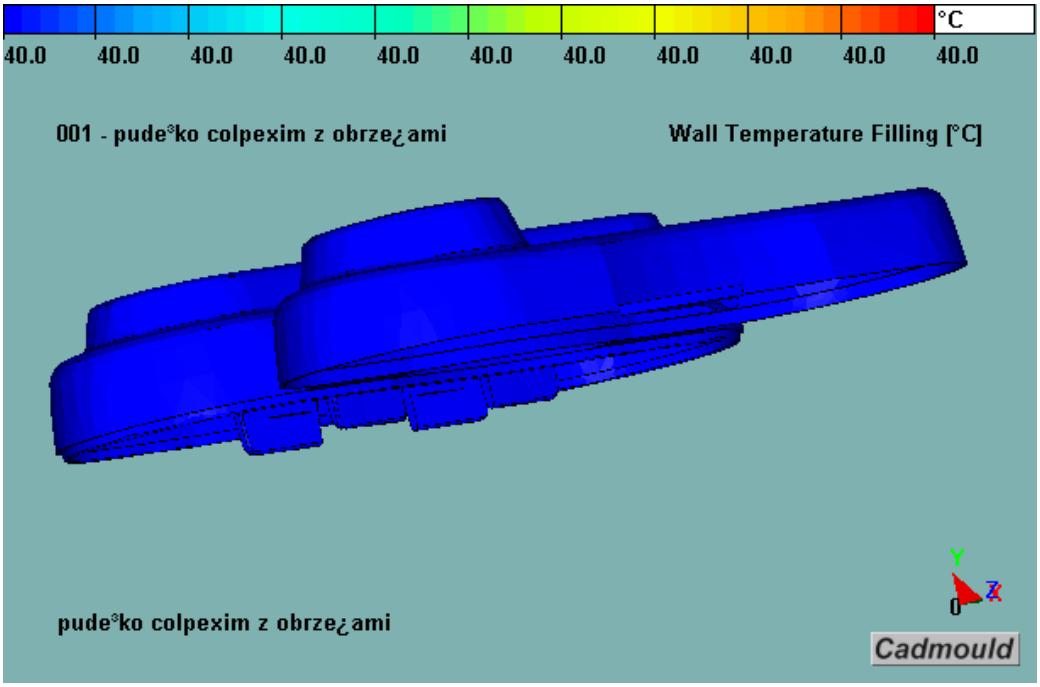
Przykłady
Oto kilka przykładów które pokazują wykorzystanie programów typu MES (i nie tylko) przy analizie wad wyprasek i niesprawności narzędzi:

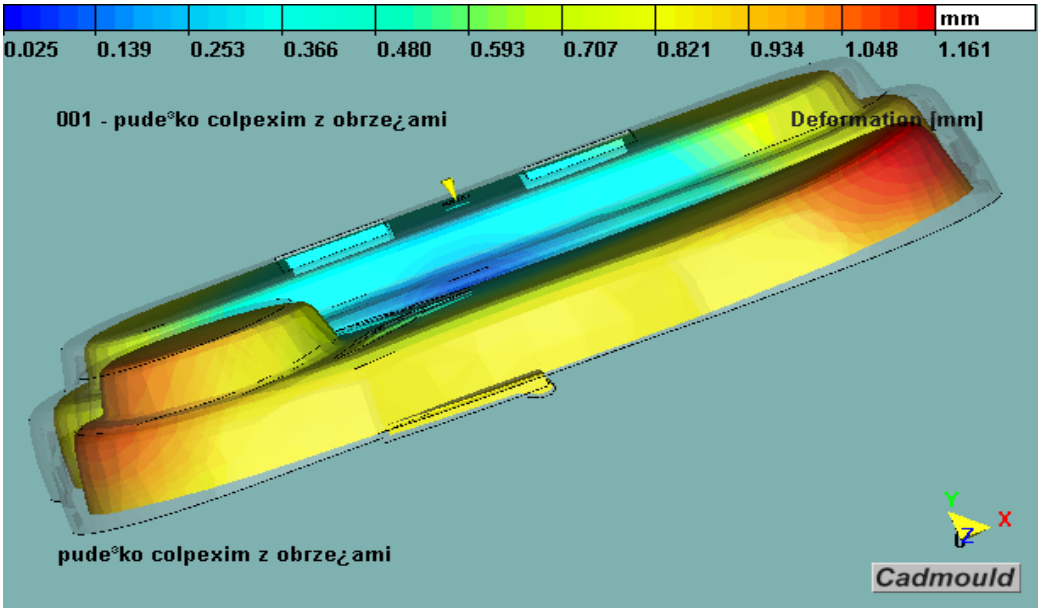
1. Paszcza rekina – co zrobić żeby dwie części pudełka przylegały do siebie?
Wypraska- pudełko z PP z zawiasami integralnymi.
Forma - 1 gniazdowa ;wtrysk przez dyszę GK w środek dolnej części pudełka.

Wypraska wadliwa Wypraska dobra

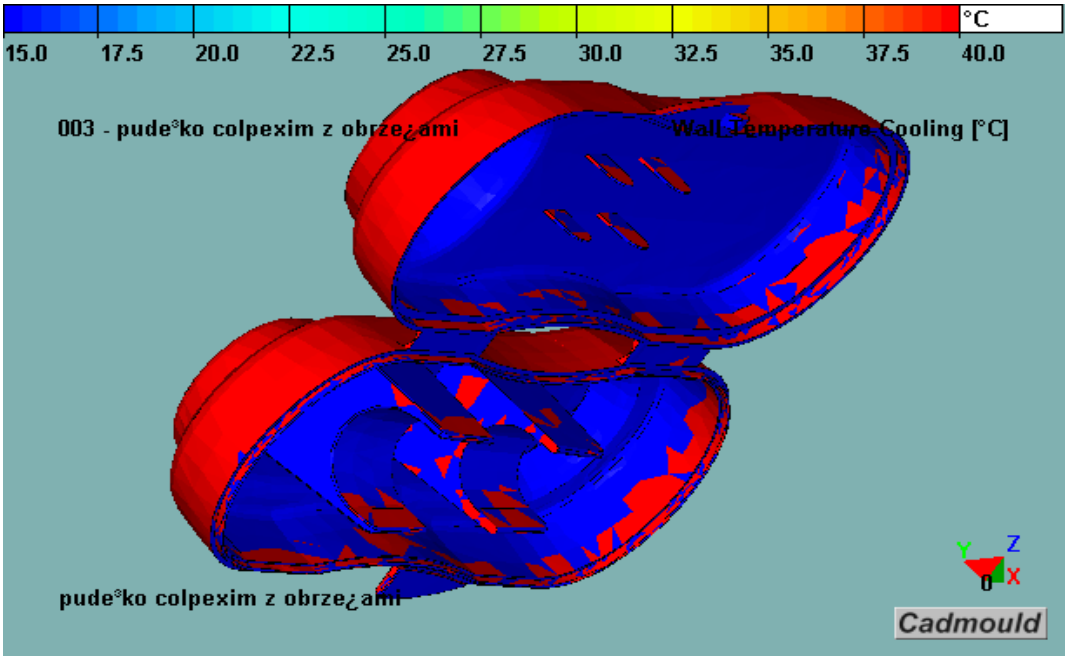
Wadą wypraski jest duża deformacja-wygięcie obu części pudełka od siebie-a w efekcie powstanie na obwodzie dużej nierównej szczeliny .Wszystkie zabiegi polegające na poszukiwaniu właściwych parametrów technologicznych przyniosły mierne rezultaty.

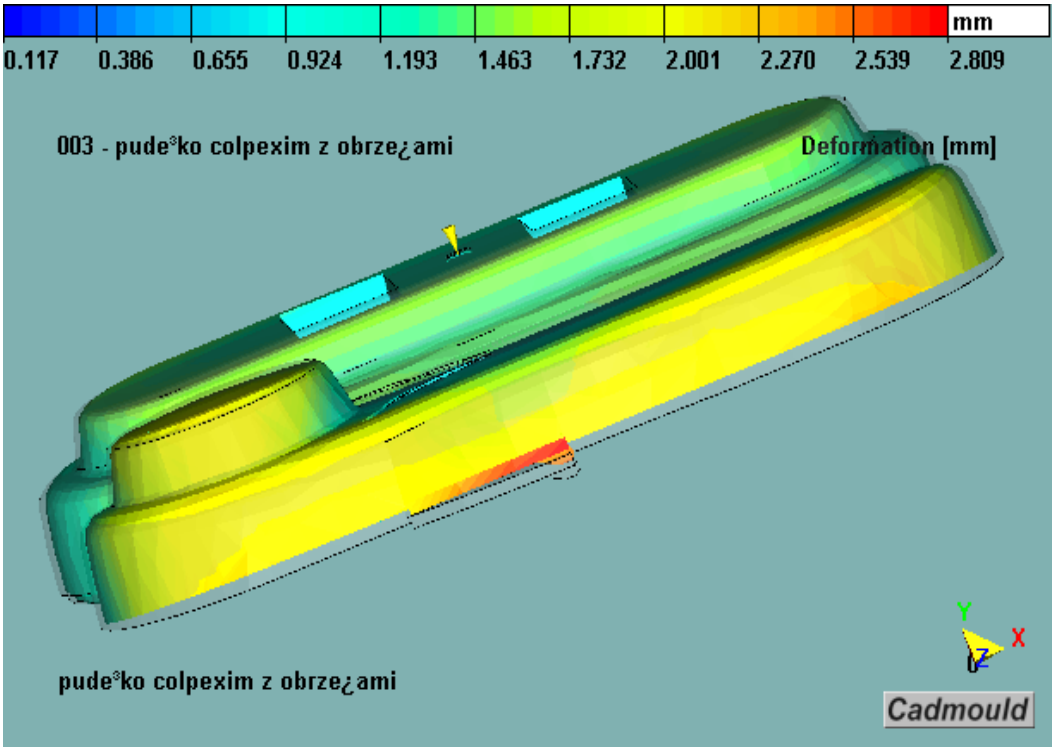
Dla zastosowanych na wtryskarce parametrów została wykonana symulacja wtrysku . Przy stałej temperaturze stempla i matrycy równej 40 st. C analiza pokazała podobną deformację jaka wystąpiła w wyprasce.





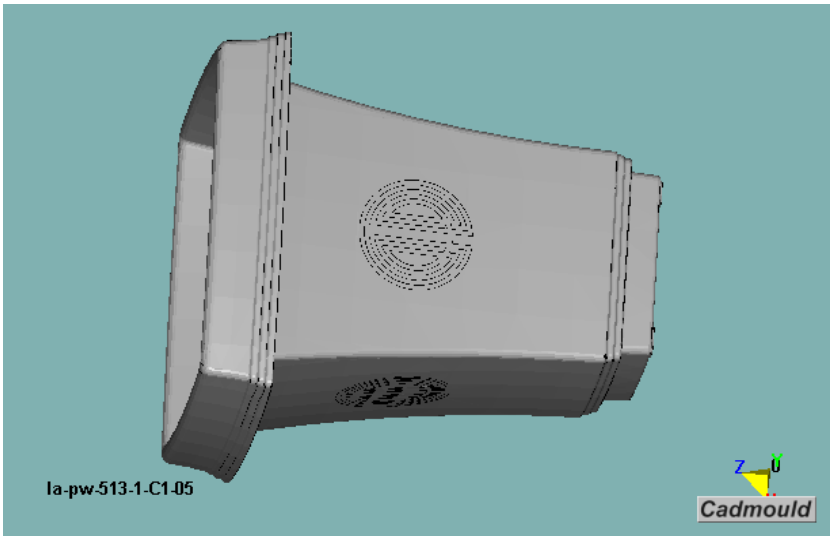
Powtórzenie symulacji dla zróżnicowanej temperatury gniazda formującego; stempel 15 st.C
i matryca 40 st.C (warto się zastanowić dlaczego przy chłodnym stemplu i ciepłej matrycy wypraska została przegięta w stronę stempla; teoria i praktyka wskazują że powinno być odwrotnie)został uzyskany poprawny kształt wypraski





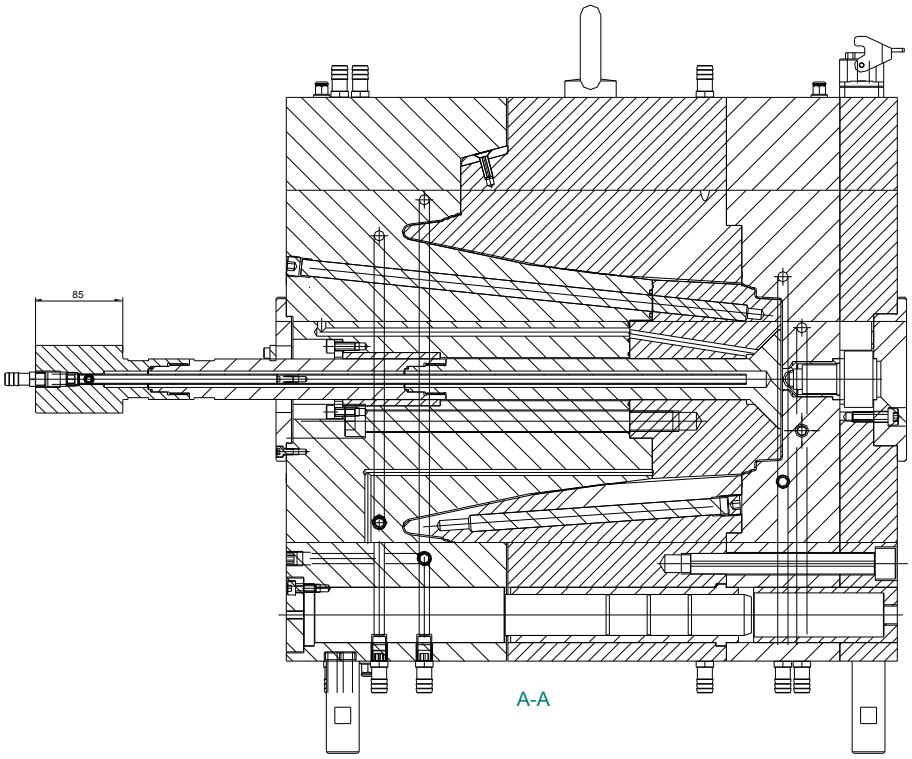
Po podłączeniu do formy drugiego termostatu i nastawieniu temperatur zgodnie z zaleceniami analizy, została uruchomiona produkcja nie zdeformowanych dobrych detali.

2. Trudny poród- czy uda się otworzyć formę aby uwolnić dużą cienkościenną donicę?



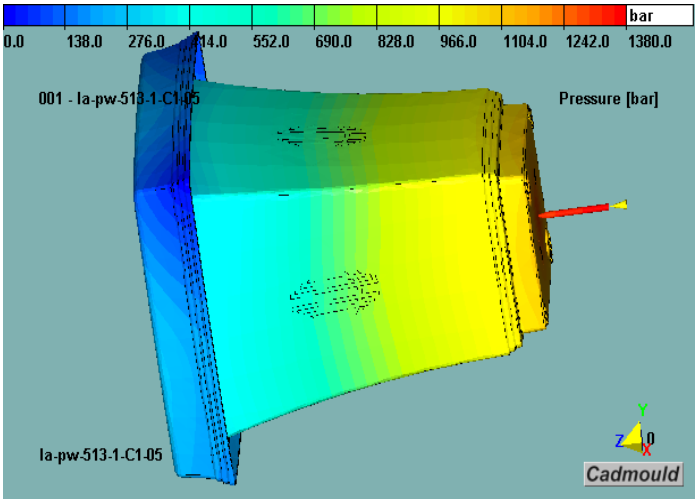
Wypraska- cienkościenna donica 320x320x370 mm o grubości ścianki 1,5 mm z PP o wysokiej płynności; posiada płytką grawerkę na zewnętrznej powierzchni bocznej.

Po napełnieniu gniazda formy do ok. 2/3 wysokości forma nie daje się otworzyć.
Nasuwa się podejrzenie że mało sztywna matryca zakleszcza się na stemplu poprzez wypraskę. Sprawdzenie konstrukcji oraz formy w naturze pokazało że forma została poprawnie zaprojektowana i wzorowo wykonana przez własną narzędziownię .Późniejsza analiza wykazała że matryca posiada wystarczającą sztywność. Wyrzucanie wypraski było realizowane przez centralny wyrzutnik i wspomagane przez układy pneumatyczne od strony stempla i matrycy.

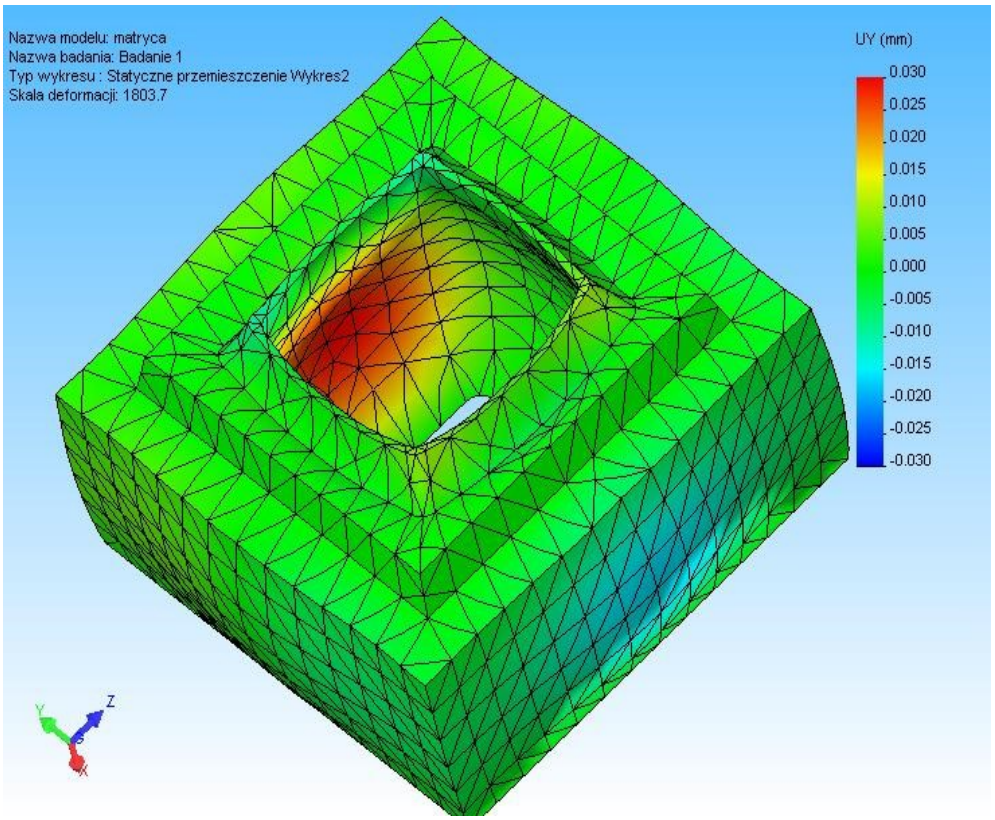


Forma - 1 gniazdowa GK, centralny wtrysk w środek dna wypraski.

Kolejny krok to przeprowadzenie symulacji dla parametrów wtrysku stosowanych przez wtryskownię.



Max ciśnienie wtrysku w gnieździe nie przekraczało 130 Mpa a dla matrycy maksimum wyniosło poniżej 100 Mpa i dla tej wypraski i formy mieściło się w rozsądnych granicach.
Wychodząc od wartości obliczonego ciśnienia wtrysku została przeprowadzona analiza sztywności dla matrycy.

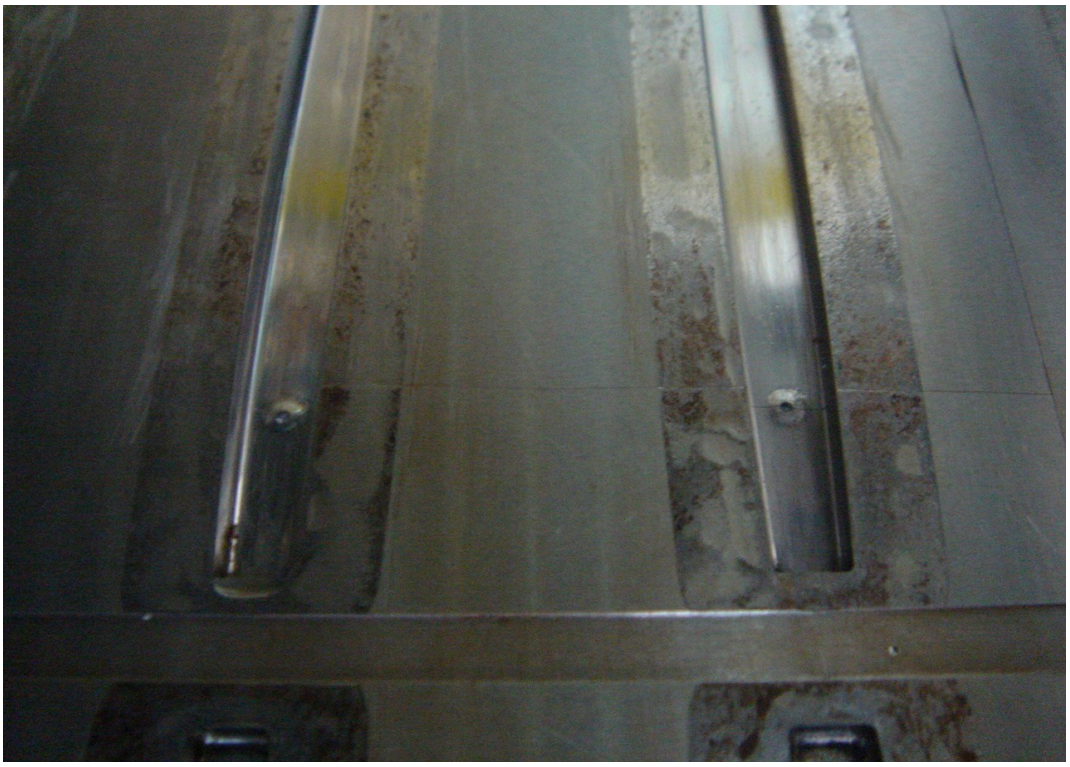


Jak widać z rysunku ,odkształcenia matrycy są na tyle małe że nie mogą powodować zjawiska zakleszczenia. Ten ważny wniosek –**forma jest sztywna** -spowodował zawężenie obszaru poszukiwań i skierował całą uwagę technologa na sposób uwalniania wypraski.
Konstruktor zaplanował że wypraska podczas otwierania formy pozostanie na stemplu z którego później zostanie zepchnięta powietrzem i centralnym wyrzutnikiem (zobacz na konstrukcję formy).Aby nie dopuścić do hazardu i przy każdym cyklu zmusić wypraskę do pozostania na stemplu , w momencie otwierania formy najpierw było podawane powietrze do matrycy. Takie uwalnianie i wyrzucanie wypraski znakomicie się sprawdza dla gładkich wyprasek.
Nasza wypraska ze względów estetycznych została wyposażona, jak wcześniej zaznaczyliśmy, w płytką grawerkę. Przy tak realizowanym sposobie uwalniania wypraski grawerka zadziałała jak klin wciągany

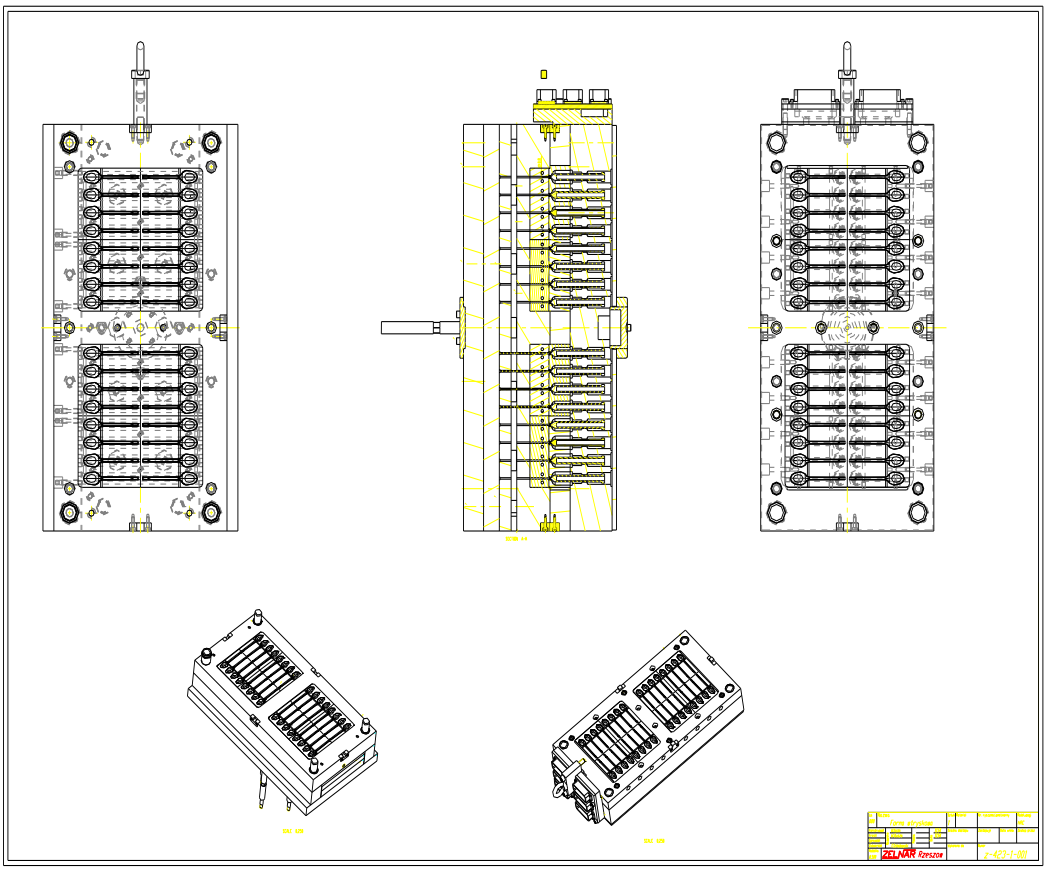
pomiędzy stempel a matrycę, zakleszczała stempel względem matrycy. Zjawisko zakleszczenia charakteryzuje się swoją prawidłowością, im bardziej ciągniemy tym bardziej trzyma .
Żeby otworzyć formę należało zmienić sposób uwalniania wypraski co powoduje zmianę kolejności zasilania stempla i matrycy powietrzem. Najpierw podano powietrze na stempel który swobodnie wysuwał się z wypraski siedzącej w matrycy. Po pełnym otwarciu formy podano powietrze na matrycę w celu wyrzucenia wypraski .
Przeprowadzone symulacje pomogły wskazać sprawcę niesprawności formy i dzięki temu już tej wiosny piękne donice stanęły w naszych ogrodach.
Tylko centralny wyrzutnik okazał się niepotrzebnym gadżetem.

3.Maczuga Heraklesa - dlaczego stalowa hartowana matryca regularnie pęka?

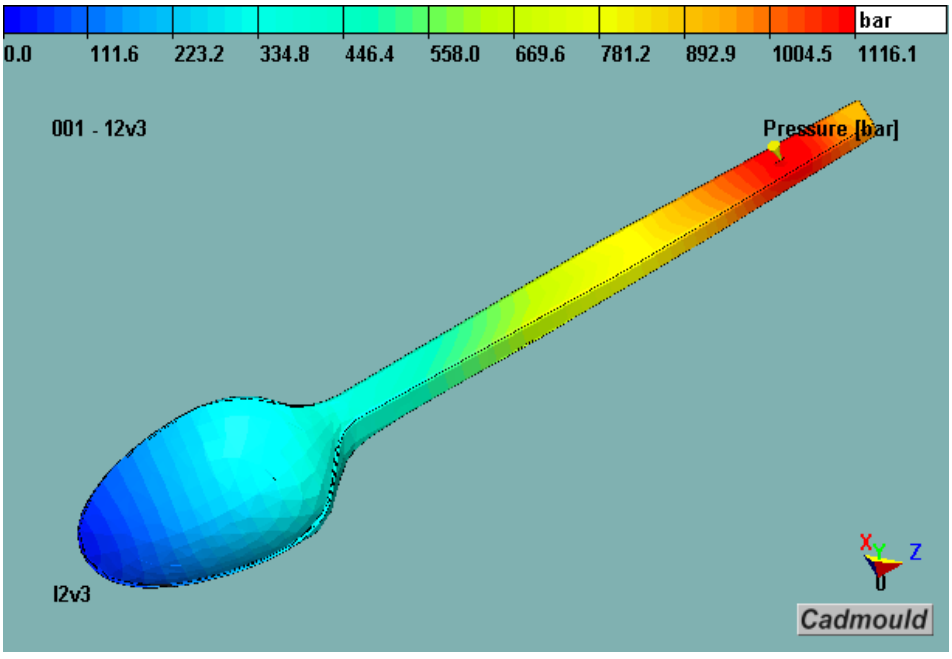
Wypraska - łyżeczka jednorazowa z HIPS o grubości ścianki 0,5do 0,6 mm.
Forma - 24 gniazdowa z systemem GK (typ Cool-One) , z tradycyjnym wtryskiem na końcu trzonka detalu.
Po kilkuset tysiącach wtrysków forma wracała do narzędziowni do kosztownej naprawy ze względu na pękanie matrycy w nieruchomej części formy. Matryca pękała w płaszczyźnie przechodzącej przez przewężki i prostopadłej do podziału formy.



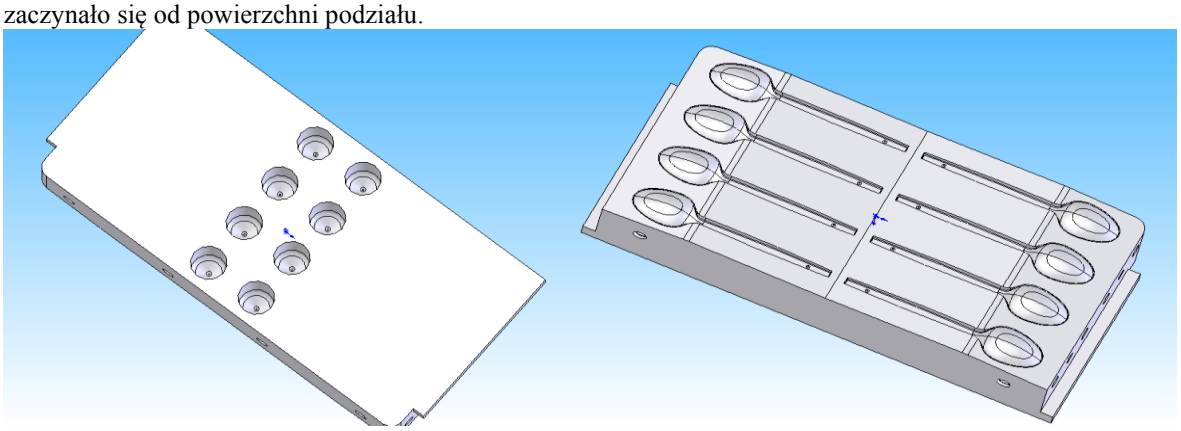
Forma została skonstruowana i wykonana przez drugą najlepszą polską narzędziownię .Analiza konstrukcji potwierdziła że w budowie formy nie popełniono żadnych błędów.



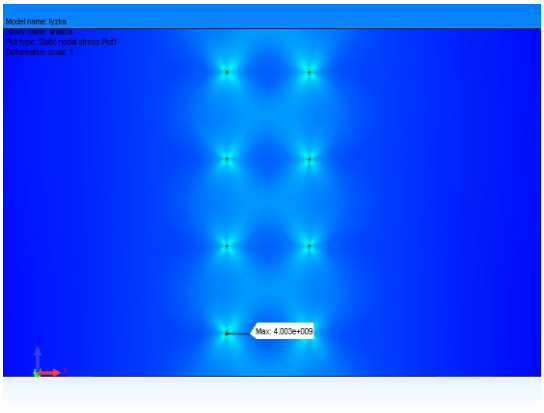
Symulacja wtrysku potwierdziła poprawność stosowanych parametrów technologicznych, a szczególnie wymagane ciśnienie wtrysku.

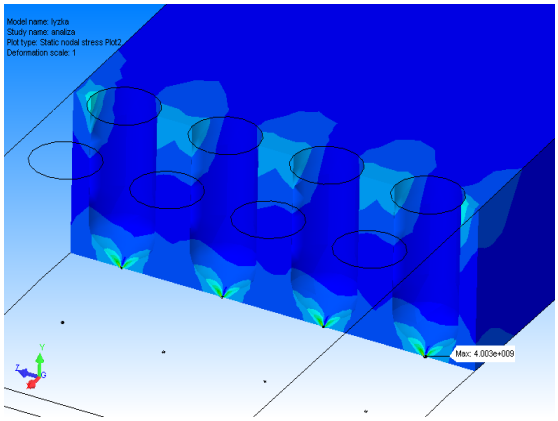


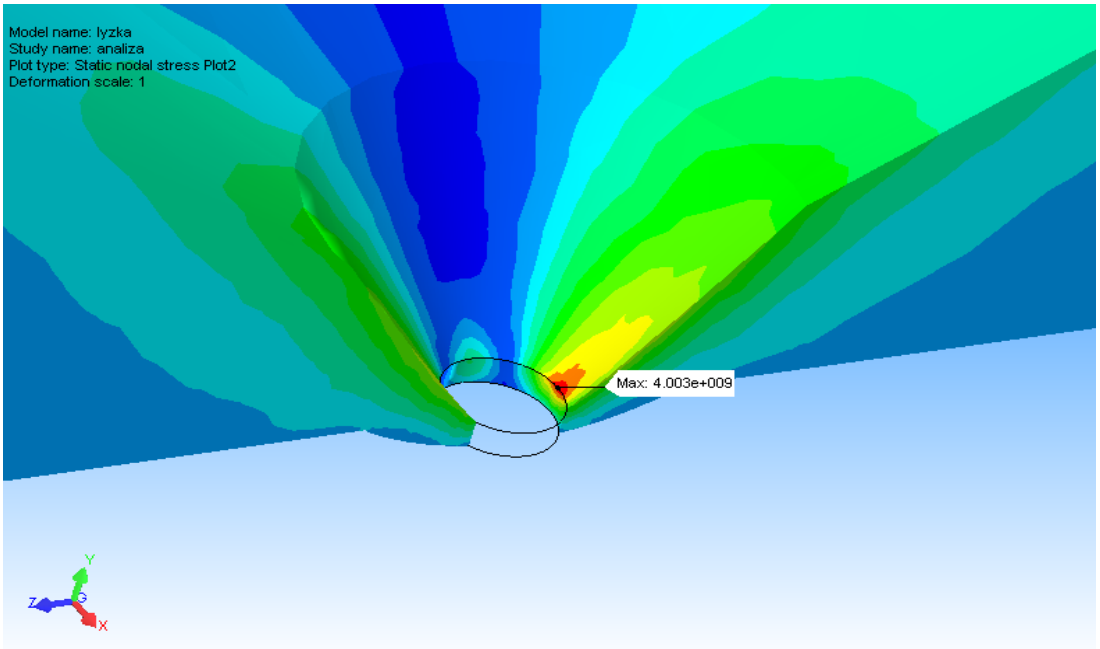
Analizując sposób pękania matrycy i jej zamocowanie w płycie formującej nasunął się wniosek że takie uszkodzenie mogły wywołać jedynie naprężenia gnące .Wskazuje na to również fakt że pękanie zawsze zaczynało się od powierzchni podziału.



Z informacji przekazanych przez wtryskownię wynikało że cyklicznie dochodzi do zablokowania przewężki a w wyniku, przelanie jakiegoś gniazda i uchylenie formy. Jeżeli pod koniec wtrysku ciśnienie w przewężce narasta do około 110 Mpa. to znaczy że w komorze dyszy będzie nieco większe. Z prostego rachunku wynika że siła działająca wzdłuż osi komory o średnicy 23 mm wynosi 45,7kN. W 8 gniazdowej matrycy mamy 8 komór a więc sumaryczna siła zginająca matrycę (podpartą na 2 skrajnych bokach) wyniesie 365,6 kN (36,6 T).
Dla tak określonych warunków została wykonana dla matrycy analiza MES.





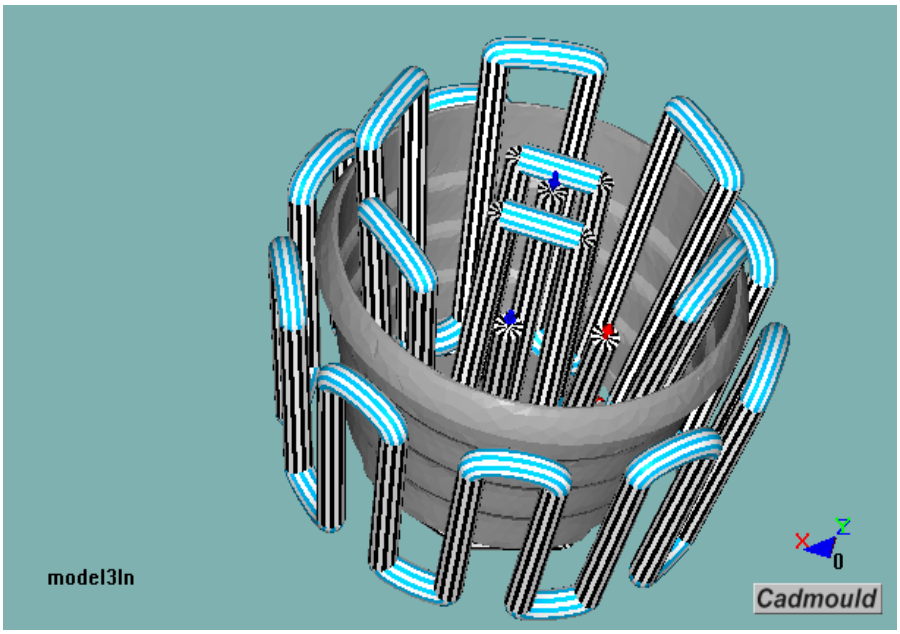


Jak widać z przeprowadzonej analizy ,na krawędzi przewężki (przejście stożka w walec łysinki) generuję się ogromne naprężenie .Dla uproszczenia i skrócenia czasu obliczeń został przyjęty materiał liniowy i jest oczywistym że obliczone naprężenie równe 40000 Mpa jest nieprawdziwe. Mimo to otrzymany obraz rozkładu naprężeń potwierdza nam miejsce początku pękania i jego przyczynę.
Żeby uniknąć pękania matrycy, padła propozycja aby usunąć przyczynę, tzn. zmniejszyć siłę gnącą przez zmniejszenie średnicy komory .Niestety łączyło się to z koniecznością wymiany całego systemu GK na co nie pozwoliły koszty.
Najlepszą propozycją okazał się podział matrycy na dwie części wzdłuż krótszej osi co praktycznie wyeliminowało jej zginanie w krytycznym przekroju.
Na podstawie przeprowadzonych analiz i postawionych wniosków narzędziownia dokonała odpowiedniej modyfikacji formy.

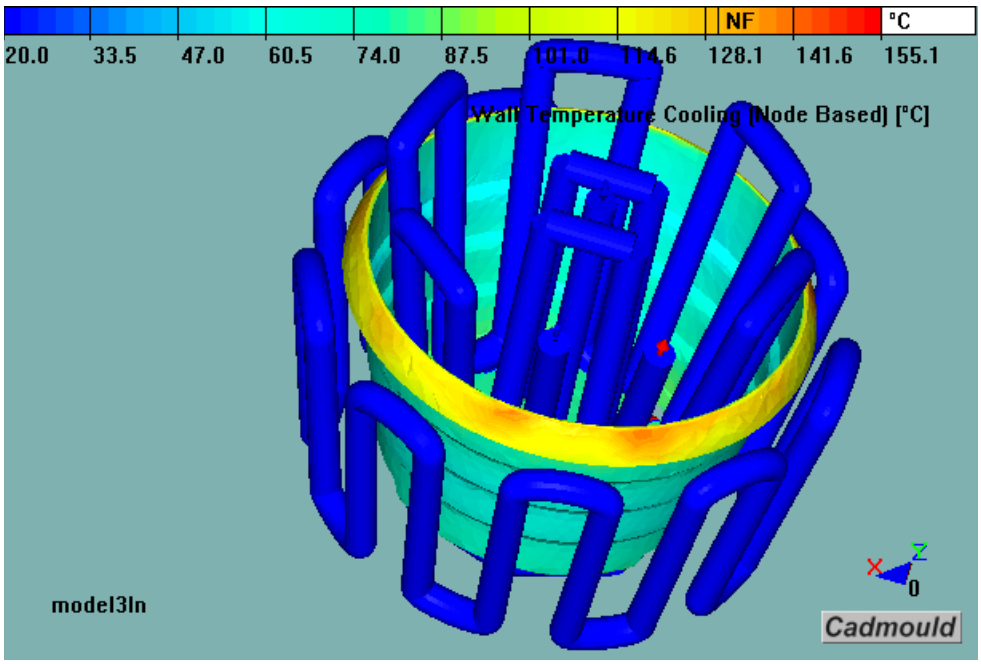
4.Karpatka – dlaczego kołnierz wypraski marszczy się jak lubiane ciastko?

Wypraska- cienkościenna donica z PP o grubości ścianek 0,8 mm do 1 mm na kołnierzu .
Forma - 1 gniazdowa; wtrysk przez dyszę GK w środek dna wypraski.

Wtryskownia zareklamowała formę ze względu na pojawienie się zmarszczek na kołnierzu przy próbie skrócenia czasu cyklu poniżej 12 sek. Aby podołać zamówieniom czas cyklu nie powinien przekraczać 8 sek. Dla tej grubości ścianki, dobre formy i dobre wtryskarki schodzą poniżej 6 sek.
Narzędziownia (całkiem niezła) ,jak zwykle, odbiła piłeczkę twierdząc że przyczyną widocznej wady są źle dobrane parametry procesu głównie fazy docisku.
Żeby rozstrzygnąć spór została zaproponowana symulacja.
Najpierw zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną został zamodelowany układ chłodzenia wypraski, jest to najbardziej pracochłonny i nie lubiany przez analityków etap pracy.



Dla tak przygotowanego modelu została wykonana symulacja wtrysku dla parametrów zastosowanych przez wtryskownię.
Najbardziej zainteresował nas wynik analizy przedstawiający rozkład temperatur dla powierzchni wypraski w momencie otwarcia formy.



Jak widać z przedstawionego rysunku ,we fragmencie formy-pierścień spychający- nie zostało zaprojektowane chłodzenie. Z tego powodu temperatura kołnierza w chwili otwarcia formy przekraczała 150 st C kiedy to pozostała powierzchnia wypraski osiągała już ok. 60 st. C.
Po zapoznaniu się z wynikami symulacji narzędziownia wprowadziła chłodzenie do pierścienia spychającego. Spór zakończył się bo ruszyła produkcja dobrych wyprasek w wymaganym cyklu.

Podsumowanie
Jesteśmy świadkami istotnych zmian zachodzących w rodzimym przemyśle przetwarzającym plastiki. Zaczęło się kilka lat temu kiedy polskie wtryskownie uruchomiły wymianę starych prymitywnych wtryskarek na nowe. Ten proces wymiany praktycznie już się zakończył .

Druga fala dotyczy narzędziowni. Aby sprostać wymogom wtryskowni zaczęły intensywnie inwestować w programy 3D typu CAD/CAM oraz obrabiarki i centra obróbkowe CNC. Ten proces trwa i rozwija się.
Przed nami trzeci etap ,nazywam go trzecią rewolucją. Do narzędziowni i wtryskowni muszą wejść nowe narzędzia w postaci programów symulacyjnych. Złożoność konstrukcji i procesów technologicznych jest już tak duża że rozwiązanie wielu problemów na tzw piechotę czy nawet genialny nos jest już niemożliwe.

Literatura:

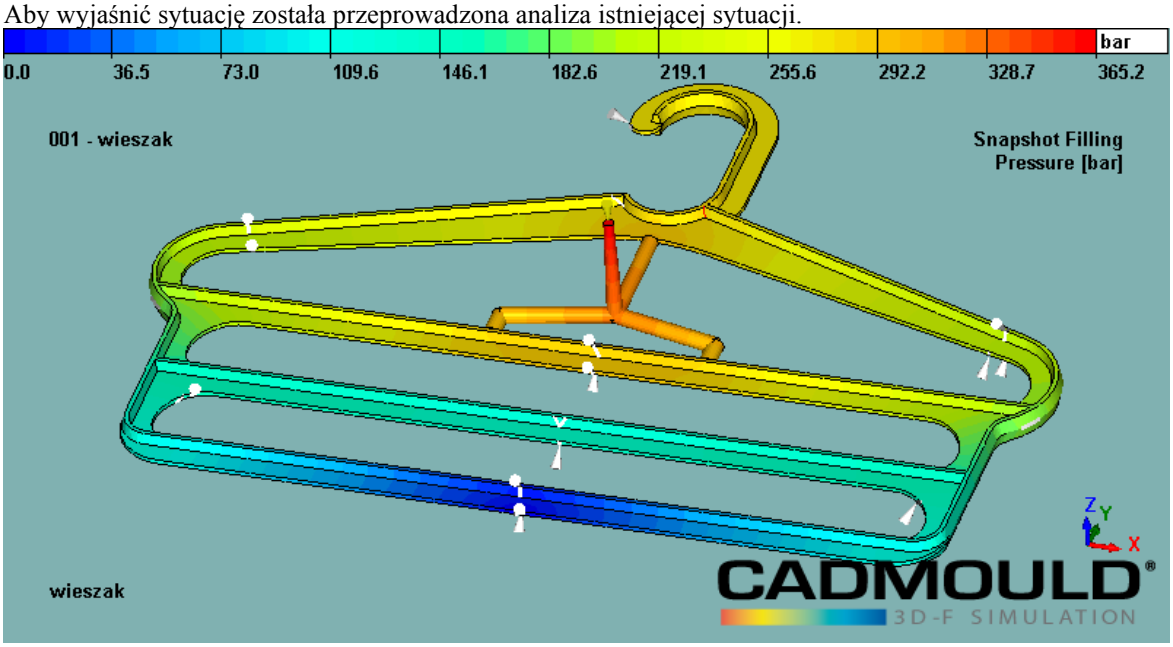
1. John Phillip Beaumont - Runner and Gating Design Handbook

14.Wpływ lokalizacji przewężki na wady wypraski

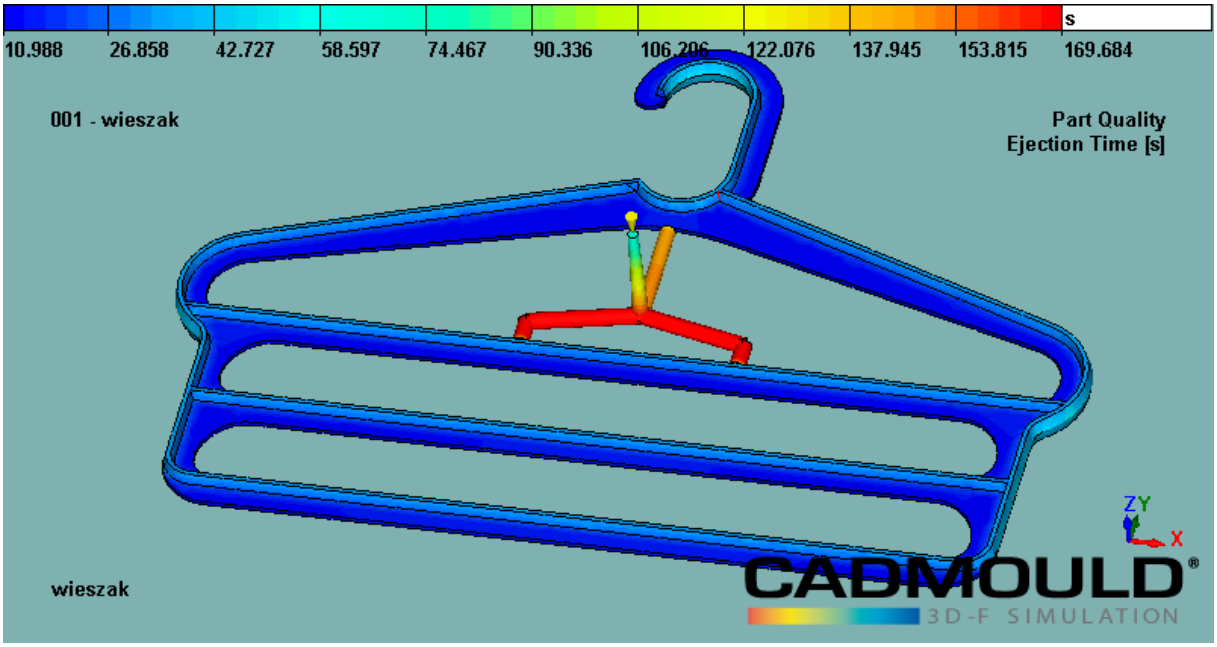
Nawet tak banalna wypraska jak wieszak do ubrań może sprawić kłopotliwą niespodziankę.

Wieszak jest produkowany na formie 1 gniazdowej w czasie cyklu = 37 s, na maszynie o sile zwarcia 120 Ton z PP o wskaźniku płynięcia MVR~15. Kanały doprowadzające stop (wewnątrz wypraski) są wycinane ręcznie przez pracownika.
Przy produkcji i podczas użytkowania wystąpiły następujące problemy:
– zbyt długi czas cyklu, - -
- deformacje wypraski,
- pękanie wypraski w środku dolnych poprzeczek.

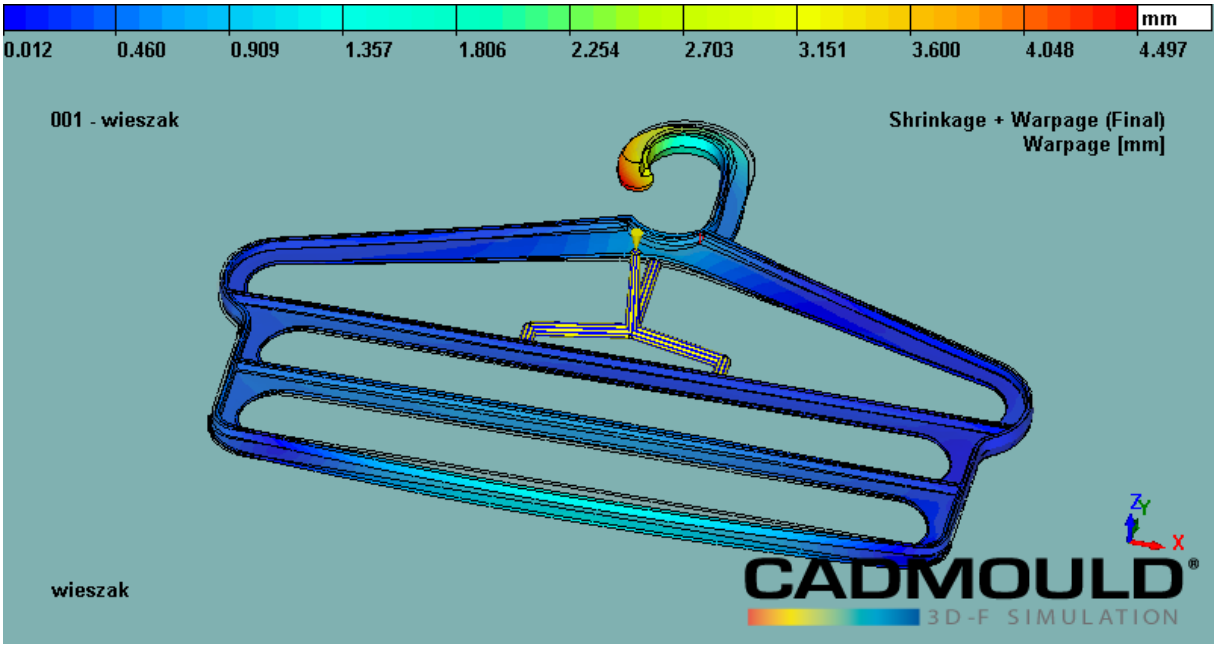
Aby wyjaśnić sytuację została przeprowadzona analiza istniejącej sytuacji.



Czas wtrysku 2,6 s; ciśnienie wtrysku 365 bar, siła zwarcia = 100 Ton przy ciśnieniu docisku 400 bar. Białe linie i białe stożki pokazują miejsca łączenia frontów stopu, potencjalne miejsca pękania wypraski.

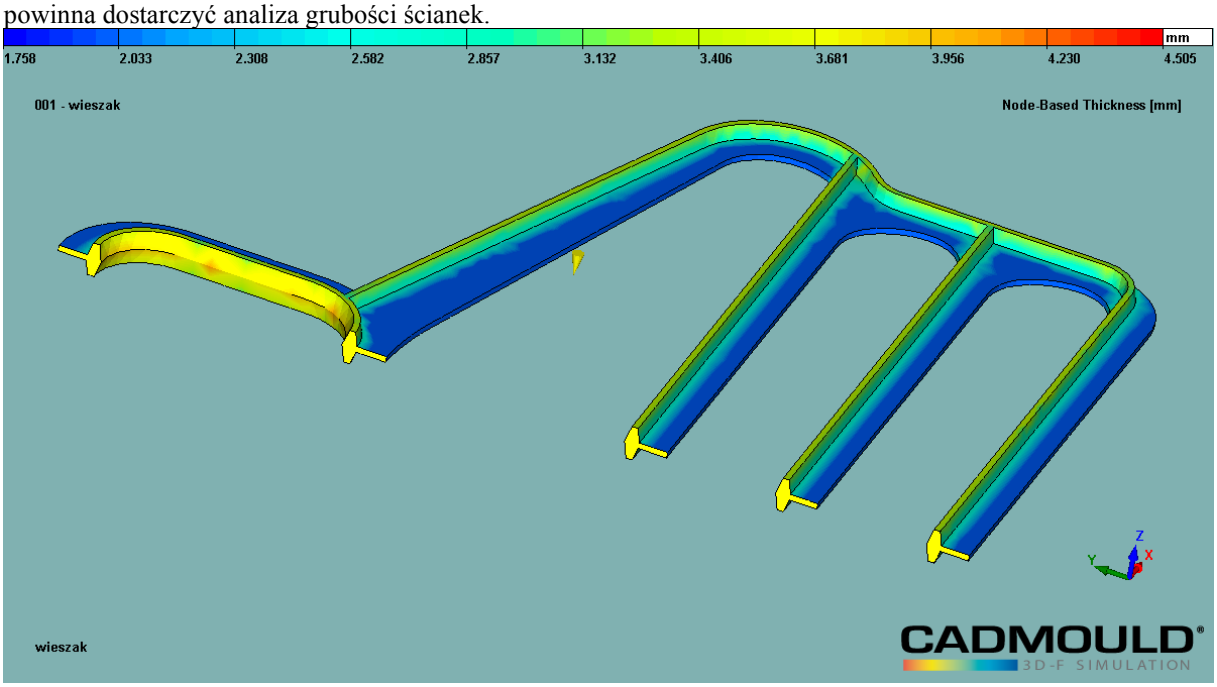


Jak widać obliczeniowy czas chłodzenia dla wieszaka wynosi ~26 s pomijając chłodzenie gałązki która może opuścić formę przy znacznie wyższej temperaturze.

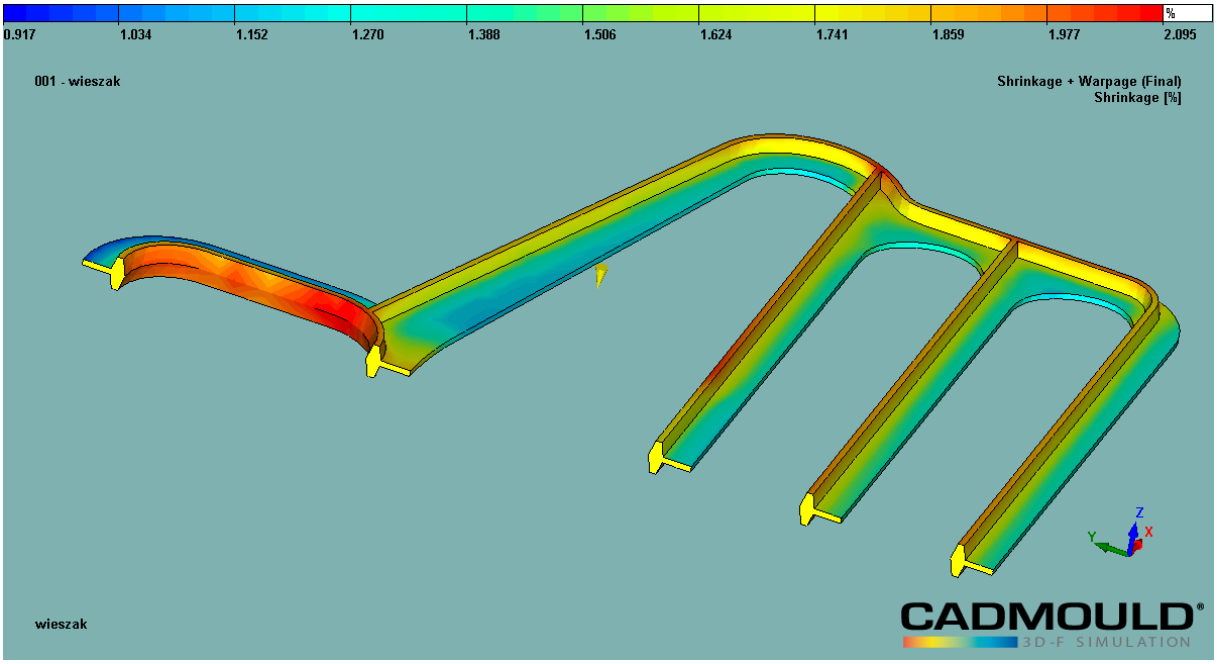


Rysunek przedstawia obliczeniowe deformacje wypraski bez uwzględnienia rzeczywistej geometrii kanałów chłodzących. Rzeczywista wypraska deformuje się bardziej.

Warto sobie zadać pytanie dlaczego przy tak prostej geometrycznie wyprasce powstają deformacje. Odpowiedź powinna dostarczyć analiza grubości ścianek.

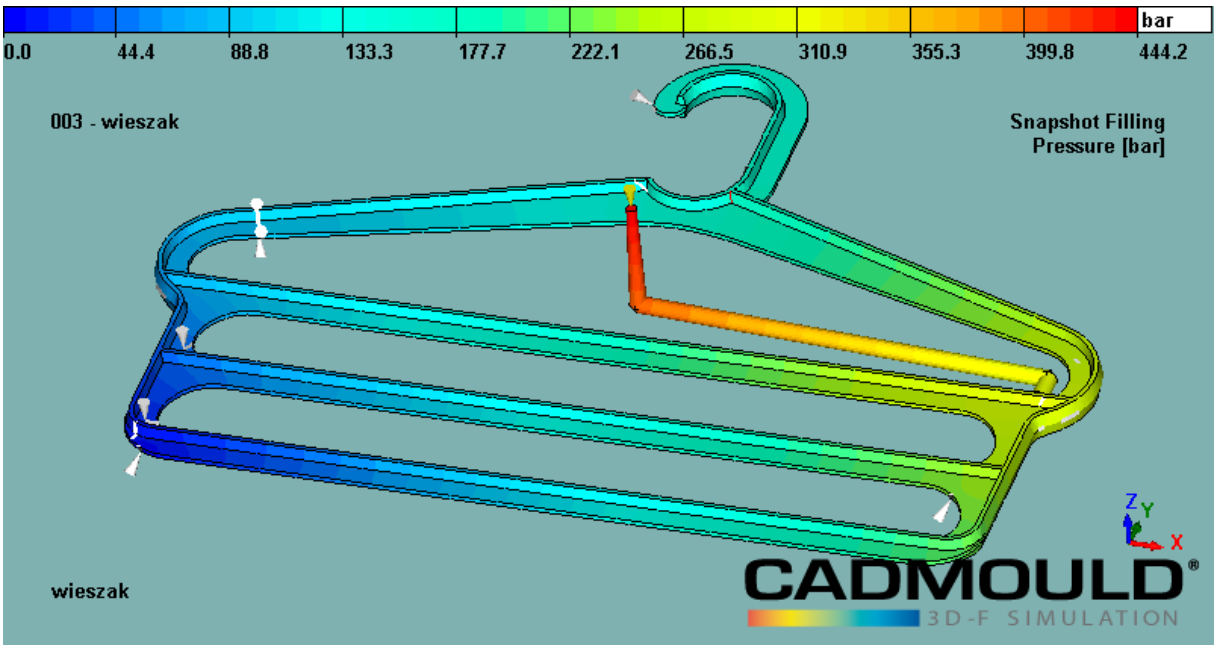


Widzimy że żebra są ponad 2 razy grubsze jak ścianki płaskie. Dla polipropylenu dla którego skurcz liniowy jest silnie zależny od grubości ściany, różnica skurczu jest przyczyną deformacji. W przypadku tej wypraski została złamana podstawowa zasada dla detali plastikowych produkowanych metodą wtrysku jaką jest **jednakowa grubość dla wszystkich ścian**.

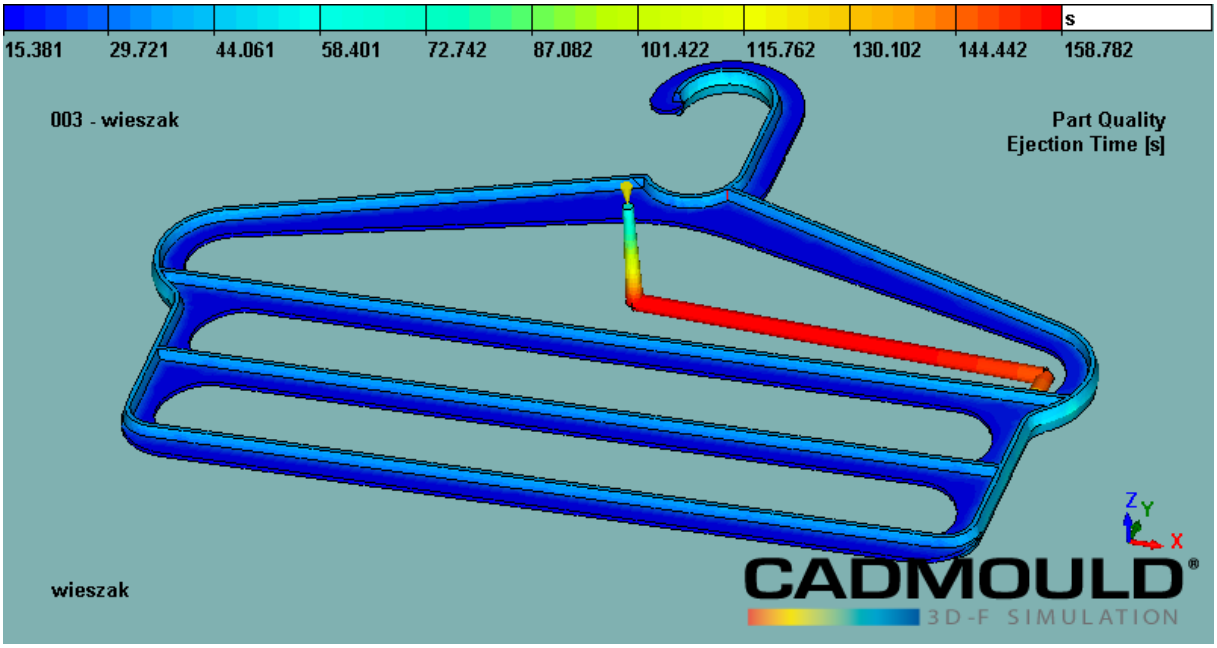


Wcześniejszy nasz wniosek potwierdza analiza skurczu. W tym przypadku dla tego gatunku PP, skurcz dla grubych żeber jest 2 razy większy jak dla cienkich ścian płaskich.

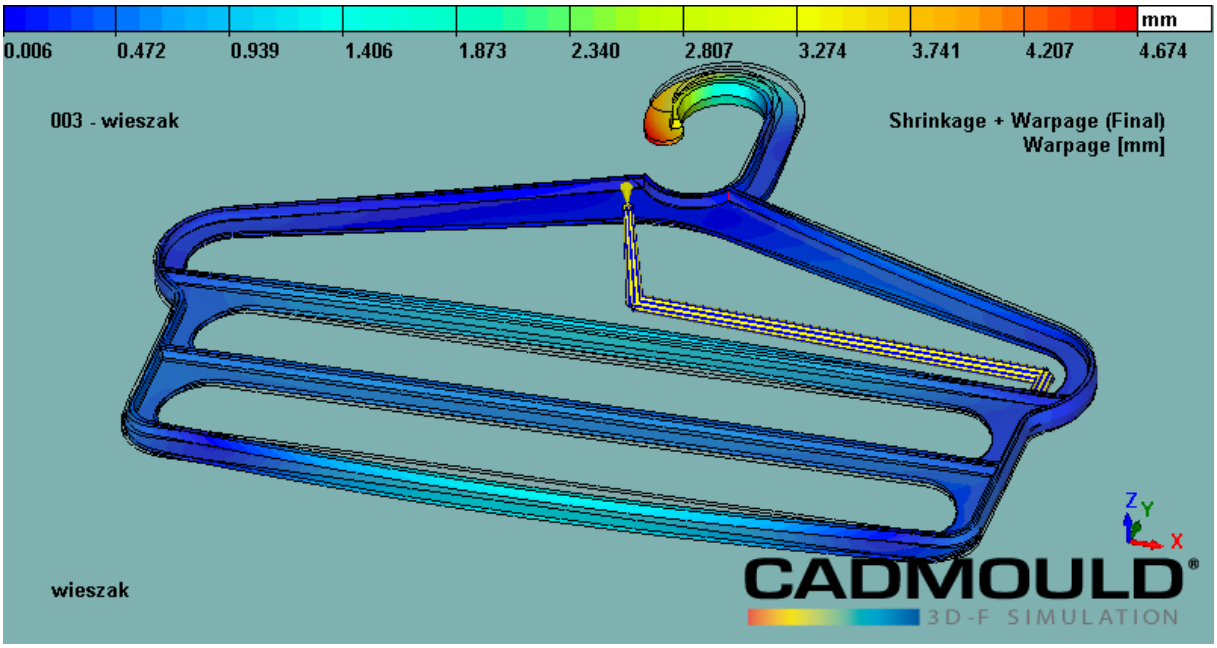
Aby uzdrowić sytuację zaproponowano nowe zasilenie wypraski.



Czas wtrysku 2,6 s; ciśnienie wtrysku 444 bar, siła zwarcia = 90 Ton przy ciśnieniu docisku 400 bar. Co ważne, przy nowej lokalizacji wlewka nie wzrasta siła zwarcia. Biała linie i białe stożki pokazują miejsca łączenia frontów stopu. Przy tej lokalizacji łączenia frontów stopu wieszak nie powinien pękać w żadnym miejscu.



Jak widać czas chłodzenia dla wypraski pozostał na poprzednim poziomie ~26 s.



Również obliczeniowe deformacje wypraski pozostały na poprzednim poziomie.

W wyniku przeprowadzonych analiz zostało wykonane nowe zasilenie wypraski w proponowanym miejscu. Przy okazji pocieniono ścianki (co pozwoliło na skrócenie czasu cyklu) i wprowadzono przewężkę tunelową. Wieszaki przestały pękać (pękanie poprzeczek wieszaka pośrodku) i zmniejszyły się deformacje.
Zasilenia wypraski przez przewężkę tunelową zlikwidowało obróbkę ręczną przy tej wyprasce. Dzięki temu pracownik może obsługiwać 2 wtryskarki jednocześnie.

15.Opakowania cienkościenne – problem z deformacjami wyprasek

Rynek opakowań od wielu lat został zdominowany przez wypraski cienkościenne. Miliardy wyprasek produkowane głównie z PP w wielkościach od kilku mililitrów (przy gr. ścianki 0,4 mm) do kilkudziesięciu litrów (przy grubości ścian 0,8 do 1,5 mm) z każdym rokiem stają się coraz lżejsze przy tych samych gabarytach i pojemnościach. Wymagania ekologii i silna konkurencja w tym sektorze produkcyjnym spowodowały że wytwórcy zostali zmuszeni do obniżania masy i skracania czasu cyklu. Wytwarzanie wyprasek cienkościennych sprawia i narzędziowniom i wtryskowniom różne problemy. W tym artykule omówimy problem wichrowania się wyprasek o niewielkiej wysokości do których należą pokrywki pojemników. Jako przykład posłuży nam rodzina pojemników do żywności o kilku pojemnościach, gdzie pokrywki wtryskiwane są w technologii IML.

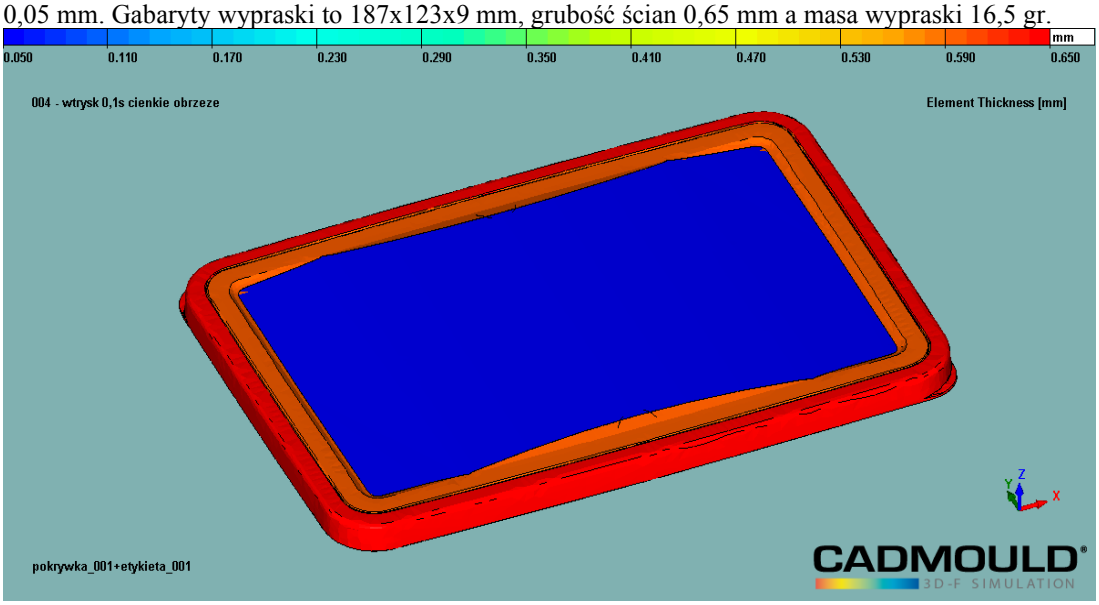
Pojemniki 1,25 i 0,8L , pojemnik 0,5 L w trakcie uruchamiania.

Od momentu uruchomienia produkcji, jak zwykle pojawiło się sporo problemów które dosyć szybko zostały rozwiązane wspólnie przez narzędziownię, dostawcę robota i wtryskownię. Jednak problem wichrowania się pokrywek, mimo wielu prób, nie został rozwiązany pozytywnie. Przyjrzymy się problemowi wichrowania pokrywek na przykładzie pojemnika 0,8L.

Pokrywki wichrują się od kilku do kilkunastu milimetrów.

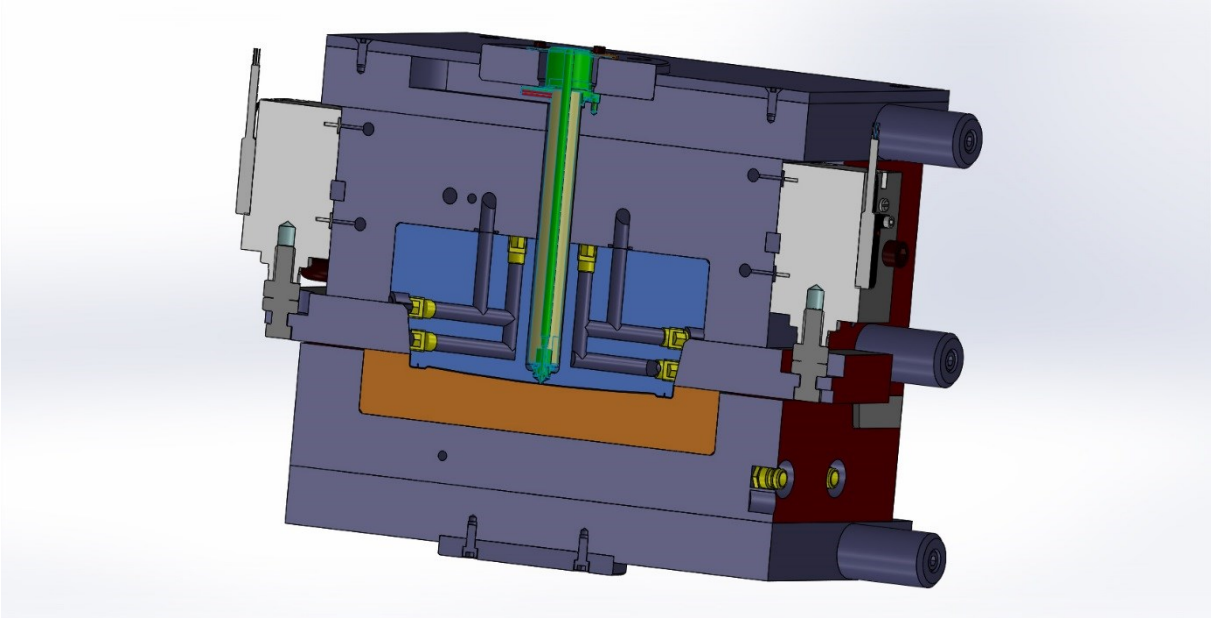
Wypraska

Produkowana jest z PP Moplen o wskaźniku płynięcia MFI=50 z etykietą polipropylenową o grubości 0,05 mm. Gabaryty wypraski to 187x123x9 mm, grubość ścian 0,65 mm a masa wypraski 16,5 gr.

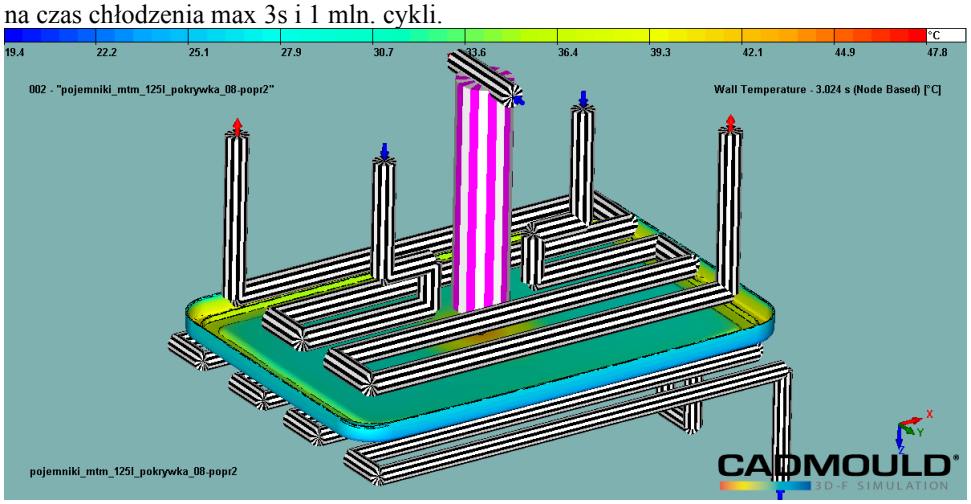


Niebieski kolor na rysunku to etykieta o grubości 0,05 mm.

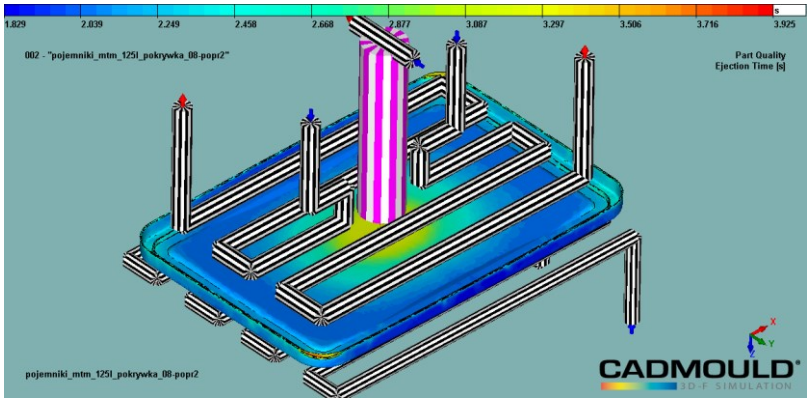
Forma



Forma została poprawnie zbudowana: jest odpowiednio sztywna, posiada ryglowanie stempla względem matrycy, wtrysk przez stempel ze względu na etykietę, napęd ramy spychającej przez siłowniki hydrauliczne. Na elementy formujące została zastosowana stal 1.2738 HH w stanie ulepszonym ~44HRC i przewodności termicznej 35W/mK. W umowie narzędziownia dała gwarancję na czas chłodzenia max 3s i 1 mln. cykli.



Układ chłodzenia został wykonany tradycyjnie przez wiercenie otworów, co przy cyklu 4s, temperaturze wody zasilającej formę 13 stC i odpowiednim przepływie wody, daje rozkład temperatur na powierzchni formującej w zakresie od 19 do 48 stC (moment wyrzucania wypraski z formy). Widzimy że naroża wewnętrzne w porównaniu do pozostałej powierzchni są cieplejsze o ok. 8 stC.



Przyjęta koncepcja chłodzenia (kanały, mat. formy i temperatura wody) pozwala na osiągnięcie założonego czasu chłodzenia 3s.

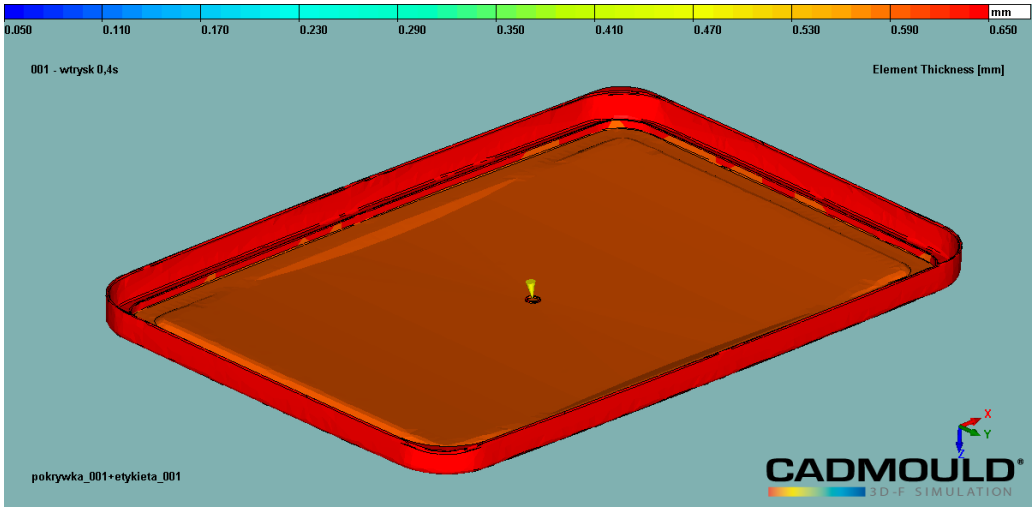
Stanowisko produkcyjne: wtryskarka, robot IML, forma.

Proces

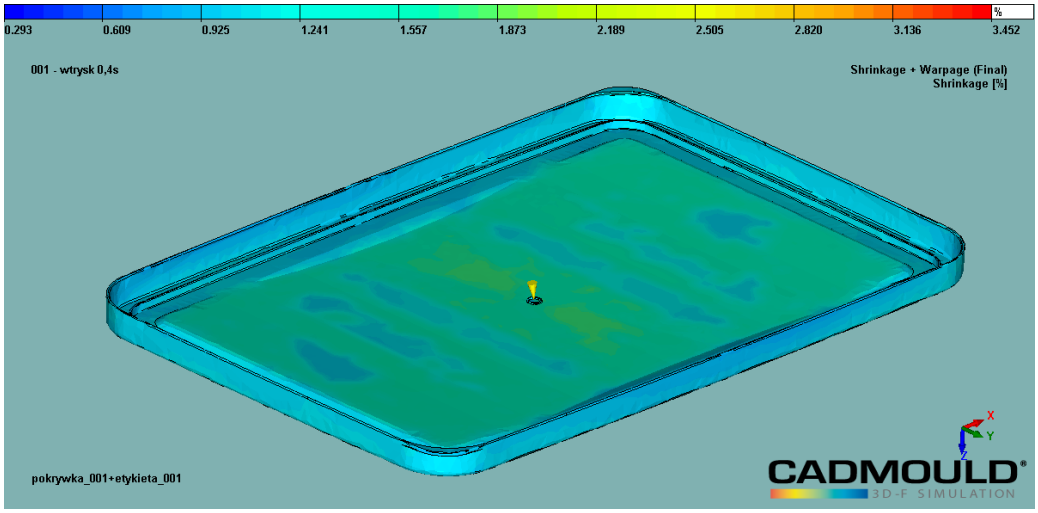
Forma pracuje na wtryskarce VICTOR VC 180 z akumulatorem, o sile zwarcia 180 T w towarzystwie robota do zakładanie etykiet.
Parametry procesu:
czas wtrysku – 0,4s
czas docisku – 0,2s, ciśnienie docisku – 400 bar
czas chłodzenia – 3,5 s
czas wejścia i wyjścia chwytaka – 3,1s
A więc czas cyklu powinien wynosić – 7s.

Analizy
Aby rozwiązać problem najpierw należy zrozumieć zjawiska, przyczyny i skutki, które towarzyszą naszemu procesowi. Bez poznania istoty tych zjawisk nigdy nie zrozumiemy procesu i będziemy działać po omacku. Do poznania zjawisk które zachodzą w formie służą programy symulacyjne, w naszym przypadku Cadmould firmy Simcon.
Na początek spróbujemy wyjaśnić przyczyny wichrowania się wypraski.
Wszystkie obliczenia zostały przeprowadzone dla parametrów procesu stosowanych we wtryskowni. Ze względu na dużą czasochłonność obliczeń w analizie zrezygnowano z zamodelowania kanałów chłodzących i temperatura powierzchni formującej (stała i niezmienna w czasie) została przyjęta 25 stC. Jest to sytuacja wyidealizowana ale zależy nam nie tyle na rzeczywistych wynikach co na tendencjach.

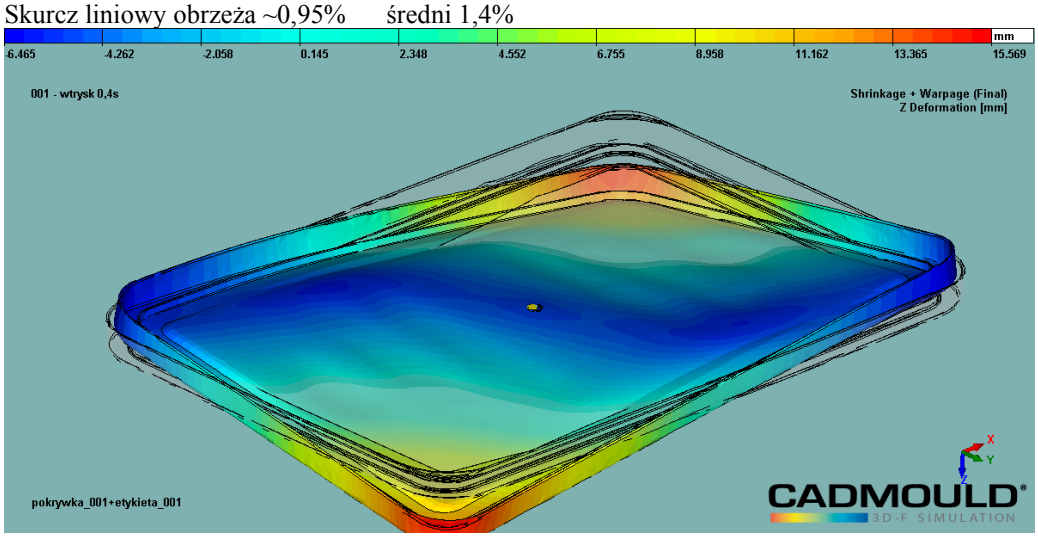
Eksperyment 1 - model pokrywki zgodny z projektem.



Grubość ścian



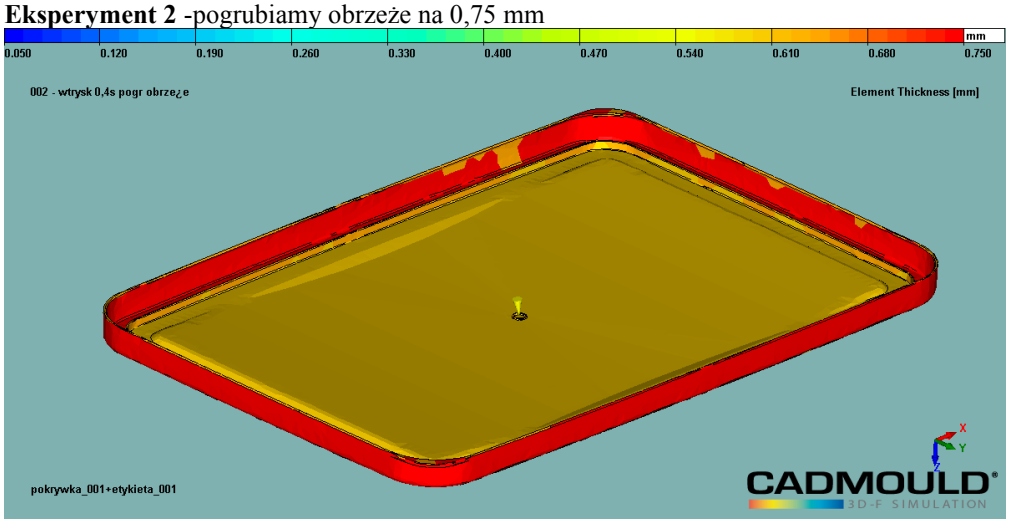
Skurcz liniowy obrzeża ~0,95% średni 1,4%



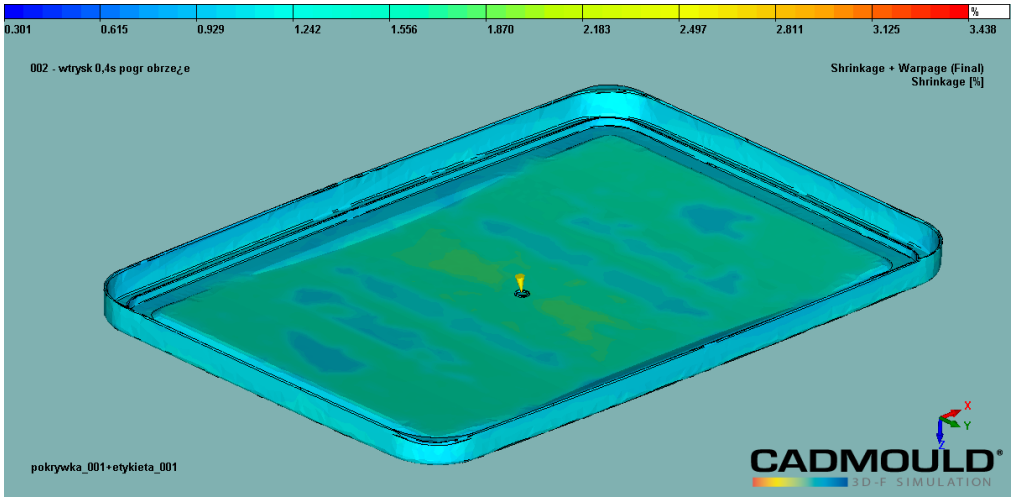
Deformacje w kierunku osi Z – max deformacja 22 mm

Widać że przyczyną wichrowania wypraski jest rozkład skurczu, środek wypraski ma większy skurcz jak obrzeże. W następnych eksperymentach obliczeniowych spróbujemy odwrócić ten trend, czyli będziemy szukać takiego rozwiązania które pozwoli uzyskać większy skurcz na obrzeżu jak na środku wypraski.

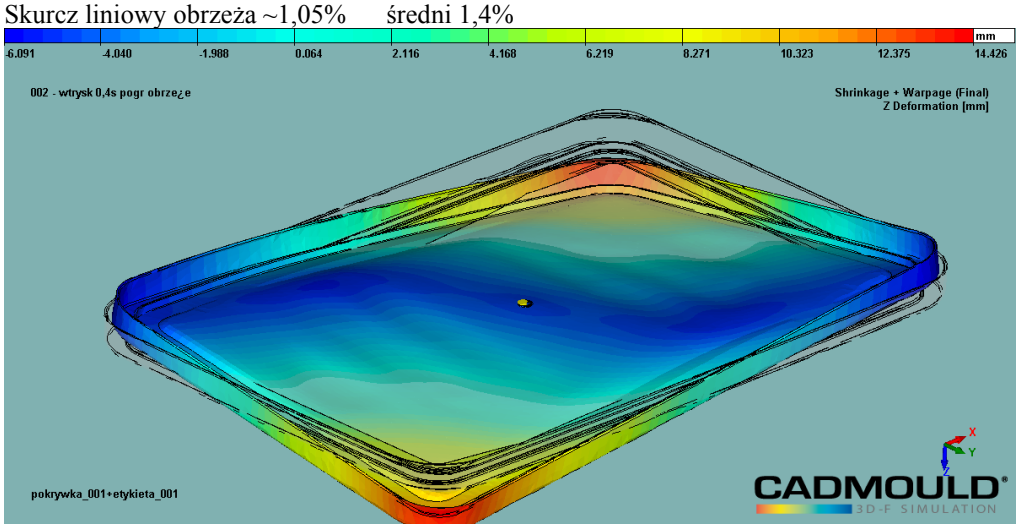
Eksperyment 2 -pogrubiamy obrzeże na 0,75 mm



Grubość ścian

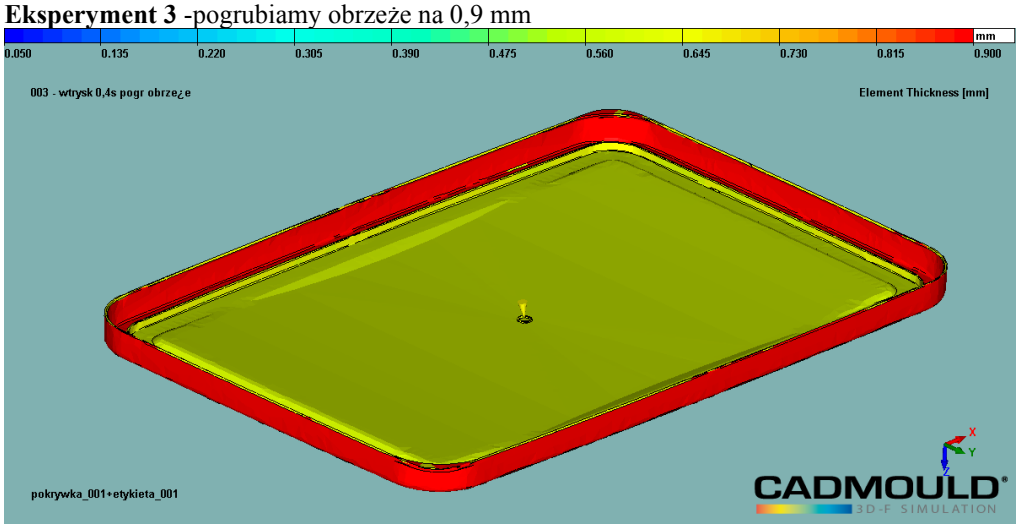


Skurcz liniowy obrzeża ~1,05% średni 1,4%

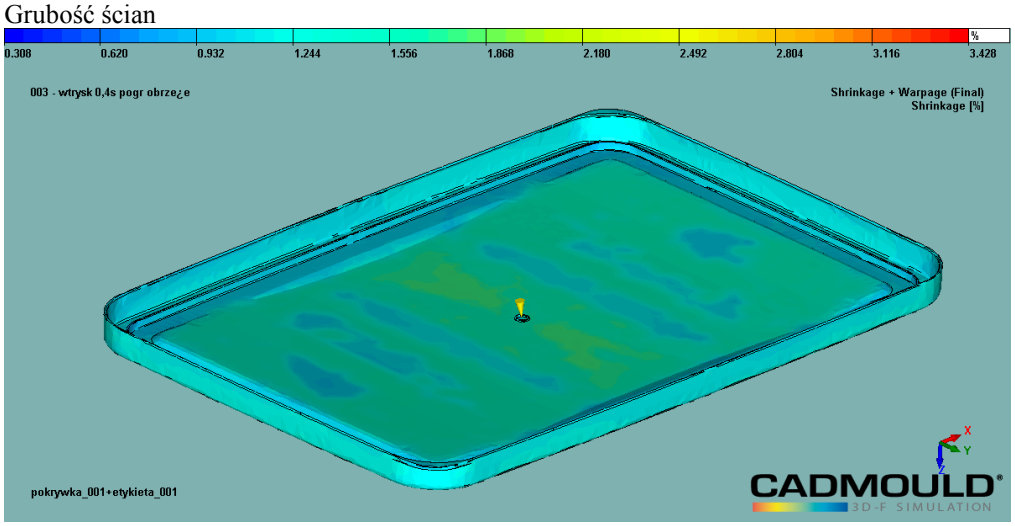


Deformacje w kierunku osi Z – max deformacja 20 mm

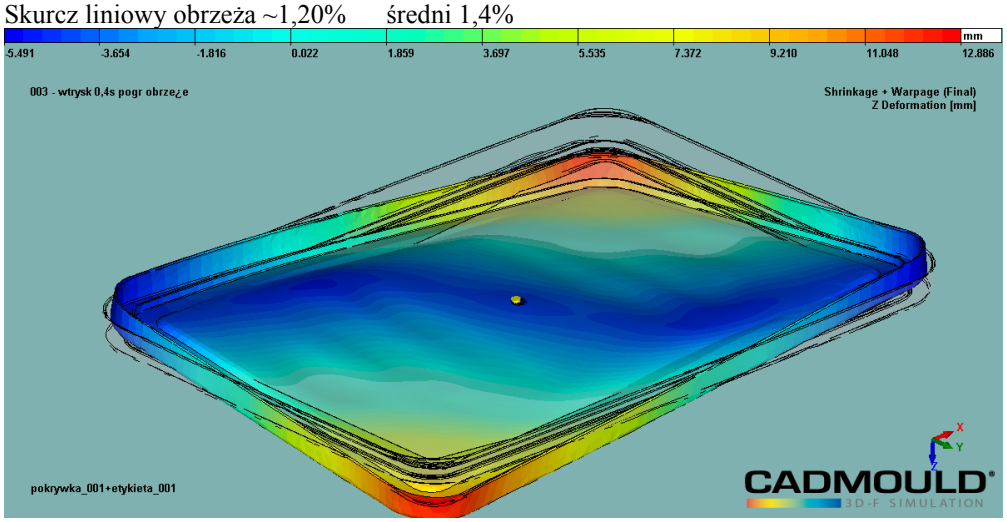
Eksperyment 3 -pogrubiamy obrzeże na 0,9 mm



Grubość ścian



Skurcz liniowy obrzeża ~1,20% średni 1,4%

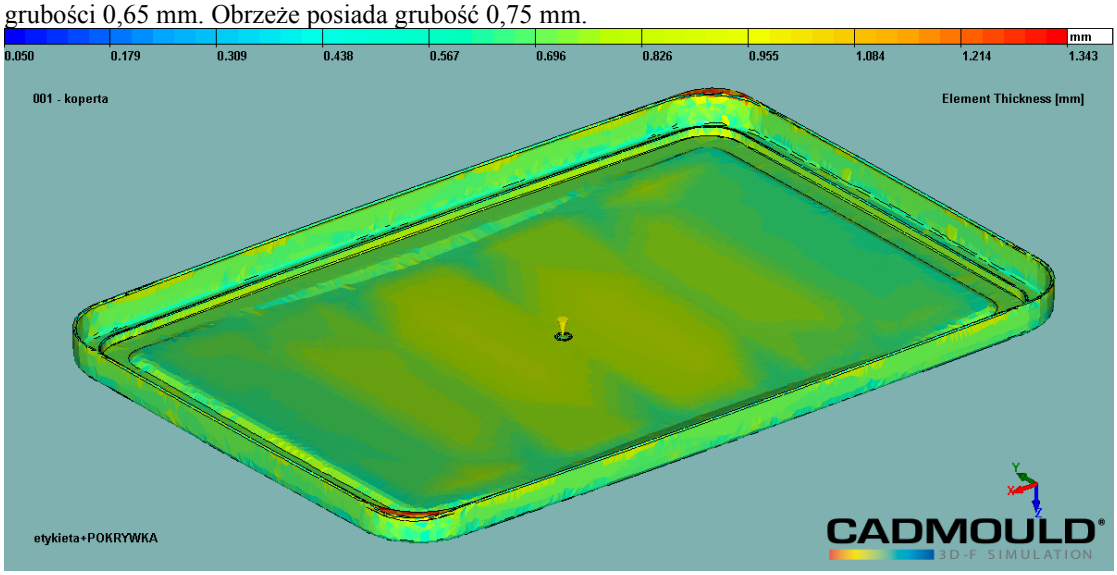


Deformacje w kierunku osi Z – max deformacja 17,5 mm

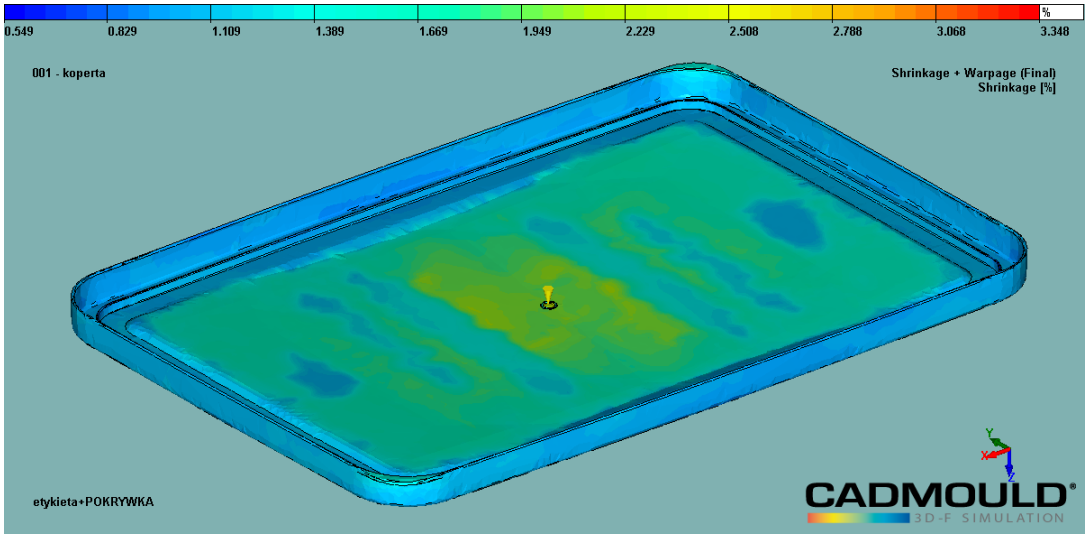
Wniosek

Pogrubianie obrzeża zwiększa jego skurcz i zmniejsza nieco deformacje ale dalej pozostają na zbyt wysokim poziomie. Wydaje się że jest to dobry kierunek ale jak widać nie prostuje zdecydowanie wypraski. Musimy szukać innego rozwiązania.

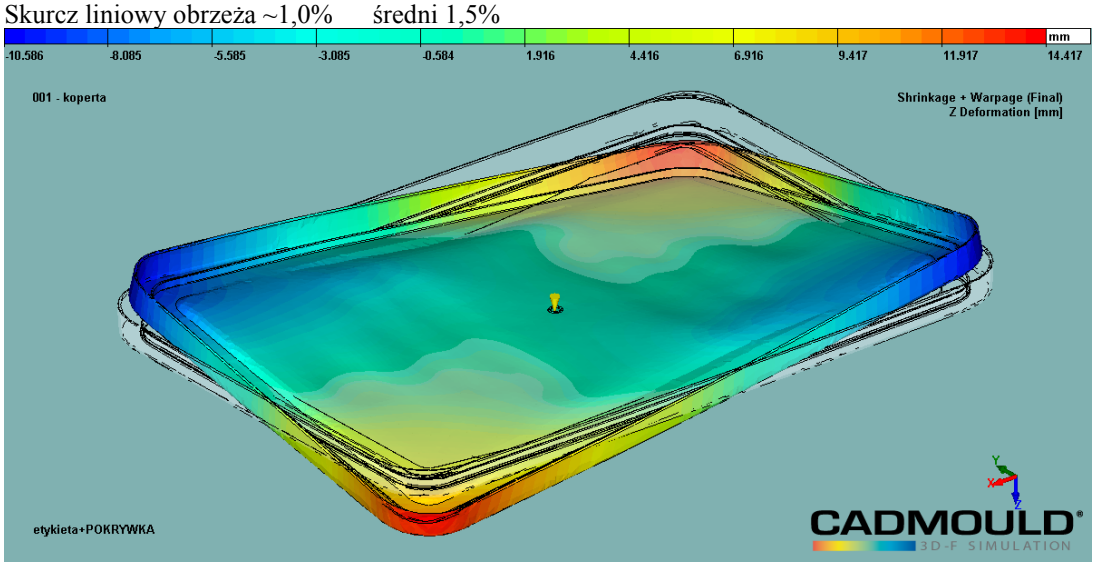
Eksperyment 4 – zmieniamy grubość dna wypraski. Od środka o grubości 0,85 mm do końców dna o grubości 0,65 mm. Obrzeże posiada grubość 0,75 mm.



Grubość ścian



Skurcz liniowy obrzeża ~1,0% średni 1,5%

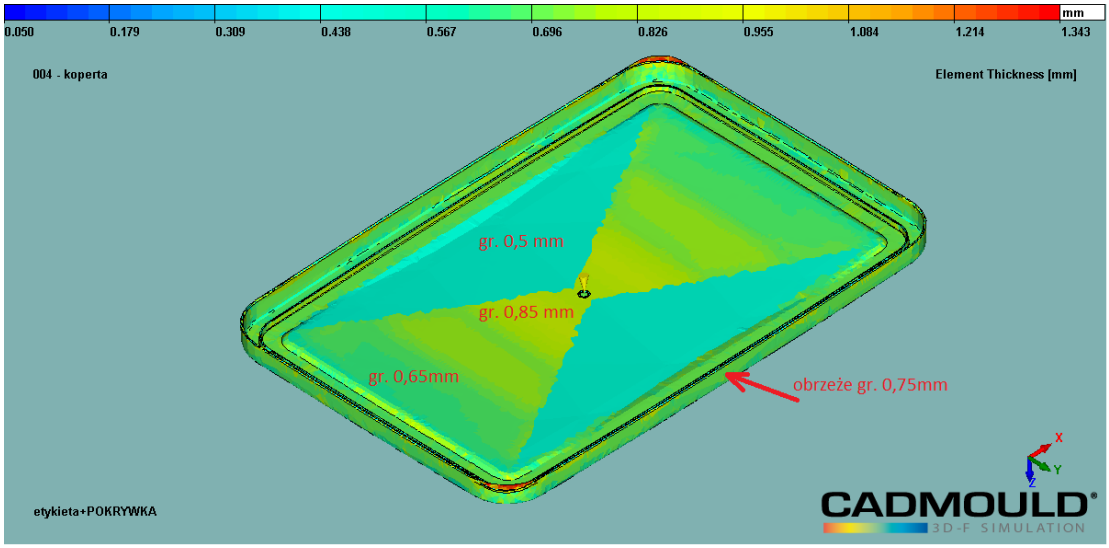


Deformacje w kierunku osi Z – max deformacja 25 mm

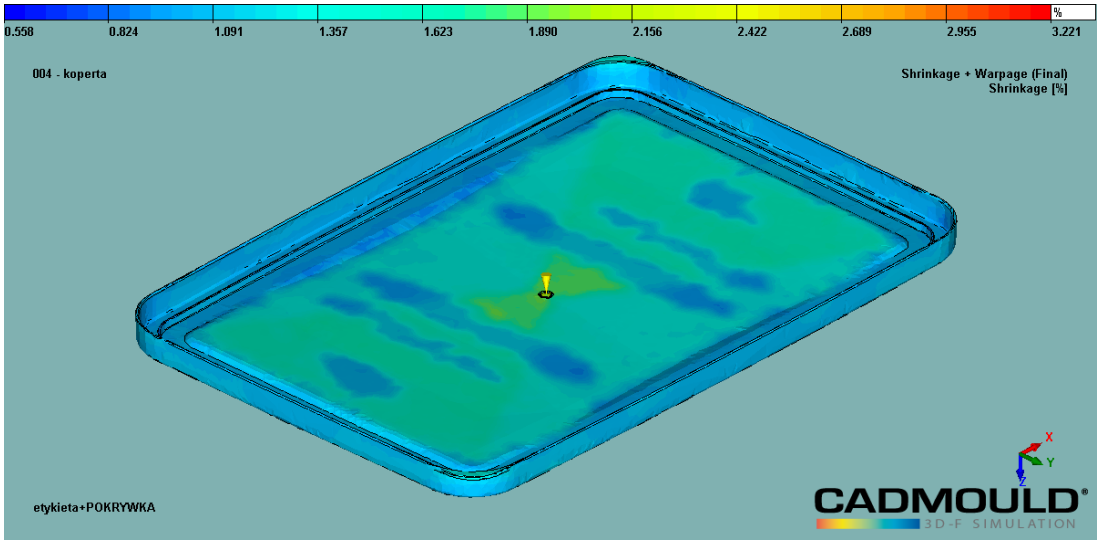
Wniosek

Powiększenie grubości dna w postaci tzw. koperty nie tylko że nie zmniejszyło deformacji ale przyniosło skutek negatywny. Rozkład skurczu pogorszył się a deformacje wzrosły.

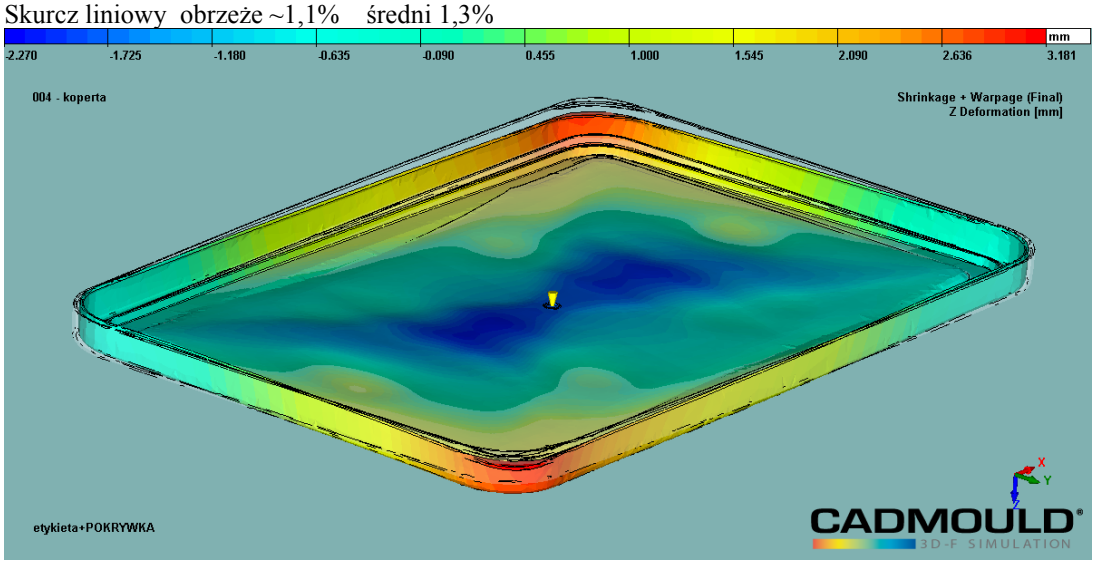
Eksperyment 5 - Modyfikacja grubości dna pokrywki pozwalająca na minimalizacje jej deformacji. Grubość dna pokrywki została ukształtowana w taki sposób aby uzyskać zbalansowane wypełnianie wypraski. Polega to na tym że front płynącego tworzywa powinien dopłynąć do obrzeży wypraski w tym samym czasie.



Grubość ścian



Skurcz liniowy obrzeże ~1,1% średni 1,3%



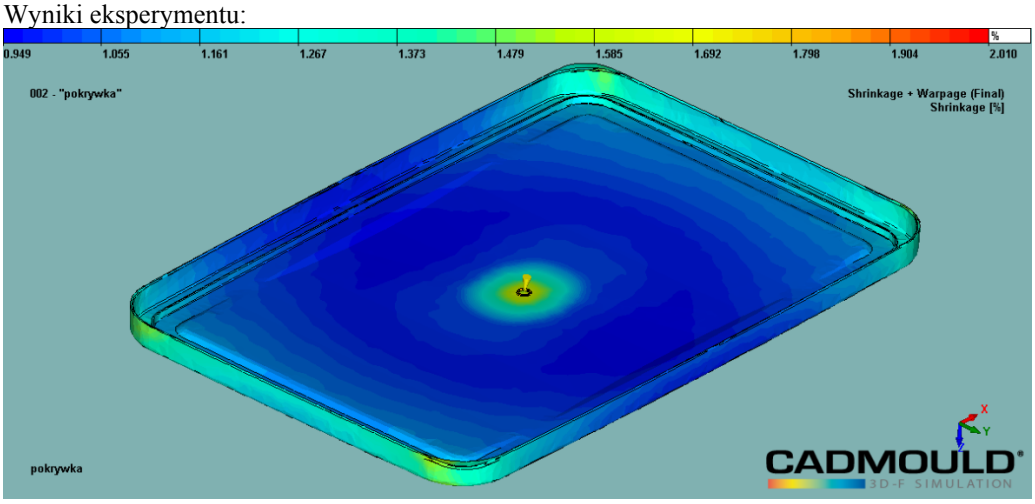
Deformacje w kierunku osi Z – max deformacja 5,5 mm

Wniosek
Tak ukształtowane dno pozwala 4 do 5 razy zmniejszyć deformacje wypraski w porównaniu do geometrii wyjściowej.
Jeśli skończyły się nam pomysły na modyfikowanie geometrii, możemy zastanowić się nad znalezieniem odpowiednich parametrów procesu.

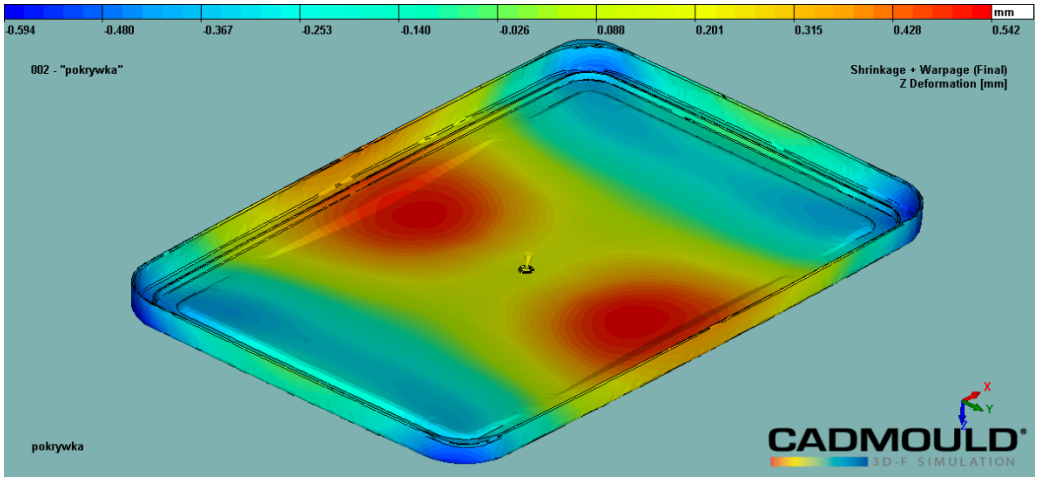
Modyfikacje parametrów procesu
Z praktyki wiemy że czas wtrysku dla wyprasek cienkościennych powinien być możliwie krótki. Dla naszej pokrywki nie powinien przekraczać 0,2s. Problem ze skracaniem czasu wtrysku polega na tym że w formie została zastosowana dysza otwarta a względy estetyczne obszaru wlewka nie pozwalają na zwiększenie jego średnicy. Przy czasie wtrysku poniżej 0,4s dochodzi do przypalania etykiety, w obszarze przewężki pojawia się czarna plamka.

Takie wypraski wymagają stosowania dysz zamykanych mechanicznie z przewężkami o średnicy kilku milimetrów. Wielkość przewężki zależy od masy wypraski, im większa wypraska tym większa przewężka. Z braku dyszy zamykanej zaczniemy kombinować z fazą docisku.

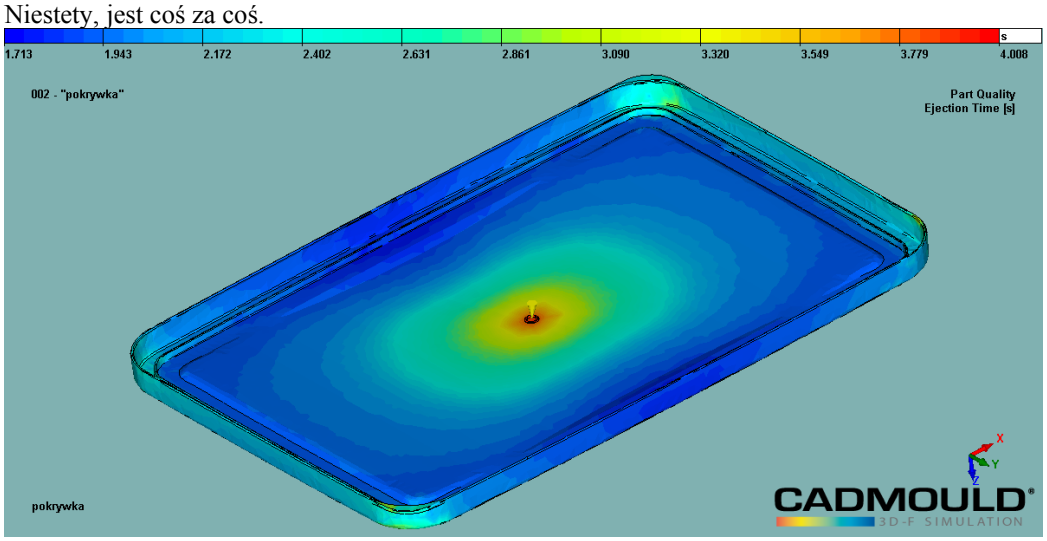
Eksperyment 6
Spróbujemy znaleźć taki profil docisku (wielkość ciśnienia i czas jego działania) aby uzyskać prostą wypraskę.
Do analiz została wytypowana pokrywka o geometrii jak w eksperymencie I, tzn. jak w modelu wyjściowym. Po kilkunastu próbach została wykonana analiza z dociskiem 400 bar i czasem trwania docisku 1,6s.
Wyniki eksperymentu:



Widzimy że otrzymaliśmy pożądany efekt, skurcz na obrzeżu jest większy jak w dnie i maleje w kierunku do środka.



Deformacje nie przekraczają 1 mm a ich charakter zmienił się. Pokrywka jest teraz delikatnie wypukła. Niestety, jest coś za coś.



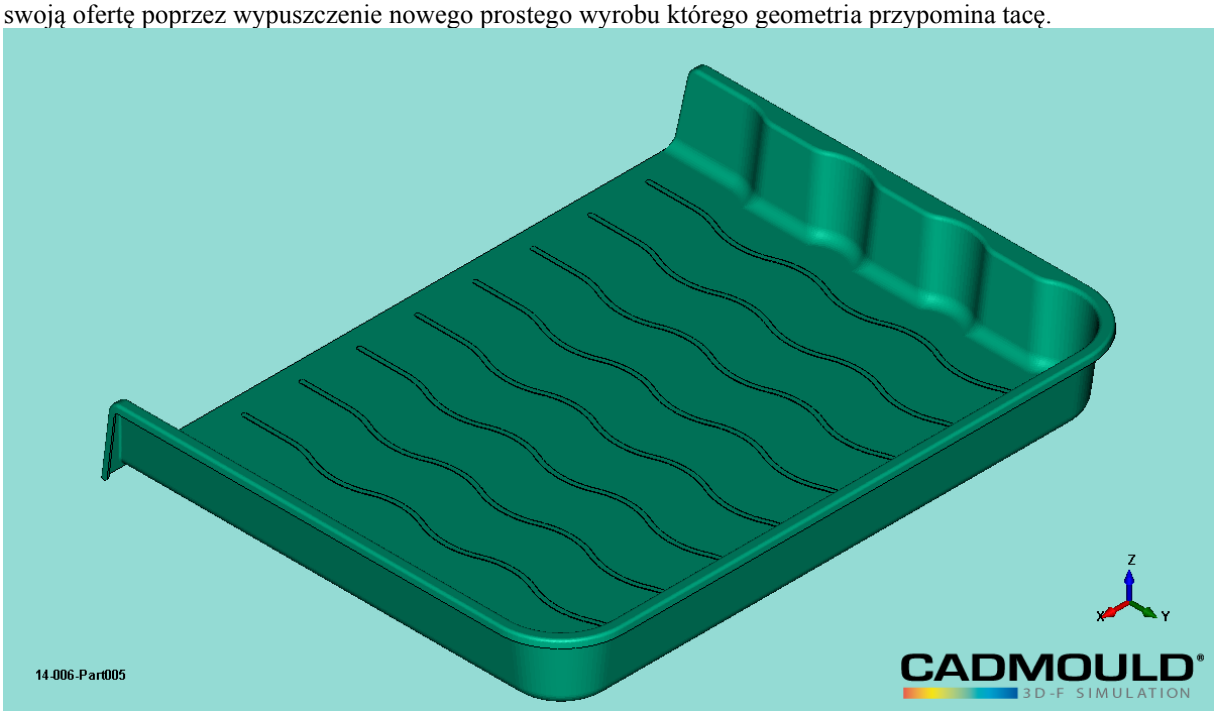
Czas chłodzenia wzrósł o ~1 sekundę.

Przyszedł czas na podsumowanie.
Jeśli chcemy być konkurencyjni w produkcji wyprasek cienkościennych to musimy spełnić kilka warunków.
- produkcja powinna odbywać się na wtryskarkach szybkobieżnych (z akumulatorem lub szybkich maszynach elektrycznych)
- forma musi być poprawnie zbudowana a układ chłodzenia musi zapewnić intensywny odbiór ciepła od wypraski
- wypraska musi posiadać geometrię przeciwdziałającą powstawaniu deformacji
– medium chłodzące musi być podawane przez termostat lub chłodziarkę stanowiskową; tylko takie rozwiązanie zapewni powtarzalną dla każdego cyklu temperaturę formy a różnica pomiędzy zasileniem a powrotem nie powinna być większa jak 4 stC.

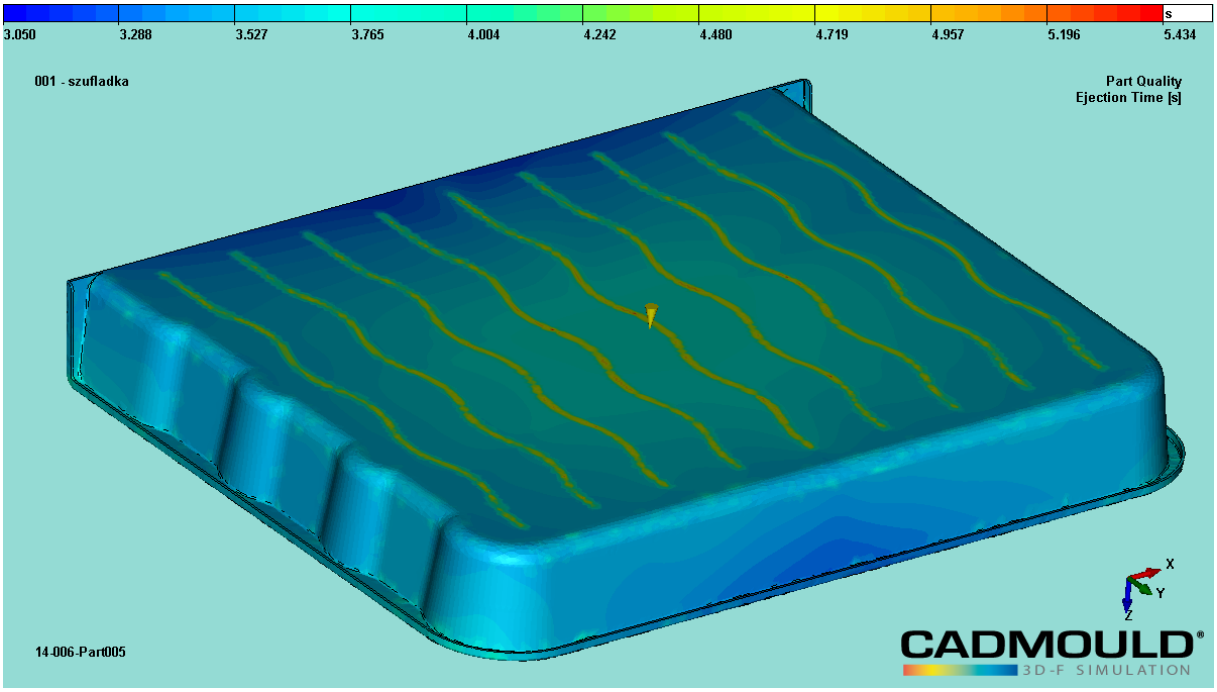
Jeśli któryś z powyższych warunków nie jest spełniony, to możemy ratować się odpowiednio dobranymi parametrami procesu ale wtedy zawsze tracimy (rośnie czas cyklu).

16. Modelowanie wypraski cienkościennej

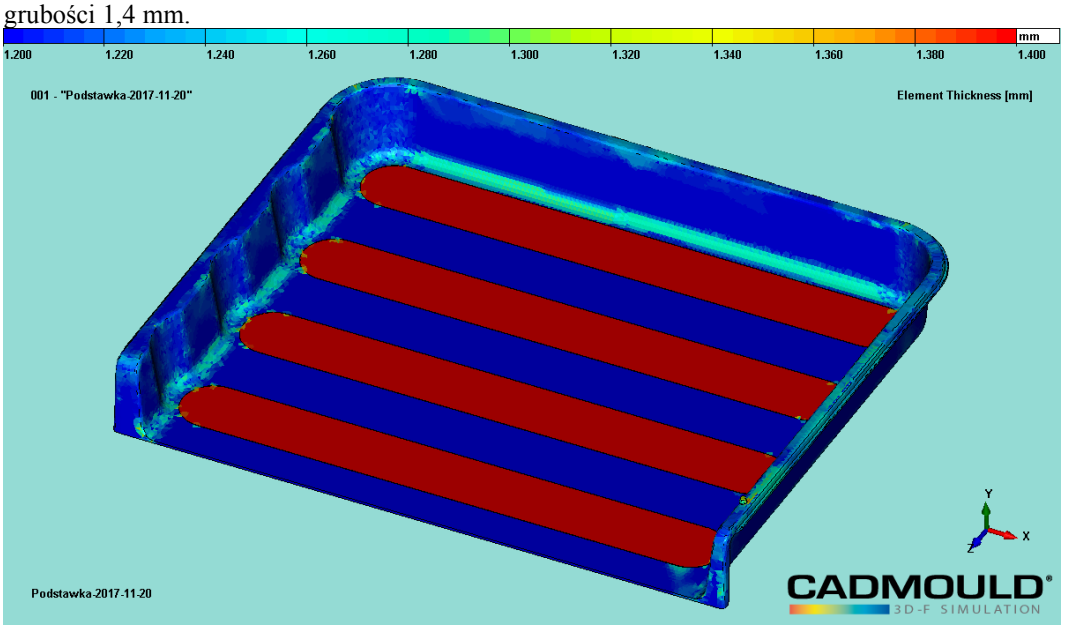
Aż trudno uwierzyć jak wiele na pierwszy rzut oka prostych wyprasek, potrafi w toku procesu projektowego i wykonania formy sprawić poważne kłopoty. Chcemy to pokazać na przykładzie banalnej wypraski, wtryskiwanej z przyjaznego surowca jakim jest PP. Jedna z firm produkująca AGD postanowiła powiększyć swoją ofertę poprzez wypuszczenie nowego prostego wyrobu którego geometria przypomina tacę.



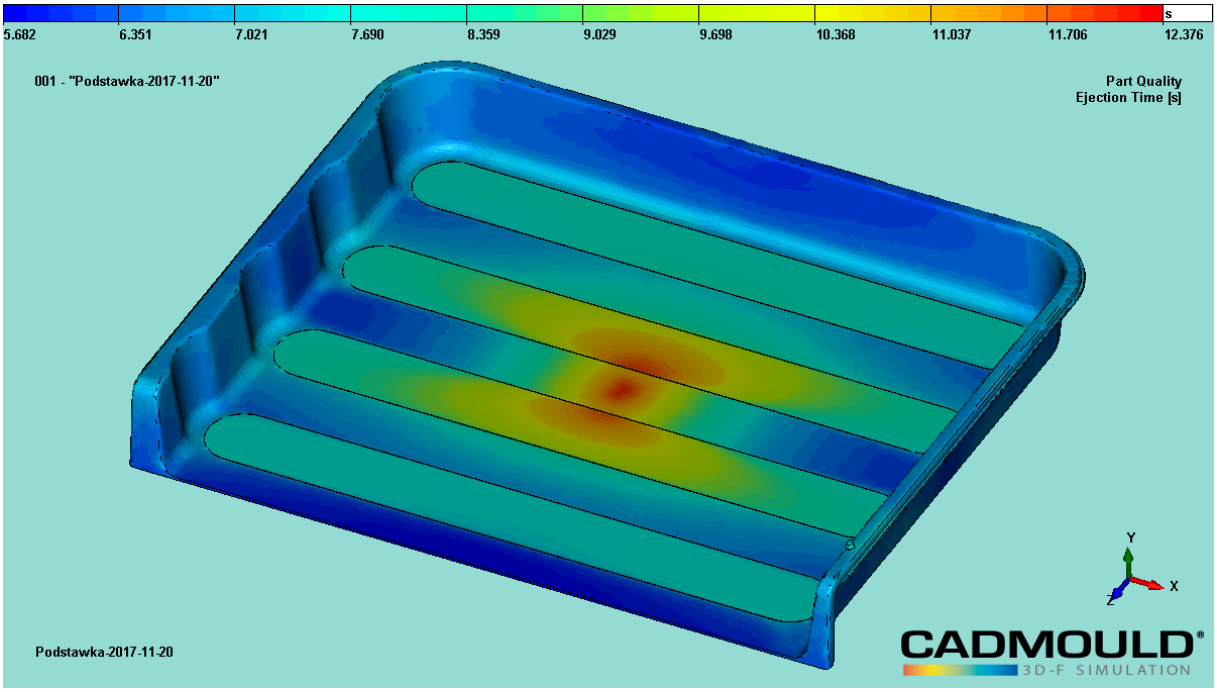
Była to piąta wersja która zaspokoiła wymagania estetyczne klienta. Gabaryty tacy - 336x263x41 plasują ją w grupie średnich-mniejszych wyprasek, co przy grubości ścian 1 mm i masie 103 gr. wskazuje że będzie to wypraska cienkościenna. Należało liczyć się ze sporym ciśnieniem wtrysku i sporą siłą zwarcia. Dlatego do wtrysku wytypowano PP o wskaźniku płynięcia MFI=50.
Wstępna analiza pokazała że ciśnienie wtrysku będzie na poziomie 650 bar a siła zwarcia 270 Ton. Wtryskarka powinna posiadać akumulator ze względu na wymagany krótki czas wtrysku. Wtryskownia postawiła warunek że czas chłodzenia nie powinien przekraczać 7s a płaskość dna musi mieścić się w tolerancji 1 mm.
Model wypraski trafił do narzędziowni która dała za wykonanie formy atrakcyjną cenę, traktując temat jako bardzo prosty, nie wymagający większych nakładów robocizny przy konstrukcji i obróbkach. Ze względu na warunek czasu chłodzenia i płaskości dna, po pierwszych przymiarkach konstrukcyjnych , narzędziowców coś tknęło i postanowili wykonać wstępną analizę symulacyjną. Konstruktor nie wrysował jeszcze kanałów chłodzących i nie dobrał stali na płyty formujące więc symulacja została wykonana dla wyidealizowanych założeń.



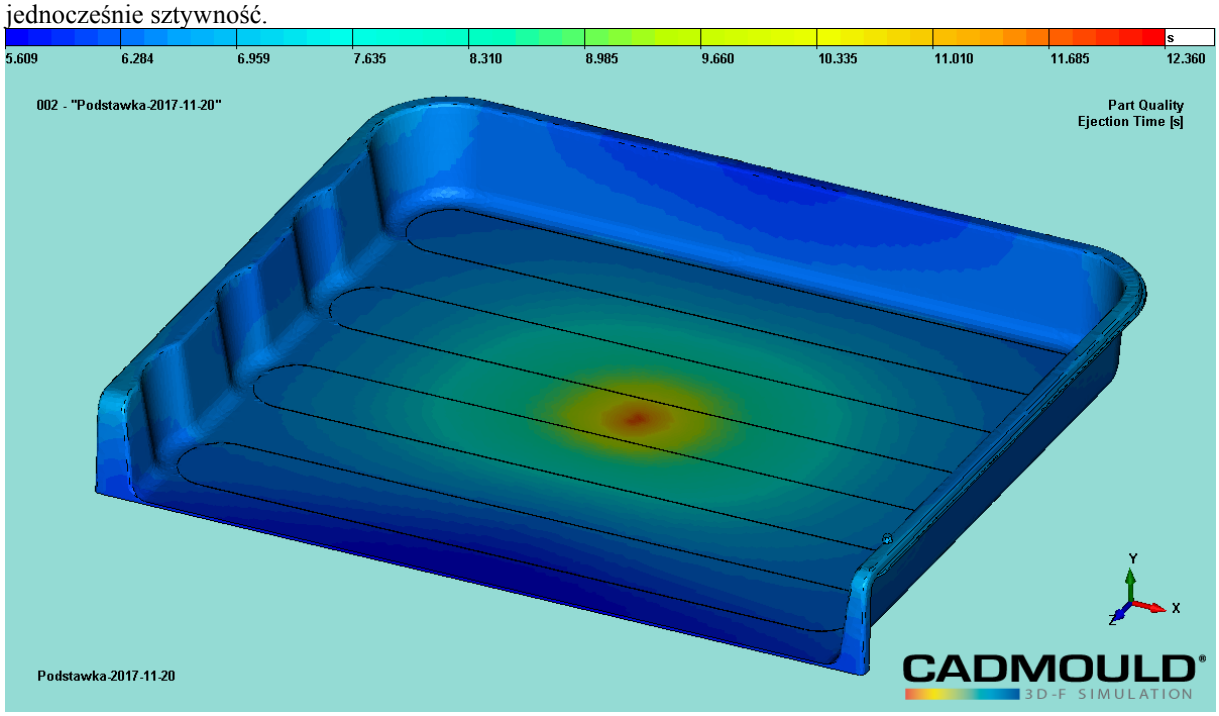
Jak widać czas chłodzenia wynosi 5,4s i jest niższy od warunku narzuconego przez klienta.
W międzyczasie klient wydrukował wypraskę i stwierdził że taca nie spełnia oczekiwań ze względu na zbyt wiotkie dno. Powstał kolejny model tacy ze ścianami o grubości 1,2 mm i pogrubionym lokalnie dnem o grubości 1,4 mm.



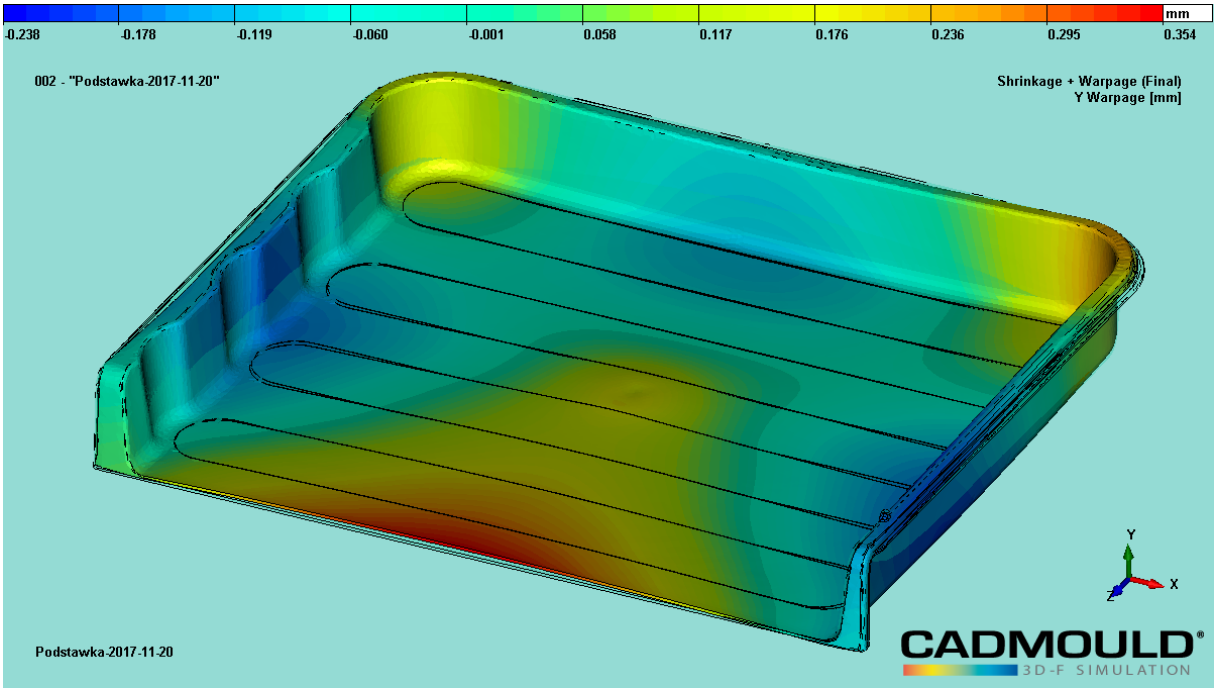
Masa wypraski wzrosła do 134 gr.



Pogrubienie ścian spowodowało również wydłużenie czasu chłodzenia w centralnym obszarze dna do 10s. Powstała więc kolejna wersja gdzie wyrównano grubość ścian dla całej wypraski do 1,2 mm akceptując jednocześnie sztywność.

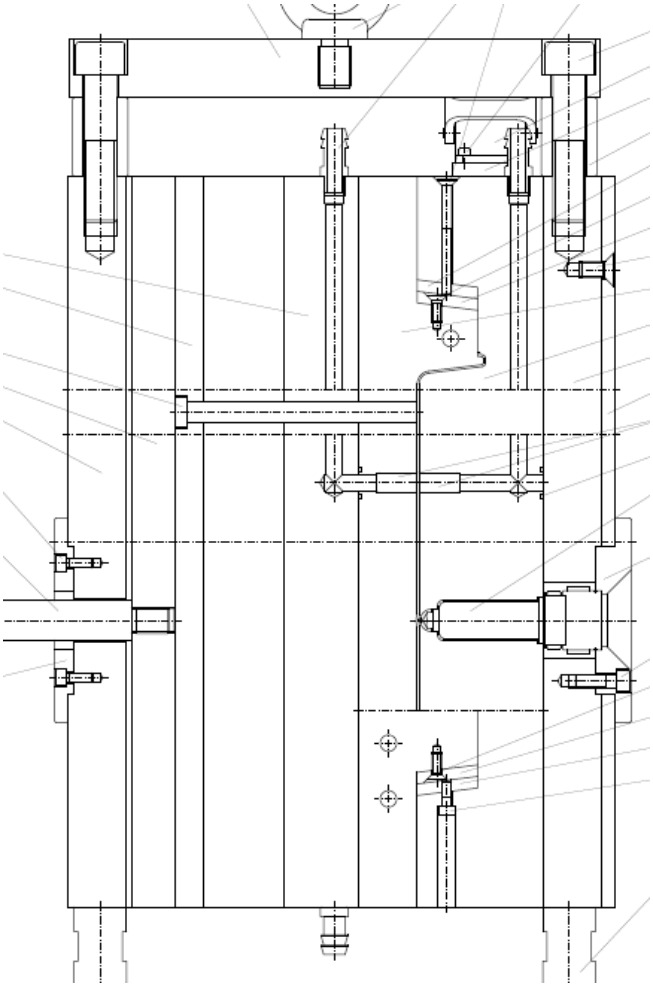


Czas chłodzenia spadł do 7s i geometria tacy została ostatecznie skierowana do realizacji.
Jednocześnie zostały sprawdzone deformacje dla tej geometrii - jeszcze bez układu kanałów chłodzących.

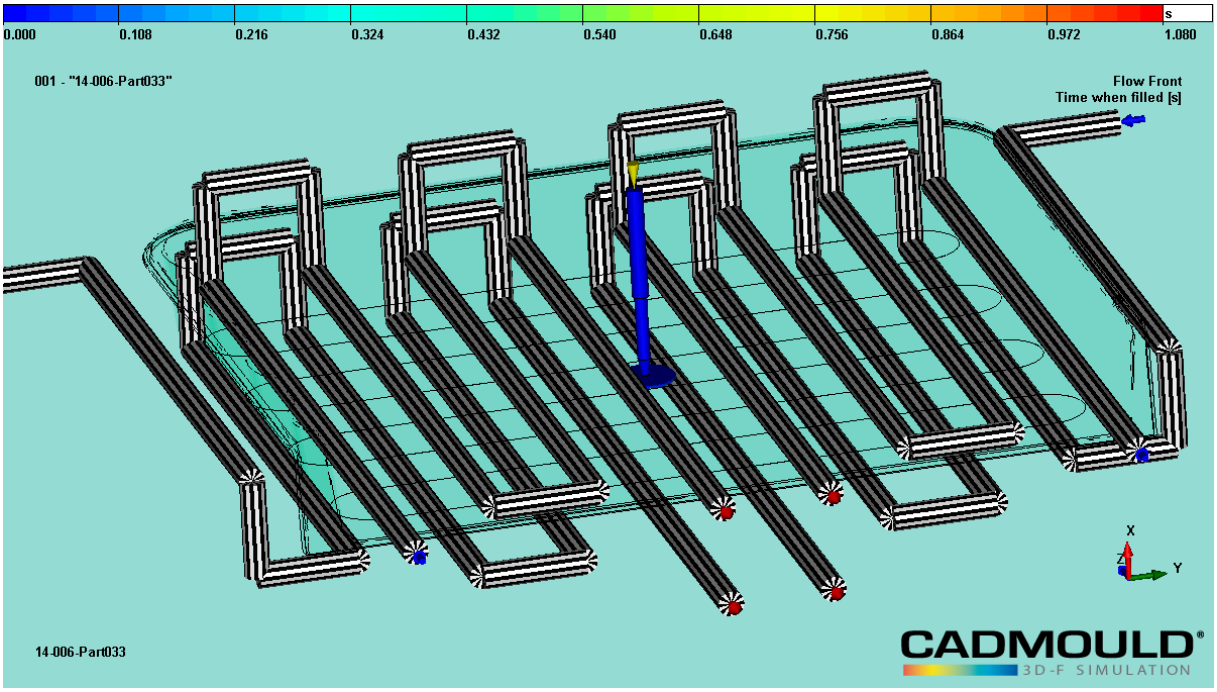


Deformacje dna wyszły poniżej 1 mm i prace przy formie ruszyły pełną parą.

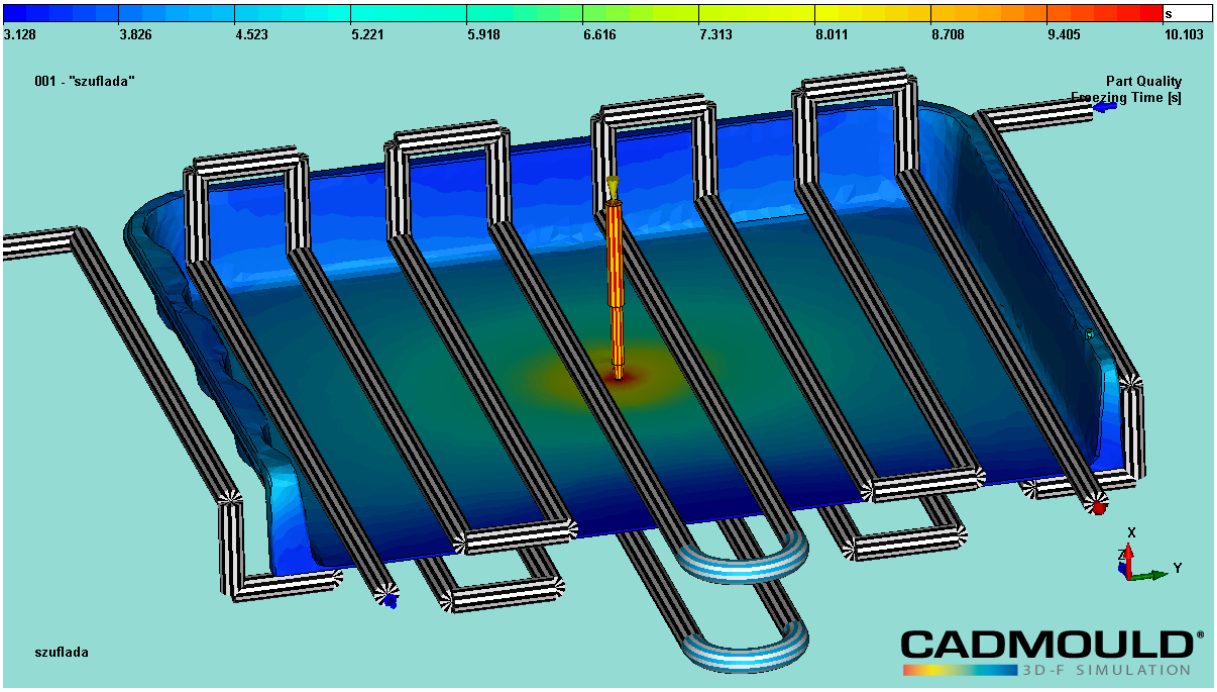
Forma



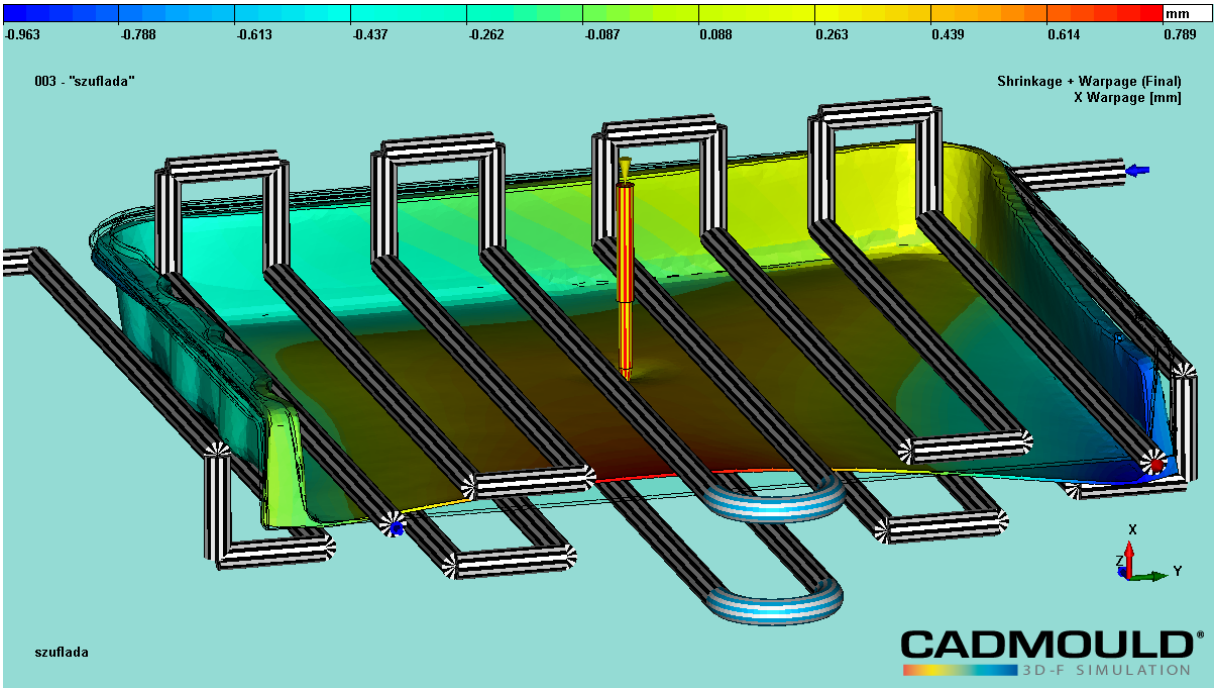
Pierwsza koncepcja formy z wrysowanymi kanałami układu chłodzenia i dobranym gatunkiem stali na płyty formujące – stal 1.2738HH - pozwoliła na przeprowadzenie pełnej analizy. Zaczniemy od czasu chłodzenia.



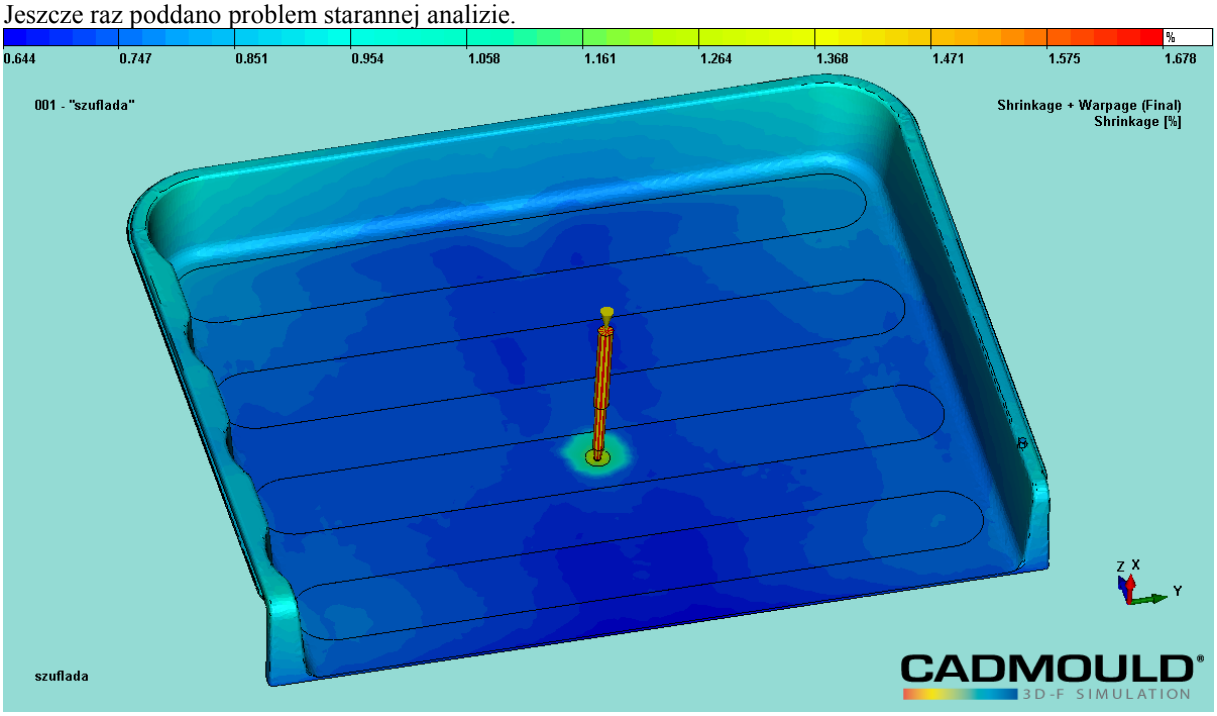
Układ kanałów chłodzących został zaprojektowany dosyć starannie. Konstruktor starał się poprowadzić kanały konformalnie.



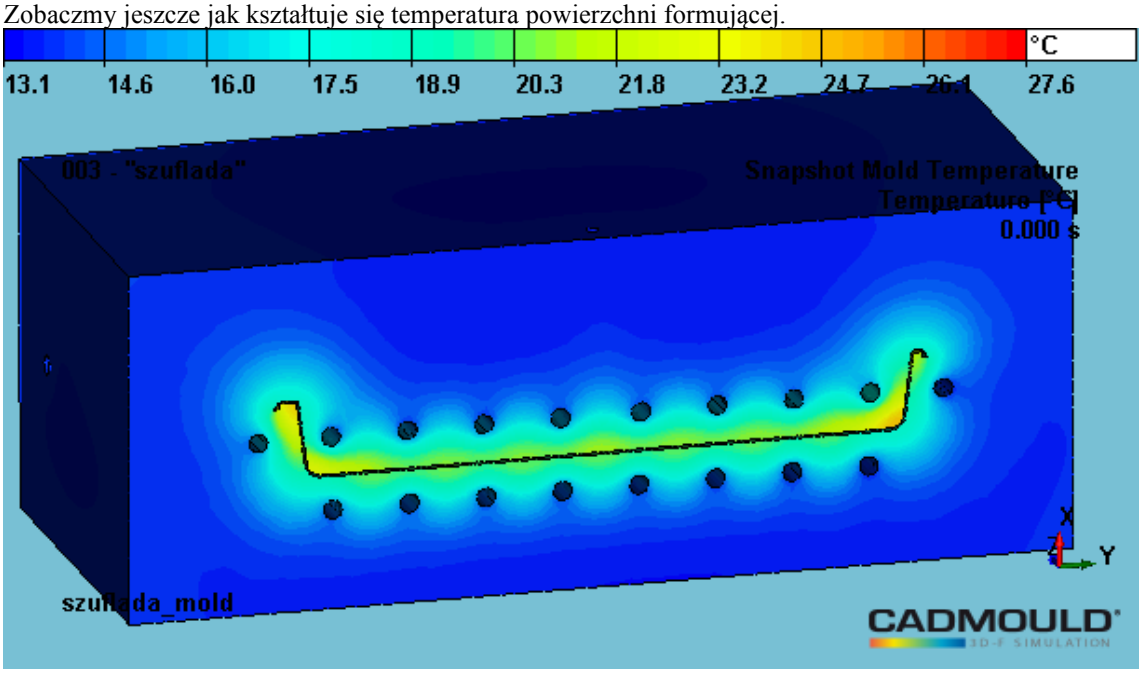
Poza obszarem przewężki czas chłodzenia jest rzędu 7,5s. Jest to niezły wynik.
Pojawiło się zasadnicze pytanie, jak przy tym układzie chłodzenia będą wyglądały deformacje wypraski.



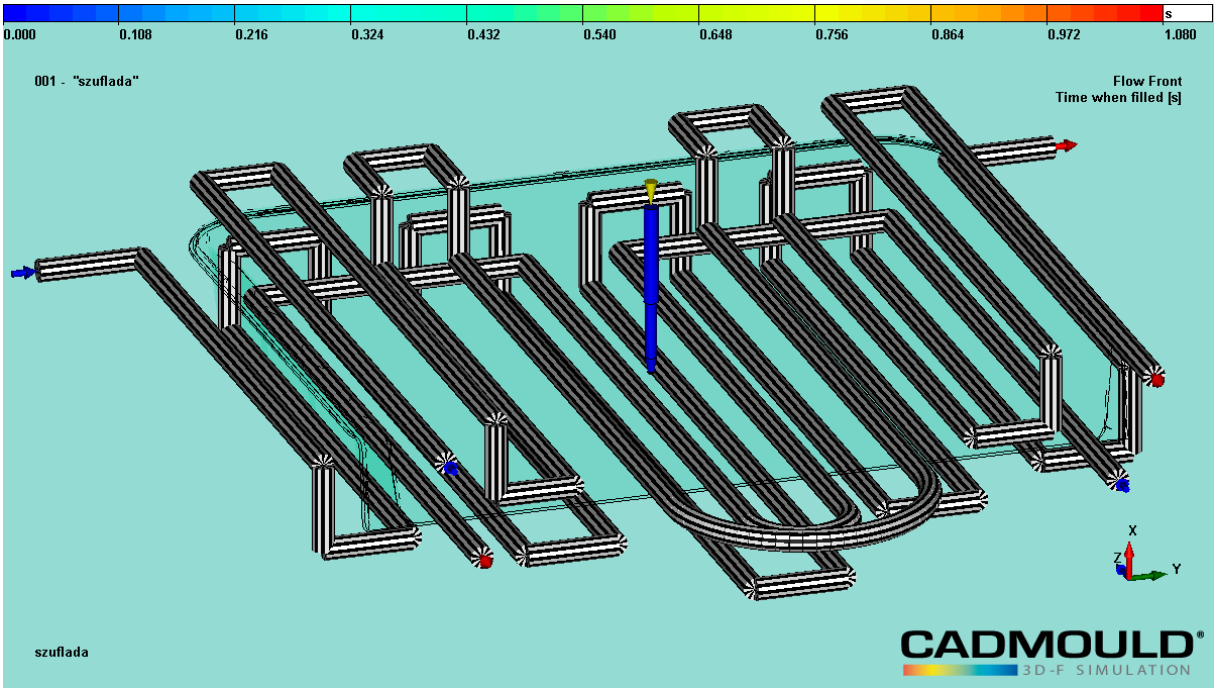
Deformacje dna zwiększyły się 3 krotnie i przekroczyły dopuszczalną wartość 1 mm. Doświadczenie podpowiada że wyniki obliczeń deformacji nie są precyzyjne i zwykle dla rzeczywistej wypraski są większe. Proces budowy formy został zatrzymany i kierownictwo narzędziowni w porozumieniu z klientem zaczęło się zastanawiać jak wybrnąć z nowo powstałego problemu. Zaczęło się od próby przekonstruowania wypraski celem usztywnienia dna. Pole manewru było małe ze względu na ograniczenie poziomu dna nie wyższe jak 3 mm. Zostały kolejno wprowadzone żebra po jednej i po drugiej stronie dna, żebra wąskie i szerokie, przetłoczenia podobne do rozwiązań usztywniających w płaskich blachach. Niestety nie przyniosło to oczekiwanej poprawy a często deformacje były większe. Najlepszy rezultat został uzyskany przy zamianie PP na PS, gdzie deformacje obliczeniowe dna spadły do wartości 1 mm. Na takie rozwiązanie nie zgodził się klient.
Co robić, czas ucieka, impas trwa. Teraz dała propozycje narzędziownia które polegały na zmianie lokalizacji i ilości punktów wtrysku. Zostały przebadane dwie opcje, przesunięcie istniejącej dyszy bliżej otwartego boku i zasilenie przez 2 dysze. Efekt był taki że przesunięcie dyszy do otwartego boku zmniejszyło deformacje o 15% natomiast zasilenie przez 2 dysze zwiększyło deformacje do 2 mm. Czyli stoimy w miejscu mimo przeprowadzenia wielu analiz.
Jeszcze raz poddano problem starannej analizie.



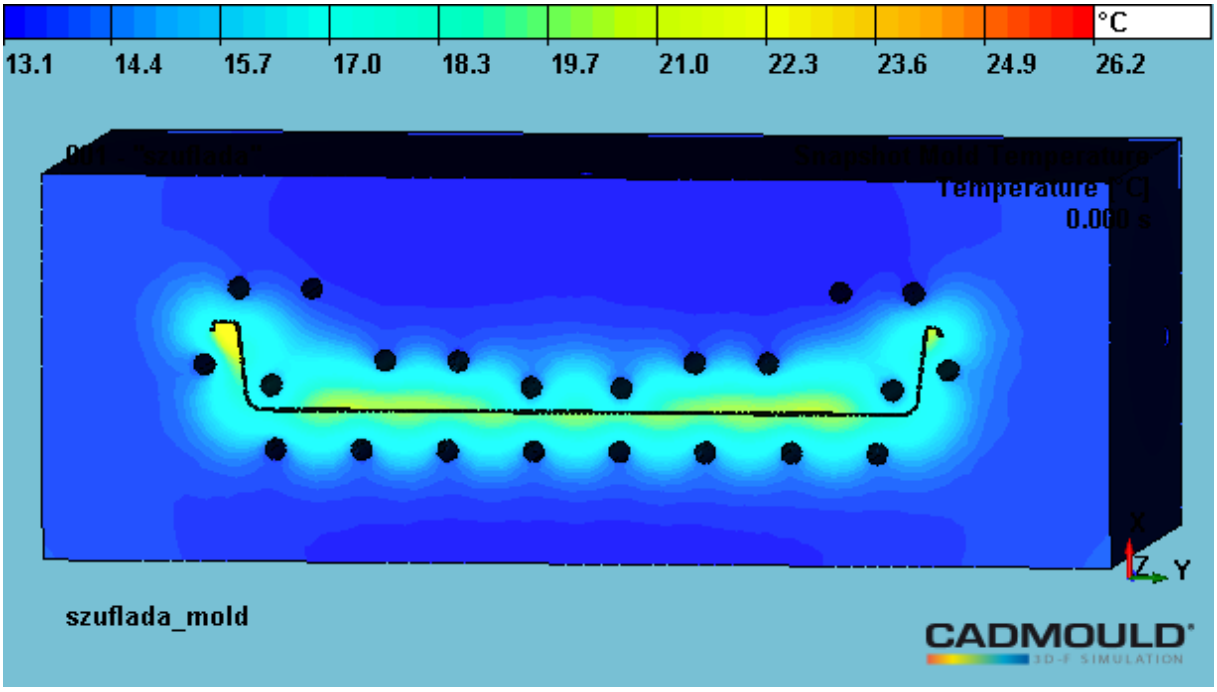
Widzimy że skurcz liniowy od strony otwartego boku jest najmniejszy. Podobnie sytuacja wygląda na pozostałych 3 bokach. Brak ściany bocznej (od strony otwartej) nie hamuje deformacji i z tej strony taca wybrzusza się. Teraz rozumiemy mechanizm deformacji i wiemy że jej przyczyną jest geometria wypraski. Niestety, tej geometrii ze względu na funkcjonalność produktu, nie możemy zmienić. Czy da się coś zrobić żeby wyrównać skurcz i obniżyć deformacje?
Zobaczmy jeszcze jak kształtuje się temperatura powierzchni formującej.



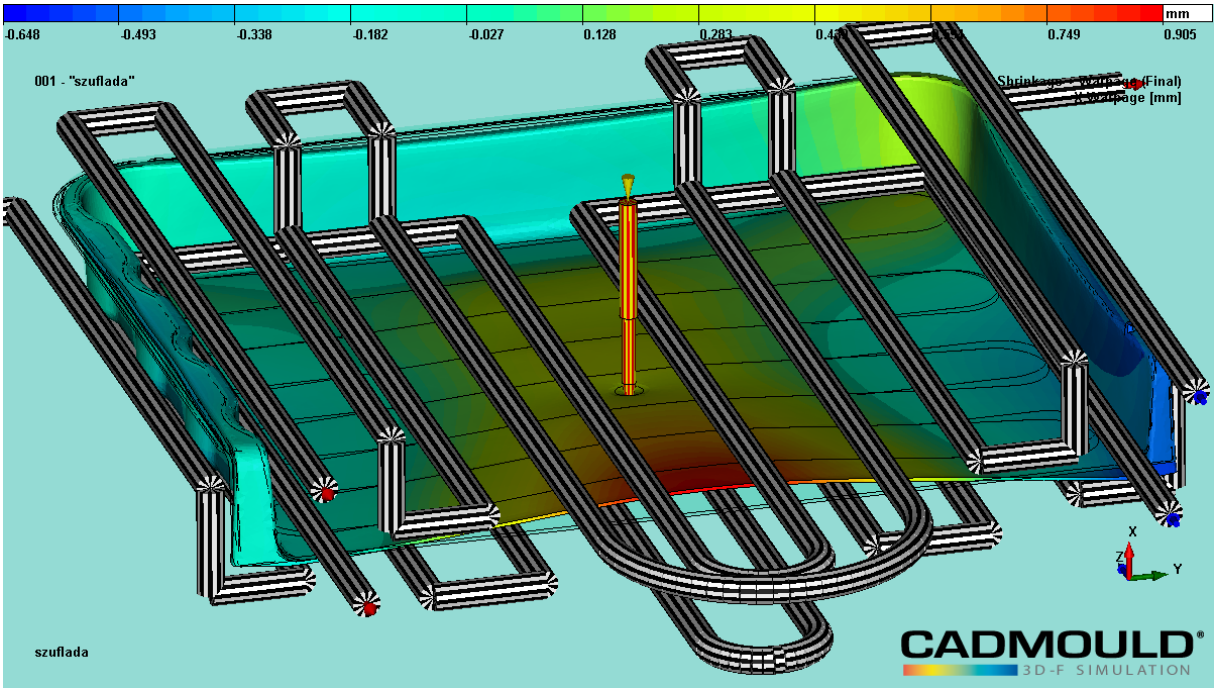
Jeżeli dokładnie przyjrzymy się temperaturze formy to zauważymy że naroża stempla (wypukła strona) posiadają wyższą temperaturę jak naroża matrycy (wklęsła strona). Ta różnica jest rzędu 6 stC. Podstawowa wiedza technologiczna podpowiada, że im wyższa temperatura powierzchni formy tym wypraska osiąga większy skurcz. Te różnice skurczu i towarzyszące im naprężenia szczątkowe mogą być kolejną przyczyną deformacji.
Po zrozumieniu sytuacji padły trzy propozycje:
1 – zmieniamy materiał płyt formujących na stal o wyższej przewodności termicznej
2 – w miejsca gdzie powierzchnia formy osiąga najwyższą temperaturę wstawiamy wkładki z brązu
3 – zmieniamy geometrię kanałów chłodzących tak aby zmniejszyć różnicę temperatur powierzchni formującej.
Ad 1 - Płyty na formę czekają od kilu miesięcy, narzędziownia nie chce i nie może ponosić dodatkowych kosztów i rezygnuje z tej opcji, zwłaszcza że analiza nie pokazała zdecydowanej poprawy.
Ad 2 – Wstawienie wkładek w naroża podnosi koszty materiałowe i bardzo zwiększa koszty robocizny. Podobnie jak w przypadku 1, następuje rezygnacja z tej opcji.
Ad 3 – narzędziownia zgadza się na zmianę konfiguracji układu chłodzenia i zmiany zostają wprowadzone do formy.



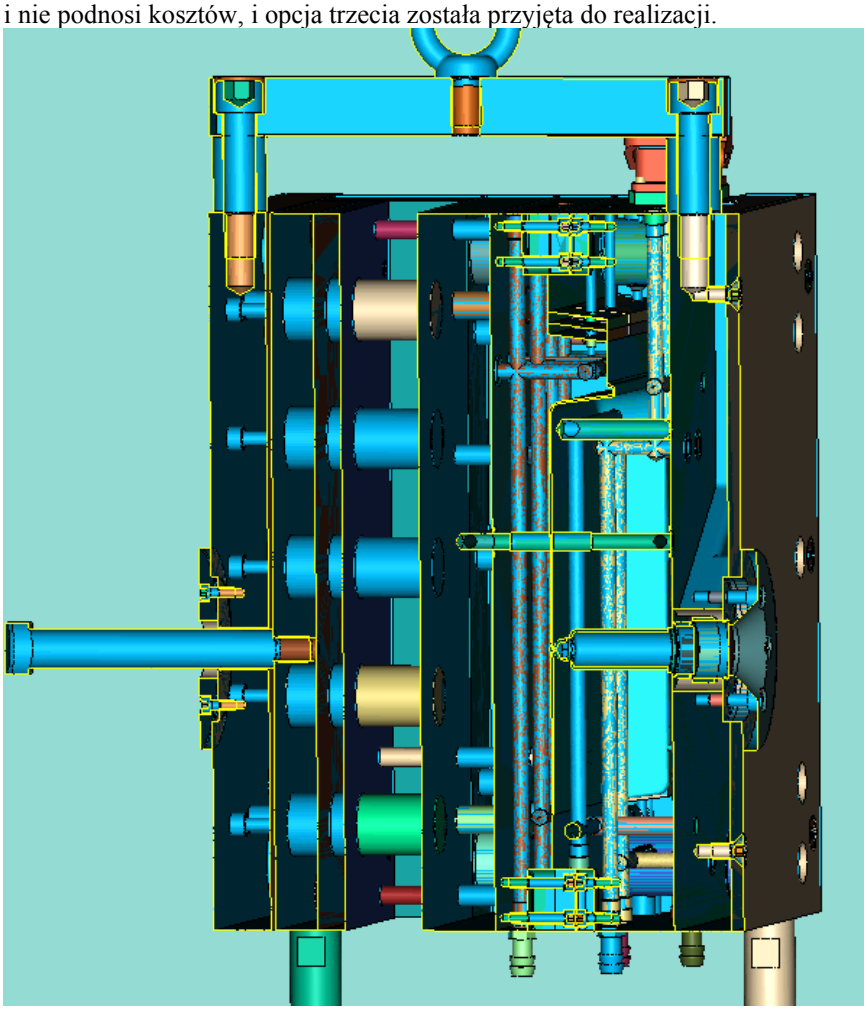
Kanały przesunięto bliżej naroży i wprowadzono dodatkowe.



W efekcie przesunięcia kanałów różnica temperatur zmniejszyła się co pozwoliło zmniejszyć deformacje.



Zmniejszenie deformacji jest niewielkie ale kierunek działania właściwy, praktycznie nie zmienia budowy formy i nie podnosi kosztów, i opcja trzecia została przyjęta do realizacji.



Ostateczna wersja formy po wprowadzeniu wszystkich zatwierdzonych propozycji.
Nareszcie prace ruszyły pełną parą i w ciągu kilku tygodni forma trafiła na próby na wtryskownię.
Co wypadło z formy? Wypadła ładna wypraska ale deformacje - rzędu 3 mm - były kilkakrotnie większe jak dopuszczalne.

Jakie wnioski możemy wyciągnąć z tej przygody.
Nie lekceważmy wydawało by się na pierwszy rzut oka prostych wyprasek, szczególnie jeśli posiadają względnie cienkie ścianki w stosunku do gabarytów. Wkładajmy więcej wysiłku w pierwsze analizy. Starajmy się pogłębiać analizy nawet kosztem stworzenia dokładniejszej koncepcji formy, ten nasz wysiłek zawsze się opłaci . Przygoda o tyle dobrze zakończyła się dla narzędziowni że klient po sprawdzeniu partii próbnej stwierdził że zwiększone deformacje nie są dla niego problemem i przyjął formę. Co by się stało gdyby klient jednak próbował wyegzekwować umówione warunki? Strach pomyśleć, ale takie sytuacje zdarzają się co pociąga za sobą duże straty finansowe dla narzędziowni. A więc im więcej analiz w pierwszym etapie powstawania produktu i narzędzia, tym mniejsze ryzyko poniesienia porażki.

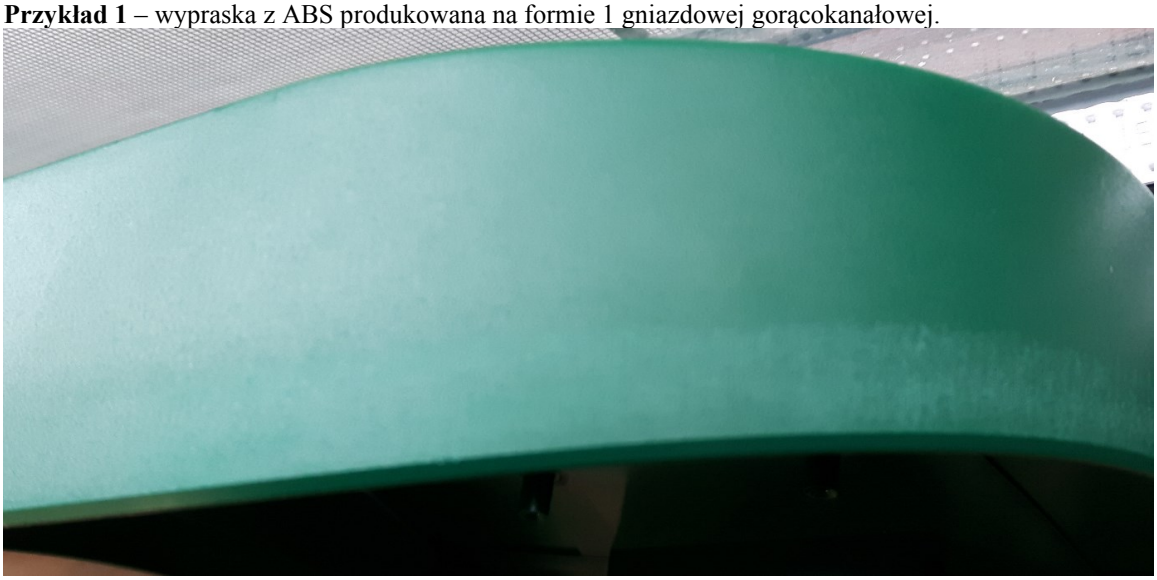
17. Niszczenie faktur na wypraskach polimerowych

Na rynku komponentów z polimerów zauważa się wzrost wymagań dla wyprasek których powierzchnie pierwszoplanowe posiadają faktury. Powierzchnie fakturowane potrafią ukryć defekty typu zapady czy linie płynięcia pod warunkiem, że geometria wypraski i budowa formy uwzględnia typ i wysokość faktury. Jednak powierzchnie takie wymagają większych pochyleń technologicznych niż polerowane powierzchnie formujące. Pochylenia technologiczne zależeć będą od wysokości chropowatości i umiejscowienia obszarów z fakturą. Jeśli pochylenia nie są dostatecznie duże, a forma nie jest wystarczająco sztywna, wtedy powierzchnia fakturowana wypraski może ulec uszkodzeniu przy otwieraniu formy. Dokładność, z jaką powierzchnia fakturowana jest odtwarzana przy wtrysku zależy od samego tworzywa, jego lepkości, szybkości stygnięcia i warunków samego procesu jak: prędkość i temperatura wtrysku oraz ciśnienie docisku.
W zasadzie wszystkie powierzchnie uwalniane w kierunku otwierania formy muszą posiadać odpowiednie minimalne pochylenia. Konieczne pochylenia technologiczne stanowią wciąż trudny do zdefiniowania problem. Ogólnie można przyjąć w przypadku polerowanych powierzchni formujących:
- dla niewypełnionych tworzyw termoplastycznych minimalne pochylenie technologiczne równe 0,5 °,
- dla materiałów wypełnionych (włókno i/lub wypełniacze mineralne), pochylenie technologiczne powinno wynieść co najmniej 0,75 °.
Natomiast w przypadku stosowania faktury, minimalna wartość pochylenia x° (dla trzech przykładowych materiałów) powinna zostać ustalona jako funkcja wysokości chropowatości.

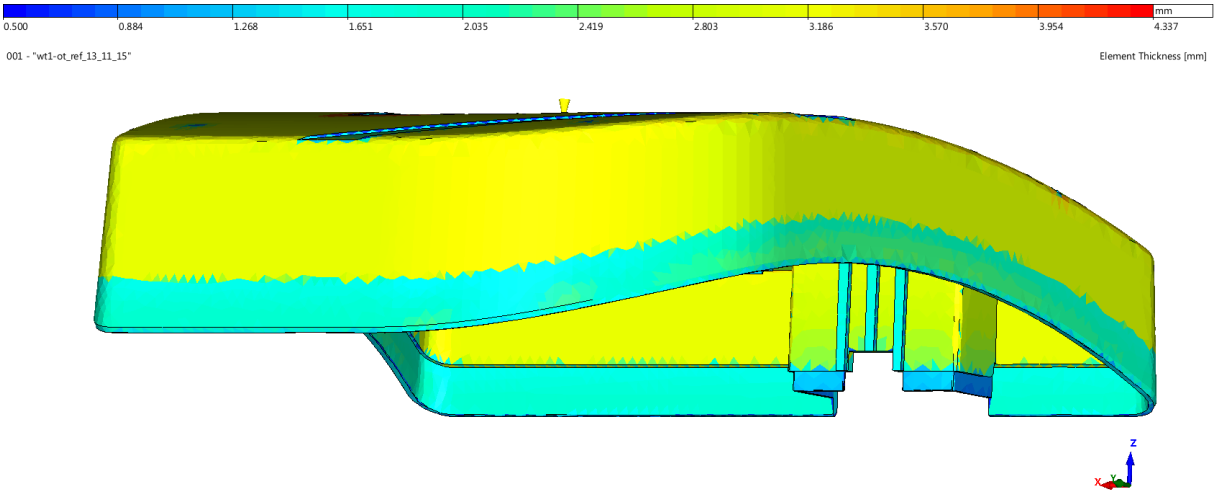
Wzorzec Charmy	Ra µm	Rz µm	minimalna wartość pochylenia x		
			PA	PC	ABS
12	0,40	1,5	0,5	1,0	0,5
15	0,56	2,4	0,5	1,0	0,5
18	0,80	3,3	0,5	1,0	0,5
21	1,12	4,7	0,5	1,0	0,5
24	1,60	6,5	0,5	1,5	1,0
27	2,24	10,5	1,0	2,0	1,5
30	3,15	12,5	1,5	2,0	2,0
33	4,50	17,5	2,0	3,0	2,5
36	6,30	24,0	2,5	4,0	3,0
39	9,00	34,0	3,0	5,0	4,0
42	12,50	48,0	4,0	6,0	5,0
45	18,00	69,0	5,0	7,0	6,0

Wartości znajdujące się w tabeli dotyczą faktur elektrodrążonych lub zaokrąglonej faktury otrzymanej po trawieniu dla grubości ścianki wypraski 2 mm. Dla tworzyw termoplastycznych wzmocnionych włóknem szklanym pochylenia technologiczne powinny być o jeden stopień wyższe.
Czytelnika zainteresowanego tym tematem odsyłamy do źródła, opracowania firmy Bayer - ATI 584 - autor Dieter Schauf, do znalezienia w internecie. Autor wyczerpująco opisał typy faktur, technologie ich wytwarzania, zalecenia do konstrukcji wyprasek i form.
W artykule chcemy omówić dwa przypadki które są stosunkowo proste a spowodowały problemy trudne do usunięcia. Są to obudowy na moduły elektroniczne.

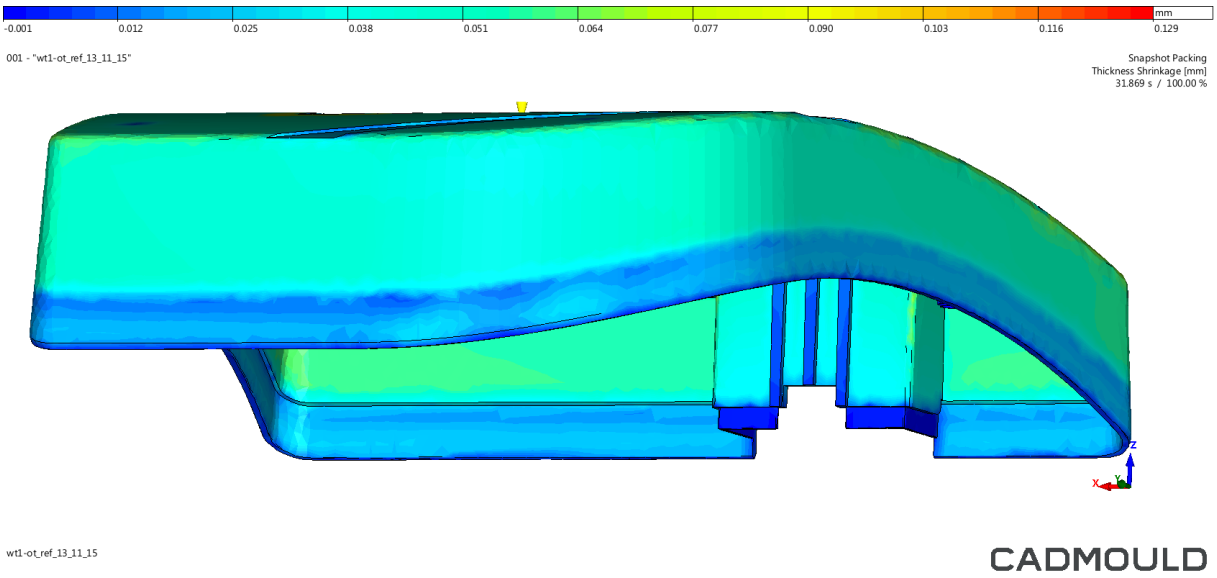
Przykład 1 – wypraska z ABS produkowana na formie 1 gniazdowej gorącokanałowej.



Widać zacieranie faktury występujące na pobocznicy wypraski na wysokości ok. 12 mm od krawędzi.

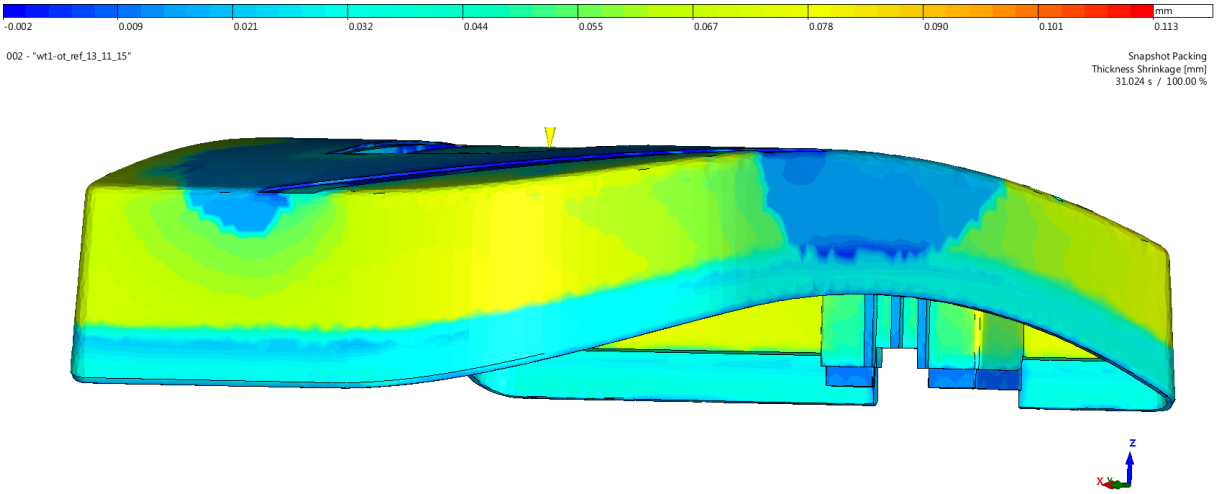


Od razu dało się zauważyć że niszczenie faktury następuje na pocienionym obrzeżu gdzie grubość ściany wynosi ~2,2 mm. Na pozostałym fragmencie ściany grubość wynosi 3 mm.
Po wykonaniu analizy dla parametrów procesu deklarowanych przez wtryskownię okazało się, że skurcz na grubości ścian jest różny. Im cieńsza ściana tym mniejszy skurcz.

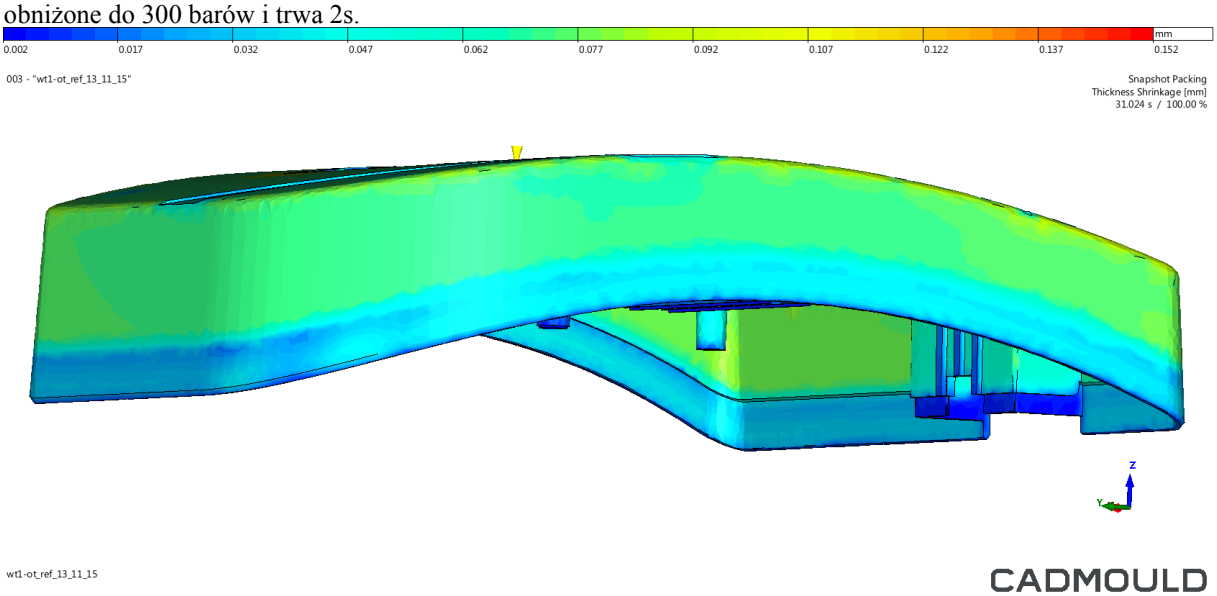


Obrazek pokazuje że skurcz na grubości na cienkim obrzeżu jest rzędu 0,015 do 0,025 mm a dla pozostałych grubych ścian wynosi 0,05 do 0,06 mm.

Po zmianie profilu docisku na następujący:
1 – 100 barów przez 7s,
2 - 500 barów przez 1s
uzyskano rozkład skurczu jak niżej



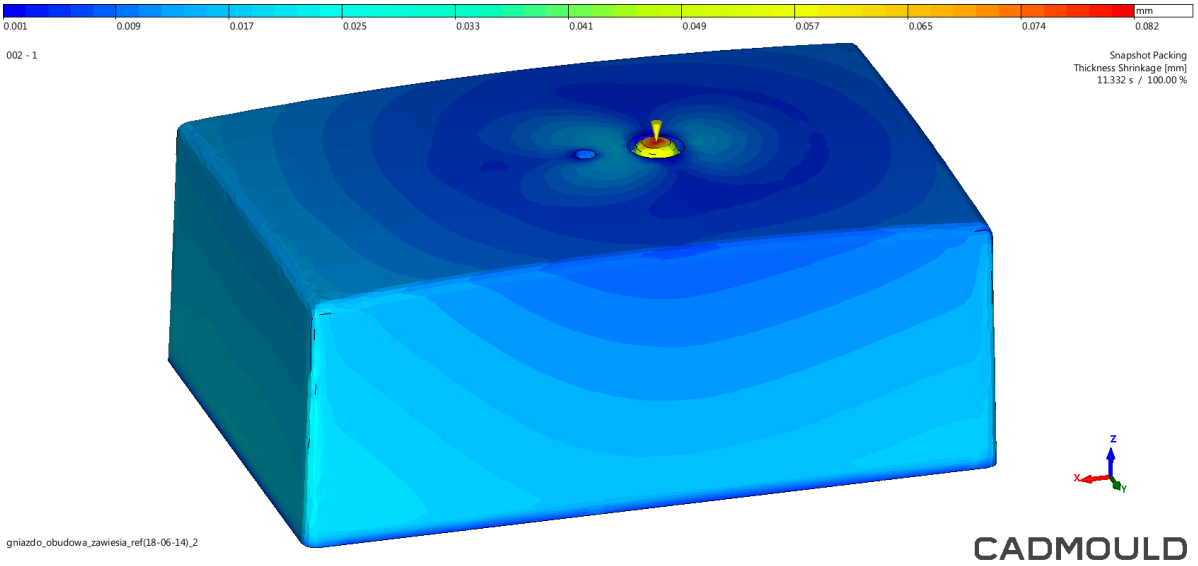
Skurcz na cienkim obrzeżu jest teraz rzędu 0,03 mm ale niestety deformacje wypraski wzrosły ~50%.
Przy następnej analizie została zwiększona prędkość wtrysku (czas wtrysku 1s) a ciśnienie docisku zostało obniżone do 300 barów i trwa 2s.



Średni skurcz na grubości cienkiego obrzeża wzrósł do ok 0,04 mm. Niestety, wzrosły również deformacje wypraski o ~70%.

Nasuwa się wniosek że przyczyną zacierania faktury na cienkim obrzeżu jest jej większa głębokość jak skurcz na grubości.
Mamy dwie możliwości:
- albo parametrami procesu podniesiemy na cienkim obrzeżu skurcz na grubości,
- albo zmniejszymy głębokość faktury.
Ze zmianą parametrów wiąże się ten problem że poprawiając jedno możemy popsuć drugie. Dlatego być może trzeba będzie zaingerować w formę i np. zastosować fakturę o mniejszej wysokości.

Przykład 2 – wypraska z kopolimeru PC+ASA produkowana na formie 4 gniazdowej gorącokanałowej.
To tworzywo, podobnie jak ABS charakteryzuje się małym skurczem przetwórczym, a zgodnie z życzeniem klienta wypraska powinna posiadać wyraźną fakturę. Wobec tego w procesie budowy formy matryce zostały wykończone przez drążenie. Przy pierwszych wtryskach okazało się że wypraski przy otwieraniu formy pozostają w matrycach, chociaż forma została zbudowana w opcji - spychanie wypraski ze stempla. Wydłubywanie 4 wyprasek z formy jest nie do przyjęcia. Dlaczego wypraski zostawały w matrycy? Została wykonana analiza wtrysku dla parametrów procesu zastosowanych podczas prób formy.

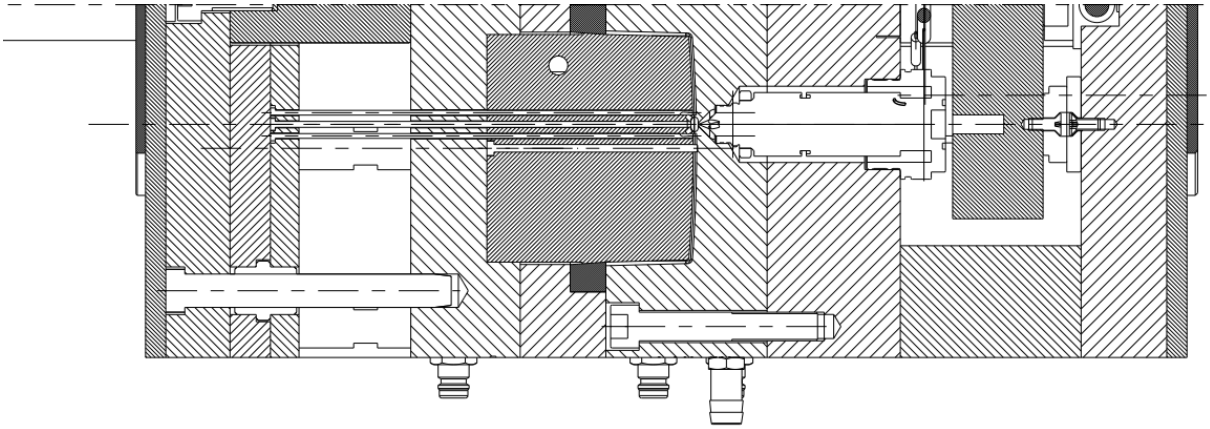


Okazało się że na bocznych ścianach wypraski skurcz na grubości zawiera się od 0,008 do 0,016 mm a wysokość faktury przekracza te wartości kilkakrotnie. A więc pozostawanie wypraski w matrycy jest zjawiskiem normalnym, tak powinno być.

Co zrobiła narzędziownia? Starym skutecznym zwyczajem zostały nacięte na stemplu rowki, tzw. zabieraki do zatrzymania wypraski po stronie stemplowej formy.

Forma zaczęła pracować poprawnie ale na zewnętrznej fakturowanej powierzchni wypraski pojawiły się smugi.

Od razu nasuwa się pytanie, skąd wzięły się te smugi?
I tu zadziałało zjawisko podobne do działania klina w szczelinie. Płytkie zaokrąglone żebra trzymające wypraskę na stemplu spełniły rolę mini klinów, które przy ruchu otwierania formy dociskały lokalnie wypraskę do matrycy. W miejscu docisku (naprzeciwko żebra) faktura była niszczona co objawiało się śladami w postaci smug na zewnętrznej ścianie wypraski.
Po tej przygodzie już wiemy że forma powinna być inaczej zbudowana. Wypraski z tworzyw o niskim skurczu jak ABS, SAN, PC, ASA i tym podobnych, posiadające na ścianach zewnętrznych fakturę, powinny być odwrotnie rozformowane.



Tak jest zbudowana aktualna forma. Przy otwieraniu formy stempel zabiera wypraskę a następnie płyta spychająca zrzuca wypraskę ze stempla.
Aby uwolnić wypraskę bez uszkodzenia faktury, należy w pierwszej kolejności wysunąć stempel z wypraski całkowicie lub częściowo, a następnie zabrać wypraskę z matrycy. Jest to kłopotliwe, komplikuje budowę formy i podnosi jej koszt. Niestety, nie ma innego wyjścia aby uzyskać wypraskę bez wad optycznych na powierzchni z fakturą.
Co możemy zrobić aby usunąć istniejący problem:
- zastąpić istniejące tworzywo surowcem o większym skurczu; mogą wystąpić nieakceptowalne deformacje wypraski,
- za zgodą klienta zmniejszyć lub zlikwidować fakturę,
-przebudować istniejącą formę; narazimy się na bardzo wysokie koszty, kto za to zapłaci.

Na koniec nasuwa się wniosek że nie wolno lekceważyć nawet prostych wyprasek które posiadają fakturowane powierzchnie. Stosowanie faktur na wypraskach musi zostać poprzedzone dokładną analizą. Musimy posiadać pełną wiedzę z jakiego tworzywa będzie produkowana wypraska i jaką fakturę życzy sobie klient, i dla tych warunków zbudować formę o odpowiedniej konstrukcji. Wydaje się nieodzownym korzystanie z programów symulacji wtrysku aby przewidzieć skurcze i deformacje w kontekście w/w ograniczeń.

Polskim tłumaczeniem ATI 584 dysponuje kolega Michał Kurleto michal.kurleto@wadim.com.pl i chętnie je udostępni zainteresowanym.

18. Analizy sprzężone w budowie form wtryskowych

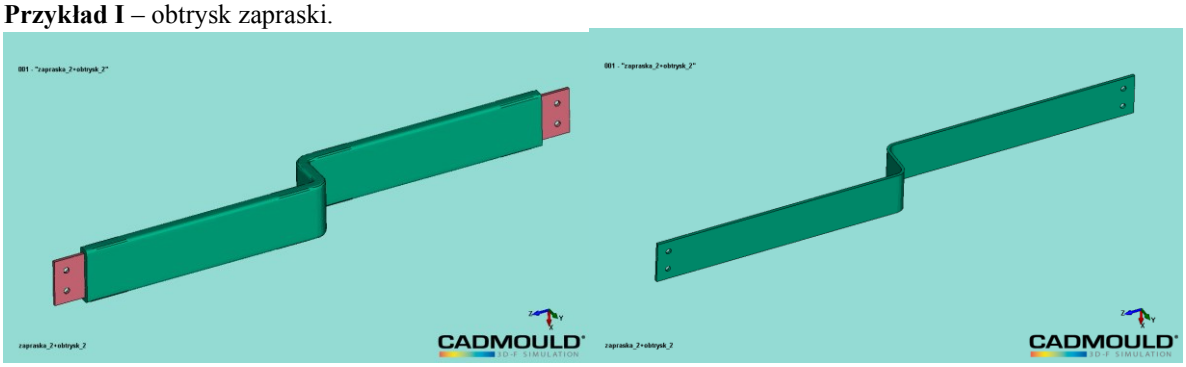
W 2001 roku w Aachen w Niemczech podczas Cadmould International User Meeting, firma Simcon przedstawiła podstawy i możliwości przeprowadzenia tzw. analizy sprzężonej - coupled analysis - w budowie form wtryskowych
Dlaczego analiza sprzężona?
Programy CAE mogą być postrzegane jako systemy samodzielne, tj. analiza strukturalna zapewnia poprawną informację o sztywności i niezawodności wypraski lub formy, a analiza przepływu mówi wiele o sposobie wypełniania gniazda. Ale jakie są rzeczywiste warunki brzegowe procesu formowania wtryskowego? Czy wszystkie założenia dotyczące wtrysku i kształtu gniazda formującego są prawidłowe? Odpowiedzi na wiele z tych pytań można uzyskać, łącząc programy analityczne w taki sposób, że same określają warunki, pozwalając na interakcję różnych programów.
W pierwszym podejściu, finansowanym przez COSMOS projekt ESPRIT, sprzężenie zostało zaprogramowane i przeprowadzone pomiędzy programami Cadmould i MARC.

Przepływ informacji
Na początku…
W tym partnerstwie Cadmould dostarczył analizę procesu wypełnienia, co zwykle robi. W sprzężonej symulacji z oprogramowaniem do analizy strukturalnej generowana jest jednak dodatkowa informacja o tym, w jaki sposób powierzchnia gniazda jest lokalnie obciążana przez siły indukowane przez wtryskiwany stop. Może to stanowić poważny problem, gdy skomplikowane kształty wypraski wymagają form wielogniazdowych z suwakami lub cienkimi rdzeniami. Elementy formy, które nie są wystarczająco sztywne, mogą chwilowo lub trwale się ugiąć, a nawet złamać z powodu tych sił.
... i z powrotem.
Poza naprężeniem mechanicznym w formie, które może powodować uszkodzenie konstrukcji, może wystąpić sprzężenie zwrotne odkształceń formy z wypełnianiem gniazda. Jeśli odkształcenia korpusu formy i cienkich ścianek stają się duże z powodu wysokiego ciśnienia wtrysku, może to spowodować częściowe lub całkowite zdławienie dróg przepływu. Jest to tym ważniejsze, że jest to proces samoczynnie sprzężony:
-- zredukowany przekrój przepływu spowalnia przepływ → przekrój blokuje się wcześniej, a przepływ jest bardziej niezrównoważony → siły poza centrum wzrastają. Również przesunięty rdzeń zwiększy szczelinę przepływu po jednej stronie i zmniejszy ją po przeciwnej stronie → przepływ będzie łatwiejszy na pierwszej stronie i utrudniony z drugiej strony → obszar pod ciśnieniem będzie się przesuwać coraz bardziej od pozycji pierwotnej.

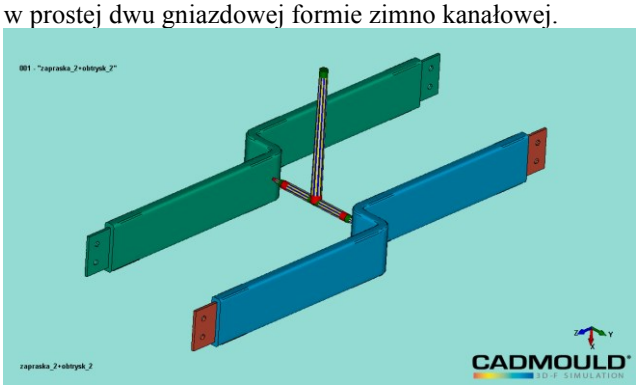
Zjawiska "nadmiernych deformacji formy" i "niedrożności ścieżki przepływu" wynikają z asymetrycznych obciążeń na ścianach, suwakach i rdzeniach form. Oczekuje się, że wystąpią podczas wypełniania gniazda. W wielu przypadkach obciążenia szczytowe pojawią się pod koniec wypełnienia, gdy większość obszarów gniazda zostanie wypełniona, a ciśnienie wtrysku gwałtownie wzrośnie, gdy trzeba będzie wypełnić pozostałą objętość gniazda. Mogą jednak występować przypadki, w których stop musi przejść krytyczne obszary formy na wcześniejszym etapie wypełniania. Również kształt gniazda może być zbyt złożony, aby przewidzieć czas maksymalnego obciążenia lub odkształcenia z góry, w którym to przypadku dokładna wartość tego krytycznego czasu powinna być częścią wyników symulacji.
Powyższe rozważania ilustrują konieczność ścisłego powiązania obu symulacji ze stałą wymianą informacji między nimi.
Obecnie sprzężony proces symulacji jest całkowicie kontrolowany przez Cadmould. Nie wymaga interakcji użytkownika z oprogramowaniem do analizy strukturalnej. Przydatna może być jednak podstawowa wiedza na temat możliwości przetwarzania końcowego oprogramowania do analizy strukturalnej w celu oceny wszystkich aspektów wyników.
Analiza strukturalna oparta jest na bryłowej czworościennej siatce MES. Wpływ zmieniających się właściwości materiału w zapraskach przewodzących ciepło nie jest uwzględniany. Obliczenia siły mocującej za pomocą oprogramowania do analizy strukturalnej i efektów termicznej ekspansji nie są obecnie uwzględnione, ale mogą zostać dla przyszłych wersji rozszerzone o nowe funkcje. [1]

Na dzień dzisiejszy, deformacja zaprasek jest liczona przez integralny moduł w Cadmould V10 w oparciu o analizę sprzężoną.
Pokażemy dwa przykłady, gdzie dzięki analizie sprzężonej można przewidzieć problemy z delikatnymi zapraskami i wiotkimi stemplami oraz stosunkowo szybko znaleźć właściwe rozwiązanie.

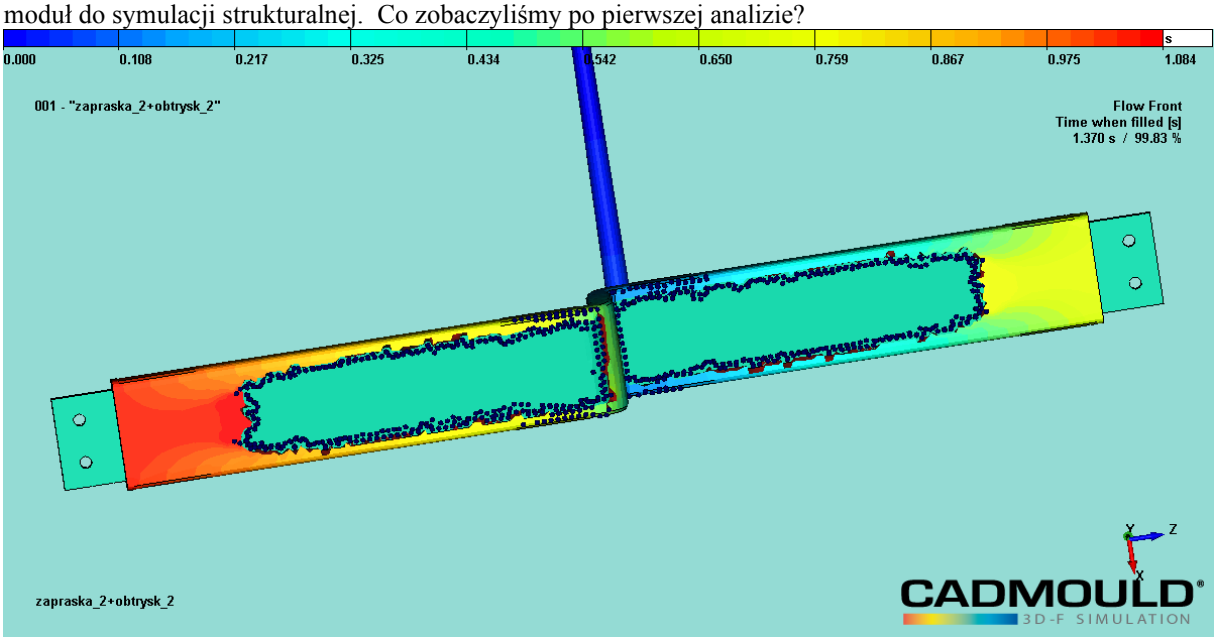
Przykład I – obtrysk zapraski.



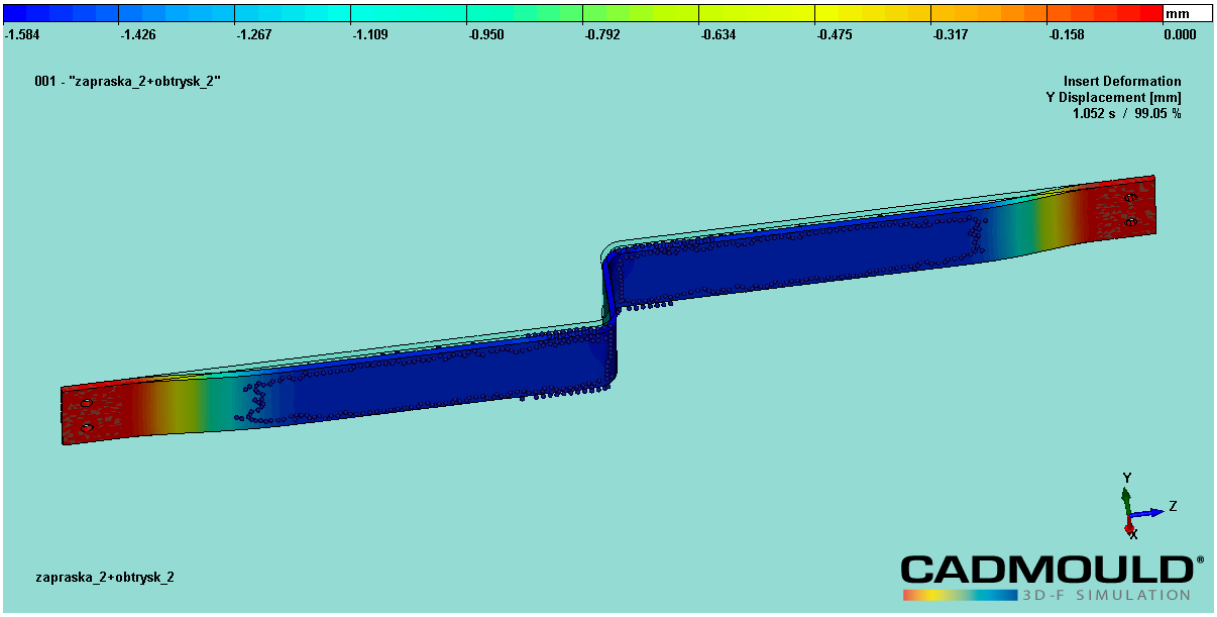
Zapraską jest blacha stalowa o grubości 1 mm, szerokości 15 mm, przegięta w kształcie długiej litery Z. Blaszana zapraska jest obtryskiwana PP w formie dwu gniazdowej. Grubość ścian wypraski jest równomierna dla całego kompletu i wynosi 1,5 mm. Ze względu na wielkość zamówienia postanowiono produkować wypraski w prostej dwu gniazdowej formie zimno kanałowej.



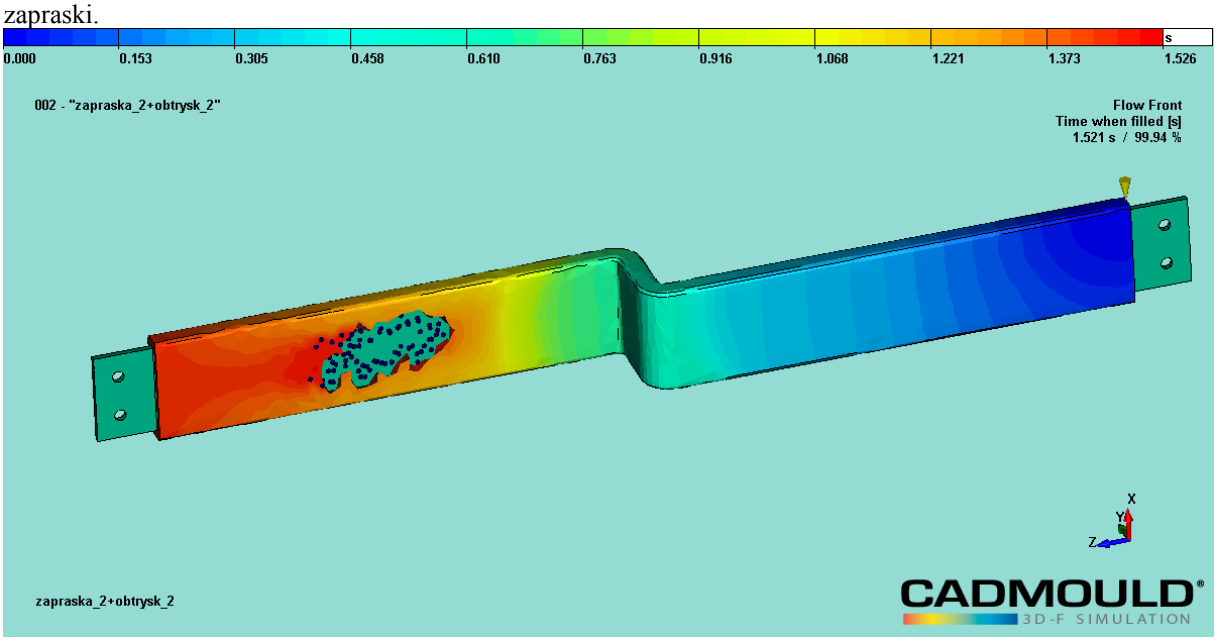
Zapraska jest wstawiana w gniazda formujące i trzymana za wolne końce zaciśnięte przez formę. Mimo prostoty tematu, postanowiono sprawdzić zachowanie się zapraski podczas fazy wypełniania gniazd korzystając z symulacji.
Tak jak wcześniej wspomniano, symulacje przeprowadzono w programie Cadmould V10 który posiada w sobie moduł do symulacji strukturalnej. Co zobaczyliśmy po pierwszej analizie?



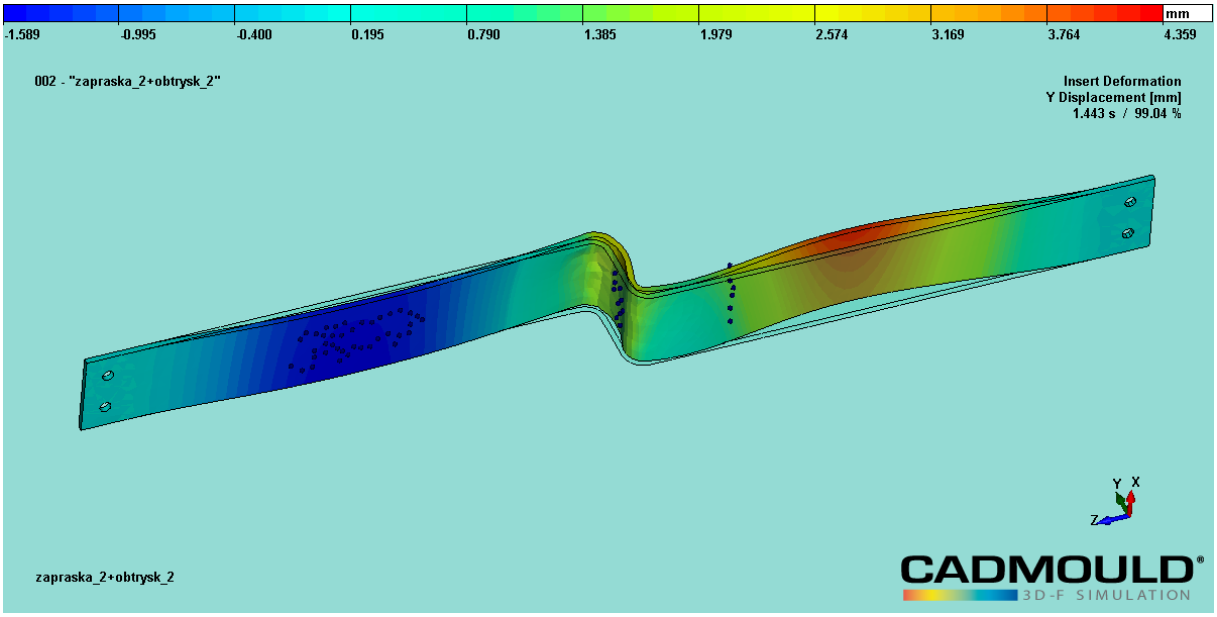
Płynący front tworzywa przepchnął zapraskę i docisnął do gniazda formy po przeciwnej stronie przewężki.



Wiotka zapraska poza miejscami zamocowania doznała deformacji równej grubości ściany wypraski 1,5 mm.
Jak przeciwstawić się tej deformacji? Padła propozycja żeby podeprzeć zapraskę kilkoma kołkami umieszczonymi w podziale formy. Na takie rozwiązanie nie zgodził się klient i istniała obawa że zapraska obróci się wokół osi Z. Poza tym należałoby przebudować formę i wyposażyć gniazda formy w suwaki niezbędne do wycofania kołków przed wypchnięciem wypraski.
Następna propozycja to takie zasilenie wypraski aby front tworzywa płynął równomiernie po obu stronach zapraski.

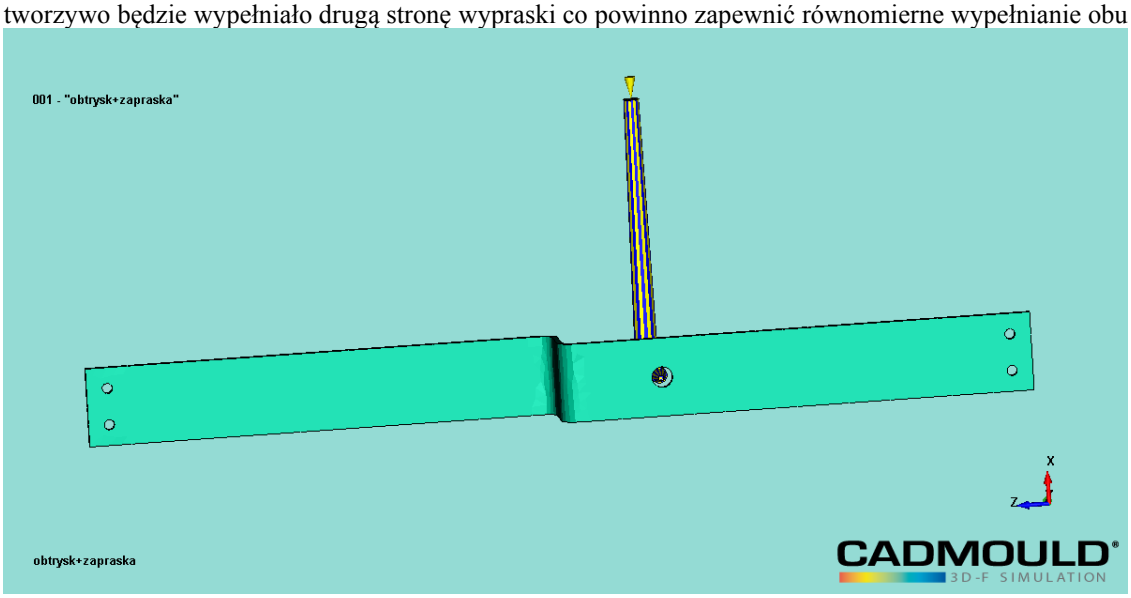


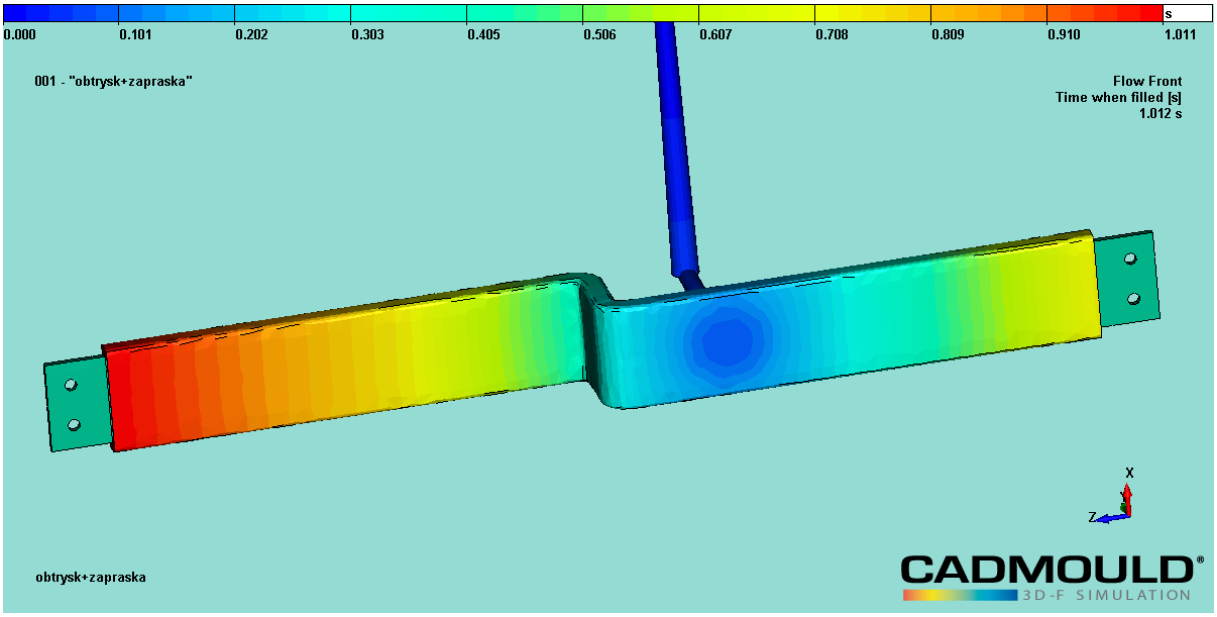
Przewężka została przyłożona w osi wypraski i ramię po prawej stronie zostało wypełnione poprawnie. Tworzywo płynąc przez zakręty zapraski tak ją przemieściło, że lewe ramię zetknęło się z gniazdem i powstał niewypełniony obszar wypraski.



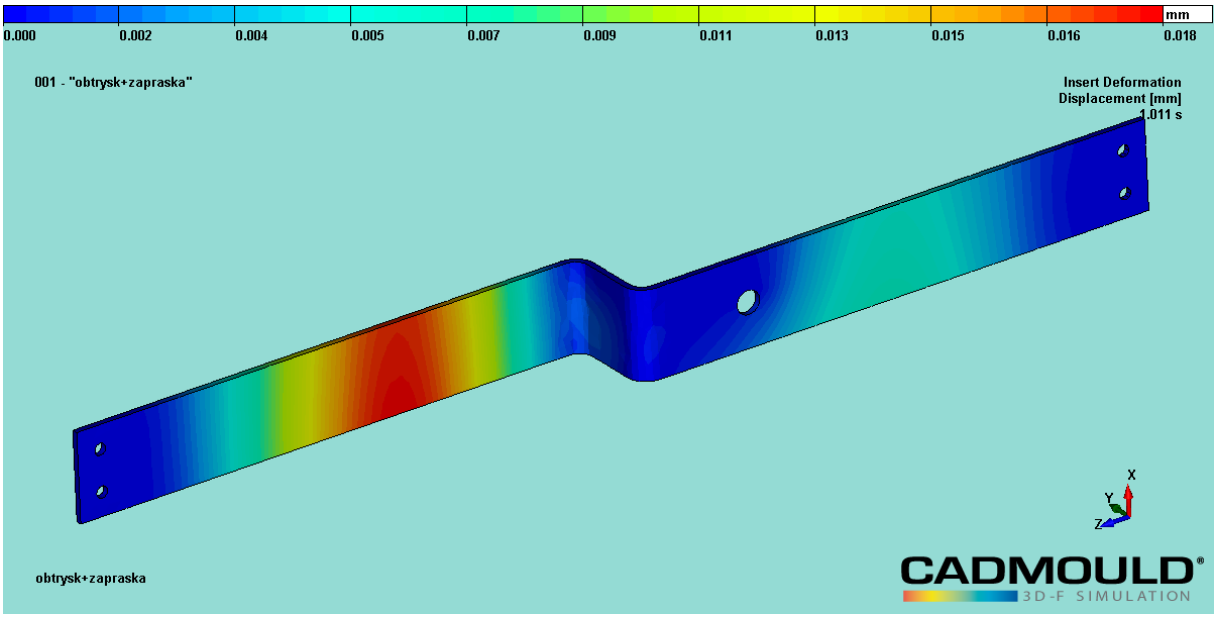
Na filmie z animacją wypełniania można było zobaczyć że widoczna bardzo duża deformacja prawej strony zapraski powstała po wypełnieniu tej strony. Dzięki temu zapraska nie zetknęła się z formą, ale po wypchnięciu wypraski dozna ona poważnych deformacji które przeniosły się z zapraski na wypraskę.
Okazało się że to rozwiązanie nie spełnia warunków uzyskania poprawnej wypraski.
Co możemy jeszcze zrobić aby rozwiązać problem?

Jeden z konstruktorów zaproponował aby w zaprasce naprzeciwko przewężki wprowadzić otwór przez który tworzywo będzie wypełniało drugą stronę wypraski co powinno zapewnić równomierne wypełnianie obu stron.

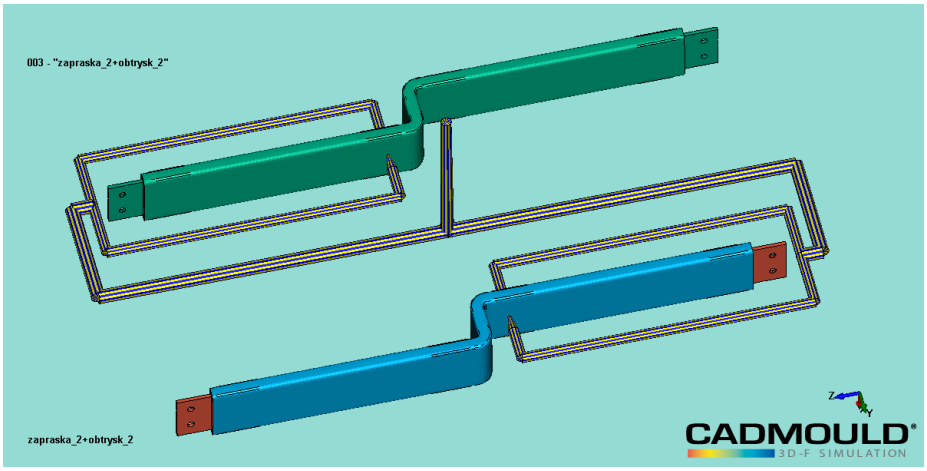




Widzimy że wypełnianie wypraski jest idealne i wydaje się, że ten pomysł załatwia temat.



Największe deformacje zapraski nie przekraczają 0,02 mm.
Czy jest to dobre rozwiązanie?
Doświadczeni specjaliści wiedzą że obliczenia są wykonywane w warunkach wyidealizowanych a tego typy zapraska może być wymiarowo niepowtarzalna. I tutaj tkwi niebezpieczeństwo że pomiędzy wynikami analizy a docelowym procesem obtrysku mogą powstać różnice uniemożliwiające poprawną produkcję.
Czy jest jeszcze jakieś inne rozwiązanie które uniezależni proces produkcyjny od wahań wymiarowych zapraski?
Zaproponowano kolejne rozwiązanie ale jest ono bardziej kłopotliwe od poprzedniego. Polega na doprowadzeniu tworzywa systemem kanałów na obie strony zapraski.



Kanały doprowadzające należy precyzyjnie zbalansować tak aby tworzywo równomiernie wypełniało obie strony. Może to być bardzo kłopotliwe, gdyż dla cieczy nienewtonowskich jakimi są tworzywa, zmiana prędkości przepływu może mieć duży wpływ na balans wypełniania. A więc wtryskarka musi bardzo dokładnie utrzymywać zadane parametry procesu. Również analizy wykonane dla tego rozwiązania wykazały że bardzo małe zmiany średnic kanałów oraz wymiarów zapraski posiadają duży wpływ na poprawność wypełniania formy.

Co wykazały analizy? Że temat jest bardzo trudny do opanowania i konstruktor musi dokładnie przewidzieć i przemyśleć wszystkie problemy. Przy kalkulacji wykonania formy należy uwzględnić dodatkowe eksperymenty konieczne do opanowania sytuacji.

Programy do analiz cały czas są rozwijane. Nowe możliwości programowe dają nowe możliwości konstruktorom do przewidywania skutków podejmowanych decyzji projektowych. Warto te możliwości programowe poznawać i korzystać z nich jak najczęściej.

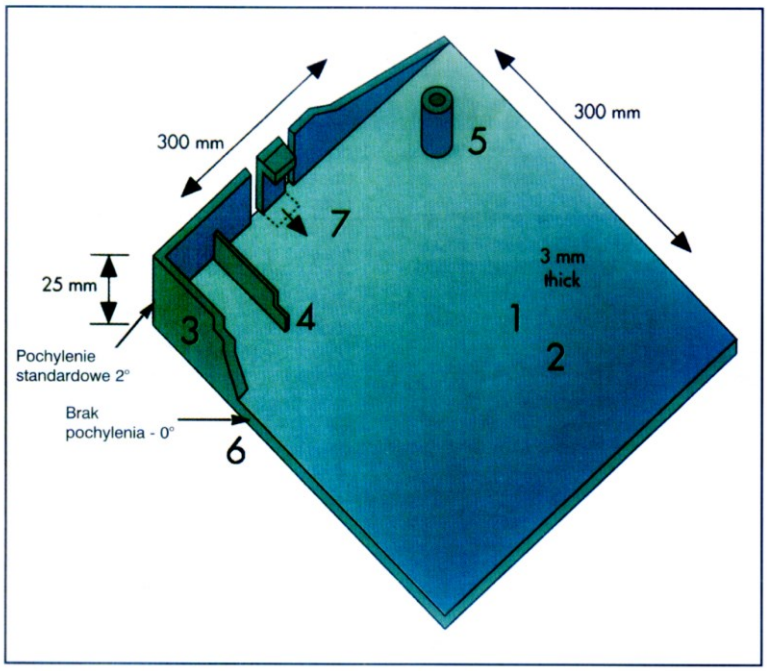
[1] Niepublikowane materiały firmy Simcon

19. Ile kosztuje forma wtryskowa

Ile kosztuje forma?

Jest naszym zamysłem by dać konstruktorom i narzędziowcom prosty schemat dla porównania kosztów formy w zależności od stopnia skomplikowania wypraski.

Bob Russel



Porównanie bazuje na cenach amerykańskich i było by interesujące skonfrontować je z polskimi warunkami.

Zaczynamy od prostej płytki by w kolejnych wariantach dodawać kolejne elementy do wypraski podnoszące stopień skomplikowania, a zatem koszt formy.

Wybrany kształt wypraski odpowiada bardzo szerokiej gamie typów wyprasek szczególnie obudów i pudełek wszelkiego rodzaju.

Forma jest wykonana przy użyciu maksymalnej ilości części normalnych, płyty formujące zaś wykonano ze stali 1.2312.

KOSZTY FORMY

Wariant 1 ● Koszt 11594 USD

Prosta płytka z wlewkiem prętowym, linia podziału po jednej stronie wypraski (gniazdo wykonane w jednej połowie formy). Jedna połowa gniazda jest polerowana. Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3522 USD.

Wariant 2 ● Koszt 12114 USD

Prosta płytka z wlewkiem prętowym, linia podziału po jednej stronie wypraski (gniazdo wykonane w jednej połowie formy. Na jednej połowie gniazda jest wykonana faktura. Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3522 USD.

Wariant 3 ● Koszt 16168 USD

Prosta płytka z obrzeżem o wysokości 25mm (płytkie pudełko), kąt pochylenia obrzeża 2°.

Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3743 USD.

Wariant 4 ● Koszt 17071 USD

Jak wariant 3 ale z ośmioma żebrami o wysokości 15mm.

Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3743 USD.

Wariant 5 ● Koszt 17901 USD

Jak wariant 4 ale z ośmioma tulejkami pod wkręty.

Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3743 USD.

Wariant 6 ● Koszt 20923 USD

Jak wariant 5 ale nie dopuszcza się pochylenia na jednej bocznej ściance. Powstaje konieczność użycia suwaka lub skośnego segmentu w celu uwolnienia wypraski.

Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3743 USD.

Wariant 7 ● Koszt 25509 USD

Jak wariant 6 ale z czterema zatrzaskami wymagającymi uwalniania przez skośne segmenty..

Wliczono koszt korpusu i reszty normali w wysokości 3743 USD.◆

Informacja ta powstała w oparciu o serię artykułów „Obniżenie kosztów wykonania formy dzięki odpowiedniej konstrukcji wypraski" opublikowanych w magazynie „Injection Molding International" opracowanych na bazie doświadczeń Boba Russela z firmy Xerox.

Polecana literatura do rozdz. I:

Janusz Dietrich – System i konstrukcja

Gerhard Pahl, Wolfgang Beitz - Nauka konstruowania

P.I.Orłow - Zasady konstruowania w budowie maszyn

G.S.Altszuler - Elementy teorii twórczości inżynierskiej

Daniel Frenkler, Henryk Zawistowski - Gorące kanały w formach wtryskowych: dobór i użytkowanie

Katalogi firmy Strack Norma- www.strack.de

Katalogi GK firmy WadimPlast – www.wadim.com.pl

Polecana literatura do rozdz. II:

Georg Menges Walter Michaeli Paul Mohren - How to Make Injection Molds

David O. Kazmer - Injection Mold Design Engineering

John P. Beaumont – Runner and Gating Design Handbook

Herbert Rees – Mold Engineering

Maw-Ling Wang Rong-Yeu Chang Chia-Hsiang (David) Hsu - Molding Simulation: Theory and Practice

Jay Shoemaker - Moldflow Design Guide

Simcon academy - https://online-academy.simcon.com/

ATI 1104 - Optimised Mould Temperature Control

17 Equations That Changed the World
by Ian Stewart

1.	**Pythagoras's Theorem**	$a^2 + b^2 = c^2$	Pythagoras,530 BC
2.	**Logarithms**	$\log xy = \log x + \log y$	John Napier, 1610
3.	**Calculus**	$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t} = \lim_{h \to 0} = \frac{f(t+h) - f(t)}{h}$	Newton, 1668
4.	**Law of Gravity**	$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$	Newton, 1687
5.	**The Square Root of Minus One**	$i^2 = -1$	Euler, 1750
6.	**Euler's Formula for Polyhedra**	$V - E + F = 2$	Euler, 1751
7.	**Normal Distribution**	$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\rho}} e^{\frac{(x-\mu)^2}{2\rho^2}}$	C.F. Gauss, 1810
8.	**Wave Equation**	$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$	J. d'Almbert, 1746
9.	**Fourier Transform**	$f(\omega) = \int_{\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i x \omega} \mathrm{d}\,x$	J. Fourier, 1822
10.	**Navier-Stokes Equation**	$\rho\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}\right) = -\nabla p + \nabla \cdot \mathbf{T} + \mathbf{f}$	C. Navier, G. Stokes, 1845
11.	**Maxwell's Equations**	$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \qquad \nabla \cdot \mathbf{H} = 0$ $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \qquad \nabla \times \mathbf{H} = \frac{1}{c}\frac{\partial E}{\partial t}$	J.C. Maxwell, 1865
12.	**Second Law of Thermodynamics**	$\mathrm{d}S \geq 0$	L. Boltzmann, 1874
13.	**Relativity**	$E = mc^2$	Einstein, 1905
14.	**Schrodinger's Equation**	$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi = H\Psi$	E. Schrodinger, 1927
15.	**Information Theory**	$H = -\sum p(x) \log p(x)$	C. Shannon, 1949
16.	**Chaos Theory**	$x_{t+1} = k x_t (1 - x_t)$	Robert May, 1975
17.	**Black-Scholes Equation**	$\frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} - rV = 0$	F. Black, M. Scholes, 1990

WADIM
PLAST