

## Wykonanie krótkiej serii obudów z zastosowaniem drukowanego modelu wzorcowego oraz form silikonowych.

Paweł Denisiuk (e-mail: [pdenisiuk1@wp.pl](mailto:pdenisiuk1@wp.pl)), Przemysław Siemiński ([p-sieminski@wp.pl](mailto:p-sieminski@wp.pl))

Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych,  
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, <http://www.simr.pw.edu.pl/>

### 1. Wprowadzenie.

Ludzie od dawna stosują różne metody wytwarzania potrzebnych im elementów. Możemy do nich zaliczyć obróbki ubytkowe, obróbki plastyczne oraz techniki odlewnicze. W niniejszej pracy zastosowano odlewanie tworzyw chemoutwardzalnych w formach silikonowych. Zależnie od skomplikowania wytwarzanego kształtu, formy takie służą do wykonania serii od kilkunastu do kilkudziesięciu sztuk elementów. Formy takie stosowane są m.in. do produkcji elementów zdobniczych, w modelarstwie oraz w prototypowaniu elementów części pojazdów, sprzętu AGD i RTV. Możliwe jest wykonywanie nawet małych elementów o bardzo skomplikowanych kształtach. Do przygotowania formy służy model wzorcowy (tzw. model matka), który może być wykonany ręcznie lub maszynowo dowolną technologią.

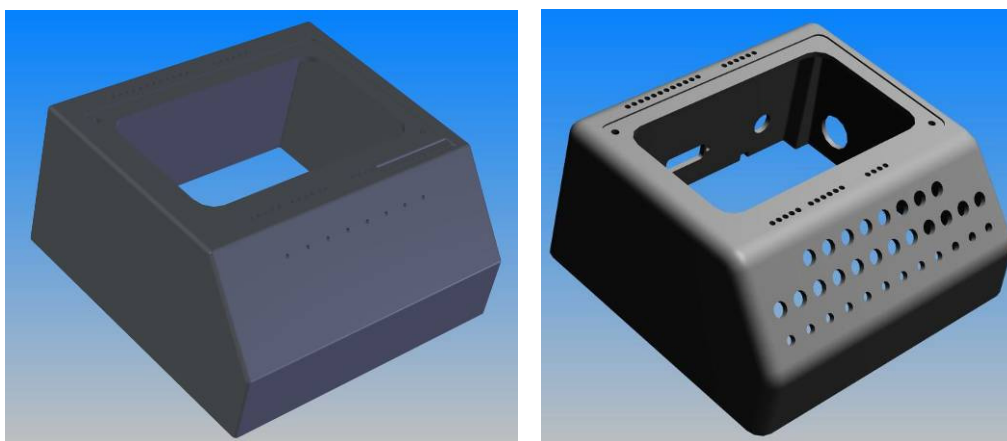
W niniejszej pracy przedstawiono wykonanie krótkiej serii obudów do istniejącego sterownika PLC, wykorzystywanego do celów dydaktycznych. Model wzorcowy zaproponowano wykonać w technologii przyrostowej (metodą FDM) na drukarce 3D. Wymagało to odpowiedniego zaprojektowania geometrii obudowy, tak aby bez problemu mogła być odformowana w formie silikonowej, a jednocześnie wykonalna na drukarce 3D. Pokazano także proces projektowania kanałów dolotowych, odpowietrzających i przelewowych formy silikonowej oraz sposób przygotowania modelu wzorcowego.

### 2. Projekt i przygotowanie modelu wzorcowego.

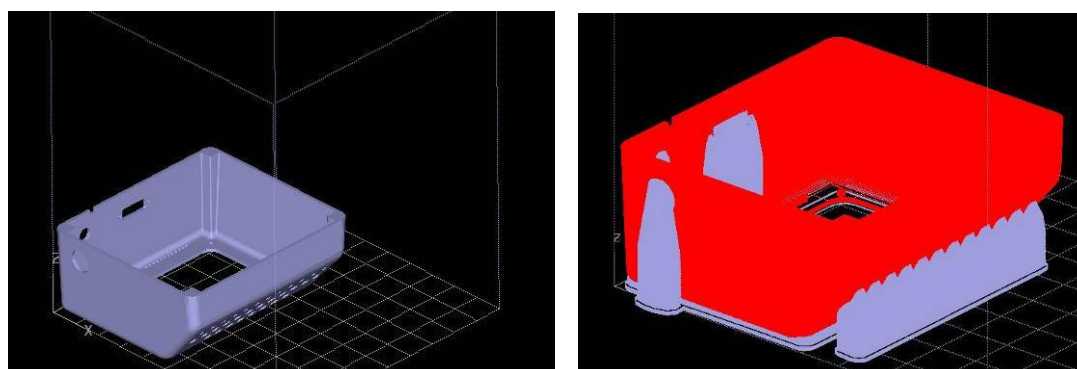
Pierwszym krokiem było przemodelowanie geometrii obudowy pod wybraną technologię formowania w formach silikonowych. Wytyczne dotyczące rozmieszczenia elementów wewnętrznych sterownika PLC oraz umiejscowienie wszystkich przełączników i gniazd podłączeniowych były już określone. Wcześniejszy kształt wykonany w technologii druku 3D pokazano na rys. 1a., natomiast na rys. 1b. pokazano model bryłowy obudowy po wprowadzeniu zmian. Boczne ścianki zostały lekko pochylone, aby poprawić wyjmowanie obudowy z formy. Zostały dodane też wszystkie otwory, które będą wykorzystane podczas montażu i obsługi urządzenia. Zwiększone zostały też promienie zaokrągleń dla ładniejszego wyglądu. Dodane zostały także słupki montażowe we wszystkich narożach do mocowania podstawy oraz w celu usztywnienia konstrukcji.

Ten model został wydrukowany na drukarce 3D, modelu Dimension Printing 1200SST. Drukarka wykorzystuje metodę FDM (ang. Fused Deposition Modeling),

polegającą na warstwowym nakładaniu przez dwu dyszową głowicę, rozpuszczonego materiału modelowego (ABS) i podporowego. Struktury podporowe zostały wygenerowane w programie „Catalyst EX”, w taki sposób, aby jak najmniej zużyć materiału podporowego oraz czas wydruku był najkrótszy. Na rys. 2a. pokazano geometrię siatkową (STL) zaimportowaną do przestrzeni programu Catalyst EX, natomiast rys. 2b. pokazuje wygenerowane struktury podporowe.



Rys. 1. a) wstępny kształt obudowy i b) po wprowadzeniu modyfikacji.



Rys. 2. a) Ułożenie modelu w przestrzeni roboczej i b) wygenerowane struktury podporowe.

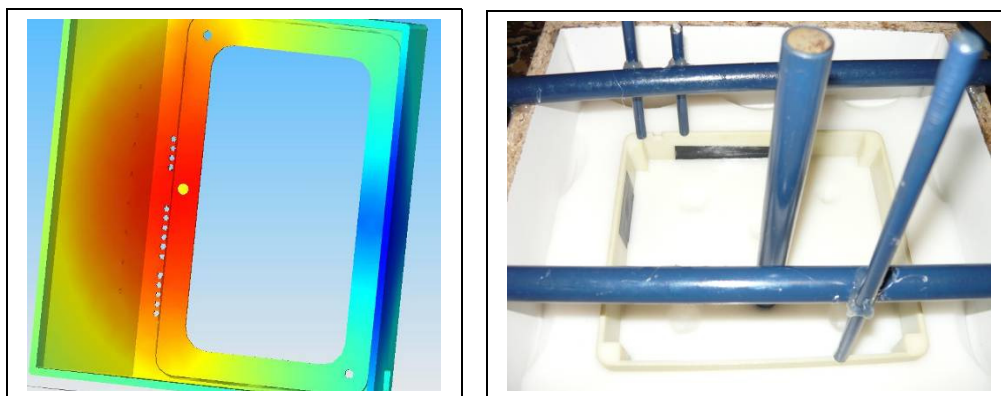


Rys. 3. a) Widok od spodu na obudowę po druku 3D i b) widok od góry po wykończeniu.

Przy standardowych nastawach model drukował się 11,5 godz. i zostało zużyte 200 cm<sup>3</sup> materiału modelowego i 82 cm<sup>3</sup> materiału podporowego. Widok obudowy po wydrukowaniu i oczyszczeniu z materiału podporowego pokazano na rys. 3a. Kolejnym krokiem było przygotowanie obudowy do odlania formy silikonowej poprzez jej szlifowanie, szpachlowanie i malowanie (rys. 3b).

### 3. Projekt i przygotowanie skrzynki odlewniczej.

Znając wymiary gabarytowe obudowy do PLC zaprojektowano skrzynkę odlewniczą wraz z kanałami dolotowymi, przelewowymi i odpowietrzającymi. W systemie CAE (rys. 4a) przeprowadzono wstępną analizę umieszczenia punktu wlewowego oraz rozmieszczenie odpowietrzeń. Wykorzystano system MoldFlow Xpress wchodzący w skład systemu SolidWorks 2006, który normalnie służy do analizy wtrysku ciśnieniowego do form metalowych. Skrzynkę wykonano z płyt MDF połączonych wkrętami do drewna (rys. 4b).



Rys. 4. a) Analiza punktu wlewowego i b) widok na skrzynkę odlewniczą wraz z kanałami.

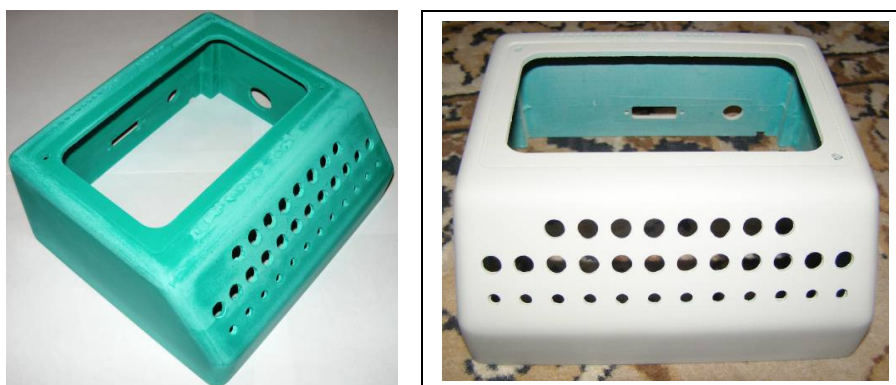
W gotowej skrzyni umieszczono wydrukowane pudełko, które zawieszono na miedzianych drutach. Przed zalaniem w formie umieszczono kanał wlewowy, który po wyjęciu umożliwił zalanie formy żywicą poliuretanową. Zalanie formy nastąpiło do określonego poziomu, zapewniającego łatwe usunięcie zawiesia obudowy po zastygnięciu silikonu. W ten sposób utworzono oddzielny element rdzeniowy formy. Po utwardzeniu silikonu wykonano specjalne nacięcia w silikonie w celu możliwości późniejszego jednoznacznego złożenia formy i posmarowano olejem silikonowym całą powierzchnię. Po tym zalano ostatnią część formy – stempel. Po stwardnieniu silikonu rozłożono formę i model matka (rys. 5a.). Do wykonania formy zużyto 8kg silikonu formierskiego „Gumosil B” wraz z odpowiednim katalizatorem. Przy takich wielkościach form trzeba uwzględnić sztywność silikonu, który odkształca się pod własnym ciężarem. Zbyt elastyczny silikon powoduje niedokładności wytwarzanych elementów, natomiast zbyt sztywny utrudnia wyjęcie elementów z formy po odlaniu.

#### 4. Wykonanie odlewów w formach.

Do wykonania odlewów obudowy wybrano żywicę poliuretanową firmy Axson o twardości ok. 76 w skali Shore D i o odporności na temperatury do ok. 90°C. Jest to dwu składnikowa żywica którą się miesza w stosunku 1:1. Ma on dobre właściwości odlewnicze oraz charakteryzuje się po sieciowaniu wysoka wytrzymałością i sztywnością w wyższych temperaturach. Ze względu na brak urządzenia próżniowego, grawitacyjne zalanie formy nie gwarantowało idealnego odgazowania elementu. Na rys. 6a pokazano odlew po usunięciu nadlewów powstałych z kanałów wlewowych i przelewowych, natomiast na rys. 6b widoczna jest obudowa po oszlifowaniu i pomalowaniu, gotowa do montażu.



Rys. 5.a) Widoki całej formy po rozłożeniu oraz b) wykonany z tworzywa chemoutwardzalnego model.



Rys. 6.a) Widoki odlewu po wyjęciu z formy i b) wykończony model obudowy gotowy do zamontowania z podzespołami wewnętrznymi.