

Projektowanie kanału chłodzącego z użyciem natychmiastowych symulacji komputerowych oraz technik addytywnych

Cooling channel design using immediate computer simulations and additive techniques

MACIEJ CADER
MARCIN OSIĄK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.8-9.74>

Opisano metodykę projektowania prototypu kanału chłodzącego przeznaczonego do pracy z głowicami przemysłowych drukarek 3D. Wykorzystano nowoczesne dostępne na rynku narzędzia wspomagające optymalizację konstrukcji mechanicznych z użyciem tzw. natychmiastowych symulacji ANSYS Discovery oraz metody addytywne pozwalające na produkcję zoptymalizowanych podzespołów. Przedstawiono wyniki prac, które zweryfikowano empirycznie z wykorzystaniem bezkontaktowej metody pomiarowej – pomiarów termowizyjnych oraz punktowych pomiarów wartości temperatury.

SŁOWA KLUCZOWE: prototypowanie, druk 3D, optymalizacja, wytwarzanie części, symulacje komputerowe, przepływy

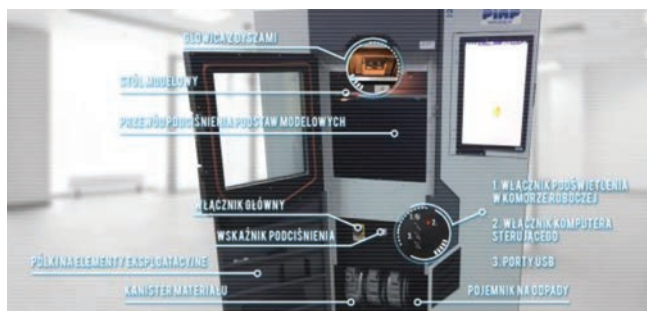
The methodology for designing of the prototype of cooling channel tailored to work with printing head mounted in industrial 3D printer is presented. Modern tools to optimize mechanical structures using so-called immediate simulations – ANSYS Discovery – and additive methods as a tool for the production of optimized components were used. Paper includes results of application research which were verified by non-contacts experimental methods like thermovision measurements and temperatures control at selected points of channel.

KEYWORDS: prototyping, 3D printing, optimization, parts production, computational simulations, air flow

Wprowadzenie

Najpopularniejszą metodą addytywnego wytwarzania jest obecnie FDM [1]. Daje ona unikatowe możliwości wytwarzania ultralekkich części maszyn z wysokowytrzymałych polimerów i kompozytów [2, 3]. Części te znajdują szerokie zastosowanie w budowaniu prototypów oraz w przemyśle samochodowym, lotniczym czy kosmicznym.

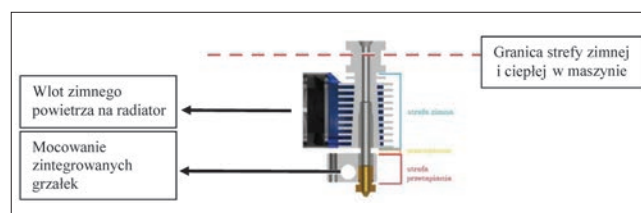
Reprezentatywnym przykładem maszyny pracującej z wykorzystaniem techniki FDM i spełniającej wymagania przemysłowe ukierunkowane na stabilizację warunków przetwórstwa materiałów polimerowych jest FORIND 4.0.



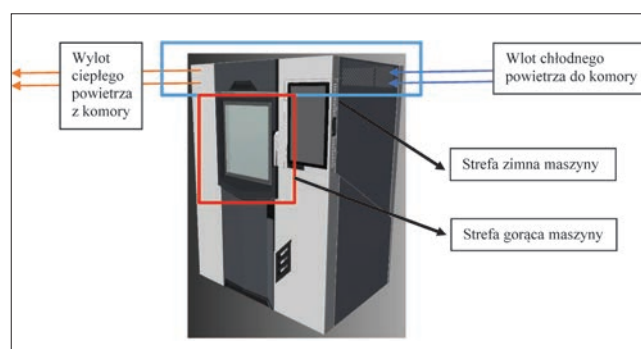
Rys. 1. Maszyna FORIND 4.0 opracowana w PIAP

Opracowano ją w instytucie PIAP, korzystając z inspiracji produktami korporacji Stratasys [4, 5].

Jednym z najważniejszych podzespołów w tego typu maszynach jest głowica z dyszami (rys. 1), która odpowiada za kluczowy proces w metodzie FDM – uplastycznianie polimeru. Uplastycznianie zachodzi w ściśle określonych warunkach temperaturowych i rozkładach temperatury wzdłuż całego ekstrudera (rys. 2). Wartości brzegowe tych rozkładów zależą m.in. od właściwości wybranego polimeru [6]. Głowica w przemysłowych maszynach FDM pracuje zarówno w strefie zimnej, jak i strefie gorącej – w komorze roboczej (rys. 3). Dlatego kluczowe jest zbilansowanie temperatury głowicy poprzez odpowiednie podgrzewanie (z użyciem zintegrowanych grzałek) oraz chłodzenie (przez kanały chłodzące).



Rys. 2. Przekrój przez dyszę uplastyczniającą i przetłaczającą polimer [7]



Rys. 3. Rozkład stref ciepłej i zimnej oraz kierunek wietrzenia komory suwnicy maszyny

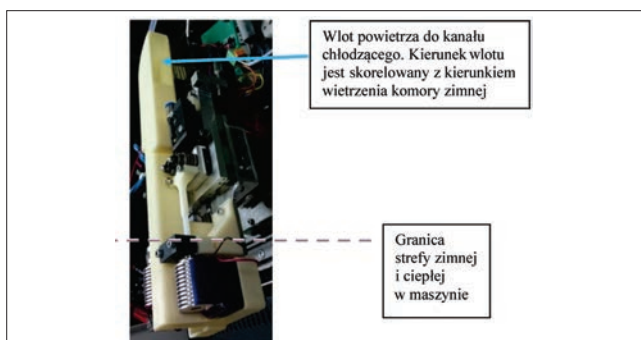
Sformułowanie problemu i cel badań

Głównym celem badań aplikacyjnych była optymalizacja projektu kanału chłodzącego (rys. 4) w taki sposób, aby pobierał on chłodne powietrze z górnej strefy zimnej i przekazywał je z jak najmniejszymi stratami do wlotu powietrza na radiator, gdzie zamontowano wentylator wspomagający. Głównym założeniem było osiągnięcie minimum dla różnicy temperatury powietrza na wylocie i wlocie kanału chłodzącego.

* Dr inż. Maciej Cader, mcader@piap.pl, <https://orcid.org/0000-0003-0256-7214> – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Warszawa, Polska
Inż. Marcin Osiak, marcinosiak96@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5624-6921> – Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska

Kryterium projektowania zdefiniowano jako poszukiwanie kształtu geometrii kanału chłodzącego, dla którego przepływ powietrza będzie laminarny na jak najdłuższym odcinku, co powinno zapewnić osiągnięcie funkcji celu – optimum chłodzenia.

W pracach projektowych zastosowano nowoczesne narzędzie ANSYS Discovery, które umożliwia przeprowadzenie natychmiastowych obliczeń symulacyjnych (*rapid simulations*). Narzędzie to bazuje na metodzie bezsiatkowej, dzięki czemu istnieje możliwość szybkiej modyfikacji parametrów konstrukcji oraz aktualizacji wyników obliczeń na bieżąco. Jako metodę produkcji kanału chłodzącego wybrano technologię FDM. W ten sposób, drogą projektowania topologicznego, polegającego na modyfikacji wybranych parametrów geometrii i w następstwie wynikowego kształtu kanału chłodzącego, opracowano kształt modułu chłodzącego ukierunkowany na wytwarzanie addytywne. Do produkcji wybrano poliwęglan produkcyjny Stratasys oraz maszynę FORTUS 400mc [8].



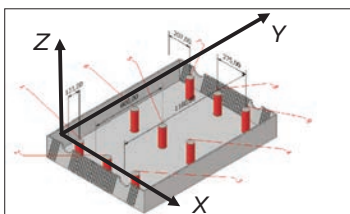
Rys. 4. Pierwszy – nieoptymalny – prototyp kanału chłodzącego zamontowany w maszynie do pomiarów referencyjnych

Metodyka badań aplikacyjnych

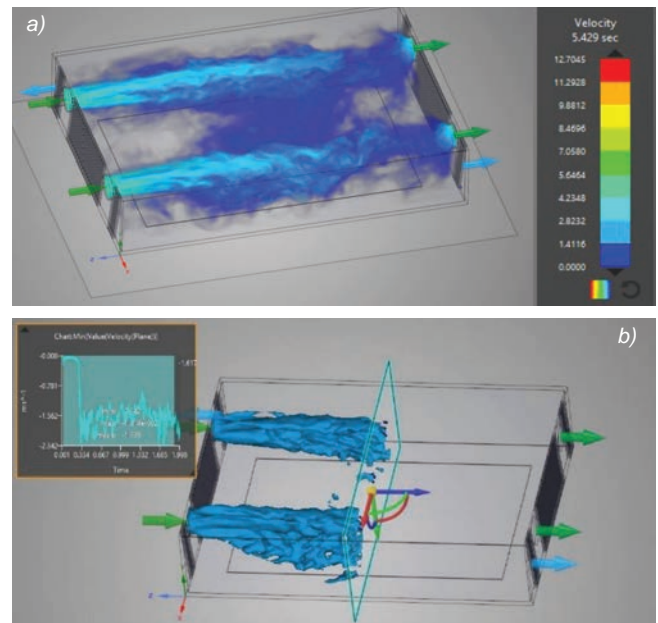
Badania aplikacyjne rozpoczęto od przeprowadzenia studium rozkładu przepływów powietrza oraz temperatury dla strefy zimnej maszyny. W tym celu odwzorowano bryłę strefy oraz zamodelowano pracę czterech wentylatorów – dwóch włączających powietrze do komory zimnej maszyny i dwóch wysysających z niej powietrze (rys. 3).

Na podstawie danych producenta wentylatorów stosowanych w maszynie SUNON DP 202A wyznaczono za pomocą klasycznych wzorów wydatek średni, równy $0,037 \text{ m}^3/\text{s}$, oraz prędkość wlotu powietrza, wynoszącą $4,26 \text{ m/s}$. W oparciu o warunki brzegowe i geometrię komory zbadano przepływ powietrza chłodzącego przez sterzeń.

Na potrzeby pierwszych badań symulacyjnych założono, że maszyna pracuje w temperaturze 25°C , która występuje w całej strefie. Celem pierwszych badań było wyznaczenie wartości prędkości powietrza w wybranych i charakterystycznych obszarach (walcowych) komory. Lokalizacja osi symetrii obszarów walcowych pokazano na rys. 5. Przykładowo: współrzędne położenia osi walca nr 1 wynoszą: $X=207$, $Y=123$ i osi walca nr 2: $X=414$, $Y=123$. Reprezentatywne wyniki badań rozkładu prędkości przepływu powietrza przedstawiono na rys. 6.



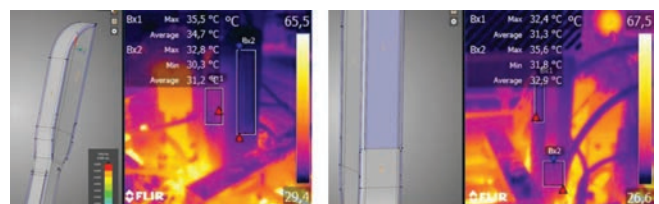
Rys. 5. Miejsca pomiaru (przestrzeń ograniczona przez czerwone walce) rozkładu prędkości przepływu powietrza w strefie zimnej maszyny



Rys. 6. Reprezentatywny wynik rozkładu prędkości przepływu powietrza przez strefę zimną: a) rozkład prędkości dla całej strefy, b) rozkład prędkości powietrza w przekroju wyznaczonym przez płaszczyznę symetrii strefy

Na obiekcie rzeczywistym zmierzono temperaturę powietrza w zaprezentowanych obszarach pomiarowych (walcowych). Wyniki uśredniono. Uśredniono również wartości średnich z analiz symulacyjnych rozkładu prędkości wyznaczone w płaszczyznach przechodzących przez osie walców referencyjnych (rys. 6). Otrzymano: $v_{sr} = 1,33 \text{ m/s}$ oraz $t_{sr} = 30^\circ\text{C}$. Te wartości przyjęto do dalszych badań jako warunki brzegowe dla projektowanego kanału chłodzącego.

W kolejnym kroku zidentyfikowano rozkład temperatury na prototypie kanału chłodzącego, który został zamontowany w maszynie. Wyniki pomiarów naniesiono na model symulacyjny kanału. Na rys. 7 przedstawiono sposób pomiaru rozkładu temperatury dla części chłodnej kanału chłodzącego oraz przeniesienie zmierzonych wartości na model komputerowy.

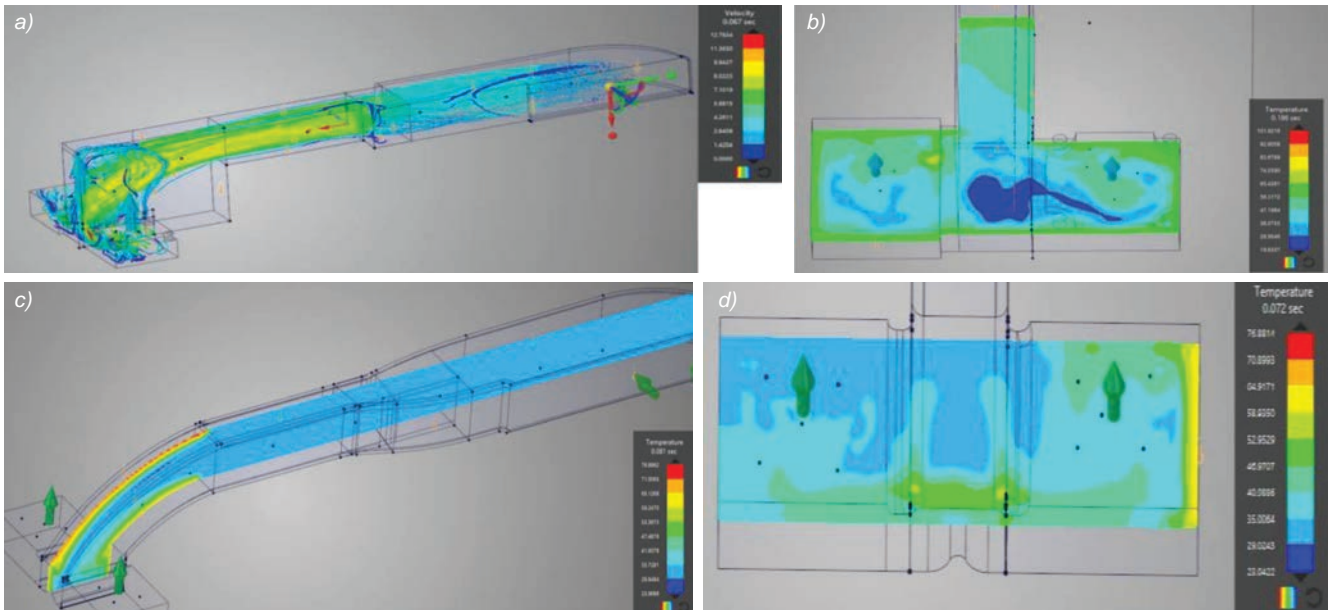


Rys. 7. Identyfikacja i definiowanie warunków brzegowych dla poszczególnych elementów geometrii zewnętrznych komputerowego modelu kanału chłodzącego

Ostatnim elementem komplementarnego zdefiniowania warunków brzegowych było wyliczenie prędkości oraz wydatku dla wentylatora osadzonego bezpośrednio na radiatorze dyszy. Na podstawie informacji producenta oraz klasycznych wzorów wyliczono prędkość średnią powietrza na wylocie z kanału: 5 m/s oraz wydatek średni: $0,00307 \text{ m}^3/\text{s}$.

Wyniki badań i wnioski

Przeprowadzono badania ukierunkowane na dobór właściwej geometrii, zmieniając wybrane parametry kształtu (geometrii) kanału chłodzącego. W komorze roboczej maszyny panowała temperatura 85°C , temperatura w strefie zimnej wynosiła 30°C , zgodnie z wynikami pomiarów

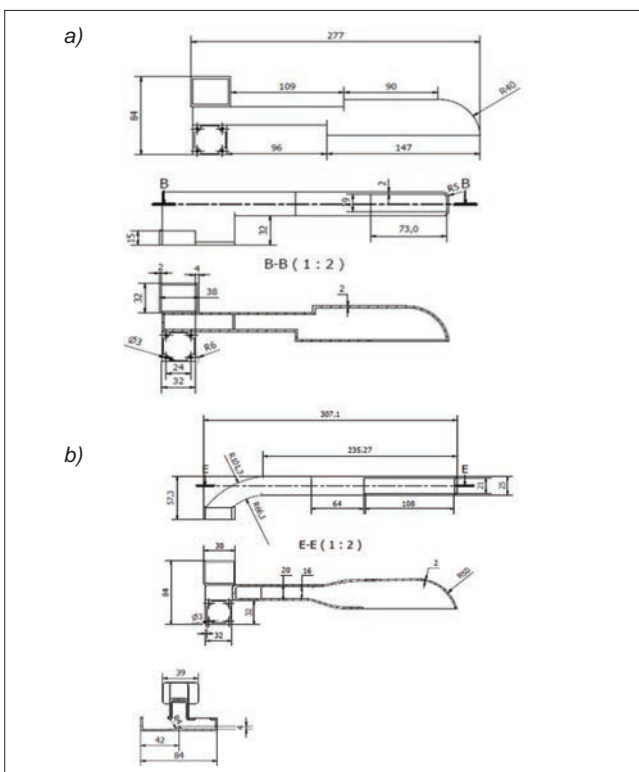


Rys. 8. Wyniki dwóch reprezentatywnych iteracji rozwiązań – początkowej (a, b) oraz końcowej (c, d): a) silnie zaburzone linie przepływów powietrza; przepływ na wlocie i wylocie ma charakter silnie turbulentny, b) rozkład temperatury na wylocie kanału chłodzącego – średnia temperatura wynosi 57°C, c) zmieniono kształt kanału chłodzącego – z przekroju kołowego na przekrój prostokątny; złagodzone przejścia pomiędzy przewężeniami; przepływy wykazują cechy laminarne niemal na całej długości kanału, d) rozkład temperatury na wylocie kanału chłodzącego – średnia temperatura wynosi 39°C

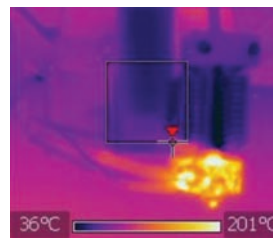
obiektu rzeczywistego. Wyniki czterech wybranych i reprezentatywnych iteracji rozwiązań dla kanału chłodzącego pokazano na rys. 8. Przedstawiono również geometrię pierwszej wersji kanału chłodzącego (rys. 9a) oraz kanału docelowego (rys. 9b).

Na rys. 8a–b przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dla kanału prototypowego, natomiast na rys. 8c–d przedstawiono wyniki badań dla kanału docelowego. Analogicznie na rys. 9 przedstawiono charakterystyczne wymiary i kształty obu geometrii kanału chłodzącego.

W wyniku badań aplikacyjnych ukierunkowanych na dobór efektywnego kształtu kanału chłodzącego wyznaczono geometrię kanału dla założonych warunków



Rys. 9. Geometria kanału chłodzącego: a) wyjściowa i b) docelowa



Rys. 10. Pomiar termowizyjny miejsca wylotu powietrza z kanału chłodzącego zamontowanego w maszynie. Kwadratem oznaczono obszar pomiarów punktowych temperatury, który uśredniono

brzegowych oraz technicznych zabudowy. Kanał zachowuje przepływ laminarny prawie na całej swojej długości z wyjątkiem ostatniego odcinka – ok. 15 mm, licząc od powierzchni wylotu. Dzięki temu średnia temperatura na wylocie kanału zamontowanego w pracującej maszynie wynosi 41°C, co jest wartością o 2°C wyższą od wyznaczoną w wyniku badań symulacyjnych i o 11°C wyższą od temperatury powietrza na wlocie.

Pomiary na obiekcie rzeczywistym przeprowadzono kamerą termowizyjną oraz pirometrem. Pirometr posłużył jako weryfikator wyników otrzymanych metodą termowizyjną. Pomiaru punktowego dokonano w dziewięciu punktach kontrolnych obszaru wylotu powietrza z kanału chłodzącego zaznaczonego białym kwadratem (rys. 10).

LITERATURA

- [1] Wohlers Report. "3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry". *Annual Worldwide Progress Report*. USA: Wohlers Associates, 2018.
- [2] Górski F., Wichniarek R., Kuczko W., Zawadzki P., Buń P. "Strength of ABS parts produced by fused deposition modelling technology – a critical orientation problem". *Advances in Science and Technology Research Journal*. 9, 26 (2015): 12–19. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/2359>.
- [3] Górski F., Wichniarek R., Kuczko W. "Influence of process parameters on dimensional accuracy of parts manufactured using Fused Deposition Modeling technology". *Advances in Science & Technology Research Journal*. 7, 19 (2013): 27–35. DOI: <https://doi.org/10.5604/20804075.1062340>.
- [4] <https://www.stratasys.com/3d-printers/fortus-380mc-450mc> (dostęp: 10.04.2019 r.).
- [5] <https://www.stratasys.com/3d-printers/stratasys-f900> (dostęp: 10.04.2019 r.).
- [6] <https://www.stratasys.com/materials> (dostęp: 10.04.2019 r.).
- [7] <http://microfabricator.com/articles/view/id/537febea9aad9d097f000001e3d-v6-hotend-released> (dostęp: 10.04.2019 r.).
- [8] <https://www.stratasys.com/resources/search/white-papers/fortus-360mc-400mc> (dostęp: 10.04.2019 r.).