

Analiza możliwości wytwarzania niskociśnieniowych bloków zaworowych za pomocą technologii druku 3D

Data wpłynięcia do Redakcji: 11/2022

Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 12/2022

2022, volume 11, issue 1, pp. 74-87

Piotr Kipczak

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Poland



Streszczenie: W artykule zaprezentowano analizę możliwości wykorzystania druku 3D do wytwarzania niskociśnieniowych bloków zaworowych. Bloki te, stosowane są w szeregu układach hydraulicznych i służą do montażu różnego rodzaju elementów hydraulicznych w niskociśnieniowych gałęziach układów. W pierwszej części artykułu przedstawiono problematykę projektowania bloków zaworowych z wykorzystaniem programów Hydrosym i Hydroman oraz programu Creo Parametric 3.0. Następnie opisano technologie druku, które są wykorzystywane do drukowania elementów hydraulicznych z uwzględnieniem zakresu ich zastosowań. W drugiej części artykułu zaprezentowano przykładowy blok zaworowy niskociśnieniowy, który został specjalnie zaprojektowany i wydrukowany w technologii SLS. Zakres badań obejmował zarówno dokładność wymiarową wydrukowanych bloków jak i zbadanie ich własności wytrzymałościowych. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na ocenę możliwości drukowania bloków za pomocą technologii druku SLS.

Słowa kluczowe: płyty i bloki przyłączeniowe, druk 3D, zawory ciśnieniowe, szybkie prototypowanie

WPROWADZENIE

Bloki hydrauliczne znajdują bardzo szerokie zastosowanie w różnego rodzaju maszynach technologicznych oraz pojazdach i maszynach ciężkich takich jak maszyny budowlane, rolnicze, komunalne i górnicze [1, 2, 3]. Bloki hydrauliczne są więc nieodzownym elementem układów hydrauliki siłowej i można je w zasadzie znaleźć w każdym układzie hydraulicznym [1]. Wyróżnić tutaj można układy hydrauliczne różnego rodzaju maszyny stacjonarnych lub układy hydrauliczne stosowane w maszynach mobilnych. W drugim przypadku elementy hydrauliczne wykonujące funkcje robocze mogą znajdować się w różnych miejscach maszyny [1, 6]. Rozmieszczenie tych elementów w różnych miejscach danej maszyny, często znajdujących się daleko od siebie, umożliwiają właśnie bloki hydrauliczne. Konstrukcje i materiały bloków hydraulicznych są niezwykle zróżnicowane i uzależnione od rodzaju elementów z którymi współpracują bloki, wymaganego ciśnienia nominalnego i maksymalnego oraz normowej wielkości układu [3, 6, 7]. Z reguły bloki wykonywane są z odpowiednich gatunków stali, żeliw stopowych oraz stopów aluminium. Z uwagi na skomplikowaną geometrię bloków (geometrię kanałów wewnątrz korpusu bloku), bloki wykonuje się najczęściej metodą

ubytkową, rzadziej stosowane są bloki których korpusy są odlewane lub kute, a za pomocą obróbki ubytkowej wykonywane są tylko gniazda i przyłącza [4, 8, 9, 10]. W ostatnich latach można zaobserwować wzrastające zainteresowanie producentów elementów hydrauliki siłowej wykorzystaniem technologii druku na drukarkach 3D do wytwarzania bloków hydraulicznych. Zastosowanie technologii druku ma bardzo istotne znaczenie w procesie prototypowania bloków jak również w ich produkcji małoseryjnej. Za coraz szerszym zastosowaniem technologii druku do wytwarzania bloków przemawiają szybkość wytwarzania bloków tą metodą, możliwość wytwarzania bloków o niezwykle skomplikowanych geometriach oraz stosunkowo niski koszt wydrukowanego bloku [12, 13, 14].

METODYKA PROJEKTOWANIA BLOKÓW HYDRAULICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMÓW HYDROSYM I HYDROMAN

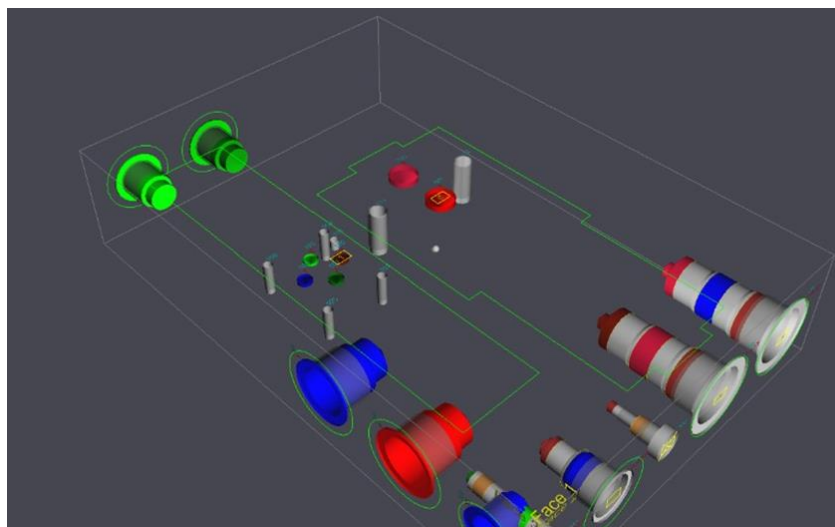
Pierwszym etapem projektowania bloków hydraulicznych jest analiza urządzenia które ma być wyposażone w napęd hydrauliczny. Analiza ta pozwala na ustalenie wymaganego ciśnienia nominalnego i maksymalnego oraz wymaganego zakresu przepływu medium. W wielu przypadkach obliczenie dokładnych oporów przepływu jest utrudnione i należy wówczas przewidzieć zwiększony zakres wartości obu parametrów. Następnie należy określić cykl pracy urządzenia, co pozwala na dobór odpowiednich elementów sterowania, które umożliwią realizację funkcji roboczych urządzenia. Należy rozważyć takie kwestie jak: sposób przesterowania zaworów, dokładność regulacji, sposób pracy oraz zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń pozwalających na bezpieczną pracę maszyny [6].

Zebranie wymaganych parametrów układu hydraulicznego oraz sposobu działania urządzenia pozwala na stworzenie schematu układu hydraulicznego. Jednym z programów umożliwiających tworzenie schematów hydraulicznych jest program Hydrosym.

Program Hydrosym pozwala na określenie obszaru, który będzie obejmował wszystkie elementy występujące w bloku hydraulicznym. Oprogramowanie to, ma bazę większości dostępnych na rynku zaworów, filtrów, kryz, siłowników czy też silników hydraulicznych z danymi ich producentów. Możliwe jest również wprowadzenie do schematu powszechnie stosowanych gniazd hydraulicznych całowych, metrycznych oraz gniazd UNF. Na tym etapie projektowania należy już uwzględnić jakie gniazda zostaną wykonane w bloku. Po wprowadzeniu do schematu wymaganych zaworów możliwe jest nadanie odpowiedni kolorów oznaczający rodzaj danego kanału.

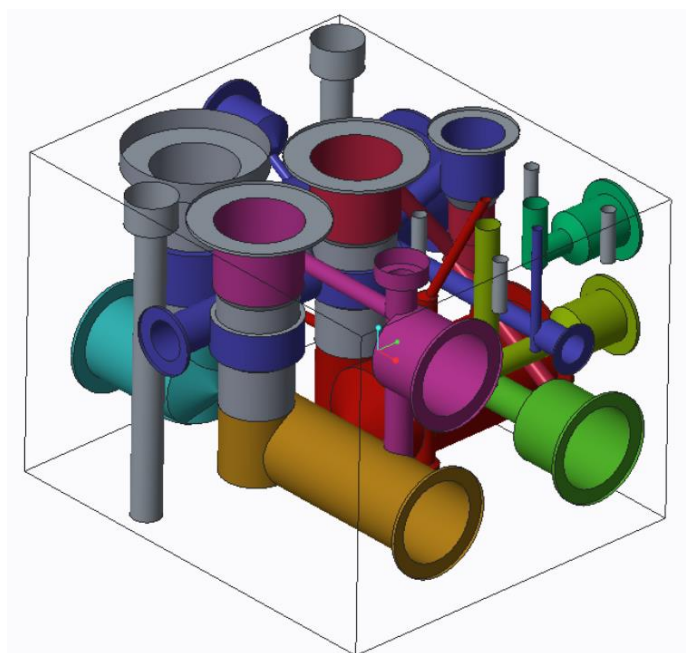
Następnym etapem projektowania bloku, po stworzeniu schematu hydraulicznego jest wygenerowanie modelu 3D bloku z lokalizacją zaworów, kanałów oraz portów. Zsynchronizowany z programem Hydrosym, program Hydroman pozwala na wygenerowanie ze schematu hydraulicznego modelu bloku hydraulicznego. Możliwe jest na tym etapie ustalenie maksymalnych wymiarów kostki hydraulicznej oraz usytuowanie odpowiednich portów lub zaworów na odpowiedniej ścianie. Zaznaczone wcześniej kolorami rodzaje kanałów pozwalają

na łatwiejsze zlokalizowanie przeznaczenia portów i zaworów. Wstępnie wygenerowany w programie Hydroman model 3D bloku przedstawiono na rys. 1.



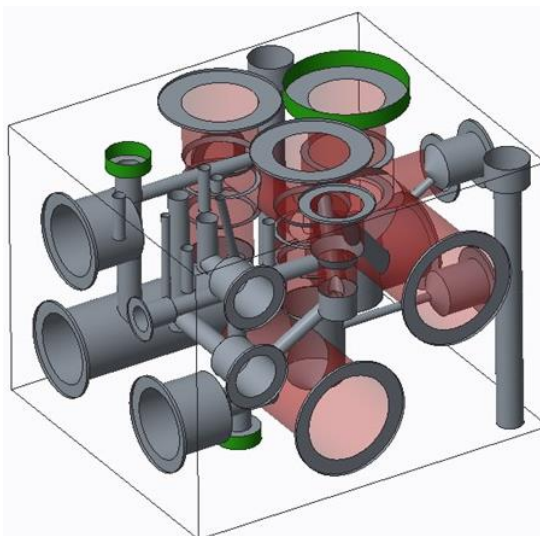
Rys. 1. Wstępny Model 3D bloku hydraulicznego wygenerowany w programie Hydroman

W wygenerowany modelu należy następnie ustawić odpowiednie gniazda i porty w taki sposób aby możliwe było ich połączenie według określonych wcześniej kolorów. Przy projektowaniu bloku trzeba również ustalać pozycje kanałów w taki sposób aby końcowe wymiary korpusu były możliwe jak najmniejsze. Program wspomaga konstruktora informując o kolizjach kanałów oraz ich zbyt małej bliskości. Umożliwia on także modelowanie otworów skośnych oraz różnego rodzaju podtoczeń [14, 15]. Końcowy model 3D przykładowego bloku przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 Końcowy model 3D przykładowego bloku zaprojektowanego w programie Hydroman

Kolejnym krokiem przy projektowaniu bloków jest wygenerowanie z programu Hydroman pliku pozwalającego na edycje modelu w programie CAD Creo Parametric 3.0 (rys. 3).



Rys. 3 Model bloku hydraulicznego w programie Creo Parametric 3.0

Na tym etapie projektowania dokonuje się oznaczenia odpowiednich portów, gniazd pod zawory itp. Przygotowany model CAD projektowanego bloku pozwala na wykonanie jego dokumentacji wykonawczej która z wyjątkiem sposobu oznaczania gniazd zaworowych nie różni się od standardowej dokumentacji elementów maszyn.

TECHNOLOGIE DRUKOWANI STOSOWANE DO PRODUKCJI BLOKÓW HYDRAULICZNYCH

Obecnie do wytwarzania elementów hydraulicznych stosowana jest technologia druku DMLS/SLM (Direct Metal Laser Sintering/Selective Laser Melting) oraz technologia SLS (Selective Laser Sintering). Technologia druku DMLS/SLM umożliwia wydruk, bezpośrednio z danych CAD 3D elementów o skomplikowanych geometriach [5, 12, 13]. Proces ten jest wielokrotnie krótszy od procesu odlewniczego. Laserowy spiek proszków umożliwia druk modeli o bardzo szerokim zastosowaniu takim jak narzędzia produkcyjne, wytrzymałe detale części maszyn, narzędzia do form wtryskowych z kanałami chłodzącymi czy też części do silników lotniczych ze stopów niklu. Tą metodą możliwy jest druk elementów z takich materiałów jak stale narzędziowe, stale nierdzewne, stopy aluminium, stopy z chromem i z niklem, itp. Technologia DMLS wymaga tworzenia stałych struktur podporowych ze względu na bardzo szybki skurcz metali po przetopieniu. Spowodowane jest to dużą różnicą temperatur między atmosferą komory roboczej a ciekłym materiałem. Technologia ta, pozwala tworzyć wydruki w klasie dokładności wymiarowej DIN EN ISO 2768 kategoria C. W rzeczywistości możliwe są wydruki w dokładności do +/- 0,15 mm dla detali do 100 mm oraz do +/- 0,3

mm dla większych elementów. Możliwe jest odpowiednie zoptymalizowanie procesu w celu uzyskania dokładności większych niż $\pm 0,1$ mm. Zaletami technologii DMLS z punktu widzenia produkcji bloków hydraulicznych są również wysoka wytrzymałość drukowanych elementów, dorównująca wytrzymałości elementów odlewanych lub kutych oraz możliwość tworzenia elementów o skomplikowanych geometriach. [15, 16, 17]. Technologia druku DMLS znalazła już zastosowanie w produkcji bloków hydraulicznych. Jedną z wiodących firm wykorzystującą tę technologię jest firma Aidro, producent komponentów hydrauliki siłowej. Na rys. 4 przedstawiono przykładowy blok hydrauliczny wydrukowany technologią druku DMLS przez wyżej wymienioną firmę. Dzięki nowatorskiemu podejściu do projektowania wydrukowane bloki, w porównaniu z blokami produkowanymi w tradycyjny sposób, charakteryzują się optymalną geometrią, tzn. wszystkie kanały zaprojektowane są w taki sposób aby zminimalizować drogę przepływu medium, spadki ciśnienia oraz zapobiegać powstawaniu kawitacji. Dodatkowo możliwe jest zminimalizowanie masy bloku poprzez drukowanie tylko okalających warstw kanałów. Grubość warstwy okalającej kanały zależy w głównej mierze od wytrzymałości bloku na wymagane ciśnienie robocze [11].



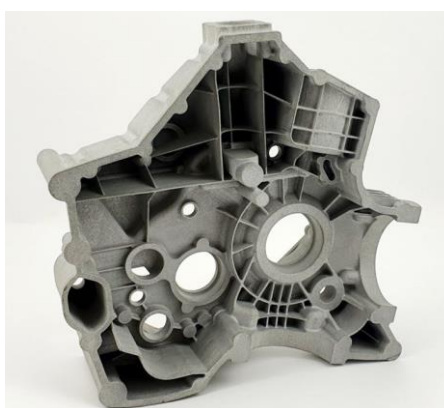
Rys. 4 Rozdzielacz hydrauliczny w rozmiarze NG06 z wydrukowanym korpusem

Źródło: [1]

Kolejną zaletą tej metody, w porównaniu z obróbką ubytkową, jest brak odpadów powstających w wyniku wiercenia kanałów w prostopadłościennych kostkach materiału. Technologię DMLS ogranicza jednak tworzenie połączeń gwintowych i wymiarów o bardzo małej tolerancji wymiarowej oraz chropowatości, dlatego też część otworów w bloku musi zostać wykonana za pomocą obróbki ubytkowej. Drukowanie bloków pozwala na wykonanie każdego rodzaju kanałów tzn. kanałów stosunkowo długich o małej średnicy oraz o skomplikowanej geometrii [13].

Technologia SLS znajduje szerokie zastosowanie, zarówno w prototypowaniu, jak i w małoseryjnej produkcji szeregu elementów z różnego rodzaju materiałów o dobrych własnościach mechanicznych. Obecnie, spośród wszystkich dostępnych technologii druku 3D, jest ona najczęściej wykorzystywaną metodą druku w małoseryjnej produkcji części maszyn i elementów hydrauliki. Duża swoboda projektowania, wysoka dokładność wykonanych elementów oraz produkcja części o dobrych własnościach mechanicznych sprawiają, iż technologia SLS zyskuje na coraz większym znaczeniu.

Istota metody SLS polega na spiekaniu proszków za pomocą lasera na podczerwień o podwyższonej temperaturze ok. 170°C. Drukarka SLS posiada tak zwane łożo, na którym specjalny wałek rozprowadza ciekłą warstwę proszku. Następnie dochodzi do spiekania warstw zgodnie z warstwami pliku modelu 3D. Etap ten jest powtarzany przez przesuwanie platformy nieznacznie w dół aż do uzyskania finalnej warstwy [11]. Finalizacją druku jest etap postprocessingu, który polega na wyjęciu modelu z niespiekanej zawiesziny proszku a następnie wypięskowaniu. Metoda SLS ma tą zaletę nad pozostałymi metodami, że druk odbywa się bez żadnych struktur podpierających. Ich funkcję pełni niespieczony proszek który można bezproblemowo usunąć. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy wydruk uzyskany technologią SLS.



Rys. 5 Przykładowy wydruk wykonany za pomocą technologii SLS

Źródło: [11]

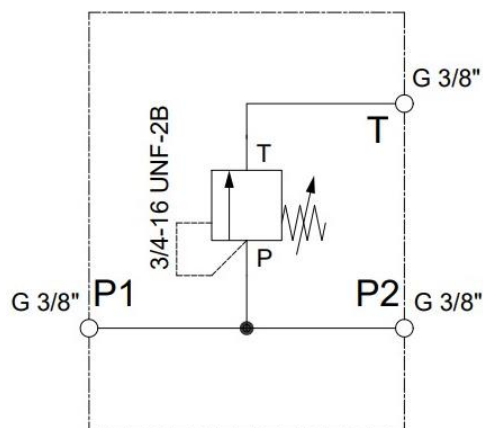
Na rynku dostępny jest bardzo szeroki asortyment proszków do stosowania w technologii druku SLS np. proszki na bazie poliamidu (np. Sinterit PA12 Smooth – proszek nylonowy 12) czy termoplastyczne poliuretany (TPU) jak Flexa Grey. Metoda ta daje swobodę w modyfikowaniu proszków pod względem konkretnego zastosowania w celu osiągnięcia pożądanych właściwości modelu. Technologia druku SLS jest technologią „zero waste”, co oznacza że niespieczony proszek może być ponownie użyty do kolejnego wydruku. Należy jednak wówczas do zużytego proszku, w odpowiedniej proporcji, dodać nowego proszku zgodnie ze współczynnikiem odświeżenia w celu zachowania jakości wydruku.

Wadą tej metody jest stosunkowo długi czas drukowania. Klasa dokładności wymiarowej wydruku według DIN EN ISO 286-1 to klasa 12-13. W rzeczywistości możliwe są do uzyskania dokładności wymiarów od +/-0,15 mm dla detali do 100 mm oraz +/- 0,3 mm dla detali większych [11].

KONSTRUKCJA BADANYCH BLOKÓW HYDRAULICZNYCH

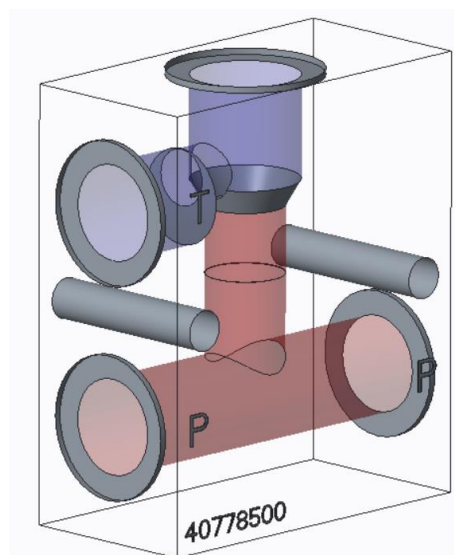
Prototypowy blok hydrauliczny, który został wybrany do wydruku i badań, musiał być na tyle prosty aby w łatwy i sprecyzowany sposób można było wnioskować czy za pomocą technologii druku można wykonać blok o parametrach przynajmniej zbliżonych do parametrów bloków produkowanych obróbką ubytkową.

Schemat hydrauliczny bloku wybranego do badań, stworzony w programie Hydrosym przedstawiono na rys. 6, będzie się on składał z gniazda 3/4-16 UNF-2A, dwóch wyjść ciśnieniowych P o rozmiarze G3/8, oraz jednego wyjścia powrotnego T również w rozmiarze G3/8 [16].



Rys. 6 Schemat hydrauliczny stworzonego bloku w programie Hydrosym

Uzyskany schemat hydrauliczny pozwolił na wygenerowanie w programie Hydroman modelu bloku, który umożliwił stworzenie rysunkowej dokumentacji wykonawczej bloku. Następnie w programie Inventor do istniejącego modelu zostały dorysowane gwinty. Model bloku wygenerowany w programie Hydroman przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7 Model badanego bloku hydraulicznego w programie Hydroman

Zaprojektowany blok będzie również składał się z gniazda 3/4-16 UNF-2A, do którego będzie wkręcony zawór przelewowy SR1A-A2 produkcji firmy Argo-Hytos. Należy pamiętać, że głównym celem przeprowadzonych badań wydrukowanych bloków było ustalenie maksymalnej wartości ciśnienia, które spowoduje zniszczenie bloku. Zawór przelewowy umożliwił zbadanie

maksymalnego ciśnienia rozrywającego blok, a wkręcony w blok korek SCP, wyposażony w uczernienia NBR90, pozwolił na sprawdzenie czy pomiędzy kanałem ciśnieniowym i kanałem powrotnym uzyskana została wymagana szczelność. Ustalenie ciśnienia niszczącego blok będzie pozwalać na wyznaczenie ciśnienia nominalnego, przy którym wydrukowany blok hydrauliczny będzie mógł pracować w sposób bezpieczny. Zawór przelewowy który zostanie wykorzystany w bloku przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8 Zawór przelewowy SR1A-A2/L10S-A produkcji Argon-Hytos

Źródło: [7]

WYBÓR TECHNOLOGII DRUKI I MATERIAŁU NA BLOKI

Technologia druku wybrana do szybkiego prototypowania bloków hydraulicznych musi spełniać kilka wymagań takich jak: stosunkowo niska cena, powtarzalność wydruku, zapewnienie przez materiał wystarczającej wytrzymałości na działanie ciśnienia hydraulicznego, zapewnienie odpowiedniej chropowatości wydruku, dobrej obrabialności oraz odporności na działanie temperatur do 100°C. Maksymalna wartość ciśnienia rozrywającego blok powinna wynosić 140-180 bar, co pozwoli na bezpieczną pracę bloku hydraulicznego przy ciśnieniu nominalnym 100 bar [5].

Ostatecznie do druku zaprojektowanych bloków hydraulicznych została wybrana technologia druku SLS. Materiałem wybranym do druku był proszek Innov'PA 2550 GBAL firmy Exceltec. Jest to mieszanka kompozytów poliamidowych zoptymalizowana do produkcji elementów za pomocą lasera lub procesu spiekania w inny sposób. Symbol produktu - 2550 - wskazuje wartość modułu sprężystości w MPa, (proszek zawiera zarówno kulki szklane, jak i płatki aluminiowe). Oparty na termoplastycznym PA12, proszek Innov'PA 2550 GBAL oferuje unikalne połączenie sztywności i wydłużenia wydrukowanego elementu do momentu jego zerwania. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry materiału zastosowanego do druku bloków.

Tabela 1 Parametry proszku Innov'PA 2550 GBAL

Właściwość	Wartość	Jednostka
Gęstość części	1,35	g/cm ³
Moduł sprężystości	2550	MPa
Temperatura topnienia	23,6	181-185°C
Chropowatość wydruku	8+1	R _a
Temperatura ugięcia przy 1,82 MPa	116	°C
Wytrzymałość na rozciąganie	30	MPa

Proszek Innov'PA 2550 jest drobniejszy niż większość innych proszków komercyjnych, a zakres rozmiarów jego cząstek jest ściślej kontrolowany, co w rezultacie poprawia rozdzielczość drobnych szczegółów, tolerancje jego wymiarów i wielkość skurczu.

Wydrukowane zostały dwie grupy bloków, pierwsza z nich posiadała wydrukowane gwinty oraz wymiary tolerowane gniazd. Druga grupa wydruków bloków posiadała jedynie wydrukowane kanały, a gwinty oraz wymiary tolerowane tych bloków zostały wykonane maszynowo. Na rys.9 przedstawiono widok wydrukowanych bloków z wydrukowanymi gwintami i tolerowanymi wymiarami gniazd.



Rys. 9 Wydrukowane bloki z gwintami

Łącznie do badań wydrukowano łącznie 11 sztuk bloków 5 sztuk bloków z gwintami oraz 6 sztuk bloków bez gwintów, które następnie zostały poddane obróbce mechanicznej na obrabiarce sterowanej numerycznie.

WYNIKI BADAŃ WYDRUKOWANYCH BLOKÓW

Założony program badań bloków przewidywał wykonanie następujących badań:

- Pomiarów wymiarów i chropowatości określonych płaszczyzn bloków,
- Badania szczelności bloków,
- Badanie maksymalnej wytrzymałości korpusu bloków (określenia wartości maksymalnego ciśnienia powodującego zniszczenie korpusu bloku).

Badaniom miały być poddane wszystkie egzemplarze wydrukowanych bloków, jednak z powodów opisanych poniżej po pierwszym etapie badań bloki z wydrukowanymi gwintami zostały wycofane z badań.

Badania wymiarów i tolerancji powierzchni bloków

Przed przystąpieniem do pomiarów wszystkie bloki zostały poddane dokładnym oględzinom w celu stwierdzenia ewentualnych pęknięć oraz braków materiałowych. W obu grupach bloków nie stwierdzono ich występowania, w związku z czym, zostały wykonane pomiary gabarytów bloków, rozstawu osi gniazd, itp. Również te pomiary potwierdziły zgodność wymiarów bloków z ich

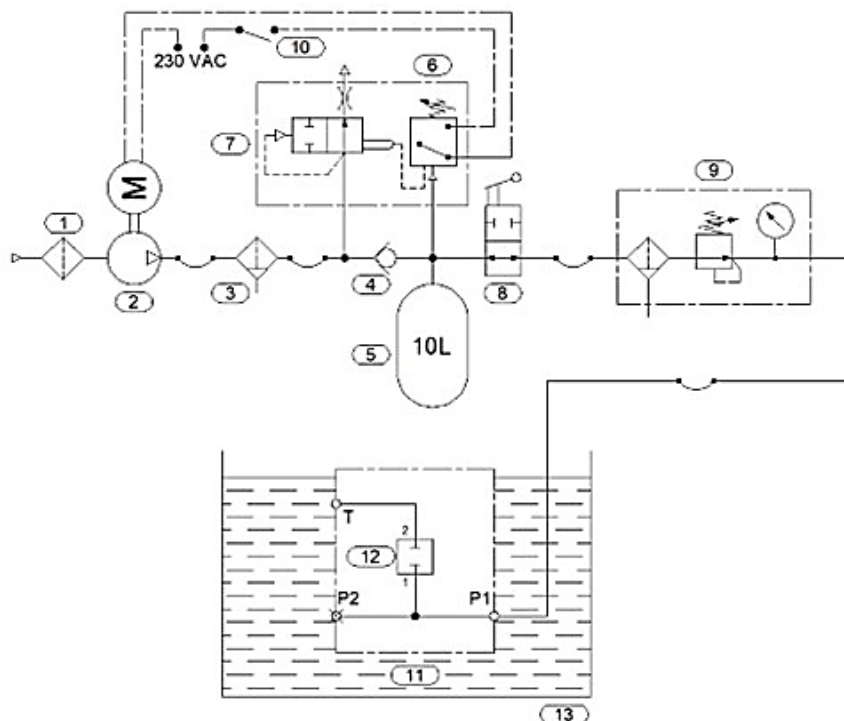
dokumentacją wykonawczą. W następnej kolejności były sprawdzane porty G3/8 za pomocą odpowiednich sprawdzianów gwintowych oraz mierzono chropowatość płaszczyzn pogłębienia do której przylega uszczelnienie typu Kwadring.

Dokonane pomiary wykazały, że bloki z gwintem wydrukowanym nie spełniały określonych wymagań wymiarowych (były zbyt ciasne). Jak się wydaje było to spowodowane szybszym kurczeniem się materiału podczas procesu drukowania. Dodatkowo chropowatość płaszczyzn pod uszczelnieniem była czterokrotnie wyższa od maksymalnej dopuszczalnej chropowatości. Z tych powodów bloki te zostały wyłączone z dalszych etapów badań.

Bloki z gwintem wykonanym maszynowo posiadały dopuszczalne odchyłki, które nie dyskwalifikowały ich do dalszych badań. Również chropowatości badanych płaszczyzn posiadały tylko niewielkie odchyłki chropowatości w stosunku do założonych, w związku z czym bloki te zostały poddane badaniom szczelności i wytrzymałości.

Badania szczelności bloków

Kolejnym etapem badań wydrukowanych bloków było sprawdzenie szczelności pomiędzy kanałem P oraz T. Do tego celu służyło stanowisko na którym za pomocą sprężonego powietrza podłączonego do kanału P, sprawdzano czy powietrze wydostaje się kanałem T. Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10 Schemat stanowiska do badań szczelności:

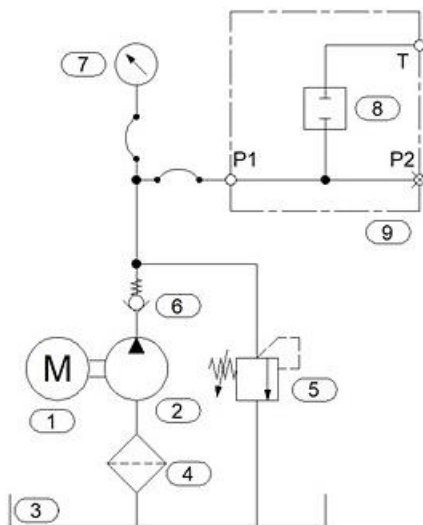
- 1 - filtr powietrza, 2 - agregat, 3 - filtr z oddzielnikiem, 4 - zawór zwrotny,
- 5 - zbiornik powietrza, 6 - presostat, 7 - zawór odprężający, 8 - zawór odcinający,
- 9 - regulator ciśnienia z filtrem, oddzielnikiem i manometrem, 10 - włącznik,
- 11 - blok hydrauliczny, 12 - korek SCP-A2/XX-A, 13 - pojemnik na wodę

Stanowisko zostało wyposażone w sprężarkę tłokową oraz zawór redukcyjny z regulacją ciśnienia powietrza od 0 do 7 bar. Do bloku hydraulicznego wkręcony został korek SCP-A2/XX-A odcinający kanał P oraz T. Zaślepieno również drugi z portów ciśnieniowych. Kanał T pozostawiono otwarty aby można było obserwować ewentualne wydostające się powietrze. Obserwowano również możliwe nieszczelności na powierzchniach portów G3/8' uszczelnianych za pomocą uszczelnień typu Kwadring.

Testy szczelności dla każdego badanego bloku przeprowadzano dla dwóch wartości i ciśnień 2 oraz 7 barów. W żadnym z badanych bloków nie stwierdzono nieszczelności zarówno piędzi kanałami P oraz T jak i na powierzchniach portów G 3/8'.

Badania wytrzymałości korpusów bloków

Badania wytrzymałości korpusów bloków zostały podzielone na dwa etapy. W pierwszym z nich trzy wydrukowane bloki zostały rozerwane za pomocą ciśnienia hydraulicznego, co pozwoliło ustalić maksymalne ciśnienie niszczące dany blok. Drugi etap polegał na pracy bloku w cyklach okresowej zmiany ciśnienia od 0 do wartości ciśnienia niszczącego blok. Do pierwszego etapu badań wykorzystano stanowisko, którego schemat przedstawiono na rys. 11.

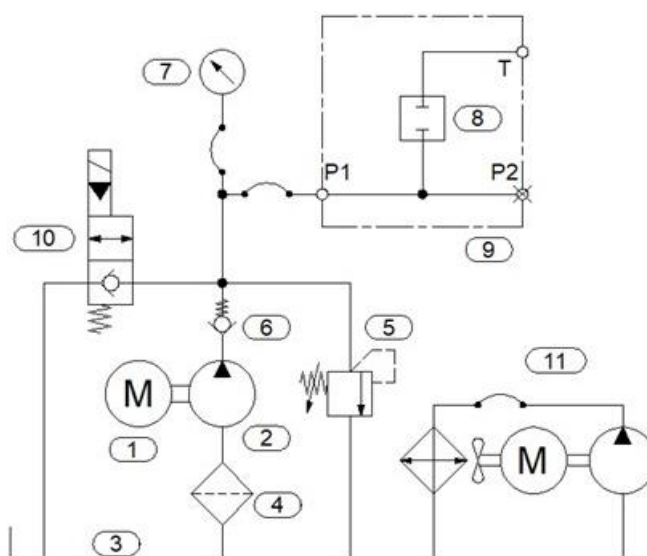


Rys. 11 Schemat stanowiska do badań wytrzymałości bloku hydraulicznego

Stanowisko składało się z zasilacza hydraulicznego z silnikiem 1 o mocy 2,2 kW, zębatej pompy hydraulicznej 2 o objętości geometrycznej 4,2 cm³/obr, zbiornika hydraulicznego 3, filtra ssawnego 4, zaworu przelewowego 5 z opcją nastawy do 250 bar oraz zawór zwrotnego 6. Do badań wykorzystano również urządzenie pomiarowe 7, które pozwalało na zarejestrowanie zmian ciśnienia (urządzenie Hydrotechnik MultiSytem 5070 z odpowiednim oprogramowaniem). Wyniki badań wartości maksymalnego ciśnienia rozrywającego badane bloki wykazały, że wartość ciśnienia niszczącego korpus bloku wynosi około 150 barów (odpowiednio 152, 150 oraz 150,5 bar). Wartość ciśnienia niszczącego posłużyła

do wyznaczenia wartości ciśnienia przy którym badana była wytrzymałości bloku pracującego w cyklach.

Drugim etapem badań wytrzymałościowych było sprawdzenie wytrzymałości zmęczeniowej wydrukowanych bloków pracujących w cyklach. Ciśnienie maksymalne cyklu wyznaczone zostało zgodnie z normą PN-EN ISO 4413:2011. Współczynnik bezpieczeństwa przyjmowany jest na poziomie 1,3, dlatego też badania bloków były przeprowadzane przy ciśnieniu 110 bar. Do badania został wykorzystany układ hydrauliczny, którego schemat przedstawiono na rys. 12. Układ hydrauliczny został wyposażony w zawór odciążający 2/2 jednostronnie szczelny, który pozwala na zrzućcie ciśnienia oleju hydraulicznego po podaniu napięcia na cewkę zaworu. Aby skompensować wpływ temperatury oleju na nastawę zaworu przelewowego do układu podłączono agregat chłodzący.



Rys. 12 Schemat stanowiska do badań wytrzymałościowych bloków w cyklach

Czas trwania cyklu określono na 20 s, czas działania ciśnienia maksymalnego wynosił 10 s, a następnie przez 10 s układ był odciążany. Do badań wykorzystano 3 sztuki wydrukowanych bloków. Badania przeprowadzono przy temperaturze oleju równej 60°C oraz natężeniu przepływu równym 5,5 dm³/min. Każdy z 3 bloków poddany został badaniu przez 14 godzin co dało ilość cykli równą 2500. Podczas badań nie doszło do wycieku oleju z bloków.

Wykonana przez bloki ilość cykli pracy wynosząca 2500 nie daje wystarczającej wiedzy na temat wytrzymałości zmęczeniowej bloków, jednakże jest to ilość wystarczająca na stwierdzenie prawidłowości funkcjonowania bloku zaworowego wytworzonego w technologii druku 3D.

WNIOSKI

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki badań bloków zaworowych wydrukowanych w technologii druku SLS wykazują duże możliwości wykorzystania technologii druku do prototypowania i produkcji małoseryjnej

bloków hydraulicznych niskociśnieniowych o ciśnieniu roboczym do 100 bar, a także w przypadkach elementów hydraulicznych w których wymagane jest zmniejszenie masy. Pełne wykorzystanie możliwości technologii druku SLS, przy wykorzystaniu proszków o odpowiednich własnościach, zapewnia wytworzenie bloków spełniających założone parametry eksploatacyjne. Technologia ta stwarza również możliwości wydruku kanałów w blokach o geometrii pozwalającej na maksymalne zmniejszenie masy bloku oraz zmniejszenie oporów przepływu medium w bloku.

Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku wydruku gwintów w gniazdach bloków nie uzyskano zadawalających rezultatów. Związane jest to zarówno z własnościami zastosowanego proszku jak i z maksymalną dokładnością technologii druku SLS oraz odkształceniom wydruku bloku podczas jego chłodzenia. Aby zapobiec tego typu zjawiskom należałoby przeprowadzić badania innych materiałów stosowanych w wydruku oraz odpowiednio zoptymalizować proces wydruku poprzez kompensowanie odkształceń wydruku. Proces wydruku jest procesem złożonym i należałoby wykonać szereg prób pozwalających na precyzyjne ustalenie jego optymalnych parametrów.

Uzyskane wyniki badań bloków dają podstawy do przeprowadzenia dalszych prac nad wykorzystaniem technologii druku SLS do prototypowania bloków hydraulicznych. W przypadku kontynuowania tych prac należy rozważyć realizację projektów bloków posiadających bardziej skomplikowaną geometrię tzn. zwiększoną sieć kanałów w korpusie bloku. W przypadku większych portów oraz gniazd można spodziewać się zróżnicowanych wyników badań wytrzymałościowych, dlatego w kolejnych badaniach należałoby sprawdzić wytrzymałość bloków posiadających różne rodzaje gniazd i portów. Wstępnie w tym celu można także wykorzystać oprogramowanie do analizy wytrzymałościowej MES. W badaniach wytrzymałościowych nowo zaprojektowanych bloków należy również zbadać ich wytrzymałość zmęczeniową w pełnym zakresie 10^6 cykli pracy oraz sprawdzić czy we wnętrzu wydrukowanych bloków nie dochodzi do erozji na skutek kawitacji.

LITERATURA

- [1] A. Schmitt: Hydraulics in mobile equipment, Rexroth GmbH 2019
- [2] P. Ciężkowski, J. Maciejewski, A. Zawadzki: Układy hydrauliczne w maszynach roboczych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2021.
- [3] Z. Jędrzykiewicz, J. Stojek, P. Rosikowski: Hydraulic drive and control. Kraków: Vist Sp. z o.o. 2017. ISBN 978-83-946026-0-4
- [4] P. Drexler et al.: Vademecum hydrauliki., T. 3 „Projektowanie i konstruowanie układów hydraulicznych”. MENNESMANN REXROTH GmbH 2018
- [5] K.R. Bakshi, A. V. Mulay. A Review on Selective Laser Sintering: A Rapid Prototyping Technology IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering (IOSRJMCE)-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334XPP 53-57.
- [6] A. Schmitt: Vademecum hydrauliki tom 2. Technika hydraulicznego sterowania zaworami proporcjonalnymi i serwozaworami, Rexroth GmbH 2015.
- [7] Argo-Hytos: Pressure Relief Valve SR1A-A2, 2019

- [8] J. Dmochowski: Podstawy obróbki skrawaniem, PWN 1983
- [9] W. Grzesik: Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych, WNT 2018
- [10] J. Bochnia: Wybrane właściwości fizyczne materiałów kształtowanych technologiami przyrostowymi, WPS, Kielce 2018
- [11] J. Kruth, P. Mercelis, J. Van Vaerenbergh, L. Froyen, M. Rombouts. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. Rapid Prototyping Journal. 2005; 11 (1): 26-26.
- [12] D.W Gibson, B. Rosen, B. Stucker, Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing, New York 2010.
- [13] S.H. Chiu, S.T. Wicaksono, K. T. Chen, Chen C, Y., Pong S.H., Rapid Prototyping J. 21(3), 262 (2015)
- [14] A. Cymerys, K. Władzielczyk: Nowe konstrukcje bloków zaworowych pojedynczych. Maszyny Górnicze 2007. R.25, nr 1 s. 16-20
- [15] A. Schmitt: Vademecum hydrauliki tom 3, Projektowanie i konstruowanie, Rexroth GmbH 2015
- [16] Argo-Hytos: Choice Of Convenient Tools. www.argo-hytos.com/pl.html
- [17] Argo-Hytos: Modular Hydro-Pneumatic Suspension System, 2022

Analysis of the Possibilities of Manufacturing Low-Pressure Valve Blocks Using 3D Printing Technology

Abstract: The article presents an analysis of the possibility of using 3D printing to produce low-pressure valve blocks. These blocks are used in a number of hydraulic systems and are used to mount several types of hydraulic elements in low-pressure branches of systems. The first part of the article presents the issues of designing valve blocks using the Hydrosym and Hydroman programs and the Creo Parametric 3.0 program. Next, the printing technologies that are used to print hydraulic elements are described, considering the range of their applications. The second part of the article presents an example of a low-pressure valve block, which was specially designed and printed in SLS technology. The scope of research included both the dimensional accuracy of the printed blocks and the examination of their strength properties. The obtained research results allowed to assess the possibility of printing blocks using SLS printing technology..

Keywords: connecting plates and manifolds, 3D printing, hydraulic valves, rapid prototyping

Dr inż. Piotr Kipczak

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Poland

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Katedra Inżynierii Maszyn i Transportu

e-mail: kipczak@agh.edu.pl