

**Streszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jarosława Fastowicza
pt. "Wizyjna ocena jakości wydruków 3D"
w formie zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

Na przestrzeni ostatnich lat znacząco rozwinęło się zainteresowanie drukiem 3D. Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń, działających w technologii druku przyrostowego, jak również projektów budowy takiego urządzenia. Niskie koszty zakupu oraz eksploatacji zachęcają do niego coraz szersze grono konsumentów indywidualnych. Osadzanie topionego materiału znalazło również zastosowanie w małoseryjnej produkcji, jak i szeroko pojętym przemyśle 4.0. W trakcie początków pandemii koronawirusa SARS-CoV-2 społeczność użytkowników drukarek 3D wspomagała służbę zdrowia drukując przyłbice oraz komponenty do sprzętu medycznego, które nie były w tych trudnych czasach dostępne.

Pewną niedoskonałością drukarek 3D dostępnych na rynku konsumenckim jest wciąż problem z jakością i pewnością wydruku. Najpopularniejsze urządzenia do druku przyrostowego z materiałem eksploatacyjnym – filamentem w postaci żyłki nawiniętej na szpulę – wciąż stanowią jedną z bardziej zawodnych metod druku, co jest spowodowane wieloma czynnikami. Biorąc pod uwagę czasochłonność procesu wydruku, celowe byłoby określenie, czy warto kontynuować długotrwały proces, czy lepiej go przerwać. Niejednokrotnie przyczyny problemów z jakością druku nie leżą po stronie urządzenia lub użytkownika, a materiału. Urządzenie, które raz zostało dobrze skalibrowane, regularnie konserwowane, nie powinno wpływać na jakość wydruku, jednak drobne zanieczyszczenia w filamencie mogą spowodować zatkanie głowicy i tzw. „suchy druk” (ang. *dry printing*). W takiej sytuacji kontynuowanie procesu może być nawet niebezpieczne, ze względu na wysokie temperatury, jakie osiąga głowica i stół drukarki. Przerwanie wykonywania druku przyrostowego, w trakcie takiej awarii, może zwiększyć bezpieczeństwo, ale jest również oszczędnością finansową. Często zdarzają się również problemy z wydrukiem, gdzie zjawisko uszkodzeń na obiekcie drukowanym ma różny stopień gradacji, od drobnych wtrąceń do bardzo znaczących ubytków. Możliwość oceny estetycznej takiego wydruku 3D oraz ewentualnie przerwanie i usunięcie przez użytkownika problemu również wiąże się z oszczędnością czasu oraz finansów.

Prezentowany zbiór publikacji stanowiący rozprawę doktorską przedstawia podejście do badania jakości wydruków 3D pod kątem estetycznym z pomocą automatycznej wizyjnej oceny jakości powierzchni wydrukowanego przedmiotu. Kluczowym założeniem było użycie różnego rodzaju metod wizyjnych w celu klasyfikacji danej próbki przy utrzymaniu możliwie jak najniższego kosztu implementacji algorytmów służących do oceny wydruków 3D. W pierwszych krokach prace opierały się na analizie skanów 2D wytworzonych próbek. Spowodowane to było potrzebą weryfikacji poszczególnych algorytmów przetwarzania i analizy obrazów w zakresie możliwości wykorzystania do powierzchni druku 3D. Materiały wideo i obrazy rejestrowane za pomocą kamer obarczone są dodatkowymi zakłóceniami, natomiast skaner 2D zapewnia

równomierne oświetlenie elementu na całej skanowanej powierzchni. W trakcie badań skupiono się na 3 głównych kierunkach rozwoju, przy założeniu użycia i modyfikacji znanych metod bazujących na wskaźnikach jakości tekstur, wskaźnikach jakości obrazów ogólnego przeznaczenia oraz entropii obrazu.

W ramach prac badawczych została przygotowana baza wydruków 3D o różnej jakości powierzchni. Przygotowane próbki miały kształt prostopadłościanu o wymiarach 40×4×40 mm, przy czym dla każdej próbki badania powierzchni obu stron przeprowadzano niezależnie. W trakcie postępów badań baza była sukcesywnie rozwijana i wzbogacana o kolejne próbki, także z innego rodzaju materiału. W początkowym etapie baza zawierała wyniki oceny subiektywnej przeprowadzone w postaci eksperckiej klasyfikacji.

W jednym z ostatnich etapów prac do weryfikacji zaproponowanych algorytmów zastosowano obrazy przechwycone kamerą. Uzyskane wyniki pozwoliły na potwierdzenie tezy o możliwości efektywnej wizyjnej oceny jakości druku 3D *in situ*. Baza próbek została wzbogacona o oceny subiektywne pozyskane na grupie około 90 respondentów. Próbki zostały ocenione przez niezależnych obserwatorów pod kątem ich indywidualnych preferencji estetycznych, które wykazały zgodność z wcześniej przedstawionymi ocenami eksperckimi tych samych próbek. Otrzymane średnie oceny subiektywne posłużyły do analizy poszczególnych algorytmów oraz – w ostatniej fazie prac – do weryfikacji wskaźników hybrydowych, polegających na połączeniu dwóch lub więcej mniej skutecznych metod, zaproponowanych w celu poprawienia skuteczności obiektywnej oceny próbki wydruku 3D metodami wizyjnymi.