

# O czym należy wiedzieć przed zakupem drukarki 3D DLP?

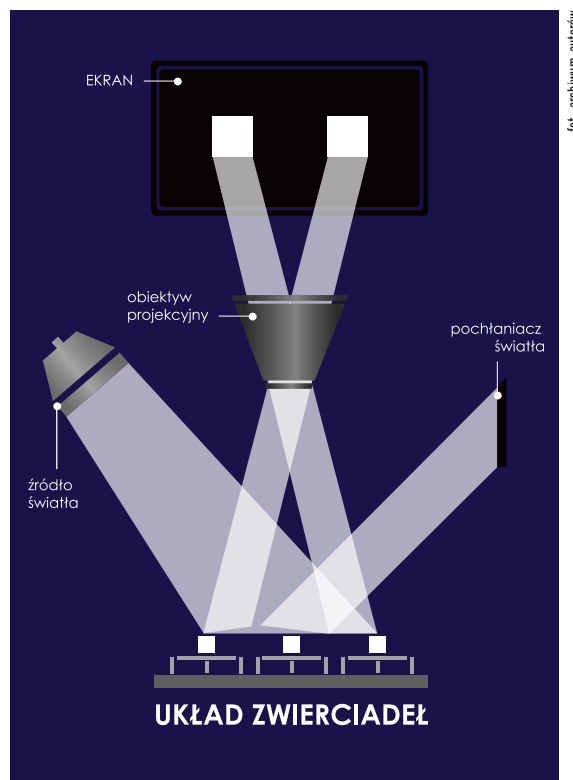
Wśród wszystkich nowości w technologii dentystycznej jednym z najczęściej omawianych obecnie tematów jest druk trójwymiarowy (3D). Uważa się go za przełomową technologię, która może zmienić sposób wytwarzania prac protetycznych, m.in.: modeli zębów, zgryzów i dziąseł, szablonów chirurgicznych, prac tymczasowych itd. (1). Umożliwia on produkcję niewielkiej liczby prac dostosowanych do indywidualnych potrzeb przy stosunkowo niskich kosztach.

Zasada działania drukarek 3D zależy od technologii nakładania i utwardzania materiału, z którego powstają trójwymiarowe elementy. W technologii DLP maszyna dozuje ciekłą warstwę płynnej żywicy, a następnie utwardza ją sterowaną komputerowo wiązką światła ultrafioletowego według określonych

**P**olimeryzacja jest zjawiskiem, w którym pomiędzy małymi cząsteczkami (merami) zachodzą reakcje chemiczne, w wyniku których powstają duże cząsteczki i łańcuchy molekularne zwane polimerami.

wzorów każdej warstwy. Pod koniec procesu nadmiar nieutwardzonej żywicy jest usuwany w kąpeli chemicznej (2). Wszystkie drukarki 3D wykorzystują oprogramowanie CAM dedykowane dla technologii druku 3D, którego głównym zadaniem, poza ułożeniem drukowanego obiektu w przestrzeni drukarki oraz jego podparciem, jest przygotowanie zestawu warstw zawierających przekroje drukowanego obiektu oraz obliczenie programu druku dla drukarki. Istnieją różne rodzaje procesów druku 3D wykorzystywanych do wytwarzania, np.: stereolitografia (SLA), bezpośrednie utwardzanie światłem (DLP), nakładanie szybko zastygającego tworzywa (FDM), druk proszkowy „atramentowy”, selektywne spiekanie laserowe (SLS)/bezpośrednie spiekanie laserowe metalu (DMLS). W artykule wyjaśnione zostaną specyfikacje drukarek 3D wykorzystujących technologię DLP (przykładami takich drukarek są: Rapidshape D20, Microlay Versus, Asiga MAX).

**Ryc. 1.** Poglądowy schemat działania projektorów DLP



## Technologia bezpośredniego utwardzania światłem (DLP)

Metoda druku 3D w technologii DLP wykorzystuje układ optyczny, w którym projektor światła w zakresie długości fal UV (ultrafiolet) wyświetla obraz pikseli na płaszczyźnie roboczej drukarki, a tworzenie wokseli (pikseli trójwymiarowych) odbywa się poprzez ruch platformy roboczej w kierunku prostopadłym

**TITLE:** What to know before buying a DLP 3D printer?

**STRESZCZENIE:** Artykuł stanowi kompendium wiedzy na temat drukarek 3D wykorzystujących technologię DLP.

**SŁOWA KLUCZOWE:** stomatologia, DLP, druk 3D, specyfikacja

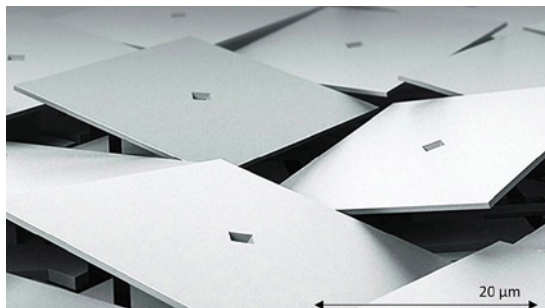
**SUMMARY:** The article is a compendium of knowledge about 3D printers using DLP technology.

**KEYWORDS:** stomatology, DLP, 3D print, specification

do płaszczyzny projekcji obrazu. Ekspozycja żywicy światłoutwardzalnej (fotopolimeru) na oddziaływanie fal UV powoduje jej utwardzanie. Obraz wyświetlany przez projektor jest tworzony przez oprogramowanie CAM, które dzieli model do druku na woksele o wymiarach zależnych od rozdzielczości urządzenia oraz zadanej grubości warstwy. Ze względu na najczęściej stosowane rozdzielczości matryc (rozdzielczość Full HD) oraz napędów platformy roboczej (silniki krokowe) wielkość woksela to  $65 \mu\text{m} \times 65 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ , ale ze względów użytkowych najczęściej używa się wysokości woksela (grubości warstwy)  $50 \mu\text{m}$  lub  $100 \mu\text{m}$  (3). Zjawisko fotopolimeryzacji jest podobne jak w technologii SLA, w której przekrój jest utwardzany punktowo. Aczkolwiek w przypadku technologii DLP zachodzi jednocześnie na całej powierzchni oświetlanej przez projektor, co powoduje, że jest ona wydajniejsza w stosunku do technologii SLA.

Dzięki zastosowaniu projektorów DLP udało się zwiększyć moc lamp UV oraz usprawnić proces polimeryzacji w porównaniu do wcześniej stosowanych ekranów LCD oraz klasycznych projektorów. Projektory DLP (ryc. 1) wykorzystują jedno mocne źródło światła, a układ ruchomych mikrozwierciadeł (ryc. 2) jest odpowiedzialny za załączanie odpowiednich pikseli na platformie roboczej.

**Z**ywice dostępne w sprzedaży zawierają fotoinicjator, dla którego charakterystyczną długością fali, przy której staje się aktywny, jest długość  $385 \text{ nm}$ . Zastosowanie lampy o świetle o długości fali dokładnie odpowiadającej fotoinicjatorowi znacznie przyspiesza proces fotopolimeryzacji.



Ryc. 2. Mikrolustra wykorzystywane w technologii DLP (4)



Ryc. 3. Spektrum długości fal świetlnych (6)

reklama



Competence in CNC & DENTAL-Solutions





VERSUS

PROMOCJA

49 900 zł brutto

Otwarty system materiałów:








SZYBKOŚĆ  
DRUKU DO **80 mm/h**

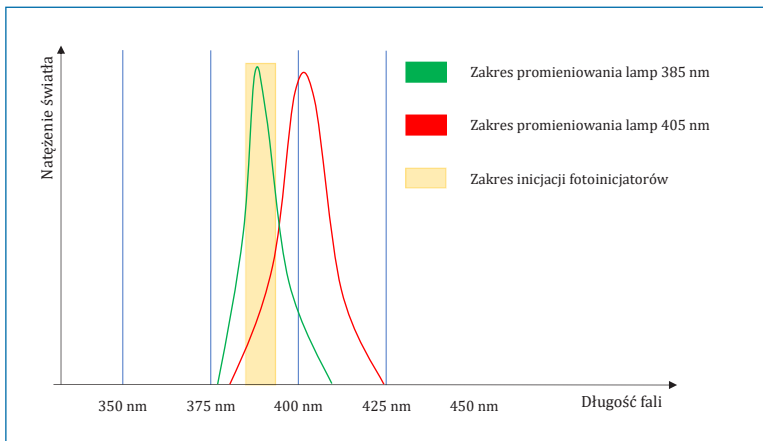
AUTOMATYCZNA KALIBRACJA  
DŁUGOŚCI FALI ŹRÓDŁA ŚWIATŁA

DRUKARKA 3D

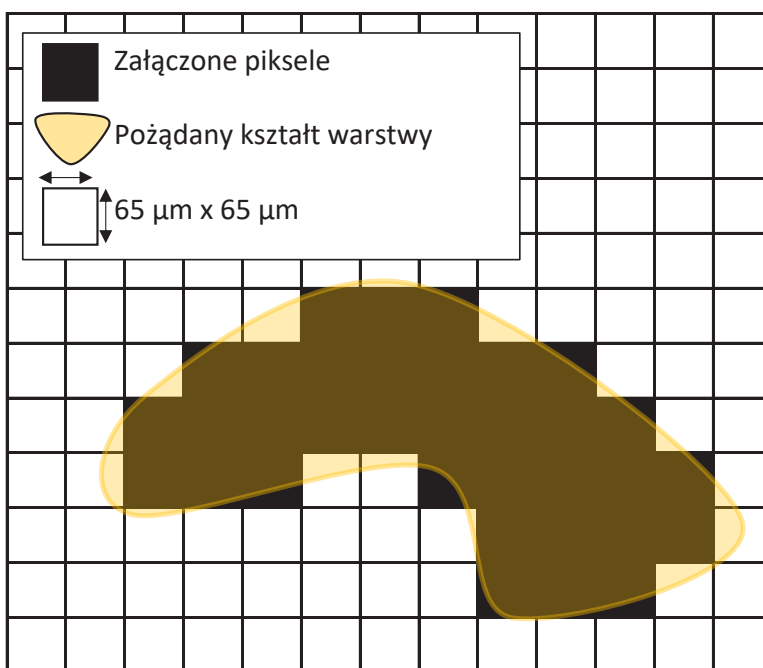
ZAAWANSOWANY PROJEKTOR DLP  
O DŁUGOŚCI FALI **385 nm**

DOKŁADNOŚĆ  
**XY=65 μm Z=10 μm**

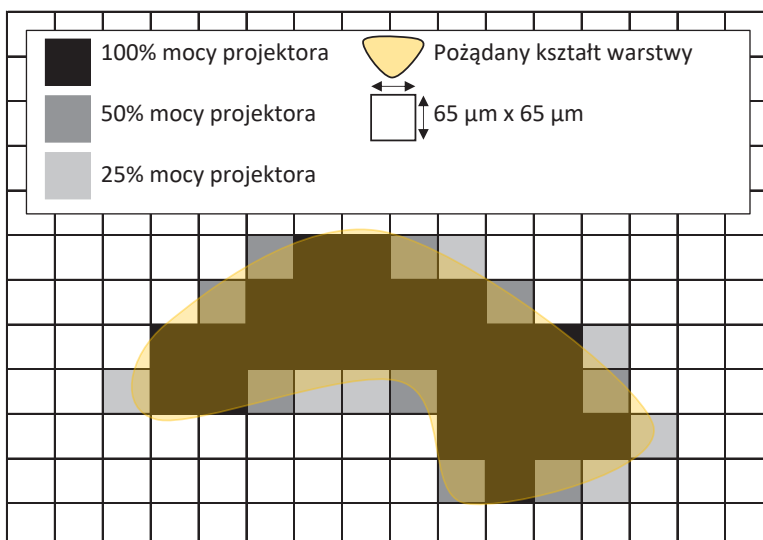
imes-icore.pl



Ryc. 4. Zależność oddziaływania źródła światła na inicjację fotoinicjatorów (7)



Ryc. 5. Rozkład pikseli przekroju obiektu, które zawierają się większością powierzchni w przekroju



Ryc. 6. Rzeczywisty rozkład pikseli podczas druku

## ► Długość fali

Polimeryzacja jest zjawiskiem, w którym pomiędzy małymi cząsteczkami (merami) zachodzą reakcje chemiczne, w wyniku których powstają duże cząsteczki i łańcuchy molekularne zwane polimerami. Proces ten jest także branżowo nazywany utwardzaniem. Proces polimeryzacji jest istotą druku w technologii DLP i pozwala on przekształcać ciekłe żywice w obiekty przestrzenne o właściwościach specyficznych dla danego zastosowania. Zjawisko fotopolimeryzacji wykorzystuje fotony (UV lub światła widzialnego) emitowane przez źródło światła w celu zainicjowania reakcji chemicznych poprzez wzbudzenie specjalnych dodatków zwanych fotoinicjatorami. Po wchłonięciu energii UV fotoinicjator wytwarza wysoce reaktywne związki chemiczne, które inicjują reakcje wiążące składniki żywicy ze sobą (tzw. sieciowanie) w celu jej utwardzenia. Żywice dostępne w sprzedaży zawierają fotoinicjator, dla którego charakterystyczną długością fali, przy której staje się aktywny, jest długość 385 nm. Zastosowanie lampy o świetle o długości fali dokładnie odpowiadającej fotoinicjatorowi znacznie przyspiesza proces fotopolimeryzacji. W praktyce można się spotkać z urządzeniami oferującymi projektory o długości fali 385 nm (UVA) lub 405 nm (światło widzialne bliskie UV) (5). Ryc. 3 pokazuje, że światło o długości fali 405 nm należy do spektrum światła widzialnego i tylko część składowych jego widma jest w stanie aktywować fotoinicjator (ryc. 4). Powoduje to, że poprawna inicjacja procesu fotopolimeryzacji będzie wymagała dłuższej ekspozycji na światło o długości fali 405 nm. Wielu producentów decyduje się na zastosowanie lamp o długości fali 405 nm ze względu na niższy koszt zakupu w porównaniu z projektorami o długości fali 385 nm.

Na rynku są także dostępne projektory światła w spektrum UVB i UVC, które lepiej wnikają w materiał, jednak cechują się niską żywotnością, a ich cena może być 250 razy wyższa niż projektorów UVA.

**P**rzy wyborze drukarki warto zwrócić uwagę na jej kompatybilność z żywicami innych producentów w celu zapewnienia możliwie dużego zakresu materiałów do wyboru, jednak z drugiej strony zazwyczaj wiąże się to z trudniejszym doбором parametrów druku.

Równie ważnym składnikiem żywicy jest tzw. bloker UV, którego zadaniem jest zapobieganie niekontrolowanemu procesowi fotopolimeryzacji przy ekspozycji na światło otoczenia. Bardzo często blokery pełnią w żywicy funkcję pigmentu.

## Odwzorowanie krzywizn a rozdzielczość drukarki

Wykorzystanie w drukarkach 3D matryc o zadanej rozdzielczości stanowi wyzwanie przy odwzorowaniu krzywizn o małym promieniu zaokrąglenia. Jest to spowodowane faktem, że za pomocą punktów o ściśle określonym położeniu na matrycy projektora oraz o ściśle określonym kształcie i wielkości trudno jest jednoznacznie odwzorować kształt geometryczny o złożonej krzywiznie. Rzutowany obiekt o dowolnym kształcie nie pokryje się w pełni z pikselami, które mogą być podświetlone dla danej warstwy obiektu (ryc. 5).

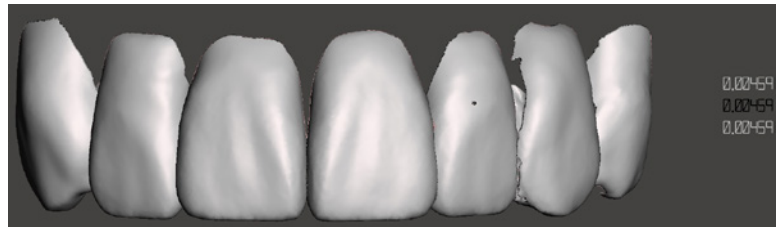
W praktyce do odwzorowania złożonych kształtów wykorzystuje się zdolność projektorów do niecałkowitego podświetlenia pojedynczego piksela. Podstawą procesu częściowej polimeryzacji jest fakt, że żywica, która znajduje się nad pikselem o niepełnej mocy światła emitowanego polimeryzuje wolniej, ale jednocześnie tworzy połączenie z polimeryzującymi łańcuchami sąsiadującego piksela o pełnej mocy emisji światła. Dzięki temu możliwe jest tworzenie obszarów przejściowych, które są w stanie przybliżyć ze znacznie lepszą dokładnością złożoną krzywiznę obiektu (ryc. 6).

Należy mieć na uwadze, że powyższa metoda poprawia zdolności urządzenia do odtwarzania kształtów drukowanych obiektów z możliwie najlepszą jakością, ale nadal nie pozwala osiągać wymiarów obiektów poniżej rozdzielczości urządzenia. Jeśli grubość drukowanego obiektu jest niższa niż jeden z wymiarów piksela matrycy, nie zostanie on wydrukowany, ponieważ nawet metoda częściowej emisji światła przez piksel nie przyniesie rezultatu – częściowo polimeryzująca żywica nie ma punktów, od których mogłaby tworzyć usieciowaną strukturę. Przykład pracy, który przedstawia taką sytuację, przedstawiono na ryc. 7-8.

## Materiały kompatybilne i dobór żywicy

Producenci dla każdej żywicy zapewniają wszelkie specyfikacje oraz instrukcje optymalnych ustawień druku pod odpowiedni rodzaj materiału. Przy wyborze drukarki warto zwrócić uwagę na jej kompatybilność z żywicami innych producentów w celu

**N**a rynku są także dostępne projektory światła w spektrum UVB i UVC, które lepiej wnikają w materiał, jednak cechują się niską żywotnością, a ich cena może być 250 razy wyższa niż projektorów UVA.



**Ryc. 7.** Nieprawidłowo zaprojektowana praca, której grubość ściany wynosi nawet do 0,00459 mm (4,59 µm)



**Ryc. 8.** Nieprawidłowo zaprojektowana praca wydrukowana na warstwie o wysokości 50 µm

zapewnienia możliwie dużego zakresu materiałów do wyboru, jednak z drugiej strony zazwyczaj wiąże się to z trudniejszym doбором parametrów druku. Każda żywica stosowana w dentyście jest dedykowana do wykonywania innych prac, dlatego przed drukowaniem należy się zapoznać z kartą charakterystyki wykorzystywanej żywicy i dobrać odpowiednie ustawienia drukarki. ■

### Piśmiennictwo

1. Dawood A., Marti M.B., Sauret-Jackson V., Darwood A.: *3D printing in dentistry*. „Br Dent J”, 2015, 219 (11), 521-529.
2. Berman B.: *3D printing: The new industrial revolution*. „Bus Horiz”, 2012, 55 (2), 155-162.
3. Bogue R.: *3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?*. „Assembly Autom”, 2013, 33 (4), 307-311.
4. <https://www.viewsonic.com/us/library/entertainment/what-look-for-dlp-projector>.
5. Higgins M.: *Understanding Ultraviolet LED Wavelength*. „UV+EB Technology”, 2016, 2 (2), 46-49.
6. <https://nanoskala.com/wp-content/uploads/2017/03/relax9.png>.
7. <https://www.maritex.com.pl/product/attachment/40383/fc82167f9e85d9aac9896b9dd37462f2>.