

Wpływ parametrów grawerowania laserowego na wygląd wyrobów wykonanych z różnych materiałów

Influence of laser engraving parameters on the appearance of products made of various materials

Chrystian Fiał*, Marcin Pieknik

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Przemysłu Skórzanego

Abstrakt

Grawerowanie laserowe jest bardzo często wykorzystywane do grawerowania różnorodnych materiałów – począwszy od materiałów twardych, aż po materiały stosunkowo miękkie – i znajduje zastosowanie w wielu branżach – np. medycznej, graficznej, reklamowej i kilku innych gałęziach przemysłu. W artykule przedstawiono wyniki wpływu parametrów grawerowania laserowego (prędkość oraz moc wiązki lasera) dla różnych materiałów – skór, tworzyw sztucznych oraz materiałów drewnianych. Celem badań było wytypowanie najlepszej kombinacji parametrów grawerowania, która pod względem wyglądu estetycznego będzie najbardziej atrakcyjna dla danego materiału.

Abstract

Laser engraving is very often used to engrave a variety of materials - from hard materials to relatively soft materials - and is used in many industries – i. e. medical, graphics, advertising and several other industries. The article below presents the results of the impact of laser engraving parameters (speed and laser beam power) for various materials - leather, plastics and wooden materials. The aim of the research was to select the best combination of engraving parameters, which in terms of aesthetic appearance will be the most attractive for a given material.

Słowa kluczowe: grawerowanie laserowe, parametry grawerowania, skóra, tworzywa sztuczne, materiały drewniane

Keywords: laser engraving, engraving parameters, leather, plastics, wooden materials

*autor korespondencyjny: dr inż. Chrystian Fiał: cfial@ips.krakow.pl

1. Wprowadzenie

Dzięki swojej wszechstronności, laser może posłużyć do przetwarzania szerokiej gamy materiałów do różnych zastosowań i wykonywać szereg operacji takich, jak cięcie, spawanie, wiercenie, grawerowanie, szybka produkcja, czy ablacja. Ma on zastosowanie w różnych sektorach, jak medycyna, komunikacja, czy wojsko [1-3], ale daje możliwość szerokich zastosowań również w innych branżach, dziedzinach, czy z wykorzystaniem różnych rodzajów materiałów do obróbki. Przewaga laserów nad innymi technikami polega m.in. na mniejszym kontakcie elementów z maszyną, wysokiej dokładności, ograniczonej strefie ekspozycji na ciepło, dużej prędkości obróbki, elastyczności, wszechstronności, łatwości w automatyzacji oraz, co ważne, niewielkimi kosztami [4, 5]. Około 90% grawerowania laserowego wykorzystywane jest w przemyśle. Wykonywane jest głównie w celu identyfikacji produktów w różnych branżach – motoryzacji, mikroelektronice, lotnictwie, ale również w branży, obejmującej artykuły gospodarstwa domowego. Pozostałe 10% znajduje zapotrzebowanie do zastosowań estetycznych takich, jak wzory dekoracyjne oraz logo firm [5]. Dużą zaletą grawerowania laserowego jest niewielki czas wymagany na grawerowanie wielu elementów i możliwość grawerowania różnych materiałów na tej samej maszynie [6, 7]. Dodatkowo, sporą zaletą grawerowania, w przypadku wykorzystania do zastosowań zdobniczych jest to, że nie wymagany jest żaden kunszt rzemieślniczy operatora do wykonania najbardziej wyszukanych wzorów. Bardzo ważna jest natomiast znajomość oraz odpowiedni dobór parametrów samej operacji grawerowania – głównie moc oraz prędkość wiązki lasera podczas operacji grawerowania.

Grawerowanie laserowe to proces powierzchniowy, w którym skupiona wiązka lasera zamienia się na energię cieplną na podłożu i prowadzi do usunięcia części warstwy z powierzchni poddawanej działaniu wiązki na określoną głębokość [4, 6].

W wyniku jego działania, mogą pojawiać się lokalne zmiany koloru np. wytworzenie kontrastu w takich materiałach jak drewno czy tworzywo sztuczne lub mogą mieć miejsce zmiany strukturalne na skutek spalania i wyparowania materiału (np. materiały wykonane z metalu), czy spienienia (np. tworzywa polimerowe) [8]. Metoda ta może być zaproponowana jako alternatywa dla metod druku cyfrowego i może być stosowana również dla wielu różnych materiałów. W procesach drukarskich zdjęcia/materiały wizualne są przenoszone na nośniki cyfrowe. Następnie są projektowane i edytowane cyfrowo, a po wykonaniu formy drukowane [9]. W grawerowaniu laserowym pierwsze kroki są takie same. Obraz jest przenoszony na nośniki cyfrowe, projektowany, przesyłany do programu do grawerowania laserowego, a później wykonywany za pomocą maszyny – np. plotera grawerującego.

2. Materiały do badań

Do badań wytypowano trzy grupy materiałów, których parametry zamieszczono w Tabeli 1.

Tab. 1. Materiały użyte do badań i ich własności.

Grupa materiałów	Material	Oznaczenie	Grubość [mm]	Twardość [ShA]
Materiały skórzane	Skóra naturalna (kolor kremowy)	1A	0,84	80
	Skóra naturalna (kolor fioletowy)	2A	1,64	75
	Skóra sztuczna (kolor czarny)	3A	1,16	85
Materiały sztuczne	Pianka poliuretanowa	2A	2,50	31
	Pianka poliuretanowa	2B	8,00	33
Materiały drewniane	Sklejka (brzoza)	3A	3,00	>100
	Płyta HDF	3B	3,00	>100

Na wybranych materiałach za pomocą technik grawerowania laserowego, wykonano logo Sieci Badawczej Łukasiewicz (Rys. 1) – każde z nich z różnymi parametrami (prędkość oraz moc wiązki lasera) i odpowiednio oznaczono (od A do

H), w celu późniejszej identyfikacji. Informacje dotyczące parametrów zamieszczono w Tab. 2 - 4. Dobór parametrów opracowano w oparciu o wartości, znajdujące się w dołączonej do urządzenia instrukcji obsługi lub opracowano w toku wcześniejszych badań doświadczalnych. Grawerowanie laserowe wykonano na ploterze laserowym CO₂ Maximus Pro JSE 9060 o mocy 2,3 kW, chłodzonym cieczą, prędkości cięcia 0-2000 mm/s i dokładności < 0,01 mm. W tym urządzeniu głowica lasera porusza się w dwóch kierunkach – w osi X oraz osi Y – natomiast odległość pomiędzy głowicą a materiałem poddawany grawerowaniu sterowana jest za pomocą ruchu stołu w osi Z. Obrabiany materiał po ułożeniu na polu roboczym plotera leży nieruchomo. Pole robocze plotera wynosi 60 x 90 cm, a kontrola prędkości i mocy wiązki laserowej dostępna jest zarówno z poziomu pulpitu plotera, jak i oprogramowania. Badania prowadzono w Instytucie Przemysłu Skórzanego w Krakowie.

Zdjęcia całych próbek z różnych materiałów poddanych operacji grawerowania laserowego zaprezentowano na Rys. 2 - 4. Dzięki przeprowadzonym badaniom możliwa była ocena wyglądu – zarówno subiektywna (ocena bardzo ogólna, przeprowadzona organoleptycznie na próbkach), jak i obiektywna na podstawie analizy takich parametrów jak ciągłość linii, czy wypełnienie. W tym celu przeformatowano oryginalne, kolorowe zdjęcia na zdjęcia w skali szarości z wykorzystaniem oprogramowania ImageJ. Na przygotowanych plikach graficznych dokonano analizy parametrów wymienionych powyżej i wytypowano parametry (moc oraz prędkość wiązki lasera), które są najlepsze, jak i najgorsze dla danego materiału. Wyniki tej analizy przedstawiono w Tab. 5 – 7.



Rys. 1. Wzór logo Sieci Badawczej Łukasiewicz wykorzystanego w badaniach [źródło: <https://lukasiewicz.gov.pl/media/multimedia/24395/logo>].

Tab. 2. Wartości parametrów grawerowania laserowego dla materiałów skórzanych.

Parametry	Materiały skórzane – 1A, 1B, 1C			
	Oznaczenie			
	A	B	C	D
Prędkość [mm/s]	700	700	600	600
Moc [%]	15	25	15	25
	E	F	G	H
Prędkość [mm/s]	500	500	400	400
Moc [%]	15	25	15	25

Tab. 3. Wartości parametrów grawerowania laserowego dla materiałów sztucznych.

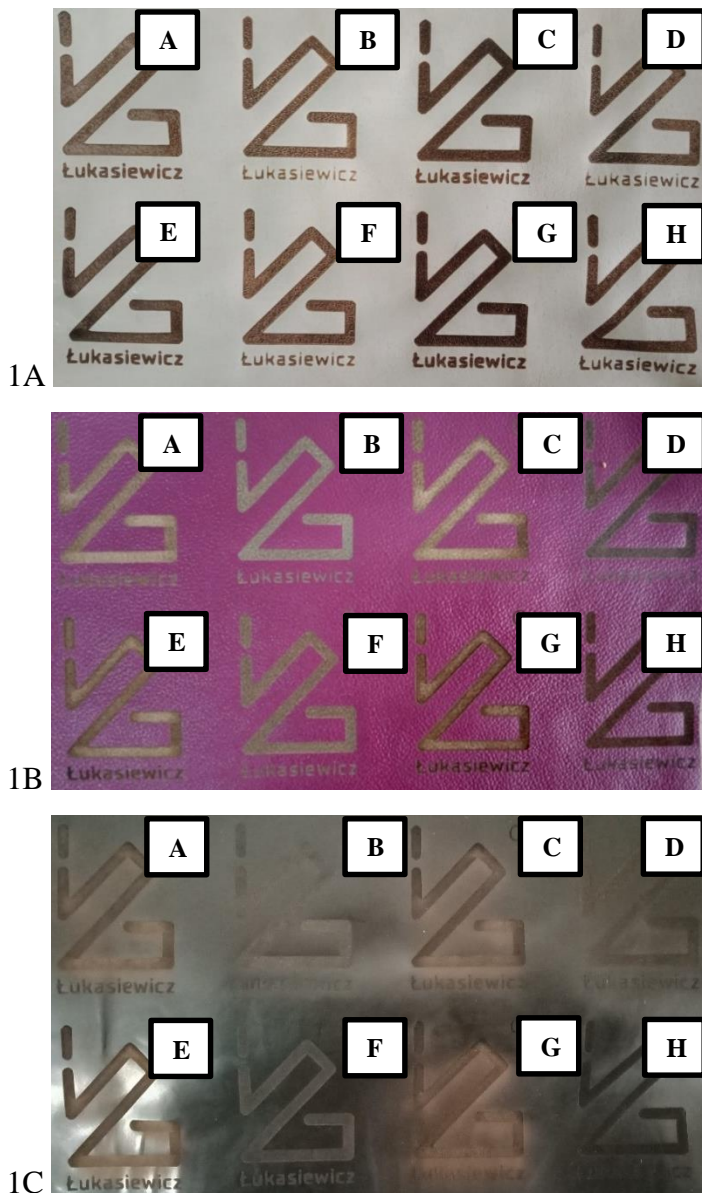
Parametry	Materiały sztuczne – 2A, 2B			
	Oznaczenie			
	A	B	C	D
Prędkość [mm/s]	700	700	500	500
Moc [%]	10	20	10	20
	E	F	G	H
Prędkość [mm/s]	300	300	100	100
Moc [%]	10	20	10	20

Tab. 4. Wartości parametrów grawerowania laserowego dla materiałów drewnianych.

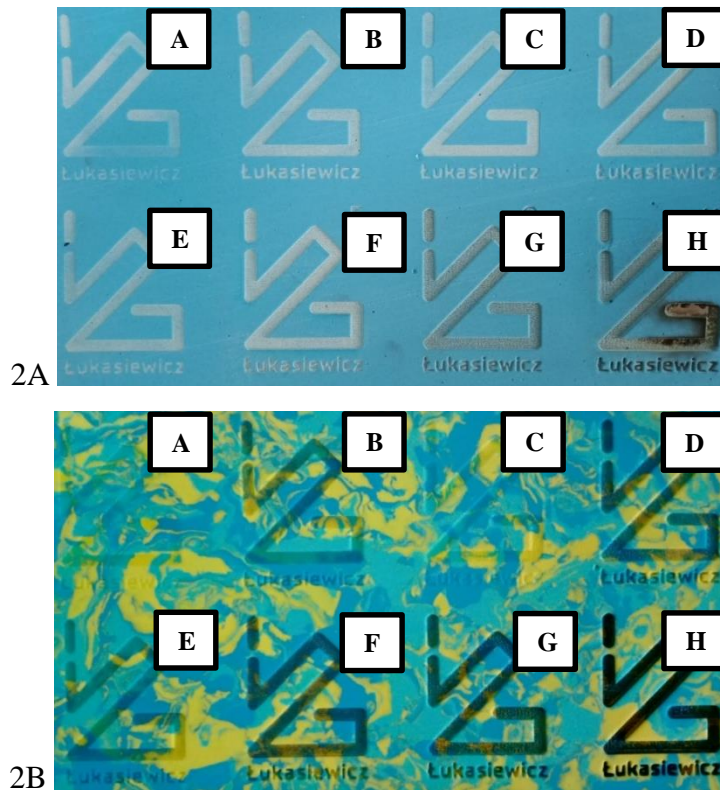
Parametry	Materiały drewniane – 3A, 3B			
	Oznaczenie			
	A	B	C	D
Prędkość [mm/s]	950	950	750	750
Moc [%]	30	45	30	45
	E	F	G	H
Prędkość [mm/s]	550	550	350	350
Moc [%]	30	45	30	45

3. Wyniki i ich dyskusja

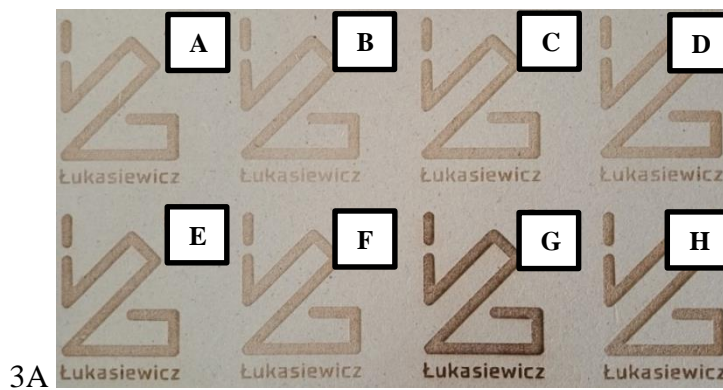
Pierwszym etapem analizy uzyskanych wyników była subiektywna ocena wykonanych log (Rys. 2 – 4).

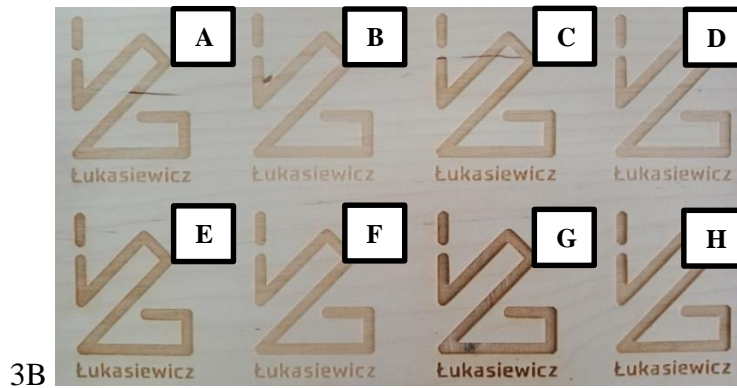


Rys. 2. Wyniki grawerowania laserowego – materiały skórzane; 1A, 1B – skóra naturalna, 1C – skóra sztuczna.



Rys. 3. Wyniki grawerowania laserowego – materiały sztuczne; 2A - pianka 2,5 mm, 2B - pianka 8,5 mm.





Rys. 4. Wyniki grawerowania laserowego – materiały drewniane; 3A - płyta HDF, 3B – sklejka.

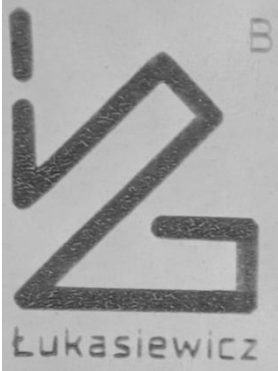

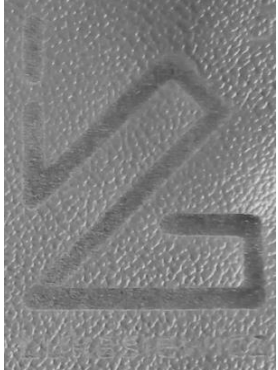

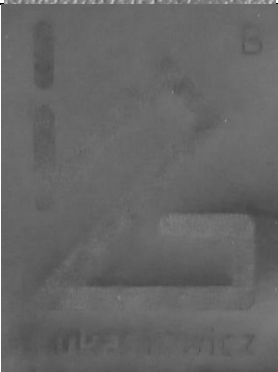

Poddając subiektywnej ocenie wygląd otrzymanych próbek należy zwrócić uwagę na: powstałe przypalenia, wypalone otwory w materiale, zabrudzenia możliwe do usunięcia oraz trwałe, których nie będzie możliwości usunięcia. Poza tymi wybranymi cechami wyrobu pozostaje jedynie ocena jego estetyki, ale to już zależy od oczekiwań i wymagań użytkownika czy klienta. Wśród przebadanych materiałów jedynie w przypadku materiałów sztucznych (materiał 2A) miało miejsce powstanie otworów – wariant H. Wpływ na to miała mała grubość materiału, mała jego twardość oraz zły dobór parametrów grawerowania (głównie mała prędkość posuwu wiązki lasera). W przypadku materiałów skórzanych, widoczne są zabrudzenia powstałe po operacji grawerowania, jednak są one możliwe do usunięcia w stosunkowo łatwy sposób bez potrzeby stosowania specjalnych środków. Po grawerowaniu materiałów drewnianych nie zaobserwowano na ich powierzchni żadnych wad powstałych w wyniku ich obróbki. Grawery są czytelne, wolne od większych zabrudzeń, nie mówiąc o powstaniu jakichkolwiek otworów na powierzchni materiałów.

Drugim etapem analizy otrzymanych wyników była ocena wykonanych log z wykorzystaniem programu graficznego (konwersja ich zdjęć do skali szarości (Tab. 5-7). Dla materiałów skórzanych w zależności od zastosowanych parametrów były

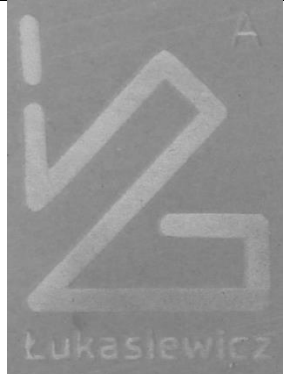
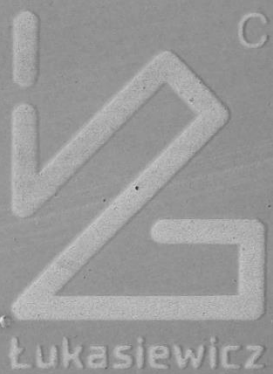
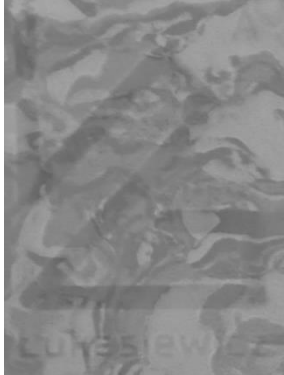

stosunkowo niewielkie różnice w kontraście pomiędzy wygrawerowanym logiem a oryginalnym materiałem. Co ciekawe różnica w parametrach dla wytypowanych dla materiału 1A wariantów B i C nie jest duża, a jednak odbija się ona na wyglądzie wyników. W przypadku materiałów oznaczonych jako 1B oraz 1C różnica pomiędzy wariantem najlepszym oraz najgorszym opiera się na zmniejszeniu prędkości posuwu wiązki lasera – o 200 mm/s, przy zachowaniu tej samej mocy.

Dla materiału oznaczonego jako 2A reprezentującego grupę materiałów sztucznych wyznaczenie najlepszych parametrów do grawerowania za pomocą zdjęć logo w skali szarości nie było łatwe. Spowodowane to było tym, że niemalże wszystkie wyniki były do siebie zbliżone. Niestety w negatywnym znaczeniu – różnica w kontraście między logo a materiałem była niewielka. Jednak wariant C (prędkość 500 mm/s oraz moc 10%) okazał się najlepszy – ładnie podkreślony jest kształt logo przez jego ostrość i ładnie wygładzone linie. Z kolei w drugim materiale sztucznym (2B), wpływ parametrów grawerowania na ostateczny wygląd log jest wyraźnie widoczny – od skrajnych wartości dla wariantu A aż do wariantu H (co widać jednoznacznie choćby na zdjęciach rzeczywistych – Rys. 3). Najbardziej optymalnym wariantem dla tego materiału okazał się wariant G, który od wariantu H (w którym parametry grawerowania są błędnie dobrane) różni się jedynie mocą wiązki lasera – jest ona niższa o 15%. W przypadku materiałów drewnianych zarówno dla płyty HDF, jak i sklejki warianty optymalne są takie same – wariant D. Mimo, że podobnie jak w przypadku materiału 1B, nie dostrzeżono wyraźnych zmian w kontraście między poszczególnymi wariantami, nawet ten stosunkowo najslabszy nie jest na tyle zły aby te parametry odrzucić i uznać jako błędne i źle dobrane.

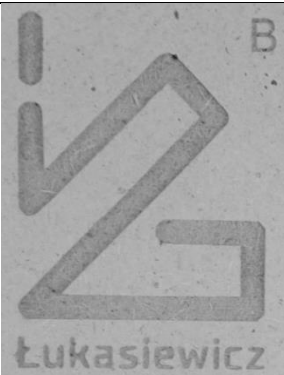
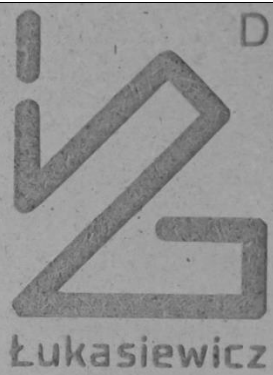
Tab. 5. Wyniki analizy z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego - materiały skórzane.

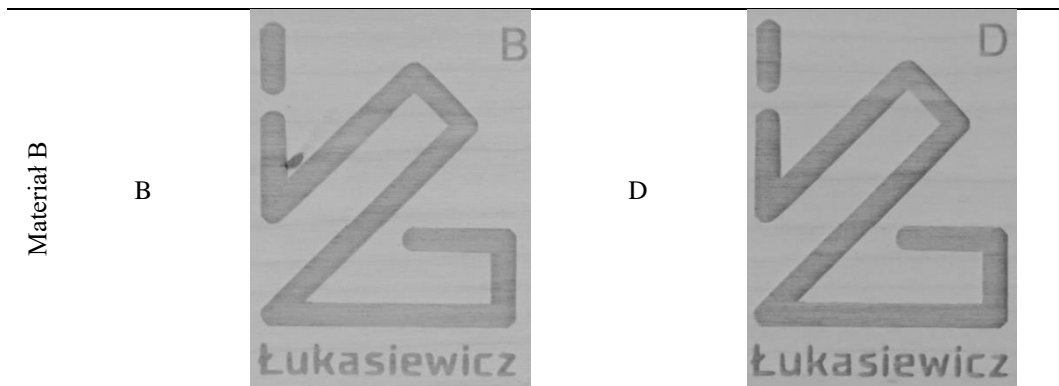
	Wariant	Logo – najgorsze parametry	Wariant	Logo – najlepsze parametry
Material A	B		C	
Material B	D		H	
Material C	B		F	

Tab. 6. Wyniki analizy z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego - materiały sztuczne.

	Wariant	Logo – najgorsze parametry	Wariant	Logo – najlepsze parametry
Materiał A	A		C	
	A		G	

Tab. 7. Wyniki analizy z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego - materiały drewniane.

	Wariant	Logo – najgorsze parametry	Wariant	Logo – najlepsze parametry
Materiał A	B		D	



Analizując wyniki badań, można stwierdzić, że duży wpływ na efekty grawerowania laserowego ma prędkość posuwu wiązki. Im większa prędkość, tym krótszy czas kontaktu wiązki z materiałem obrabianym i mniejszy czas jego penetracji. Dla niektórych materiałów (tych o niskiej twardości), dobór właściwej prędkości może okazać się kluczowy, aby wykonywane wzory prezentowały się zgodnie z wymaganiami odbiorcy, czy klienta, a materiał nie ulegał zniszczeniu np. przypaleniu, czy wypaleniu otworów. Moc wiązki lasera należy dobierać zgodnie z twardością materiału – im większa twardość, tym można stosować większe wartości mocy. Widać to wyraźnie w przypadku materiałów drewnianych, gdzie wartości mocy były 2 lub nawet 3 krotnie wyższe niż dla materiałów miękkich – tworzyw sztucznych.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu parametrów grawerowania laserowego (prędkość i moc wiązki lasera) różnych materiałów – skór, tworzyw sztucznych oraz materiałów drewnianych na wygląd estetyczny grawerowanych wzorów. Materiały te poddano dwuetapowej analizie: 1) subiektywna ocena wyglądu grawerów oraz 2) ocena grawerów z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego (ocena ciągłości linii, czy wypełnienia wzoru). Miały one na celu wybór optymalnych parametrów dla każdego z rodzajów

przebadanych materiałów. Jeśli w przypadku 1 etapu, ocena często może być różna w zależności od indywidualnych upodobań i preferencji, tak przy etapie 2, ocena jest poddana pewnym warunkom i jej wyniki będą jasne i czytelne dla użytkownika. W Tab. 8 zaprezentowano optymalne parametry grawerowania laserowego dla każdego przebadanego materiału. Wśród badanych materiałów, tworzywa sztuczne okazały się najbardziej czułe na zmiany parametrów, a materiały drewniane najbardziej „odporne” na te same zmiany. Wynika to w głównej mierze z twardości, jaką charakteryzują się poszczególne materiały. Podczas doboru parametrów do grawerowania laserowego oba parametry – zarówno moc wiązki, jak i prędkość jej posuwu – są istotne i koniecznie należy je właściwie dobrać oraz ustalić. Każdy z materiałów, nawet jeśli należy do tej samej „grupy” materiałów, może inaczej reagować na konkretny parametr, dlatego ważne jest za każdym razem przeprowadzenie testów na nowym materiale i sprawdzenie poprawności dobranych parametrów grawerowania. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie wyrobu o satysfakcjonującym wyglądzie. Po przeprowadzonej ocenie wizualnej wykonanych grawerów, można wytypować wstępnie odpowiednie parametry (prędkość i moc wiązki lasera) dla danego materiału. Jednak dodatkowa analiza (którą zaproponowano w pracy) może doprowadzić do ostatecznego określenia najlepszych parametrów grawerowania i stosowania ich, jako podstawowe do wykonywania różnego rodzaju wzorów i zastosowań.

Tab. 8. Zestawienie najkorzystniejszych parametrów grawerowania laserowego dla badanych materiałów.

Materiał	Wariant	Prędkość [mm/s]	Moc [%]
1A	C	600	15
1B	H	400	15
1C	F	500	25
2A	C	500	10
2B	G	100	10
3A	D	750	45
3B	D	750	45

Literatura

- [1] Sinar R.: *Introduction to Industrial Laser Materials Processing*, ROFIN Group, Germany, 2000.
- [2] Callister J. W., Rethwisch D.G.: *Material science and engineering an introduction*, Wiley, United States of America, 2009.
- [3] Asibu E. K.: *Principles of laser materials processing vol. 4*, A John Wiley & Sons, Canada, 2009.
- [4] Maini A. K.: *Lasers and Optoelectronics: Fundamentals, Devices and Applications*. John Wiley& Sons, United Kingdom, 2013.
- [5] Ready J. F.: *Industrial Applications of Lasers*, Academic Press, USA, 1997.
- [6] Patel C., Patel A., Patel R.: *A Review on Laser Engraving Process for Different Materials*, International Journal for Scientific Research & Development **5**, 2017, str. 147-150.
- [7] Wakabayashi K., Sugishima N.: *CO₂ Laser Engraving System for Relief Plate to Print Corrugated Cardboard*, Journal of Laser Applications **26**, Vol. 1, 1989, str. 26-30.
- [8] Sarzyński A., Chmielewska D., Marczak J., Olszyna A., Strzelec M., Szamałek K.: *Aktywacja pigmentów ceramicznych za pomocą promieniowania laserowego*, Prace Instytutu Elektroniki **256**, 2012, str. 237-249.
- [9] Tepecik A.: *Grafik Sanatlar*, Detay Yayınları, Turkey, 2002.