

WYKORZYSTANIE URZĄDZEŃ LASEROWYCH W LOGISTYCE

W artykule omówione zostały wybrane rodzaje urządzeń laserowych oraz ich wykorzystanie w logistyce. Ze względu na szeroką gamę produktów, zostały przedstawione jedynie urządzenia laserowe o najpopularniejszym zastosowaniu w przemyśle oraz innowacyjne, stanowiące wsparcie podczas procesów logistycznych w centrach logistycznych. Analizując zastosowanie urządzeń laserowych, szczególną uwagę zwrócono na obszary zastosowań, jakimi są produkcja oraz procesy w centrum logistycznym.

WSTĘP

Lasery mają stosunkowo krótką historię liczącą zaledwie ponad pół wieku. Fizyka atomowa stanowi podstawę naukową dla techniki laserowej, a ściślej mówiąc prace: Duńczyka Nielsa F. Bohra pt. *Teoria budowy atomu wodoru*, opracowana w 1913 r., oraz Niemca Alberta Einsteina – *Wprowadzenie pojęcia emisji wymuszonej*, w 1916 r. zapoczątkowały rozwój tej techniki. Pół wieku później, w latach 1953 - 1954, amerykańscy uczeni z Uniwersytetu Columbia, Ch. H. Townes i J. Weber oraz radzieccy radzieccy Instytutu Fizyki Akademii Nauk im. Lebidiewa – N.G. Basow i A.M. Prochorow, zastosowali emisję wymuszoną do wzmacniania mikrofal, za co ewidentnie w 1964 r. uzyskali Nagrodę Nobla. Dalsze badania Townsa z J.Gorgonem i H. Zeigerem doprowadziły do budowy pierwszego na świecie wzmacniacza fal zakresu mikrofalowego o długości fali $\lambda = \text{ok. } 12,7 \text{ mm}$, wykorzystując amoniak jako ośrodek czynny. Wynalezione urządzenie nazwano maserem – od akronimu angielskiego określenia: *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiator* – wzmacnianie mikrofal za pomocą wymuszonej emisji promieniowania.

Zbudowanie pierwszego lasera rubinowego w 1960 roku przez amerykańskiego fizyka Theodore Maiman'a i współpracowników zapoczątkowało dynamiczny rozwój laserów i technologii z nimi związanej. Początkowo urządzenie nazwano maserem optycznym, a później – laserem, z angielskiego akronimu *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiator* – wzmocnienie promieniowania świetlnego przez wymuszoną emisję promieniowania. Generował on promieniowanie widzialne w czerwonej barwie o długości fali $\lambda = 0,694 \mu\text{m}$. W Polsce po raz pierwszy uruchomiono laser w 1963 r. w Wojskowej Akademii Technicznej, na Wydziale Elektrotechnicznym, w Katedrze Podstaw Radiotechniki kierowanej przez mjr. dr. inż. Zbigniewa Puzewicza. W laboratorium WAT powstał laser He-Ne generujący promieniowanie o długości fali λ równej $1,15 \mu\text{m}$. Nieco wcześniej został uruchomiony maser współpracujący z Katedrą Urządzeń Mikrofalowych kierowaną przez mjr. mgr. inż. Kazimierza Dzieciołowskiego. W Katedrze Podstaw Radiotechniki w latach 1964-1966 uruchomiono kolejne lasery oraz opracowano wiele urządzeń laserowych [1, s.292-294].

Mnogość urządzeń laserowych oraz sposobów wytwarzania promieniowania laserowego sprawia, że lasery są urządzeniami bardzo zróżnicowanymi, a ich wspólną cechą są jedynie pewne parametry emitowanego promieniowania. Obecnie na rynku istnieje dużo firm specjalizujących się w produkcji laserów i urządzeń laserowych, które mają przemysłowe zastosowanie w procesach cięcia, obróbki powierzchni, spawania, znakowania, itp. Do najbardziej

znanych producentów należą: Trumpf GmbH, IPG Photonics, Rofin z autoryzowanym polskim serwisem RadoTech, SPI Lasers, RMI Laser.

W okresie ostatniego półwiecza powstały różnorodne konstrukcje laserów, m.in.: lasery stałe impulsowe i o działaniu ciągłym, lasery stechiometryczne, lasery gazowe atomowe, gazowe jonowe, półprzewodnikowe, molekularne, cieczowe, barwnikowe, chemiczne, rentgenowskie bądź lasery w zakresie promieniowania gamma. W związku z tym zaobserwowano dynamiczny rozwój technologii laserowych w różnych dziedzinach, np. telekomunikacji, medycynie, mechanice, inżynierii materiałowej, optoelektronice. Z kolei rozwój ten niesie ze sobą zapotrzebowanie na wyspecjalizowaną kadrę, która posiada wiedzę i umiejętności z zakresu technik laserowych oraz rozeznanie w możliwościach praktycznego zastosowania urządzeń laserowych w danych dziedzinach.

1. ZASADA DZIAŁANIA LASERA I RODZAJE WYKONYWANYCH POMIARÓW

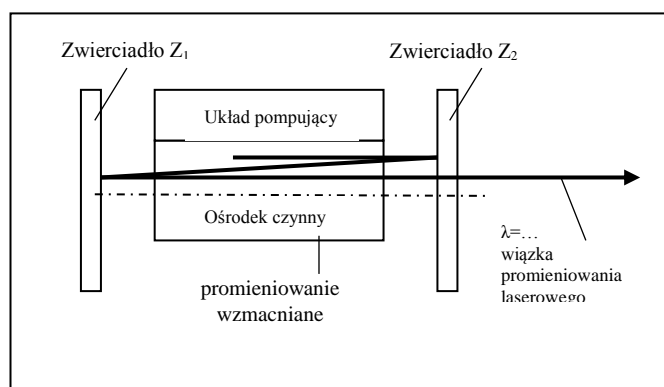
Obecnie termin laser oznacza urządzenie generujące widzialne lub niewidzialne światło na podstawie emisji wymuszonej [5, s.376]. Służy zarówno do generacji, jak i wzmacniania promieniowania elektromagnetycznego. Światło laserowe posiada unikalne właściwości:

- emitowane jest pod postacią wiązki laserowej, która może rozprzestrzeniać się na duże odległości i koncentrować na powierzchni jako bardzo mała plamka,
- może mieć wąską szerokość pasma, podczas gdy np. większość lamp emituje światło o bardzo szerokim spektrum,
- może być emitowane w sposób ciągły lub w postaci krótkich i ultrakrótkich impulsów o czasie trwania od mikrosekund do kilku femtosekund.

Źródła światła można podzielić na laserowe i naturalne. W niektórych przypadkach określenie źródła laserowego jest używane do urządzeń emitujących światło wzmacniane bez wejścia. Przykładem są lasery rentgenowskie, które posiadają źródła oparte na emisji spontanicznej pojedynczego przejścia wzmocnienia. Nie stosuje się w nich rezonatora optycznego ze względu na krótki czas trwania impulsu. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku optycznych generatorów parametrycznych, gdzie wzmocnienie nie odbywa się na podstawie emisji wymuszonej. Światło z tych urządzeń może mieć właściwości podobne do właściwości wiązki laserowej (takie jak silnie ukierunkowana emisja oraz ograniczona optyczna przepustowość) [5, s.378]. Z kolei naturalne źródła emitują promieniowanie spontanicznie. Można je rozpatrywać jako nałożenie pół pochodzą-

cych od elementarnych źródeł, czyli atomów, które emitują przypadkowo z przypadkowymi fazami. Takie pole promieniowania może opisywać rozkład gaussowski o najbardziej prawdopodobnej wartości chwilowej natężenia równej zeru. W przypadku światła laserowego natężenie jest stałe i mimo fluktuacji fazy, amplituda fal pozostaje też stała, oscylując wokół pewnej wartości różnej od zera [7, s.35].

Laser składa się z ośrodka czynnego, umieszczonego w rezonatorze optycznym wraz z dwoma równoległymi zwierciadłami rozstawionych w danej odległości oraz układu pompującego, które dostarcza energię potrzebną do wzbudzenia ośrodka czynnego i niezbędną w celu stworzenia koniecznych warunków do wzmocnienia przez ośrodek czynny światła przechodzącego przez niego. Zwierciadła mogą być sferyczne lub płaskie. Jedno z nich jest prawie całkowicie odbijające, a współczynnik odbicia drugiego jest mniejszy od pierwszego i stanowi zwierciadło wyjściowe, przez które promieniowanie opuszcza wnękę rezonansową.



Rys.1. Uproszczona budowa lasera [2]

Ośrodek czynny ma za zadanie wyemitować światło za pomocą wymuszonego przejścia, które zachodzi między dwoma energetycznymi stanami. Z kolei układ pompujący musi doprowadzić ośrodek czynny do wyższego stanu energetycznego, aby mógł wzmocnić światło. W tym stanie energetycznym gęstość wzbudzonych centrów luminescencyjnych (cząsteczek, atomów, jonów, itd.) musi być większa niż gęstość centrów w stanie niższym. Jest to tak zwana inwersja obsadzeń. Wraz z chwilą rozpoczęcia pompowania w ośrodku czynnym pojawia się izotropowa emisja spontaniczna, której natężenie rośnie równocześnie ze wzrostem mocy pompowania, a przy wystarczająco silnym pompowaniu, w czasie inwersji obsadzeń, ulega wzmocnieniu - zapoczątkowując akcję laserową. Natężenie takiego wzmocnionego promieniowania zależy od długości drogi, na której występuje oddziaływanie fotonów ze wzbudzonymi atomami i będzie większe wzdłuż osi optycznej ośrodka czynnego niż w innych kierunkach. Takie promieniowanie jest zwane wzmocnioną emisją spontaniczną (ang. ASE – *Amplified Spontaneous Emission*) [5, s.11]. Promieniowanie ASE odbija się od zwierciadła i wraca do ośrodka czynnego. Jedynie część promieni, biegnąca pod małymi kątami do osi optycznej, ulega dalszemu wzmocnieniu. Pozostałe promienie, nie odbite od zwierciadła, zostają usunięte z obszaru wnęki przez boczne ścianki (rys.1). Jest to tzw. kolimacja wiązki. Drugie zwierciadło, częściowo przepuszczające promieniowanie, jest umieszczone po przeciwnej stronie ośrodka czynnego. Powoduje ono zawrócenie części promieniowania do ośrodka wzmocniającego, które ulega dalszej kolimacji – zostanie zrealizowane sprzężenie zwrotne. Część promieniowania ASE opuści rezonator optyczny przez wyjściowe zwierciadło i będzie stanowić wiązkę promieniowania laserowego. Jednak żeby otrzymać akcję laserową, muszą być spełnione podane warunki:

- wzmocnienie światła będzie przewyższało straty, na które składa się między innymi transmisja promieniowania laserowego przez zwierciadła (spełnienie warunku progowego – straty są równe wzmocnieniu),
- musi być wytworzona inwersja obsadzeń w ośrodku czynnym.

Okazuje się, że można pominąć ten ostatni warunek przy konstrukcji lasera (jest to możliwe w układach stanów energetycznych typu Λ) [7, s.12-19].

Zastosowanie urządzeń laserowych obejmuje wiele dziedzin życia i techniki. W tabeli 1 przedstawiono niektóre rodzaje laserów wraz z najważniejszymi parametrami z uwzględnieniem ich wykorzystania (obejmując także obszar logistyki).

Tab. 1. Parametry wybranych laserów i ich zastosowanie [2]

Lasery	Długość fali [nm lub μm]	Moc [M], Energia [E]	Zastosowanie
Gazowe:			
He-Ne atomowy	632,8	M: 0,1÷100 mW	Budowa przyrządów badawczych i pomiarowych, wytyczanie kierunków (teodolit), anemometria, biostymulacja, holografia
Ar jonowy na szlachetnych gazach	488,0 514,5	M: 10 W M: 20 W E < 100 mJ	Medycyna, okulistyka – koagulacja siatkówki, rozrywka
Kr jonowy na szlachetnych gazach	647,1 676,4	M < 1 W	Barwne pokazy
He-Cu jonowy na parach metali	510,6 578,2	M: 5÷70 W	Spektroskopia, obróbka materiałów
CO ₂ molekularny	22	M: wiele kW E < 10 kJ	Obróbka materiałów w maszynowym przemyśle, medycyna
Ekscymerowe:			
ArF	193	M: 1÷100 W E: 0,1÷10 J	Fotolitografia, medycyna, obróbka materiałów, przemysł chemiczny
KrF	248		
XeCl	308		
Na ciele stałym:			
Rubinowy Cr ³⁺ , Al ₂ O ₃	694,3	M: 1 W E < 100J	Pierwszy wybudowany laser
Nd:YAG Nd ³⁺ :Y ₃ Al ₅ O ₁₂	1,064 μm	M: 0,1÷6 kW E: 1÷100 J	Obróbka materiałów, medycyna, wojskowe zastosowania
Erbowy Er ³⁺ :Y ₃ Al ₅ O ₁₂	2,940 μm	M < 50 W E: 0,1÷8 J	Medycyna, bezpieczny dla oczu
Włóknowe:			
Erbowy	1,550 μm (0,1 nm)	M: 1 W E: 100 mJ	Telekomunikacja
Neodymowy	1,06 μm	M < 2kW	Obróbka materiałów, medycyna, zastosowania wojskowe
Półprzewodnikowe:			
GaAs GaAlAs	1,3 μm , 1,55 μm (4 nm)	M < 100 mW	Telekomunikacja, pompowanie lasera neodymowego, odtwarzacze CD

2. TYPOWE ZASTOSOWANIA LASERÓW

Technologie laserowe znalazły bardzo szybko zastosowania w wielu dziedzinach: medycynie, geodezji, technice wojskowej, astronomii, itp. Przykładowo w medycynie pierwszą dyscypliną, jaką znalazły zastosowanie lasery, była okulistyka [2, s.199-201]. W laserowych koagulatorach stosowane są różne typy laserów:

- ekscymerowe,
- kryptonowe,
- argonowe,
- na kryształach granatu itrowo-aluminiowego z domieszką neodymu Nd:YAG,

- na dwutlenku węgla CO₂,
- helowo-neonowe He-Ne.



Rys. 2. Wykorzystanie wiązki laserowej w urządzeniach geodezyjnych (np. w teodolicie) [17]

W geodezji i kartografii laser został wykorzystany w pomiarach geodezyjnych w postaci teodolitów i niwelatorów laserowych, pionowników czy wskaźników kierunku (rys. 2). Większość urządzeń geodezyjnych bazuje na wykorzystaniu helowo-neonowych laserów gazowych w konstrukcji.



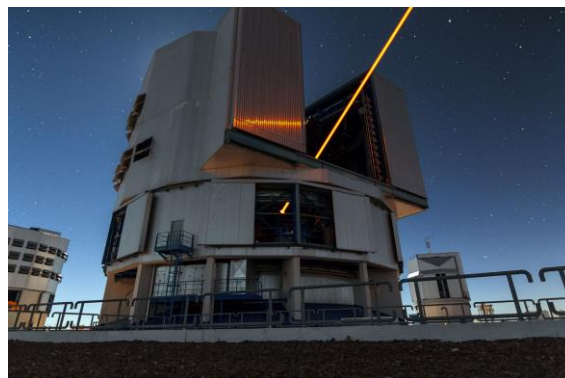
Rys. 3. Przyrząd dalmierzco-rozpoznawczy do zastosowań artyleryjskich Goniolight G-TI (APDR) [18]

Stymulatorem rozwoju laserów są potrzeby w technologii wojskowej - głównie znalazły one zastosowania jako dalmierze [4], mierzące czas potrzebny bardzo krótkiemu impulsowi laserowemu do przebycia drogi od urządzenia do obiektu i z powrotem (rys. 3). Przede wszystkim wykorzystywane są lasery neodymowe ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$) i na dwutlenku węgla CO₂ oraz ramanowskie z komórką meta-nową ($\lambda = 1,54 \mu\text{m}$) [2, s.181].

Wiązka laserowa ma bardzo ważną funkcję m.in. w powstawaniu kolorowych reklam, gdzie pozwala wyświetlić napisy, obrazy, loga, odtworzyć animacje i przestrzenne obiekty. W tym przypadku stosuje się najczęściej półprzewodnikowe lasery YAG o $\lambda = 532 \text{ nm}$ (światło zielone). Natomiast w pierwszej grupie stosowane są półprzewodnikowe diody laserowe, emitujące falę świetlną w kolorze czerwonym o $\lambda = 635 \text{ nm}$ [8].

Obecność laserów zauważyć można w łączności, gdzie przekaz informacji odbywa się za pomocą fotonów, które są emitowane przez laser. Do niedawna nośnikiem informacji w sieciach informacyjnych były elektrony. Zbudowano w pełni funkcjonalne sieci telekomunikacyjne oraz laserowe i światłowodowe kanały, których bez wątplenia zaletą jest wielka pojemność informacyjna, czyniąc je bezkonkurencyjne w stosunku do dotychczasowych. Jednak nie

należy sprowadzać łączności światłowodowej do obrazu światłowodów. Przyjmuje ona postać telefonów laserowych, które za pośrednictwem wiązki laserowej nakierowanej na odbiorcę umożliwiają komunikację na kilka kilometrów. W telekomunikacji zazwyczaj stosuje się lasery niskiej mocy z rdzeniem domieszkowanym jonami prazeodymu lub erbu i o średnicy kilku μm , generującymi promieniowanie w bliskiej podczerwieni o długości fali $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$, oraz lasery średniej mocy (do 1 kW) z rdzeniem domieszkowanym iterbem Y ($\lambda = 1,03 \mu\text{m}$) bądź neodymem Ne ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$), o średnicy rdzenia kilkudziesięciu μm [2, s.31-32].



Rys. 4. Kopała teleskopu w obserwatorium Paranal w Chile i wiązka lasera do tworzenia na niebie sztucznej gwiazdy porównania [20]

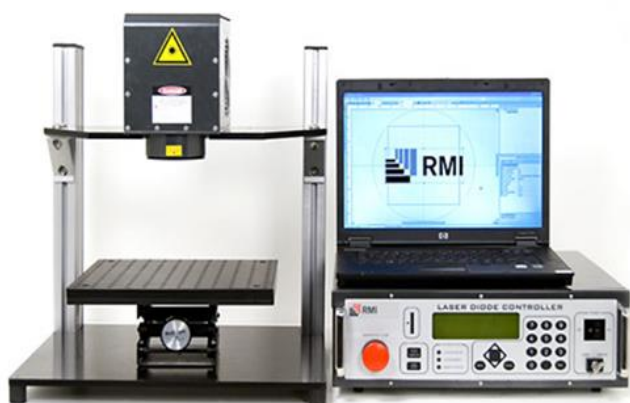
Zapewne najciekawsze zastosowanie znajduje wiązka laserowa w badaniu kosmosu [8]. Jednobarwność, mała rozbieżność, duża intensywność promieniowania przenoszona na duże odległości wąskim strumieniem to cechy wiązki laserowej, które w połączeniu z optycznymi warunkami panującymi w kosmosie, predestynują laser do telekomunikacyjnych zastosowań poza ziemią. Przykładowo obecnie zdobywa się informacje niezbędne do określenia prognozy meteorologicznej, ocenia się ruchy skorupy ziemskiej czy też tworzy się laserowe gwiazdy porównania, które są niezbędne do lepszego korygowania obserwacji pod względem zaburzeń pochodzących od atmosfery ziemskiej. Taka technika, zwana optyką adaptatywną [20], polega obserwacji astronomicznego obiektu i jednoczesnej analizie blasku innej, znajdującej się blisko tego obiektu gwiazdy. Dzięki czemu uzyskuje się informacje o zaburzeniach w atmosferze i możliwe jest dostarczenie skorygowanych obrazów za pomocą sensorów i deformowalnego zwierciadła w teleskopie m.in. w teleskopie UT4 w Paranal (rys. 4).

3. PRZEMYSŁOWE URZĄDZENIA LASEROWE

Najpopularniejszą dziedziną, w której znalazły zastosowanie urządzenia laserowe, bez wątpienia jest przemysł. Bardzo szybki jego rozwój stał się przyczyną do poszukiwania coraz to nowych urządzeń i technologii, począwszy od makroobróbki, kończąc na mikroobróbce i systemach ablacji laserowej, które obecnie bazują na laserach o impulsach od nano- do femtosekundowych. Lasery są wykorzystywane w poligrafii, znakowaniu produktów poprzez grawerowanie laserowe, a w technologii obróbki materiałów są niezastąpione do wykonywania precyzyjnych cięć, a także spawania, pozwalając na wytwarzanie bardzo małych elementów. Cięcie metali, tworzyw sztucznych, papieru, także tkanin, grawerowanie laserem napisów na bardzo twardych powierzchniach czy spawanie metali to funkcje, które znalazły stałe zastosowanie w wielu przedsiębiorstwach i fabrykach. Rozwój technik i technologii laserowych wywiera znaczny wpływ na rozwój technologiczny danych przedsiębiorstw i może stać się decydującym czynnikiem istnienia każdej z nich oraz ich pozycji na rynku krajowym i światowym. Zasadność wprowadza-

nia technologii laserowych do przedsiębiorstw należałoby spostrzeżać w dużym aspekcie wpływu tych urządzeń na sukces przedsiębiorstwa na istniejącym rynku oraz jego związku z nowymi innowacjami, dużą konkurencyjnością firm, związkiem ze strategią bądź międzynarodowym aspektem funkcjonowania firmy. Przedsiębiorstwa często stoją przed wyborem właściwych urządzeń laserowych, które są odpowiednio przystosowane do ich potrzeb. Przede wszystkim analizowany jest koszt zakupu, który, co prawda, nie jest niską kwotą. Za zakupem danego urządzenia laserowego stosunkowo przemawia poprawa wydajności i szybkości produkcji lub usługi, precyzyjne wykonanie przedmiotu poddanego obróbce laserowej, lepsza jakość wykonania oraz praktycznie brak materiału odpadowego w trakcie procesu obróbki.

W inżynierii powierzchni wykorzystanie promieniowania laserowego uzależnione jest od bardzo wielu czynników. Przede wszystkim należy wziąć pod uwagę różne właściwości materiałów oraz różne właściwości wiązki laserowej, pozwalające zastosować obróbkę laserową, co jest określane angielskim skrótem LBM - *Laser Beam Machining* [1]. Obecnie można wyróżnić wiele rodzajów technologii laserowych, takich jak spawanie, cięcie, napawanie, stopowanie, lutowanie oraz mikroobróbkę laserową, do której należy mikrodrążenie, mikronapawanie, mikrospawanie, grawerowanie, ablacyjne oczyszczanie i teksturowanie powierzchni oraz związanych z nimi urządzeń laserowych.



Rys. 5. Znakowarka laserowa RMI model U-10 [10]

Stosowane na szeroką skalę nacinanie dekoracyjne na różnego typu materiałach (metale, drewno, tworzywa sztuczne i ceramiczne, szkło, itp.) uzyskuje się poprzez użycie zogniskowanej laserowej wiązki lasera CO₂ o ciągłej pracy, lasera YAG, YVO₄ lub lasera fibrowego. Daje możliwość uzyskania rezultatów trudnych do osiągnięcia tradycyjnymi metodami, dotyczy to zwłaszcza grafik charakteryzujących się dużą szczegółowością. Obróbka laserowa jest również o wiele szybsza i bardziej precyzyjna. Wygrawerowany napis jest czytelny i nieścieralny. Urządzenia laserowe sterowane są komputerowo, dzięki czemu nie ma konieczności wykonywania drogich, jednorazowych matryc. Przykładowym urządzeniem laserowym jest znakowarka laserowa RMI z serii U (rys. 5), wyposażona w laser diodowy (półprzewodnikowy) Nd:YVO₄, o mocy wiązki laserowej do 20 W i długości fali $\lambda = 1064 \text{ nm}$ [10]. Doskonale sprawdza się w różnych dziedzinach, tak jak w przemyśle, gdzie można wykonać napis bądź wzór na metalowych tabliczkach znamionowych czy informacyjnych, w jubilerstwie głębokie i precyzyjne grawerowanie pozwala wykonać znacznik w metalu, czyli powszechnie znaną próbę jubilerską.

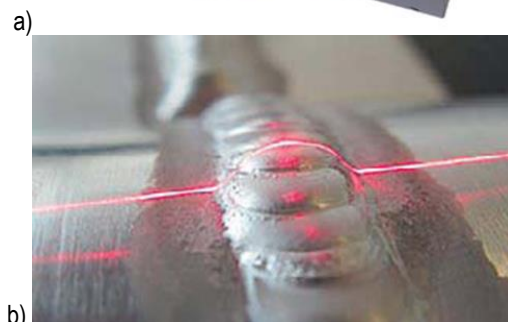
Największym producentem laserów i sprzętu przemysłowego jest firma Trumpf Inc. Automaty np. z serii TruFiber [11] charakteryzują się szerokim zastosowaniem w procesach obróbki: spawanie,

cięcie oraz zgrzewanie laserowe (rys. 6). Wysoka jakość wiązki włóknowego lasera ($\lambda = 1070 \pm 10 \text{ nm}$) zapewnia dużą gęstość mocy skupioną na detalu i pozwala uzyskać duże prędkości obróbki, a dowolne kształty impulsów i częstotliwość modulacji do 50 kHz umożliwia elastyczną obsługę lasera i dokładne wykonanie spoiny oraz precyzyjne cięcie metali. Takiej obróbce w szczególności powinny poddawane być małe elementy i części.



Rys. 6. Spawarka laserowa TruFiber 400 [11]

Do cięcia materiałów zazwyczaj stosuje się lasery CO₂ i Nd:YAG o ciągłym lub impulsowym działaniu. Stosowanie laserów o różnych poziomach mocy promieniowania jest uzależnione od grubości i rodzaju obrabianego materiału oraz od prędkości wymaganej w obróbce. Procesom cięcia laserowego poddaje się takie materiały jak tkaniny, ceramika, guma, azbest, metale, szkło. Znalazło ono zastosowanie głównie w przemyśle stoczniowym, lotniczym i samochodowym. Dzięki promieniowaniu laserowemu możliwe jest cięcie tkanin i blach, mas plastycznych, szwów na odlewach, oddziela się nieobrobione diamenty, wykonuje profilowane drewniane wykroje, itp.



Rys. 7. a) Skaner laserowy ScanControl firmy Micro Epsilon, b) pomiar położenia połączenia spawalniczego skanerem laserowym Scan Control [12]

Często zastosowanie w zrobotyzowanych systemach spawania znajdują skanery laserowe, gdzie jest konieczny bezkontaktowy pomiar położenia połączenia spawalniczego oraz do kontroli jakości spoiny po spawaniu (rys. 7). Zasada działania takiego urządzenia

opiera się o triangulację laserową [2, s.172-173]. Czujnik generuje skolimowaną wiązkę lasera He-Ne (lub półprzewodnikowego) na badanym detalu ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$ lub $1,15 \mu\text{m}$), od której przez odpowiednią optykę odbite światło trafia na matrycę CCD skanera. Na podstawie zarejestrowanego obrazu wbudowany wewnątrz czujnika kontroler dokonuje obliczeń współrzędnych (x, z) punktów badanego profilu. Dzięki temu istnieje możliwość określenia położenia połączenia spawalniczego, szerokość i/lub wysokość spoiny.

Urządzenia laserowe odnajdują zastosowanie w pomiarach prędkości. Najbardziej znane są anemometry, służące do bezdotykowego pomiaru prędkości poruszających się cząsteczek rozpraszających światło (gaz lub ciecz). W budowie anemometru zazwyczaj stosuje się laser Nd:YAG emitujący promieniowanie o długości fali $\lambda = 532 \text{ nm}$. Prędkość można wyznaczyć na dwa sposoby: w oparciu na Dopplerowskim prawie przesunięcia częstości oraz na zjawisku interferencji, dając takie same końcowe rezultaty. Promieniowanie laserowe, częściowo odbite od zwierciadła, jest rozpraszane na molekułach przepływającej cieczy lub gazu. W detektorze zachodzi zjawisko interferencji pomiędzy dwiema falami świetlnymi o różnych częstościach, które są zmodulowane przez dopplerowskie przesunięcie częstości. Znając kierunki wiązki padającej i rozproszonej promieniowania oraz przesunięcie częstości można znaleźć wartość prędkości rozpraszających cząstek. Drugi sposób polega na zjawisku interferencji wiązek świetlnych, które w badanym obszarze tworzą układ białych i czarnych prążków oddalonych od siebie w równej odległości. Małe poruszające się cząstki, każdorazowo przechodząc przez jasny prążek, rozpraszają światło, wskutek czego można zaobserwować rozbłyski z częstością proporcjonalną do prędkości i odwrotnie proporcjonalną do odległości między prążkami [6].

Technikę laserową wykorzystuje się powszechnie w zabezpieczaniu przedmiotów wartościowych, banknotów, certyfikatów, świadectw i innych dokumentów.

Obecnie coraz częściej stosuje się lasery światłowodowe, charakteryzujące się dużą mocą wyjściową, doskonałą jakością wiązki i kompaktową budową. Urządzenia tej nowej generacji znajdują wykorzystanie do szerokiego spektrum aplikacji przemysłowych, jak: makro- i mikroobróbka materiałów, cięcie, zgrzewanie, spawanie, lutowanie oraz grawerowanie. Do zalet tego typu laserów z pewnością należy emisja promieniowania z roboczego światłowodu o długości dostosowanej do potrzeb użytkownika, co ułatwia integrację źródła promieniowania laserowego z obrabiarką, wycinarką laserową lub automatem przemysłowym oraz możliwość pracy w skanerach laserowych do obróbki materiałów, dając podstawę do przyszłościowego rozwoju technologii obróbki i inżynierii materiałowej.



Rys. 8. Zabezpieczenie karty kredytowej hologramem [8]

Najbardziej efektywne są hologramy [8], które spotykane są w różnej postaci: płaskiej na banknotach, kartach kredytowych (rys. 8), identyfikatorach, czy też przestrzennej - jako trójwymiarowe obiekty. Te ostatnie powstają przy użyciu wiązki laserowej, z której jedna część jest skierowana na przedmiot, a druga - na kliszę foto-

graficzną za pomocą zwierciadła lub pryzmatu. Na kliszy zaobserwować można wtedy zjawisko fizyczne nakładania się fal - interferencji - pod postacią układu chaotycznie rozłożonych jasnych i ciemnych prążków, zwanych prążkami interferencyjnymi. Cały ten obraz pochodzi od rozpraszanego przez każde punkty przedmiotu światła.

Istnieją inne urządzenia laserowe, które są dostępne na krajowym rynku i znajdują się praktycznie w każdym domu. Drukarki laserowe są nieodzownym elementem współczesnego życia. Charakterystyczną ich cechą jest duża rozdzielczość pisma, duża wydajność oraz drukowanie tekstów z dużą szybkością z wykorzystaniem wielu różnych zbiorów znaków.

4. URZĄDZENIA LASEROWE STOSOWANE W CENTRACH LOGISTYCZNYCH

Kluczowym ogniwem w procesach łańcucha dostaw są centra logistyczne. Realizują one szeroko pojęte usługi logistyczne (związane między innymi z przyjęciem, magazynowaniem, transportem wewnętrznym, kompletacją i paletyzacją zamówień). Jednak operacje te wymagają dużych nakładów pracy, zatrudnienia pracowników, zachowania precyzyjnej obsługi ładunków, przez co koszty realizacji tych procesów rosną niewspółmiernie wraz ze zwiększaniem liczby obsługiwanych jednostek, dostawców i klientów. W celu obniżenia kosztów działalności i zwiększenia efektywności procesów, wdraża się automatyzację. Technologia high-tech jest najbardziej zaawansowaną formą automatyzacji. Posłużyć się można przykładami automatycznych układnic magazynowych i urządzeń transportu wewnętrznego w automatycznych magazynach wysokiego składowania, gdzie rolę operatorów wózków widłowych przejmują układowicze magazynowe, obsługując palety na regałach o dużej wysokości. Zapewniają szybką i bezpieczną obsługę ładunków, a lokalizacją ładunków zarządza system informatyczny, który jest obsługiwany zazwyczaj przez jedną osobę. System zarządza też kompleksowo wprowadzonymi danymi, takimi jak: terminy realizacji zleceń produkcyjnych, terminy ważności surowców i wyrobów, okresy ważności świadectw jakości, czy też terminy zamówień klienta, wpływając na skrócenie czasu kompletacji zamówienia i załadunku.

Kolejnym rozwiązaniem wspomagającym optymalizację procesów jest połączenie przenośnikami stref magazynowania, kompletacji, pakowania i ekspedycji. Pozwala to na równoczesną realizację wielu zamówień, z zachowaniem małej liczby błędów wydań. Za szybkie i bezbłędne kierowanie jednostek ładunkowych lub pojedynczych produktów do właściwych docelowych punktów odpowiadają systemy automatycznego sortowania. Dzięki nowoczesnym modułowym systemom informatycznym ściśle współpracującymi z systemami automatyki, istnieje możliwość synchronizacji fizycznego przepływu towarów z towarzyszącymi im przepływami i przetwarzaniem informacji o danym towarze oraz precyzyjnej obsługi baz danych.

Wykorzystanie urządzeń laserowych usprawnia procesy zachodzące niemal w każdym obszarze centrum logistycznego. Wdrażanie do praktyki innowacyjnych rozwiązań umożliwia wzrost wydajności procesów, zmniejszenie zużycia energii, skrócenie czasu wykonania danych czynności oraz wpływa na poprawę jakości i bezpieczeństwa pracy.

4.1. Wózki widłowe

Potrzeby rynkowe zmuszają inwestorów do zwiększania powierzchni magazynowych. Przestrzeń hali magazynu wysokiego składowania wymaga zastosowania takich rozwiązań z użyciem regałów i wózków, aby można było maksymalnie wykorzystać jego kubaturę, zachowując przy tym bezpieczeństwo podczas pracy.

Jednym z rozwiązań bez kosztownego i czasami niemożliwego rozbudowania hal jest wykorzystanie wózka do pracy w wąskich korytarzach, jakim jest systemowy wózek Yale z serii MTC (rys. 9)[13]. Wyposażony jest w wewnętrzny system kontroli i zarządzania funkcjami, który przykładowo pozwala automatycznie dobrać parametry wózka, aby zapewnić bezpieczeństwo operatora i ładunku oraz jednocześnie umożliwić największą wydajność pracy. Systemy bezpieczeństwa są oparte na laserowym skanowaniu przestrzeni przed i za wózkiem. Pozwalają na wychwycenie przeszkody w korytarzu roboczym wózka (człowiek lub przedmiot) i automatyczne wyhamowanie czy zatrzymanie wózka.



Rys. 9. Systemowy wózek widłowy Yale z serii MTC [13]

Innowacyjnym produktem jest bezzałogowy wózek widłowy LGV – ang. *Laser Guided Vehicle* sterowany laserem [14]. Wózek jest w pełni zautomatyzowany, dzięki czemu istnieje możliwość transportu wszystkich rodzajów produktów w bezpieczny sposób, nie wymagający interwencji człowieka w środowiskach produkcyjnych, logistycznych, magazynowych i dystrybucyjnych (rys. 10). Zastosowanie metody nawigacji laserem opiera się na ustaleniu współrzędnych za pomocą promieniowania wiązki laserowej, emitowanej przez skaner umiejscowiony w górnej części wózka, który skanuje otoczenie wózka od kilku do kilkunastu razy na sekundę. Emitowana przez wózek wiązka laserowa odbija się od lusterek umieszczonych w strategicznych miejscach hali magazynowej (np. kolumny lub ściany) i wraca do układu nawigacji - w ten sposób następuje zorientowanie wózka w przestrzeni roboczej. Głównymi zaletami są odporność na warunki atmosferyczne, możliwość pracy wewnątrz i na zewnątrz budynków, duża dokładność wynosząca 1 - 2 mm, brak montażu dodatkowych systemów szyn lub pętli

indukcyjnych instalowanych w podłodze oraz łatwa modyfikacja trasy.

4.2. Detekcja obiektów i identyfikacja położenia asortymentu

Szybka i dokładna kompletacja to element decydujący o wydajności logistycznej, zyskujący na znaczeniu zarówno jak w przypadku zaopatrzenia materiałowego dla produkcji własnej, jak i zaopatrzenia firmowych sklepów, klienta czy innych podmiotów gospodarczych przez centra logistyczne. Sposób organizowania dostaw, jakość i czas ich realizacji są aspektami pozostającymi nie bez znaczenia w szczególności dla sektora produkcji żywności. Sprawny proces kompletacji wspomagany jest poprzez systemy automatycznej kompletacji, do których między innymi zalicza się kompletację *Pick-to-light*, wykorzystującą technologię świetlną.

Koncepcja systemu polega na wskazywaniu pozycji w regale do pobrania lub załadunku przy pomocy wskaźnika diodowego lub laserowego, ze wskazaniem ilości danego asortymentu na wyświetlaczu. System kolejkuje i optymalizuje sortowanie zamówień oraz tworzy elektroniczne listy towarów do wydania z magazynu. W ten sposób na ich podstawie kieruje procesem kompletacji. Użycie wskaźnika laserowego o średnicy wiązki mającej do kilku milimetrów i długości fali czerwonej $\lambda = 650 \text{ nm}$ pozwala na większą precyzję w wyznaczaniu położenia konkretnego elementu na półce. Obecnie dostępna jest szeroka gama czujników laserowych, dokonujących detekcji obiektów o wielkości od 0,2 mm. Dzięki metodzie autokolimacji, zastosowanej w laserowych czujnikach refleksyjnych (rys. 11), istnieje możliwość dokładnej lokalizacji obiektu na półce regału. Laserowa wiązka nadawcza, która wychodzi z nadajnika, przenika przez lustro weneckie w czujniku i odbija się od reflektora, a powracając odbija się od lustra weneckiego i trafia do odbiornika. Wiązka nadawcza i odbiorcza biegną tym samym wąskim torem oraz wyznaczają precyzyjnie oś detekcji, dzięki temu możliwa jest detekcja najmniejszych części. Podane właściwości sprawiają, że laserowe wskaźniki są unikalnym rozwiązaniem wspomagającym procesy kompletacji, które przyczyniają się do wzrostu wydajności kompletacji przy bardzo niskiej skali błędów [15].



Rys. 10. Bezzałogowy wózek LGV Skilled [16]



Rys. 11. Przykład laserowych czujników refleksyjnych: FR 25-RLO i FR 55-RLO z autokolimacją [15]

4.3. Laserowe skanery

Dążenie do pełnej automatyzacji procesu inwentaryzacji jest trendem związanym z zarządzaniem gospodarką magazynową. Współcześnie realia rynku ukazują, jak wysoce nieefektywne i kosztowne jest prowadzenie inwentaryzacji metodą ręcznego spisania stanu magazynowego. Mając na celu minimalizację kosztów, obecnych na każdym etapie procesów produkcyjnych i logistycznych przedsiębiorstwa, zbudowano narzędzia służące do znakowania, odczytu i identyfikacji produktów. Klasycznym technicznym duetem, kształtującym procesy zachodzące w magazynie, jest kod kreskowy i skaner umożliwiający czytanie tego rodzaju aplikacji. Obecne generacje bezprzewodowych czytników pozwalają na odczytywanie różnego rodzaju kodów kreskowych, swobodnie przemieszczając się po dużym obszarze hali magazynowej (rys. 12). Źródłem promienia jest laser diodowy o różnej długości fali ($630 \div 675 \text{ nm}$). Odczyt odbywa się na zasadzie modulacji odbitej od tła z wzorem kodu wiązki laserowej, wywołanej przemieszczaniem się odchylanej wiązki za pomocą cewek elektromagnetycznych. Odchylona wiązka promieniowania laserowego przesuwana się po ciemnych i jasnych prążkach kodu, wywołując w obwodzie baterii fotorezystorów sygnał analogowy napięciowy, podlegający na wzmocnieniu i obróbce przez cyfrowy formę. Przekształcony sygnał ulega podzieleniu podstawą czasu, która odpowiada szerokości modułu. Ostatecznie sygnał przyjmuje binarną postać ciągu modułów, dzięki którym przy znajomości symboliki kodu i długości znaku, można odczytać wartość kodowanego znaku [3]. Zastosowanie tego typu urządzeń usprawnia pracę w magazynie, zmniejszając znacznie ryzyko błędów popełnianych przy ręcznym spisie z natury oraz zapewnia zautomatyzowanie procesów związanych z dokumentami papierowymi przy zarządzaniu stanem magazynu.



Rys. 12. Czytnik kodów kreskowych QuickScan I [19]

5. BEZPIECZEŃSTWO PRACY Z URZĄDZENIAMI LASEROWYMI

Użytkowanie urządzeń laserowych niesie za sobą możliwość wystąpienia zagrożeń dla oczu i skóry człowieka. Najniebezpieczniejsze urządzenia laserowe należą do klasy 4, a są to między innymi urządzenia do laserowej obróbki powierzchni oraz niektóre stosowane w medycynie (wg PN-EN 60825-1). W przypadku użytkowania urządzeń laserowych przemysłowych cały proces pracy powinien odbywać się w całkowicie odizolowanej przestrzeni, co jednak nie oznacza, że odbywa się on bez wglądu na to, co się dzieje wewnątrz. Specjalne kamery, zainstalowane wewnątrz pomieszczenia, ułatwią kontrolę pracy i pozwolą zareagować w każdej sytuacji wymagającej ingerencji człowieka. Niewątpliwie ważnymi elementami bezpieczeństwa jest zastosowanie odpowiednich blokad bezpieczeństwa, środków ochrony indywidualnej i zbiorowej (gogle, okulary z filtrami optycznymi) oraz szkolenie pracowników.

Ze względu na szkodliwość działania urządzenia laserowe są sklasyfikowane na podstawie parametru GED (Granica Emisji Dostępnej), który jest maksymalnym poziomem promieniowania lasera lub urządzenia laserowego i którego wartości są wyspecyfikowane w zależności od energii, pasma widmowego i czasu ekspozycji. W tabeli nr 2 przedstawiono klasy urządzeń laserowych [2, s.132-135] [7, s.748-750].

Tab. 2. Podział laserów i urządzeń laserowych na klasy [2], [7]

Klasa	Opis	Przykład
1	Promieniowanie laserowe całkowicie bezpieczne w każdych warunkach	Lasery/urządzenia o bardzo małej mocy lub dużej mocy np. z całkowicie osłoniętą wiązką, nagrywarka DVD
1M	Emisja promieniowania w obszarze $\lambda = 302,5 \div 4000 \text{ nm}$, bezpieczne pod warunkiem, że nie używa się elementów optycznych (np. soczewek)	
2	Emisja promieniowania w obszarze $\lambda = 400 \div 700 \text{ nm}$, bezpieczne pod warunkiem, że nie ma bezpośredniej ekspozycji na oko	Laser He-Ne, Lasery ciągłe o mocy do 1 mW,
2M	Emisja promieniowania w obszarze $\lambda = 400 \div 700 \text{ nm}$, bezpieczne pod warunkiem, że nie ma bezpośredniej ekspozycji na oko i nie używa się elementów optycznych	
3R	Emisja promieniowania w obszarze $\lambda = 302,5 \div 10^6 \text{ nm}$, wymagane okulary ochronne,	Lasery o mocy do 5 mW
3B	Lasery bezwzględnie niebezpieczne przy bezpośredniej ekspozycji oka i niekiedy dla skóry, bezpieczne patrzenie na promieniowanie rozproszone	Lasery o mocy do 500 mW (w widzialnym zakresie spektralnym)
4	Emisja promieniowania niebezpieczna dla oczu i skóry w każdych warunkach, może wywołać pożar lub wybuch, wymagane okulary i odzież ochronna	Lasery o przemysłowym zastosowaniu i niektóre w medycynie

PODSUMOWANIE

Zastosowanie lasera wywarło poważny wpływ na wiele dziedzin nauki i techniki np. technologię materiałów, technikę wojskową, technologię chemiczną, telekomunikację optyczną, medycynę czy przemysł przetwórczy. Szybki postęp technologiczny i stale rosnąca konkurencja niosą ze sobą konieczność zapotrzebowania na nowe urządzenia i rozwiązania.

Duże znaczenie miało wprowadzenie technologii laserowych, które doprowadziło do zwiększenia stopnia innowacyjności małych

oraz średnich przedsiębiorstw. Bezpośrednie efekty innowacji związane są z usprawnianiem działalności przedsiębiorstwa we wszystkich jego obszarach. Nowe technologie umożliwiają wzrost wydajności, zmniejszenie zużycia materiałów i energii, skrócenie czasu wykonania, poprawę jakości i bezpieczeństwa pracy, wytwarzanie nowych wyrobów o nowych właściwościach. Wraz z efektami wdrożeń innowacji produktowych i organizacyjnych prowadzi to bezpośrednio do wzrostu produktywności oraz poprawy konkurencyjności. Aktualnie na rynku można spotkać szeroki wybór urządzeń laserowych. Producenci oferują różnego typu urządzenia z odpowiednimi parametrami praktycznie do każdej technologii laserowej. Precyzyjne pomiary długości i odległości, sterowanie pracą maszyn roboczych, wytyczanie torów wodnych w portach, zapisywanie i odtwarzanie dźwięków oraz obrazów, tworzenie hologramów czy efektów wizualnych to jedne z wielu czynności, które są możliwe dzięki urządzeniom laserowym.

BIBLIOGRAFIA

- Burakowski T., Wierzchoń T., Inżynieria powierzchni metali, WNT, Warszawa 1995.
- Jóźwicki R., Technika laserowa i jej zastosowania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- Kwaśniewski S., Zajac P., EPC - a kody kreskowe, „Elektroniczna gospodarka”, Logistyka nr 5/06.
- Ostrowski R., Cywiński A., Dalmierze laserowe – aspekty zastosowania w Marynarce Wojennej, „Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia”, WITU nr 2/05, Zielonka 2005.
- Paschotta R., Encyclopedia of Laser Physics and Technology, Volume 1, WILEY-VCH, Weinheim 2008.
- Passia H., Anemometria laserowa do stosowania w atmosferze wybuchowej, „Górnictwo i Środowisko”, Kwartalnik nr 2, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2003.
- Ziętek B., Lasery, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
- <http://www.sadowski.edu.pl/wp-content/uploads/holo3.pdf> (skrypt Hologramy i holografia autorstwa mgr Marcina Sadowskiego, Wydział Fizyki, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Warszawski, wydanie III, maj 2005, dostęp 13.02.16)
- <http://ucsdnews.ucsd.edu/archive/newsrel/science/04-15MoonLight.asp> (strona Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego, dostęp 18.02.16)
- <http://rmilaser.eu/?right=przyklady-znakowania> (strona internetowa firmy RMI Laser Poland, dostęp 13.02.16)
- <http://www.pl.trumpf.com/pl/produkty/technika-laserowa/produkty/laser-na-ciele-stalym/laser-wloknowy/trufiber.html> (strona firmy Trumpf, dostęp 04.02.16)
- <http://m.automatykab2b.pl/technika/4048-skanery-laserowe-w-zrobotyzowanych-systemach-spawania> (strona portalu branżowego Automatyka B2B, dostęp 08.02.16)
- http://www.log4badania.pl/wozki_widlowe/artukul/yale_seria_mt_c_-_wozki_do_waskich_korytarzy/ (artykuł ze strony internetowej dot. wózków widłowych, dostęp 04.02.16)
- <http://www.magazynprzemyslowy.pl/zarzadzanie-i-rynek/Automatyzacja-magazynow-dzieki-wozkom-LVG-sterowanym-laserowo,1075>, (strona internetowa Magazynu Przemysłowego, dostęp 08.02.16)
- http://sels.pl/wp-content/uploads/2013/10/FR25_FR55_RLO_broszura_pol.pdf (strona firmy Sels, branża automatyka przemysłowa, dostęp 08.02.16)
- <https://www.logismarket.pl/phenix-systems/wozek-widlowy/4070757840-736384111-p.html> (strona informatora przemysłowego Mecalux Logismarket, dostęp 08.02.16)
- http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,narzedzia_i_maszy ny,artykul,ukladanie_rur_szybciej_i_bez_poprawek,1344 (strona Wydawnictwa Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, dostęp 13.02.16)
- <http://griffin-defence.pl/oferta/lunety-celownicze/goniolight-g-ti-apdr/> (strona internetowa firmy IMS Griffin, produkcja sprzętu wojskowego i policyjnego, dostęp 13.02.16)
- <https://www.pckf.pl/skanery-kodow-kreskowych/datalogic/quickscan-i> (strona internetowa firmy Polskie Centrum Kas Fiskalnych, dostęp 13.02.16)
- https://www.eso.org/public/poland/teles-instr/technology/adaptive_optics/ (strona organizacji astronomicznej ESO - Europejskiego Obserwatorium Południowego, dostęp 13.02.16)

Use of laser devices in logistic

This article presents the types of laser devices and their use in logistics. Due to the wide range of products, the presentation of laser devices has been limited to show only the most popular in industry and innovation products, which support logistics processes in the logistics centers. Analyzing the use of laser devices, special attention was paid to the areas of application, which are a production and processes in the logistics center.

Autorzy:

inż. **Marta Żurek** - absolwentka Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej im. gen. J. Dąbrowskiego w Warszawie o specjalności logistyka przedsiębiorstw, obecnie studentka I roku studiów II stopnia na Wydziale Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. K. Pułaskiego w Radomiu,
prof. dr hab. inż. **Andrzej Lewiński** – Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. K. Pułaskiego w Radomiu, e-mail: a.lewinski@uthrad.pl