

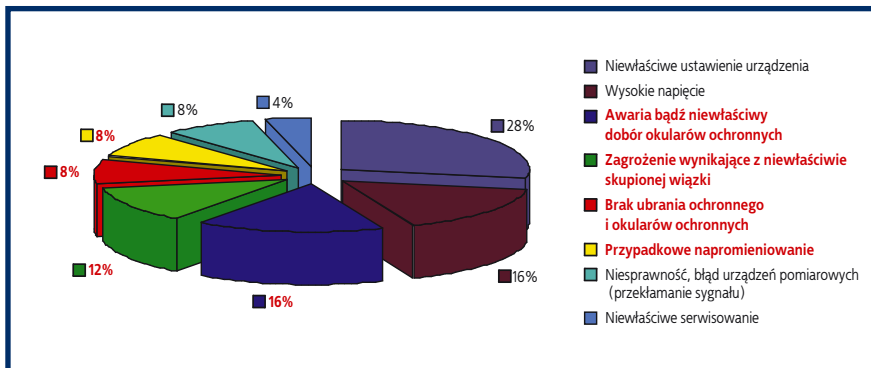
mgr PIOTR KONIECZNY  
dr inż. AGNIESZKA WOLSKA  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Ochrona przed promieniowaniem laserowym

W artykule przedstawiono główne zagrożenia optycznym promieniowaniem koherentnym wynikające z pracy z laserami. Autorzy przedstawili wyniki działania autorskiego programu komputerowego „Laser Shield Solver” umożliwiającego obliczanie parametrów osłon laserowych chroniących obsługę przed przypadkową ekspozycją oczu na odbite lub rozproszone promieniowanie laserowe.

## Protection against laser radiation

The article describes main hazards of optical coherent radiation arising from work with lasers. The authors present results of computer simulation obtained from “Laser Shield Solver” programme, which enables to calculate parameters for designing special shields protecting worker’s eye against diffused and scattered laser radiation.



Rys. 1. Przyczyny wypadków podczas pracy z laserami [4]

Fig. 1. Reasons of occupational accidents with lasers [4]

## Zagrożenia związane z promieniowaniem laserowym

Laser jest to urządzenie generujące promieniowanie optyczne z zakresu od UV do dalekiej podczerwieni, które charakteryzuje się:

- bardzo dużą gęstością mocy w przekroju poprzecznym wiązki
- małym kątem rozbieżności, co oznacza, że średnica wiązki promieniowania ulega małym zmianom w miarę oddalania się od lasera
- koherencją (spójnością), tzn. jest spójne czasowo (stały w czasie związek fazowy fali w wiązce) i spójne przestrzennie (stały związek fazowy fali promieniowania pomiędzy dwoma dowolnymi punktami w obszarze wiązki)
- monochromatycznością promieniowania – cała energia generowana przez laser zgromadzona jest w wąskiej linii widmowej, której szerokość może wynosić nawet  $10^{-7}$  nm [1].

Promieniowanie laserowe możemy także nazywać koherentnym bądź spójnym.

Biorąc pod uwagę wymienione cechy promieniowania laserowego, można stwierdzić, że jakościowo różni się ono od klasycznego (niekoherentnego) promieniowania optycznego. Dzięki rozwojowi techniki laserowej powstały takie nowe dziedziny nauki i techniki, jak holografia, optyczna obróbka informacji, optyka zintegrowana czy laserowa obróbka materiałów. Poza tym, urządzenia laserowe znalazły szerokie zastosowanie w medycynie, przemyśle, wojsku, ochronie środowiska, metrologii, kosmetyce i w życiu codziennym.

Największe wykorzystanie laserów występuje w przemyśle. Są one stosowane w takich procesach technologicznych, jak: cięcie, spawanie, znakowanie, drażnienie otworów.

Cechy promieniowania laserowego, które dają tak szerokie możliwości stosowania urządzeń laserowych w wielu gałęziach gospodarki i życia codziennego, stanowią również o szkodliwości tego promieniowania dla zdrowia człowieka. Zagrożenie to odnosi się głównie do oczu i skóry, a szkodliwe skutki ekspozycji na to promieniowanie przedstawiono w tabeli 1.

*Jak wynika ze statystyk wypadków przy pracy z urządzeniami laserowymi, zagrożenie przypadkową ekspozycją na promieniowanie laserowe jest bardzo duże. Około 8% wypadków związane jest z przypadkowym napromienieniem, 16% z awariami bądź niewłaściwym doborem okularów ochronnych i 12% z niewłaściwym skupieniem wiązki promieniowania (rys. 1.) [4].*

## Klasa lasera a bezpieczeństwo obsługi urządzenia

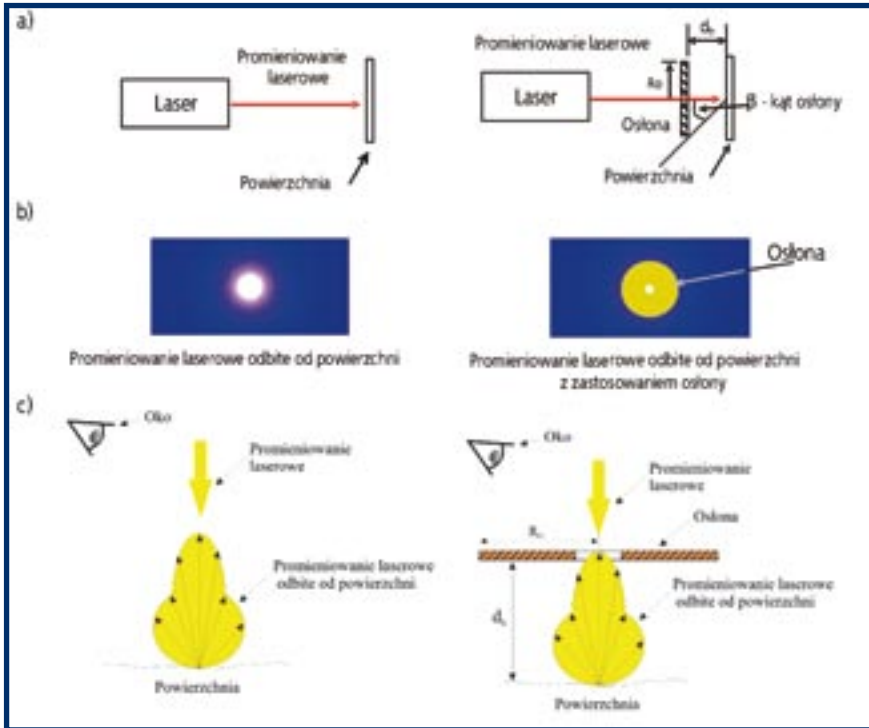
Producenci urządzeń laserowych zobligowani są do umiejscowienia na swoich produktach informacji o klasie, do której dane urządzenie należy. Klasa lasera wiąże się bezpośrednio z bez-

## SKODLIWE SKUTKI EKSPOZYCJI OCZU I SKÓRY NA PROMIENIOWANIE LASEROWE [2, 3]

Adverse effects of eye and skin exposure to laser radiation [2, 3]

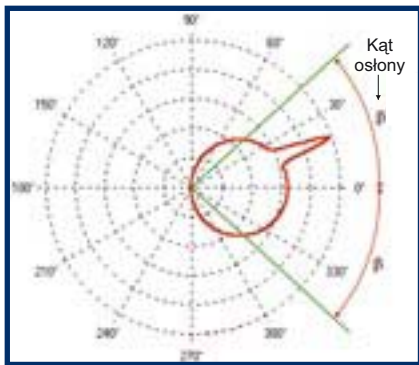
Zakres promieniowania	Oko	Skóra
UV 180 – 400 nm	uszkodzenie fotochemiczne i termiczne rogówki i soczewki	rumień
Widzialne 400 – 700 nm	fotokemiczne i termiczne uszkodzenia siatkówki	uszkodzenia termiczne
Podczerwień A 700 – 1400 nm	uszkodzenia termiczne rogówki, siatkówki i soczewki	uszkodzenia termiczne
Podczerwień B 1400 – 2600 nm		
Podczerwień C 2600 nm – 1 mm		

Tabela 1



Rys. 2. Zasada działania osłony zapewniającej ochronę oka przed promieniowaniem odbitym a) – schemat urządzenia laserowego bez osłony i z osłoną ochronną, b) – symulacja promieniowania laserowego odbitego od powierzchni bez osłony i z osłoną, c) – przykład rozkładu natężenia promieniowania odbitego w sposób kierunkowo-rozproszony od chropowatej powierzchni bez osłony i z osłoną ochronną

Fig. 2. Functioning of eye protective shield against reflected laser radiation a) schematic diagram of laser device with and without protective shield, b) simulation of reflected laser radiation with and without protective shield, c) an example of irradiance distribution of scattering reflected radiation from rough surface with and without protective shield



Rys. 3. Wyznaczony kąt osłony na wykresie natężenia promieniowania w funkcji kąta odbicia

Fig. 3. Shield angle determined on irradiance distribution chart as a function of reflection angle

pieczeństwem jego użytkowania, i aby ją określić producent musi wykonać odpowiednie pomiary parametrów promieniowania laserowego określonych w normie PN-EN 60825-1 [2]. Wyszczególniono tam następujące klasy laserów [3]:

- **klasa 1.** – lasery całkowicie bezpieczne
- **klasa 1M** – lasery klasy 1. emitujące promieniowanie w zakresie 302,5 – 4000 nm, które może stać się niebezpieczne w przypadku wprowadzenia elementów optycznych w tor wiązki laserowej

- **klasa 2.** – lasery niecałkowicie bezpieczne, emitujące promieniowanie widzialne w zakresie 400 – 700 nm; ochrona oczu jest zapewniona przez zamknięcie oka na skutek odruchu zamknięcia powiek w przypadku silnego oświetlenia oczu

- **klasa 2M** – lasery klasy 2., których promieniowanie może stanowić o jeszcze większym zagrożeniu użytkownika w przypadku wprowadzenia elementów optycznych w tor wiązki laserowej

- **klasa 3R** – lasery małego ryzyka
- **klasa 3B** – lasery niebezpieczne w każdym przypadku patrzenia w wiązkę laserową bezpośrednio padającą lub po odbiciu zwierciadlanym
- **klasa 4.** – lasery bardzo niebezpieczne; należy chronić oczy i skórę, zarówno przed promieniowaniem bezpośrednim jak i rozproszonym.

Znając klasę lasera, użytkownicy wiedzą jakie środki bezpieczeństwa mają przedsięwziąć, aby zminimalizować ryzyko związane z zagrożeniami spowodowanymi generowanym promieniowaniem optycznym. Charakterystyka klas laserów wskazuje, że poza urządzeniami klasy 1., użytkowanie laserów z pozostałych klas powoduje możliwość wystąpienia zagrożenia ich promieniowaniem dla oczu i skóry człowieka. Najniebezpieczniejsze urządzenia laserowe należą do klasy 4., których przykładem są wszelkiego rodzaju lasery wykorzystywane przy cięciu,

spawaniu i znakowaniu, oraz niektóre z laserów stosowanych w medycynie (np. lance laserowe) i lasery laboratoryjne. Przy obsłudze tych laserów konieczne jest zachowanie daleko idących środków bezpieczeństwa, tj. stosowanie okularów i odzieży ochronnej. Lasery te mogą być użytkowane wyłącznie przez wysoko wykwalifikowaną kadrę pracowniczą.

### Maksymalne dopuszczalne ekspozycje na promieniowanie laserowe

Biorąc pod uwagę fakt, że promieniowanie laserowe jest czynnikiem szkodliwym w środowisku pracy, w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [5] określone zostały dla tego promieniowania wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE). Ponieważ działanie promieniowania laserowego na tkankę ma różny charakter w zależności od gęstości mocy promieniowania i od czasu ekspozycji, wartości MDE odniesiono do następujących parametrów promieniowania optycznego:

- długości fali promieniowania laserowego
- czasu trwania impulsu laserowego lub czasu trwania ekspozycji
- rodzaju narażonej tkanki (oko, skóra)
- charakteru ekspozycji (bezpośrednie patrzenie w wiązkę promieniowania lub patrzenie na promieniowanie rozproszone, ekspozycja skóry wiązką skupioną bądź rozproszoną)
- rozmiaru obrazu na siatkówce oka, w przypadku promieniowania w zakresie 400 – 1400 nm.

**Ekspozycja na promieniowanie laserowe, którego parametry przekraczają ustalone wartości MDE, wskazuje na duże ryzyko zawodowe, co jest równoznaczne ze szkodliwymi skutkami dla zdrowia człowieka.**

### Analiza zagrożeń promieniowaniem laserowym

Znając klasę lasera, użytkownik może zastosować odpowiednie środki ochrony przed promieniowaniem bezpośrednim. Jednakże może także zaistnieć potrzeba ochrony oczu pracownika przed promieniowaniem odbitym od powierzchni, na które pada bezpośrednio promieniowanie laserowe. Biorąc pod uwagę fakt, że wiele stosowanych w przemyśle laserów emituje promieniowanie z zakresu podczerwieni lub nadfioletu, które to zakresy promieniowania optycznego są niewidzialne dla oka ludzkiego, ryzyko związane z promieniowaniem laserowym staje się wtedy większe, gdyż nie występuje reakcja obronna człowieka – np. natychmiastowe odsunięcie się z linii rozchodzenia się wiązki laserowej.

Producenci urządzeń laserowych, w szczególności dla aplikacji przemysłowych, laboratoryjnych i medycznych, zakładają, iż obsługa potrafi korzystać z lasera i jest odpowiednio poinstruowana

o zagrożeniach wynikających z przypadkowych ekspozycji na promieniowanie laserowe. Dlatego też, przy projektowaniu urządzeń laserowych uwzględniane są tylko osłony, które wytłumiają promieniowanie optyczne we wszystkich kierunkach, poza kierunkiem propagacji promieniowania (wytłumianie odbić wewnątrz urządzenia laserowego). W procesie projektowania w wielu przypadkach zaniedbuje się odbicia tego promieniowania od obrabianej powierzchni.

Gęstość natężenia promieniowania optycznego na wyjściu typowych laserów do zastosowań przemysłowych i medycznych znacznie przekracza MDE na promieniowanie laserowe zawarte w rozporządzeniu MPIPS [5]. Promieniowanie to, padając na obrabianą powierzchnię (metal, plastik, skóra, szkliwo itp.), może zostać pochłonięte lub ulec odbiciu o charakterze kierunkowo-rozproszonym. Taki rodzaj odbicia może stanowić zagrożenie dla użytkownika, gdyż wiązka laserowa, nawet rozproszona, dalej może być szkodliwa dla zdrowia człowieka. Z tego też powodu istotne jest przeprowadzanie analizy zagrożeń promieniowaniem laserowym odbitym od powierzchni, na którą pada, w zależności od rodzaju i parametrów stosowanego lasera oraz tej powierzchni. W tym celu w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym opracowano program komputerowy, który służy do przeprowadzania prostej analizy zagrożeń tego rodzaju promieniowaniem laserowym.

### Program do analizy zagrożeń promieniowaniem laserowym „Laser Shield Solver”

Celem programu „Laser Shield Solver” jest wyliczenie rozkładu natężenia promieniowania laserowego odbitego od różnego rodzaju powierzchni oraz niezbędnego rozmiaru kąтового osłony przed promieniowaniem laserowym (zwanego dalej kątem osłony), który zapewni ochronę oka lub skóry przed odbitym promieniowaniem laserowym. W celu łatwiejszej wizualizacji problemu w tym artykule przedstawiono zasadę działania i przykłady symulacji programu przy wyznaczaniu takiej osłony dla zapewnienia ochrony oczu.

Na rys. 2. (str. 9.) schematycznie przedstawiono zasadę działania osłony przed promieniowaniem laserowym, której zadaniem jest wyfiltrowanie przestrzenne promieniowania odbitego, mogącego stanowić zagrożenie dla oczu osób obsługujących laser.

Główny wyliczany parametr – kąt osłony określa, w jakim zakresie kątowym (liczonym od prostej normalnej do powierzchni przechodzącej przez punkt odbicia) promieniowanie odbite może stanowić zagrożenie dla oczu użytkownika. W programie, jako kryterium oceny zagrożenia przyjęto wartości graniczne parametrów promieniowania laserowego zawarte w projekcie dyrektywy dotyczącej promieniowania optycznego [6], która znajduje się w końcowej fazie ustanawiania w parlamencie UE. Obliczony kąt

osłony wyznacza obszar, w którym natężenie promieniowania odbitego przekracza wymienione wartości graniczne.

Zmieniając parametry promieniowania laserowego oraz rodzaj powierzchni, na którą pada to promieniowanie, można określić minimalny kąt osłony, tak aby promieniowanie laserowe po odbiciu od powierzchni nie stanowiło zagrożenia dla oczu pracownika. Na rys. 3. (str. 9.) przedstawiono kąt osłony zaznaczony na biegunowym wykresie natężenia promieniowania odbitego w funkcji kąta odbicia.

Znając wartość kąta osłony, wyliczonego przy pomocy programu, można wyznaczyć promień osłony chroniącej oko przed odbitym promieniowaniem laserowym ( $R_o$ ).

$$R_o = d_n \cdot \cos \beta \quad (1)$$

gdzie:

$d_n$  – odległość osłony od powierzchni odbijającej, w „m”

$\beta$  – kąt osłony.

Aby program wyznaczył kąt osłony, który powinien być zastosowany w danym urządzeniu laserowym, należy do programu wprowadzić następujące dane:

- parametry lasera:
  - moc promieniowania laserowego
  - długość fali promieniowania
  - powierzchnia wiązki w ognisku
  - kąt padania promieniowania
- parametry powierzchni, na którą pada promieniowanie:
  - rodzaj materiału (współczynnik załamania i średnie nachylenie)
  - chropowatość powierzchni
- parametry ekspozycji oka:
  - wartość graniczną ekspozycji oka na promieniowanie laserowe
  - aperturę oka – dobraną zgodnie z zasadami zawartymi w [6]
  - czas ekspozycji oka na promieniowanie.

Parametry wprowadzone do programu można odczytać lub zapisać do osobnego pliku, dzięki czemu można w łatwy sposób stworzyć bazę danych o symulowanych materiałach i laserach oraz wynikach uzyskanych dla nich w symulacji komputerowej.

Program komputerowy został stworzony głównie z myślą o analizie zagrożeń promieniowaniem laserowym dla ludzkiego oka, jednakże zmieniając wartości graniczne ekspozycji na promieniowanie laserowe oraz rozmiar apertury, program może być wykorzystany do analizy zagrożeń dla skóry.

### Przykład analizy zagrożeń promieniowaniem odbitym od papieru zwykłego dla promieniowania lasera gazowego He-Ne

Przykładem stanowiska pracy, na którym może występować zagrożenie promieniowaniem laserowym odbitym od papieru zwykłego może być stanowisko laboratoryjne, na którym wykonywane są prace justerskie w układach laserowych.

W tabeli 2. przedstawiono dane wejściowe oraz wyniki obliczeń programu, natomiast na rys. 4. wykresy rozkładu promieniowania odbitego dla tego rodzaju zastosowania lasera He-Ne.

Podczas pracy lasera He-Ne o mocy 23 mW w czasie powyżej 100 s i średnicy wiązki 1 mm, przy kącie padania wiązki na powierzchnię papieru zwykłego wynoszącym 20°, wyznaczony kąt osłony wynosi 59°. Na jego podstawie można wyznaczyć promień osłony, zgodnie z zależnością (1), uwzględniając odległość osłony od powierzchni odbijającej. Oznacza to, że przy zastosowaniu tak wyznaczonej osłony oko ludzkie jest chronione przed szkodliwym promieniowaniem laserowym.

### Przykład analizy zagrożeń promieniowaniem odbitym od papieru fotograficznego dla promieniowania lasera gazowego He-Ne

Przykładem stanowiska pracy, na którym może występować zagrożenie promieniowaniem laserowym odbitym od papieru fotograficznego mogą być zakłady fotograficzne. Zagrożenie to może występować także przy stanowiskach komputerowych wyposażonych w drukarki, w których wykrywanie i pozycjonowanie papieru przeprowadzone jest przy udziale lasera. W tabeli 3. przedstawiono dane wejściowe oraz wyniki obliczeń programu natomiast, na rys. 5. wykresy rozkładu promieniowania odbitego dla tego rodzaju zastosowania lasera He-Ne.

Podczas pracy lasera He-Ne o mocy 23 mW w czasie powyżej 100 s i średnicy wiązki 1 mm, przy kącie padania wiązki na powierzchnię papieru fotograficznego wynoszącym 20°, wyznaczony kąt osłony wynosi 55°. Na jego podstawie można wyznaczyć promień osłony, zgodnie z zależnością (1), uwzględniając odległość osłony od powierzchni odbijającej. Oznacza to, że przy zastosowaniu tak wyznaczonej osłony oko ludzkie jest chronione przed szkodliwym promieniowaniem laserowym.

### Przykład analizy zagrożeń promieniowaniem odbitym od srebra dogładzanego dla promieniowania lasera neodymowego

Przykładem stanowiska pracy, na którym może występować zagrożenie promieniowaniem laserowym odbitym od srebra dogładzanego mogą być stanowiska, na których wykonywane są prace jubilerskie, grawerskie, a także spawanie i cięcie srebra oraz innych metali. W tabeli 4. (str. 12.) przedstawiono dane wejściowe oraz wyniki obliczeń programu, natomiast na rys. 6. (str. 12.) wykresy rozkładu promieniowania odbitego dla tego rodzaju zastosowania lasera neodymowego.

Podczas pracy lasera Nd:YAG o energii impulsu 200 mJ w czasie trwania impulsu powyżej 100 ns i średnicy wiązki 1 mm, przy kącie padania wiązki na powierzchnię dogładzanego srebra

Tabela 2

DANE WEJŚCIOWE ORAZ WYNIKI OCENY ZAGROZENIA PROMIENIOWANIEM ODBITYM OD PAPIERU ZWYKŁEGO DLA PROMIENIOWANIA LASERA GAZOWEGO He-Ne

Input data and results of hazard identification related to reflected laser radiation from ordinary paper surface for He-Ne laser radiation

Dane wejściowe:	
Rodzaj powierzchni, na którą pada promieniowanie	PAPIER ZWYKŁY
Parametry powierzchni	
Współczynnik załamania	$n = 1,55$
Chropowatość	100 nm
Średnie nachylenie	1,43°
Typ lasera	He-Ne
Długość fali promieniowania	632,8 nm
Moc lasera	23 mW
Czas ekspozycji	powyżej 100 s
Powierzchnia wiązki w ognisku	1 mm <sup>2</sup>
Kąt padania promieniowania	20°
Wyniki:	
$I_{rmax}$	101 W/sr
$\theta(I_{rmax})$	20°
$E_{rmax}$	697 W/m <sup>2</sup>
$\theta(E_{rmax})$	20°
Kąt osłony – $\beta$	59°

Objaśnienia symboli i parametrów (tab. 2.-5.):

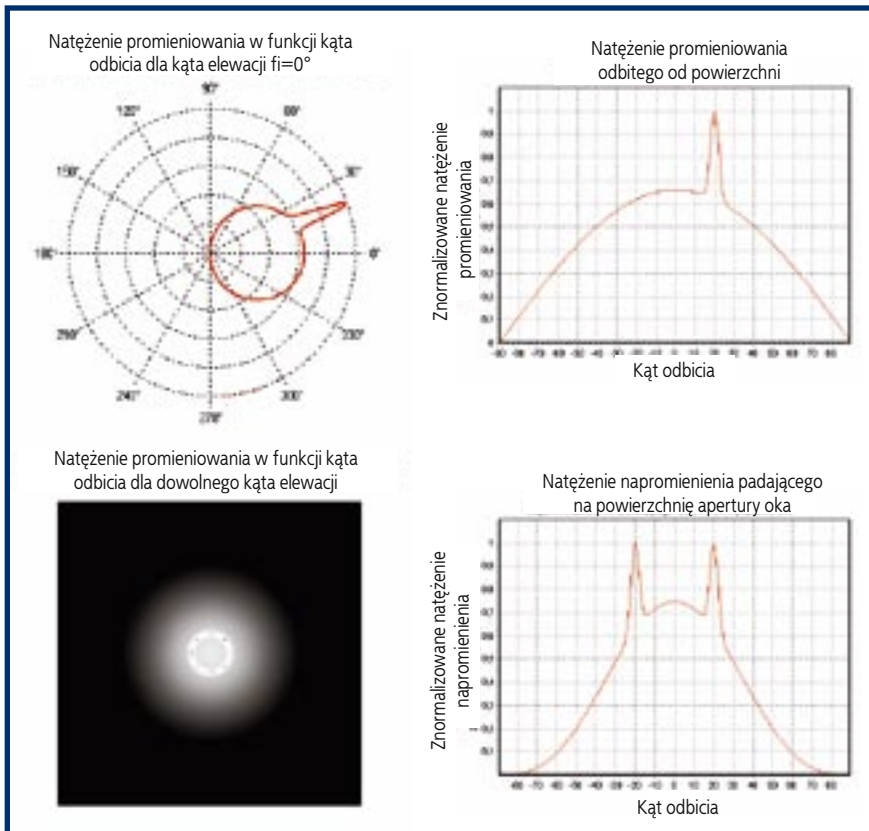
- $I_{rmax}$  – maksymalna wartość natężenia promieniowania odbitego od powierzchni
- $\theta(I_{rmax})$  – kąt odbicia odpowiadający maksymalnej wartości natężenia promieniowania odbitego od powierzchni
- $E_{rmax}$  – maksymalna wartość natężenia napromienienia na powierzchni apertury oka
- $\theta(E_{rmax})$  – kąt odbicia odpowiadający maksymalnej wartości natężenia napromienienia na powierzchni apertury oka
- Średnie nachylenie – średnia wartość nachylenia nierówności badanej powierzchni

Tabela 3

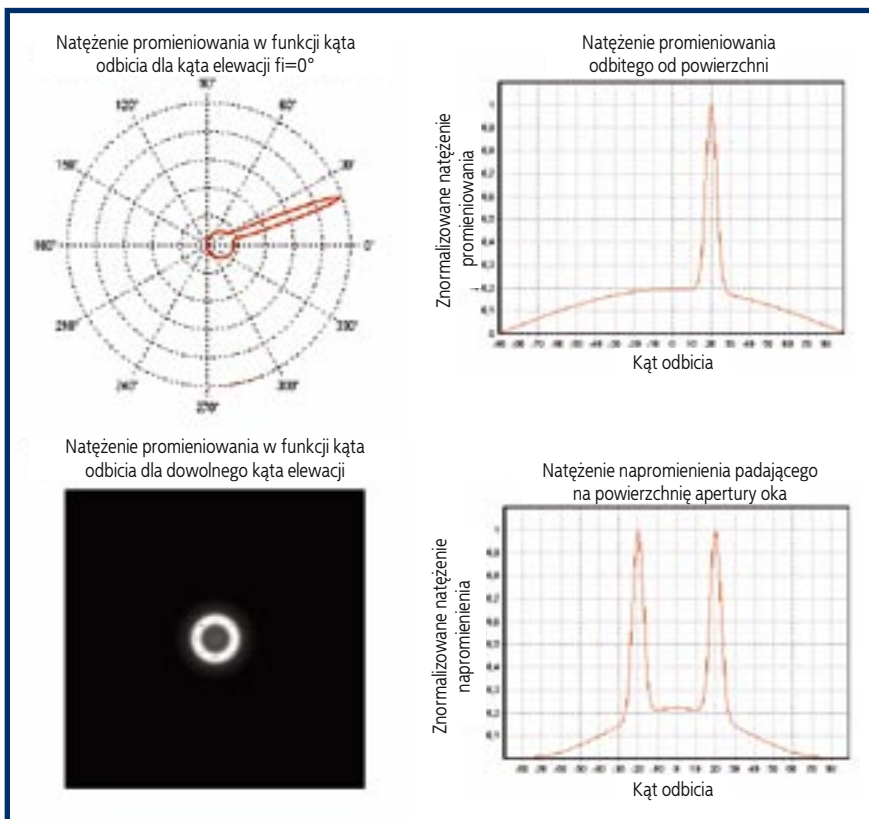
DANE WEJŚCIOWE ORAZ WYNIKI OCENY ZAGROZENIA PROMIENIOWANIEM ODBITYM OD PAPIERU FOTOGRAFICZNEGO DLA PROMIENIOWANIA LASERA GAZOWEGO He-Ne

Input data and results of hazard identification related to reflected laser radiation from photo paper surface for He-Ne laser radiation

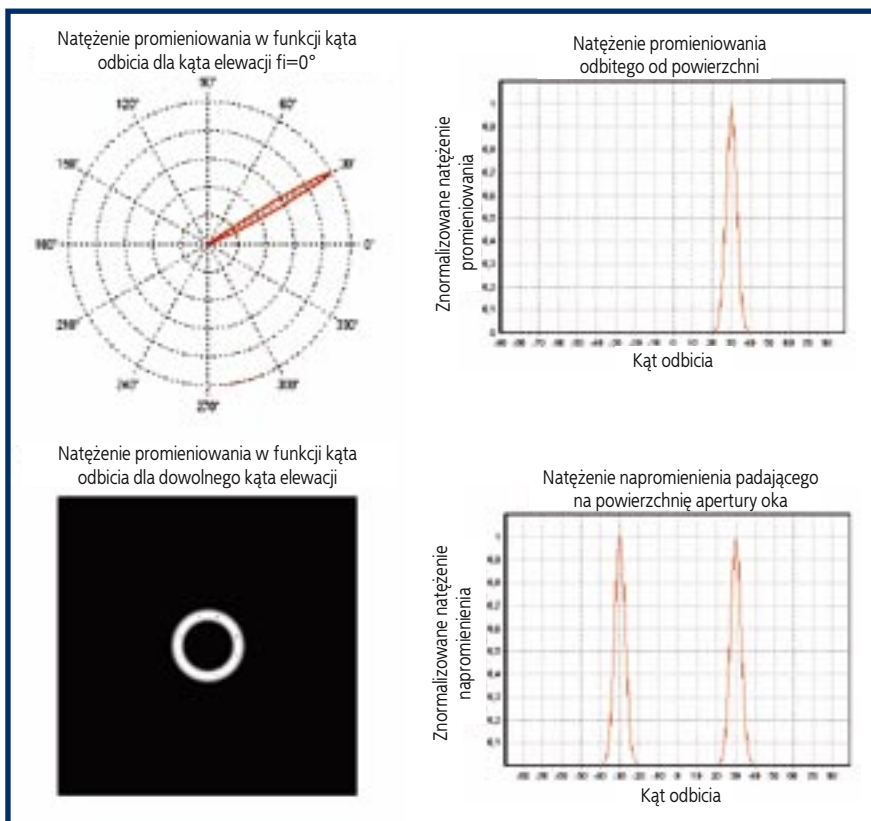
Dane wejściowe:	
Rodzaj powierzchni, na którą pada promieniowanie	PAPIER FOTOGRAFICZNY (POŁYSK)
Parametry powierzchni	
Współczynnik załamania	$n = 1,55$
Chropowatość	50 nm
Średnie nachylenie	1,95°
Typ lasera	He-Ne
Długość fali promieniowania	632,8 nm
Moc lasera	23 mW
Czas ekspozycji	powyżej 100 s
Powierzchnia wiązki w ognisku	1 mm <sup>2</sup>
Kąt padania promieniowania	20°
Wyniki:	
$I_{rmax}$	280 W/sr
$\theta(I_{rmax})$	20°
$E_{rmax}$	1650 W/m <sup>2</sup>
$\theta(E_{rmax})$	20°
Kąt osłony – $\beta$	55°



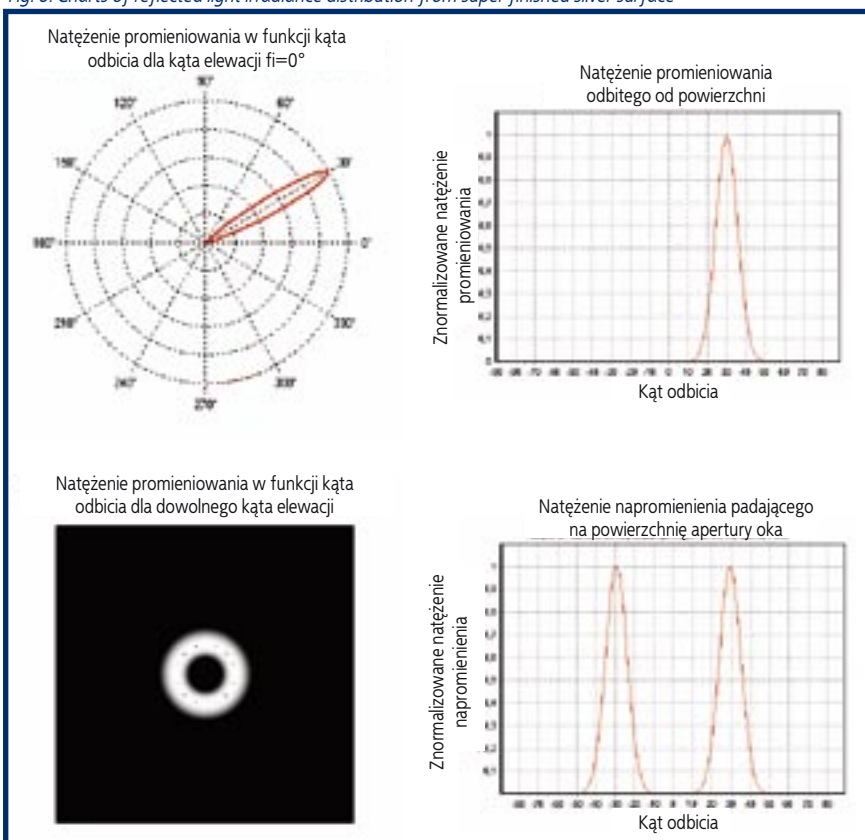
Rys. 4. Wykresy rozkładu promieniowania odbitego od zwykłego papieru  
Fig. 4. Charts of reflected light irradiance distribution from ordinary paper



Rys. 5. Wykresy rozkładu promieniowania odbitego od papieru fotograficznego  
Fig. 5. Charts of reflected light irradiance distribution from photo paper



Rys. 6. Wykresy rozkładu promieniowania odbitego od dogładzanej płytki wykonanej ze srebra  
 Fig. 6. Charts of reflected light irradiance distribution from super finished silver surface



Rys. 7. Wykresy rozkładu promieniowania odbitego od gładzonej płytki wykonanej ze srebra  
 Fig. 7. Charts of reflected light irradiance distribution from honed silver surface

Tabela 4

DANE WEJŚCIOWE ORAZ WYNIKI OCENY ZAGROŻENIA PROMIENIOWANIEM ODBITYM OD SREBRA DOGŁADZANEGO DLA PROMIENIOWANIA LASERA Nd:YAG

Input data and results of hazard identification related to reflected laser radiation from super finished silver surface for Nd: AG laser radiation

Dane wejściowe:	
Rodzaj powierzchni, na którą pada promieniowanie	SREBRO (dogładzane)
Parametry powierzchni	
Współczynnik odbicia	R = 0,95
Chropowatość	80 nm
Średnie nachylenie	1,95°
Typ lasera	Nd:YAG
Długość fali promieniowania	1060 nm
Energia impulsu lasera	200 mJ
Czas ekspozycji	100 ns
Powierzchnia wiązki w ognisku	1 mm <sup>2</sup>
Kąt padania promieniowania	30°
Wyniki:	
I <sub>rmax</sub>	106 GW/sr (w impulsie)
θ(I <sub>rmax</sub> )	30°
H <sub>rmax</sub>	31,9 kJ/m <sup>2</sup>
θ(H <sub>rmax</sub> )	30°
Kąt osłony – β	43°

Tabela 5

DANE WEJŚCIOWE ORAZ WYNIKI OCENY ZAGROŻENIA PROMIENIOWANIEM ODBITYM OD SREBRA GŁADZONEGO DLA PROMIENIOWANIA LASERA HPLD

Input data and results of hazard identification related to reflected laser radiation from honed silver surface for HPLD laser radiation

Dane wejściowe:	
Rodzaj powierzchni, na którą pada promieniowanie	SREBRO (gładzone)
Parametry powierzchni	
Współczynnik odbicia	R = 0,95
Chropowatość	120 nm
Średnie nachylenie	3,95°
Typ lasera	HPDL (diodowy)
Długość fali promieniowania	940 nm
Moc lasera	2,5 kW
Czas ekspozycji	powyżej 100 s (CW)
Powierzchnia wiązki w ognisku	2 mm <sup>2</sup>
Kąt padania promieniowania	30°
Wyniki:	
I <sub>rmax</sub>	12,8 MW/sr
θ(I <sub>rmax</sub> )	30°
E <sub>rmax</sub>	38,8 MW/m <sup>2</sup>
θ(E <sub>rmax</sub> )	30°
Kąt osłony – β	81°

wynoszącym 30°, wyznaczony kąt osłony wynosi 43°. Na jego podstawie można wyznaczyć promień osłony, zgodnie z zależnością (1), uwzględniając odległość osłony od powierzchni odbijającej. Oznacza to, że przy zastosowaniu tak wyznaczonej osłony, oko ludzkie jest chronione przed szkodliwym promieniowaniem laserowym.

**Przykład analizy  
zagrożeń promieniowaniem  
odbitym od srebra gładzonego  
dla promieniowania lasera półprzewodnikowego HPDL**

Przykładem stanowiska pracy, na którym może występować zagrożenie promieniowaniem laserowym odbitym od srebra gładzonego mogą być stanowiska, na których wykonywane są prace jubilerskie, grawerskie, a także spawanie i cięcie srebra oraz innych metali. W tabeli 5. przedstawiono dane wejściowe oraz wyniki obliczeń programu, natomiast na rys. 7. wykresy rozkładu promieniowania odbitego dla tego rodzaju zastosowania lasera półprzewodnikowego.

Podczas pracy lasera HPDL o mocy 2,5 kW w czasie powyżej 100 s i średnicy wiązki 2 mm, przy kącie padania wiązki na powierzchnię srebra gładzonego wynoszącym 30°, wyznaczony kąt osłony wynosi 81°. Na jego podstawie można wyznaczyć promień osłony, zgodnie z zależnością (1), uwzględniając odległość osłony od powierzchni odbijającej. Oznacza to, że przy zastosowaniu tak wyznaczonej osłony oko ludzkie jest chronione przed szkodliwym promieniowaniem laserowym.

### Podsumowanie

Przedstawione wcześniej dane statystyczne (rys. 1.) wskazują, że aż 44% wszystkich wypadków przy pracy z laserami wynika z przypadkowej ekspozycji pracownika na promieniowanie laserowe. Biorąc pod uwagę, że w większości zastosowań mamy do czynienia z niewidzialnym przez oko człowieka promieniowaniem laserowym, należy zwrócić szczególną uwagę na ochronę obsługujących je pracowników przed szkodliwymi skutkami tego promieniowania. W tym celu ważne jest również zaprojektowanie oraz zastosowanie odpowiednich osłon chroniących pracowników przed przypadkową ekspozycją oczu i skóry na odbite promieniowanie laserowe.

Wykonując symulację programem „Laser Shield Solver”, otrzymujemy wyniki charakteryzujące promieniowanie kierunkowo-rozproszone od powierzchni, na którą pada oraz niezbędny dla ochrony oczu i skóry pracownika rozmiar kątowny osłony laserowej. Wyniki te mogą być wykorzystane zarówno do analizy zagrożeń, jak i do projektowania odpowiednich osłon ochronnych.

### PIŚMIENICTWO

[1] Józwicki R. *Optyka laserów*. WNT, Warszawa 1981

[2] PN-EN 60825-1:2005 *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych. Część 1: Klasyfikacja sprzętu, wymagania i przewodnik użytkownika*

[3] Nowicki M. *Promieniowanie laserowe. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy*. CIOP-PIB, Warszawa 2005, ISBN 83-7373-0077-X

[4] [www.technologieilaserowe.republika.pl](http://www.technologieilaserowe.republika.pl)

[5] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU nr 217, poz. 1833)

[6] Projekt dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (promieniowaniem optycznym), (dziewiętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG)

Publikacja opracowana na podstawie wyników badań objętych zadaniem nr 04.3 etap 1 pn. „Analiza zagrożeń promieniowaniem laserowym oraz kryteriów oceny zagrożenia tym promieniowaniem” realizowanym w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego

# seminarium pt. **Młodzi pracownicy** – bezpieczny start w pracy



**Poznań,  
29 marca 2006 r.**

### Program seminarium

- 11.00 Otwarcie seminarium
- 11.10 Problemy aktywizacji życiowej i zawodowej młodych ludzi
- 11.25 Standardy kwalifikacji zawodowych – oczekiwania pracodawców
- 11.40 Identyfikacja patologii i zagrożeń dotyczących młodych ludzi wchodzących na rynek pracy
- 11.55 Przygotowanie do podjęcia pierwszej pracy
- 12.10 Przerwa
- 12.20 Kampania informacyjna pn. „Młodzi pracownicy – bezpieczny start” Europejski Tydzień Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy 2006 r.
- 12.35 Doświadczenia przedsiębiorstw w zakresie zatrudniania osób młodych w aspekcie bezpieczeństwa pracy
- 13.15 Dyskusja okrągłego stołu z udziałem osób młodych
- 13.40 Wręczenie certyfikatów uznania kompetencji jednostkom edukacyjnym
- 14.00 Zakończenie seminarium

Karta zgłoszenia uczestnictwa na stronach  
[www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

Kontakt: 022 623 36 83; e-mail: [anmah@ciop.pl](mailto:anmah@ciop.pl)

Termin zgłoszenia upływa 17 marca 2006 r.  
Uczestnictwo w seminarium jest nieodpłatne

