

# Temat 2. Klasyfikacja laserów

## 2.1. Klasyfikacja laserów ze względu na zagrożenie

Wg polskiej normy PN-EN 60825-1:2010 wyróżnia się siedem klas urządzeń laserowych:

- Klasa 1** Całkowicie bezpieczne. Urządzenie laserowe, które nie pozwala na dostęp ludzi do promieniowania przewyższającego granice emisji dla klasy 1, np. 0,39 mW dla pracy ciągłej w paśmie widzialnym  $400 \div 700$  nm. Moc wewnątrz obudowy może być większa.
- Klasa 1M** Urządzenie laserowe w zakresie długości fal 302,5 do 4000 nm o granicach emisji jak w klasie 1 ale mogą stwarzać zagrożenie podczas patrzenia przez przyrządy optyczne.
- Klasa 2** Urządzenia laserowe emitujące promieniowanie widzialne  $400 \div 700$  nm, o mocy ciągłej do 1 mW. Nie są całkowicie bezpieczne ale ochrona oka jest zapewniona przez instynktowne reakcje obronne.
- Klasa 2M** Jak klasa 2 ale mogą stwarzać zagrożenie podczas patrzenia przez przyrządy optyczne.
- Klasa 3R** Emitują promieniowanie  $180 \div 10^6$  nm, o mocy ciągłej do 5 mW dla pasma widzialnego  $400 \div 700$  nm. Potencjalnie zagrażające przy bezpośrednim patrzeniu w wiązkę.
- Klasa 3B** Emitują promieniowanie w obszarze  $180 \div 10^6$  nm, o mocy ciągłej do 0,5 W dla pasma  $315 \div 10^6$  nm. Lasery niebezpieczne przy bezpośredniej ekspozycji oka, wymagane stosowanie okularów ochronnych. Bezpieczne patrzenie na promieniowanie odbite od powierzchni rozpraszającej z odległości nie mniejszej niż 13 cm przy czasie patrzenia do 10 s.
- Klasa 4** Każde urządzenie laserowe pozwalające na dostęp ludzi do promieniowania przewyższającego granice dla klasy 3B. Emisja promieniowania niebezpieczna dla oczu i skóry w każdych warunkach, może wywołać pożar. Zagrożenie może stanowić również promieniowanie odbite i rozproszone.

### **c.d. klasy urządzeń laserowych**

Polska norma PN-EN 60825-1:2010 jest ostatnią wersją opublikowaną w jęz. polskim. Obecnie została ona zastąpiona przez normę PN-EN 60825-1:2014-11 dostępną tylko w języku angielskim, która oprócz drobnych poprawek wprowadza nową klasę:

**Klasa 1C** Wszelkie produkty laserowe przeznaczone wyłącznie do aplikacji kontaktowych na skórę lub tkankę inną niż oko. Podczas pracy należy zapobiegać wszelkim zagrożeniom dla oczu za pomocą środków technicznych, tj. laser nie powinien być w stanie uszkodzić niczyich oczu z założenia. Podczas pracy poziomy narażenia na irradancję lub radiację mogą przekraczać maksymalne dopuszczalne narażenie, na które w normalnych warunkach ludzie mogą być narażeni bez ponoszenia skutków ubocznych, jeżeli jest to konieczne dla zamierzonej procedury leczenia.

Odpowiedzialność za klasyfikację spoczywa na producencie lub jego przedstawicielu.

## Wybrane elementy zabezpieczające wg PN-EN 60825-1:2010

1. Każdy zestaw klasy 3B i 4 powinien mieć:

- łącznik zdalnej blokady,
- nastawnik główny uruchamiany kluczem – promieniowanie nie powinno być dostępne gdy klucz jest wyjęty,
- co najmniej jeden umocowany na stałe tłumik wiązki światła dostępnej dla ludzi.

2. Każde urządzenie laserowe powinno mieć przytwierdzone etykiety wg wzoru:

etykieta ostrzegawcza



etykieta objaśniająca



*np. dla klasy 3B zalecany napis w środku:*

PROMIENIOWANIE LASEROWE  
UNIKAĆ EKSPOZYCJI NA WIĄZKĘ  
URZĄDZENIE LASEROWE KLASY 3B

## 2.2. Klasyfikacja laserów ze względu na budowę i sposób działania

---

Ze względu na sposób działania lasery dzieli się przede wszystkim na:

- lasery impulsowe,
- lasery o pracy ciągłej.

Laser zbudowany jest z trzech podstawowych elementów:

- ośrodek czynny,
- rezonator,
- układ pompujący.

Każdy z tych elementów może być podstawą klasyfikacji laserów.

### 2.2.1. Podział laserów ze względu na rodzaj ośrodka czynnego

Wyróżnia się następujące rodzaje ośrodka czynnego w laserach:

- lasery gazowe (w tym plazmowe),
- lasery barwnikowe,
- lasery na ciele stałym,
- lasery półprzewodnikowe,
- lasery na swobodnych elektronach.

### 2.2.2. Rodzaje rezonatorów

Klasyfikacja rezonatorów może być dokonana na kilka sposobów:

1. Ze względu na geometrię wyróżniono:

- *rezonatory liniowe,*
- *rezonatory pierścieniowe.*

2. Ze względu na połączenie z ośrodkiem czynnym wyróżnia się:

- *rezonatory zewnętrzne* - oddalone od ośrodka,
- *rezonatory wewnętrzne* - ograniczające ośrodek czynny.

Rezonatory wewnętrzne są najczęściej złożone z lusterek płaskich.

3. Ze względu na stabilność rezonatora można wyróżnić:

- *rezonatory astabilne* - część promieniowania opuszcza rezonator przez powierzchnię boczną,
- *rezonatory stabilne* - zapewniające ogniskowanie wiązki tak, że energia opuszcza rezonator tylko poprzez zwierciadła.

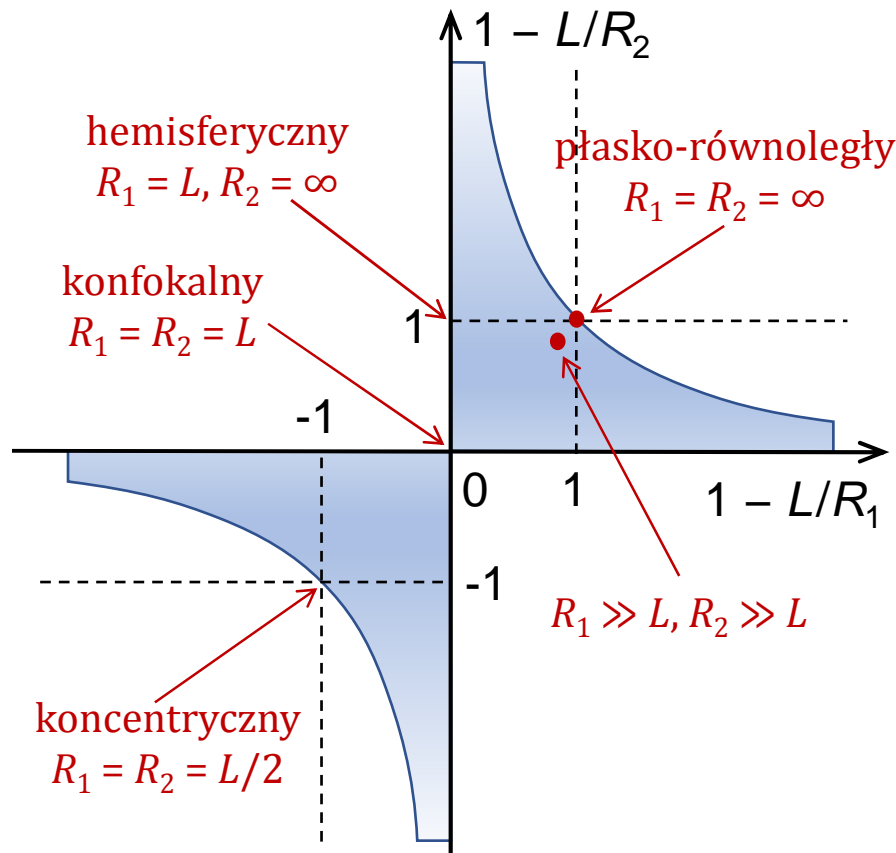
### c.d. stabilność rezonatorów

W przypadku często stosowanego układu dwóch zwierciadeł płaskich lub sferycznych warunek stabilności rezonatora ma postać [1,2]:

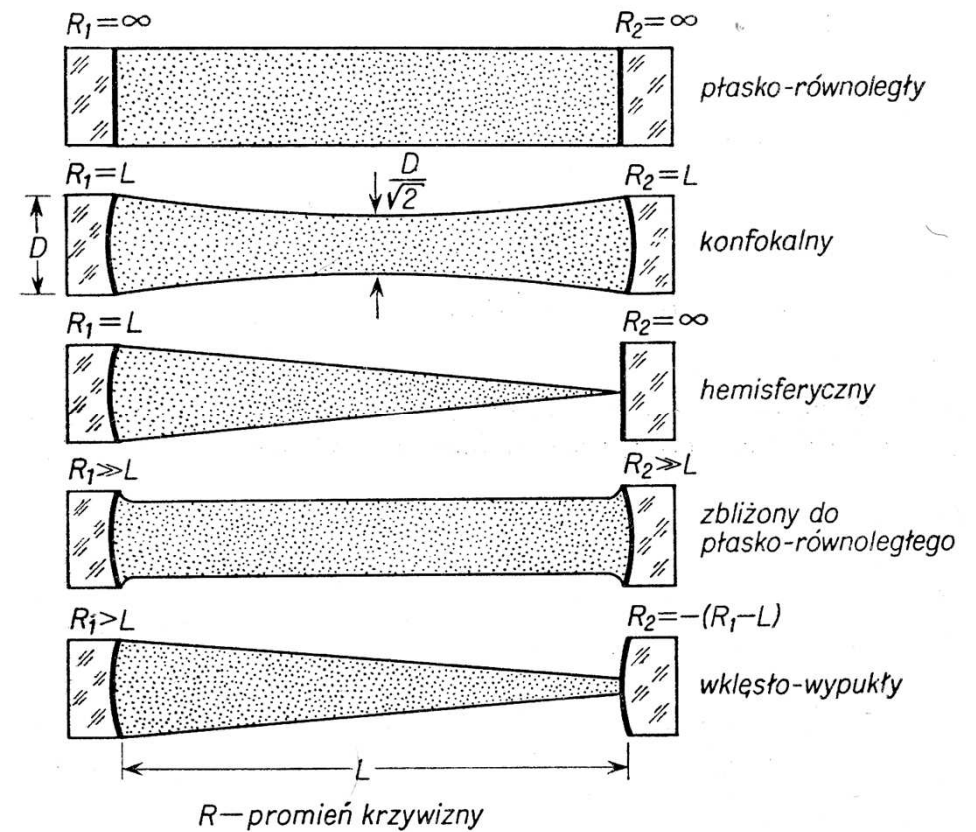
$$0 < \left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) < 1, \quad (2.1)$$

$L$  – odległość zwierciadeł,

$R_1$  i  $R_2$  – promienie krzywizn zwierciadeł.



Rys. 2.1. Diagram stabilności rezonatora.



Rys. 2.2. Wiązki światła w najczęściej stosowanych rezonatorach [2].

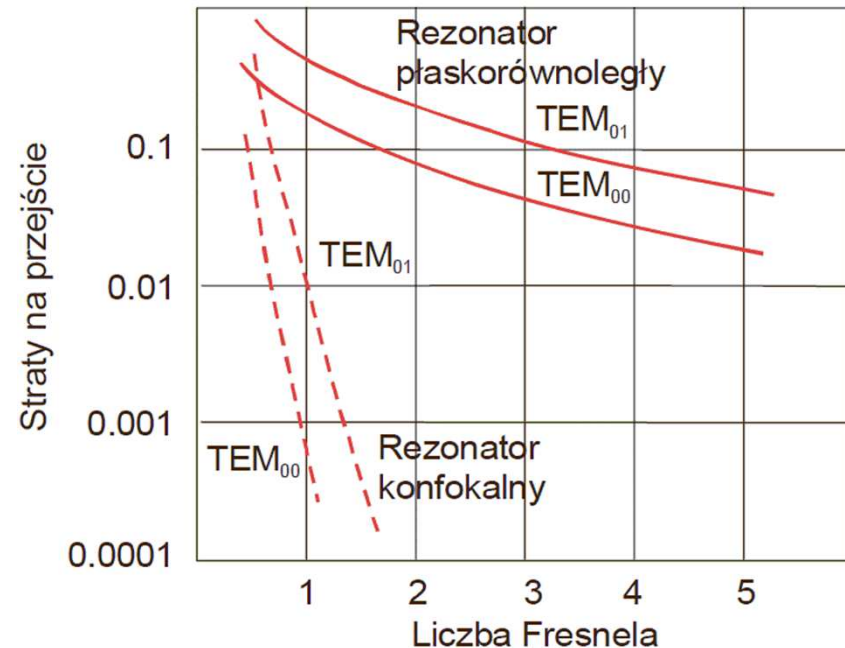
### c.d. stabilność rezonatorów

Wybór najkorzystniejszego rezonatora wiąże się m.in. ze współczynnikiem wzmocnienia:

- ośrodek o małym wzmocnieniu wymaga zapewnienia dużego sprzężenia zwrotnego, które osiąga się łatwiej w rezonatorach stabilnych,
- w ośrodku o dużym wzmocnieniu korzystniejszy jest rezonator niestabilny.

O wyborze rezonatora decyduje także tendencja do koncentrowania promieniowania w małym obszarze ośrodka czynnego (rys. 2.2), co jest niekorzystne.

Źródłem strat mocy są przede wszystkim skończone apertury zwierciadeł oraz ośrodka czynnego. Obliczenia numeryczne pokazują, że rezonatory spełniające kryterium stabilności (2.1) w sposób graniczny, mogą różnić się znacznie stratami, np. rezonator płasko-równoległy i konfokalny (rys. 2.3)



**Rys. 2.3.** Straty mocy na jedno przejście światła w rezonatorze płasko-równoległym i konfokalnym [1]. Liczba Fresnela  $N = a^2/L\lambda$ , gdzie  $a$  jest promieniem lustra,  $L$  długością rezonatora,  $\lambda$  długością fali.

### 2.2.3. Metody pompowania w laserach

*Układem pompującym* nazywamy urządzenie, które dostarcza energię potrzebną do uzyskania inwersji obsadzeń i osiągnięcia warunku progowego. Najważniejsze metody pompowania:

1. *Pompowanie optyczne* – wzbudzenie wyższego stanu laserowego przez absorpcję światła emitowanego przez lampy błyskowe, diody elektroluminescencyjne lub inne lasery.
- 2\* . *Pompowanie przez nieelastyczne zderzenia elektronów* powstających np. podczas wyładowania w gazie, z atomami ośrodka czynnego.
- 3\* . *Pompowanie przez elastyczne zderzenia atomów/cząsteczek* wzbudzonych z atomami niewzbudzonymi innego rodzaju - dochodzi do wzbudzenia rezonansowego tych drugich.
4. *Pompowanie chemiczne* – wykorzystuje się egzotermiczne chemiczne reakcje fotosyntezy, które powodują selektywne wzbudzanie produktów reakcji do odpowiednich stanów laserowych. Reakcje inicjowane są zwykle przez silną wiązkę światła lampy błyskowej lub innego lasera.
5. *Pompowanie rekombinacyjne* – polega na wzbudzeniu w wyniku rekombinacji elektronów i jonów w plazmie.
6. *Pompowanie prądem elektrycznym* płynącym przez złącze p-n w laserach półprzewodnikowych.
7. *Pompowanie termiczne*.

\* - omówione dokładnie w części dotyczącej lasera He-Ne.



# Literatura do tematu 2

---

- [1] B. Ziętek, „*Lasery*”, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
- [2] F. Kaczmarek, „*Wstęp do fizyki laserów*”, wydanie 2, PWN, Warszawa 1986.
- PN-EN 60825-1:2010, „*Bezpieczeństwo urządzeń laserowych -- Część 1: Klasyfikacja sprzętu i wymagania*”,
- PN-EN 60825-1:2014-11 (dostępna tylko wersja w jęz. angielskim), „*Safety of laser products -- Part 1: Equipment classification and requirements*”.