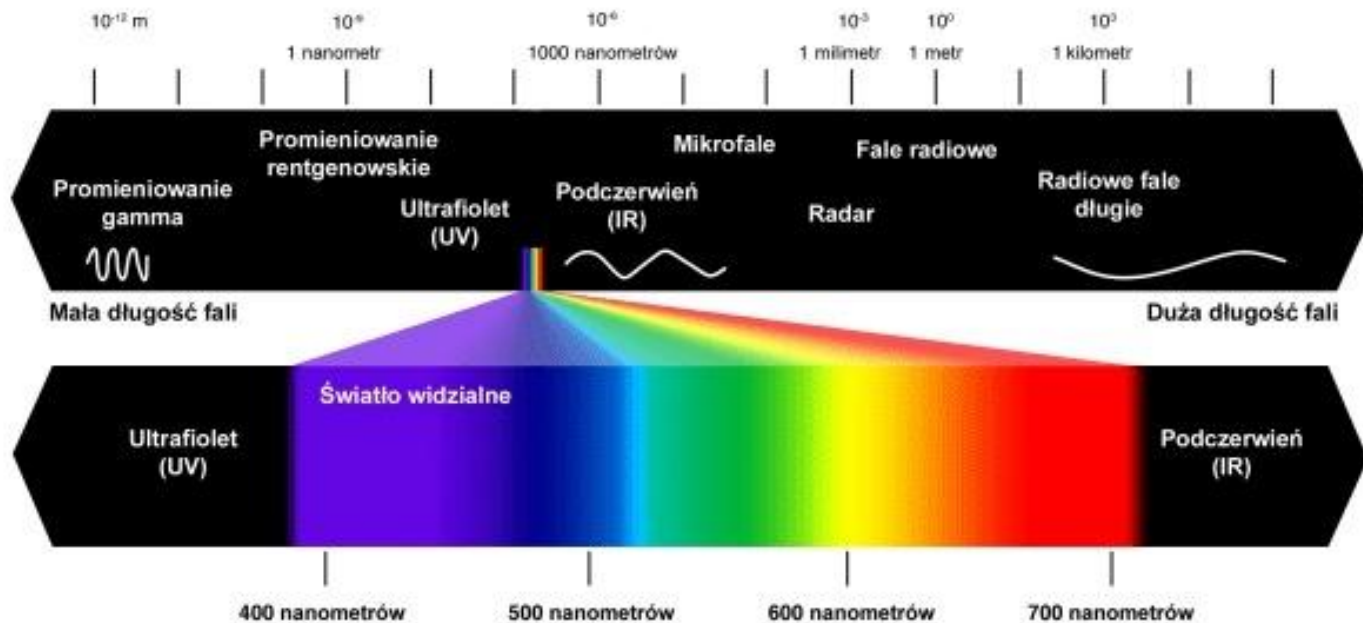


Nielaserowe promieniowanie optyczne

Charakterystyka promieniowania optycznego

- ▶ Promieniowanie optyczne jest ważnym czynnikiem środowiska o dużej aktywności biologicznej niezbędnym do prawidłowego rozwoju i działalności człowieka. Jednak jego nadmiar powoduje szereg niekorzystnych efektów biologicznych, które stwarzają zagrożenie dla zdrowia, prowadząc do uszkodzenia **oczu lub skóry**.
- ▶ Promieniowanie to zalicza się do czynników szkodliwych w środowisku pracy.
- ▶ Skutki biologiczne ekspozycji zależą od widma promieniowania, jego natężenia, czasu narażenia oraz rodzaju eksponowanej tkanki.

Promieniowanie optyczne



Źródło: <http://www.swiatobrazu.pl/fotografia-od-a-do-z-swiatlo-23988.html>

Promieniowania nadfioletowe

- ▶ Zakres promieniowania nadfioletowego: 100–400 nm; poniżej 200 nm nadfiolet próżniowy, praktycznie pochłaniany przez nawet cienkie warstwy powietrza.
- ▶ Energia fotonów promieniowania UV wynosi od 124 eV do 3,2 eV (im krótsza długość fali tym większa energia fotonu).
- ▶ Energia fotonów wystarczająca do spowodowania zmian w wiązaniach molekularnych;
- ▶ Wywołuje w tkankach reakcje fotochemiczne.
- ▶ Dzieli się na trzy podzakresy:

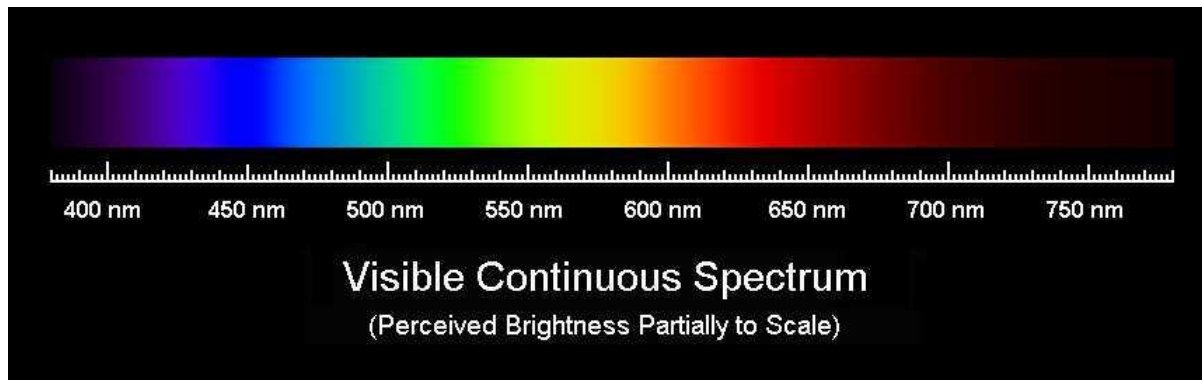
UVA: 315 – 400 nm

UVB: 280 – 315 nm

UVC: 100 – 280 nm

Promieniowanie widzialne

- ▶ Promieniowanie optyczne zdolne do bezpośredniego wywoływania wrażeń wzrokowych
- ▶ Zakres promieniowania widzialnego od 380 – 780 nm; każdej długości fali odpowiada inna barwa światła.



- ▶ Energia fotonów promieniowania VIS wynosi od 3,2 eV do 1,6 eV (im krótsza długość fali tym większa energia fotonu).
- ▶ Może wywoływać w tkankach reakcje fotochemiczne lub termiczne.

Promieniowanie podczerwone

- ▶ Zakres promieniowania IR od 780 nm – 1 mm;
- ▶ Energia fotonów promieniowania IR wynosi od 1,24 meV do 1,6 eV (im krótsza długość fali tym większa energia fotonu).
- ▶ Może wywoływać w tkankach reakcje termiczne.
- ▶ Dzieli się na trzy podzakresy:

IRA: 780 – 1400 nm

IRB: 1400 – 3000 nm

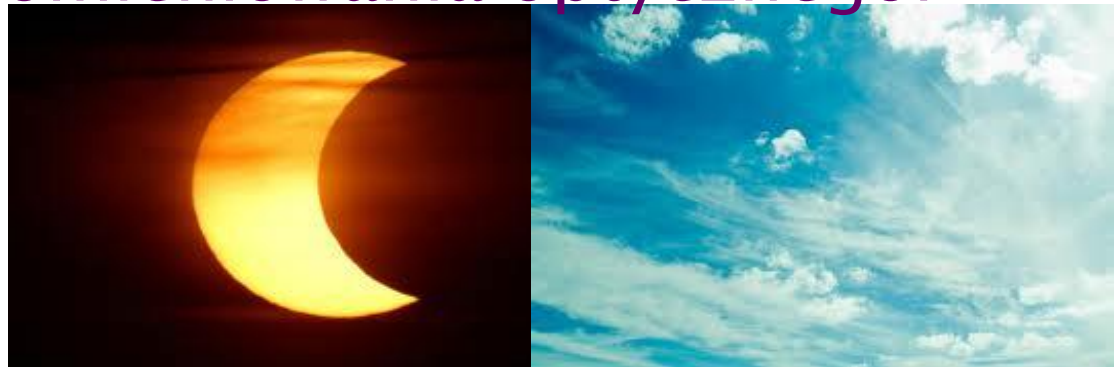
IRC: 3000 nm – 1 mm

Źródła ekspozycji w środowisku pracy i życia

Podział źródeł promieniowania optycznego:

➤ Naturalne:

- nieboskłon,
- Słońce,
- Księżyc,
- gwiazdy, planety



➤ Sztuczne:

- źródła elektryczne,
- procesy technologiczne



Sztuczne źródła promieniowania

Źródła elektryczne:

- Promienniki nadfioletu



- Promienniki podczerwieni

- Źródła promieniowania widzialnego



Sztuczne źródła promieniowania

► Procesy technologiczne

- Spawanie
- Wytop metali
- Piece szklarskie



Urządzenia emitujące promieniowanie optyczne

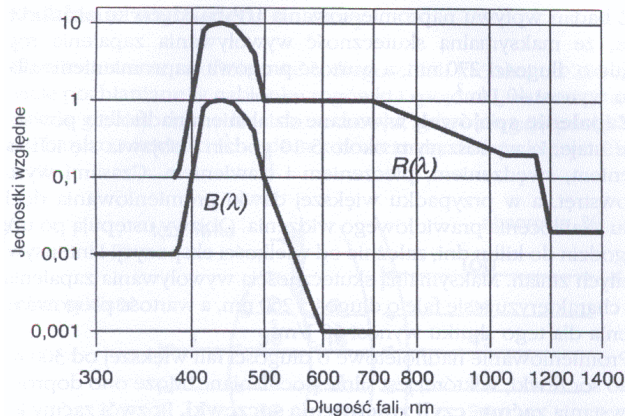
- ▶ Testery do banknotów (UV-A)
- ▶ Defektoskopy (UV-A)
- ▶ Solaria (UV-A + UV-B)
- ▶ Lamy bakteriobójcze (UV-C)
- ▶ Ceramiczne promienniki podczerwieni
- ▶ Urządzenia do dezynfekcji wody (UV)
- ▶ Urządzenia do dezynfekcji powietrza (UV-B + UV-C)
- ▶ Kuchnie, taborety IR (gastronomia)
- ▶ Suszarki do włosów, lokówki, żelazka, prodiże, piekarniki

Urządzenia przemysłowe emitujące promieniowanie

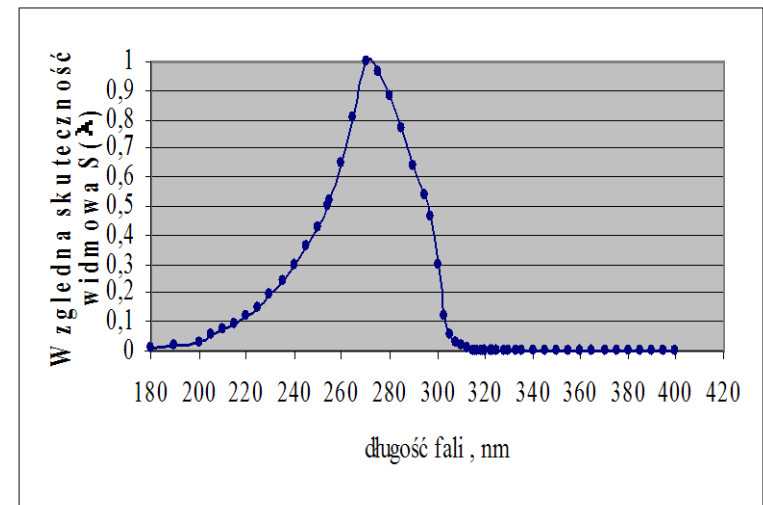
- **Poligrafia** – tunele suszące do farb UV,
 - plotery tablicowe,
 - kopioramy UV,
 - kopioramy offsetowe (VIS),
 - Kserokopiarki (VIS)
 - suszarnie offsetowe (IR)
- **Przemysł drzewny** – kotły do suszenia drzewa, – produkcja fornirów
- **Przemysł elektroniczny** – utwardzanie odwodów drukowanych
- **Przemysł spożywczy** – dezynfekcja
- **Medycyna** (leczenie żółtaczki fizjologicznej, łuszczycy, urządzenia terapeutyczne)

Rozkład widmowy skuteczności biologicznej promieniowania optycznego

- Rozkład widmowy promieniowania charakterystyczny dla danego rodzaju skutku biologicznego. Stosowanie określonych funkcji skuteczności widmowej modyfikuje parametry widmowego natężenia napromienienia, napromienienia lub luminancji energetycznej w celu uwzględnienia niekorzystnych dla zdrowia skutków, w zależności od długości fali.



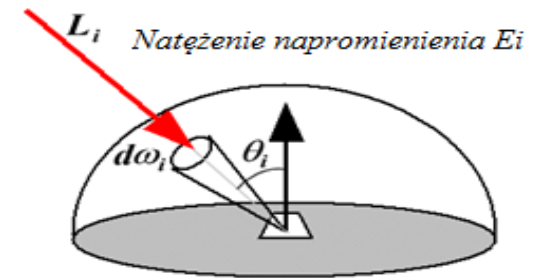
$B(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka,
 $R(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności uszkodzenia termicznego siatkówki oka.



$S(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń oczu i skóry przez promieniowanie UV

Natężenie napromienienia, luminancja energetyczna, napromienienie

- ▶ **Natężenie napromienienia E_i** (w danym punkcie powierzchni) – to iloraz strumienia energetycznego padającego na elementarną powierzchnię, zawierającą dany punkt, do jej pola powierzchni, czyli inaczej jest to gęstość powierzchniowa strumienia energetycznego; Jednostka: $W \cdot m^{-2}$.
- ▶ **Luminancja energetyczna L_i (radiancja)** – strumień energetyczny wysyłany w określonym kącie bryłowym; θ_i – kąt między normalną do powierzchni a kierunkiem rozchodzenia się wiązki promieniowania. Jednostka: $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-2}$
- ▶ **Napromienienie H** jest iloczynem natężenia napromienienia E_i i czasu jego trwania (t). Inaczej nazywane dawka. Jednostka: $J \cdot m^{-2}$.



$$E_i = \int_{\Omega_i} L_i \cos \theta_i d\omega_i$$

Czas ekspozycji

- ▶ **Czas jednorazowej ekspozycji na promieniowanie** – czas pojedynczej ekspozycji oka lub skóry na promieniowanie widzialne lub podczerwone, podczas wykonywania określonych czynności.
- ▶ **Całkowity czas ekspozycji na promieniowanie** – łączny czas ekspozycji oka lub skóry na promieniowanie optyczne podczas wykonywania określonych czynności, w ciągu całej zmiany roboczej.

Skutki szkodliwe ekspozycji na promieniowanie UV i światło niebieskie (Skutki fotochemiczne)

Zakres, nm	narząd	Skutki szkodliwe	
		ostre	chroniczne
UV: 180–400	oko	zapalenie rogówki, zapalenie spojówki	skrzydlik, nowotwory, rak
	skóra	erytema, oparzenia fotodermatozy	fotostarzenie, fotoalergie, nowotwory rak skóry (w tym czerniak)
UVA: 315–400	oko	–	Zaćma fotochemiczna
Światło niebieskie: 300÷700	oko	stany zapalne siatkówki	zwyrodnienia siatkówki i naczyniówki

Skutki szkodliwe ekspozycji na promieniowanie VIS i IR (skutki termiczne)

Zakres, nm	narząd	Skutki szkodliwe	
		ostre	chroniczne
VIS i IRA: 380 ÷ 1 400	oko	oparzenia, krwawienia siatkówki	zwyrodnienia siatkówki i naczyniówki
IRA i IRB: 780 ÷ 3 000	oko	oparzenie rogówki	zaćma podczerwienią, wysuszenie rogówki, stany zapalne tęczówek i spojówek
VIS, IRA i IRB: 380 – 3000	skóra	Zaczerwienienie, oparzenia	Wysuszenie i stany zapalne powiek

MDE oczu i skóry – promieniowanie UV

- najwyższa dopuszczalna **wartość skuteczna napromienienia oka i skóry** (przy uwzględnieniu względnej skuteczności widmowej S_λ) w ciągu dobowego wymiaru czasu pracy, bez względu na długość jego trwania, wynosi **30 J/m²**
- dodatkowo, w celu niedopuszczenia do zaćmy fotochemicznej, najwyższe dopuszczalne **całkowite (nieselektywne) napromienienie oka** promieniowaniem pasma 315 – 400 nm wynosi **10 000 J/m²** w ciągu dobowego wymiaru czasu pracy.

MDE oczu– światło niebieskie (zagrożenie fotochemiczne siatkówki)

Duże źródła $\alpha \geq 11$ mrad	Małe źródła $\alpha < 11$ mrad	Czas ekspozycji (całkowity)
$L_B = 10^6 / t$ [W·m ⁻² ·sr ⁻¹]	$E_B = 100 / t$ [W·m ⁻²]	$t \leq 10\,000$ s (166 min 40 s)
$L_B = 100$ [W·m ⁻² ·sr ⁻¹]	$E_B = 0,01$ [W·m ⁻²]	$t > 10\,000$ s

α – kąt widzenia źródła promieniowania

Wartości L_B i E_B wyznaczone przy uwzględnieniu względnej skuteczności widmowej uszkodzenia fotochemicznego siatkówki B_λ

MDE oczu – promieniowanie VIS i IRA (zagrożenie termiczne siatkówki)

Zagrożenie termiczne siatkówki	Współczynnik przeliczeniowy C_α	Kąt widzenia źródła α , mrad	MDE dla czasów jednorazowej ekspozycji	
			$t > 10$ s	10^{-6} s $\leq t \leq 10$ s
VIS+IRA (380–1400 nm)	$C_\alpha = 1,7$	$\alpha \leq 1,7$	$L_R = 2,8 \cdot 10^7 / C_\alpha$	$L_R \leq 5 \cdot 10^7 / (C_\alpha \cdot t^{0,25})$
	$C_\alpha = \alpha$	$1,7 \leq \alpha \leq 100$		
	$C_\alpha = 100$	$\alpha > 100$		
IRA (780–1400 nm)	$C_\alpha = 11$	$\alpha \leq 11$	$L_R = 6 \cdot 10^6 / C_\alpha$	
	$C_\alpha = \alpha$	$11 \leq \alpha \leq 100$		
	$C_\alpha = 100$	$\alpha > 100$		

α – kąt widzenia źródła promieniowania

Wartości L_R wyznaczone przy uwzględnieniu względnej skuteczności widmowej uszkodzenia termicznego siatkówki R_λ

MDE oczu i skóry– promieniowanie VIS, IRA i IRB

- ▶ **Zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka** promieniowaniem z zakresu 780 – 3000 nm:

$$E_{IR} = 18\,000 t_i^{-0,75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

gdy czas jednorazowej ekspozycji $t_i < 1\,000$ s,

lub:

$$E_{IR} = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2},$$

gdy czas jednorazowej ekspozycji $t_i \geq 1\,000$ s.

- ▶ **Zagrożenie termiczne skóry** promieniowaniem z zakresu 380 – 3000 nm:

$$H_{skóra} = 20\,000 \cdot t_i^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tylko dla $t < 10$ s!

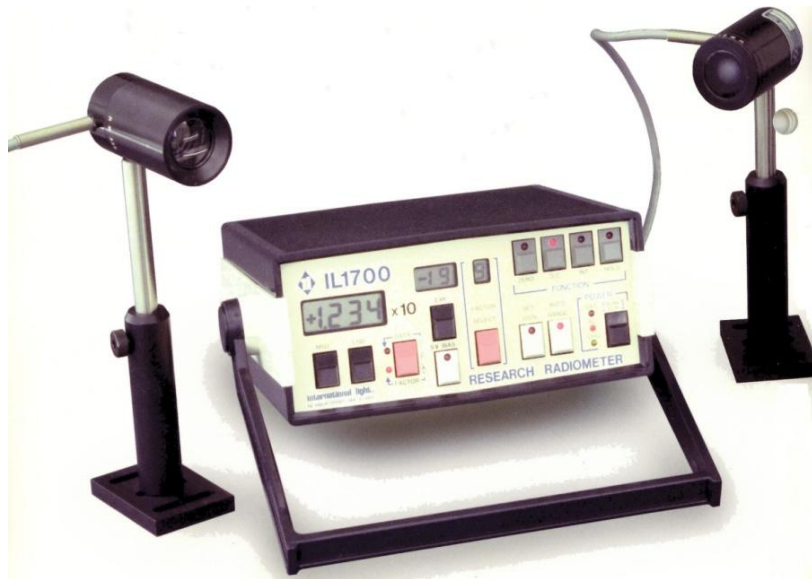
Metody badań promieniowania optycznego na stanowiskach pracy

- ▶ **Metoda radiometryczna**
 - statyczny radiometr szerokopasmowy.
- ▶ **Metoda spektrometryczna**
 - spektrometr z matrycą detektorów,
 - spektrometr skanujący.
- ▶ **Metoda dozymetryczna**
 - pasywny dozymetr ochrony osobistej,
 - aktywny dozymetr ochrony osobistej.

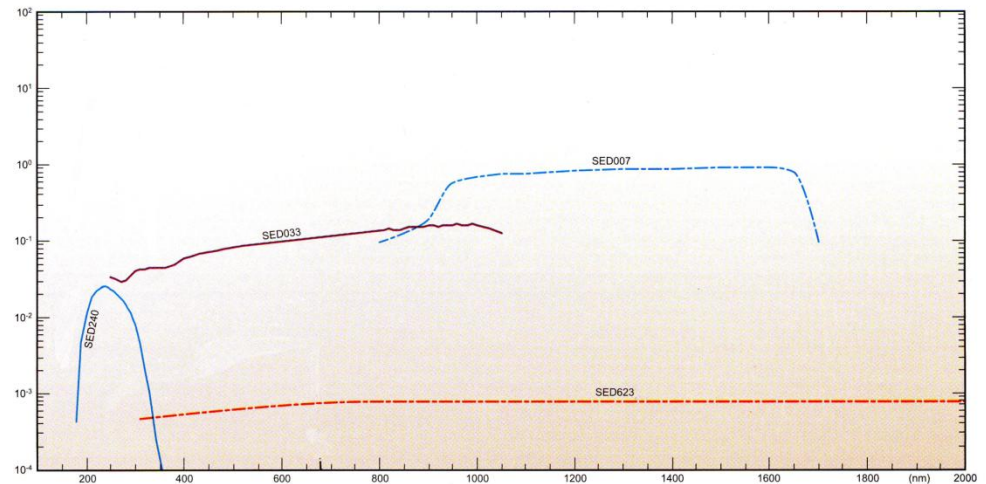
Metoda radiometryczna

- szybki pomiar oraz bezpośredni odczyt wartości mierzonej
- wykalibrowanie sond do pomiaru:
 - skutecznego napromienienia (H_S) lub skutecznego natężenia napromienienia (E_S) do krzywej $S(\lambda)$.
 - skutecznej radiancji (L_B) lub skutecznego natężenia napromienienia (E_B) do krzywej $B(\lambda)$,
 - skutecznej radiancji (L_R) do krzywej wywoływania uszkodzeń termicznych $R(\lambda)$,
 - zagrożenia soczewki oka promieniowaniem UV-A, rogówki i soczewki oka promieniowaniem z zakresu IR-A i IR-B oraz skóry z zakresu VIS, IR-A i IR-B
- charakterystyka sond liniowa,
- zakres widmowy musi pokrywać się z wymaganym przez MDE.

Radiometr szerokopasmowy



Radiometr IL 1700 z dwoma przykładowymi sondami
 [<http://www.intl-lighttech.com>]

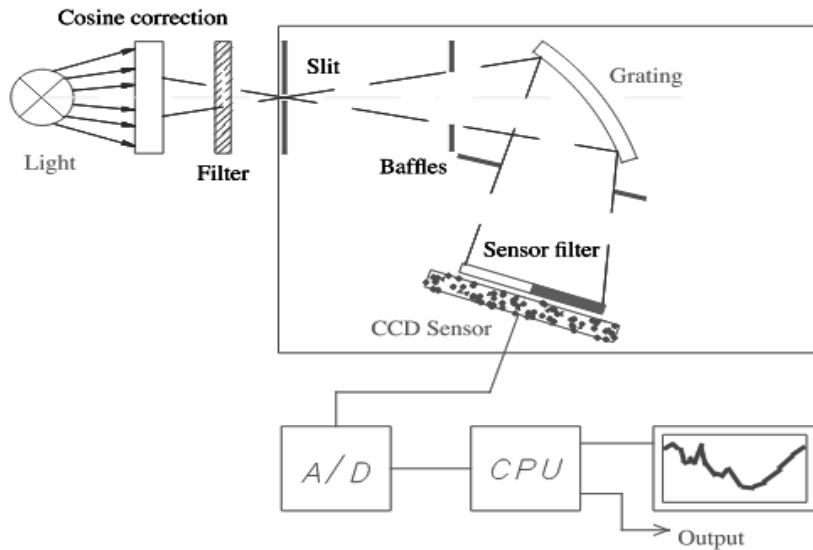


Zakresy pomiarowe sond przeznaczonych do radiometru ILT 1700
 [<http://www.intl-lighttech.com>]

Metoda spektrometrii

- pomiar widmowego natężenia napromienienia – kula całkująca lub widmowej luminancji energetycznej (radiacji) – teleskop – źródła promieniowania,
- przydatna jest tylko w przypadku pomiarów statycznych,
- statyczny spektrometr z matrycą detektorów zapewnia szybki pomiar widmowego natężenia napromienienia źródeł promieniowania stałych lub zmieniających się w czasie,
- skanujący spektrometr statyczny zapewnia bardzo dokładny pomiar widmowego natężenia napromienienia – tylko źródeł promieniowania nie zmieniających się w czasie.

Metoda spektrometryczna – sprzęt pomiarowy



Schemat systemu
spektrometrycznego

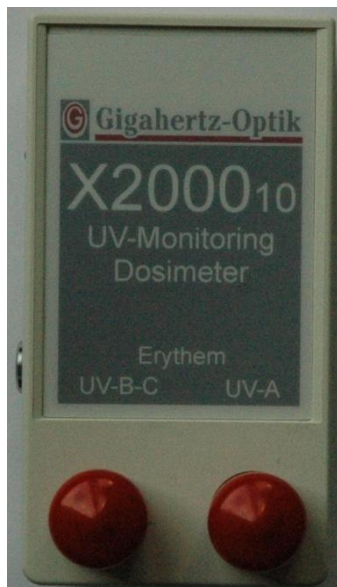


widok systemu
spektrometrycznego

Metoda dozymetryczna

- reprezentatywny pomiar na osobie napromienienia promieniowaniem nadfioletowym,
- dodatkowy pomiar czasu jest zbędny,
- możliwość wyznaczenia rozkładu ekspozycji na ciele pracownika,
- konieczność użycia więcej niż jednego dozymetru do oceny napromienienia.

Metoda dozymetryczna – sprzęt pomiarowy



- ▶ W przypadku dozymetrów aktywnych wynik pomiaru jest możliwy do odczytu w czasie rzeczywistym

Przykładowy pasywny dozymetr osobisty
X2000-10 Gigahertz-Optik GmbH (Niemcy)
– wynik z pomiaru jest możliwy do otrzymania
po zakończonym pomiarze

Ocena bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych

- ▶ Ocena poprzez pomiar szerokopasmowy i widmowy:
 - natężenia napromienienia,
 - luminancji energetycznej (radiacji).
- ▶ Pomiary natężenia napromienienia stosuje się do zagrożeń:
 - oka w zakresie 315 – 400 nm,
 - oka i skóry promieniowaniem aktywnym UV,
 - oka promieniowaniem podczerwonym,
 - termicznych skóry.
- ▶ Pomiary widmowej luminancji energetycznej stosuje się do następujących zagrożeń:
 - siatkówki oka światłem niebieskim,
 - termicznych siatkówki oka – przy silnym i słabym bodźcu świetlnym.

Wykaz rozporządzeń związanych z ekspozycją zawodową na promieniowanie optyczne (1)

1. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. *w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne* (Dz.U. 2010 nr 100, poz. 643, zm.: Dz.U. 2012 poz. 787, t.j. Dz.U. 2013 poz. 1619)
2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2018 poz. 1286)
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. *w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166).
4. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. *w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy* (Dz.U. 2010 nr 240 poz. 1611, ze zmianami, t.j. Dz.U.2016 poz. 2067)



Wykaz rozporządzeń związanych z ekspozycją zawodową na promieniowanie optyczne (2)

5. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. *w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac* (Dz.U. 2005, nr 200 poz. 2047, zm: Dz.U. 2005 nr 136 poz. 1145, Dz.U. nr 107 poz. 724, Dz.U. 2015 poz. 929, t.j. Dz.U. 2-16 poz. 1509).
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. *w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią* (Dz.U. 2017 poz. 796).
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. *w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy* (Dz. U. 2004 nr 180, poz. 1860, zm: Dz.U. 2005 nr 116 poz. 972, Dz.U. 2007 nr 196 poz. 1420, Dz.U. 2019 poz. 1099).
8. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. *w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy* (Dz.U. 1997 nr 129 poz. 844, t.j. Dz.U. 2003 nr 169, poz. 1650, zm: Dz.U. 2007 nr 49 poz. 330, Dz.U. 2008 nr 108, poz. 690, Dz.U. 2011 nr 173, poz. 1034).

Rozporządzenie w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne

- ▶ Określa minimalne wymagania bhp przy ekspozycji na sztuczne promieniowanie optyczne: nielaserowe i laserowe, dotyczące:
 1. Wyznaczania poziomu ekspozycji
 2. Oceny ryzyka zawodowego
 3. Unikania lub ograniczania ryzyka zawodowego
 4. Informowania i szkolenia pracowników

Rozporządzenie zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środkowisku pracy

- ▶ Określa wartości najwyższych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na promieniowanie optyczne.

Rozporządzenie w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy

Rozporządzenie określa:

- ▶ Tryb, metody i częstotliwość wykonywania pomiarów,
- ▶ wymagania, jakie powinny spełniać laboratoria wykonujące badania i pomiary
- ▶ sposób rejestrowania i przechowywania wyników badań i pomiarów;
- ▶ wzory dokumentów oraz sposób udostępniania wyników badań i pomiarów pracownikom

Rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac

Zabrania się wykonywania prac młodocianym w narażeniu na szkodliwe działanie czynników fizycznych, do których zalicza się:

- prace w warunkach narażenia na promieniowanie nadfioletowe, zwłaszcza emitowane przez technologiczne urządzenia przemysłowe, w tym w szczególności przy spawaniu, cięciu i napawaniu metali.
- prace w warunkach narażenia na promieniowanie podczerwone, w tym w szczególności przy piecach hutniczych i grzewczych oraz spiekaniu, odlewaniu, walcowaniu i kuciu metali.

Rozporządzenie w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy

- Określa zakres badań wstępnych i okresowych przy ekspozycji na poszczególne zakresy promieniowania optycznego
- Na podstawie przekazanych przez pracodawcę informacji o występowaniu promieniowania nadfioletowego lub podczerwonego na stanowisku pracy danego pracownika, **w tym również aktualnych wyników pomiarów**, lekarz prowadzący badanie profilaktyczne określa zakres badań wstępnych i okresowych.

Rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionym kobietom

- ▶ Określa, w *Wykazie prac wzbronionym kobietom – dla kobiet w ciąży* ograniczenie wartości MDE do $\frac{1}{4}$ wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń promieniowania nadfioletowego, określonych w przepisach w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

Sposoby ograniczania ryzyka zawodowego

- ▶ Pierwszą zasadą ochrony pracowników przed promieniowaniem optycznym jest unikanie ekspozycji na to promieniowanie.
- ▶ Jeśli nie jest to jednak możliwe wówczas ogólna zasada ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją na to promieniowanie stanowi połączenie trzech podstawowych rodzajów działań profilaktycznych:
 1. ograniczenie czasu ekspozycji
 2. zapewnienie jak największej odległości pracownika od źródła promieniowania
 3. osłanianie przed promieniowaniem

Sposoby ograniczania narażenia na promieniowanie optyczne

Wszędzie tam, gdzie źródła promieniowania optycznego stanowią o zagrożeniu dla zdrowia pracowników, pracodawcy zobligowani są do zapewnienia im ochrony przed ekspozycją poprzez zastosowanie środków:

- ▶ **Technicznych**

(osłony źródła, detektory, alarmy itp.)

- ▶ **administracyjnych**

(informowanie, szkolenie, organizacja pracy)

- ▶ **środków ochrony indywidualnej.**

Profilaktyka organizacyjna

Do środków administracyjnych zalicza się:

- ▶ Procedury / programy działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu MDE
- ▶ Prawidłowość oznakowania miejsca pracy / urządzenia znakami bezpieczeństwa
- ▶ Oddalenie miejsca przebywania pracownika od źródła promieniowania
- ▶ Przekazywanie lekarzowi medycyny pracy wykonującemu badania profilaktyczne wyników oceny ryzyka zawodowego
- ▶ Analizowanie przekazanych przez lekarza medycyny pracy wyników badań profilaktycznych pod względem występowania schorzeń wynikających z ekspozycji na promieniowanie optyczne
- ▶ Szkolenie pracowników i informowanie ich o ryzyku zawodowym oraz podjętych środkach w celu jego ograniczenia

Profilaktyka techniczna

- ▶ Środki techniczne polegają na ograniczeniu promieniowania u źródła lub na zastosowaniu środków ochrony zbiorowej.
- ▶ Do środków technicznych ograniczających narażenie zalicza się: obudowy ochronne, ekrany ochronne, blokady bezpieczeństwa, wyłączniki o opóźnionym działaniu, zdalne sterowanie, wzierniki i okienka z filtrami ochronnymi, tłumiki wiązki, osprzęt do justowania wiązki laserowej, sygnały ostrzegawcze i dźwiękowe.

- ▶ Jeśli poziom ekspozycji pracownika nie może być ograniczony poprzez wymienione wcześniej środki techniczne i administracyjne, wówczas należy zastosować środki ochrony indywidualnej.
- ▶ Celem środków ochrony indywidualnej jest ograniczenie promieniowania optycznego do poziomu, który nie wywołuje niekorzystnych dla zdrowia skutków, czyli poniżej wartości MDE.
- ▶ Do podstawowych środków ochrony indywidualnej przed promieniowaniem optycznym zalicza się:
 - ❖ środki ochrony oczu (okulary, gogle ochronne)
 - ❖ środki ochrony oczu i twarzy (tarcze lub przyłbice, osłony twarzy)
 - ❖ odzież ochronna
 - ❖ rękawice ochronne
 - ❖ obuwie ochronne.