

PODSTAWY EKSPLOATACJI MASZYN

Laboratorium · Ćwiczenie 4

Projektowanie zabezpieczeń strefy pracy człowieka

Osłony · kurtyny świetlne · odległości bezpieczeństwa



**Akademia
Techniczno-Artystyczna**
Nauk Stosowanych w Warszawie

Opracował: dr inż. Radosław Gościński

Akademia Techniczno-Artystyczna Nauk Stosowanych w Warszawie

Rok akademicki 2026/2027

1. Cel i założenia ćwiczenia

Cel. Zaprojektowanie zabezpieczeń stanowiska przeanalizowanego w ćwiczeniu 3: osłon stałych i drzwi, optoelektronicznych urządzeń ochronnych wraz z obliczeniem odległości bezpieczeństwa, wyłączników awaryjnych i urządzeń sterowania dwuręcznego, a także środków ochrony indywidualnej i procedur bezpiecznej pracy.

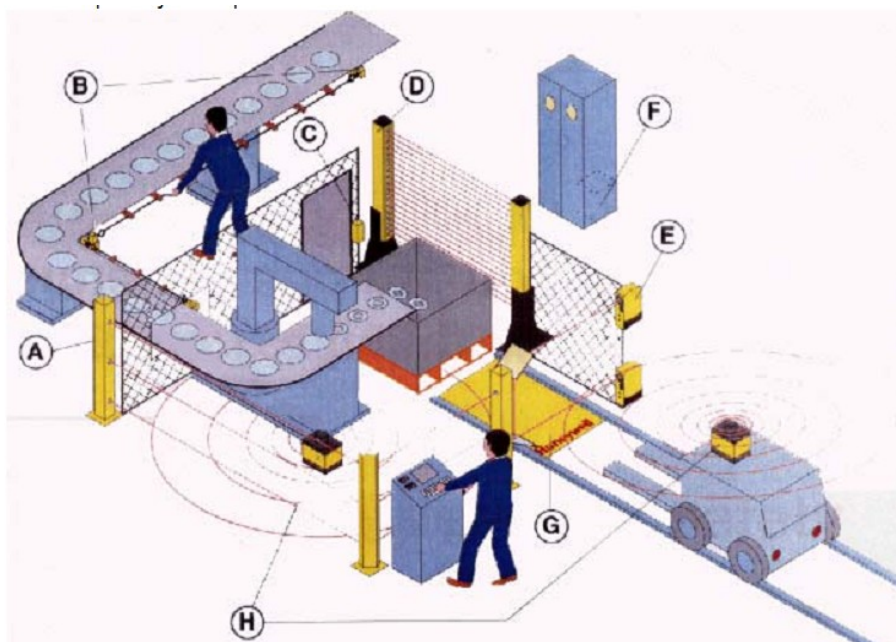
Dane wejściowe. Wypełniony arkusz badania z ćwiczenia 3 (ten sam temat t1-t7) oraz katalogi producentów urządzeń bezpieczeństwa (np. SICK, Pilz, Schmersal, Bosch Rexroth, Item, Axelent, Troax).

Organizacja.

- Ten sam zespół i to samo stanowisko co w ćwiczeniu 3.
- Na zajęciach (ok. 80 min): rysunek stanowiska z objętościami, przebieg osłon, dobór i rozmieszczenie urządzeń optoelektronicznych z obliczeniami.
- W domu: procedury bezpiecznej pracy, ponowna ocena ryzyka i raport.
- Raport w formacie PDF, nazwa pliku: PEM_Cw4_<numer zespołu>.pdf.

2. Urządzenia ochrony strefy pracy człowieka

W praktyce konstrukcyjnej rodzaj urządzeń zabezpieczających zależy przede wszystkim od wielkości chronionej strefy, częstotliwości jej naruszania oraz kosztów instalacji. Często łatwiej jest zmienić konstrukcję urządzenia i dodać ogrodzenie trwałe niż stosować inne urządzenia zabezpieczające. Rozwiązaniem optymalnym jest takie odgrodzenie urządzenia, aby operator nie mógł i nie musiał przebywać w jego pobliżu.



Kompleksowe zabezpieczenie strefy pracy w zautomatyzowanym gnieździe produkcyjnym.

Oznaczenie	Urządzenie	Funkcja
A	bariera świetlna (wielowiązkowa)	wykrywa wkroczenie do strefy niebezpiecznej
B	wyłącznik awaryjny linkowy	zatrzymanie maszyny z dowolnego

Oznaczenie	Urządzenie	Funkcja
		miejsca wzdłuż transportera
C	zamek z kluczem, rygłem i blokadą	wykrywa i blokuje otwarcie drzwi wejściowych
D	kurtyna świetlna	wykrywa sięganie do strefy niebezpiecznej
E	pojedynczy promień świetlny	wykrywa wjazd pojazdu do strefy
F	sterowniki urządzeń bezpieczeństwa	przetwarzanie sygnałów wszystkich urządzeń ochronnych
G	mata naciskowa	wykrywa przebywanie w strefie niebezpiecznej
H	skaner laserowy	wykrywa przebywanie w programowalnym obszarze

Kurtyny świetlne i skanery laserowe należą do grupy **optoelektronicznych urządzeń ochronnych**. Przy ich stosowaniu trzeba dobrać właściwą **rozdzielczość** – wielkość najmniejszego wykrywanego obiektu: od 14–16 mm dla palców i dłoni, przez ok. 30–35 mm dla ręki i nogi, do większych wartości dla całej sylwetki. Wyróżnia się trzy funkcje: **ochronę punktu** (małej strefy), **nadzorowanie dostępu** i **nadzorowanie powierzchni**.

Funkcja	Zalety	Wady
Ochrona punktu – nawet najmniejsza część kończyny nie przekroczy bariery (np. operator podaje detale do obróbki)	krótki dystans, wysoka wydajność, ergonomia	wysoki koszt urządzenia
Nadzorowanie dostępu – nie można przekroczyć bariery całym ciałem; każde przekroczenie jest sygnalizowane	niski koszt	duży dystans, niższa wydajność, brak wykrywania obecności w strefie
Nadzorowanie powierzchni – urządzenie stale kontroluje obszar, w którym mogą przebywać osoby	wykrywanie obecności w strefie	wysoki koszt urządzenia

Skaner laserowy może mieć **strefę ostrzegawczą** (zmniejszenie prędkości robota, światło migające) i **strefę ochronną** (zatrzymanie wszystkich ruchów – sygnał traktowany przez sterownik PLC jak naciśnięcie wyłącznika awaryjnego, z syreną).

Przycisk ponownego uruchomienia (RESTART) musi być umieszczony poza strefą chronioną, w miejscu, z którego operator widzi całe urządzenie i ma pewność, że nikogo nie ma wewnątrz.

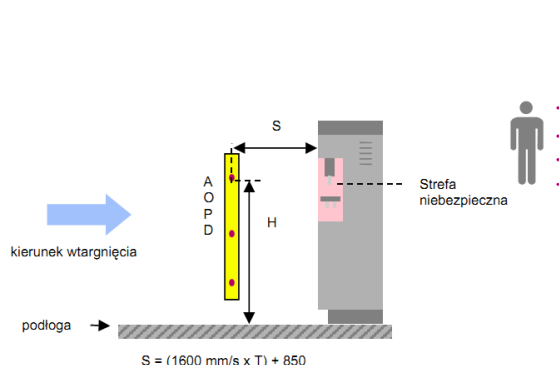
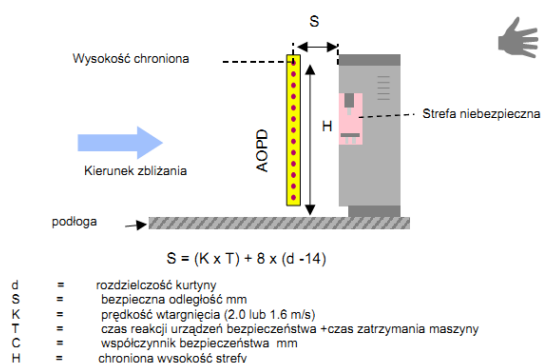
3. Odległości bezpieczeństwa – PN-EN ISO 13855

Minimalną odległość urządzenia optoelektronicznego od strefy niebezpiecznej wyznacza się z prędkości zbliżania się części ciała i całkowitego czasu zatrzymania (norma PN-EN ISO 13855 zastąpiła PN-EN 999):

$$S = K \cdot T + C$$

S – minimalna odległość [mm]; K – prędkość zbliżania [mm/s]; T – czas reakcji urządzenia ochronnego + czas zatrzymania maszyny [s]; C – dodatkowa odległość [mm]; d – rozdzielczość kurtyny [mm]; H – wysokość płaszczyzny detekcji [mm].

Zastosowanie	Rozdzielczość d	Wzór
Ochrona punktu – dłoń, palce (pionowa kurtyna)	$d \leq 40 \text{ mm}$ (14 mm palce, 30 mm dłoń)	$S = 2\,000 \cdot T + 8 \cdot (d - 14)$; min. 100 mm; jeżeli $S > 500 \text{ mm}$, przelicz z $K = 1\,600$ (min. 500 mm)
Nadzorowanie dostępu (bariera wielowiązkowa, całe ciało)	2–4 wiązki	$S = 1\,600 \cdot T + 850$ (wysokości wiązek np. 400/900 mm lub 300/700/1 100 mm)
Nadzorowanie powierzchni (poziomo: mata, skaner)	–	$S = 1\,600 \cdot T + (1\,200 - 0,4 \cdot H)$; $C \geq 850 \text{ mm}$, $0 \leq H \leq 1\,000 \text{ mm}$



Kurtyna chroniąca dłoń operatora prasy (z lewej) i bariera nadzorująca dostęp (z prawej).

Przykład: kurtyna o rozdzielczości $d = 14 \text{ mm}$, czas reakcji 20 ms, czas zatrzymania prasy 180 ms $\rightarrow T = 0,2 \text{ s} \rightarrow S = 2\,000 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0 = 400 \text{ mm}$.

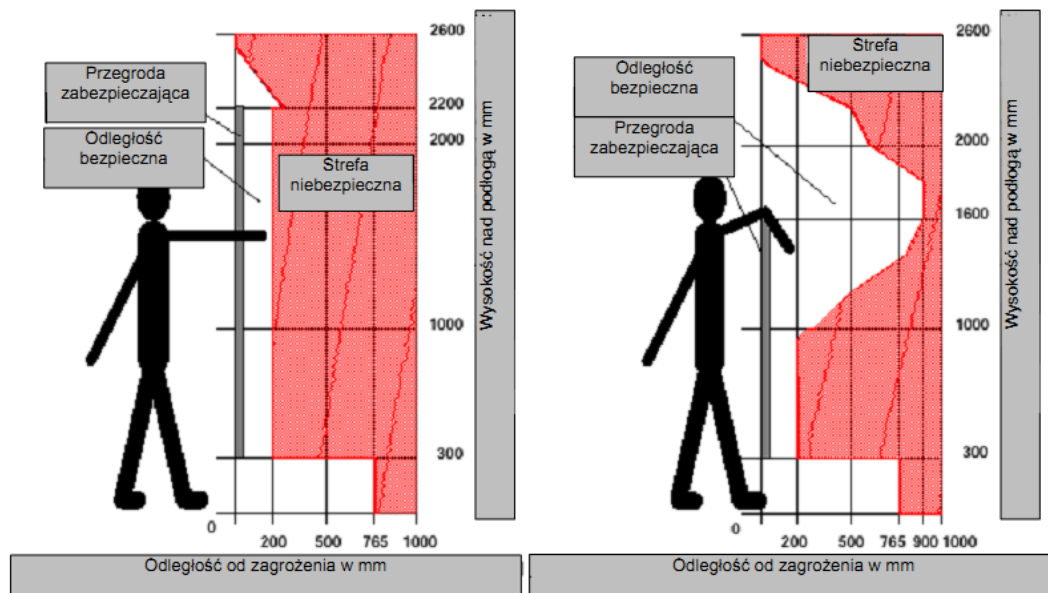
4. Osłony i przegrody

Do zabezpieczenia stosuje się w pierwszej kolejności **osłony oddzielające** źródła emisji energii (przy pracy normalnej i przy uszkodzeniu) od pracowników. Najtańsze są przegrody trwałe: słupy z profili stalowych lub aluminiowych, wypełnione siatką, tworzywem przezroczystym (plexi, poliwęglan) lub nieprzezroczystym, albo blachą. Osłona chroni człowieka przed energią, a jednocześnie powinna umożliwiać wzrokową kontrolę pracy urządzenia.

Rodzaj wypełnienia	Zastosowanie
Siatka (oczko 3,5–80 mm, drut 2–8 mm)	przejmowanie średnich i dużych obciążeń mechanicznych, np. upuszczonych przez chwytak części; dobór średnicy drutu i oczka do energii elementu
Przezroczyste sztywne (plexi, poliwęglan)	pyły, dymy, odpryski i stopiony materiał; droższe od siatek
Przezroczyste elastyczne (pasy na zakładkę)	osłanianie elementów ruchomych bez dodatkowych przesłon
Nieprzezroczyste sztywne (blacha, tworzywo)	rozbłyski spawania, ciecze hydrauliczne i chłodziwa, wysoka temperatura
Nieprzezroczyste elastyczne (gumy olejoodporne, termoodporne)	ruchome palety i stoły, osłony spawalnicze
Dźwiękochłonne	ograniczenie emisji hałasu – grubość dobrana do pasma

Rodzaj wypełnienia	Zastosowanie
	akustycznego

Typowe siatki (oczko × oczko × drut, mm): 10 × 10 × 2,0; 20 × 20 × 2,5; 20 × 20 × 3,0; 20 × 20 × 4,0; 27 × 27 × 4,0; 32 × 32 × 3,0; 40 × 40 × 4,0; 48 × 48 × 4,0; 50 × 50 × 5,0. Słupy mocuje się do podłoża śrubami fundamentowymi, a demontaż powinien wymagać specjalnych narzędzi.



Odległości bezpieczeństwa przy sięganiu nad przegrodą zależą od jej wysokości i wysokości strefy niebezpiecznej – PN-EN ISO 13857 (zastąpiła PN-EN 294).

Przestrzeń serwisowa i drzwi:

- Między osłoną a urządzeniem należy zapewnić co najmniej 0,8 m na prace serwisowe; unikamy osłon, które trzeba demontować przy każdej naprawie.
- Drzwi otwierają się na zewnątrz strefy chronionej; drzwi przesuwne montuje się po zewnętrznej stronie przegrody.
- Szerokość drzwi zawiasowych 0,8–1,0 m, jeżeli do wnętrza wchodzi tylko pracownik; powyżej 1,0 m – drzwi dwuskrzydłowe; drzwi przesuwne do ok. 2 m (wózki narzędziowe, transportowe, z żurawikiem).

- Każde drzwi mają łącznik bezpieczeństwa z blokadą uniemożliwiającą uruchomienie urządzenia po otwarciu oraz zamek otwierany tylko przez upoważnione służby.



Przykład osłon przezroczystych urządzenia zautomatyzowanego.

5. Sterowanie dwuręczne i prace serwisowe

Gdy pracownik musi synchronizować swoją pracę z urządzeniem (załadunek i rozładunek), ruch urządzenia powinien następować dopiero po **zezwoleniu** operatora. Służy do tego **sterowanie dwuręczne** (PN-EN ISO 13851): oba przyciski muszą zostać naciśnięte w odstępie nie większym niż 0,5 s i trzymane przez cały ruch niebezpieczny; zwolnienie jednego zatrzymuje urządzenie. Układ musi być odporny na pojedyncze uszkodzenie (redundantny) i spełniać wymagany poziom PL (PN-EN ISO 13849-1) lub SIL (PN-EN 62061).

Diagnostyka usterek często wymaga pracy w objętości wewnętrznej przy włączonym zasilaniu (np. regulacja prędkości siłownika pneumatycznego). Wtedy obowiązuje **procedura pracy dwuosobowej**: jeden pracownik serwisuje urządzenie, drugi stoi przy pulpicie, chroni przed niepowołanym uruchomieniem, uruchamia na żądanie pojedyncze ruchy i może zatrzymać urządzenie lub ewakuować uszkodzowanego.

Usuwanie przyczyny niesprawności zawsze wymaga całkowitego wyłączenia urządzenia i odłączenia wszystkich mediów (procedura LOTO).

6. Zadania

Zadanie 1: Rysunek stanowiska

Narysujcie układ stanowiska (skala 1:50 lub na siatce 1 000 mm) z trzema objętościami z ćwiczenia 3.

Zadanie 2: Osłony i drzwi

Zaprojektujcie przebieg osłon stałych: wysokość, rodzaj wypełnienia i wielkość oczek, drzwi (rodzaj, szerokość, kierunek otwierania) oraz przestrzeń serwisową 0,8 m.

Zadanie 3: Urządzenia optoelektroniczne

Dobierzcie urządzenia (typ, rozdzielczość, model z katalogu), zaznaczcie ich położenie i obliczcie dla każdego minimalną odległość bezpieczeństwa S.

Zadanie 4: Urządzenia sterownicze

Rozmieśćcie wyłączniki awaryjne, przycisk RESTART i ewentualne sterowanie dwuręczne; uzasadnijcie każde położenie.

Zadanie 5: Środki ochrony indywidualnej i procedury

Wymieńcie środki ochrony indywidualnej dobrane w ćwiczeniu 3 i opiszcie procedury bezpiecznej pracy: praca normalna, usuwanie zacięć, ustawianie i przezbieranie, konserwacja z LOTO, praca dwuosobowa.

Zadanie 6: Ponowna ocena ryzyka

Oceńcie ponownie największe ryzyka z ćwiczenia 3 po wprowadzeniu Waszego projektu (R po).

Wynik ćwiczenia: raport (maks. 6 stron) z rysunkiem stanowiska, opisem osłon i drzwi, tabelą urządzeń z obliczeniami S, rozmieszczeniem urządzeń sterowniczych, procedurami i ponowną oceną ryzyka.

Normy (aktualne): PN-EN ISO 12100, PN-EN ISO 13855, PN-EN ISO 13857, PN-EN ISO 13854 (minimalne odstępki zapobiegające zgnieceniu), PN-EN ISO 13850, PN-EN ISO 13851, PN-EN ISO 14119 (urządzenia blokujące), PN-EN ISO 14120 (osłony), PN-EN ISO 13849-1, PN-EN ISO 10218-1/-2.

Literatura: J. Thimon, Safeguarding – An Example of Methodology, CIOP 2000; M. Dźwiarek, Klasyfikacja związanych z bezpieczeństwem systemów sterowania maszyn, CIOP 2000; katalogi SICK, Honeywell, Bosch Rexroth.

7. Ocena

Ocena za ćwiczenia 3 i 4 jest wspólna (maks. 5 pkt): ćwiczenie 3 – maks. 3 pkt, ćwiczenie 4 – maks. 2 pkt. W ćwiczeniu 4 oceniane są: poprawność doboru i rozmieszczenia osłon i urządzeń, obliczenia odległości bezpieczeństwa, kompletność procedur i jakość rysunku.