

PODSTAWY EKSPLOATACJI MASZYN

Laboratorium · Ćwiczenie 3

Bezpieczne urządzenie technologiczne – ocena ryzyka

Analiza energetyczna · Risk Score · graf ryzyka



**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. Identyfikacja zagrożeń zautomatyzowanego stanowiska pracy metodą analizy energetycznej, oszacowanie ryzyka metodą Risk Score oraz dobór środków ochronnych, które obniżą każde ryzyko do poziomu akceptowalnego. Wynikiem jest wypełniony arkusz badania, który stanowi dane wejściowe do ćwiczenia 4.

Założenia. Każdy zespół otrzymuje jedno stanowisko (temat t1–t7, punkt 3.4). Ten sam zespół w ćwiczeniu 4 projektuje zabezpieczenia tego samego stanowiska.

Organizacja.

- Zespoły 3–4-osobowe; jeden arkusz i jeden raport na zespół.
- Na zajęciach (ok. 80 min): opis stanowiska, identyfikacja zagrożeń i oszacowanie ryzyka przed zastosowaniem środków ochronnych.
- W domu: dobór środków, ryzyko resztkowe, specyfikacja funkcji bezpieczeństwa i raport.
- Pliki: PEM_Cw3_<numer zespołu>.xlsx (arkusz) oraz PEM_Cw3_<numer zespołu>.pdf (raport).

2. Wstęp teoretyczny

2.1 Dlaczego ocena ryzyka

Statystyki wypadków przy pracy wskazują cztery główne grupy przyczyn: niewłaściwe zachowanie pracownika (ponad 50%), niewłaściwą organizację pracy (ok. 13%), niewłaściwy stan czynnika materialnego – maszyn i urządzeń (ok. 12%) oraz brak lub niewłaściwe posługiwanie się czynnikiem materialnym (ok. 9%). Dwie ostatnie grupy dotyczą bezpośrednio konstrukcji i eksploatacji maszyn.

Ryzyka nie da się wyeliminować całkowicie. **Ryzyko resztkowe**, pozostające po zastosowaniu środków ochronnych, musi zostać zredukowane do poziomu **tolerowanego** – akceptowanego w danym kontekście na podstawie aktualnego stanu wiedzy, kosztów, organizacji pracy, szkoleń i świadomości. Bezpieczeństwo to zatem stan wolny od ryzyka nieakceptowalnego.

Ocenę ryzyka maszyn prowadzi się według **PN-EN ISO 12100** (zastąpiła normy PN-EN 1050 i PN-EN ISO 14121): określenie granic maszyny → identyfikacja zagrożeń → oszacowanie ryzyka → ocena ryzyka → jeżeli ryzyko jest nieakceptowalne, jego zmniejszenie (konstrukcja bezpieczna sama w sobie → techniczne środki ochronne → informacje dla użytkownika) i ponowna ocena. Do 19 stycznia 2027 r. obowiązuje dyrektywa maszynowa 2006/42/WE, od 20 stycznia 2027 r. rozporządzenie (UE) 2023/1230.

2.2 Krok 1 – Granice i funkcje maszyny

Opiszcie: dane produkcyjne (wyrób, wydajność, materiały, media), lokalizację i ograniczenia przestrzenne, zakładany czas życia, tryby pracy (cykl automatyczny i ręczny, ustawianie, czyszczenie, konserwacja), przewidywane niesprawności i uszkodzenia, osoby obsługujące i serwisujące, zamierzone użytkowanie oraz **racjonalnie przewidywalne niewłaściwe użycie**.

Typowe przykłady niewłaściwego użycia: odruchowe zachowanie w razie niesprawności; brak koncentracji z pośpiechu lub zmęczenia; wybór „drogi najmniejszego oporu”; praca pod presją utrzymania ruchu maszyny; zachowanie osób postronnych; utrata kontroli; ponowne uruchomienie po zatrzymaniu spowodowanym usterką (np. ręczne usuwanie zacięcia przy pracującej maszynie); spóźniona reakcja na zakłócenia cyklu.

2.3 Krok 2 – Identyfikacja zagrożeń: metoda analizy energetycznej

Wypadek następuje wtedy, gdy człowiek zostaje poddany **niekontrolowanemu przepływowi energii** przekraczającemu odporność organizmu. Metoda polega na przeglądzie wszystkich postaci energii dla trzech obszarów (objętości):

- **Objętość pracownika** – niewielka przestrzeń, w której operator wykonuje zadania (zakładka obj_prac).
- **Objętość wewnętrzna (serwisowa)** – przestrzeń wewnątrz osłon, używana przy ustawianiu, regulacji, konserwacji i naprawach (zakładka obj_serw).
- **Objętość zewnętrzna** – otoczenie stanowiska z innymi pracownikami, nadzorem, transportem i służbami utrzymania ruchu (zakładka obj_zewn).

Energia	Źródła (lista kontrolna)
Potencjalna	osoba lub przedmiot na wysokości, załamująca się konstrukcja, podnoszenie i przenoszenie, napięta sprężyna, naprężony materiał, przewody z gazem lub parą pod ciśnieniem, próżnia
Kinetyczna	elementy na prowadnicach liniowych, ramiona robotów i manipulatorów, wióry i odpryski, transportery, wózki podłogowe (AGV), ciecze i gazy pod ciśnieniem, transportowane materiały, wirujące części, pasy, wały i śruby toczne
Elektryczna	napięcie zasilania, kondensatory, akumulatory, prąd (magazynowanie indukcyjne, grzanie), pole magnetyczne
Ciepło i zimno	gorące lub zimne przedmioty, źródła ciepła, substancje ciekłe i stopione, energia reakcji chemicznych
Chemiczna	materiały wybuchowe i reakcje, substancje trujące, korodujące i duszące
Promieniowanie	akustyczne (hałas), elektromagnetyczne, infra- i ultradźwięki, jonizujące

Strategie ochronne: usunięcie ludzi ze strefy działania energii, modyfikacja energii, zmiana kierunku jej przepływu, zablokowanie przepływu, kontrola źródła, zastosowanie energii przeciwdziałającej.

2.4 Krok 3 – Oszacowanie ryzyka: metoda Risk Score

$$R = S \times E \times P$$

S – skutki	Wartość
Poważna katastrofa – wiele ofiar śmiertelnych	100
Katastrofa – kilka ofiar śmiertelnych	50
Bardzo duże – jedna ofiara śmiertelna	15
Duże – ciężkie uszkodzenie ciała	7
Średnie – absencja	3
Małe – pierwsza pomoc	1

E – ekspozycja	Wartość
Stała (pracownik obsługujący stanowisko)	10
Częsta – codzienna (inni pracownicy w otoczeniu)	6
Sporadyczna – raz w tygodniu (pracownicy serwisu)	3
Okazjonalna – raz w miesiącu	2
Minimalna – kilka razy w roku	1
Znikoma – raz w roku	0,5

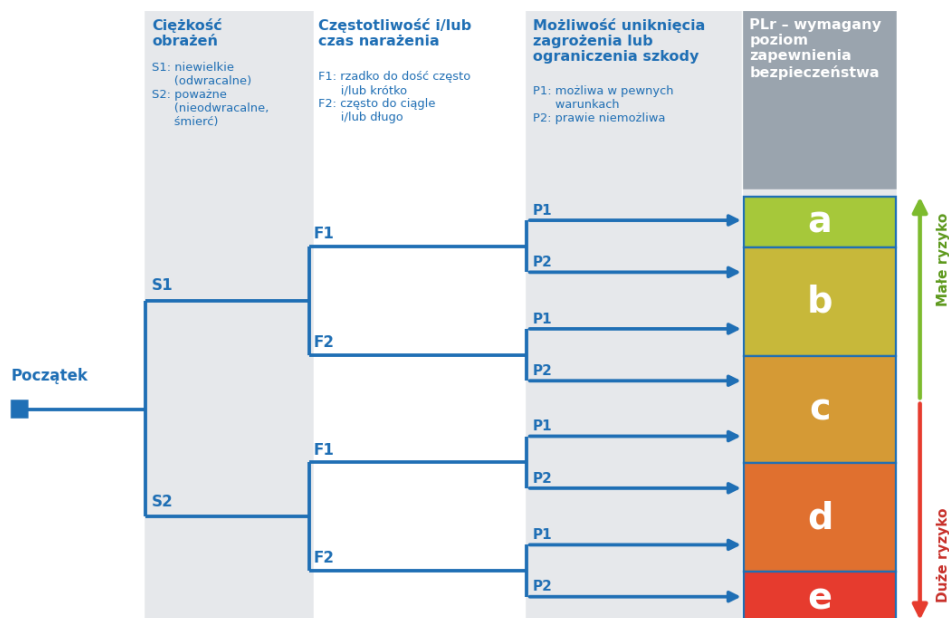
P – prawdopodobieństwo	Wartość
Bardzo prawdopodobne	10
Całkiem prawdopodobne	6
Mało prawdopodobne	3
Tylko sporadycznie	1
Możliwe do pomyślenia	0,5
Praktycznie możliwe	0,2
Teoretycznie możliwe	0,1

R – ryzyko	Kategoria	Działanie
$R \leq 20$	akceptowalne	wskazana kontrola
$20 < R \leq 70$	małe	potrzebna kontrola
$70 < R \leq 200$	istotne	potrzebna poprawa
$200 < R \leq 400$	duże	potrzebna natychmiastowa poprawa
$R > 400$	bardzo duże	wskazane wstrzymanie pracy

Przyjmujcie najpoważniejsze racjonalnie możliwe obrażenie, nawet jeżeli jest mało prawdopodobne. Prawdopodobieństwo zależy od samego zdarzenia, częstotliwości i czasu narażenia oraz możliwości uniknięcia szkody (szybkość pojawienia się zagrożenia, szkolenie, świadomość, doświadczenie, możliwość ucieczki).

2.5 Graf ryzyka – wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa PLr

Dla funkcji bezpieczeństwa (np. „zatrzymanie robota po otwarciu drzwi osłony”) wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa PLr wyznacza się z grafu ryzyka wg PN-EN ISO 13849-1 (zakładka Spec_Funkcji_bezp i graf w arkuszu).



3. Materiały do ćwiczenia

3.1 Arkusz badania

Plik **ARKUSZ_BADANIA.xlsx** zawiera zakładki: obj_prac, obj_zewn, obj_serw (identyfikacja zagrożeń i ryzyko dla trzech objętości), RISC_SCORE (skale S, E, P i kategorie R), zabezpieczenia, Spec_Funkcji_bezp (specyfikacja funkcji bezpieczeństwa i PLr) oraz graf. Wartość R obliczana jest automatycznie; ryzyka powyżej 70 są oznaczane „!!!”.

3.2 Normy

PN-EN ISO 12100 (ocena i zmniejszanie ryzyka), PN-EN ISO 13849-1 (elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem), PN-EN ISO 13850 (zatrzymanie awaryjne), PN-EN ISO 13857 (odległości bezpieczeństwa), PN-EN ISO 13855 (rozmieszczenie wyposażenia ochronnego), PN-EN ISO 10218-1/-2 (roboty przemysłowe).

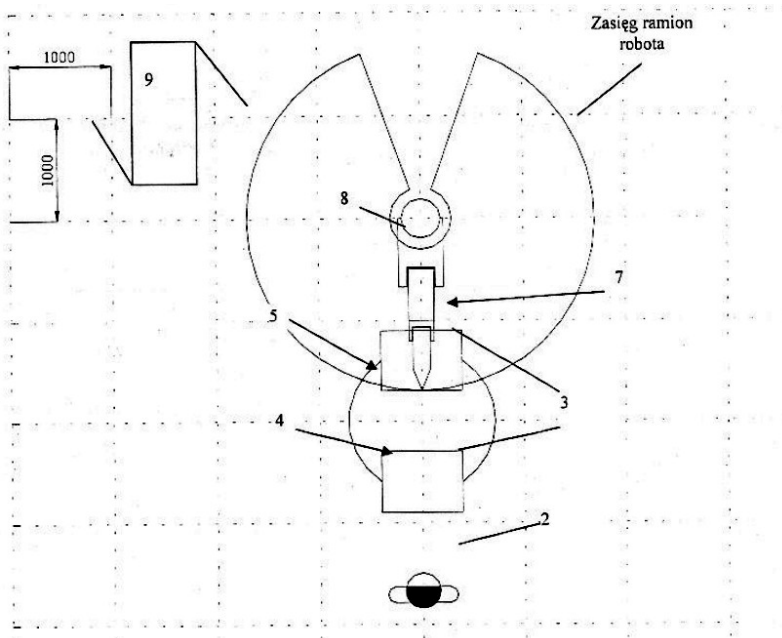
3.3 Karta zespołu

Na pierwszej stronie raportu umieścić: numer tematu (t1-t7), skład zespołu (Lp., nazwisko, imię) oraz nazwę pliku. Ocena za ćwiczenia 3 i 4 jest wspólna (maks. 5 pkt: ćwiczenie 3 – maks. 3 pkt, ćwiczenie 4 – maks. 2 pkt).

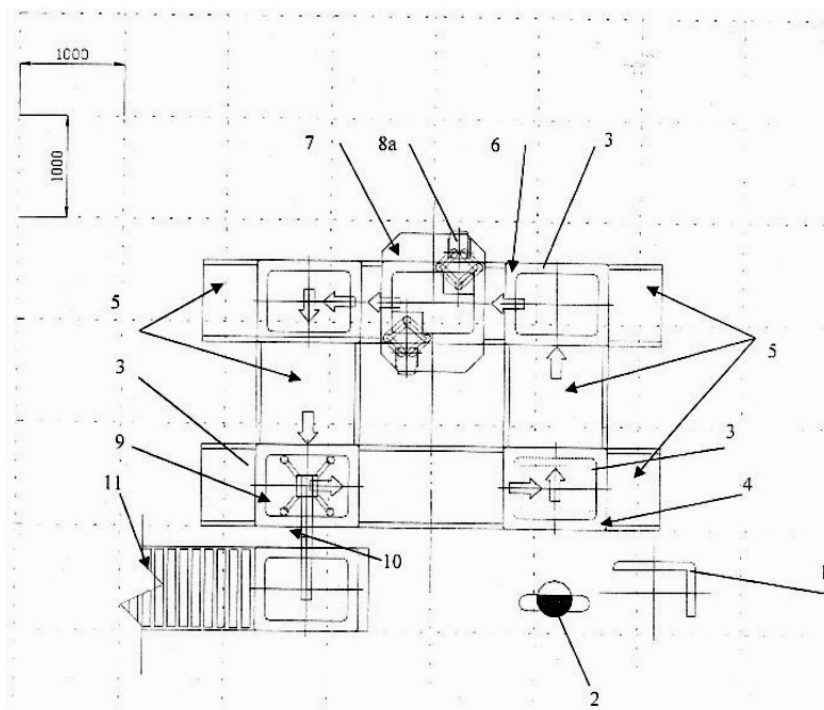
3.4 Tematy – stanowiska t1-t7

Rysunki w skali siatki 1 000 × 1 000 mm.

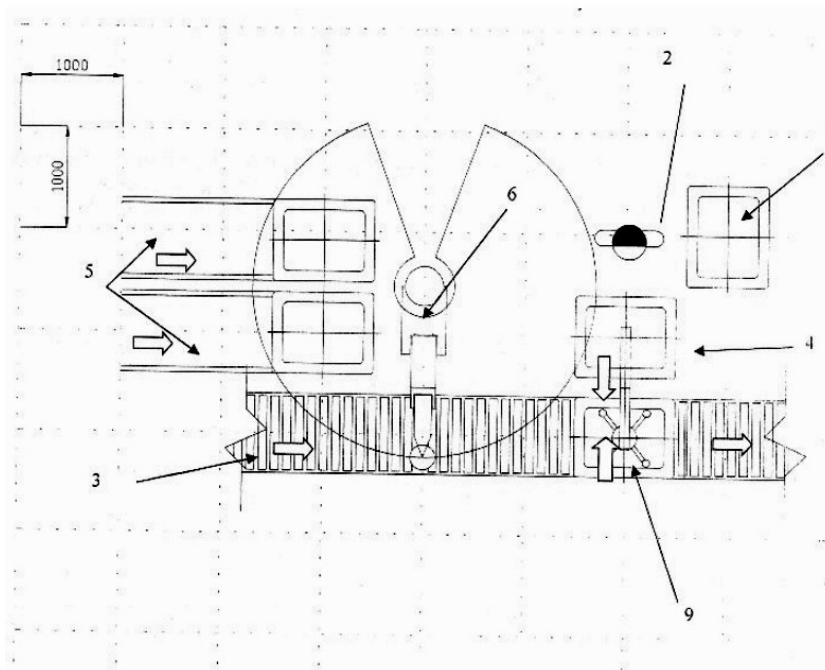
t1 – Spawanie ram rowerowych. Operator (2) ręcznie ładuje elementy ram do przyrządu spawalniczego na jednej z dwóch palet (3) na stanowisku załadowczym (4) i mocuje je dźwigniami. Obrotowy zmieniacz palet (5) przenosi paletę ze stacji załadowczej (6) do stacji spawalniczej (7), gdzie 5-osiowy robot ramieniowy Mitsubishi (8) wykonuje spoinę. Po spawaniu paleta wraca na stację rozładowczą (4); gotowe ramy są zdejmowane ręcznie, a w tym czasie spawana jest kolejna rama. Szafa sterująca (9).



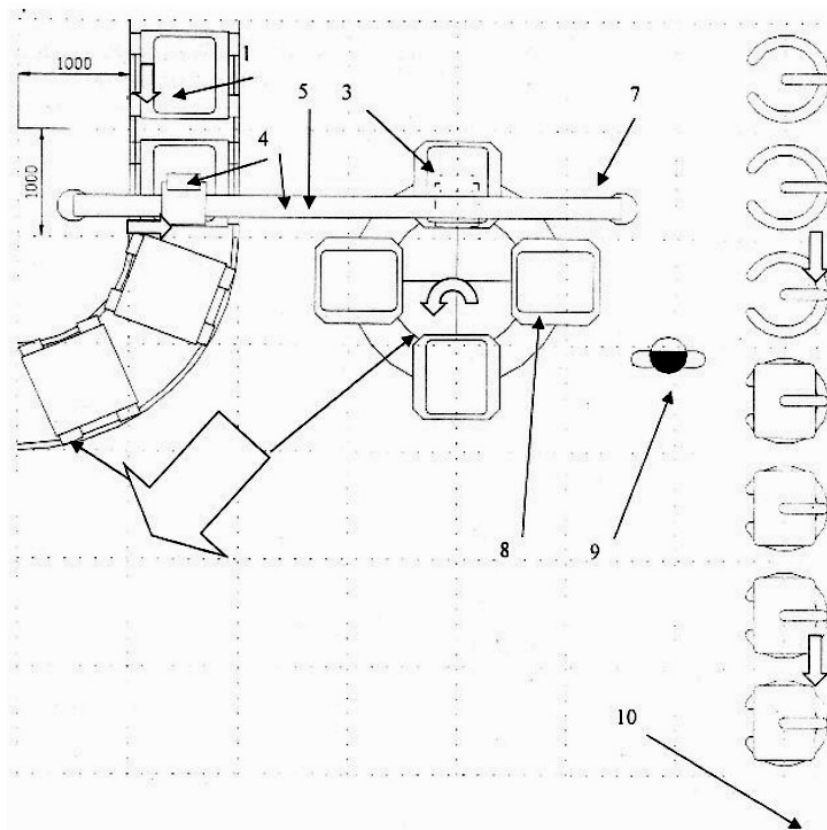
t2 – Spawanie wykrojów z blachy. Operator (2) ładuje dwa wykroje (1) do przyrządu na jednej z czterech palet (3) na stanowisku załadowczym (4) i dobija je, aby zadziałały zatraski. Transporter liniowy (5) przenosi palety do stacji oczekiwania (6) i stacji spawalniczej (7) z dwoma robotami Mitsubishi (8a, 8b), które jednocześnie wykonują dwie spoiny. Na stacji rozładowczej (9) pneumatyczny manipulator dwuosiowy (10) z ssawkami odkłada ramę na transporter rolkowy (11); pakiet ok. 30 sztuk operator przesuwą ręcznie. Przestrzeń spawania jest chłodzona nadmuchem powietrza, a operator czyści elementy ustalające sprężonym powietrzem. W obiegu jest pięć palet.



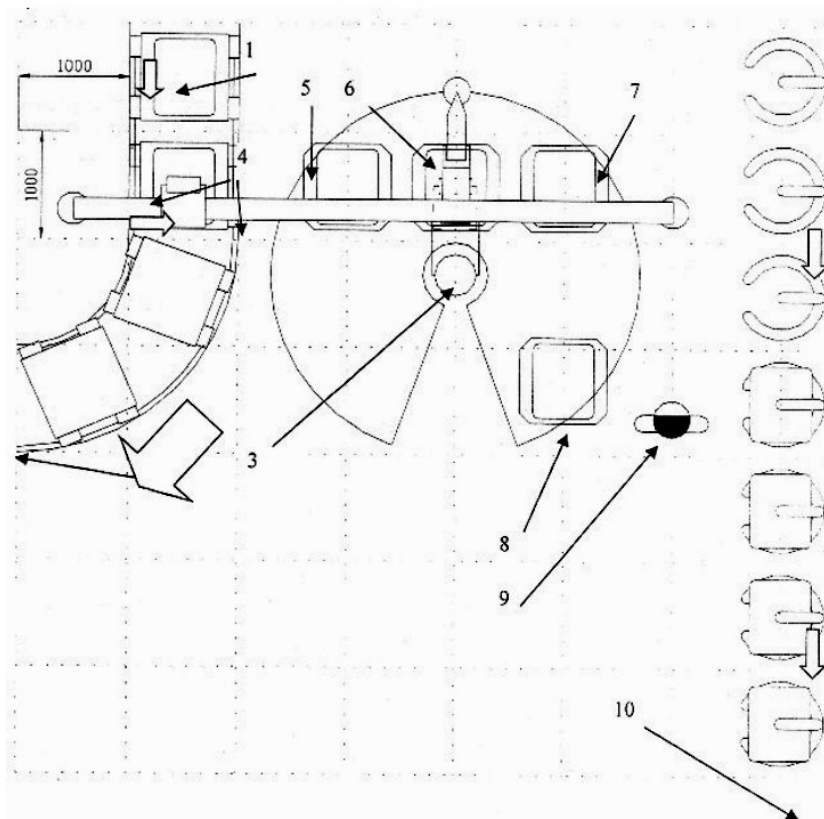
t3 – Kontrola przeźroczystości ekranów kineskopów. Robot Mitsubishi (6) z ssawką przenosi ekrany (1) z transporterów liniowych (5) od pieców odprężających na główny transporter rolkowy (3). Na sygnał sterowania ekran zatrzymuje się na stacji rozładawczej (9), skąd pneumatyczny manipulator dwuosiowy z ssawkami przenosi go na stanowisko (4). Operator (2) wyrywkowo ładuje ekrany do przyrządu kontrolnego; prawidłowy ekran wraca na transporter.



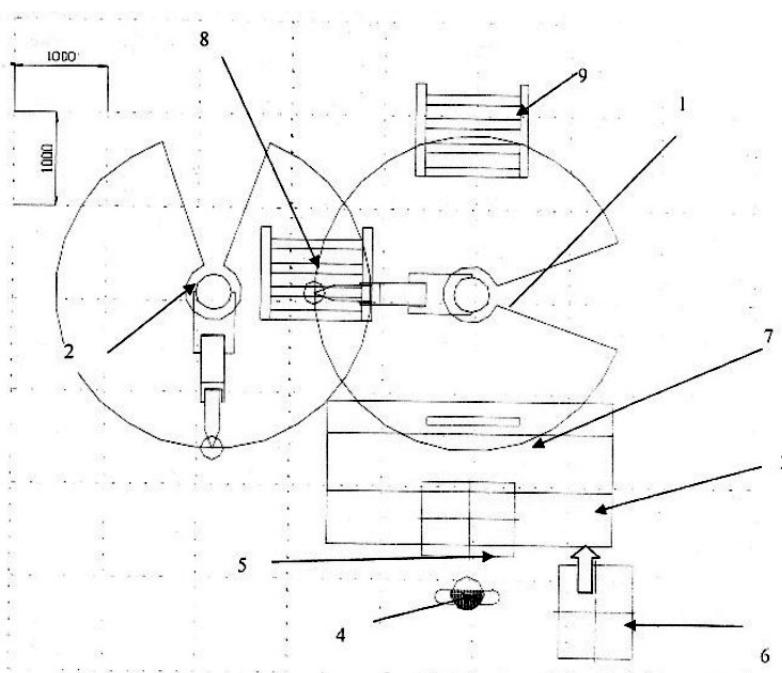
t4 – Rozładunek ekranów kineskopów z pieca tunelowego (stół obrotowy). Kineskopy (1) jadą na wózkach (2) po owalnym torowisku ruchem okresowym. Elektryczny manipulator dwuosiowy (4) z ssawką na pionowym ramieniu przenosi je do gniazd (3) na stole obrotowym (6), gdzie następuje nagrzewanie indukcyjne getteru. Stół obraca się skokowo o 90°. Z pozycji (8) operator (9) przekłada gotowe kineskopy na poruszające się ruchem jednostajnym wieszaki (10).



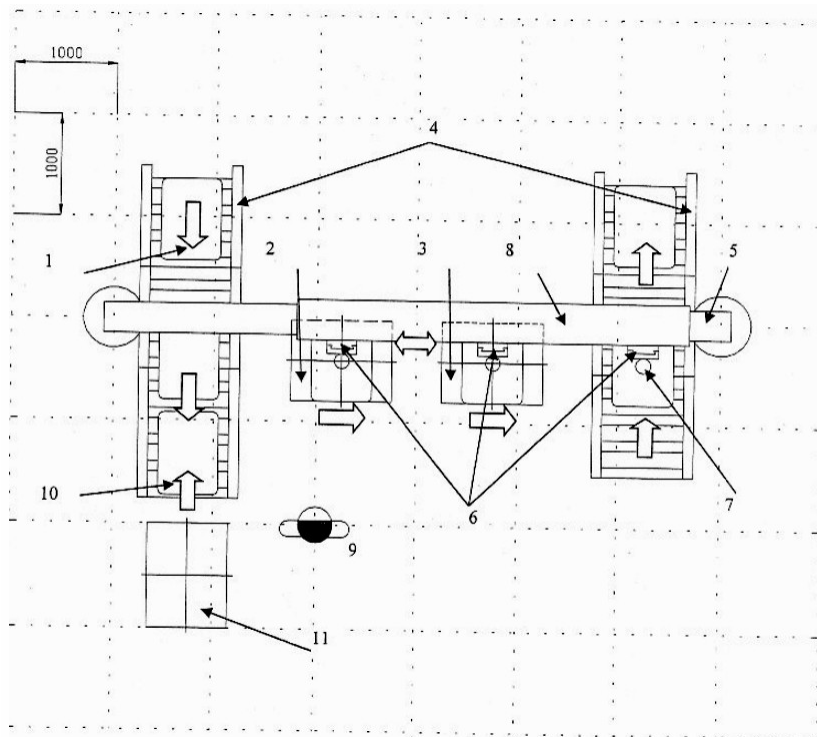
t5 – Rozładunek ekranów kineskopów z pieca tunelowego (robot). Jak t4, ale manipulator (4) odkłada kineskopy na trzy stoły (5), (6), (7) z nagrzewaniem indukcyjnym, a robot Mitsubishi (3) przenosi je na pozycję (8), skąd operator (9) przekłada je na wieszaki (10).



t6 – Wykrawanie, gięcie i spawanie ram. Operator (4) podaje ręcznie arkusze blachy (5) o masie ok. 5 kg ze stosu urządzenia rozdzielającego (6) na stół automatycznej prasy krawędziowej (3), która wykonuje dwa zagięcia i odcina „ceownik”. Półwyroby trafiają transporterem do przestrzeni (7), skąd robot (1) układa sześć profili w przyrządzie spawalniczym (8). Robot spawalniczy (2) wykonuje spoiny, po czym robot (1) przenosi zespół na paletę wyrobów gotowych (9).



t7 – Kontrola geometrii ekranów. Ekran (1) przyjeżdżają transporterami rolkowymi (4) na wysokości 0,9 m. Manipulator bramowy (5) z trzema pneumatycznymi suportami pionowymi (6) zakończonymi ssawkami (7), spiętymi belką (8), podnosi ekran na wysokość 2,0 m i przenosi je między stanowiskami pomiaru czaszy (2) i zarysu (3). Operator (9) co 2 minuty pobiera ręcznie ekran ze stanowiska (10), kontroluje go na podświetlanym stole (11) i odkłada z powrotem. Masa ekranu 5 kg; napędy suportów pneumatyczne, pozostałe elektryczne.



4. Zadania

Zadanie 1: Granice i funkcje stanowiska

Opiszcie stanowisko według kroku 1, w tym co najmniej pięć przypadków racjonalnie przewidywalnego niewłaściwego użycia.

Wynik: opis stanowiska, tryby pracy, osoby, niewłaściwe użycie.

Zadanie 2: Identyfikacja zagrożeń i ryzyko przed zastosowaniem środków

W zakładkach obj_prac, obj_serw i obj_zewn zaznaczcie występujące energie, opiszcie zagrożenie i podajcie S, E, P oraz **przed** zastosowaniem środków ochronnych.

Wynik: wypełnione trzy zakładki arkusza.

Zadanie 3: Środki ochronne i ryzyko resztkowe

Dla każdego ryzyka $R > 20$ zaproponujcie środki w kolejności PN-EN ISO 12100 (konstrukcja → zabezpieczenia techniczne → informacja i środki ochrony indywidualnej) i podajcie S, E, P oraz **po** zastosowaniu środków.

Wynik: środki ochronne i ryzyko resztkowe w arkuszu.

Zadanie 4: Funkcje bezpieczeństwa, środki ochrony indywidualnej i procedury

Wyspecyfikujcie funkcje bezpieczeństwa (np. zatrzymanie po otwarciu drzwi osłony, zatrzymanie awaryjne, tryb serwisowy) i wyznaczcie dla nich PLr z grafu ryzyka. Wymieńcie środki ochrony indywidualnej, procedury bezpiecznej pracy oraz procedury sprawdzania stanu technicznego urządzenia.

Wynik: zakładki zabezpieczenia i Spec_Funkcji_bezp.

Zadanie 5: Raport

Raport (maks. 4 strony): karta zespołu, opis stanowiska, największe ryzyka przed i po zastosowaniu środków, lista środków ochronnych, funkcje bezpieczeństwa z PLr, wnioski.

5. Ocena

Kryterium	Waga
Identyfikacja zagrożeń	30%
Poprawność oszacowania ryzyka	30%
Adekwatność środków ochronnych	30%
Prezentacja	10%

Ocena za ćwiczenia 3 i 4 jest wspólna: ćwiczenie 3 – maks. 3 pkt, ćwiczenie 4 – maks. 2 pkt.