

Wrocław
University
of Science
and Technology

Współpraca robotów

Wykład 4

Człowiek w pętli – interakcja, ergonomia, etyka

Robert Muszyński

KCiR, W12, PWr



Copyright © R. Muszyński 2026

Człowiek w pętli sterowania: dlaczego to osobny temat?

- Wykłady 1–3 – perspektywa **robota i stanowiska**:
  - geneza i zasady (W1),
  - klasyfikacje, definicje i normy (W2),
  - zastosowania i wdrażanie (W3).
- Kobot nie działa sam – jest elementem **systemu socjotechnicznego**:

  człowiek + robot + zadanie + otoczenie
- Przemysł 5.0: człowiek wraca do centrum procesu (*human-centric*) – obok odporności i zrównoważenia.
- Jak podkreślał W3: bezpieczne mogą być aplikacje, nie roboty. Ale bezpieczna aplikacja nie musi jeszcze być **akceptowana**, **ergonomiczna** i **etyczna**.

Cel:

Uświadomienie konieczności analizy relacji człowiek-robot (HRC) pod kątem psychologicznym, ergonomicznym oraz etyczno-społecznym.

Koncepcja Human-in-the-Loop (HITL)

Podział ról

- **Człowiek:**
  - Ocena kontekstu i weryfikacja etyczna
  - Obsługa przypadków skrajnych (*edge cases*)
  - Ostateczna odpowiedzialność prawna
- **Autonomia (AI/System):**
  - Przetwarzanie masowych zbiorów danych
  - Wykrywanie wzorców w czasie rzeczywistym
  - Automatyzacja czynności rutynowych

Koncepcja Human-in-the-Loop (HITL)

Stopnie nadzoru i delegowania

HITL *Human-in-the-Loop*
System generuje rekomendacje, decyzję podejmuje człowiek.

HOTL *Human-on-the-Loop*
System działa autonomicznie, człowiek nadzoruje i może przerwać proces.

HOOTL *Human-out-of-the-Loop*
Pełna autonomia – system podejmuje i wykonuje decyzje bez udziału człowieka.

Kluczowa zasada delegowania

Im wyższy poziom ryzyka i niepewności otoczenia, tym większy wymagany stopień bezpośredniej kontroli człowieka (*HITL*).

Model akceptacji technologii (**TAM**)

- **Perceived Usefulness (PU):** Odczuwana przydatność – czy kobot ułatwia pracę (w ocenie użytkownika)?
- **Perceived Ease of Use (PEOU):** Postrzegana łatwość użycia – prostota obsługi i interfejsu, na ile użycie systemu jest dla użytkownika wolne od wysiłku.
- W kobotyce:
  - PU $\approx$ odciążenie, wzrost wydajności;
  - PEOU $\approx$ proste programowanie (*lead-through*, tablet), czytelne zachowanie.

Rozszerzenia:

- **TAM2** (2000) – uwzględnia dodatkowo wpływ społeczny (Social Influence), procesy instrumentalne (Cognitive Instrumental Processes): dobrowolność, wizerunek, relewantność, demonstracja rezultatów.
- **TAM3** (2008) – dodaje m.in. wpływ lęku przed technologią i postrzeganej przyjemności użycia.

TAM: prosty fundament, **TAM2**: Rozbudowa o kontekst biznesowy i społeczny, **TAM3**: maksymalne uszczegółowienie psychologiczne.

Ujednolicona Teoria Akceptacji i Użytkowania Technologii (**UTAUT**)

- **Performance Expectancy (PE):** Oczekiwana efektywność – odpowiednik PU,
- **Effort Expectancy (EE):** Oczekiwany wysiłek – odpowiednik PEOU,
- **Social Influence (SI):** Wpływ społeczny (koledzy, kierownictwo),
- **Facilitating Conditions (FC):** Warunki sprzyjające (szkolenie, wsparcie).

Rozszerzenia:

- **UTAUT2** (2012) – dodano motywację hedonistyczną (Hedonic Motivation): radość, zabawa, przyjemność czerpana z używania; wartość cenową (Price Value): równowaga między kosztem a korzyściami; nawyk (Habit): automatyzm działania wyrobiony przez wcześniejsze doświadczenia.
- **UTAUT3** (2017) – dodano osobistą innowacyjność w IT (Personal Innovativeness in IT), brak autoryzacji przez twórcę całej serii.

TAM123: rozbijają czynniki na coraz drobniejsze składowe psychologiczne,
UTAUT123: zmieniają perspektywę z pracownika korporacji
na wolnego konsumenta / samodzielnego innowatora.

Wygląd, antropomorfizm i pomiar akceptacji

Wygląd i zachowanie robota

- Cechy antropomorficzne (twarz, gest) mogą ułatwiać odczytanie intencji – przykład: ekran z „kierunkiem wzroku” w Baxterze.
- Zbyt duże podobieństwo do człowieka ryzykuje efekt doliny niesamowitości *uncanny valley* (Mori 1970).
- W przemyśle zwykle lepiej sprawdza się **funkcjonalna czytelność** niż udawanie człowieka.

Jak mierzyć?

- Kwestionariusze akceptacji TAM/UTAUT.
- *Godspeed* (Bartneck i in. 2009): postrzeganie robota, jak przyjazność, kompetencja, bezpieczeństwo (z ang. *God spede* – niech Bóg ci sprzyja).
- *NARS – Negative Attitude toward Robots Scale* (Nomura i in. 2006): nastawienie do robotów.
- Inne skale zaufania do robotów (Schaefer 2016, Malle i Ullman 2021).
- Wywiady, obserwacje, dane z użytkowania (np. liczba obejść procedur).

Dodatkowe czynniki w pracy z kobotem

- postrzegane **bezpieczeństwo** i poczucie kontroli,
- **zaufanie** do robota,
- **obawa o miejsce pracy** i o deprecjację kwalifikacji,
- przewidywalność ruchu,
- sposób wdrożenia: czy operator uczestniczył w projektowaniu stanowiska?

Kluczowy wniosek:

Brak akceptacji ze strony operatora prowadzi do odrzucenia technologii, niezależnie od jej zaawansowania inżynierskiego – akceptacja operatorów to kryterium wdrożenia, a czasochłonność konfiguracji bywa większa niż w reklamach dostawców – to PEOU w praktyce :)

Wniosek projektowy:

Akceptacja jest **projektowana**, a nie zakładana: angażuj operatorów już w fazie koncepcji i testów.

Dynamika zaufania do kobota

- Zaufanie to gotowość do polegania na robocie w warunkach niepewności i ryzyka
- Celem nie jest **maksymalne**, lecz **skalibrowane** zaufanie, dopasowane do rzeczywistych możliwości systemu.

	Zbyt małe (*distrust*)	**Zbyt duże (*overtrust*)**
Skutek	unikanie robota, obejścia, wyłączanie funkcji	nadmierne poleganie, utrata czujności
Ryzyko	spadek wydajności, odrzucenie wdrożenia	wejście w strefę niebezpieczną, brak kontroli wyników
Przeciwdziałanie	szkolenia, demonstracje, stopniowe wdrożenie	jawne komunikowanie ograniczeń robota, szkolenia z awarii

- Zaufanie rośnie z niezawodnością i przewidywalnością, spada gwałtownie po nieoczekiwanym zachowaniu (np. nagłe zatrzymanie, ruch bez zapowiedzi).
- Rozsądne jest „ograniczone zaufanie”, jak do każdej maszyny – to praktyczny opis zaufania skalibrowanego; wirtualne narzędzia treningowe pomagają je kształtować.

Obciążenie psychiczne operatora

- **Obciążenie psychiczne** (*mental workload*): relacja między wymaganiami zadania a zasobami poznawczymi operatora (ISO 10075).
- Może być zbyt wysokie (stres, błędy) lub zbyt niskie (monotonia, spadek czujności) – **oba stany są niebezpieczne**.
- Źródła w HRC: niepewność co do ruchu robota, nagłe zatrzymania, presja czasowa narzucana przez robota, konieczność ciągłego monitorowania strefy.
- W3 (analiza ryzyka zadania) wymienia zmęczenie, odwrócenie uwagi i zasłabnięcie jako zdarzenia niespodziewane – tutaj opisujemy je od strony człowieka.

NASA-TLX – Task Load Index (Hart i Staveland 1988): sześć wymiarów

obciążenie umysłowe, fizyczne, czasowe, własna ocena wykonania, wysiłek, frustracja

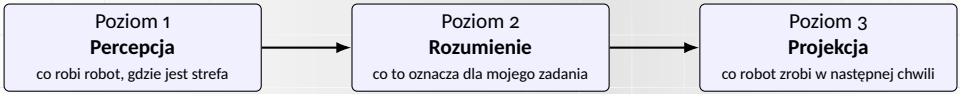
Skala subiektywna, najczęściej stosowana w badaniach HRI.

Metody pomiaru obciążenia psychicznego

Grupa	Przykłady	Uwagi
Subiektywne	NASA-TLX, SWAT, kwestionariusze stresu	tanie i proste, ale dane *post factum* i podatne na zniekształcenia
Wydajnościowe	czas reakcji, liczba błędów, zadanie dodatkowe	mierzą skutek obciążenia, nie jego przyczynę
Fizjologiczne	HRV, EDA/GSR, pupilometria, eye tracking, EEG	pomiar ciągły i obiektywny; wrażliwe na artefakty, wymagają aparatury

- W praktyce łączy się kilka metod (triangulacja).
- Pomiary fizjologiczne umożliwiają **adaptację robota** do stanu operatora (patrz sekcja o podziale zadań), ale rodzą pytania o prywatność (sekcja o etyce).

Świadomość sytuacyjna (Endsley 1995)



- Bezpieczna współpraca wymaga, aby operator **przewidywał** ruch robota, a nie tylko go widział.
- Typowe zagrożenia: *automation complacency* (nadmierne poleganie na automatyce), *alarm fatigue* (zbyt wiele sygnałów ostrzegawczych), przełączanie uwagi między zadaniem a monitorowaniem robota.

Przejrzystość i „wyjaśnialne bezpieczeństwo”

- **Przejrzystość** (*transparency*): robot ujawnia operatorowi swój stan, cele i zamiary w sposób zrozumiały i w odpowiednim czasie.
- **Wyjaśnialne bezpieczeństwo** (*Explainable Safety*): system potrafi także wyjaśnić, *dlaczego* zwolnił, zatrzymał się lub zmienił tor, np. „człowiek wszedł w strefę zwolnienia” (bezpieczeństwo zrozumiałe dla użytkownika).

Model SAT (Chen i in. 2014): trzy poziomy przezroczystości

1. **Stan i cele**: co robot teraz robi i do czego dąży.
2. **Uzasadnienie**: dlaczego tak postępuje (reguły, ograniczenia, czynniki otoczenia).
3. **Projekcja**: co robot zrobi dalej i z jaką pewnością.

- Przykład: robot w trybie SSM sygnalizuje, w której strefie jest człowiek i dlaczego zmniejsza prędkość.

Co operator musi wiedzieć w danym typie współpracy? (typy wg IFR)

Typ współpracy	Kluczowa informacja dla operatora	Typowe ryzyko poznawcze
Koegzystencja	gdzie kończy się strefa robota, czy robot pracuje	nieświadome wejście w strefę, rozproszenie uwagi
Współpraca sekwencyjna	czy robot jest zatrzymany bezpiecznie i kiedy wznowi ruch (typowo SMS)	niespodziewany restart
Współpraca (*cooperation*)	kto kontroluje ruch i jakie są limity sił (typowo PFL, prowadzenie ręczne)	niejasny podział ról, poczucie zbyt dużego bezpieczeństwa (*overtrust*)
Współpraca elastyczna	jak robot reaguje na mój ruch: zwalnia, omija, zatrzymuje się (typowo SSM)	mylne odczytanie stref, nagłe zwolnienia, ciągłe monitorowanie

Powiązanie typów z funkcjami bezpieczeństwa jest typowe (często spotykane w praktyce), ale NIE jednoznaczne; decyduje ocena ryzyka aplikacji.

Kanały komunikacji człowiek–robot

Kanał	Przykłady	Zalety i ograniczenia
Wizualny	wskaźniki świetlne, ekran, projekcja strefy na podłoże	intuicyjny; wymaga widoczności i uwagi
Dźwiękowy	sygnały ostrzegawcze, komunikaty głosowe	działa poza polem widzenia; hałas, ryzyko *alarm fatigue*
Haptyczny	prowadzenie ręczne (*hand guiding*), wibracje	naturalny, bezpośredni; ograniczona ilość informacji
AR/VR	okulary AR, podgląd trajektorii i stref	czytelna wizualizacja zamiarów; koszt, ergonomia urządzeń
Gesty i mowa	polecenia gestami, komendy głosowe	wolne ręce; zawodność w hałasie i przy gorszym oświetleniu
Interfejsy sterowania	tablet, *teach pendant*, programowanie graficzne	dobre do konfiguracji; angażuje ręce i wzrok

- Zasada: informacja krytyczna dla bezpieczeństwa powinna być przekazywana **redundantnie** (co najmniej dwa kanały).

Czytelność i przewidywalność ruchu

- **Ruch przewidywalny** (*predictable*): zgodny z oczekiwaniami obserwatora co do sposobu wykonania zadania.
- **Ruch czytelny** (*legible*): od razu ujawnia *cel* ruchu (Dragan i in. 2013). Czytelny ruch nie musi być najkrótszy.
- Człowiek odbiera ruch robota jako komunikat: gwałtowne przyspieszenia, nagłe zmiany kierunku i zatrzymania w nieoczekiwanym miejscu zwiększają stres.

Zasady projektowe

- Płynne profile prędkości, unikanie nagłych zmian kierunku w pobliżu człowieka.
- Zapowiadanie startu ruchu (sygnał przed uruchomieniem).
- Spójność zachowania w kolejnych cyklach.

Ergonomia – schorzenia układu mięśniowo-szkieletowego

- **MSDs** (*musculoskeletal disorders*): bóle i uszkodzenia mięśni, ścięgien, stawów i kręgosłupa (kark, plecy, barki, nadgarstki) związane z pracą.
- Jedna z najczęstszych grup dolegliwości zawodowych w Unii Europejskiej, główna przyczyna absencji chorobowej.
- Wymieniane w W1 jako powód, dla którego roboty tradycyjne nie wystarczą; W3 wskazuje ergonomię jako jeden z obszarów wpływu kobotyzacji (obok organizacji przestrzeni, jakości i niezawodności).

Czynniki ryzyka fizycznego

- duża siła i dźwiganie ciężarów,
- powtarzalność ruchów,
- niekorzystne pozycje ciała (skręty, praca nad głową),
- statyczne utrzymywanie pozycji,
- wibracje, zbyt krótki czas odpoczynku.

Czynniki towarzyszące

- presja czasu i narzucone tempo,
- monotonia,
- organizacja pracy,
- czynniki psychospołeczne (stres, brak wpływu na pracę).

Metody oceny ergonomii stanowiska

Metoda	Co ocenia	Wynik
RULA	pozycje kończyn górnych, szyi i tułowia, siła, powtarzalność (McAtamney, Corlett 1993)	poziom działania 1–4
REBA	pozycje całego ciała, w tym obsługa ładunków (Hignett, McAtamney 2000)	poziom ryzyka i pilność działań
OWAS	pozycje ciała i obciążenie	kategorie ryzyka 1–4
Równanie NIOSH	podnoszenie ręczne ciężarów (Waters i in. 1993)	zalecany limit masy, wskaźnik podnoszenia
EAWS	pozycje, siły, obsługa ładunków, ruchy powtarzalne (montaż)	punktacja ryzyka (kolory: zielony, żółty, czerwony)
ISO 11228	podnoszenie i przenoszenie (-1), pchanie i ciągnięcie (-2), ruchy powtarzalne (-3)	wymagania i metody oceny

Przykład: równanie NIOSH

$$\mathrm{RWL} = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM, \qquad LI = \frac{\text{masa ładunku}}{\mathrm{RWL}}$$

- $LC = 23$ kg: stała ładunku; mnożniki (od 0 do 1) uwzględniają poziome i pionowe położenie ładunku (HM, VM), dystans pionowy (DM), asymetrię (AM), częstotliwość (FM) i jakość chwytu (CM).
- $LI \leq 1$: ryzyko akceptowalne;
  $LI > 1$: rośnie ryzyko dolegliwości, potrzebna zmiana stanowiska.

Zastosowanie w kobotyce

Kobot przejmuje czynność podnoszenia lub ustawia detal w położeniu, które zmniejsza mnożniki obciążenia (bliżej ciała, na wysokości pasa), co obniża LI dla pozostałych czynności człowieka.

Jak koboty redukują ryzyko MSDs?

1. **Przejęcie obciążeń**: podnoszenie, przenoszenie i paletyzacja ciężkich detali (W3: Aura w montażu zwrotnic – kobot pobiera i odkłada ciężki detal, pracownik montuje).
2. **Przejęcie czynności powtarzalnych**: dokręcanie, dozowanie, obsługa maszyn.
3. **Pozycjonowanie detalu**: robot ustawia element na dogodnej wysokości i w dogodnej orientacji, operator pracuje w neutralnej pozycji ciała (robot jako „trzecia ręka”; W3: UR5 umieszcza świecę żarową w trudno dostępnym otworze głowicy, kobot przytrzymuje amortyzatory przy montażu).
4. **Wspomaganie ruchu**: prowadzenie ręczne i czujniki siły redukują wysiłek człowieka.

- Nawiązanie do historii: pierwsze koboty (Z-Lift Assist, urządzenia IAD, *Cobotic Rail System*) powstały właśnie jako **wspomaganie ergonomiczne** w przemyśle samochodowym.

Ergonomia stanowiska kobotowego – lista kontrolna

Układ i wymiary

- wysokość strefy roboczej dopasowana do wzrostu operatora (regulacja),
- części i narzędzia w zasięgu rąk (strefa komfortu),
- dostęp bez skrętów i pochylania,
- położenie robota względem operatora: brak miejsc zakleszczenia.

Środowisko i organizacja

- oświetlenie, hałas i widoczność sygnalizacji,
- rytm pracy ustalany przez człowieka, a nie wyłącznie przez robota,
- możliwość przerw i zmiany pozycji,
- pozycja siedząca lub stojąca do wyboru, tam gdzie to możliwe,
- szkolenie i instrukcje stanowiskowe.

Podstawy normatywne: ISO 6385 (zasady ergonomii w projektowaniu systemów pracy), ISO 10075 (obciążenie psychiczne), ISO 11228 (obsługa ręczna).

Kobot nie zawsze poprawia ergonomię

- **Narzucone tempo**: operator dostosowuje się do rytmu robota, rośnie presja i liczba powtórzeń.
- **Utrwalenie złych pozycji**: robot podaje detal w miejscu, które wymaga skrętu lub pracy nad głową.
- **Mikro-zadania**: człowiekowi pozostają „resztki” zadań (np. szybkie, powtarzalne ruchy ładowania i rozładunku).
- **Kontakt PFL**: dopuszczalny kontakt z robotem może być nieprzyjemny przy częstym powtarzaniu.

Ergonomia adaptacyjna i cyfrowe modele człowieka

- Symulacje z modelami człowieka (*Digital Human Modeling*) pozwalają ocenić RULA/REBA jeszcze przed wdrożeniem.
- Czujniki noszone (IMU) i kamery umożliwiają pomiar pozycji w czasie rzeczywistym; robot może dostosować położenie detalu do aktualnej postawy operatora.

Alokacja zadań: statyczna i dynamiczna

- **Statyczna**: podział ustalany raz, w fazie projektowania stanowiska, jak w studium przypadku z W3 (kryteria: własności detali, sposób podania, umieszczenia i przymocowania, bezpieczeństwo człowieka).
- **Dynamiczna (adaptacyjna)**: podział zmienia się w czasie pracy w reakcji na zmiany stanu procesu, robota i człowieka.

Alokacja zadań: HABA-MABA

(Humans Are Better At – Machines Are Better At)

Człowiek lepiej radzi sobie z…	**Robot lepiej radzi sobie z…**
Wykrywanie, percepcja i ocena kontekstu: zadaniami wymagającymi zręczności i elastyczności	**Pamięć i przetwarzanie danych:** szybkimi obliczeniami, pomiarami, operacjami cyfrowymi
Rozpoznawanie wzorców: oceną jakości w trudnych i niejednoznacznych przypadkach	**Precyzja i powtarzalność:** utrzymaniem stałego taktu i powtarzalną jakością wykonania
Indukcja i myślenie koncepcyjne: uczeniem się i szybkim przezbrojeniem na nowy wariant	**Szybkiem i siła:** operowaniem dużymi masami i precyzją pozycjonowania ramienia
Improwizacja i adaptacja: wyjątkami, awariami oraz nietypowymi sytuacjami produkcyjnymi	**Niezawodność i odporność na rutynę:** pracą ciągłą, stabilną, bez zmęczenia i znudzenia

Klasyczna lista Fitts (1951), dziś traktowana jako punkt wyjścia: granice możliwości człowieka i robota się przesuwają.

Poziomy i etapy automatyzacji

- Podział nie dotyczy tylko „kto wykonuje zadanie”, ale także **kto podejmuje decyzję**.
- Parasuraman, Sheridan i Wickens (2000): automatyzacja może obejmować cztery etapy, każdy na innym poziomie:



- Poziom automatyzacji w każdym etapie: od pełnej kontroli człowieka (robot tylko wykonuje), przez propozycje robota zatwierdzane przez człowieka, aż po autonomię robota z informowaniem człowieka (skala Sheridana i Verplanka, 10 poziomów).
- W kobotyce przemysłowej człowiek zwykle zachowuje **wybór decyzji**, a robot przejmuje wykonanie.

Kryteria i metody alokacji zadań

Kryteria

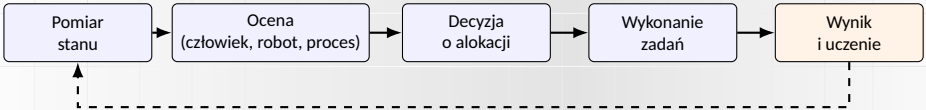
- ergonomia (RULA, REBA, NIOSH),
- kompetencje i doświadczenie operatora,
- obciążenie psychiczne i zmęczenie,
- czas cyklu i przepustowość,
- jakość i powtarzalność,
- bezpieczeństwo (ocena ryzyka, tryb PFL/SSM),
- koszt i dostępność zasobów.

Metody

- reguły heurystyczne i listy kontrolne,
- analiza zadań i grafy zadań,
- optymalizacja (programowanie całkowitoliczbowe, algorytmy genetyczne),
- symulacja zdarzeń dyskretnych,
- planowanie i harmonogramowanie z modelem człowieka,
- uczenie ze wzmocnieniem w alokacji dynamicznej.

Kryteria z W3 (czas przygotowania stanowiska, skrócenie czasu cyklu, akceptacja operatorów, bezpieczeństwo, opłacalność) pozostają ważne; alokacja dynamiczna dodaje kryteria związane ze **stanem człowieka**.

Pętla dynamicznej alokacji



- **Pomiar**: pozycja i postawa człowieka, stan zadania, opóźnienia, obciążenie, zmęczenie.
- **Wyzwalacze zmiany podziału**: wzrost obciążenia, zmęczenie, awaria, wariant produktu, kolejka na stanowisku.
- **Warunek bezpieczeństwa**: alokacja dynamiczna nie może naruszać wyników oceny ryzyka (W1, ISO 12100). Zmiana podziału ma być przewidywalna i komunikowana operatorowi.
- **Typ współpracy (W2)** ogranicza adaptację: przy koegzystencji i współpracy sekwencyjnej podział zmienia się między cyklami, przy współpracy elastycznej także w trakcie pracy.

Przykład z W3: montaż gniazdek (YuMi) – od podziału statycznego do adaptacji

Zadanie (W3, Elektro-Praga)	Przydział	Możliwa adaptacja (propozycja)
Ułożenie pokryw i osłon	pracownik	robot podaje elementy, gdy operator jest przeciążony lub zmęczony
Elementy zabezpieczenia ze sprężynami na pokrywach	kobot	bez zmian (powtarzalność, drobne elementy)
Przykrycie i dociśnięcie osłony	kobot	bez zmian; dostosowanie tempa do operatora
Umieszczenie śruby mocującej w pokrywie	pracownik	kobot przejmuje przy wzroście częstości błędów
Kontrola poprawności montażu	pracownik	bez zmian (ocena kontekstu, wyjątki)

- Podział z W3 jest punktem wyjścia; adaptacja dotyczy tylko zadań, w których robot może bezpiecznie i zgodnie z oceną ryzyka zastąpić człowieka.

Rynek pracy i kompetencje

- W3: obawy odbiorców dotyczą zachowania liczby miejsc pracy i redukcji etatów na stanowiskach o niskich kwalifikacjach, przy jednoczesnych brakach kadrowych i szansie na nowe miejsca pracy; polityka państwa wspiera robotyzację (m.in. „ustawa o robotyzacji”, środki unijne).
- Kobotyzacja częściej **zmienia charakter pracy** (mniej czynności fizycznych, więcej nadzoru, konfiguracji i kontroli) niż po prostu zastępuje ludzi.
- W3: współpraca z kobotem zwykle zwiększa zadowolenie z pracy – ale to nie jest automatyczne (patrz sekcja o ergonomii i obciążeniu).
- Ryzyka: polaryzacja kompetencji, *deskilling* (utrata umiejętności przy pracy „pod robotem”), przesunięcie korzyści do pracodawcy.

Potrzeby

szkolenia (*upskilling*, *reskilling*), włączanie pracowników w proces wdrożenia, jasna komunikacja celów, dialog ze związkami zawodowymi.

Ramy prawne w UE i w Polsce

- **Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE**: dotychczasowa podstawa wprowadzania maszyn do obrotu (tzw. oznakowanie CE).
- **Rozporządzenie (UE) 2023/1230 w sprawie maszyn**: zastąpi dyrektywę; stosowane od 20 stycznia 2027. Rozszerza wymagania m.in. o cyberbezpieczeństwo i systemy z elementami samouczenia.
- **Akt o sztucznej inteligencji (UE) 2024/1689**: wymagania dla systemów AI, w tym dla AI stanowiącej element bezpieczeństwa maszyn; terminy stosowania wchodzą stopniowo 2025-2027+ (vacatio legis).
- **RODO**: monitorowanie pracowników (kamery, czujniki noszone, dane biometryczne i fizjologiczne) wymaga podstawy prawnej i ograniczenia celu.
- **Normy**: ISO 10218:2025, ISO 13482 dla robotów osobistej opieki.
- **Polska**: Kodeks pracy (obowiązki pracodawcy w zakresie BHP, w tym ocena ryzyka zawodowego), przepisy BHP.

Uwaga: przepisy zmieniają się; w pracy projektowej należy weryfikować aktualny stan prawny.

Odpowiedzialność za szkodę

- Kobot jest **częścią systemu**: ocena ryzyka dotyczy całego stanowiska (robot + chwytak + detal + oprogramowanie + otoczenie).
- Podmioty odpowiedzialne:
  - **producent robota**: zgodność konstrukcji, funkcji bezpieczeństwa i dokumentacji,
  - **integrator**: dobór narzędzi, programu, stref i funkcji bezpieczeństwa; analiza ryzyka zadania,
  - **użytkownik**: eksploatacja zgodna z instrukcją, szkolenia, nadzór, zmiany procesu.
- Nowa dyrektywa o odpowiedzialności za produkty wadliwe (UE) 2024/2853 obejmuje także **oprogramowanie**, w tym systemy AI.
- Trudne przypadki: robot z elementami uczenia, zmiany oprogramowania po wdrożeniu, aktualizacje zdalne.
- **Cyberbezpieczeństwo**: obawa przed cyberatakami jest już wymogiem normatywnym (ISO 10218:2025); przejęcie ruchu robota to zagrożenie fizyczne.

Zasada praktyczna

Każda zmiana (narzędzie, detal, tor, parametry) wymaga ponownej oceny ryzyka i aktualizacji dokumentacji.

Ciemna strona kobotyzacji

- **Nadzór i prywatność**: ciągły pomiar pozycji, ruchu i stanu fizjologicznego może być użyty do oceny pracownika, a nie wyłącznie do poprawy bezpieczeństwa.
- **Zarządzanie algorytmiczne**: tempo pracy narzucane przez system, zmniejszenie autonomii człowieka.
- **Człowiek jako „dodatek do maszyny”**: gdy robot wyznacza rytm, a człowiek wykonuje to, czego maszyna jeszcze nie potrafi.
- **Zasada dobrowolności**: czy pracownik może odmówić współpracy z robotem?
- **Sprawiedliwość**: kto zyskuje na wzroście wydajności (pracownik, firma, klient)?

Zasady etyczne w HRC

Siedem wymagań dla godnej zaufania AI (Komisja Europejska, HLEG 2019) i ich znaczenie dla kobotów:

Wymaganie	Przykład w kobotyce
Autonomia człowieka i nadzór	operator może zatrzymać robota i zmienić podział zadań
Odporność techniczna i bezpieczeństwo	funkcje bezpieczeństwa, ocena ryzyka
Prywatność i zarządzanie danymi	ograniczenie danych biometrycznych i fizjologicznych
Przejrzystość	czytelne komunikaty i wyjaśnienie decyzji robota
Różnorodność i niedyskryminacja	stanowiska dostępne dla różnych użytkowników (wzrost, siła, sprawność)
Dobrostan społeczny i środowiskowy	kobot jako wsparcie, a nie narzędzie nacisku
Rozliczalność	rejestry zdarzeń, jasny podział odpowiedzialności

Trzy prawa odpowiedzialnej robotyki

Murphy i Woods (2009)

Beyond Asimov: The Three Laws of Responsible Robotics

1. Człowiek nie może wdrożyć robota, jeśli system współpracy człowiek-robot nie spełnia najwyższych prawnych i profesjonalnych standardów bezpieczeństwa oraz etyki (odpowiedzialność człowieka).
2. Robot musi reagować na ludzi w sposób odpowiedni do ról, jakie ci ludzie pełnią w danym systemie (responsywność i role społeczne).
3. Robot musi posiadać wystarczającą autonomię sytuacyjną, aby chronić własną egzystencję, pod warunkiem że taka ochrona zapewnia płynne przekazanie kontroli innym agentom (ludzkim lub systemowym) i jest zgodna z pierwszym oraz drugim prawem (autonomia sytuacyjna i przekazywanie kontroli).

Trzy prawa odpowiedzialnej robotyki

Porównanie

Kryterium	Prawa Asimova (1942)	Prawa Murphy i Woodsa (2009)
Kto odpowiada?	**Robot** (odpowiedzialność wbudowana w jego „mózg”)	**Człowiek** (projektant, operator, system prawny)
Cel praw	Ochrona ludzi przed błędem lub buntem maszyny	Zarządzanie ryzykiem i odpowiedzialnością w realnym świecie
Posłuszeństwo	Ślepe posłuszeństwo każdemu człowiekowi (z wyjątkami)	Reakcja zależna od roli i uprawnień danej osoby
Przetrwanie	Ochrona samego siebie jako wartości nadrzędnej (jeśli bezpiecznej)	Ochrona siebie w celu bezpiecznego oddania kontroli człowiekowi

Podsumowanie

- Kobot to **system socjotechniczny**: bezpieczeństwo techniczne i dobrze zaplanowane wdrożenie to warunek konieczny, ale niewystarczający.
- **Akceptacja i zaufanie** wymagają kalibracji: ani *distrust*, ani *overtrust*.
- **Przezroczystość** (czytelne komunikaty, ruchy i wyjaśnienia) obniża obciążenie psychiczne i wspiera świadomość sytuacyjną.
- **Ergonomia** to pomiar i projektowanie (RULA, REBA, NIOSH, EAWS), a nie założenie, że robot „sam” poprawi stanowisko.
- **Podział zadań** powinien uwzględniać ergonomię, kompetencje i stan operatora, a przy dynamicznej alokacji pozostawać bezpieczny i przewidywalny.
- **Etyka i prawo**: odpowiedzialność, prywatność, nadzór i skutki dla rynku pracy są częścią projektu.

Tak więc:

1. Jakie dane o operatorze (pozycja, tętno, wzrok) uznacie za dopuszczalne do wykorzystania przez robota, a które nie?
2. Czy stanowisko, w którym robot narzuca tempo pracy, jest „współpracą”?
3. Kto powinien ponosić odpowiedzialność, gdy adaptacyjny robot zmienił podział zadań i doszło do wypadku?