

EKONOMICZNE UWARUNKOWANIA ROBOTYZACJI PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

1. Wstęp

Jeszcze do niedawna większość prac w przemyśle była wykonywana ręcznie przez wykwalifikowanych pracowników. Rewolucja przemysłowa spowodowała zastąpienie pracy ludzkiej pracą zmechanizowaną. Jednakże w dalszym ciągu potrzebny był udział człowieka do obsługi i sterowania maszyn. Obecnie można zaobserwować coraz szersze wykorzystanie automatyzacji i robotyzacji, co powoduje zastępowanie pracy ludzkiej pracą automatów i robotów.

Praca ludzka jest w dalszym ciągu niezastąpiona w wielu gałęziach przemysłu, na przykład podczas montażu złożonych wyrobów. Wynika to z faktu, że człowiek charakteryzuje się dużą elastycznością działania, potrafi radzić sobie nawet w różnych nietypowych sytuacjach. Z drugiej strony człowiek stanowi najbardziej zawodne ogniwo w systemie produkcyjnym. Szybko się męczy, nudzą go monotonne i powtarzalne czynności. Może popełniać błędy i niespodziewanie zachorować, co powoduje zakłócenia w procesie produkcji.

Dlatego dąży się do zastępowania pracy ludzkiej pracą zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną, szczególnie dla czynności powtarzalnych i wymagających dużej precyzji, takich jak np. spawanie, lub dla czynności monotonnych i wymagających wysiłku fizycznego, tj. np. manipulacja ciężkimi przedmiotami [8].

Automatyzacja takich czynności możliwa jest za pomocą stosunkowo prostych elementów mechanicznych, elektrycznych, pneumatycznych, hydraulicznych lub ich kombinacji, lecz takie rozwiązanie jest mało elastyczne i przeznaczone do wykonywania tylko jednego rodzaju czynności. Zmiany profilu produkcji są utrudnione lub prawie niemożliwe bez istotnej ingerencji w strukturę takiego systemu.

Z kolei zastosowanie robotów przemysłowych stanowi rozwiązanie bardziej elastyczne. Mają one możliwości ruchowe podobne do ręki człowieka i mogą wykonywać różne złożone czynności, pracując podobnie jak człowiek. Ponadto roboty się nie męczą i nie nudzą. Mogą pracować 24 godziny na dobę z taką samą precyzją i wydajnością.

Jednakże wprowadzenie robotyzacji wymaga poniesienia wysokich nakładów związanych nie tylko z zakupem robota, ale również z zaprojektowaniem i wykonaniem stanowiska zrobotyzowanego i przystosowaniem systemu transportowego. Robotyzacja będzie opłacalna tylko w pewnych warunkach produkcyjnych, przy wysokim poziomie produkcji, do prac powtarzalnych i wymagających precyzji.

Takie warunki występują np. w przemyśle motoryzacyjnym i tam wykorzystywanych jest największej liczby robotów, ale pojawia się coraz więcej

wdrożonych systemów robotowych także w innych gałęziach przemysłu [8].

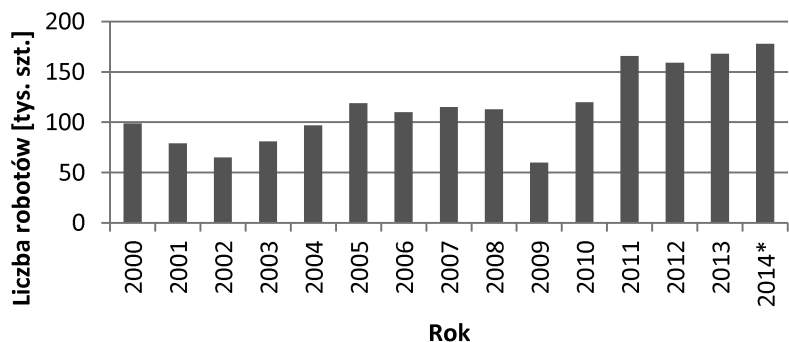
Jednakże każde wdrożenie wymaga przeprowadzenia szczegółowej analizy efektywności i opłacalności inwestycji w robotyzację. Ze względu na specyfikę przedsiębiorstw oraz otoczenia systemu produkcyjnego należy ocenić możliwość stosowania robotyzacji dla każdego przypadku indywidualnie. W przypadku procesów podatnych na robotyzację może się okazać, że jeden robot może zastąpić pracę kilku ludzi. Z drugiej strony może się okazać, że w celu zwiększenia produkcji, prościej i taniej będzie zatrudnić trzech ludzi do pracy na trzy zmiany.

2. Robotyzacja w kraju i na świecie

Z raportu Międzynarodowej Federacji Robotyki (*International Federation of Robotics 2014*) wynika, że rok 2013 był rokiem rekordowym, jeśli chodzi o globalną sprzedaż robotów przemysłowych. Według [3] sprzedano ponad 168 tysięcy robotów przemysłowych, co oznacza 5% wzrostu sprzedaży w porównaniu z rokiem poprzednim. Szacuje się, że na całym świecie pracuje już ponad 1,3 miliona robotów przemysłowych. Największa liczba robotów pracuje w takich krajach jak Japonia, USA, Niemcy, Korea Płd. Prognozy sprzedaży na kolejne lata są obiecujące, ponieważ obserwuje się rosnący trend gospodarczy w krajach azjatyckich, przede wszystkim w przemyśle motoryzacyjnym oraz elektronicznym, a także w przemyśle przetwórczym (rys. 1).

W przypadku Polski, to wg danych GUS [12] w roku 2012 w naszym kraju pracowało 10438 robotów i manipulatorów, z czego większość w przemyśle samochodowym. W porównaniu do innych krajów jest to stosunkowo niewiele i tzw. gęstość robotyzacji kształtuje się na poziomie 15-20 robotów na 10 tys. pracowników, znacznie poniżej średniej światowej, która wynosi 55, a w takich krajach jak Japonia i Korea osiąga wartość ponad 300 [6].

Według raportu [10], przyczynia się do tego wiele czynników, jak np. niewielka liczba dużych zakładów przemysłowych,



Rys. 1. Sprzedaż nowych robotów przemysłowych na świecie w tysiącach sztuk wg IFR [3]

mała skala produkcji, czy też produkcja oparta na pracy fizycznej, a skończywszy na czynnikach subiektywnych, takich jak różne wątpliwości związane z robotami przemysłowymi, jakie towarzyszą polskim przedsiębiorcom, np. wysoki koszt inwestycji w robotyzację.

Oprócz robotów przemysłowych rozwijane są również roboty usługowe (osobiste) oraz mobilne roboty terenowe. Badania związane z robotyką stanowią obecnie istotny motor postępu i przyczyniają się do rozwoju technologii i gospodarki [19].

3. Warunki robotyzacji procesów produkcji

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że do automatyzacji i robotyzacji najlepiej nadają się procesy powtarzalne związane z dużą skalą produkcji i jednocześnie wymagające elastyczności. Również procesy wykonywane w warunkach szkodliwych dla zdrowia są predysponowane do robotyzacji. Wg raportu GUS [17] ok. 9,55% ogółu zatrudnionych w kraju pracuje w warunkach zagrożenia, w tym ok. 270 tys. osób w przemyśle, w działach związanych z przetwórstwem przemysłowym.

W ostatnich latach szybko rośnie zarówno liczba przedsiębiorstw wykorzystujących różne środki automatyzacji, jak również liczba zainstalowanych robotów przemysłowych i manipulatorów (tab. 1) [3, 13]. Można przypuszczać, że to

Rok	Liczba przedsiębiorstw	Roboty i manipulatory przemysłowe
2008	641	6267
2009	725	7239
2010	835	8021
2011	910	9285
2012	980	10438

Tab. 1. Poziom zastosowania robotów i manipulatorów w przemyśle [12]

właśnie postępująca automatyzacja i robotyzacja w dużym stopniu przyczynia się do systematycznego zmniejszania liczby osób pracujących w warunkach zagrożenia (rys. 2). Jako niekorzystny efekt robotyzacji wymienia się na rosnący poziom bezrobocia. Jednakże raport IFR [14] wskazuje, że stopa bezrobocia jest uzależniona od wielu czynników makroekonomicznych, a robotyzacja przyczynia się w pewnym stopniu do tworzenia nowych miejsc pracy w przemyśle.

4. Analiza opłacalności inwestycji w robotyzację

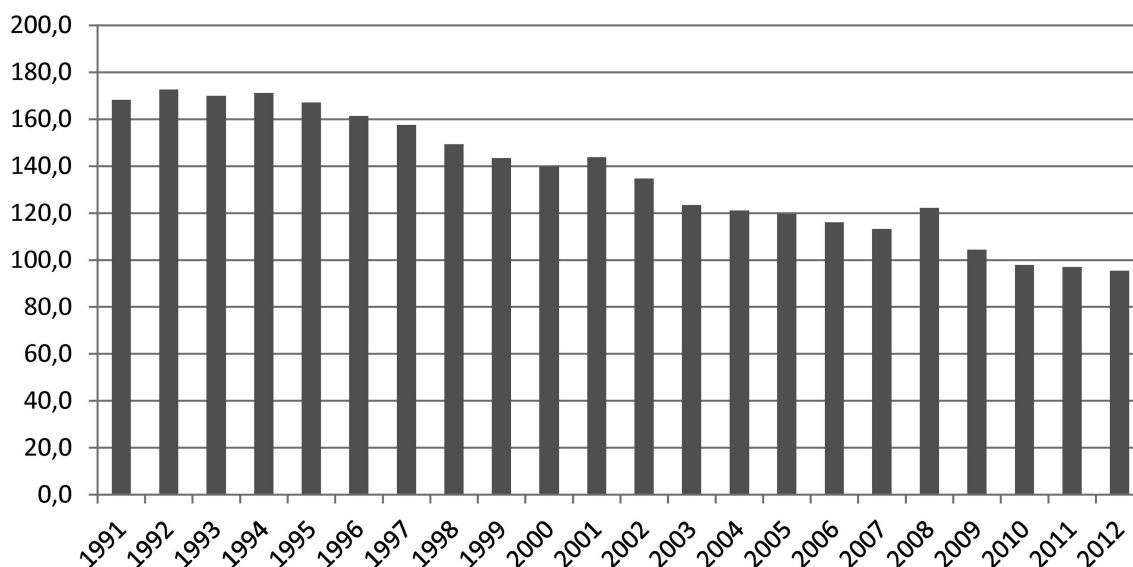
Aktualnie ceny robotów przemysłowych są stosunkowo wysokie, ale systematycznie spadają, natomiast koszty pracy ludzkiej systematycznie rosną. Rośnie płaca minimalna oraz średnie wynagrodzenie pracowników. Koszt godziny pracy w Unii Europejskiej systematycznie rośnie od 2008 roku, średnio o 2,0 p.p. rocznie [9]. W związku z tym, w niektórych sytuacjach koszty pracy robotów mogą okazać się niższe niż koszty pracy ludzkiej, a szczególnie w krajach najbardziej rozwiniętych gospodarczo (rys. 3).

W tabeli 2 przedstawiono stosunek kosztu zakupu przeciętnego robota (100000 \$) do rocznego kosztu utrzymania pracownika (z uwzględnieniem narzutów na wynagrodzenia oraz pozapłacowych kosztów pracy), który kształtuje się różnie w różnych krajach.

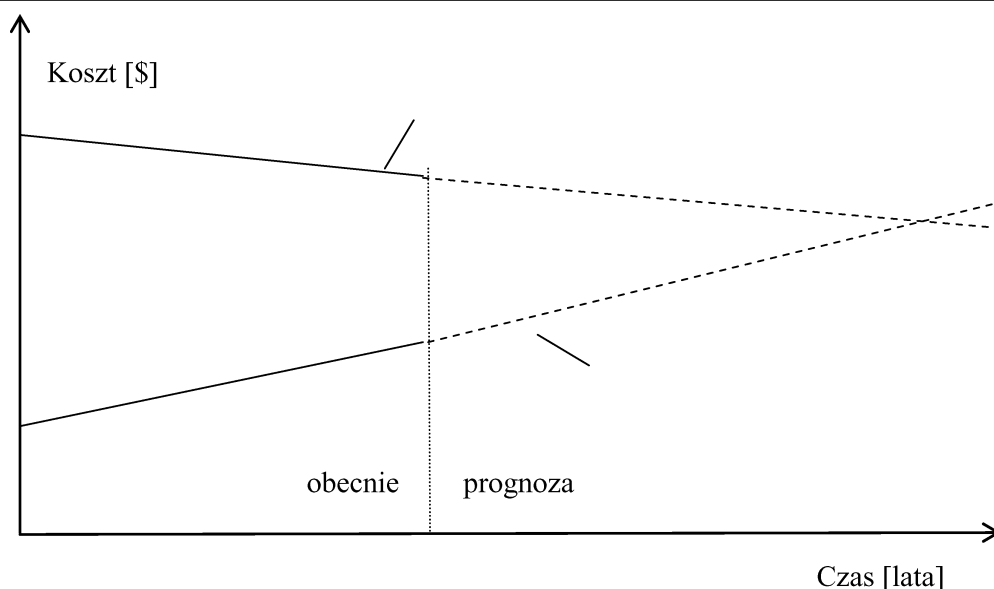
W krajach najbardziej rozwiniętych gospodarczo koszt zakupu robota przemysłowego jest porównywalny z kosztami utrzymania pracownika. Należy jednakże mieć na uwadze, że koszt zakupu robota stanowi jedynie część kosztów związanych z inwestycją w stanowisko zrobotyzowane.

Analiza kosztów inwestycji w robotyzację jest trudna, ponieważ na system robotowy, oprócz robota, składają się również dodatkowe elementy. Dlatego analiza musi objąć wiele czynników kosztowych, ale opierając się na dostępnych danych [13, 16] można oszacować, że koszt zakupu robota stanowi jedynie ok. 50% całej inwestycji (tab. 3).

Stanowisko zrobotyzowane wymaga każdorazowo zaprojektowania i dostosowania do warunków konkretnego zakładu produkcyjnego. Robot stanowi maszynę o dużym stopniu uniwersalności, ale o możliwościach jego zastosowania



Rys. 2. Liczba osób pracujących w warunkach zagrożenia na 1000 zatrudnionych w zakładach objętych badaniem GUS [17]



Rys. 3. Porównanie trendu zmian kosztu robotów i kosztu utrzymania pracownika

	USA	Niemcy	Szwecja	Polska	Chiny
Średni koszt utrzymania pracownika	60000\$	80000\$	100000\$	20000\$	6000\$
Stosunek kosztu robota (100000 \$) do kosztu rocznego utrzymania pracownika	1,66	1,25	1	5	16

Tab. 2. Porównanie kosztów utrzymania pracownika w wybranych krajach [9]

Elementy systemu zrobotyzowanego	koszt %
robot	50%
projekt stanowiska	15%
zarządzanie	5%
narzędzia	5%
wyposażenie	5%
integracja	10%
oprogramowanie	5%
szkolenie	5%
koszt łączny	100%

Tab. 3. Szacunkowe koszty elementów systemu zrobotyzowanego [13]

decyduje specyficzne wyposażenie, narzędzia oraz chwytaki. Jest to często wyposażenie specjalne, które wymaga odpowiedniego zaprojektowania i wykonania na zamówienie. Konieczna jest integracja wszystkich elementów stanowiska z układem sterowania robota oraz z innymi systemami przedsiębiorstwa. Istotny element stanowi dodatkowe

oprogramowanie, umożliwiające programowanie robota w trybie *off-line*. Ostatni etap to przeszkolenie pracowników obsługi.

W typowych przypadkach nakłady inwestycyjne związane z projektem i wdrożeniem stanowiska zrobotyzowanego (wraz ze specjalnym oprzyrządowaniem) mogą stanowić ok 100% kosztu zakupu robota.

W związku z wysokimi nakładami finansowymi na produkcję zrobotyzowaną, należy dokładnie rozważyć opłacalność takiej inwestycji i należy mieć na uwadze, że nietypowe wdrożenia mogą być związane z wyższymi kosztami.

4.1. Koszty związane z robotyzacją procesów produkcji

Koszty procesu produkcji K można w przybliżeniu przedstawić jako zależność liniową:

$$K = a \cdot n + b \quad (1)$$

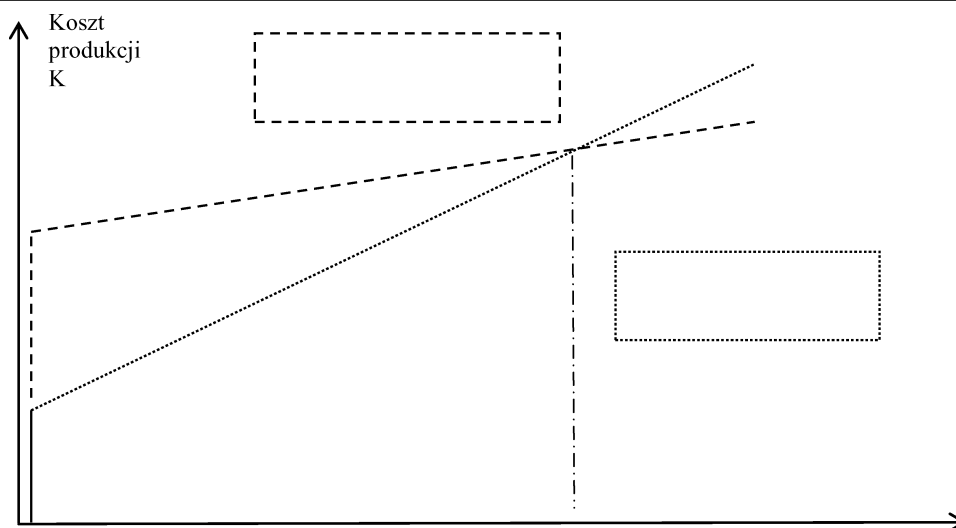
gdzie:

n – wielkość produkcji – liczba sztuk,

a – współczynnik kosztów proporcjonalnych,

b – współczynnik kosztów stałych (nakłady inwestycyjne na uruchomienie produkcji).

Na rysunku 4. przedstawiono porównanie kosztów produkcji dla procesów konwencjonalnych i zautomatyzowanych lub zrobotyzowanych. W produkcji konwencjonalnej nakłady początkowe na uruchomienie produkcji b są stosunkowo



Rys. 4. Koszty produkcji dla procesów konwencjonalnych i zautomatyzowanych

niskie, natomiast koszty proporcjonalne a są stosunkowo wysokie, a w związku z tym, sumaryczny koszt procesu szybko rośnie wraz ze wzrostem produkcji. Natomiast w przypadku produkcji zautomatyzowanej nakłady początkowe są dużo wyższe, lecz koszty proporcjonalne są niższe niż w produkcji konwencjonalnej. W rezultacie po przekroczeniu pewnego progu wielkości produkcji koszty produkcji zautomatyzowanej stają się niższe niż koszty produkcji konwencjonalnej.

Do przybliżonej oceny opłacalności inwestycji można wykorzystać okres zwrotu z inwestycji, który można obliczyć z zależności [14, 15]:

$$O_z = \frac{\Delta I}{\Delta K} = \frac{I_a - I_k}{\Delta K} \quad (2)$$

gdzie:

ΔI – różnica pomiędzy nakładami inwestycyjnymi na uruchomienie produkcji zautomatyzowanej I_a i konwencjonalnej I_k .

ΔK – roczna oszczędność kosztu wytwarzania.

Im krótszy okres zwrotu z inwestycji, tym większa opłacalność inwestycji. W najkorzystniejszej sytuacji okres zwrotu wynosi 1-2 lata i przyjmuje się, że graniczna wartość okresu zwrotu wynosi ok. 3-5 lat. Jednakże na wstępnym etapie projektowania inwestycji trudno jest dokładnie ocenić potrzebne nakłady i możliwe oszczędności. Formuła ta nie uwzględnia zmian wartości pieniądza w czasie, ani nie dyskontuje przyszłych przychodów.

Dlatego uwzględniając specyfikę procesów robotyzacji i biorąc pod uwagę sumaryczną wartość nakładów inwestycyjnych oraz stopy dyskontowej i amortyzacji, można napisać zależność [18, 20]:

$$O_z = \frac{I_n}{l_z (l_p - l_o) k_p - (r + p) I_n} \quad (3)$$

lub

$$O_z = \frac{I_n}{l_z (w - l_o / l_r) k_p - (r + p) I_n} \quad (4)$$

gdzie:

I_n – wartość nakładów inwestycyjnych,

l_z – liczba zmian roboczych,

l_p – liczba pracowników na jednej zmianie zastępowanych przez robota,

l_o – liczba pracowników obsługujących stanowisko zrobotyzowane ($l_o = 0,25 \div 1$, jeden operator może obsługiwać kilka stanowisk zrobotyzowanych),

k_p – średni roczny koszt utrzymania pracownika,

r – stopa dyskontowa,

p – udział rocznego kosztu eksploatacji robota jako procent od kapitału (amortyzacja),

w – wzrost wydajności pracy robota w porównaniu do 1 pracownika,

l_o / l_r – liczba pracowników obsługujących roboty w stosunku do liczby robotów.

Koszt utrzymania pracowników k_p , którzy zostali zastąpieni przez robota stanowi oszczędność i opowiada zwrotowi z inwestycji.

W przypadku, gdy nakłady i przychody są zmienne w czasie, często stosowana jest metoda wartości obecnej netto (*Net Present Value* – NPV), która polega na porównaniu nakładów przewidywanych na realizację inwestycji do sumy spodziewanych nadwyżek pieniężnych możliwych do osiągnięcia z projektowanego przedsięwzięcia w kolejnych okresach jego eksploatacji, ale po uprzednim sprawdzeniu ich przyszłej wartości do aktualnego poziomu (zdyskontowania) z uwzględnieniem kosztu zaangażowanego kapitału (wymaganej stopy zwrotu) [7].

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{FCF_i}{(1+r)^n} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{(1+r)^n} - \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{(1+r)^n} > 0 \quad (5)$$

gdzie:

r – oczekiwana stopa zwrotu z zaangażowanych w przedsięwzięcie funduszy, najczęściej związana z szacowanym kosztem kapitału pokrywającego wymagane nakłady inwestycyjne,

FCF_i – projektowane przyszłe przepływy pieniężne netto możliwe do osiągnięcia w kolejnych okresach eksploatacji inwestycji,

P_i – przychody kolejnych okresów,
 I_i – nakłady kolejnych okresów,
 n – liczba przewidywanych okresów prognozy finansowej dla danej inwestycji.

Liczba okresów n , po których NPV osiąga wartość dodatnią stanowi okres zwrotu z inwestycji.

Robot może pracować w cyklu automatycznym (beobsługowym) przez pewien okres czasu, ale zalecane są okresowe przeglądy serwisowe wymagające dodatkowych nakładów [16]:

- obsługa serwisowa robota – 1 na rok (*preventive maintenance*) – 500\$ rocznie,
- przegląd generalny i wymiana zużytych elementów po 5 latach – 5000\$ jednorazowo,
- remont kapitalny po 10 latach pracy – (*refurbishment*) – 30000\$ (lub sprzedaż i zakup nowego robota).

Czas życia robota przemysłowego jest szacowany na 15-20 lat, w zależności od warunków pracy.

Kolejny koszt stanowi zużycie energii przez roboty. Jest ono uzależnione od mocy zainstalowanych napędów. Przeciętne moce napędów robota wynoszą [15]:

- Roboty małe (*Small robots*) ~1 kVA,
- Roboty średniej wielkości (*Standard robots*): 7,5 kVA,
- Roboty duże (*Heavy-duty robots*): 13,5 kVA,
- Układ sterowania (*Stand-by mode*): 0,275 kVA.

Moc maksymalna jest pobierana jedynie wtedy, gdy robot porusza się z maksymalną prędkością wraz z ładunkiem. W przypadku, gdy robot się nie porusza i oczekuje na wykonanie zadania zużycie energii jest minimalne. Wg badań przeciętne zużycie energii wynosi 75-80% mocy nominalnej [11] i dla typowych robotów średniej wielkości zużycie energii kształtuje się na poziomie ok. 6 kWh [16].

Biorąc pod uwagę koszty energii dla odbiorców przemysłowych wg [1], koszt energii w Polsce wynosi ok. 0,35 PLN/kWh. Tym samym koszt energii zużytej przez przeciętnego robota może wynieść: 0,35 PLN/kWh 6kW = 2,1 PLN/h.

Dla porównania: koszt energii w USA kształtuje się na poziomie – 0,09 \$/kWh. Koszt energii zużytej przez robota wyniesie 0,09 \$/kWh 6kW = 0,54 \$/h [16].

4.2. Przykład

Analizowano stanowisko prasy hydraulicznej, które jest obsługiwane ręcznie przez jednego pracownika na zmianie roboczej [4, 5]. Tłoczenie na prasach umożliwia wykonanie różnorodnych wytłoczek z blachy. Proces tłoczenia charakteryzuje się krótkim cyklem pracy, natomiast obsługa ręczna wymaga wykonania szeregu powtarzalnych i monotonicznych czynności roboczych, tj. pobranie arkusza blachy, umieszczenie arkusza na prasie, uruchomienie prasy, czekanie, pobranie gotowej wytłoczki, odłożenie wytłoczki itd. Dodatkowo występują zagrożenia mechaniczne, podnoszące ryzyko zawodowe, dlatego proces ten jest podatny na robotyzację.

Dane dotyczące zrobotyzowanego stanowiska obsługi prasy hydraulicznej:

- nakłady inwestycyjne $I_n = 600000$ zł (200000 \$, w tym robot 100000\$),

- liczba pracowników przed robotyzacją $l_p = 1$,
- średnie roczne wynagrodzenie pracownika z narzutami pracodawcy wg ZUS [2013] $k_p = 52800$ zł,
- liczba zmian roboczych $l_z = 1-3$,
- wskaźnik wzrostu wydajności pracy $w = 2$, (2 razy większa wydajność robota w stosunku do pracownika),
- liczba pracowników obsługi $l_o = 0,25$,
- stopa dyskontowa $r = 10\%$,
- stopa amortyzacyjna $p = 18\%$.

Obliczone wg zależności 4 rezultaty dla 3 wariantów nakładów (a- optymistyczny, b- średni, c- pesymistyczny) zamieszczono w tabeli 4.

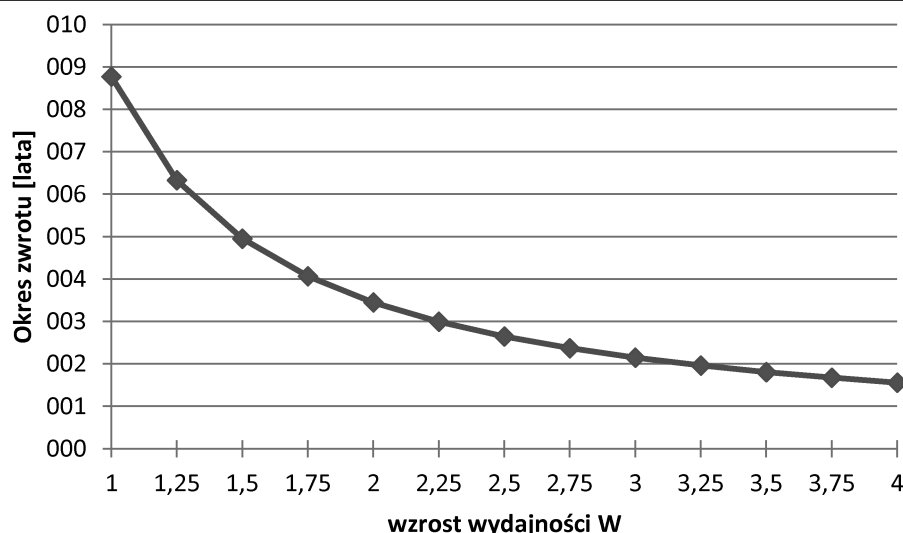
Z tabeli 4 wynika, że wykorzystanie robota przemysłowego do pracy na jedną zmianę nie jest opłacalne ekonomicznie, ponieważ okres zwrotu z inwestycji jest za długi. Opłacalna będzie praca na trzy zmiany pod warunkiem zapewnienia ciągłości produkcji i zbytu. W przypadku pracy na dwie zmiany inwestycja może znaleźć się na progu opłacalności. W tym przypadku, duże znaczenie może mieć wskaźnik wzrostu wydajności pracy robota w stosunku do wydajności pracy pracownika. Utrzymanie tego wskaźnika w zakresie $w > 2$ pozwala na uzyskanie krótkiego okresu zwrotu. Należy mieć na uwadze, że użyta formuła jest przybliżona, daje dobre rezultaty dla okresów zwrotu krótszych niż okres amortyzacji, który dla robotów wynosi 5-6 lat (rys. 5).

W celu szczegółowego uwzględnienia przychodów i nakładów w latach kolejnych zastosowano metodę NPV [7]. Założono, że robot może wykonać pracę taką jak dwóch ludzi, ale dodatkowo wymaga obsługi przez operatora w wymiarze 50% czasu pracy. Dla pracy na trzy zmiany przez 250 dni w roku, można uzyskać roczne oszczędności funduszu płac na poziomie 270000 PLN. Założono nakłady początkowe na inwestycję w wysokości 600000 PLN oraz zużycie energii na poziomie 12800 PLN/rok, a także plan serwisowy przedstawiony w pkt 4.1. Uwzględniono również 5% dyskonta. Nie uwzględniono potencjalnego wzrostu przychodów ze sprzedaży, związanego ze wzrostem skali produkcji, ponieważ jest on związany z ceną sprzedaży oraz kosztami wytwarzania konkretnego wyrobu i dlatego jest trudny do oszacowania. Przedsiębiorstwo może również konkurować cenowo i obniżyć cenę rynkową produktu. Wtedy przychody ze sprzedaży pozostaną na takim samym poziomie, jak przed inwestycją w robotyzację.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki symulacji przepływów finansowych związanych z inwestycją w stanowisko zrobotyzowane. Z obliczeń wynika, że w przypadku pracy na

	Nakłady inwestycyjne [PLN]		
	Wariant A	Wariant B	Wariant C
	400000	600000	800000
liczba zmian roboczych	Okres zwrotu [lata]		
1	4,69	7,35	10,26
2	2,25	3,45	4,69
3	1,48	2,25	3,04

Tab. 4. Zestawienie obliczonego okresu zwrotu w zależności od liczby zmian roboczych



Rys. 5. Okres zwrotu inwestycji w stanowisko zrobotyzowane w zależności od wskaźnika wzrostu wydajności pracy robota w stosunku do wydajności pracy pracownika

Rok	Przychody	Z dyskontem	Nakłady	Energia	Z dyskontem	NPV	Narastająco
1	270000	257142,86	600000	12600	583428,57	-326285,71	-326285,71
2	270000	244897,96	1500	12600	12789,12	232108,84	-94176,87
3	270000	233236,15	1500	12600	12180,11	221056,04	126879,17
4	270000	222129,67	1500	12600	11600,10	210529,56	337408,73
5	270000	211552,06	9000	12600	16924,17	194627,90	532036,63
6	270000	201478,16	1500	12600	10521,64	190956,52	722993,15
7	270000	191883,96	1500	12600	10020,61	181863,35	904856,51
8	270000	182746,63	1500	12600	9543,44	173203,19	1078059,70
9	270000	174044,41	1500	12600	9088,99	164955,42	1243015,12
10	270000	165756,58	90000	12600	62987,50	102769,08	1345784,20
					Suma	1345784,20	

Tab. 5. Symulacja przepływów finansowych związanych z inwestycją w stanowisko zrobotyzowane

2 zmiany dodatnie wyniki finansowe pojawią się dopiero po pięciu latach od wdrożenia inwestycji. Natomiast w przypadku pracy na trzy zmiany inwestycja powinna się zwrócić po trzech latach.

Podobne analizy przeprowadzone dla danych pochodzących z krajów najbardziej rozwiniętych gospodarczo pokazują wysoką opłacalność inwestycji w robotyzację. W przypadku pracy na dwie zmiany, zwrot następuje w już drugim roku inwestycji.

5. Podsumowanie

Można zaobserwować coraz szersze wykorzystanie robotów przemysłowych na świecie, ponieważ wykazują one wiele zalet w porównaniu do prac wykonywanych ręcznie przez pracowników. Pozwalają m.in. na usprawnienie procesów produkcji, eliminację zakłóceń powodowanych błędami ludzkimi oraz poprawę warunków pracy i bezpieczeństwa. Natomiast wykorzystanie robotów w kraju również powoli i pozostaje w dalszym ciągu na stosunkowo niskim poziomie, znacznie niższym niż średnia światowa.

Wynika to m.in. z wysokich nakładów finansowych związanych z inwestycją w robotyzację oraz stosunkowo niskich kosztów pracy w porównaniu do krajów bardziej rozwiniętych gospodarczo. Taka sytuacja wymaga dokładnego oszacowania kosztów i zysków oraz potencjalnych oszczędności związanych z inwestycją w stanowisko zrobotyzowane. Z przeprowadzonej w przykładzie analizy wynika, że w obecnych warunkach taka inwestycja będzie opłacalna ekonomicznie jedynie w przypadku pracy trójzmiannowej, natomiast w krajach najbardziej rozwiniętych gospodarczo inwestycja będzie opłacalna już w przypadku pracy dwuzmiannowej, a nawet jednozmiannowej.

Jednakże, biorąc pod uwagę aktualne trendy gospodarcze i obniżanie cen robotów przemysłowych oraz systematyczny wzrost płacy minimalnej i średniego wynagrodzenia w przemyśle, w przyszłości opłacalność takiej inwestycji ulegnie poprawie. Powinno to zaowocować większą liczbą działających robotów przemysłowych. Krajowe przedsiębiorstwa będą zmuszone inwestować w automatyzację i robotyzację, aby pozostać konkurencyjne w warunkach globalizacji gospodarki światowej.

Literatura:

- [1] ENEA. *Taryfa dla usług dystrybucji energii elektrycznej*, dostępny: http://www.operator.enea.pl/img/pliki_do_pobrania/taryfa/2014/Taryfa_ENEA_Operator_na_rok_2014.pdf.
- [2] Honczarenko J.: *Robotyzacja i automatyzacja lekiem na globalizację produkcji?* „Przegląd Mechaniczny” nr 11/2006, s. 34-36.
- [3] International Federation of Robotics. *President report*. Dostępny w Internecie: <http://www.ifr.org/news/ifr-press-release/president-s-report-617/>.
- [4] Kampa A.: *Analiza wydajności pracy ręcznej i pracy robota przemysłowego na przykładzie symulacji komputerowej stanowiska prasy hydraulicznej*, [w:] *Projektowanie i sterowanie procesami*, red. M. Janczarek, A. Świć. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2013, s. 41-50.
- [5] Kampa A.: *Planning and scheduling of work in robotic manufacturing systems with flexible production*, [in:] B. Skołod (ed.): *Hueristic Methods of Project and Production Scheduling*. “Journal of Machine Engineering” Vol. 12, No. 3/2012, pp. 34-44.
- [6] Karabegovic E., Karabegovic I., Hadzalic E.: *Industrial Robot Application Trend in World's Metal Industry*. “Engineering Economics”, 2012, 23(4), p. 368-378.
- [7] Koniński J., Malewicz A.: *Cash flows, przepływy pieniężne*. Wydawnictwo Intpol, Czosnów 1990.
- [8] Kost G., Łebkowski P., Węsierski Ł.: *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych. Zarządzanie i Inżynieria Produkcji*. PWE, Warszawa 2014.
- [9] *Koszty pracy w Unii Europejskiej w latach 2008-2012*. Dostępny: <http://www.rynekpracy.pl/artykul.php/wpis.717>.
- [10] Łapiński K., Peterlik M., Wyżnikiewicz B.: *Wpływ robotyzacji na konkurencyjność polskich przedsiębiorstw. Raport IBnGR*. Warszawa 2013, dostępny: http://www.ibngr.pl/content/download/1437/15758/file/Wplyw_robotyzacji_na_konkurencyjnosc_firm_raport_IBnGR.pdf.
- [11] Maik D., Rybicki L.: *Analysis of the Energy Efficient Usage Methods of Medium and High Payload Industrial Robots in the Automobile Industry*. 10th International Symposium „Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering“ Pärnu, Estonia, January 10-15, 2011, dostępny: http://aleph-files.rtu.lv/kolekcija/2011_Analysis_Topical_Problems.pdf.
- [12] *Nauka i technika w 2012*. GUS. http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/ST_science_and_technology_2012.pdf.
- [13] Pires J.N.: *Productive robotics in Europe: evolution, trends and challenges*. “Industrial Robot: An International Journal”, Vol. 38, Issue 1, 2011, dostępny: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0143-991x&volume=38&issue=1&articleid=1901432&show=html>.
- [14] *Positive Impact of Industrial Robots on Employment*. IFR 2013. Dostępny w Internecie: http://www.ifr.org/uploads/media/Update_Study_Robot_creates_Jobs_2013_01.pdf.
- [15] *Power supply robot*. KUKA. Dostępny w Internecie: http://www.kuka.be/main/cservice/faqs/hardware/PowerSupplyRobots_EN.pdf.
- [16] *The Business Case for Robots*. Motoman a Yaskawa company. Churchill Technologies, dostępny: <http://www.churchill-tech.com/images/business-case-for-robots.pdf>.
- [17] *Warunki pracy w 2012*. GUS, dostępny: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PW_warunki_pracy_w_2012_r.pdf.
- [18] Zdanowicz R.: *Robotyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [19] Zieliński C.: *Quo vadis robotyka?* „Pomiary Automatyka Robotyka” 5/2010, s. 5-15.
- [20] Żurek J. (red.): *Robotyzacja procesów technologicznych: wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1997.

THE PERSPECTIVES OF PRODUCTION PROCESSES ROBOTIZATION

Key words:

industrial robot, robotization, production process.

Abstract:

In the article some issues related to the use of industrial robots in a variety of manufacturing processes are discussed. There is increasing use of industrial robots in the world because they have a lot of advantages compared to the work done by hand by workers. Robots allow streamlining production processes, eliminating distortions caused by human error, and improving working conditions and safety. However, the use of robots in the Poland grows slowly and stays at a relatively low level, much lower than the world average. This is due, inter alia, of the high financial expenditures associated with an investment in robotization and relatively low labour costs compared to more economically developed countries. Such a situation requires an accurate estimate of the costs and benefits and the potential savings associated with an investment in robotized workstation. The article presents the methodology for estimating the costs of robotization and shows an example of calculation for a robotized hydraulic press for pressing metal elements. The analysis shows that in the current environment, such investment will be profitable only in the case of three-shift-work. However, given the current economic trends and lowering prices of industrial robots and a systematic increase in the minimum wage and the average wage in the industry in the future, the profitability of such investments become improved which will result in a greater number of industrial robots.

Dr inż. Adrian KAMPA

Institut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska
adrian.kampa@polsl.pl