

Symulacja ekonomicznych i społecznych skutków robotyzacji

Krzysztof Krupa

Institut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Krakowska

Streszczenie: Zastosowanie robotów w pracach fizycznych wydaje się naturalne i opłacalne. Czy jednak można całkowicie zastąpić człowieka? Jakie skutki społeczno-ekonomiczne mogłaby mieć taka operacja? Próbę odpowiedzi na te pytania zawarto w niniejszym artykule.

Słowa kluczowe: symulacja, prognozowanie, robotyzacja

Artykuł prezentuje ogólny zarys rozważań na temat skutków zwiększania liczby robotów w Polsce. Z jednej strony im więcej robotów, tym lepiej, bo człowiek mniej się napracuje, ale z drugiej strony, jeżeli człowiek nie ma pracy, to nie ma przychodów. Za co więc kupi produkty wytworzone przez roboty? Problem takiej analizy, ze względu na liczbę parametrów i niejednokrotnie trudny do ustalenia charakter ich współzależności, a także ze względu na wszechobecne sprzężenia zwrotne, opóźnienia i wzmocnienia oraz tłumienie sygnałów, jest trudny i wymaga szerszego opracowania.

Wprowadzenie

Od wielu już lat człowiek marzył, aby prace fizyczne wykonywał za niego robot. Samo pojęcie Robot wprowadził Karel Čapek, a wywodzi się od czeskiego słowa *robot*, oznaczającego ciężką pracę. Można powiedzieć, że wiele zrobiono, aby prace fizyczne, te ciężkie oraz te powtarzalne, wykonywały maszyny, nawet jeżeli ich sterowaniem musi zajmować się człowiek. Mowa tu o urządzeniach zwiększających wydajność pracy, podnoszących jakość, zastępujących człowieka w trudnym lub niebezpiecznym środowisku. Zastosowanie robotów jest niewątpliwie korzystne. Ale czy rozwój robotyki ma granice? Czy roboty mogą całkowicie zastąpić człowieka? Czy istnieje możliwość, że roboty będą samoreproduktywne i będą się samodzielnie rozwijać, służąc człowiekowi? Czy taki stan świata jest możliwy? Jaka będzie, w takim świecie, rola człowieka? Takich pytań można postawić wiele, a dotyczyć będą nie tylko dziedziny techniki, ale każdej innej, w której możliwy jest rozwój.

Dynamika systemów

Żyjemy w świecie, który sam jest systemem i który składa się z systemów. Encyklopedia definiuje system jako „...zbiór przedmiotów lub zjawisk wzajemnie zależnych, które tworzą jedną całość (struktura systemu) albo jako całość działającą (funkcja systemu).” [10].

Można powiedzieć, że systemy są wszechobecne i w większości przypadków dynamiczne. Źródłem dynamiki są opóźnienia działań w reakcji na bodźce, dodatnie lub ujemne sprzężenia zwrotne, a także, najczęściej nieliniowe, wzmoc-

nienia sygnałów. Obserwując świat oraz czytając literaturę z zakresu dynamiki systemów [5–7] można dojść do wniosku, że, pomimo swojej różnorodności, działania systemów są do siebie podobne. Oczywiście różnice również występują, szczególnie w przypadkach, gdzie jednym z obiektów systemu jest człowiek, charakteryzujący się możliwością abstrakcyjnego myślenia, niemożliwą, a przynajmniej bardzo trudną do formalnego (matematycznego) zapisu. O porównaniu systemów technicznych i gospodarczych pisze w swojej książce Łukaszewicz [7]: „...Czym różnią się systemy techniczne (jak np. samoloty, elektrownie) od systemów gospodarczych (jak np. przedsiębiorstwa)? Systemy techniczne składają się z elementów o cechach, które w założonych marginesach są określone jednoznacznie. Podstawowym elementem systemu gospodarczego natomiast są ludzie cechujący się zdolnościami umysłowymi i indywidualnością działania. Ukierunkowanie tego działania w stopniu pozwalającym na sterowanie systemem uzyskuje się za pomocą bodźców. Jednak reakcje na bodźce są dosyć różne i nie zawsze łatwe do określenia. Podobne różnice występują także w odniesieniu do warunków otoczenia, w jakich pracują systemy techniczne i gospodarcze...”

Zastosowanie robotów w gospodarce człowieka wymaga wiedzy o systemach technicznych, ekonomicznych, społecznych i innych, związanych właśnie z człowiekiem.

Granice wzrostu

Historia zna wiele przypadków, kiedy przewidywany, wykładniczy rozwój, zmieniał swój charakter dążąc do zaniku. Jako przykład można podać rozwój epidemii, które powodowały śmierć milionów ludzi [11]. Rodzi się pytanie, dlaczego nie umarli wszyscy? Rozprzestrzenianie się choroby następowało w postępie geometrycznym, a jednak zostało zahamowane. Jest to typowy przykład systemu drapieżnik-ofiara, w którym istnieje granica wzrostu [4, 5]. Wiele systemów zachowuje się w podobny sposób. Pozwala to formułować tezę, że, w większości przypadków, systemy dążą do osiągnięcia stanu stabilnego. Wytracone z położenia równowagi, z powrotem dążą do osiągnięcia stanu stabilnego, nawet jeżeli nie będzie to stan poprzedni, tzn. inna będzie wartość średnia. Należy przypuszczać, że podobnie będzie z zastępowaniem człowieka przez roboty. Człowiek pracując, generuje wartość dodaną, która przekłada się na środki umożliwiające konsumpcję ogólnie pojętych dóbr. Wprowadzenie robotów spowoduje zmniejszenie środków przeznaczonych na konsumpcję. Zatem można wyobrazić sobie sytuację, w której roboty produkują wszystko, ale człowiek nie ma środków na zakup wytworzonych produktów. Jest to duże uproszczenie, bo system społeczno-gospodarczy jest bardzo skomplikowany i relacje między jego elementami nie można opisać za pomocą prostych zależności. Znany jest w historii człowieka system społeczny, przez wielu uważany za utopijny, w którym każdy człowiek powinien

dostawać „według potrzeb”. W takim idealnym świecie możliwa byłaby sytuacja, w której roboty produkują wszystko (w tym siebie), a ludzie otrzymują „pieniądze” w funkcji jakiegoś kryterium, np. inteligencji. Pomysł taki nie jest nowy, znalazł odzwierciedlenie w książce *Limes inferior* Janusza Zajdla [12], napisanej w 1982 r.

Model systemu

Postawiony w temacie artykułu problem, rozpatrywany w czasie teraźniejszym, jest stosunkowo prosty. Każdy, mniej lub bardziej obiektywnie, może ocenić, czy robotów w Polsce jest wystarczająco dużo, czy nie [8]. Rozpatrywanie tego problemu w kategoriach czasu przyszłego wymaga zbudowania modelu oraz użycia odpowiednich metod i oprogramowania, tak aby można było prognozować skutki podejmowanych decyzji oraz ocenić wrażliwość systemu na zmianę wartości jego parametrów. Na rynku istnieje wiele programów do symulacji systemów (Vensim, STELLA/iThink, DYNAMO, Powersim, acslXtreme, SIMFACTORY, ARENA, ProModel, FACTOR); jedne są dedykowane do symulacji systemów ciągłych, a inne do symulacji systemów dyskretnych. Budując model systemu, autor zdecydował się wykorzystać program Vensim [15]. Program ten przeznaczony jest do symulacji systemów ciągłych, a takimi niewątpliwie są systemy społeczno-gospodarcze, pomimo że wiele z rozpatrywanych zjawisk ma charakter dyskretny. Zmienne takie traktowane będą jako ciągle, chociaż ich wartości niecałkowite mogą nie mieć sensu (trudno uznać pół robota za rzecz użyteczną). Należy pamiętać, że systemy komputerowe w każdym przypadku liczą dyskretnie, a dokładność obliczeń zależy m.in. od stosowanych metod matematycznych i przyjętego kroku dyskretyzacji. Należy również podkreślić, że metody symulacyjne nie są metodami optymalizacyjnymi, a jedynie wspomagają podejmowanie decyzji. Dlatego można je traktować jako quasi-optymalizacyjne oraz mogą być wykorzystywane do badań.

Każdy system można zbudować za pomocą elementarnych obiektów, jakimi są [1, 4–6]:

- Poziomy – odzwierciedlają kumulację materii (energia, pieniądze, ludzie, roboty...) lub informacji, w języku matematyki zapisywane są jako całki, np. :

$$Gotowka = \int Wplywy dt \tag{1}$$

gdzie: *Gotowka* – odzwierciedla stan kona wyrażony w PLN, *Wplywy* – wyraża zmianę wpływu pieniędzy odniesioną do jednostki czasu

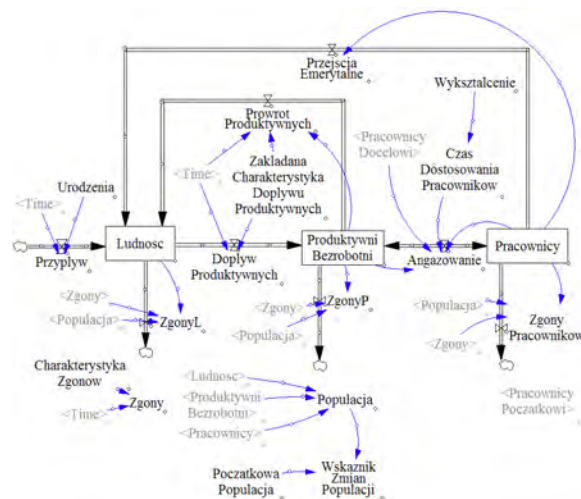
- Strumienie – odzwierciedlają prędkość zmiany parametru, w jednostce czasu,
- Zmienne pomocnicze.

Obiekty łączone są za pomocą relacji, których waga określa znaczenie współzależności [4].

Podsystem Ludzie

Rozwój społeczeństwa uwarunkowany jest różnymi czynnikami. Zmiana wartości niektórych z nich ma charakter losowy, a na niektóre można mieć wpływ, np. przez zmianę prawa, zwiększenie atrakcyjności mieszkania w Polsce, wysokości zarobków, czy też w inny sposób.

Stopień robotyzacji (SR), nazywany też gęstością robotyzacji (*robot density*) wyraża liczbę robotów przemysłowych



Rys. 1. Podsystem Ludzie
Fig. 1. Subsystem People

(*Roboty*) przypadających na 10 tys. osób zatrudnionych w zakładach przemysłowych (*Pracownicy*) [8].

$$SR = \frac{Roboty * 10000}{Pracownicy} \tag{2}$$

Celem wyodrębnienia pracowników, społeczeństwo podzielono na trzy grupy (rys. 1.):

- Ludność (*Ludność*),
- Produktywni bezrobotni (*ProduktywniBezrobotni*),
- Pracownicy (*Pracownicy*).

Suma liczebności tych grup stanowi całą populację (*Populacja*). Prowadzone rozważania ograniczają się do Polski, ale charakter zjawiska będzie analogiczny dla dowolnego obszaru, chociaż wpływ takich samych czynników na lokalne społeczeństwa może być nieco inny. Wynika to z mentalności, charakteru, kultury i wielu jeszcze innych aspektów. Stosując pewne uproszczenie, można powiedzieć, że całą populację utrzymuje grupa *Pracownicy*. W bardziej szczegółowej analizie należałoby uwzględnić podział pracowników na grupy zawodowe, historyczny dorobek społeczeństwa, który powinien przekładać się m.in. na świadczenia emerytalne. W pierwszym przybliżeniu wskaźnik zadowolenia społecznego (*ZDS*) można zdefiniować jako iloraz liczby pracowników (*Pracownicy*) i liczebności całej populacji (*Populacja*).

$$ZDS = \frac{Pracownicy}{Populacja} \tag{3}$$

W bardziej dokładnej analizie zadowolenie społeczne będzie mocno skorelowane z „zasobnością portfela”, a ta z kolei będzie funkcją liczby pracowników, kosztów pracy itp. Przyjęto, że głównym źródłem przyływu ludności są urodzenia, których prognozowaną liczbę, do 2035 r., przyjęto wg GUS [13]. Grupę tę zasilać będą również strumienie z tzw. „materiałowych” sprzężeń zwrotnych, wynikających z przejść emerytalnych grupy *Pracownicy* oraz powrotu z grupy *BezrobotniProduktywni*, po osiągnięciu odpowiedniego wieku:

$$Ludzie = \int_{t_1}^{t_2} (PR + PE + PBP - ZGL - DP) dt \tag{4}$$

gdzie:

PR – przyływ ludności (*Przyływ*, na tym etapie: urodzenia wg GUS, w funkcji czasu),

PE – przyływ ludzi pracujących, którzy osiągnęli wiek emerytalny (*PrzejsiaEmerytalne*),

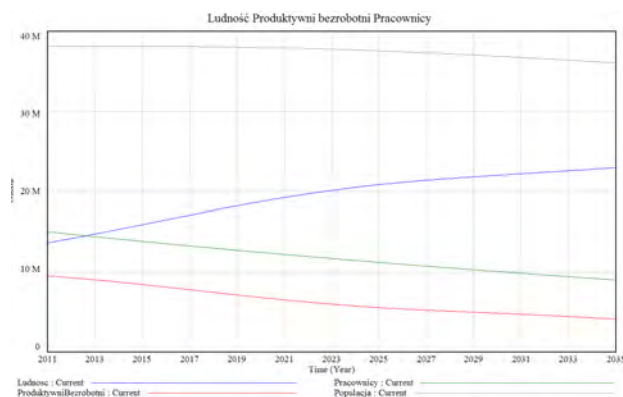
PBP – przyływ ludzi, którzy byli w wieku produktywnym, ale nie pracowali i osiągnęli wiek emerytalny (*Powrot-Produktywnych*),

ZGL – zgony grupy *Ludzie* (*ZgonyL*),

DP – przepływ ludzi, którzy osiągnęli wiek produktywny do grupy *ProduktywniBezrobotni*.

Już na tym etapie należy podkreślić duże znaczenie opóźnień w aspekcie pozyskiwania pracowników. Człowiek, który się urodzi dopiero za 18 lat, będzie w wieku produktywnym, a przez ten czas musi być utrzymywany właśnie przez grupę produktywną i pracującą. Strumień ten może być sterowany. Przykładem jest wprowadzenie tzw. „becikowego”, czyli parametru, który miał zwiększyć liczbę urodzeń. Zwiększyć populację można również, wprowadzając np. ułatwienia imigracyjne. W takim przypadku można spowodować, że strumień zasilania skierowany będzie do grupy *Bezrobotni-Produktywni*. Ale to jest również problem złożony, bo część imigrantów w wieku produktywnym ma rodziny, które do celowo zasiłą grupę *Ludzie*, a to obniży wskaźnik zadowolenia społecznego. Jak widać, sam problem „zasilania” społeczeństwa, stanowić może temat odrębnej analizy. Podobnie jest ze strumieniami powodującymi zmniejszanie się poszczególnych grup. Dla każdej wystąpi strumień związany ze zgonami. Przyjęto, że liczba zgonów będzie wprost proporcjonalna do wielkości danej grupy oraz do prognozowanej liczby zgonów wg GUS. To też jest pewne uproszczenie, bo zgony w wieku produktywnym będą mniejsze niż w wieku poproduktywnym. Wynika to z praw natury. Gdyby założyć, że liczba pracowników nie będzie zależała od wymuszenia, jakim jest produkcja uzależniona od sprzedaży, która jest bardzo ściśle skorelowana z ogólnie rozumianym zapotrzebowaniem, to w oparciu o prognozy GUS liczebność grupy produktywnych oraz produktywnych bezrobotnych zmniejszałyby się w funkcji czasu, a zwiększałyby się liczebność grupy *Ludnosc*. Liczebność całej populacji spadałaby nieznacznie. Wyniki takiej, bardzo przybliżonej symulacji przedstawiono na rys. 2.

Prognozy są takie, że społeczeństwo będzie się coraz bardziej starzało i możliwości wytwarzania dóbr konsumpcyjnych przez człowieka będą małe. W pełniejszej analizie należałoby uwzględnić jeszcze wiele innych czynników, np. istotny w Polsce problem emerytur uprzywilejowanych grup społecznych, a także ich potencjalne możliwości produkcyj-



Rys. 2. Rozwój społeczeństwa bez sprzężenia zwrotnego, w funkcji wymuszeń produkcyjnych

Fig. 2. Community development without feedback

ne, wynikające z młodego wieku, które mocno „zakłócałyby” stabilizację systemu. W tym miejscu należy podkreślić, że wyniki symulacji modułu *Ludzie* są zbliżone z prognozami opublikowanymi przez GUS [13].

Może więc należy wprowadzać roboty, które w bezpośredniej produkcji zastąpią człowieka?

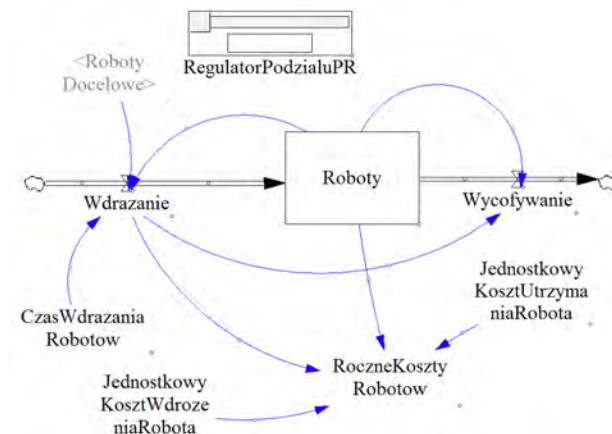
Podsystem Roboty

Rozwój techniki, szczególnie w zakresie napędów i sterowania, pozwala na konstruowanie coraz tańszych robotów o coraz szerszym spektrum zastosowań [2, 3]. Można zadać pytanie: kiedy oplaca się zastąpić człowieka robotem? Z ekonomicznego punktu widzenia wtedy, kiedy różnica między przychodami generowanymi przez robota, a kosztami związanymi z zakupem i eksploatacją będą większe, niż w przypadku pracy człowieka. Ale przecież celem nadrzędnym jest ogólnie pojęte dobro człowieka. A więc należy tu rozpatrzyć nie tylko aspekt ekonomiczny, ale może przede wszystkim – społeczny.

W modelu przyjęto, że liczba pracujących robotów jest całką po czasie, z różnicy między ich wdrażaniem i wycofywaniem (rys. 3.):

$$Roboty = \int_{t_1}^{t_2} (Wdrażanie - Wycofywanie) dt \quad (5)$$

Wdrażanie rozumiane jest jako zakup i produkcja własna robotów. Od chwili podjęcia decyzji o wdrożeniu robota do chwili jego pełnej funkcjonalności upłynie pewien czas, który jest istotną, ale sterowalną inercją tej części systemu. W modelu przyjęto, że będzie to opóźnienie wykładnicze pierwszego rzędu, wynikające z potrzeby zniwelowania różnicy między



Rys. 3. Podsystem Roboty

Fig. 3. Subsystem Robots

wymaganą liczbą robotów (*RobotyWymagane*) i liczbą robotów pracujących (*Roboty*) (o ile wymagana liczba robotów jest większa od liczby robotów pracujących), w określonym czasie (*CzasWdrażaniaRobotow*):

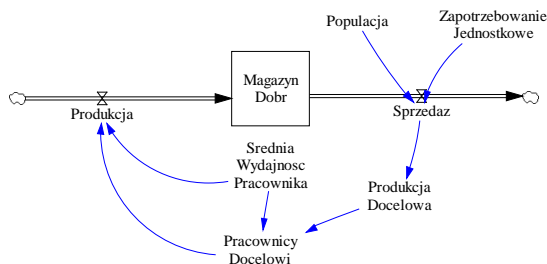
$$Wdrażanie = \frac{(RobotyWymagane - Roboty)}{CzasWdrażaniaRobotow} \quad (6)$$

Przyjmuje się, że maksymalny czas życia robota wynosi 15 lat [8, 14]. Ale w ogólnym przypadku czas ten będzie funkcją obciążenia pracą oraz innych czynników eksploatacyjnych, dlatego zdecydowano, że wycofywanie robotów jest opóźnieniem wykładniczym pierwszego rzędu sygnału *Wdrażanie*, z czasem opóźnienia wynoszącym 15 lat.

Podsystem Produkcja

Bezpośrednim wymuszeniem funkcjonowania systemu w aspekcie produkcji dóbr użytkowych jest zapotrzebowanie, które wynika z zamożności społeczeństwa, chęci posiadania, priorytetów wydatków i wielu innych czynników o różnym znaczeniu. Można postawić pytanie: ile dóbr należy produkować? Odpowiedź jest bardzo prosta: dokładnie tyle, ile się sprzeda. Niestety, określenie wielkości sprzedaży nie jest proste. Poza tym, zmiana wielkości sprzedaży nie przełoży się, w nieskończenie krótkim czasie, na zmianę produkcji. Często zmiana ta jest uwarunkowana liczbą pracowników, wydajnością maszyn, przygotowaniem odpowiedniego procesu technologicznego, a także samą organizacją pracy [9]. Poza tym, fluktuacje sprzedaży będą znacząco wpływały na wymagania dotyczące bezpiecznych stanów magazynowych.

Prosty, pozbawiony dynamiki wynikającej z charakteru zjawiska, model systemu produkcyjnego przedstawiono na rys. 4. Założono, że każda osoba z populacji kupi w ciągu roku dwie umowne sztuki „dóbr” użytkowych. Brak opóźnień wynikających ze struktury modelu oznacza, że przy znanej średniej wydajności pracownika bez problemu, za pomocą prostej arytmetyki, można wyznaczyć liczbę pracowników wymaganych do realizacji produkcji. Stan magazynowy nie zmienia się i nie będzie wymagany żaden zapas (rys. 5).



Rys. 4. Model systemu produkcyjnego v1
Fig. 4. Model of production system v1

W przyjętym modelu założono, że każda osoba kupi w ciągu roku dwie sztuki dóbr, ale w rzeczywistym systemie słowo „kupi”, w tym kontekście oznaczające stan, który z pewnością nastąpi, należy zastąpić słowami „chciałaby kupić”. Realizacja zamierzenia, związana jest z jednej strony m.in. z możliwościami finansowymi, a z drugiej strony z podażą, uzależnioną od możliwości produkcyjnych. Oba te aspekty są na tyle skomplikowane, że mogą stanowić temat osobno analizowanego problemu. Na rys. 6 przedstawiono nieco zmodyfikowany model systemu produkcyjnego. Wprowadzono mechanizmy odpowiadające za opóźnienia związane z zatrudnianiem pracowników oraz z chęci dostosowania stanu magazynowego do bezpiecznego poziomu. Przyjęto, że produkcja docelowa powinna odpowiadać sprzedaży bieżącej, powiększonej o korektę zasobów wynikającą z założonych wymagań dotyczących czasu przeznaczanego na reakcję systemu. Sama reakcja będzie miała charakter wykładniczy:

$$KorektaZasobow = \frac{(DocelowyMagazynDobr - MagazynDobr)}{CzasNaKorekteZasobow} \quad (7)$$

gdzie:

$$DocelowyMagazynDobr = \int_{t_1}^{t_2} (Produkcja - Sprzedaz) dt \quad (8)$$



Rys. 5. Wyniki symulacji pracy systemu v1
Fig. 5. Simulation results of system operation (v1)

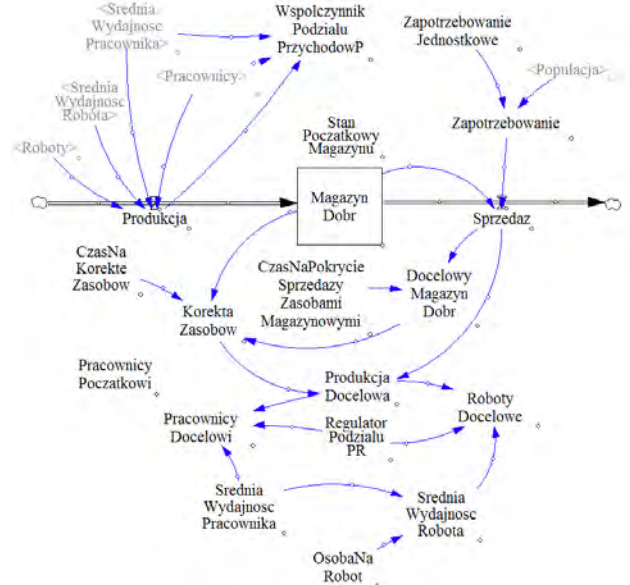
MagazynDobr jest wprost proporcjonalny do wielkości sprzedaży, a współczynnikiem proporcjonalności jest czas, w jakim mogłaby być realizowana sprzedaż przy wstrzymanej produkcji. Wymagana produkcja docelowa (ProdukcjaDocelowa) jest sumą bieżącej sprzedaży (Sprzedaz) oraz korekty zasobów (KorektaZasobow).

Wyniki symulacji, przy niezmiennym wymuszeniu, przedstawiono na rys. 7.

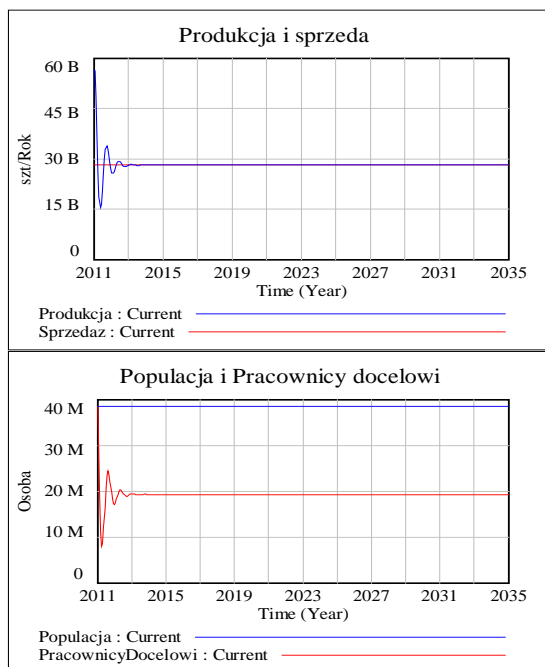
Drgania w systemie, które pojawiają się na początku symulacji, wynikają z niezerowej wartości trzech parametrów mających wpływ na opóźnienia: CzasNaPokrycieSprzedazyZasobamiMagazynowymi, CzasNaKorekteZasobow, CzasDostosowaniaPracownikow.

Gdyby wprowadzić zakłócenie polegające np. na dwukrotnym zwiększeniu jednostkowego zapotrzebowania całej populacji, to system zareaguje w sposób podobny do tego, jaki miał miejsce na początku symulacji (rys. 8).

Na tym etapie liczba pracowników uzależniona jest od bezpośredniego wymuszenia, jakim jest wielkość produkcji docelowej oraz jednostkowej wydajności pracownika, a także czasu związanego z przystosowaniem pracownika do pracy lub



Rys. 6. Podsystem Produkcja
Fig. 6. Subsystem Production



Rys. 7. Wyniki symulacji modułu Produkcja
Fig. 7. Simulation results of Production module

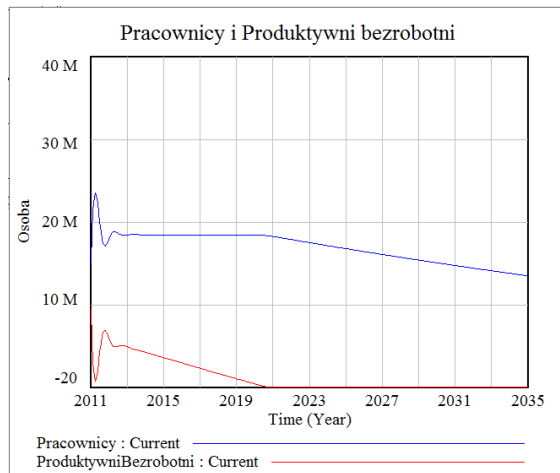
czasu, jaki upłynie od chwili podjęcia decyzji o zwolnieniu do samego zwolnienia. W systemie rzeczywistym źródłem potencjalnych pracowników są ludzie zakwalifikowani do grupy *BezrobotniProduktywni* (rys. 1). W przypadku założeń przedstawionych przez GUS, liczba osób w wieku produktywnym będzie maleć, a to, w połączeniu z przejściami emerytalnymi i zgonami oraz przy założeniu stałej wielkości zapotrzebowania na dobra użytkowe (silnie zależnej od całkowitej liczebności populacji), oznaczać będzie spadek liczby bezrobotnych (rys. 2, 9). Należy wnioskować, że za mało będzie ludzi w wieku produktywnym, mogących i chcących (to jest też osobny problem) pracować tak, aby zapewnić podobny poziom życia.



Rys. 8. Reakcja systemu na zmianę wymuszenia
Fig. 8. System reaction on input change

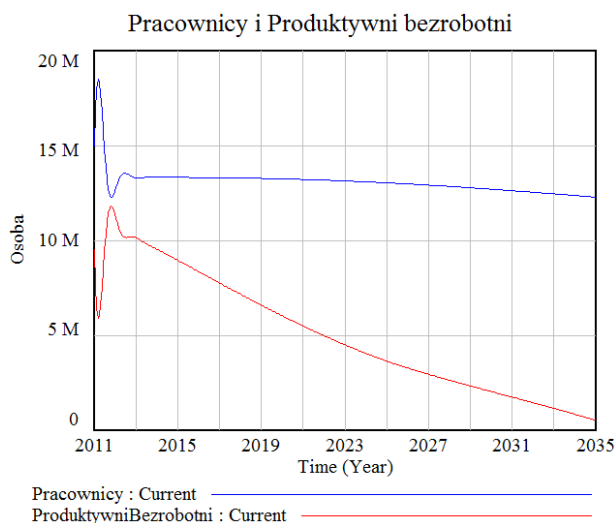
Podział pracy między ludzi i roboty

Wyniki poprzednich symulacji skłaniają do podjęcia decyzji o podziale pracy między ludzi i roboty. Wprowadzono współczynnik podziału produkcji docelowej (*RegulatorPodzialuPR*). Jest to liczba z przedziału $[0, 1]$. Wartość 1 oznacza, że cała produkcja docelowa realizowana jest przez ludzi, a wartość 0 – że przez roboty. Wyniki symulacji, przy założeniu, że roboty realizować będą $\frac{1}{4}$ zleceń, przedstawiono na rys. 10.



Rys. 9. Zmienne *Pracownicy* i *Produktywni bezrobotni* w funkcji czasu

Fig. 9. *Pracownicy* i *Produktywni bezrobotni* variables in time



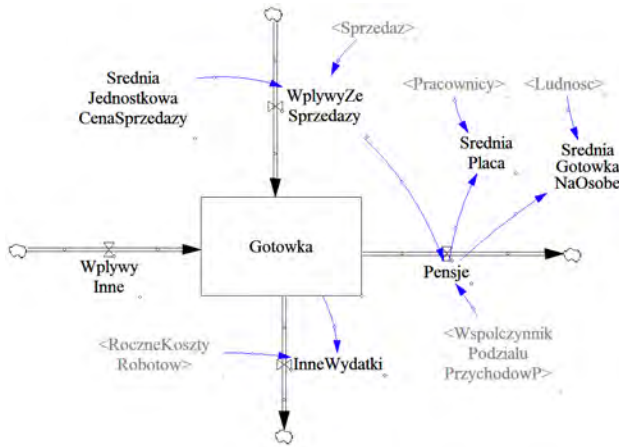
Rys. 10. Zmienne *Pracownicy* i *Produktywni bezrobotni* w funkcji czasu (podział 1:4)

Fig. 10. *Pracownicy* i *Produktywni bezrobotni* variables in time (rate 1:4)

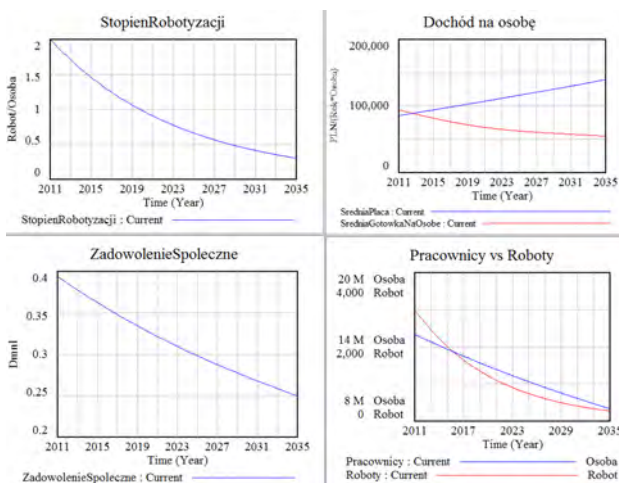
Wynika z niego, że do 2035 r. nie zabraknie ludzi w wieku produktywnym, do realizacji pracy zapewniającej właściwy poziom życia całego społeczeństwa.

Finanse

Dotychczasowe rozważania nie uwzględniały aspektu ekonomicznego oraz wynikających z niego sprzężeń zwrotnych. Z zakupem i eksploatacją robotów wiąże się koszty, ale koszty stanowią również wynagrodzenia pracowników. Przyjęto, że na pensje pracowników przeznaczane będzie 60 % przychodów ze sprzedaży, z uwzględnieniem współczynnika podziału przychodów, wynikającego z udziału pracy ludzkiej do całości produkcji. Było to bazą do wyznaczenia dwóch zasadniczych współczynników: średniej płacy oraz średniego dochodu na osobę. Oba te czynniki oraz zadowolenie społeczne będą stanowiły o podziale zleceń między ludzi a roboty. Na rys. 11 przedstawiono uproszczoną wersję modułu odpowiedzialnego za analizę przepływów finansowych. W pełnej wersji należy uwzględnić m.in. różnego typu opóźnienia, powszechnie wy-



Rys. 11. Moduł Finanse
Fig. 11. Financial module



Rys. 12. Wyniki symulacji
Fig. 12. Simulation results

stępujące w świecie finansów. Wydaje się, że będą one miały duży wpływ na reakcję systemu. Na rys. 12 przedstawiono istotne czynniki będące odpowiedzią na zmianę podziału zleceń (90 % ludzie, 10 % roboty). Jest to stały podział, a jednak powoduje reakcję systemu, który w rozważanym horyzoncie czasowym nie jest w stanie się ustabilizować.

Podsumowanie

W artykule nakreślono jedynie problemy, jakie należy uwzględnić wprowadzając roboty do systemu gospodarczego. Model, którego fragmenty przedstawiono w artykule, stanowi część szerszej analizy, nad którą pracuje autor. Przedstawione, przykładowe zmiany parametrów były „statyczne”, a przecież w systemie rzeczywistym będą one charakteryzowały się dynamiką, która będzie miała duży wpływ na zachowanie systemu. Pełna analiza wymagać będzie badań wrażliwości systemu na zmianę parametrów opisujących poszczególne obiekty. Trudno na tym etapie wyrokować o ich znaczeniu, jednak dotychczasowe próby pozwalają przewidywać, że niektóre z parametrów muszą mieć granice, bo ich przekroczenie powodowałoby chaos.

Bibliografia

1. Kasperska E.: *Dynamika systemowa. Symulacja i optymalizacja*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
2. Krenich S., Urbanczyk M.: *Six-legged walking robot for inspection tasks*. “Solid State Phenomena”, Vol. 180 (2012).
3. Krenich S., Spyrcza M.: *Modelowanie i symulacja zrobotyzowanego gniazda produkcyjnego z wykorzystaniem aplikacji ABB Robot Studio*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2/2011.
4. Krupa K.: *Modelowanie, symulacja i prognozowanie. Systemy ciągłe.*, WNT, Warszawa 2008.
5. Kwaśnicki W.: *Dynamika systemów jako metoda nauczania*, [w:] Radosiński E. (red.) *Symulacja komputerowa w nauczaniu ekonomii*, Polskie Towarzystwo Symulacyjne, 1998,
6. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.: *Granice Wzrostu*. PWE, 1973.
7. Łukaszewicz R.: *Dynamika systemów zarządzania*; PWN, Warszawa 1975.
8. Możaryn J., Piątek Z.: *Rynek robotyki przemysłowej bez tajemnic*,
9. <http://automatykab2b.pl/tematmiesiaca/2227-rynek-robotyki-przemyslowej-bez-tajemnic?start=1>.
10. Pękala J.: *Wpływ modelu produkcji na przepływ informacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, Warszawa, Nr 2/2011,
11. Pieszcachowicz J. (red.); *Popularna Encyklopedia Powszechna*, Oficyna Wydawnicza Fogra, 1997.
12. Scott S., Duncan Ch.: *Czarna Śmierć. Epidemie w Europie od starożytności do czasów współczesnych*, Bellona, 2008.
13. Zajdel J.: *Limes inferior*, superNOWA, 2010.
14. [www.stat.gov.pl/gus/5840_8708_PLK_HTML.htm].
15. [www.worldrobotics.org/].
16. [www.vensim.com/]. ■

Simulation of economic and social results of robotisation

Abstract: Application of robots in manufacturing is profitable and thus it is a natural trend. Is it, however, possible to replace the human being completely? What social and economic impact of such operation could be? An attempt to answer such question is presented in the paper.

Keywords: simulation, forecasting, robotisation

dr inż. Krzysztof Krupa

Pracownik naukowo-dydaktyczny Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej. W pracy zawodowej zajmuje się, szeroko pojętą, problematyką symulacji systemów.

e-mail: krupa@mech.pk.edu.pl

