

JOANNA ŻOŁNIERZ<sup>1</sup>, JACEK BAJ<sup>2</sup>, JAROSŁAW SAK<sup>1</sup>, SZCZEPAN BREZDEŃ<sup>1,3</sup>, LIDIA REJDAK<sup>4</sup>, PIOTR KSIĄŻEK<sup>4</sup>, RYSZARD MACIEJEWSKI<sup>2</sup>

## Robotyzacja farmacji: historia i stan obecny

### The robotization of the pharmacy: the history and the current state

<sup>1</sup> Zakład Etyki i Filozofii Człowieka, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

<sup>2</sup> Katedra Anatomii Prawidłowej Człowieka, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

<sup>3</sup> II Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

<sup>4</sup> Katedra i Zakład Zdrowia Publicznego, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

Autor korespondujący: jareksak@tlen.pl

#### Streszczenie

Dążenie do naśladowania natury towarzyszy człowiekowi od czasów najdawniejszych. Wyrażało się ono zarówno w próbach przenoszenia do świata człowieka niektórych mechanizmów funkcjonowania zwierząt, jak i w próbach kopiowania struktury funkcjonalnej zwierząt i człowieka. Konstruowanie w XIX stuleciu różnego rodzaju automatów nie tylko naśladowujących funkcje ludzkie lub zwierzęce ale także usprawniające produkcję przemysłową stworzyło fundamenty dla powstania w XX wieku robotyki. W 1961 roku opatentowano pierwszego robota przemysłowego a w 1985 roku podjęto próbę wykorzystania robota do wykonania biopsji guza mózgu. Jednak pierwsze automaty do liczenia tabletek użyto znacznie wcześniej niż miało miejsce zastosowanie robotyki w diagnostyce neurochirurgicznej. Początkiem robotyzacji farmacji było bowiem skonstruowanie i opatentowanie na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku przenośnego automatycznego licznika kapsułek i tabletek. Celem artykułu jest przedstawienie historii i obecnych trendów technologicznych zastosowania systemów robotycznych w farmacji z uwzględnieniem dylematów moralnych indukowanych rozwojem współczesnej robotyki farmaceutycznej.

**Słowa kluczowe:** historia techniki, historia farmacji, robotyka medyczna, etyka medyczna

#### Summary

The aspirations to imitating of the nature were accompanying the man from the most former times. They manifested themselves in attempts to imitate some mechanisms of functioning of animals and to imitate the functional structure of animals and man. The machines which not only imitated functions of man or animals but also streamlining of the industrial productions were made in 19<sup>th</sup> century and they created the foundations for robotics in the 20<sup>th</sup> century. The first modern industrial robot was patented in 1961 and the first attempt to use the robot for the neurosurgical biopsy of a brain tumor was made in 1985. However the first digital pills counters were used much earlier than applying robotics in neurosurgical diagnostics. The dawn of the robotization of the pharmacy was the inventing and the patenting of first portable automatic counter of capsules and pills at the turn of sixtieth and seventieth of the 20<sup>th</sup> century. The paper presents the history and current technological trends in pharmaceutical robotic systems and moral dilemmas which have been induced from development of the modern pharmaceutical robotics.

**Key words:** history of technology, history of pharmacy, medical robotics, medical ethics

## Wstęp

Dążenie do naśladowania natury towarzyszy człowiekowi od czasów najdawniejszych. Wyrażało się ono zarówno w próbach przenoszenia do świata człowieka niektórych mechanizmów funkcjonowania zwierząt (mit o Ikarze), jak i w próbach kopiowania struktury funkcjonalnej zarówno zwierząt jak i człowieka. Pierwszą udaną próbą sztucznego powielenia zwierzęcia miało być zbudowanie około 350 roku p.n.e. przez Archytasa z Tarentu mechanicznego ptaka poruszanego mechanizmem parowym. Pierwszą próbą odwzorowania człowieka było natomiast zbudowanie przez Al-Jazarięgo w 1206 roku czterech mechanicznych muzyków. Kolejnymi udanymi próbami sztucznego powielenia człowieka były konstrukcje autorstwa Leonarda da Vinci – mechaniczny rycerz z 1495 roku oraz mechaniczny muzyk Hansa Bullmanna z 1525 roku. Pod koniec XVI wieku współtwórca nowożytno-europejskiej chirurgii Ambroise Paré (1510 – 1590) przedstawił projekt sztucznej ręki. Osiemnastowieczny eksperymentator - Jacques de Vaucanson (1709 – 1782) odwzorowywał zarówno zwierzęta jak i postacie ludzkie. Zbudował zarówno mechanicznego chłopca grającego na flecie oraz „gracza na tamburynie” jak i mechaniczną kaczkę którą miała wiernie odwzorowywać naturalne funkcje zwierzęcia: poruszać się, pobierać pokarm i wydalać. W XVIII i XIX wieku pojawiały się automaty w różnym stopniu nie tylko naśladujące człowieka i przez to mające być źródłem rozrywki, ale przede wszystkim wyręczające go w pewnych czynnościach. Friedrich von Knauss (1724 – 1789) w 1760 roku stworzył androida który mógł pisać tekst a Joseph Jacquard (1752 – 1834) w 1805 roku skonstruował automatyczne krosno sterowane perforowaną kartą (maszyna Jacquarda) które stało się pierwszym programowalnym urządzeniem w dziejach techniki [1] Należy podkreślić, że rozwój różnego rodzaju automatów usprawniających produkcję był w tym okresie historycznym wyrazem rewolucji przemysłowej a także tworzył fundamenty dla powstania w XX wieku robotyki. Należy wspomnieć o teleautomatycznych urządzeniach Nikola Tesli (1856 – 1943) które tak jak chociażby miniaturowa łódź podwodna zbudowana przez tego wynalazcę w 1890 roku były sterowane radiowo. Obecnie wskazuje się na Teslę jako prekursora współczesnej robotyki.

Współcześnie powszechnie używany termin „robot” został po raz pierwszy zastosowany w 1920 roku przez czeskiego pisarza Karel’a Čapka (1890-1938) który w swojej sztuce zatytułowanej R.U.R (Rossum’s Universal Robots) w ten sposób określił urządzenia wykonujące pracę „przymusową”[2]. Słowo „robotyka” zostało wprowadzone do literatury i języka nauki

za sprawą Isaaca Assimova (1920 – 1992) który użył go w opublikowanym w roku 1942 esej „Runaround”. Esej ten ponownie został opublikowany już po II wojnie światowej w zbiorze zatytułowanym „I, Robot”[3]. Twórczość Assimova zainspirowała George’a Charlesa Devołę (1912 – 2011) do budowy nowoczesnych urządzeń robotycznych. W 1961 roku opatentował pierwszego robota przemysłowego do którego prawa przekazał następnie firmie „Unimation”. Robot ten będący programowalnym urządzeniem manipulacyjnym był znany pod nazwą „Unimate” i w latach sześćdziesiątych obsługiwał wysokociśnieniową maszynę odlewniczą w fabryce samochodów koncernu General Motors.

Druga połowa XX wieku stanowiła okres dynamicznego rozwoju rządzeń robotycznych które znajdowały z powodzeniem swoje zastosowanie także poza przemysłem. Poszukując historycznych początków robotyzacji medycyny wskazuje się na rok 1985 w którym podjęto pierwszą i niestety nieudaną próbę wykonania biopsji guza mózgu przy wykorzystaniu robota przemysłowego PUMA do pozycjonowania prowadnicy dla igły biopsyjnej. Początkowe niepowodzenia nie stworzyły jednak bariery uniemożliwiającej rozwój robotyki medycznej. W następnych latach bowiem skonstruowano pierwsze neurochirurgiczne systemy robotyczne NeuroMate w 1987 roku oraz Minervę w roku 1991. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych natomiast możliwe było już przeprowadzanie operacji kardiochirurgicznych przy użyciu amerykańskiego systemu chirurgicznego da Vinci[4,5].

Zjawisko robotyzacji medycyny w XX wieku nie dotyczyło jednak tylko procedur chirurgicznych. Już nawet wcześniej – bo w latach sześćdziesiątych - podjęto udaną próbę robotycznego wspomaganie pracy farmaceuty. Celem artykułu jest przedstawienie historii i obecnych trendów technologicznych zastosowania systemów robotycznych w farmacji z uwzględnieniem dylematów moralnych indukowanych rozwojem robotyki farmaceutycznej.

## Historyczne początki robotyzacji farmacji

Analizując początki zjawiska robotyzacji farmacji należy wskazać na braci Kirby – Franka i Johna z Manchesteru oraz ich asystenta Rodneya Lestera którzy w roku 1967 skonstruowali pierwszy przenośny automatyczny licznik kapsulek i tabletek. W roku 1971 rozpoczęto seryjną produkcję tych urządzeń uzyskując ochronę patentową w Wielkiej Brytanii (patent nr GB1358378) [6] i w USA (patent nr 3789194)[7]. Opracowanie tego urządzenia jest postrzegane obecnie jako początek robotyzacji współczesnej farmacji. Kolejnym, udoskonalonym urządzeniem robotycznym przeznaczonym do

liczenia i segregowania farmaceutyków w postaci tabletkowej był automat drugiej generacji KL8 (Kirby Lester 8) wprowadzony pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku [8]. Kolejne udoskonalone modele automatów do liczenia i segregacji tabletek konstruowano w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych. Pod koniec XX wieku standardem w amerykańskiej praktyce farmaceutycznej stały się komputerowe liczniki farmaceutyków. Pod koniec pierwszej dekady XXI wieku szacowano, że trzecia część najczęściej stosowanych w USA leków była pakowana wyłącznie przy udziale robotów farmaceutycznych i bez kontaktu z dłońmi farmaceuty. Obecnie systemy robotyczne oprócz segregacji i dystrybucji farmaceutyków posiadają szerokie zastosowanie zarówno w procesach produkcji leków jak i na koncepcyjnych etapach ich powstawania i testowania w laboratoriach farmaceutycznych. Jedną z największych zalet robotyzacji farmacji jest możliwość dokonania zmiany profilu produkcji w bardzo krótkim czasie. Możliwości sprzętowe robotów pozwoliły na przeorganizowanie stanowiska produkcji w szybkim tempie i przy niskich nakładach finansowych.

Dzięki zastosowanym systemom automatyzacji niektóre z firm farmaceutycznych uzyskały znaczące skrócenie czasu w zakresie produkcji leków, dzięki szybkiemu przebrojeniu formatu z 3 godzin do zaledwie kilku minut[9]. Raport Service Works Group (SWG) w zakresie przewidywanych trendów rynkowych na 2016 rok wskazywał technologię M2M, zarządzanie jakością danych oraz rozwój robotyki[10]. Połowa z najwyższej ocenionych trendów technologicznych na najbliższe lata już ma lub, jak zaznaczają analitycy rynkowi, wkrótce będzie mieć zastosowanie w farmacji.

### **Współczesne zastosowania systemów robotycznych w produkcji leków**

Współcześnie robotyzacja przemysłu farmaceutycznego dotyczy szczególnie automatyzacji linii produkcyjnych. Roboty najnowszej generacji doskonale sprawdzają się w procesach pakowania i sortowania leków. Jednym z takich urządzeń jest zaprojektowany przez ST Robotics 4-osiowy cylindryczny o wysokiej przepustowości robot. Jego szybkość i płynność ruchów oraz prosta konstrukcja znacznie ułatwiają manipulowanie produktami leczniczymi i środkami toksycznymi[11]. Niektóre z inteligentnych maszyn są zdolne do osiągnięcia wydajności nawet do 100 tysięcy zapakowanych kapsułek na godzinę lub jak w przypadku robota FANUC's M-430iA – 120 zakreślonych butelek na minutę. Skuteczność robota polega na zastosowaniu pary ramion wieloosiowych oraz wizualnego systemu śledzenia[11]. Tak duża szybkość, niemożliwa do osiągnięcia

w wyniku pracy człowieka, odbywa się z zachowaniem najwyższej skuteczności, niwelując ryzyko pomyłki. Roboty wyposażone w systemy wizyjne pozwalają na kontrolę jakości leków i wyrobów medycznych oraz ich opakowań. Odpowiednio zaprogramowane dokonują selekcji wadliwych części asortymentu, zapobiegając tym samym przekazaniu towaru niskiej jakości do apteki. Systemy wizyjne pozwalają także dzięki, np. rozpoznaniu kodu kreskowego dokonać trafnej analizy zawartości produktu niwelując błędy przemieszania towaru przeznaczonego do dystrybucji[9].

Należy zauważyć także, że zautomatyzowanie procesu produkcji podniosło poziom bezpieczeństwa pracowników oraz poprawiło warunki pracy. Wynaleziony przez Epson Robots Robot C3-V dzięki zastosowanemu systemowi izolacyjnemu zapewnia zarówno możliwość produkcji leków w aseptycznych warunkach jak i pracy z toksycznymi substancjami[11]. Hermetyczność robotów pozwala zachować najwyższe normy jakości produktu, chroniąc zarówno zdrowie pracowników, jak i pacjentów przyjmujących leki. Robotyzacja produkcji przyczyniła się także do zmniejszenia częstotliwości wypadków przy pracy, pojawiających się w następstwie przemęczenia i znużenia wykonywaniem monotonicznych czynności[9].

Roboty wyeliminowały konieczność wykonywania ciężkich fizycznie prac oraz kontaktu z nieergonomicznymi i uciążliwymi w obsłudze maszynami. Ciekawym rozwiązaniem jest zaproponowany przez firmę Swislog robot o nazwie TransCar Automated Guided Vehicle [12]. Inteligentne urządzenie wykorzystujące do nawigacji dźwięk, laser i fotograficzny system naprowadzania zostało zaprojektowane w celu przenoszenia ciężkich ładunków. Robot w opinii producenta stanowi odpowiedź na aktualne potrzeby szpitali, zapewniając sprawny transport w obrębie placówki dokumentacji medycznych, materiałów do badań, wyrobów medycznych i środków sanitarnych, wyręczając z tych prac personel medyczny[13]. Zastosowanie tego typu robotów w szpitalach stanowi jeden z dziesięciu najbardziej wiodących trendów technologicznych, który będzie się utrzymywać od 2016 roku przez kilka następnych lat[10], co zdają się potwierdzać pojawiające się coraz częściej na rynku konkurencyjne produkty, tj. TUG Robot firmy Aethon [14].

Zmniejszenie kosztów produkcji, którego udało się dokonać dzięki zastosowaniu robotów, pozwoliło obniżyć cenę niektórych leków i wyrobów medycznych. Precyzja, zdolność do nieprzerwanej pracy oraz utrzymująca się na stałym poziomie wydajność inteligentnych urządzeń redukuje wydatki przedsiębiorstwa spowodowane przestojem w produkcji, błędami na etapie

selekcji i dystrybucji wyrobów oraz nadmiernym zużyciem materiałów. Automatyzacja linii produkcyjnych oraz wskazane korzyści sprawiają, że firma zyskuje na konkurencyjności.

Wprowadzanie systemów robotycznych do procesów produkcyjnych przynosi ogromne zyski, jednak tylko część firm farmaceutycznych może pozwolić sobie na nabycie tego typu urządzeń. Roboty są kosztowną inwestycją, gdyż nie tylko ich zakup, ale także konserwacja pochłaniają znaczną część przychodów firmy, co w przypadku niektórych z nich może doprowadzić do niewydolności finansowej, a nawet do bankructwa[13]. Z tego powodu można spodziewać się, że robotyzacja pozwoli rozwijać się firmom z największym kapitałem, które zyskają przewagę rynkową, doprowadzając do upadłości mniejsze przedsiębiorstwa.

Kolejną negatywną konsekwencją automatyzacji produkcji dla rynku pracy jest zmniejszenie ilości miejsc pracy. Mimo że pojawiają się głosy przeciwnie[9,15], należy się spodziewać, że roboty coraz częściej będą zastępować pracę ludzi w procesie produkcji oraz dystrybucji leków. Szacuje się bowiem, że przemysł farmaceutyczny może stanowić w najbliższych latach jedną z najbardziej dochodowych branż rynkowych w dziedzinie robotyki [13,16].

### **Zastosowanie robotów w laboratoriach badawczych**

Obawy o stopniową redukcję miejsc pracy wraz z implementowaniem różnych systemów robotycznych do dziedziny farmacji dotyczy nie tylko obszarów produkcji opatentowanych preparatów leczniczych lecz także sfery badań doświadczalnych. O ile zautomatyzowanie procesów pakowania, sortowania i dystrybucji leków ograniczy znacząco konieczność udziału ludzi w tego rodzaju pracach, postępująca robotyzacja w dziedzinie badań laboratoryjnych zdaje się zmierzać do jeszcze większego uniezależnienia od wpływu czynników ludzkich. Zdolność urządzeń zawierających sztuczną inteligencję do wykonywania powtarzalnych i precyzyjnych ruchów doprowadziła do automatyzacji badań laboratoryjnych w dziedzinie farmacji. Roboty zastępują częściowo lub całkowicie w wykonywaniu takich prac, jak: przenoszenie, umiejscawianie próbek w odpowiednim położeniu, dodawanie substancji płynnych lub stałych do preparatów, ogrzewanie, chłodzenie, mieszanie lub testowanie próbek[17-20].

Zastosowanie robotów w pracach laboratoryjnych przynosi wiele korzyści. Jedną z nich jest przyspieszenie procesu zbierania danych i ich archiwizacji. Zintegrowane systemy z wykorzystaniem funkcji robotów, komputerów i innych urządzeń mechanicznych pozwalają na dokonanie dokładnych pomiarów

substancji chemicznych. W laboratoriach badawczych Amerykańskiej firmy Syngenta Biotechnology takie zrobotyzowane systemy odpowiedzialne są za mieszanie roztworów, ważenie ich, pobieranie i przechowywanie danych fizykochemicznych, co – jak zaznaczają pracownicy – znacząco wpływa na jakość dokonywania pomiarów oraz szybkość przepływu informacji[9]. Dzięki zastosowaniu robotów możliwe jest mieszanie szkodliwych substancji chemicznych bez narażania zdrowia pracowników. Specjalnie zaprojektowane do tego celu roboty stanowią gwarancję najwyższej jakości i chronią wyroby przed różnego typu zanieczyszczeniami[21]. Niektóre z nich wyposażone są w systemy odkażania nadtleniem wodoru Hydrogen Peroxide Vapor (HPV), a dzięki szczelnej konstrukcji uniemożliwiają przepływ substancji chemicznych, gwarantując bezpieczeństwo użytkownika[13,21]. Hermetyczność i często niewielkie rozmiary inteligentnych urządzeń pozwalają na umieszczanie ich w otoczeniu ludzi bez ryzyka narażenia pracowników na utratę zdrowia. Jest to szczególnie istotne podczas badań przesiewowych i testów biologicznych, ze względu na występujące duże niebezpieczeństwo skażenia. Robotyzacja procesów laboratoryjnych pozwala zapewnić najwyższą precyzję, zapobiegając wystąpieniu tego rodzaju błędów. Dokładność pracy robotów ogranicza nie tylko ryzyko zanieczyszczenia próbki, skażenia otoczenia, ale także pozwala na uniknięcie konieczności wielokrotnego powtarzania testów, co często powstaje na skutek błędu ludzkiego. Zawsze tak samo precyzyjne ruchy robota niwelują do minimum ryzyko utraty materiału badawczego lub zużycia jego w nieadekwatnej co do celu badania - ilości, wpływając znacząco na obniżenie kosztów testów laboratoryjnych[13,22], czego przykładem może być produkcja szczepionek przeciwko malarii[23].

Wprowadzenie robotów do etapu prac laboratoryjnych wiąże się z koniecznością zmierzenia się z nowym problemem. Część inteligentnych urządzeń wymaga nadzoru ściśle wykwalifikowanej kadry, posiadającej kompetencje z zakresu programowania w języku C++ lub Visual Basic[17,20]. Stanowi to duże wyzwanie dla właścicieli przedsiębiorstw oraz kadry naukowo-badawczej laboratoriów i może spowodować konieczność przeorganizowania stanowisk pracy i redukcję etatów.

### **Zastosowanie systemów robotycznych w dystrybuowaniu leków**

Potencjał urządzeń zawierających sztuczną inteligencję jest tak duży, że dostrzeżono możliwość wykorzystania ich w podwyższeniu jakości opieki zdrowotnej nad pacjentem zarówno w szpitalach, jak i systemie ambulatoryjnym. Konieczność wykonywania licznych czynności przez per-

sonel medyczny, związanych nie tylko ze sprawowaniem opieki nad pacjentem w zakresie, m. in. podawania leków, posiłków, zmiany opatrunków, ale także pracami porządkowymi, administracyjno-biuroowymi stała się inspiracją do podjęcia prób wprowadzenia robotów do szpitali. W wielu placówkach opieki zdrowotnej na świecie robotyzacja części procesów i czynności okazała się bardzo satysfakcjonującym rozwiązaniem zarówno dla personelu, jak i dla pacjentów. Roboty wykorzystywane są najczęściej jako pomoc w procesie archiwizacji i przepływie danych medycznych oraz jako urządzenia służące do transportu i dystrybuowania leków.

Jednym z przykładów zastosowania robotów są przenośne skanery bezprzewodowe, które łącznie z robotem aptecznym stanowią element zintegrowanego systemu zsynchronizowanej komunikacji pomiędzy lekarzami, pielęgniarkami a farmaceutami kliniki Sanford Health[24]. Pacjenci placówki są wyposażeni w bransoletki z kodem kreskowym, który zawiera spersonalizowane informacje na temat dawki i rodzaju leków. Cyfrowo administrowany system pozwala na dokładne określenie dziennej porcji leków, a także informuje o tym, że leki zostały już wydane pacjentowi, co zminimalizowało w znaczącym stopniu ryzyko pomyłki w tym zakresie[24].

Kolejny przykład stanowi w pełni zautomatyzowane urządzenie do wydawania i dawkowania leków, z którego korzysta wiele placówek leczniczych. Wiodący na świecie producenci oferują konkurencyjne urządzenia dbając o ich najwyższą jakość. Na rynku dostępne są m. in. produkty firmy Aesynt pod nazwą Robot-Rx [25], PickPill firmy Swisslog [26] oraz SP and CRS Robot zaprojektowane przez ScriptPro[27]. Urządzenie zostało zaprojektowane tak, by dzięki rozpoznaniu kodu kreskowego, dokonało przygotowania ściśle określonej receptą dawki leków dla pacjenta. Dzięki zintegrowanym systemom urządzenie drukuje etykiety, odczytuje i przetwarza informacje znajdujące się na kodach kreskowych, dozuje tabletki o różnych kształtach i rozmiarach, przygotowuje zapakowany zestaw leków, monitoruje ich ilość i wysyła zamówienie do apteki. Pojemniki dozujące, z których robot pobiera kapsułki, uzupełniane są przez personel medyczny. Producenci oferują dodatkowe aplikacje i kolejne rozwiązania ułatwiające użytkowanie urządzeń, m. in. wyświetlanie na ekranie obrazu leku dla dodatkowej weryfikacji produktu[27], czy opatentowany przez Swisslog PickRing – elastyczny pierścień wykonany ze sztucznego tworzywa, na którym robot umieszcza przygotowane i zapakowane dawki leków, w celu ich łatwiejszego transportu, nawet przy użyciu systemów pneumatycznych – TranspoNet Pneumatic Tube System (PTS)[26].

Niewątpliwym sukcesem robota tego typu jest zapewnienie wysokiego bezpieczeństwa, redukcja do minimum ryzyka pomyłki przy dozowaniu leków i zanieczyszczenia ich. Dodatkowo system PickRing pozwala w szybki i łatwy sposób przekazać pacjentowi podzielony i podpisany pakiet leków, który nawet w przypadku zgubienia umożliwi identyfikację za pomocą kodu kreskowego[28]. Producenci promując systemy robotyczne wskazują na ich łatwość obsługi oraz możliwość kontroli kosztów zatrudnienia[27]. Kolejnym atutem jest szybkość i efektywność pracy robota[28]. W zależności od rodzaju, maszyna może osiągnąć wynik do 150 zrealizowanych recept na godzinę, jak w przypadku urządzeń CRS Robot,[27] wydać do 700 dawek leków w ciągu godziny, a czas na przygotowanie jednego zestawu leków zajmuje 3 sekundy (Robot-Rx)[24]. Robot wyręcza personel medyczny z czasochłonnej czynności porcjowania leków oraz znacząco upraszcza całą procedurę ich rozdysponowania, co skutkuje obniżeniem kosztów oraz poprawą jakości opieki zdrowotnej w szpitalach[13,28].

#### **Aspekty etyczne robotyzacji farmacji**

Analiza fenomenu robotyzacji farmacji ujawnia aktualne i potencjalne problemy natury etycznej i prawnej związane z tym zjawiskiem. W odniesieniu do systemów robotycznych stosowanych w różnych dziedzinach medycyny najszerzej jest dyskutowany problem ponoszenia odpowiedzialności za działanie robotów[5,29]. W sytuacjach wykorzystywania robotów w procesach dystrybucji leków, zwłaszcza w obszarze bezpośredniego kontaktu z pacjentem, np. za pierwszym stołem w aptece otwartej istotnym problemem mogą być także zaburzenia w zakresie relacji międzyludzkich. Należy zasygnalizować następujące problemy etyczne które mogą być implikowane przez stosowanie systemów robotycznych w praktyce farmaceutycznej: problem ochrony przetwarzanych przez systemy robotyczne danych (zachowanie tajemnicy zawodowej zgodnie z artykułem 10 Kodeksu Etyki Aptekarza Rzeczypospolitej Polskiej), ponoszenie indywidualnej odpowiedzialności przez eksperymentatora, farmaceutę, właściciela apteki za błędy systemów robotycznych, transparentność i rzetelność zasad wdrażania systemów robotycznych do różnych obszarów praktyki farmaceutycznej. Do ważnych dylematów natury prawnej należy możliwość zagwarantowania monitorowania (typu „black box”) przebiegu procedury farmaceutycznej z zastosowaniem systemów robotycznych oraz konieczność redefiniowania prawnej kategorii produktu leczniczego w przypadku zastosowania mikrokapsuł i nanorobotów w medycynie [5].

### Zakończenie

Przemysł farmaceutyczny jako jeden z nielicznych sektorów rynkowych ma współcześnie ogromny potencjał rozwoju w zakresie robotyzacji. Inteligentne maszyny, zdolne do wykonywania powtarzalnych i wysoce precyzyjnych ruchów, dają gwarancję wysokiej jakości produktu, przy zachowaniu najwyższych standardów bezpieczeństwa, co jest szczególnie ważne w dziedzinie farmacji. Zastosowanie robotów na etapie testów laboratoryjnych, wytwarzania leków oraz ich dystrybuowania pozwoliło na wyeliminowanie większości błędów powstających na skutek czynników ludzkich oraz obniżenie kosztów finansowych. Zdolne do wykonywania wielu czynności roboty szpitalne pozwalają personelowi medycznemu poświęcić więcej czasu na bezpośredni kontakt z pacjentem, przyczyniając się do podwyższenia jakości opieki zdrowotnej i niwelując ilość powstających na skutek zaniedbań błędów medycznych. Wyręczenie z części prac farmaceutów stanowić może szansę na podjęcie bardziej skutecznej współpracy ze środowiskiem lekarzy i przedstawicielami innych dziedzin naukowych w celu opracowania nowych metod leczniczych[22,30], czego dowodem mogą być pojawiające się informacje o badaniach naukowych nad zastosowaniem w leczeniu chorób serca Nano Dronów[31], czy mikrorobotów jako nośników leków [32-35]. Zanim jednak wejdą w życie najbardziej ambitne projekty badawcze z zastosowaniem robotów, użycie ich do procesu produkcji, testowania i pakowania leków jest bezsprzecznie bardzo znaczącym osiągnięciem dla współczesnej farmacji. I chociaż wprowadzanie robotów na szeroką skalę przyczyni się do ograniczenia konieczności udziału ludzi w wielu procesach, to zdaje się, że tendencja taka będzie się utrzymywać, obejmując całość sektora farmaceutycznego.

### Piśmiennictwo

1. Essinger J. *Jacquard's Web: How a Hand-Loom Led to the Birth of the Information Age*. Oxford: Oxford University Press, 2004.
2. Capek K. R. U.R.. translated by Paul Selver and Nigel Playfair. Dover Publications, 2001.
3. Isaac Asimov, I, *Robot*, New York: Doubleday & Company, 1950.
4. Simon DiMaio, Mike Hanuschik, Usha Kreaden: *The da Vinci Surgical System*. [w:] Rosen, J, Hannaford B, Satava RM. *Surgical Robotics. Systems Applications and Visions*. Springer, 2011.
5. Sak J, Kidacki J, Zarębska B, Suchodolska E. Etyczne i psychospołeczne aspekty robotyzacji medycyny. *Pielęgniarstwo XXI wieku* 2015;52: 60-64.
6. John Kirby Filed 8 September 1970 (3 July 1974). „Patent 1358378”. COUNTING MACHINES - Patent GB1358378. DTI Data Networks LLC.
7. United States Patent Office (29 January 1974). „Patent 3789194”. RELATING TO COUNTING MACHINES. [Freepatentsonline.com](http://freepatentsonline.com).
8. Thomsen CJ „Pharmacy Automation-Practical Technology Solutions for the Pharmacy” (9 November 2004). The Thompson Group. Business briefing : US Pharmacy review 2004.
9. Farmacom, *Roboty niezastąpione w produkcji leków*: [online], <http://przemyslfarmaceutyczny.pl/arttykul/roboty-niezastapione-w-produkcji-lekow>, dostęp 10.03.2016.
10. OBeirne S, *Top 10 emerging tech trends for FMs in 2016*: [online], <http://www.fmj.co.uk/top-10-emerging-tech-trends-for-fms-in-2016/>, dostęp 11.03.2016.
11. Kaur K, *Pharmaceutical Manufacturing Process Revolutionized with the Application of Robots*: [online], <http://www.azorobotics.com/Article.aspx?ArticleID=170>, dostęp 11.02.2016.
12. Swisslog: <http://www.swisslog.com/en/Products/HCS/Automated-Material-Transport/TransCar-Automated-Guided-Vehicles>, dostęp 11.03.2016.
13. Lakshmi TT, Keerthi P, Debarshi D i wsp., *Recent trends in the usage of robotics in pharmacy* [w:] *Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology*, 2014, 2 (1), s. 1038–1041.
14. Aethon: <http://www.aethon.com/tug/tughealthcare/>, dostęp 12.03.2016.
15. Tuten T, *Why Automated Pharmacies Will Never Replace Pharmacists*: [online], <http://blog.soliant.com/healthcare-it/why-automated-pharmacies-will-never-replace-pharmacists/>, dostęp 11.02.2016.
16. Ward J, *Rise of the Robots Will Eliminate More Than 5 Million Jobs*: [online], <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-01-18/rise-of-the-robots-will-eliminate-more-than-5-million-jobs>, dostęp 16.03.2016.
17. Patel SN, Prajapati KR, Sen DJ, *Automation by laboratory robotics in pharmaceutical research industry: a latest venture in innovative idea* [w:] *World Journal Of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences*, 2014, 3 (2), s. 2098–2105.
18. Izquierdo J, *Robot Usage To Increase In The Pharmaceutical Sector*: [online], <http://www.chem.info/news/2014/06/robot-usage-increase-pharmaceutical-sector>, dostęp 11.02.2016.
19. Anandan TM, *Robot-Scientist Collaboration (and Separation) in Lab Automation*: [online], <http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robot-Scientist-Collaboration->

- and-Separation-in-Lab-Automation/content id/5445, dostę 11.02.2016.
20. Li M, *Bioanalytical laboratory automation development: why should we and how could we collaborate?* [w:] *Bioanalysis*, 2015, 7 (2), s. 154. 153–155.
21. Kuehn S, *Ascent of the Robots. Advancing aseptic processing through the use of robot technology*: [online], <http://www.pharmamanufacturing.com/articles/2015/ascend-of-the-robots/>, dostę 16.03.2016.
22. Li M, *Laboratory automation: letting scientists focus on science* [w:] *Bioanalysis*, 2015, 7 (14), s. 1700. 1699–1701.
23. Cuthbertson A, *Robot Combats Malaria with World's First Vaccine*: [online], <http://www.ibtimes.co.uk/robot-combats-malaria-worlds-first-vaccine-1447549>, dostę 12.03.2016.
24. Sanford Health, *New technology improving patient safety*: [online], <https://bismarck.sanfordhealth.org/pharmacy/technology.asp>, dostę 11.02.2016.
25. Aesynt Incorporated, *Robot-Rx®. Improving Patient Safety and Process Efficiency with Robotic Medication Management*: [online], <http://www.aesynt.com/robot-rx>, dostę 12.03.2016.
26. Swisslog Healthcare Solutions, *PillPick® Automated Packaging and Dispensing System*: [online], <http://www.swisslog.com/en/Products/HCS/Medication-Management-Systems/PillPick-Automated-Packaging-and-Dispensing-System>, dostę 12.03.2016.
27. ScriptPro LLC, *SP and CRS Robotic Dispensing Systems*: [online], <http://www.scriptpro.com/Products/Robotic-Dispensing-Systems/SP-and-CRS-Robotic-Dispensing-Systems/>, dostę 12.03.2016.
28. Hutchinson S, *The Pharmacy as We Know It Is Doomed*: [online], <https://www.inverse.com/article/4107-the-pharmacy-as-we-know-it-is-doomed>, dostę 16.03.2016.
29. Ashrafian H. Artificial Intelligence and Robot Responsibilities: Innovating Beyond Rights. *Sci Eng Ethics*. 2014 Apr 16. [Epub ahead of print]. DOI: 10.1007/s11948-014-9541-0
30. UCSF Medical Center, *New UCSF Robotic Pharmacy Aims to Improve Patient Safety*: [online], <https://www.ucsf.edu/news/2011/03/9510/new-ucsf-robotic-pharmacy-aims-improve-patient-safety>, dostę 16.03.2016.
31. Crowe S, *This Nano Drone Could Save You from a Heart Attack*: [online], <http://www.robotictrends.com/article/this-nano-drone-could-save-you-from-a-heart-attack/medical>, dostę 15.03.2016.
32. Crowe S, *Rani Robotic Pill Could Replace Injected Medicines*: [online], <http://www.robotictrends.com/article/rani-robotic-pill-could-replace-injected-medicines/Healthcare>, dostę 15.03.2016.
33. Yirka B, *Tiny Robotic Swimmers Could Travel Through Bloodstream to Deliver Drugs*: [online], <http://www.robotictrends.com/article/tiny-robotic-swimmers-could-travel-through-bloodstream-to-deliver-drugs/medical>, dostę 15.03.2016.
34. Staff RT, *How 3D Printed Stem Cells Could Reduce Animal Testing*: [online] <http://www.robotictrends.com/article/how-3d-printed-stem-cells-could-reduce-animal-testing/3D-Printing>, dostę 16.03.2016.
35. Dietz DJ, *The Impact of New Technology on Pharmacy*: [online], <http://www.insidepatientcare.com/issues/2015/march-2015-vol-3-no-3/144-the-impact-of-new-technology-on-pharmacy>, dostę 16.03.2016.