



MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA KLASYCZNYCH METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI – SYSTEMÓW EKSPERTOWYCH – W SYSTEMACH OPERACYJNYCH MAŁYCH PRZEDSIĘBIORSTW JAKO PRZEJAW ICH SAMOREGULACJI – CASE STUDY PIEKARNI

Andrzej Letkiewicz, Kamila Makarowska

Streszczenie

Cel. Dla małych podmiotów istotą samoregulacji staje się umiejętność kompensacji niesprawności lub poszukiwanie rozwiązań o wyższej sprawności funkcjonowania w ramach systemu operacyjnego, odpowiedzialnego za budowanie zasad trwałości i efektywności wytwarzania produktu lub świadczenia usługi. W dobie powszechnej informatyzacji, komputeryzacji, automatyzacji procesów gromadzenia i przetwarzania informacji jednym z największych wyzwań samoregulacyjnych jawi się wykorzystanie sztucznej inteligencji w procesach gospodarowania. Zatem celem artykułu jest ukazanie możliwości zastosowania i korzyści wynikających z „zaprzęgnięcia” sztucznej inteligencji w procesy operacyjne małego przedsiębiorstwa - piekarni.

Metoda. Zastosowaną metodą jest metoda case study.

Wyniki. W analizowanym przypadku system ekspertowy, odzwierciedlający harmonogram produkcyjny oparty na sekwencji wykonywanych operacji, reaguje na powstałe zakłócenia, wyznaczając nowy harmonogram produkcyjny. Umożliwia to powrót systemu do pracy według wcześniejszego planu produkcyjnego, przy możliwie najmniejszym opóźnieniu w realizacji zadań.

Słowa kluczowe: samoregulacja, systemy produkcyjne, sztuczna inteligencja

Klasyfikacja JEL: L23; M15; O14; O33

Wstęp

Stałe pomnażanie wartości podmiotu gospodarującego jest niezaprzeczalnym, długookresowym celem gospodarowania. W dużych podmiotach jedną z częściowych miar wykorzystywanych do oceny krótkookresowych postępów realizacji tego długookresowego celu jest rentowność kapitału, identyfikowana na bazie zdolności do generowania zysku mierzonego w skali roku obrotowego. Jednakże w małych podmiotach celem nadrzędnym staje się zapewnienie trwałości bytu, a celem głównym, krótkookresowym staje się właśnie poziom wygenerowanego zysku lub gotówki. Poziom ten uzależniony jest od umiejętności identyfikowania, podążania i wpisywania się w trendy zmian otoczenia społecznego i gospodarczego oraz regulacyjnych warunków funkcjonowania, jak też budowania równowagi funkcjonalnej opartej o sprawność realizowania poszczególnych funkcji w przedsiębiorstwie, czyli umiejętność kompensacji tychże zmian poprzez samoregulację. Dla małych podmiotów zatem istotą samoregulacji staje się umiejętność kompensacji niesprawności lub poszukiwanie rozwiązań o wyższej sprawności funkcjonowania w ramach funkcji podstawowych, czyli w ramach systemu operacyjnego odpowiedzialnego za budowanie zasad trwałości i efektywności wytwarzania produktu lub świadczenia usługi.

W dobie powszechnej informatyzacji, komputeryzacji, automatyzacji procesów gromadzenia i przetwarzania informacji jednym z największych wyzwań samoregulacyjnych jawi się wykorzystanie sztucznej inteligencji, w postaci systemów ekspertowych, w procesach gospodarowania. Podmioty o dużym potencjale ekonomicznym są w stanie ponieść duże nakłady związane z implementacją jej, w postaci zastosowania dużych modeli językowych, lub innych modeli uczenia maszynowego powiązanych z AI, do swych procesów operacyjnych, jak to ma miejsce w bankowości czy ubezpieczeniach w zakresie pracy na dużych bazach danych, jednakże małe podmioty, jak się wydaje, gospodarują w przekonaniu, że systemy informatyczne powiązane z AI są dla dużych i o ile w sferze ekonomiczno-finansowej poprzez uregulowania prawne dotyczące rachunkowości i w sferze marketingowej poprzez wymogi mediów społecznościowych dostosowują się warunków przemysłu 4.0 wkomponowując elementy informatyki użytkowej w swe funkcjonowanie, to w sferze operacyjnej, która czasem stanowi o ich przewadze rynkowej, boją się sięgać po sztuczną inteligencję. Zatem celem artykułu jest ukazanie możliwości zastosowania i korzyści wynikających z „zaprzęgnięcia” sztucznej inteligencji – systemów ekspertowych w procesy operacyjne małego przedsiębiorstwa - piekarni.

1. Samoregulacja w funkcjonowaniu małych przedsiębiorstw

Proces gospodarowania, co do zasady, jest procesem uwarunkowanym wieloma czynnikami, zarówno zewnętrznymi względem gospodarującego podmiotu jak i wewnętrznymi. Do czynników zewnętrznych należą uwarunkowania regulacyjne państwa w postaci uregulowań dotyczących warunków formalno-prawnych rozpoczynania działalności gospodarczej, chociażby formalnej jej rejestracji czy spełnienia warunków ograniczających dostęp do działalności, jak to ma miejsce np. w przypadku działalności transportowej. Ponadto uwarunkowania regulacyjne narzucające przedsiębiorstwom określone działania występują również w trakcie prowadzenia działalności gospodarczej. Wynikają one z faktu prowadzenia działalności w ramach systemu społeczno-gospodarczego, w którym cele gospodarowania sprzężone są z celami społecznymi państwa, takimi jak zabezpieczenie społeczne (ubezpieczenie emerytalne, chorobowe, rentowe pracowników), zapewnienie bezpiecznych i higienicznych warunków pracy czy zabezpieczenie środków finansowych administracji państwa (uczestnictwo w systemie podatkowym podatków centralnych i lokalnych). Co do zasady z punktu widzenia podmiotu gospodarującego, a w szczególności małego, postuluje się,

aby były one stabilne i przewidywalne w długiej perspektywie, gdyż powinny pełnić rolę stabilizatora, swoistego rodzaju fundament dla długookresowego postrzegania procesów gospodarowania.

W kontekście działalności przedsiębiorstw, samoregulacja oznacza zdolność wewnętrznego dostosowywania się organizacji do zmieniających się warunków otoczenia, w tym minimalizacji kosztów, poprzez własne zasoby, procesy i struktury decyzyjne, co nabiera szczególnego znaczenia w wymiarze operacyjnym odnoszącym się do podstawowej działalności podmiotu. Znaczenie to wynika z istotności procesów podstawowych – operacyjnych, dla efektywności i bytu podmiotu, gdyż podstawowe procesy operacyjne nie mogą być outsoutingowane, a ich efektywność stanowi o efektywności gospodarowania i utrzymaniu bytu podmiotu. Wzmocnieniu stabilizacji długookresowej perspektywy procesu gospodarowania służy umiejętność obserwacji i identyfikacji długookresowych trendów zmienności otoczenia gospodarczego podmiotu gospodarującego. Identyfikacja i umiejętność dostosowywania się do postępu technicznego i technologicznego jest podstawą przetrwania większości podmiotów, gdyż umiejętność kreowania tej zmienności jest dostępna tylko nielicznym podmiotom, tym które w swym rozwoju funkcjonalnym osiągnęły najwyższy poziom bogactwa materialnego i intelektualnego skłaniającego do tworzenia nowych niewystępujących w rzeczywistości gospodarczej produktów lub usług lub produkowania i zaspokajania potrzeb w sposób do tej pory niewystępujący. Dzięki tym podmiotom następuje postęp techniczny, rozwój funkcjonalny i jednocześnie podnosi się poziom minimalnej sprawności realizowania zarówno funkcji podstawowych jak i pomocniczych w przedsiębiorstwach.

Dla większości małych podmiotów gospodarujących postęp nie przejawia się w skokowych, rewolucyjnych zmianach w działaniu, lecz polega na sukcesywnym i codziennym wprowadzaniu zmian oraz poszukiwaniu własnego stanu równowagi i sprawności funkcjonalnej, rozumianej jako możliwość realizacji założonych celów (w analizowanym przypadku produkcyjnych w zakresie pieczywa) przy jak najniższych kosztach, w tym kosztach nieosiągnięcia parametrów jakościowych (w analizowanym przypadku jakości pieczywa). Sprawność ta bazuje i jest identyfikowana poprzez powtarzalność i prawidłowość realizacyjną działań podejmowanych przez przedsiębiorstwa tworząc swoisty, właściwy dla każdego podmiotu stan homeostazy funkcjonalnej (równowagi samoregulacyjnej), zapewniającej realizację celów krótkookresowych operacyjnych, a bazującej na wewnętrznych regulatorach – zasadach porządkujących funkcjonowanie. Zatem w perspektywie regulacyjno-funkcjonalnych uwarunkowań samoregulacji chodzi o budowanie regulatorów (zasad) powtarzalnego opartego o optymalne pozyskiwania i wykorzystywania posiadanych zasobów. Przejawia się to w następujących działaniach (Majecka, Letkiewicz, 2020):

- wyznaczanie realistycznego celu w odniesieniu do konkurencji,
- zabezpieczenie przedsiębiorstwa w adekwatne do potrzeb zasoby,
- pobudzanie (nastawione na struktury i ludzi) do działania efektywnego,
- kompensację niesprawności funkcjonalnych (polegających na osiągnięciu celu przy wyższych kosztach lub braku jego osiągnięcia w założonym poziomie) wynikających z ograniczonej możliwości pozyskania zasobów lub wyższą sprawnością użycia tych posiadanych.

Wyżej wskazane działania bazują na identyfikacji i poszukiwaniu możliwych sposobów funkcjonowania zapewniających realizację celów przy założonym kryterium korzystności podejmowanych działań odnoszonych do całości podmiotu. Wymaga to budowania i definiowania procedur monitoringu i analizy funkcjonowania realizowanej w kontekście konkretnych rozwiązań oraz wymaga odrębnego podejścia do różnych aspektów funkcjonalnych systemów gospodarujących. Tworzy to warunki do poznawania, opisywania i

budowania swoistego stanu równowagi samoregulacyjnej podmiotu gospodarującego – przedsiębiorstwa i sprowadza się do następujących aspektów (Majecka, Letkiewicz, 2020):

- fizycznych czynności i procesów – ten aspekt jest silnie uzależniony od przedmiotowej charakterystyki podmiotu,
- systemowego – tworzenie metasyستمów budujących informacyjny abstrakt rzeczywistości,
- relacji ekonomicznych – alokacja ograniczonych zasobów między alternatywne zastosowania,
- relacji prawnych – zewnętrzne i wewnętrzne relacje norm prawnych i aktów formalnych,
- faktów wynikających z uwarunkowań psychologicznych – postrzeganie rzeczywistości, emocje, zachowania, postawy pojedynczych osób w organizacji,
- procesów społecznych i kulturowych – zjawiska występujące w grupach i społecznościach powstających w ramach organizacji,
- etycznego – istnienie i przestrzeganie określonego systemu wartości,
- strategicznego – występowanie jednoczącego motywu przewodniego, nadającego spójność i kierunek poszczególnym decyzjom organizacji lub osoby.

Równowaga samoregulacyjna podmiotu postrzegana w wymiarze całości podmiotu może i musi być dekomponowana na cząstkowe równowagi w sferach operacyjnej, marketingowej, ekonomiczno-finansowej czy wreszcie zatrudnienia. Wszystkie te sfery są podatne na postęp i występowanie nowych rozwiązań funkcjonalnych bądź technicznych, w tym w postępującej ostatnim czasie dynamicznej informatyzacji i pojawienie się sztucznej inteligencji [przemysł 4.0], jednakże bazową, wynikającą z charakteru dziedzinowego podmiotu gospodarującego jest sfera operacyjna. Wśród tych zmian dotyczących sfery wytwarzania dobra podstawowego (w analizowanym przypadku pieczywa) kluczową rolę zaczynają odgrywać rozwiązania informatyczne, w tym narzędzia zaliczane do klasycznej sztucznej inteligencji, jak systemy ekspertowe wspierające decyzje operacyjne (Weber, Zwingmann, 2025). Zatem samoregulacja w sferze operacyjnej małej piekarni może polegać na zastosowaniu systemów ekspertowych, opartych na klasycznej sztucznej inteligencji, wspomagających podejmowanie decyzji i przywracanie równowagi operacyjnej w warunkach zakłóceń (Rostek, Knopik, 2023), wspierających funkcjonowanie systemu harmonogramowania produkcji.

2. Sztuczna inteligencja w systemach operacyjnych podmiotu gospodarującego

Wraz z rozwojem narzędzi informatycznych opracowano szereg metod wspierających procesy decyzyjne i operacyjne realizowane w przedsiębiorstwach, bazujących na przenoszeniu zależności liczbowych w przestrzeń zależności logicznych związanych z opisem rzeczywistości w postaci reguł opisujących zależności między pojęciami lingwistycznymi, odpowiadającymi pojęciom lingwistycznym człowieka (Badura, 2015). W niniejszym opracowaniu przez sztuczną inteligencję rozumie się zarówno klasyczne systemy ekspertowe oparte na regułach i bazach wiedzy (Przegalińska, Jemielniak, 2023), jak i wybrane metody współczesnej sztucznej inteligencji, takie jak logika rozmyta, algorytmy genetyczne czy proste modele uczenia maszynowego (Kaplan, 2025). W kontekście systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa, rozważania koncentrują się głównie na potencjale implementacyjnym systemów ekspertowych wspomagających decyzje produkcyjne i logistyczne (Kolasińska-Morawska, Morawski, 2017).

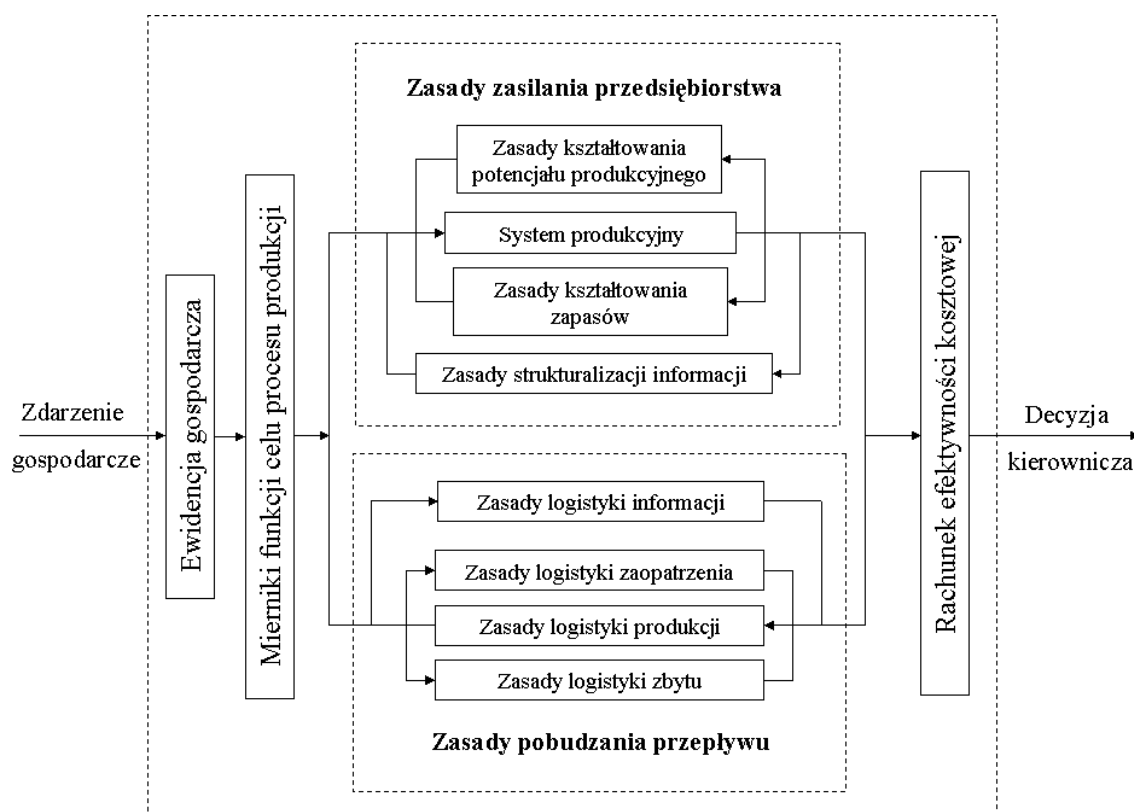
Podstawą zatem jest założenie, że rzeczywiste procesy są na tyle złożone, że sterowanie lub zarządzanie nimi wymaga zastosowania złożonych wielowymiarowo systemów algorytmów w konsekwencji prowadzących do tego, że sztuczna inteligencja umożliwi to, iż przeciętny inżynier uzyska lepsze wyniki niż najlepszy ekspert, jeśli tylko ten pierwszy będzie miał dostęp do dobrej jakości bazy danych (Kiesielnicki, Zadrozny, Fabisiak, 2022).

Wielowymiarowość algorytmizowanych obszarów skłania do podejścia całościowego jednak można też próbować wydzielić fragment procesu i oddzielnie nim zarządzać rozwiązując fragment złożonego problemu jakim jest zarządzanie. Przykładowo obszarem takim może być kwestia zarządzania zapasami i przebiegiem procesu produkcyjnego (Badura, 2015, s. 105). Obie te sfery są ze sobą związane, gdyż z jednej strony poziom produkcji zależy od popytu, a więc implikuje poziom koniecznych zapasów, z drugiej natomiast zapasy stają się wielkością limitującą proces produkcyjny, gdyż związane są z zamrożeniem środków finansowych i mimo, że należą do majątku obrotowego stale zamrażają środki na określonym poziomie. Ponadto od ich jakości w zakresie materiałów zależy jakość produktu finalnego. Stąd proces zarządzania procesem produkcji obejmuje zarządzanie zapasami i jako element decyzji zarządczych wpisuje się w system operacyjny podmiotu gospodarującego, a w jego ramach staje się częścią systemu produkcyjnego.

Termin sztuczna inteligencja rozumiany jest w sposób szeroki, zgodny z podejściem systemowym, obejmującym zarówno klasyczne systemy ekspertowe (Wordliczek, 2020), jak i nowocześniejsze metody, takie jak logika rozmyta, algorytmy genetyczne czy sieci neuronowe (Kurp, 2023). System ekspertowy, czyli program komputerowy oparty na bazie wiedzy i regułach wnioskowania, umożliwia reprezentację wiedzy technologicznej, a także wspomaga podejmowanie decyzji produkcyjnych (Knosala, 2024). Opracowanie systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa wspierającego technologiczne przygotowanie produkcji, wymaga podjęcia kluczowych decyzji dotyczących modeli pozyskiwania i przechowywania wiedzy technologicznej oraz reprezentacji struktury produkowanych wyrobów (Knosala, Zespół, 2002). Ponadto, systemy sztucznej inteligencji – w szczególności systemy ekspertowe – mogą wspierać samoregulację (eliminowanie błędów) poprzez automatyczne dostosowywanie operacji produkcyjnych w odpowiedzi na zmiany w otoczeniu (Kurp, 2023) lub potrzeby przedsiębiorstwa (Aggarwal, 2023).

W artykule szczególną uwagę poświęca się zastosowaniu właśnie tego typu systemu ekspertowego – opierającego się na bazie wiedzy i mechanizmach wnioskowania (Aggarwal, 2023) – jako narzędzia samoregulacji w systemie operacyjnym przedsiębiorstwa. Należy podkreślić, że zastosowane podejście odwołuje się do tradycyjnych, dobrze opisanych metod sztucznej inteligencji, które z powodzeniem mogą być wdrażane w warunkach ograniczonych zasobów technicznych i finansowych (Kurp, 2023). Podczas wdrażania sztucznej inteligencji do systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa, istotne jest założenie, iż wiedza produkcyjna obejmuje informacje dotyczące sposobów realizacji procesu produkcyjnego, szczególnie w kontekście specyfiki danego przedsiębiorstwa (Knosala, Zespół, 2002).Przyniosłoby to takie korzyści jak uwzględnianie zdolności adaptacji w zależności od zmieniających się warunków oraz potrzeb przedsiębiorstwa, co umożliwiłoby optymalne funkcjonowanie w stale zmieniającym się otoczeniu.

System operacyjny podmiotu gospodarującego (rys. 1) jest odpowiedzialny za systemowe ujęcie szczegółowej identyfikacji wykorzystywanych zasobów i kontroli jakości produkowanych wyrobów. Podsystem zasady zasilania, obejmując własnym zakresem zasady logistyki informacji, produkcji, zaopatrzenia i zbytu, w efekcie polega na kalkulacji strat wykorzystywanych zasobów i wyliczaniu wartości oszczędności. Z tej przyczyny założenie sztucznej inteligencji w samoregulacji systemu produkcyjnego opiera się na poszukiwaniu innowacji dążąc do sprawnego ulepszania procesu produkcyjnego. To z kolei sprowadza się do rozpoznania sprzężenia zwrotnego i przywracania równowagi funkcjonalnej między podsystemem system produkcyjny, zasady zasilania, kształtowania potencjału produkcji, kształtowania zapasów i strukturalizacji informacji.



Rysunek 1. Regulacyjny system operacyjny podmiotu gospodarującego

Źródło: B. Majecka, A. Letkiewicz: Samoregulacyjne kształtowanie zachowań rynkowych przedsiębiorstw. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2020, s. 83

Zarządzanie, między innymi procesem produkcyjnym, wiąże się z planowaniem, sterowaniem, organizowaniem, prowadzeniem, motywowaniem i kontrolowaniem, które oprócz tego, że sprowadzają się do wyznaczania celów operacyjnych, opierając się na dostępnych zasobach przedsiębiorstw produkcyjnych (Świetlik, 2004), powinny przebiegać zgodnie z zasadami gospodarności, celowości, planowania, sterowania i organizowania (Strużycki, 2002). Odpowiednie zaprojektowanie i skuteczne wdrożenie systemu sztucznej inteligencji wymaga dogłębnego rozważenia kosztów wytwarzania, selekcji kluczowych informacji oraz przeprowadzenie testów i prób funkcjonalności przed pełnym wdrożeniem (Bazewicz, 1994). Zależność zasad zarządzania z celami operacyjnymi sprawia, że w zakresie podmiotu gospodarującego są one ściśle ze sobą powiązane. Złożoność procesów produkcyjnych powoduje, że systemy produkcyjne funkcjonują w warunkach stałej konkurencji, co doprowadza do tego, że muszą wyrażać dużą elastyczność technologiczną (Grześ-Bukłaho, 2022, s. 45). Stąd dla przedsiębiorstw produkcyjnych przesłanką uzyskiwania równowagi funkcjonalnej, czyli realizacji celów produkcyjnych zgodnych z zasadami zarządzania, jest istotność sprzężenia zwrotnego między dwoma tymi elementami funkcjonalnymi i świadomość istoty samoregulacji na tym poziomie, co więcej ważne jest przeanalizowanie regulacyjnych możliwości działalności produkcyjnej z zastosowaniem systemów ekspertowych.

Wymogi konsumentów i warunki płynące z otoczenia powodują, że za efektywność działalności produkcyjnej odpowiedzialne jest racjonalne podejmowanie decyzji na poziomie strategicznym, taktycznym i operacyjnym (Czermiński, Czerska, Nogalski, Rutka, Apanowicz, 2001). Racjonalne planowanie i organizowanie produkcji odnoszą się do poziomu organizacji

procesów wytwarzania, co świadczy o przemyślanym wykorzystaniu posiadanych zasobów (Czermiński Czerska, Nogalski, Rutka, Apanowicz, 2001). Z punktu widzenia przedsiębiorstwa produkcyjnego w tym wypadku, z uwagi na ogromny wzrost zainteresowania korzyściami wynikającymi z jakości procesów i usprawniania produkcji, konieczne jest dążenie do podniesienia efektywności funkcjonowania, skupiając coraz większą uwagę na jakości swoich procesów i produkowanych wyrobów (Armstrong, 1992). Jednakże z uwagi na specyfikę przedsiębiorstw produkcyjnych można mówić nie tylko o rozwijających się nowych metodach, takich jak systemy ekspertowe, sztuczne sieci neuronowe, ale także algorytmy genetyczne czy logika rozmyta, składające się na obszar wiedzy zwany sztuczną inteligencją, której powstanie i rozwój są ściśle związane z rozwojem badań nad ludzkim umysłem, świadomością, inteligencją i uczeniem się (Zawadzka, 2010). Istotą narzędzi programów usprawnień produkcyjnego uczenia się jest nabywanie wprawy wraz ze wzrostem ilości wykonywanych wyrobów. Efektem tego może być kalkulacja strat wykorzystywanych zasobów, ale również prognoza sprzedaży lub wartość oszczędności.

Z punktu widzenia procesu samoregulacji podstawową informacją, niezbędną do prowadzenia działalności produkcyjnej, jest odpowiednie formułowanie poszczególnych działań produkcyjnych. Każdy wyrób zanim zostanie wyprodukowany wymaga zaplanowania określonych czynności i ustalenia konkretnych zadań, które są realizowane w ustalonej kolejności (Perechuda, 2000). Czynności te, związane ze strategią i funkcjami produkcyjnymi, są niezbędne do uruchomienia całego procesu, co regulacyjnie zawarte jest w podsystemie *zasady zasilania*. Podnoszenie efektywności funkcji produkcyjnych znajduje swoje odzwierciedlenie w obniżaniu nakładów na jedną jednostkę produkcyjną, natomiast powiększenie aparatu wytwórczego jest konieczne do wzrostu zapotrzebowania na wyprodukowane dobra. Pierwszy cel przedsiębiorstwo osiąga produkując wyroby dobrej jakości i w odpowiedniej ilości, jednocześnie wykonując zadania dotyczące przygotowywania produkcji, organizowania dostaw, nadzorowania przebiegu procesów i organizowania zbytu (Wild, 1992). Realizacja tych funkcji przynosi możliwość wyboru przyszłych rozwiązań i kierunków rozwoju, oceniając skutki swojej działalności (Świetlik, 2004). Na tle tych działań istotne znaczenie mają procesy produkcyjne.

W dalszej części opracowania szczególna uwaga została poświęcona praktycznemu zastosowaniu klasycznych systemów ekspertowych, jako jednej z dostępnych form realizacji koncepcji sztucznej inteligencji w kontekście samoregulacji operacyjnej małego przedsiębiorstwa.

3. Sztuczna inteligencja w samoregulacji systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa

Punktem wyjścia do analizy cech systemu operacyjnego piekarni jest opracowanie procesu produkcyjnego dla wybranych cech samoregulacji, stanowiąc swoisty punkt odniesienia. Samoregulacja systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa polega na reagowaniu na zmiany w otoczeniu. Może oznaczać zarówno przywracanie równowagi, jak i jej świadome zakłócanie (Letkiewicz, 2013). Proces uczenia się maszyn wpływa na coraz większe zainteresowanie sztuczną inteligencją w zarządzaniu procesami produkcyjnymi (Trajer, Paszek, Iwan, 2012). Istotą narzędzi takich programów, które usprawniają produkcyjne uczenie się jest nabywanie wprawy wraz ze wzrostem ilości wykonanych wyrobów. Efektem tego może być wzrost wydajności lub obniżka kosztów produkcji. Efekt produkcyjnego uczenia się, czyli pracochłonność małego przedsiębiorstwa można przedstawić za pomocą wzoru (Knosala, 2007):

$$K_n = K_1 \times n_{\log 2}^{\log 2}$$

$$K_n = 1,0753 \times 50^{\frac{\log 0,70}{\log 2}}$$

gdzie:

K_n – pracochłonność (lub koszt) wykonania n -tego wyrobu,

K_1 – pracochłonność (lub koszt) wykonania pierwszego wyrobu,

n – suma wykonanych wyrobów,

$\varnothing$ – wskaźnik szybkości produkcyjnego uczenia się.

Pracochłonność wykonania 50 bochenków chleba podczas jednego procesu produkcyjnego wraz z szybkością produkcyjnego uczenia oznaczoną $\varnothing$ oznacza względną zmianę (obniżkę) pracochłonności (kosztów) przy każdym podwojeniu ilości wykonanych bochenków chleba. Efekt produkcyjnego uczenia się wynosi 0,70. Oznacza to, że uczenie się organizacji przyczynia się do poprawy jakości produkowanych wyrobów, szybszego reagowania na zaistniałe błędy, udoskonalaniem maszyn i większą motywacją pracowników. W przypadku zaistnienia opóźnień (brak motywacji, zmiany w produkcji pieczywa) skuteczne mogą być systemy sztucznej inteligencji, dzięki którym istnieje możliwość programowania reakcji na sytuacje nieprzewidziane w planie produkcyjnym.

W dzisiejszej produkcji występuje znacząca różnorodność produkowanych wyrobów, które cechują się zróżnicowanym stopniem skomplikowania. W związku z tym, istotne staje się dążenie do opracowania technologii produkcyjnych, które zapewniają szeroki zakres produkcji, uwzględniając różnorodność i złożoność wyrobów (Knosala, Zespół, 2002). Cechą charakterystyczną struktury systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa staje się wyróżnienie reprezentacji wiedzy dotyczącej dziedziny obsługiwanej przez system oraz mechanizmu wnioskowania opartego na dostępnych zasobach wiedzy. Sztuczna inteligencja w samoregulacji systemu operacyjnego w swej strukturze zawiera elementy umożliwiające takie funkcjonowanie jak naprawianie swojego działania dla przetrwania w krótkim horyzoncie czasu oraz, co za tym idzie, modyfikowanie sposobu wykonywania działań.

W małym przedsiębiorstwie produkcyjnym można stosować przedstawiony w tabeli 1 podział zasad pobudzania, ustalony według elementów systemu operacyjnego małej piekarni.

Tabela 1. Charakterystyka zasad pobudzania na poziomie produkcyjnym

Zasada	Charakterystyka
Zasady logistyki informacji	Pracownicy piekarni odpowiedzialni są za analizowanie i dostarczanie informacji o stanie ilości zapasów wszystkich surowców potrzebnych do procesu produkcyjnego pieczywa i wyrobów cukierniczych. W przypadku zaistnienia braku surowców dokonują zamówienia.
Zasady logistyki produkcji	Pracownicy piekarni sporządzają listę potrzebnych produktów i surowców (z krótkim terminem przydatności) do procesu produkcyjnego. Sporządzana jest również lista produktów z długim terminem przydatności.
Zasady logistyki zaopatrzenia	Pracownicy piekarni odpowiedzialni za dokonywanie zamówień, zamawiają partie produktów i surowców, gdy stan większości jest niski.
Zasady logistyki zbytu	Wcześniejsze przygotowywanie surowców i potrzebnych produktów. Następuje pieczenie wyrobów i przygotowywanie pieczywa dla dostawców.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Przedsiębiorstwa XYZ.

Analizując regulacyjny system operacyjny piekarni można zastosować klasyfikację czynności według stopnia zależności od podstawowych parametrów opisujących zaangażowanie pracowników i ich potencjał. System ten odzwierciedla więc rozbudowaną sieć logistyczną przedsiębiorstwa, która pozwala na uzyskiwanie terminowych dostaw produkowanych wyrobów.

Wymiar regulacyjny systemu operacyjnego składa się również z zasad zasilania, które to następnie wypełniane są zasadami kształtowania potencjału produkcji, regulacyjnym uporządkowaniem systemu produkcyjnego, zasadami kształtowania zapasów i zasadami strukturalizacji informacji. Szczegółowa charakterystyka tych regulatorów została przedstawiona w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka zasad zasilania na poziomie operacyjnym

Zasada	Charakterystyka
Zasady kształtowania potencjału produkcji	Zasady dotyczące sporządzania zamówień na kolejny dzień roboczy (zamówienia sporządzane są jeden dzień przed realizacją). Zasady te dotyczą zaplanowania ilości surowców, które zostaną zużyte. Istotna jest również odpowiednia alokacja pracowników na stanowiskach w zakładzie produkcyjnym.
System produkcyjny	Jest jednym z najważniejszych systemów przedsiębiorstwa. Przedsiębiorstwo korzysta z programu harmonogramowania i planowania produkcji, który odpowiedzialny jest za kontrolowanie ilości zapasów. Program ten związany jest z zarządzaniem gospodarką magazynową piekarni. System ten odpowiada za konkretne czynności, takie jak przyjęcie zamówienia (plan produkcyjny), wykonanie/pieczenie, zużycie surowców, raporty wykonania i zużycia produktów.
Zasady kształtowania zapasów	Zasady dotyczące ilości potrzebnych produktów, które można magazynować (produkty z długim terminem przydatności) oraz te, które na bieżące są wykorzystywane (produkty z krótkim terminem przydatności).
Zasady strukturalizacji informacji	W przedsiębiorstwie dokonuje się rejestru poziomu zapasów. Po każdej dostawie produktów następuje wpisanie do programu dostarczonego towaru.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Przedsiębiorstwa.

System produkcyjny skupia się przede wszystkim na prawidłowej i normatywnej organizacji procesu produkcji, jak i wszelkich pracach w tym zakresie, które porządkują technologię i kolejność procesów wytwarzania i sposobie organizacji pracy. Najważniejszymi elementami organizacji pracy w zakładach piekarskich warunkujące zdolność produkcyjną, są te związane z czasem pracy, odpowiednim rozmieszczeniem stanowisk roboczych i podziałem zadań produkcyjnych. Podczas planowania produkcji, istotne jest określenie możliwości produkcyjnych oraz możliwości realizacji określonych zadań. Wiąże się to z ustaleniem programu działań, harmonogramu prac wytwórczych i zapotrzebowania na zasoby produkcyjne, co zmierza do ustalenia wielkości produkcji w asortymentowym ujęciu, opierając się na konkretnych zamówieniach lub wielkościach sprzedaży (Banaszak, Kłos, Mleczko, 2011). Poziom możliwości produkcyjnych systemu produkcyjnego w ustalonym okresie i dostępnych zasobów przedstawia wzór (Czermiński, Czerska, Nogalski, Rutka, Apanowicz, 2001):

$$\begin{aligned}
 MP &= L_z \times F_E \\
 MP &= 13 \times 8 \\
 MP &= 104
 \end{aligned}$$

gdzie:

MP – możliwości produkcyjne,

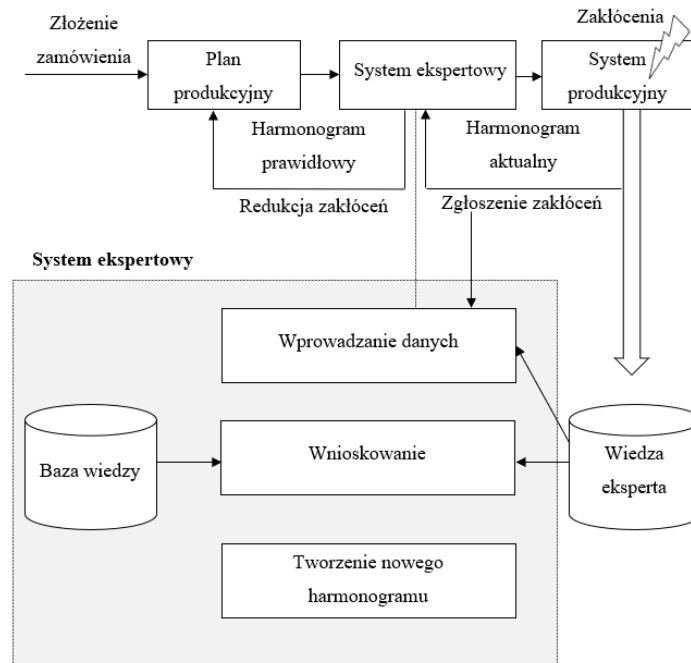
LZ – liczba określonego rodzaju zasobów (lub stanowisk roboczych) w systemie produkcyjnym,

FE – efektywny fundusz pracy maszyn (lub pracowników).

Możliwości produkcyjne wyrażone w godzinach [h] wskazują liczbę stanowisk roboczych (maszyn) oraz czas pracy maszyn i pracowników. Piekarnia posiada łącznie 13 maszyn, przy czym efektywna praca przy stanowisku w procesie produkcji pieczywa wynosi 8 godzin. Świadomy konsument staje się wymagającym klientem, zdolnym do podejmowania racjonalnych decyzji. Wymusza to na przedsiębiorstwach branży piekarskiej do odpowiedniego dostosowania organizacji procesu produkcji i pracy, aby jak najlepiej zaspokajać potrzeby i oczekiwania klientów.

Proces samoregulacji systemu operacyjnego, który przez regulatory podsystemu *zasady pobudzania* i *zasady zasilania* obejmuje swoim zakresem w zasadzie całość przedsiębiorstwa, w efekcie odzwierciedlając informacje o stanie ilości zapasów wszystkich surowców, jak również listę potrzebnych produktów, konkretyzuje się w podsystemie *system produkcyjny*, który integralnie łączy się z podsystemem *zasady kształtowania potencjału produkcji* przedsiębiorstwa produkcyjnego. Podsystem *zasady logistyki informacji* w swojej budowie funkcjonalnej wiąże się z *zasadami logistyki zaopatrzenia*, ponieważ w jego ramach zapisane są regulatory charakteryzujące element dokumentacji produkcyjnej.

System ekspertowy, wspomaga przygotowanie procesu produkcji w piekarni, co wymaga stworzenia określonych decyzji modelowych. Jest to wieloetapowego procesu przygotowania wszystkich elementów, pozwalających pozyskiwać i reprezentować wiedzę z zakresu produkcji i technologii, ilości wyrobów i sposobów współpracy między użytkownikiem a projektowanym systemem decyzyjnym. Kolejność wyróżnionych etapów decyzyjnych wynika z doboru takich alternatyw, które mają za zadanie wyeliminować niepotrzebne środki i elementy w systemie produkcyjnym. Podczas tworzenia systemu ekspertowego w procesie pieczenia należy przyjąć kilka założeń. Pierwsze założenie odnosi się do wiedzy technologicznej, która jest zbiorem informacji o możliwościach realizacji (lub nie) procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie. Drugie założenie dotyczy wiedzy technologicznej zawierającej zbiór dynamicznych elementów systemu produkcji pieczywa, które zmieniają swoją strukturę. Zasoby wiedzy są uzależnione od bazy wiedzy, która zawiera tylko te informacje, niezbędne do poprawnego rozwiązania problemu decyzyjnego. Użytkownik musi sam skonstruować problem decyzyjny, czyli zaprojektować strukturę systemu produkcyjnego piekarni, aby system ten pełnił rolę doradczą. Umożliwi to przedstawienie wariantów decyzyjnych związanych ze stanem magazynu, ilością zamówień czy dostępnością produktów. Na rysunku 2 został przedstawiony system ekspertowy wspomagający proces produkcji w przedsiębiorstwie piekarniczym.



Rysunek 2. System ekspertowy wspomagający proces produkcji w przedsiębiorstwie piekarniczym

Źródło: opracowanie własne na podstawie: dane Przedsiębiorstwa.

System ekspertowy, odzwierciedlający harmonogram produkcyjny zbudowany na podstawie sekwencji wykonywanych operacji, reaguje na powstałe zakłócenia. W ten sposób wyznacza nowy harmonogram produkcyjny, umożliwiając powrót systemu do pracy według wcześniejszego planu produkcyjnego z możliwie najmniejszym opóźnieniem realizacji zadań.

Celem samoregulacji jest utrzymywanie, a co za tym idzie, w przypadku zakłóceń przywracanie równowagi funkcjonalnej, której towarzyszą stale zmieniające się warunki otoczenia, przy jednoczesnym usprawnianiu swoich procesów (Letkiewicz, 2013). Istotą systemowego ujęcia samoregulacji jest zdolność decydowania o własnym losie i wprowadzania innowacji, pozostając w wyznaczonym obszarze swobody. Skuteczność systemów ekspertowych na poziomie operacyjnym jest relatywną wiedzą o mechanizmie samoregulacji dokonywanej w sferze regulatorów *zasad zasilania* i *zasad pobudzania*, w tym całego systemu operacyjnego małego przedsiębiorstwa. Dwustronna korelacja wyżej wymienionych obszarów odzwierciedla sprzężenia zwrotne między harmonogramem produkcji, a możliwymi do wystąpienia zakłóceniami. Przesłanki samoregulacji *zasad zasilania* i *zasad pobudzania* sprowadzają się do umiejętności właściwego zdefiniowania możliwości realizacji procesu wytwórczego, dążąc do usprawnienia procesu produkcyjnego. Podsumowując, system operacyjny małego przedsiębiorstwa piekarskiego może skutecznie wykorzystywać elementy sztucznej inteligencji oraz samoregulacji, by optymalizować procesy produkcyjne. Wprowadzenie systemów ekspertowych pozwala na bieżąco reagować na zmienne warunki produkcji, zwiększając elastyczność i wydajność organizacyjną.

Zakończenie

Przedsiębiorstwa są kluczowymi podmiotami gospodarczymi, napędzającymi rozwój gospodarczy, funkcjonującymi na rynku, które muszą stale doskonalić swoje procesy i produkty, aby sprostać współczesnym wymaganiom. Jednym z podejść jest zarządzanie

procesami, które pozwala na optymalizację operacji i podnoszenie jakości produktów oraz efektywności działania. Zarządzanie procesami wiąże się także z wprowadzaniem innowacji, które wpływają na rozwój przedsiębiorstw.

Proces produkcyjny to kluczowy element, którego celem jest przekształcenie zasobów w gotowe wyroby. Skuteczne zarządzanie produkcją, w tym efektywne wykorzystanie zasobów i odpowiednie planowanie, umożliwia osiąganie celów produkcyjnych. Dążenie do wysokiej jakości produktów i sprawnego przebiegu produkcji wspiera podejmowanie trafnych decyzji, co sprzyja innowacjom i spełnianiu oczekiwań konsumentów.

Sztuczna inteligencja odgrywa istotną rolę w doskonaleniu procesów produkcyjnych. Umożliwia monitorowanie i analizowanie danych, co pozwala na optymalizację procesów, zmniejszenie zużycia maszyn oraz projektowanie bardziej efektywnych operacji. Systemy ekspertowe wspierają podejmowanie decyzji umożliwiając bardziej precyzyjne sterowanie procesami produkcyjnymi, zwłaszcza w sytuacjach zakłóceń.

Przykład Przedsiębiorstwa XYZ przedstawia, jak nawet mniej zautomatyzowane procesy mogą zyskać na wprowadzeniu nowych technologii. Opracowany model ekspertowy wspomaga harmonogramowanie produkcji i efektywnie przetwarza dane, co umożliwia lepsze wykorzystanie maszyn. Model ten przyspiesza reakcję na błędy oraz pozwala przewidywać różne scenariusze produkcyjne, optymalizując procesy i podnosząc ich jakość.

References

- Aggarwal, C.C. (2023). *Neural Networks and Deep Learning*. Cham: Springer.
- Armstrong, M. (1992). Zarządzanie zasobami ludzkimi – strategia i działania. Kraków: Wydawnictwo Profesjonalnej Szkoły Biznesu.
- Badura, D. (2015). *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w logistyce*. W K. Kowalska & K. Sobczak (red.), *Aspekty logistyczne w biznesie*, Dąbrowa Górnicza: Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej.
- Banaszak, Z., Kłos, S., & Mleczo, J. (2011). *Zintegrowane systemy zarządzania*. Warszawa: PWE.
- Czermański, A., Czerska, M., Nogalski, B., Rutka, R., Apanowicz, J. (2001). *Zarządzanie organizacjami*. Toruń: Dom Organizatora.
- Grześ-Bukłaho J. (2022) *Elastyczność jako atrybut współczesnej organizacji*, Białystok, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej.
- Kaplan, J. (2025). *Generatywna AI. Wszystko, co warto wiedzieć*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kiesielnicki, J., Zadrożny, J., & Fabisiak, S. (2022). *Artificial intelligence as a tool supporting organizational entrepreneurship – theoretical problems and case analysis*. *Problemy Zarządzania (Management Issues)*, 20(1), 132.
- Knosala, R. (2024). *Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Knosala, R., & Zespół. (2002). *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Kurp, F. (2023). *Sztuczna inteligencja od podstaw*. Gliwice: Helion.
- Letkiewicz, A. (2013). *Samoregulacja w symetryzacji systemów przedsiębiorstw*. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.

- Majecka, B., Letkiewicz, A. (2020). *Samoregulacyjne kształtowanie zachowań rynkowych przedsiębiorstw*. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- Perechuda, K. (2000). *Zarządzanie przedsiębiorstwem przyszłości. Koncepcja, modele, metody*. Warszawa: PLACET.
- Owoc, M. L. (red.). (2006). *Elementy systemów ekspertowych. Część I: Sztuczna inteligencja i systemy ekspertowe*. Wrocław: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego.
- Przegalińska, A., Jemielniak, D. (2023). *AI w strategii: rewolucja sztucznej inteligencji w zarządzaniu*. Warszawa: MT Biznes.
- Rostek, K., Knopik, L. (2023). *Systemy wspomagania decyzji*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Strużycki, M. (red.). (2002). *Zarządzanie przedsiębiorstwem*. Warszawa: Difin.
- Świetlik, W. (2004). *Organizacja przedsiębiorstwa*. Warszawa: Wyższa Szkoła Ekonomiczna.
- Trajer, J., Paszek, A., & Iwan, S. (2012). *Zarządzanie wiedzą*. Warszawa: PWE.
- Knosala, R. (2007). *Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem. Nowe metody i systemy*. Warszawa: PWE.
- Weber, W., Zwingmann, T. (2025). *Analityka rozszerzona. Automatyzacja i sztuczna inteligencja w podejmowaniu decyzji*. Gliwice: Wydawnictwo Helion.
- Wild, R. (1992). *Essentials of production and operations management*. London: Cassell.
- Wordliczek, Ł. (2020). *Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w badaniach politologicznych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kolasińska-Morawska, K., Morawski, P. (red.). (2017). *Agile Commerce – technologie przyszłości*. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 18(4.2), 373-384.
- Zawadzka, L. (2010). *Inteligentne systemy produkcyjne. Ewolucja i problemy organizacji projektów informatycznych*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.

THE POTENCIAL OF APPLYING CLASSICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS – EXPERT SYSTEMS – IN THE OPERATING SYSTEMS OF SMALL ENTERPRISES AS A EXPRESSION OF THEIR SELF-REGULATION – A CASE STUDY OF A BAKERY

Abstract

Objective: For small enterprises, self-regulation is essentially the ability to compensate for inefficiencies or to seek solutions that improve operational efficiency within an operational system, responsible for ensuring the principles of sustainability and efficiency in product manufacturing or provision of a service. In the era of widespread computerization and automation of information collection and processing, one of the key self-regulatory challenges is the integration of artificial intelligence into management processes. Therefore, the aim of the article is to present the potential application and benefits of incorporating artificial intelligence into the operational processes of a small enterprise – specifically, a bakery.

Method: The method used is the case study method.

Results: In the case study, the expert system, reflecting the production schedule based on the sequence of operations, responds to disruptions by generating a new schedule. This allows

the system to return to resume work according to the original production plan, with the shortest possible delay in task execution.

Keywords: self-regulation, expert system, small business, artificial intelligence

JEL classification: L23; M15; O14; O33

Andrzej Letkiewicz
Uniwersytet Gdański, Wydział Ekonomiczny, KEiFPT
Ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
andrzej.letkiewicz@ug.edu.pl

Kamila Makarowska
Uniwersytet Gdański, Wydział Ekonomiczny
Ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
k.makarowska.331@studms.ug.edu.pl