

Charakterystyka rozwiązań Przemysłu 4.0 stosowanych w polskim przemyśle meblarskim na przykładzie Fabryki Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle

Characteristics of Industry 4.0 solutions used in the Polish furniture industry on example of the Nowy Styl Office Furniture Factory in Jasło

Łukasz Adamik^{a,b,*}, ORCID: 0009-0005-6399-6129
Jacek Wilkowski^a, ORCID 0000-0001-5798-6761

^aNowy Styl sp. z o.o., ul. Pużaka 49, 38-400 Krosno, Polska

^bSzkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Polska

*Osoba do korespondencji: lukasz.adamik@nowystyl.com

Streszczenie

W artykule przedstawiono rys historyczny rozwoju przemysłu naznaczony szeregiem kluczowych przemian technologicznych zwanych w kolejnych odstępach rewolucjami przemysłowymi. Krótko scharakteryzowano Przemysł 1.0, Przemysł 2.0 i Przemysł 3.0 wskazując te odkrycia i wynalazki, które miały decydujący wpływ na proces produkcyjny i dynamiczny rozwój przedsiębiorstw. Najwięcej miejsca poświęcono idei Przemysłu 4.0 i jej praktycznemu wdrożeniu w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle. Szczegółowo scharakteryzowano zastosowane rozwiązania związane z szeroko rozumianą integracją maszyn i systemów informatycznych, personalizacją wyrobów, praktyczną realizacją krótkich serii produkcyjnych w ramach elastycznej produkcji mebli, przy zachowaniu wysokiej produktywności, krótkiego cyklu wytwarzania i najwyższej jakości produktu końcowego.

Abstract

The article presents a historical outline of the development of industry marked by a number of key technological changes, in subsequent versions called industrial revolutions. Industry 1.0, Industry 2.0 and Industry 3.0 were briefly characterized, indicating those discoveries and inventions that had a decisive impact on the production process and the dynamic development of enterprises. Most space was devoted to the idea of Industry 4.0

and its practical implementation in the Nowy Styl Office Furniture Factory in Jasło. The applied solutions related to the broadly understood integration of machines and IT systems, product personalization, practical implementation of short production series as part of flexible furniture production, while maintaining high productivity, short production cycle and the highest quality of the final product were characterized in detail.

Słowa kluczowe: Przemysł 4.0, rewolucja przemysłowa, produkcja mebli, Nowy Styl

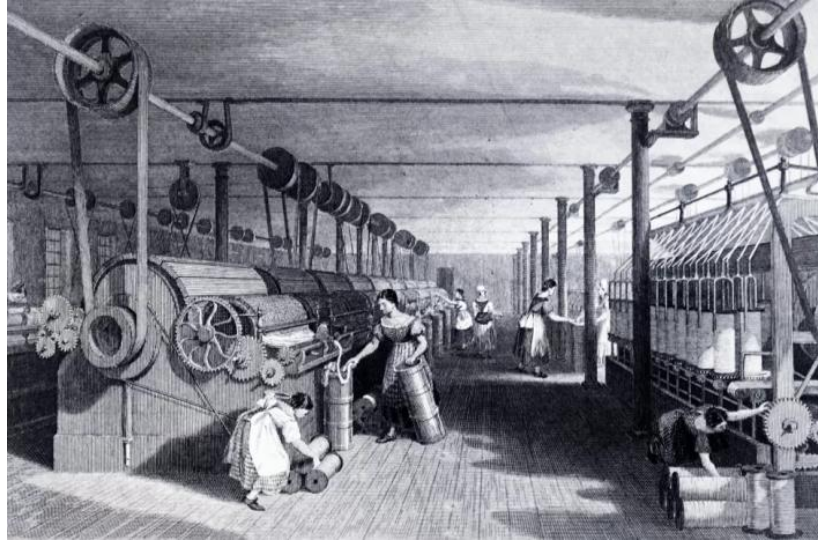
Keywords: Industry 4.0, industrial revolution, furniture production, Nowy Styl

Rewolucje przemysłowe w ujęciu historycznym

Na przestrzeni ostatnich trzech wieków można zaobserwować szereg przemian technologicznych, które miały istotny wkład w rozwój produkcji przemysłowej. Te technologiczne fale nazwano post factum „Przemysłem ...”, dodając w miejsce wielokropka numery porządkowe lub określając je mianem kolejnych „rewolucji przemysłowych”, podkreślając tym samym ogromny wpływ na rozwój cywilizacyjny, a tym samym na życie człowieka i całych społeczeństw.

Ulepszenia konstrukcji silnika parowego Newcomena wprowadzone sukcesywnie od 1763 roku przez szkockiego inżyniera i wynalazcę Jamesa Watta okazały się przełomowe dla rozwoju techniki. Jego maszyna parowa zużywała czterokrotnie mniej paliwa stałego (drewna lub węgla) od konstrukcji wcześniejszych, a zastosowanie przekładni planetarnej (patent uzyskany przez Watta w 1781 roku) pozwoliło na przystosowanie jego silnika do napędu maszyn obrotowych, co było istotne chociażby ze względu na możliwość wykorzystania w dynamicznie rozwijającym się przemyśle włókienniczym (Rys. 1). W kolejnych krokach rozwoju tej maszyny parę wodną doprowadzano do cylindra z obu stron tłoka, co w efekcie wyeliminowało ruch jałowy i zwiększyło wydajność. W 1788 roku dodano jeszcze odśrodkowy regulator prędkości obrotowej, zapewniając równomierność ruchu. Wszystkie te kroki przyczyniły się do zbudowania maszyny uniwersalnej, użytecznej w różnych gałęziach przemysłu, a to otworzyło drogę do produkcji zmechanizowanej i pierwszej rewolucji przemysłowej, czyli Przemysłu 1.0.

Druga rewolucja przemysłowa związana z wynalezieniem silnika indukcyjnego, który wytwarzał prąd zmienny przez indukcję elektromagnetyczną z pola magnetycznego. Autorem odkrycia z 1882 roku był Nikola Tesla. W 1888 roku uzyskał on swój pierwszy patent na prąd zmienny, a w 1895 r. zaprojektował pierwszą elektrownię wodną nad wodospadem Niagara. Kolejnym krokiem rewolucyjnego rozwoju było zastosowanie masowej produkcji na linii montażowej, wykorzystanej przez Henry'ego Forda w produkcji samochodów. Pierwowzorem tej linii była rzeźnia w Chicago, w której na przenośniku taśmowym zawieszono były świńskie tusze i każdy pracownik rzeźni wykonywał po kolei tylko jedno ściśle określone zadanie. Masowa produkcja pojazdów etapami na przenośniku zwiększyła wydajność procesu i obniżyła jego koszty (Rys. 2).



Rys. 1. Fabryka bawełny z 1830 roku napędzana maszyną parową (Harford 2017)
Fig. 1. A cotton factory from 1830 powered by a steam engine (Harford 2017)



Rys. 2. Taśma montażu samochodów w fabryce Forda w 1927 roku (<http://retopress.pl/tag/ford/>)
Fig. 2. Car assembly line at the Ford factory in 1927 (<http://retopress.pl/tag/ford/>)

Zapoczątkowana w połowie dwudziestego wieku komputeryzacja, a od lat siedemdziesiątych tego wieku, częściowa automatyzacja produkcji za pomocą programowalnych sterowników z pamięcią, rozpoczęła trzecią rewolucję przemysłową, czyli Przemysł 3.0. Ta rewolucja określana jest również mianem rewolucji naukowo-technicznej. W projekcie Manhattan naukowcy uwolnili nowe źródła energii jądrowej. Powstały komputery osobiste, internet i przenośne telefony. W fabrykach wprowadzono wykorzystanie obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC, ang. *Computerized Numerical Control*) i innych mechanizmów czy urządzeń automatyki przemysłowej, a także robotów

w celu usprawnienia procesów produkcyjnych. To początek maszyn przejmujących powtarzalne zadania, umożliwiającą masową produkcję standaryzowanych produktów.

Równocześnie trzecia rewolucja przemysłowa zmniejszyła przeciętną wielkość fabryk, radykalnie zwiększając znaczenie jakości produkcji. Ogólna dostępność informacji (internet) zintensyfikowała przepływ technologii i szybką utratę przewagi konkurencyjnej, co w konsekwencji doprowadziło do stanu wysokiej niepewności i zmienności sytuacji przedsiębiorstw. Poziom komunikacji między maszynami i systemami był ograniczony, głównie jednokierunkowy, od centralnego systemu kontrolnego do maszyn. Dalszy wzrost produktywności zaczął być hamowany przez ograniczoną zdolność systemów, w tym ludzi będących ich częścią do podejmowania inicjatyw i szybkich decyzji. Zatem konieczny był kolejny skok technologiczny na miarę nowej rewolucji przemysłowej.

Termin Przemysł 4.0 (ang. *Industry 4.0*) po raz pierwszy oficjalnie pojawił się na prezentacjach dotyczących przyszłości przemysłu na Targach Hannover Messe w 2011 roku (Vogel-Heuser i Hess, 2016). Jest to pojęcie bardzo ogólne, które zawiera w sobie takie określenia jak: rozwój maszyn (zwłaszcza robotów), szeroko rozumianą integrację maszyn i systemów informatycznych, personalizację wyrobów, a co za tym idzie krótkie serie produkcyjne, krótki cykl wytwarzania, zwiększony asortyment produktów, krótki cykl życia produktów, a przy tym wszystkim wysoką produktywność, elastyczność zmian asortymentu i precyzję jego wykonania (Kaczmarek i in. 2023).

Najpowszechniej w literaturze tematu wiąże się Przemysł 4.0 z pojęciem Cybernetyczno-fizycznych Systemów Produkcyjnych (CPPS, ang. *Cyber-Physical Production Systems*) (Vogel-Heuser i Hess, 2016). Przyjaźniej brzmiącym terminem są tzw. Inteligentne fabryki (ang. *Smart Factories*) (Zuehlke 2010), które przygotowując procesy planistyczne i produkcyjne działają w sposób gwarantujący możliwość natychmiastowych adaptacji do zmienności wariantów produktów, zmian zachodzących w procesie technologicznym i materiałach konstrukcyjnych, jak również zmienności terminów i kierunków dostaw. W rezultacie firmy są w stanie zaproponować klientom, unikatowy produkt dokładnie skonfigurowany i zgodny z ich indywidualnymi wymaganiami, dostarczony do dowolnego miejsca na świecie, przy wymaganym i często maksymalnie skróconym terminie dostawy.

Sprostanie wymaganiom Przemysłu 4.0 i przestawienie produkcji na zgodną z jego założeniami jest trudne i wymaga często poniesienia wysokonakładowych inwestycji. Zatem, czy polski przemysł jest w stanie przejść tę transformację i wykorzystać potencjał i możliwości czwartej rewolucji przemysłowej? Niniejszy artykuł przedstawia rzeczywiste wdrożenie koncepcji Przemysłu 4.0 w branży produkcji mebli, na przykładzie jednej z najbardziej zautomatyzowanych fabryk w Europie - Fabryki Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle.

Charakterystyka rozwiązań Przemysłu 4.0 stosowanych w produkcji mebli

Fundamentem czwartej rewolucji przemysłowej jest automatyzacja procesu produkcyjnego (Ribeiro i in., 2021). Oznacza ona oprócz zastępowania fizycznej

i powtarzalnej pracy ludzkiej, zastępowanie również pracy intelektualnej człowieka. Nowoczesne systemy produkcyjne nie tylko prowadzą obróbkę technologiczną, realizują także operacje transportowe, międzyoperacyjne. W ramach tych zadań Cybernetyczno-fizycznego Systemu Produkcyjnego możliwe jest automatyczne, niezależne od operatorów maszyn, samodzielne przebrojenie obrabiarek dla losowo dostarczanych przedmiotów obrabianych, bazując na informacjach przekazanych przez inne maszyny lub sam detal, za pośrednictwem etykiet z kodem kreskowym lub z wykorzystaniem technologii fal radiowych i identyfikatorów RFID (ang. *Radio-Frequency Identification*). W zależności od uprzednio wskazanych priorytetów, maszyny potrafią samodzielnie zestawiać i selekcjonować listy produkcyjne oraz decydować o kolejności wykonywania poszczególnych operacji. Aktualne możliwości techniczne pozwalają również na automatyczne zbadanie parametrów materiału oraz wprowadzenie odpowiednich korekt lub dodatkowych działań interwencyjnych w przypadku wystąpienia anomalii.

Opisywane powyżej operacje produkcyjne realizowane w ramach tzw. Inteligentnych fabryk wspomagają również decyzje na wyższym, zarządczym poziomie. Jeśli uprzednio zostały wskazane cele produkcyjne i wprowadzone pożądane wyniki w ramach zarządzania produkcją, system CPPS (ang. *Cyber-Physical Production System*) autonomicznie decyduje o tempie produkcji, generowanych odpadach materiałowych, kosztach procesu technologicznego, a nawet o poziomie jakości wytwarzanych wyrobów. Istnieją oczywiste zależności między wymienionymi wskaźnikami wytwarzania przemysłowego, a ich dynamika jest bardzo zmienna na różnych etapach trwania procesu. Dlatego, w szczególności linie produkcyjne Przemysłu 4.0 wyposażone w informatyczne systemy wspomagania decyzji potrafią szybko, w czasie rzeczywistym (ang. *on-line*) analizować dane wydajnościowe, jakościowe i finansowe, oraz ich wzajemne relacje, a w efekcie automatycznie podejmować trafne decyzje produkcyjne.

W Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle proces wytwarzania elementów z płyty wiórowej laminowanej jest procesem w pełni zautomatyzowanym. Wszystkie etapy, począwszy od magazynowania surowego materiału płytowego, poprzez proces rozkroju płyt, przelotowy proces oklejania wąskich powierzchni formatek meblarskich, kompletowania elementów brył meblowych oraz wspólny proces wiercenia, frezowania oraz automatycznego montażu okuć meblowych, są połączone urządzeniami transportowymi. Poprzez systemy identyfikacji i znakowania unikalnymi numerami każdego z produkowanych elementów płytowych oraz jego śledzenie (ang. *tracking*) w trakcie przebiegu procesu produkcyjnego, automatyczna linia (zajmująca obszar ok. $100 \times 100 \text{ m}^2$) jest w stanie dostarczać *on-line*, pełnej informacji o stopniu zaawansowania planu produkcyjnego, wynikach na poszczególnych gniazdach obróbkowych i obszarach linii, statusach maszyn, raportowanych problemach oraz wynikających z nich przestojach.

Istotnym aspektem procesu produkcyjnego fabryki Nowy Styl w Jaśle jest możliwość automatycznego kompletowania brył meblowych w tzw. bufor-sorterze (Rys. 3). Przy wysoce elastycznej produkcji (ang. „*batch size one*”), gdzie średnie wielkości partii

produkcyjnej mają jednostkowe liczebności (krótkie serie produkcyjne), realizowanie czynności kompletowania elementów meblowych pochodzących z jednej bryty mebla (BOM, ang. *bill of material*) było by skomplikowane, czasochłonne i generujące wiele pomyłek, gdyby nie w pełni automatyczny przebieg tego procesu realizowany tym urządzeniem w jednym miejscu w zakładzie. Dodatkową cechą procesu kompletacji i sortowania jest możliwość priorytetyzacji wydawanych zamówień. Przy dynamicznie zmieniających się warunkach dostaw, pozwala to na relatywnie łatwe zarządzanie kolejnością produktów wydawanych na magazyn wyrobów gotowych.



Rys. 3. Linia produkcyjna w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jasło, w głębi widoczny bufor-sorter
Fig. 3. Production line at the Nowy Styl Office Furniture Factory in Jasło, with a buffer-sorter visible in the background

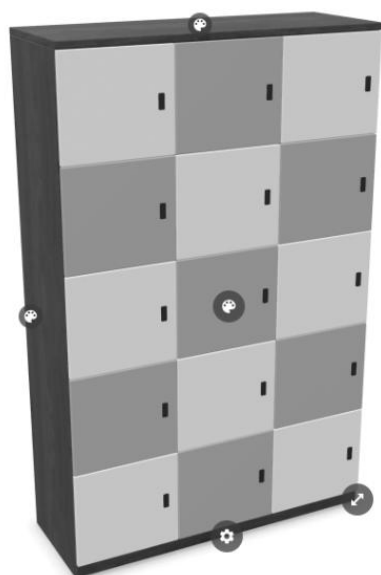
Kolejną ważną cechą charakteryzującą Przemysł 4.0, a która istotnie oddziałuje i zmienia przemysł meblarskich, szczególnie w ostatnich latach jest kliento-centriczność (ang. *customer centric approach*), w literaturze nazywana inteligentnym produktem lub produkcją zindywidualizowaną (Ortiz 2020). Jeszcze inaczej przedstawić ją można jako udział klienta w procesie produkcyjnym, gdzie to właśnie indywidualne wymagania dotyczące produktu, ze strony użytkownika decydują m.in. o wymiarach produkowanych wyrobów i półfabrykatów. Ze strony procesów produkcyjnych oznacza to dużą różnorodność produktów w codziennej realizacji, co równocześnie przekłada się na małe liczebnie wielkości partii produkcyjnej. Dlatego, żeby sprostać tym wymogom należy spełnić dwa warunki. Po pierwsze być przygotowanym ze strony fizycznego procesu wytwarzania do produkcji jednostkowej, po drugie być w stanie szybko i bez zwłoki przygotować niezbędne, wsadowe dane informatyczne (m. in. tabele parametrów, programy CNC, sekwencję etapów procesu technologicznego, czasy technologiczne, listę materiałową, itp.). Elementem kluczowym staje się zatem elastyczność, zarówno samego procesu produkcyjnego linii fabrycznej, jak i procesu generowania danych w środowisku wirtualnym.

W firmie Nowy Styl cecha kliento-centriczności wychodzi poza ramy obszaru technicznego i jest szeroko stosowanym w praktyce biznesowej podejściem do klienta. Aktualne rozwiązania informatyczne umożliwiają klientowi (bezpośrednio lub poprzez wsparcie działów sprzedaży - ang. *customer service*) na zdefiniowanie indywidualnej konfiguracji pożądanego produktu (mebla lub innego wyposażenia wnętrza) w konfiguratorze handlowym. W odpowiedzi na wprowadzone parametry, osobie zamawiającej przedstawiana jest komputerowa wizualizacja jego indywidualnego zamówienia. Po zakończeniu i potwierdzeniu konfiguracji, dla konkretnego mebla w przeciągu dwóch do pięciu minut generowane są wszelkie dane wymagane do poprawnego przeprowadzenia procesu wytwarzania i mogą być one skierowane na produkcję w zleceniu realizacji. Wygenerowane raporty zawierają również wszelkie dane planistyczne i finansowe, m. in. koszt wytworzenia. Za tym procesem stoi zaawansowany model danych, którego silnikami są w pełni zintegrowane systemy informatyczne czterech klas: poczynając od systemu wspierającego sprzedaż (ang. *sale support*), poprzez system klasy CAD/CAM z parametrycznymi bryłami 3D, dalej bardzo istotny dla produkcji system klasy ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) oraz system klasy MES (ang. *Manufacturing Execution System*) do zarządzania fabryką w czasie rzeczywistym.

Dynamika generowania danych konfiguracyjnych bryły meblowej związana z liczbą dostępnych wariantów i konfiguracji parametrów mebla wybieranych przez klientów stawia bardzo wysokie wymagania zakładowi produkcyjnemu. Ze względu na liczbę zmienianych cech produktu oraz w efekcie na mnogość kombinacji jego parametrów, ilość możliwych wariantów do wirtualnego zaprojektowania wyrobów meblowych jest bardzo duża i wraz ze zwiększeniem rozdzielczości odstopniowania wymiarowego rośnie wykładniczo (Rys. 4). Widoczna na Rys. 4 szafa z drzwiami uchylnymi, może posiadać $2,32 \cdot 10^{11}$ możliwych konfiguracji, natomiast przy teoretycznym rastrze odstopniowania wymiarowego równym 1 mm liczba wariantów wzrośnie do $2,32 \cdot 10^{14}$. Idąc o krok dalej w tym przykładzie, technicznie możliwe jest zmniejszenie wartości rastra do 0,1 mm (trzeba zdawać sobie sprawę, że taka wielkość nie stanowi realnej i praktycznej potrzeby klienta, lecz jest hipotetycznym rozważaniem nad możliwościami systemu produkcyjnego), jednak w tym przypadku kombinacji jest już $2,32 \cdot 10^{17}$. Przykład można byłoby rozbudowywać dalej, np. w stronę zróżnicowania kolorów czterech obrzeży w obrębie jednej formatki płytowej. Kolejne warianty mogłyby uwzględniać grubości tychże materiałów obrzeżowych (warianty o grubości: 1 mm, 2 mm, 3 mm), itd.. Pomimo tak wielkich liczb dostępnych wariantów jednego produktu, należy uzmysłwić sobie, że taki zakres konfiguracji mieścił by się w możliwościach technologicznych i produkcyjnych zakładu.

Powyższe rozważania liczbowe potwierdzają tylko, że kluczową rolę w Przemysle 4.0 odgrywa informacja. Zbieranie i analiza danych w czasie rzeczywistym umożliwia podejmowanie decyzji opartych na informacji na wszystkich poziomach produkcji. W zasadzie o większości zadań do wykonania nie decydują ludzie, tylko algorytmy. To one kontrolują nie tylko przepływ zleceń, ale również zasobów ludzkich, energii wytwórczych

i innych zasobów, by zwiększyć sprawność realizacji celów produkcyjnych. Stąd, przy technologii opartej na informacji niezbędny jest zaawansowany model gromadzenia danych (ang. *Big Data and Analytics*) (Rüßmann i in., 2015). Źródło tych danych może pochodzić z różnych obszarów przedsiębiorstwa, w tym z wyposażenia fabryk, posiadanych systemów informatycznych, jak i również z obszarów handlowych przedsiębiorstwa.



Przykładowy mebel i jego dane konfiguracyjne:

Wysokość - od 40cm do 220cm
 Szerokość - od 40cm do 120cm
 Głębokość - od 30cm do 100cm
 Rodzaj zawiasów - 3 typy
 Kolor korpusu - 20 dekorów
 Kolor drzwi - 20 dekorów (bez mix)
 Grubość elementów korpusu - 2 typy
 Grubość wieńca górnego - 2 typy
 Typ uchwyty - 2 typy
 Rodzaj zamka - 3 typy
 Kierunek otwierania drzwi - 2 typy
 Konstrukcja mebla - 4 typy

 ilość wariantów mebla

$$n = 180 \cdot 80 \cdot 70 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 2 \\ \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \\ \approx 2,32 \cdot 10^{11}$$

Rys. 4. Zakres konfiguracji szafy z drzwiami uchylnymi
Fig. 4. Configuration range of the hinged door cabinet

Big Data należy rozumieć nie tylko w znaczeniu dużego zbioru danych, który sam w sobie nastęrcza duże problemy analityczne i interpretacyjne. Big Data powinno być przede wszystkim rozumiane jako wykorzystanie na dużą skalę potencjału obliczeniowego oraz zaawansowanego oprogramowania do gromadzenia, przetwarzania i analizowania danych o dużym wolumenie, dużej szybkości ich generowania i różnorodności wartości. Badania pokazują silny związek pomiędzy wykorzystaniem Big Data w firmach, a wzrostem ich przychodów. Wzrost ten jest wyższy o 50%, a kluczowe wskaźniki efektywności wzrastają nawet o 20% (Fidali 2021).

Możliwość szybkiego przepływu dużej ilości informacji ze strony procesu, pozwala na analizowanie i podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym, podczas trwania tego procesu. Można *on-line* optymalizować jakość produktów, podnosić produktywności wytwarzania oraz planować i realizować skuteczne serwisowanie maszyn i urządzeń. Tak przebiega to w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle. Monitorowany jest przepływ wszystkich pojedynczych elementów płytowych przechodzących przez linię produkcyjną. Każdy etap procesu oraz wszystkie zdarzenia są rejestrowane. Innym rodzajem gromadzonych danych są statusy poszczególnych zespołów linii oraz pojedynczych obrabiarek. Mając do dyspozycji tego rodzaju dane można szczegółowo analizować wyniki oraz stan realizacji

zaplanowanych zleceń produkcyjnych. Dodatkową zaletą tych rozwiązań jest sprzężenie zwrotne, które pozwala ocenić jakość dostarczanych danych sterujących procesem produkcyjnym. Kluczowymi dla tego aspektu realizacji produkcji są systemy klasy MES (ang. *Manufacturing Execution System*), których aktualnie w omawianym zakładzie jest kilka rodzajów, ze względu na specyfikę obsługiwanych obszarów. Są to zarówno rozwiązania dostarczone przez dostawców, jak i narzędzia rozwijane wewnątrz firmy Nowy Styl.

Kolejnym aspektem jest szeroka integracja procesów (Xu i in., 2021), znana również pod angielskim hasłem *connectivity*. W praktyce ta cecha oznacza automatyczną wymianę informacji nie tylko wewnątrz przedsiębiorstwa, ale również wymianę danych na zewnątrz, z dostawcami, klientami i np. instytucjami państwowymi. Aktualny poziom rozwoju tego aspektu działa sprawnie wewnątrz firmy, i to w szerokim zakresie (realizowane są długie łańcuchy integracyjne), jednak w przypadku integracji na zewnątrz stanowi to nadal spore wyzwanie. Mimo tych trudności można zauważyć w przemyśle meblarskim rozwijające się rozwiązania typu - konfiguratorów elementów płytowych do składania zamówień *on-line*, jak również usługi producentów obrzeży meblowych umożliwiających dostarczanie zdigitalizowanych charakterystyk materiałów, posiadających swój unikalny kod, pozwalający na śledzenie materiału w trakcie całego cyklu jego życia.

Przykłady szerokiej integracji systemów w Fabryce Nowy Styl zostały przytoczone już przy okazji opisywania tematu kliento-centriczności. Innym ciekawym przykładem jest możliwość projektowania mebli w biurach konstruktorskich zlokalizowanych w różnych miejscach geograficznych (w przypadku Nowy Styl na terenie Europy). Wykorzystując zintegrowaną bazę danych programów klasy CAD/CAM oraz dysponując fabrykami w różnych krajach, w zależności od zaistniałych warunków, można podejmować elastyczne decyzje o lokowaniu produkcji danego zamówienia w konkretnej fabryce w Europie.

Pokrewną i dość zbliżoną cechą jest stosowanie oprogramowania i gromadzenia danych w tzw. "chmurze obliczeniowej" (ang. *cloud computing*) (Červený i in., 2022). Ta technologia Przemysłu 4.0, poza samą integracją, tworzy możliwości związane z magazynowaniem danych na zewnątrz firmy, współdzieleniem danych pomiędzy przedsiębiorstwami wraz z możliwością używania danych i aplikacji na różnych urządzeniach, w szczególności mobilnych (telefony komórkowe, tablety, smart watch'e). W przemyśle meblowym występuje mnogość przykładów użycia tychże rozwiązań. Dostępne dla producentów mebli są rozwiązania chmurowe, które współdzielą np. wyniki wydajności rozkroju płyt wiórowych. Programy odpowiadające za definiowanie sposobu i przebiegu tego procesu, mając wielką bazę danych z wielu firm, potrafią o wiele skuteczniej i trafniej proponować rozmaite scenariusze rozkroju, w oparciu o dane całego oprogramowania połączonego w chmurze. Innym przykładem jest możliwość instalacji oprogramowania klasy MES na telefonie komórkowym. Operator obsługujący wiele maszyn jednocześnie, może dostawać informacje o statusie wszystkich wykorzystywanych w danej chwili obrabiarek. W przypadku zatrzymań i wystąpienia alertów (komunikatów o błędach), to rozwiązanie gwarantuje szybszą reakcję i ograniczenie przestoju produkcyjnych do minimum.

Dobrym przykładem rozwiązań chmurowych oraz szerokiej integracji jest współdzielenie baz danych zawierających modele 3D komponentów meblowych (w szczególności chodzi o okucia meblowe). Takie właśnie rozwiązanie jest stosowane przez działy konstrukcyjne omawianej fabryki. Łańcuch integracyjny zaczyna się od producentów okuć meblowych, którzy chętnie udostępniają modele 3D swoich produktów, wprowadzając je do baz danych producentów programów klasy CAD/CAM. Następnym użytkownikiem tych danych jest projektant i konstruktor mebla już w biurze technicznym zakładu produkcyjnego. Okucia są dobierane oraz pozycjonowane według zaprogramowanych reguł w parametrycznej bryle meblowej 3D, generują automatycznie otwory wierceń i frezowań, zaplanowane do wykonania w procesie technologicznym. Dzięki takiemu zapisowi technologii, nowopowstały model numeryczny (bryła meblowa) przekazuje do procesów fabrycznych nie tylko dokumentację techniczną, ale również programy CNC i wszystkie inne dane wymagane do przeprowadzenia procesu produkcyjnego. Jeszcze innym sposobem wykorzystania tego modelu po konfiguracji jest użycie jego wizualizacji (jego modelu 3D) w programach wspomagających projektowanie biur (ang. *space planning*). Ta przykładowa współpraca systemów współdzielenia danych rozpoczęła się od producenta okuć meblowych, dalej przebiegała przez producenta oprogramowania CAD/CAM, fabrykę wytwarzającą mebel, przez biuro projektowe, a zakończyła się na docelowym użytkowniku produktu.

Podsumowanie

Kiedy na prezentacjach dotyczących rozwoju przemysłu na Targach Hannover Messe w 2011 roku została po raz pierwszy pokazana koncepcja Przemysłu 4.0, Fabryka Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle jeszcze nie istniała, a zespół projektowy pracujący nad jej budową nie używał sformułowania Przemysł 4.0 w odniesieniu do swojej propozycji. Celem nadrzędnym realizowanym przez projektantów było stworzenie bardzo nowoczesnego procesu wytwarzania mebli, gwarantującego podniesienie zdolności produkcyjnych, przy jednoczesnym zwiększeniu elastyczności wytwarzania i jeszcze wyższym poziomie realizacji wysokich wymagań stawianych przez klientów. Oficjalne otwarcie fabryki odbyło się w roku 2015, a krótko po tym wydarzeniu została ona opisana w literaturze naukowej jako jeden z pionierskich zakładów Przemysłu 4.0 działających na terenie Europy i to nie ograniczając się jedynie do producentów mebli. Fabryce Nowy Styl w Jaśle poświęcony był pierwszy rozdział książki (Mandl 2017), a pozostałe zakłady, wśród których toczyła się dyskusja o nowej rewolucji przemysłowej to światowe korporacje z branży samochodowej, farmaceutycznej czy automatyki przemysłowej.

Aktualnie Fabryka Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle pracuje w pełnym obłożeniu zdolności produkcyjnych, prowadząc jednocześnie działania ciągłego doskonalenia i optymalizacji procesów, produkując i wysyłając meble na cały świat. Mimo już prawie 10-letniej historii jest chętnie odwiedzana przez klientów i zainteresowanych nowoczesną produkcją w koncepcji Przemysłu 4.0. Uchodzi za uznanego reprezentanta czwartej rewolucji przemysłowej, co starano się szczegółowo wykazać w treści tej publikacji.

Kończąc, należy podkreślić, że przemysł meblarski w Polsce wzorując się m.in. na przykładzie opisanego zakładu, przebudowuje fabryki w myśl idei Przemysłu 4.0 i czerpie korzyści z omawianych rozwiązań, nie pozostając w tyle za zachodnią konkurencją, a tym samym jest on znaczącym i pełnoprawnym uczestnikiem czwartej rewolucji przemysłowej.

Literatura

Červený L., Sloup R., Červená T., 2022: The Potential of Smart Factories and Innovative Industry 4.0 Technologies - A Case Study of Different-Sized Companies in the Furniture Industry in Central Europe. Czech University of Life Sciences Prague <https://doi.org/10.3390/f13122171>

Fidali M., 2021: Przewodnik po technologiach Przemysłu 4.0. Wydawnictwo Elamed Media Group, Katowice

Kaczmarek W., Panasiuk J., Borys S., Dyczkowski R., Siwek M., 2023: Robotyzacja i automatyzacja. Przemysł 4.0. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa

Mandl C., 2017: Auf der Suche nach Industrie-4.0-Pionieren: Die vierte industrielle Revolution im Werden. ÖGB-Verlag.

Ortiz J.H., 2020: Industry 4.0 - Current Status and Future Trends. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.86000

Ribeiro J., Lima R., Eckhardt T., Paiva S., 2021: Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 - A Literature review. In: Procedia Computer Science. Elsevier B.V., pp. 51-58.

Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M., 2015: Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.

Vogel-Heuser B., Hess D., 2016: Guest Editorial Industry 4.0-Prerequisites and Visions. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. DOI: 10.1109/TASE.2016.2523639

Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L., 2021: Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception. J Manuf Syst 61, 530-535. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006

Zuehlke D., 2010: SmartFactory-Towards a factory-of-things. In: Annual Reviews in Control. Elsevier Ltd, 129-138. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008

Źródła internetowe

Harford, T., 2017. Why didn't electricity immediately change manufacturing? <https://www.bbc.com/news/business-40673694> (dostęp 17.11.2023).

<http://retropress.pl/tag/ford/>

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Zgłoszony / Submitted: 18.12.2023

Opublikowany online / Published online: 25.03.2024