



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Leśny i Technologii Drewna

mgr Zdzisław Kwidziński

**Wydajność zautomatyzowanych linii technologicznych
do produkcji drzwi drewnianych**

Efficiency of automated technological lines for the production
of wooden doors

Rozprawa doktorska w dziedzinie nauk rolniczych
w dyscyplinie nauki leśne

Doctoral dissertation in the field of agricultural sciences
in the discipline of forestry

promotor:

prof. dr hab. inż. Tomasz Rogoziński
Katedra Meblarstwa, UPP

promotor pomocniczy:

dr inż. Marcin Drewczyński
General Engineering Solutions

Poznań, 2025

Składam najserdeczniejsze podziękowania promotorom

prof. dr. hab. inż. Tomaszowi Rogozińskiemu

*za mistrzowskie uwagi przekazywane z niezwykłą cierpliwością,
za wszechstronną pomoc oraz zaangażowanie, które były mi
towarzyszące przez cały proces mojej przygody naukowej*

dr inż. Marcinowi Drewczyńskiemu

*za inspirację, wyrozumiałość, dzielenie się swoim
doświadczeniem oraz wsparcie na każdym etapie*

Rozprawa doktorska została przygotowana w ramach V edycji programu
Doktorat Wdrożeniowy w latach 2021-2025 w oparciu o umowę nr DWD/5/0183/2021.

Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Wprowadzenie literaturowe.....	7
2.1. Uwagi ogólne.....	7
2.2. Masowa kastomizacja.....	7
3. Cel pracy.....	18
4. Założenia prac badawczych.....	19
5. Wyjściowy stan technologii w Zakładzie PORTA o/Kartoszyno	20
5.1. Obrabiarki i technologia	23
5.2. Systemy sterowania produkcją	25
6. Modernizacja linii produkcyjnych w zakładzie PORTA Kartoszyno	27
6.1. Założenia wyjściowe	27
6.2. Cele modernizacji.....	29
6.3. Przebieg prac modernizacyjnych.....	31
6.3.1. Koncepcje technologiczne modernizacji i założenia metodyczne oceny ich efektów	31
6.3.2. Etap 1.	38
6.3.3. Etap 2	63
6.3.4. Etap 3	81
7. Stan prac wdrożeniowych.....	92
7.1. Rys historyczny	92
7.2. Stan parku maszynowego oraz wdrożonych systemów ERP, APS, Translator w czerwcu 2025 r.	93
8. Badania wydajności linii technologicznych	112
8.1. Test I. Analiza danych produkcyjnych dla określenia czynników determinujących wydajność linii technologicznej	112
8.2. Test II. Wpływ parametrów skrzydła drzwiowego na wydajność linii technologicznej.....	116
8.3. Test III. Szczegółowa analiza wpływu koloru wykończenia na wydajność zautomatyzowanej linii do produkcji skrzydeł drzwiowych	124
8.4. Test V. Wpływ prędkości posuwu podczas frezowania na jakość obróbki rowków dekoracyjnych w okładzinach skrzydeł drzwiowych wykonanych z płyt HDF	131

8.5. Test VI. Identyfikacja czynników wpływających na wydajność maszyn w zakładzie w Kartoszynie; diagram Pareto	135
8.6. Test VII. Efektywność energetyczna.....	142
9. Model osiągnięcia wydajności w wielkoseryjnej produkcji drzwi.....	148
10. Efekty wdrożeniowe dla przedsiębiorstwa POTRA KMI Poland S.A. wynikające ze zrealizowanych prac badawczo-rozwojowych.....	151
11. Wnioski	153
Bibliografia	155
Streszczenie.....	161
Summary	163
Spis tabel	165
Spis rycin.....	167

1. Wstęp

Firma PORTA KMI Poland S.A jest liderem w produkcji skrzydeł i ościeżnic drzwiowych w Polsce. Podstawowy przedmiot działalności stanowi produkcja pozostałych wyrobów stolarskich i ciesielskich dla budownictwa. Pierwszy zakład produkcyjny został uruchomiony w 1992 r. w Bolszewie, w którym do dziś mieści się główna siedziba firmy. Obecnie PORTA KMI POLAND S. A. (dalej PORTA) jest jednym z największych i najbardziej dynamicznie rozwijających się producentów drzwi w kraju. Przedsiębiorstwo dysponuje pięcioma wysokorozwiniętymi zakładami produkcyjnymi, wytwarzającymi ok. 1,7 mln drzwi rocznie, zatrudniającymi ponad 1800 pracowników. Produkty stolarki drzwiowej sprzedawane pod marką PORTA DRZWI należą do najbardziej rozpoznawalnych na polskim rynku. Sprzedaż prowadzona jest na 28 rynkach europejskich – istotne w tym zakresie kraje to Czechy i Słowacja, Rumunia, Malta, kraje nadbałtyckie, Niemcy, Austria, Wielka Brytania, Francja, Belgia. Sprzedaż prowadzona jest także na rynkach wschodnich (Rosja, Ukraina, Białoruś, Wietnam), a także w Nigerii i Egipcie. PORTA wyróżnia się na tle konkurencji głównie szeroką ofertą produktów, w szczególności wyrobami o niestandardowych parametrach technicznych oraz indywidualnym podejściem do klienta, a także przystępną ceną produktów w porównaniu z ich wysoką jakością. Ponadto dzięki trzydziestoletniemu doświadczeniu w produkcji i sprzedaży drzwi oraz dzięki rozbudowanej sieci dystrybucji marka PORTA DRZWI jest dobrze znaną w środkowo-wschodniej Europie marką producentów drzwi.

Specyfika produkcji drzwi drewnianych wykazuje coraz wyższy poziom indywidualizacji cech technicznych oraz użytkowych wyrobów wynikających z wymagań klientów (kastomizacja). Wiąże się z tym konieczność ciągłych zmian w działaniu systemu produkcyjnego następujących w ślad za dużą zmiennością parametrów pracy wszystkich urządzeń. Wielkość serii produkcyjnej w takiej sytuacji często równa się jednej sztuce gotowego wyrobu. Zatem brak efektywnego podejścia technologicznego i organizacyjnego uwzględniającego automatyzację oraz skuteczną parametryzację pracy maszyn skutkuje małą wydajnością związaną z dużym udziałem czynności ręcznych, przezbrajaniem maszyn, zużyciem energii, zapotrzebowaniem na powierzchnię produkcyjną oraz niską jakością wyrobów. Dla uniknięcia tych problemów należy zastosować zautomatyzowaną, inteligentną technologię kastomizowanej produkcji wyrobów. W przedsiębiorstwie PORTA prowadzone są inwestycje polegające na budowie takich linii technologicznych. Zakłada się możliwość docelowego osiągnięcia wydajności tego rodzaju linii technologicznych nawet do 180 szt./h ościeżnic drewnianych oraz 360 szt./h skrzydeł drzwiowych wytwarzanych w oparciu

o wykorzystanie materiałów drewnianych. Jest to poziom dotąd nigdzie nie osiągnięty w warunkach masowej kustomizacji w produkcji drzwi.

W ramach doktoratu opracowany został zaawansowany system sterowania procesem wytwarzania drzwi drewnianych spełniających rygorystyczne normy jakościowe, w tym: ochrony przeciwpożarowej, izolacyjności akustycznej, klasy klimatycznej, odporności na włamanie oraz wyznaczający trendy dla nowoczesnej stolarki otworowej, w tym dla budynków wysokościowych. Tak szerokie możliwości techniczne i technologiczne są możliwe do uzyskania razem z masową indywidualizacją zamówień składanych przez nabywców dzięki identyfikacji oraz analizie ilościowej (analitycznej i eksperymentalnej) czynników oddziałujących na wydajność linii technologicznej oraz ocenie wybranych wskaźników techniczno-ekonomicznych.

2. Wprowadzenie literaturowe

2.1. Uwagi ogólne

Zmieniające się trendy aranżacji wnętrz powodują, że firmy wytwarzające skrzydła i ościeżnice z materiałów lignocelulozowych muszą nieustannie poszerzać wachlarz oferowanych modeli, by wychodzić naprzeciw coraz śmielszym oczekiwaniom architektów w zakresie parametrów wymiarowych, rodzajów wykończenia powierzchni skrzydeł i ościeżnic drzwiowych, typów profili, nietypowego rozmieszczenia zaczepów, zawiasów i umiejscowienia akcesoriów. Z drugiej strony, producenci stolarki drzwiowej dążą do zachowania konkurencyjności i rentowności działania, co przy potrzebie szybkiego dostosowywania się do tak różnorodnych potrzeb klientów jest utrudnione. Wyzwaniem staje się więc połączenie wysokiej wydajności i automatyzacji procesów produkcyjnych z dużą elastycznością i możliwością szybkich zmian programu produkcyjnego. Odpowiedzią na to wyzwanie jest opracowany system sterowania technologią bazujący na autorskiej koncepcji uszeregowania poszczególnych etapów obróbki w jeden ciągły proces wytwarzania kastomizowanych wyrobów z wykorzystaniem zintegrowanych ze sobą modułów, maksymalizujący przy tym stopień zautomatyzowania tego procesu dzięki zastosowaniu nowatorskiego systemu sterowania. Wdrożona technologia stanowi połączenie dotychczasowego doświadczenia i wiedzy PORTA w zakresie wytwarzania certyfikowanych produktów stolarki otworowej z koncepcją przemysłu 4.0. Kluczowy wpływ na osiągnięcie oczekiwanych rezultatów i właściwości technologii PORTA ma wprowadzony do zastosowania nowatorski system parametrycznego sterowania modułami obróbczymi, dzięki któremu informacje o cechach danego wyrobu ujęte w systemach informatycznych PORTA są tłumaczone w sposób automatyczny na instrukcje obróbcze poszczególnych modułów linii technologicznej. Następuje przy tym pominięcie specjalistycznych programów typu CAM standardowo sterujących pracą urządzeń produkcyjnych.

2.2. Masowa kastomizacja

Innowacje w procesach i metodach produkcji wpływają na kapitałochłonność procesów, zmieniają proporcje kosztów stałych zakładów produkcyjnych, wpływają na ekonomię skali i przyrost doświadczenia uzyskiwanego w tych zakładach (Porter, 2010). Szczególną rolę w innowacyjności odgrywają tak zwane kluczowe technologie, które stanowią podstawę

konkurencyjności produktów. Pozwalają one na wytwarzanie wysokiej jakości produktów i zmniejszanie kosztów ich produkcji (Gierszewska i Romanowska, 2017).

Przedsiębiorstwo może osiągnąć przewagę kosztową na rynku, jeśli świadomie zaprojektuje swój elastyczny proces produkcyjny. Ma on na celu zapewnienie możliwości produkcji różnorodnych typów produktów w małych seriach, które odpowiadają indywidualnym potrzebom nabywców zgodnie z trendem masowej kastomizacji (Porter, 2010). Elastyczność procesu wiąże się z racjonalnym gospodarowaniem materiałami, surowcami i źródłami energii, zaangażowaniem i motywacją pracowników, zwiększeniem innowacyjności, wdrażaniem zmian w sposobie organizacji pracy oddziałów produkcyjnych w szczególności i całej firmy w podejściu uogólnionym. Wymaga to stosowania zaawansowanych systemów informatycznych umożliwiających zarządzanie rzetelną informacją oraz sprawne planowanie i podejmowanie decyzji opłacalnych z perspektywy biznesowej (Kraszewska i Pujer, 2017). Istotne jest również wprowadzenie istotnych zmian w jakości analizy i kontroli kosztów w przedsiębiorstwie. Warto dodać, że przewaga kosztowa jest ściśle związana z konkurencyjnością czasową osiąganą dzięki optymalizacji procesów produkcji i dystrybucji (oszczędność czasu) oraz dalszym innowacjom w procesach i produktach (Adamkiewicz-Drwiłło, 2010). Oszczędność czasu wynika szczególnie z kontroli nad długością trwania taktów w liniach technologicznych. Na dużą skalę kastomizacja jest możliwa dzięki szybkiemu rozwojowi technik wytwórczych. Jest to możliwe dzięki wprowadzeniu i rozwojowi koncepcji przemysłu 4.0, która integruje zaawansowane technologie informatyczne i automatyzację z procesami produkcyjnymi (Pérez i in., 2022). Ponadto automatyzacja linii produkcyjnych oraz wdrażanie zaawansowanych rozwiązań informatycznych umożliwiają swobodne wprowadzanie zmian poprawiających jakość i estetykę (Kwidziński i in., 2021a). Co szczególnie ważne, skraca się czas obróbki, a to pozwala na zwiększenie wydajności całej linii technologicznej (Tarigan i in., 2019). W koncepcji przemysłu 4.0 urządzenia i maszyny w zautomatyzowanej linii produkcyjnej wymagają użycia precyzyjnych narzędzi do obróbki skrawaniem, aby zapewnić wysoką dokładność i jakość obróbki elementów wyrobu. Zastosowanie takich narzędzi niesie za sobą korzyści takie jak zmniejszenie nadmiaru obróbkowego, co skutkuje korzyściami finansowymi i lepszym wykorzystaniem materiału oraz zmniejszeniem zużycia energii i skróceniem czasu przeznaczanego na obróbkę.

Zaangażowanie przemysłu w innowacje procesowe i opracowywanie nowych technologii przynoszą również korzystne rezultaty dla biogospodarki (Wieruszewski i in., 2023). Jest to niezbędne do utrzymania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw na rynku, a sam proces

produkcyjny staje się bardziej efektywny technicznie i ekonomicznie, co jest zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju (Pędzik i in., 2020). Zautomatyzowane systemy łączą centralny poziom planowania bezpośrednio z produkcją, gdzie sparametryzowane zamówienia są przekazywane do konkretnych maszyn (Kwidziński i in., 2021a). Integracja systemów informatycznych pozwala na gromadzenie i analizę dużych ilości danych, monitorowanie i optymalizację przebiegu procesu produkcyjnego w czasie rzeczywistym (Haddouche i Ilinca, 2022). Systemy informatyczne wykrywają potencjalne problemy i umożliwiają podjęcie kroków zaradczych w celu ich szybkiego rozwiązania bez zakłócania produkcji. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą lepiej wykorzystywać zasoby, skuteczniej planować produkcję i szybciej reagować na zmieniające się warunki rynkowe i potrzeby klientów.

Na rynku międzynarodowym Polska jest jednym z krajów przodujących w produkcji drzwi, okien i mebli. Wynika to z wysokiej jakości wyrobów w stosunku do stosunkowo niskich kosztów ich produkcji. Optymalne planowanie i sterowanie zautomatyzowanymi liniami produkcyjnymi odgrywa kluczową rolę w nowoczesnych systemach produkcyjnych dla ograniczania kosztów. Ograniczona ilość zasobów produkcyjnych w postaci przystosowanych do danego procesu technologicznego maszyn i urządzeń wymaga częstego ich przezbierania do wytwarzania produktów różnego rodzaju. Problem sterowania wytwarzaniem w warunkach wielu rodzajów produktów jest znany i badany od dawna (Diewert, 1973; Lau, 1976; Sung, 1985). Obecnie, w celu znalezienia najlepszych i najefektywniejszych rozwiązań, stosuje się nowoczesne narzędzia organizacyjne zgodne z ideą przemysłu 4.0. Producent, który przestrzega tych zasad może liczyć na osiągnięcie mniejszego poziomu kosztu wytworzenia, nawet jeśli jego produkt jest dobrze dostosowany do potrzeb indywidualnego klienta.

Cyfrowe bliźniaki fabryk, zastosowanie sztucznej inteligencji, w tym modeli głębokiego uczenia uwzględniających sekwencyjne informacje o procesie produkcyjnym, modeli wieloagentowych opartych na teorii fraktali, grafów wiedzy i technologii *Blockchain* są coraz częściej stosowane w planowaniu i sterowaniu procesami produkcyjnymi. Skuteczność wdrożenia tych metod można ocenić z wykorzystaniem wskaźników techniczno-ekonomicznych. Wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia produkcyjnego (OEE – *overall equipment efficiency*) jest często używany jako wskaźnik jego stanu i wykorzystania ze względu na prostotę użycia. Analiza i modelowanie wartości OEE otrzymanych z produkcji pozwala na sformułowanie *Association Rule Mining* (ARM), która to metoda w dynamiczny sposób ułatwia proces podejmowania decyzji na linii produkcyjnej. Inną metodologią do optymalizacji czasu wytwarzania jest *Transmission Control Protocol* (TCP), czyli zasada

wykorzystująca model szeregów czasowych dla algorytmu grupowania i technologii *Parallel Job in Single Minute Exchange of Die (SMED)*. W oparciu o te metody, działania podejmowane przez przedsiębiorstwo powodują wzrost niezawodności i efektywności reakcji na zmiany, a także zwiększają ogólnie jego efektywność czasową i kosztową (Kwidziński i in., 2024). Joseph Pine II opisuje masową kastomizację jako model biznesowy, w którym przedsiębiorstwa mogą osiągnąć zarówno niskie ceny oferowanych wyrobów, jak i dużą różnorodność ich produkowanych dzięki bardzo elastycznym procesom, które umożliwiają dynamiczny przepływ towarów i usług. Model ten zakłada, że każdy produkt jest unikatowy i dopasowany do potrzeb konkretnego klienta, dzięki czemu różni się od poprzedniego (Pine, 1993). Stanley M. Davies również stworzył koncepcję masowej personalizacji. W swojej książce "Future Perfect" opisał ją jako radzenie sobie z potrzebami wielu klientów, jak w przypadku ogólnego rynku, przy jednoczesnym traktowaniu ich wyjątkowo, jak ma to miejsce w przypadku rynków zindywidualizowanych (Davis, 1987). Masowa kastomizacja w połączeniu z ogólną pozycją konkurencyjną przedsiębiorstwa może stanowić skuteczny sposób na osiągnięcie i utrzymanie strategicznej elastyczności. Jeśli zostanie ona z sukcesem wdrożona, przedsiębiorstwo może uzyskać istotny wpływ na konkurencyjność w branży (Kotha, 1995).

Założeniem masowej kastomizacji jest wysoki poziom indywidualizacji cech produktów przy zachowaniu niskich kosztów i dużej wydajności produkcji masowej. Współcześnie termin masowej kastomizacji jest używany w odniesieniu do strategii związanych z dużą różnorodnością oraz personalizacją wyrobów i elastyczną produkcją. Wynika to zasadniczo z pozytywnego podejścia do akceptacji indywidualnego traktowania konsumentów. Masowa kastomizacja jest konsekwencją zwiększonej globalnej konkurencji, skracaniem cyklu życia produktów, a także wdrażaniem nowych technik produkcyjnych i informatycznych, które umożliwiają przedsiębiorstwom produkcję zgodnie ze specyfikacją zamówień indywidualnego klienta przy zachowaniu niskiego poziomu kosztów. W sytuacji ukształtowania się rynku zorientowanego na indywidualne potrzeby klienta, projekt produktu musi obejmować szerszy zakres cech i podkreślać wysoką wartość dodaną dla klientów. Masowa kastomizacja może też być traktowana jako ważny instrument w budowaniu pozytywnych relacji między producentami a klientami przez to, że daje producentom możliwość zwiększenia satysfakcji klientów, a co za tym idzie szansę utrzymania klientów w długim okresie w związku ze wzrostem lojalności klientów.

Produkcja i oferowanie na rynku wyrobów, które można masowo dostosowywać do potrzeb klientów, są osiągalne dwoma sposobami. Po pierwsze, produkty mogą być

modyfikowane przez sprzedawcę na podstawie funkcji i cech, które zostały wymienione przez klienta w procesie zamówienia. Modyfikacja odbywa się z wykorzystaniem modułów produktu, które znajdują się w ofercie. Innym sposobem jest umożliwienie klientowi stworzenie produktu z wcześniej przygotowanych alternatywnych części produktu (Sabioni i in., 2022).

Obecnie coraz więcej przedsiębiorców wykorzystuje koncepcję masowej kastomizacji produktów, aby zachęcić klientów do zakupu oferowanych wyrobów. Jedną z gałęzi przemysłu, w których indywidualne potrzeby klientów powinny być zaspokajane na pierwszym miejscu jest przemysł meblarski, w tym również produkcja drzwi. W porównaniu z konwencjonalnymi metodami personalizacji poszczególnych produktów, wprowadzenie koncepcji masowej kastomizacji w większym stopniu zaspokoi potrzeby i wymagania klientów, niż wytwarzanie produktów na zamówienie w tradycyjny sposób. Koszt ich wytworzenia będzie również stosunkowo mniejszy. Masowa kastomizacja staje się bardziej istotna w branży drzwiowej ze względu na rosnące oczekiwania konsumentów i zmieniającą się niejednorodność popytu, o ile czas realizacji projektów będzie krótki, a różnice w podstawowej konstrukcji między produktami kastomizowanymi w stosunku do tych w standardowej ofercie będą nieznaczne (Pędzik i in., 2020). Koncepcja masowej kastomizacji wydaje się być ideą, która powinna być wdrażana niemal wszędzie w różnych branżach, niemniej jednak zasadniczo jest ona brana pod uwagę tylko wtedy, gdy można z tego wdrożenia czerpać zyski lub nie ma w związku z tym strat dla przedsiębiorstwa.

W ekonomii produktywność to miara efektywności, która odnosi wielkość produkcji do wielkości zasobów użytych do jej wytworzenia. Zasobami tymi są praca, kapitał, materiały i energia (Griffin, 2017). Produktywność jest wyznacznikiem poziomu rentowności w przedsiębiorstwie i jego zdolności do bycia konkurencyjnym na rynku. Wysoka produktywność zazwyczaj charakteryzuje przedsiębiorstwa innowacyjne i wyraża się w postaci wyższego poziomu wartości dodanej, wartości nakładów inwestycyjnych, obrotów na jednego pracownika oraz dynamiki eksportu (Szymanik, 2016). Z badań przedsiębiorstw produkcyjnych w branży meblarskiej wynika wniosek, że do głównych czynników wpływających na zwiększenie popytu oraz definiujących cele stosowania innowacji w przedsiębiorstwie należy zaliczyć poprawę wydajności produkcji, wzrost udziału przedsiębiorstwa w rynku, skrócenia procesu technologicznego i redukcji kosztów (Niziałek i in., 2016). Podmiot gospodarczy może zwiększyć wydajność skupiając swoje wysiłki w tym celu na dwóch obszarach. Pierwszym jest poprawa funkcjonowania operacyjnego, która jest możliwa do uzyskania w wyniku: modernizacji majątku trwałego w tym obiektów i urządzeń wytwórczych, rozwoju działalności

badawczo-rozwojowej, rozwoju nowych metod wytwarzania, opracowania koncepcji nowych produktów oraz różnych możliwości ich wykorzystania. Drugim obszarem wpływającym na wydajność przedsiębiorstwa jest zwiększenie sprawności działania, motywowania i zaangażowania pracowników. Wprowadzenie modyfikacji w obu kategoriach może spowodować poprawę jakości produktów, wzrost wydajności systemów wytwórczych i efektywności całego przedsiębiorstwa (Griffin, 2017). Istnieje pięć bezpośrednich sposobów zwiększania efektywności produkcji (Pyszka, 2015):

1. dostęp do potrzebnych zasobów niezbędnych do realizacji założonych celów produkcyjnych,
2. efektywne wykorzystanie tych zasobów uwzględniające wprowadzania oszczędności, i eliminacji marnotrawstwa,
3. usystematyzowanie i usprawnienie pracy na stanowiskach technologicznych,
4. wprowadzenie do systemu produkcyjnego automatyzacji i informatyzacji,
5. tworzenie zespołów w celu lepszego realizowania założonych celów.

Uzyskanie wysokiej produktywności jest wyzwaniem dla producentów, zwłaszcza w przypadku produkcji wieloasortymentowej. Istotne znaczenie mają tu działania w zakresie skracania czasów przebrożeń maszyn, które traktowane są jako marnotrawstwo tego ważnego zasobu (Chabowski i Rewers, 2015).

Efektywność ocenia na ile skuteczny jest proces produkcyjny w przedsiębiorstwie w odniesieniu do najwyższej jakości wyrobów lub maksymalnej wielkości produkcji, którą można osiągnąć przy danym poziomie nakładów i określonej technologii (Yu, 2016). Według Schmidt i Finnigan (1992) efektywność definiuje się jako wytwarzanie wymaganej produkcji przy założonym koszcie minimalnym, mierzonym stosunkiem ilości zasobów zużytych do wielkości tej produkcji. Jest ona zasadniczo miarą doskonałości operacyjnej w procesie wykorzystania zasobów i dotyczy przede wszystkim ograniczenia kosztów i radzenia sobie z dystrybucją zasobów między różnymi potrzebami w ramach przedsiębiorstwa. Nie jest to miara sukcesu rynkowego, niemniej jednak sprzyja jego osiągnięciu (Achabal i in., 1984).

Jeśli przedsiębiorstwo nie może poprawić zużycia zasobów lub ilości i jakości określonych produktów bez pogorszenia zużycia innych zasobów lub ilości wytwarzanych dobrych jakościowo innych produktów, jest efektywne. Efektywność można jedynie zwiększyć przez zmniejszenie zużycia zasobów potrzebnych do produkcji przy jednoczesnym utrzymaniu stałego poziomu wytwarzania, maksymalizację wydajności przy zachowaniu stałych nakładów i końcowej jakości lub połączenie tych dwóch działań (Radam i in., 2010). Aby odnieść sukces

na rynku, firma musi połączyć osiągnięcie wysokich wartości wskaźników techniczno-ekonomicznych oraz masowy charakter produkcji z oczekiwaniami klientów dotyczącymi personalizacji wyrobów.

Wyniki oceny wskaźników techniczno-ekonomicznych linii produkcyjnej mogą znacząco przyczynić się do wprowadzenia lub odrzucenia koncepcji masowej kastomizacji. W różnych branżach istnieją trzy różne typy linii produkcyjnych: zautomatyzowane linie produkcyjne, półautomatyczne linie produkcyjne i ręczne linie produkcyjne. Złożoność wyrobów, wielkość produkcji, podatność technologii na mechanizację i automatyzację i koszt wytworzenia wpływają na sposób projektowania linii produkcyjnej (Subramaniam i in., 2008). Efektywność procesu technologicznego jest jednym z najważniejszych wskaźników oceniających realizację zadań produkcyjnych, która jest podstawowym i niezbędnym składnikami działalności każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Biorąc to pod uwagę, można przyjąć, że efektywność technologiczna zależy od wielu parametrów technologicznych, a także od struktury samego procesu technologicznego ze szczególnym zwróceniem uwagi na wyodrębnienie jego etapów (Krupińska i in., 2007).

Gdy, przez wdrożenie masowej kastomizacji, uzyskane wyniki dotyczące efektywności procesu technologicznego oraz wskaźników techniczno-ekonomicznych linii produkcyjnej są zadowalające, przedsiębiorstwo może wprowadzić nowy produkt na rynek bez ponoszenia strat. Dlatego przed w fazie przygotowania inwestycji dotyczącej uruchomienia nowej linii produkcyjnej należy przeprowadzić szeroko zakrojone testy wydajnościowe.

Zgodnie z przyjętą koncepcją, masowa personalizacja umożliwia przedsiębiorstwom osiągnięcie przewagi konkurencyjnej na rynku przez wykorzystanie strategii różnicowania produktów przy zachowaniu efektywności kosztowej. Cavusoglu i in. (2007) wyjaśnili, że jeśli koszt dostosowania systemów produkcyjnych do masowej kastomizacji nie jest wystarczająco niski, to przedsiębiorstwa powinny dążyć do oferowania niestandardowych wyrobów zamiast jednego seryjnego produktu. Autorzy ci podkreślają również, że wprowadzenie elastyczności wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, zwanych kosztem uzyskania elastyczności operacyjnej. Co więcej, wprowadzenie masowej produkcji wyrobów dostosowanych do potrzeb klientów nie może zasadniczo przebiegać bez pewnej utraty wydajności. Nawet w coraz bardziej zindywidualizowanej gospodarce wiele produktów jest w rzeczywistości bardziej charakter masowy niż jest całkowicie wykonanych na zamówienie. Przykładem może być produkt meblarski, w którym konsument może wybrać gatunek drewna, a także rodzaj wykończenia, które ma zostać użyte w konkretnym projekcie. Producenci mebli gotowych do

montażu odczuwają coraz większą presję ze strony klientów, którzy oczekują produktów dopasowanych do ich konkretnych potrzeb, takich jak system do projektowania spersonalizowanych ergonomicznych mebli (krzesła, łóżka, stoły, wnętrza kuchenne itp.) z wykorzystaniem konkretnych wymiarów antropometrycznych lub innych specyficznych potrzeb. Opierając się na badaniu empirycznym, Blecker and Friedrich (2006) stwierdzili, że masowa kastomizacja miała znaczący wpływ na zwiększenie kosztów ze względu na złożoność produkcji, która wpływa na poziom kosztów ogólnych związanych z urozmaiconym wyposażeniem produkcyjnym. Duże znaczenie efektywności, oprócz różnorodności produktów, mają specyficzne cechy obrabianego materiału, takiego jak drewno lub płyty drewnopochodne, ponieważ obróbka materiałów drzewnych jest dość skomplikowana, co może niekiedy ograniczać zakres personalizacji wyrobów. Wraz ze wzrostem różnorodności produktów zwiększa się poziom złożoności planowania z większą liczbą alternatywnych marszrut technologicznych, większą ilością zapasów w toku produkcji czy problemami z równoważeniem wydajności linii montażowej dla różnych typów wyrobów. W branży produkcji drzwi drewnianych ograniczenia w przeprowadzaniu masowej kastomizacji wynikają również z norm technicznych określających wymagania, na przykład w zakresie wytrzymałości, odporności na włamania, izolacyjności akustycznej lub innych czynników, ze szczególnym uwzględnieniem drzwi do budynków użyteczności publicznej.

Innowacje w procesach produkcyjnych powinny koniecznie wpływać na redukcję kosztów i przez to cen wyrobów oferowanych klientom, zmniejszając przy tym ilość powstających odpadów bez dodatkowego zwiększania zapotrzebowania zasobów. Odwołując się do idei zrównoważonej gospodarki o obiegu zamkniętym, można stwierdzić, że recykling i ponowne wykorzystanie odpadów i pozostałości produkcyjnych może znacznie zmniejszyć zużycie energii i ilość odpadów. W nowoczesnych liniach produkcyjnych osiągnięcie zrównoważonej ekologicznie produkcji przez oszczędność energii i redukcję emisji jest możliwe dzięki połączeniu dążenia do automatyzacji większości operacji produkcyjnych z pozyskiwaniem surowców źródeł nieobciążających nadmiernie środowiska.

Dla każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego awarie maszyn i związane z tym przestoje są źródłem niepotrzebnych kosztów. Niezawodność wyposażenia wpływa więc na produktywność i bezpośrednio na wynik finansowy przedsiębiorstwa. Coraz więcej przedsiębiorstw dostrzega potrzebę ciągłej kontroli efektywności wykorzystania maszyn, co pozwala na identyfikację marnotrawstwa w realizowanych procesach technologicznych oraz istniejących rezerw produkcyjnych (Antosz i Cieciska, 2011). Stanem docelowym, do którego

powinny dążyć wszystkie przedsiębiorstwa, jest maksymalne wykorzystanie wyposażenia produkcyjnego, czyli realizacji programu produkcyjnego przy nominalnej wydajności urządzeń i maszyn technologicznych (Furman, 2014). Opierając się na tych założeniach, modernizacja i rozbudowa zakładu produkcji drzwi PORTA w Kartoszynie wykorzystywać będzie innowacyjność, tworząc nowy, dostosowany do potrzeb klienta system sterowania procesem technologicznym. Jest to w pełni zautomatyzowany, inteligentny zespół modułów maszynowych, który zapewnia najwyższą jakość i wydajność produkcji. Zaprojektowana z myślą o masowej kastomizacji przy zachowaniu wymaganej minimalnej wielkości partii produkcyjnej (jedno skrzydło drzwiowe). Wdrożony system produkcyjny spełnia najwyższe wymagania techniczne.

Potrzeba usprawnień w przedsiębiorstwach istnieje od dawna, jednak na dzisiejszym szybko zmieniającym się rynku, charakteryzującym się dużą dynamiką i koniecznością elastycznego dostosowywania produkcji do potrzeb wyrażanych przez klientów, niezbędne staje się szybkie i skuteczne wdrożenie usprawnień. Istnieje wiele narzędzi i wskaźników do analizy możliwości usprawnienia procesów produkcyjnych w zakładzie produkcyjnym, w tym TQM (kompleksowe zarządzanie jakością), *Lean Management*, *Six Sigma* oraz system zarządzania jakością (QMS) zgodnie z normami ISO. Istotnym wsparciem w doskonaleniu procesów jest zapewnienie odpowiednich zasobów ludzkich do efektywnego zarządzania i doskonalenia procesów. Osiągnięcie wysokiego poziomu jakości produktu wymaga ciągłego monitorowania, analizy i doskonalenia procesu. Ciągły monitoring procesu produkcyjnego polega na rejestrowaniu i gromadzeniu dokładnych danych na temat jego przebiegu. Ten rodzaj działalności jest ważną częścią strategii zarządzania przedsiębiorstwem. W tym celu możliwe jest wykorzystanie metod manualnych (tj. wypełnianie odpowiednich kart stanowiskowych lub formularzy danych), ale przede wszystkim metod elektronicznych (tj. korzystanie z MES – systemów realizacji produkcji) (Corredera i in., 2016). Jednak w celu analizy procesu może być trudno skoordynować wykorzystanie pomiarów o różnych specyfikacjach i jednocześnie z wielu stacji roboczych. O wiele bardziej praktyczne jest stosowanie wskaźników numerycznych o charakterze syntetycznym, które łączą dane z różnych źródeł. W tym celu w systemach produkcyjnych stosuje się tzw. kluczowe techniczno-ekonomiczne wskaźniki produktywności (KPI). Wskaźniki KPI definiuje się jako zestaw miar stosowanych w celu ułatwienia oceny wydajności systemu produkcyjnego z perspektywy produktywności, jakości i utrzymania ruchu (Borsos i in., 2016; Cheng, 2011; Dolny i Strumiński, 1993).

Badania wskazują, że w całym okresie użytkowania takiego produktu jak drzwi, etap produkcji jest najbardziej istotny z punktu widzenia oddziaływania na środowisko (Deng i in., 2023). Dlatego optymalizacja produkcji ma bardzo duże znaczenie również z tego powodu. Ze względu na szeroką zmienność konstrukcji i wykończenia takich produktów jak skrzydła drzwiowe istnieje wiele czynników wpływających na wydajność urządzeń produkcyjnych. Identyfikacja i ilościowe określenie wpływu różnych czynników na osiąganą efektywność ma kluczowe znaczenie dla planowania i sterowania liniami produkcyjnymi, zwłaszcza zautomatyzowanymi (Kwidziński i in., 2022). Największy wpływ na efektywność produkcji skrzydeł drzwiowych mają operacje technologiczne związane z posuwem liniowym i wymagające powtarzalnego przejścia związane z koniecznością obróbki trzech ważnych z użytkowego punktu widzenia powierzchni produktu. W zautomatyzowanej linii produkcyjnej skrzydeł drzwiowych przykładem takiego rozwiązania jest linia technologiczna do obróbki wąskich powierzchni. Sterowanie pracą takich linii jest sparametryzowane, a praca poszczególnych modułów obróbczych linii jest uzależniona od parametrów obrabianych produktów. Do najważniejszych parametrów skrzydeł drzwiowych należą: ich wymiary, obecność lub brak przylgi oraz kolor wykończenia. Wszystkie te parametry mogą stanowić czynniki, które w różnym stopniu wpływają na wydajność linii technologicznej. W związku z tym konieczne jest określenie ich indywidualnego wpływu, aby móc bieżąco korygować przebieg produkcji w celu ograniczenia zużycia zasobów, głównie czasu.

Podjęcie się uruchomienia, modernizacji i rozbudowy technologicznej zakupionego, nieczynnego od ośmiu lat zakładu stolarki drzwiowej w Krotoszynie nie mogłoby być skuteczne bez z wiedzy zdobytej podczas realizacji projektu badawczo-rozwojowego TechnoPORTA w przedsiębiorstwie w latach 2016-2020. Znajdująca się w zakładzie w Bolszewie linia technologiczna TechnoPORTA to w pełni zautomatyzowana inteligentna linia technologiczna zapewniająca najwyższą jakość i wydajność produkcji. Zaprojektowana i uruchomiona została z myślą o masowej kastomizacji z wymaganą minimalną wielkością partii produkcyjnej wynoszącą jedno skrzydło drzwiowe, dzięki temu spełnia najwyższe wymagania techniczne (Pędzik i in., 2020). Linia ta została opracowana z wykorzystaniem zaawansowanych technologicznie maszyn i urządzeń, które umożliwiają największą możliwą automatyzację pracy na każdym etapie obróbki, w tym pozycjonowania i podawania materiału oraz przezbrajania maszyn (Kwidziński i in., 2021b). Parametryczna kontrola operacyjna jest zapewniona przez zautomatyzowane systemy pozwalające na połączenie poziomego centralnego planowania (systemy ERP itp.). Takie rozwiązanie gwarantuje powtarzalną wysoką jakość

obrabianych elementów, co w konsekwencji przekłada się na wysoką jakość wyrobów gotowych. Linia produkcyjna składa się zasadniczo z 5 modułów technologicznych: sekcja do formatowania, frezowania i oklejania krawędzi, sekcja postformingu, sekcja CNC, wiercenie i frezowanie gniazd zawiasów i zamków, sekcja CNC, indywidualna sekcja frezowania i montażu.

Rozwój przedsiębiorstwa PORTA spowodował potrzebę opracowania modelu projektowego poziomu wydajności linii technologicznych oraz określenie możliwego wpływu czynników organizacyjnych i technologicznych charakteryzujących pracę linii produkcyjnych, które mogą być zdefiniowane i określone przez analizę czasowych danych uzyskanych z systemu informatycznego sterującego pracą linii. Opracowany model stanowić będzie narzędzie umożliwiające dostosowanie istniejących procesów produkcyjnych do wymagań związanych z produkcją drzwi drewnianych o określonych cechach użytkowych. Będzie to możliwe dzięki sterowaniu rzeczywistą wydajnością urządzeń produkcyjnych w zależności od parametrów technicznych drzwi, dzięki czemu ich założone wydajności będą osiągnęte niezależnie od stopnia zmienności rodzajowej skrzydeł i ościeżnic.

Aby móc opracować taki model, postanowiono przeprowadzić cykl badawczo-rozwojowy, w którego efekcie będzie możliwe usprawnianie istniejącej technologii produkcji drewnianych skrzydeł drzwiowych bądź też opracowanie wytycznych do wprowadzenia niezbędnych innowacji. Dzięki temu planowane jest uzyskanie możliwości ustalenia kluczowych parametrów procesu technologicznego i wskaźników charakteryzujących jego wydajność dla partii kastomizowanych zleceń produkcyjnych. Mając na względzie wymagania rynkowe, w zaplanowano i przeprowadzono badania nad określeniem wpływu wytypowanych czynników determinujących osiągnięcie zakładanej wydajności i zależności między nimi a kastomizacją produktów, aby w przyszłości uzyskać potencjał do wdrożenia koniecznych zmian i adaptacji technologii do szerokiego asortymentu nowoczesnych produktów stolarki otworowej w zakresie drzwi drewnianych.

3. Cel pracy

Przedmiotem pracy doktorskiej było określenie najważniejszych czynników oddziałujących na wydajność linii technologicznych do produkcji drzwi drewnianych. Prace badawcze obejmowały sterowanie wartościami tych czynników dla osiągnięcia założonej wydajności oraz ich praktyczną weryfikację w fazie rozruchu technologicznego i próbnej eksploatacji modernizowanej linii technologicznej w zakładzie produkcyjnym przedsiębiorstwa PORTA w miejscowości Kartoszyno przy jednoczesnej poprawie wartości innych wskaźników techniczno-ekonomicznych związanych z jakością wyrobów, stopniem automatyzacji procesów czy zużyciem energii w procesie produkcyjnym. Dzięki tym działaniom wypracowano trwały system sterowania pracą linii technologicznych, dzięki któremu ich założone wydajności są osiąmane niezależnie od stopnia zmienności rodzajowej skrzydeł drzwi drewnianych. Postawiono następującą hipotezę badawczą: kastomizacja produktów ma wpływ na parametry operacji technologicznych w produkcji drewnianej stolarki drzwiowej, natomiast zmienność parametrów rzutuje na wydajność urządzeń produkcyjnych, a przy znajomości tej zmienności można wydajność skutecznie planować i kontrolować z wykorzystaniem systemów informatycznych sterujących produkcją.

Celem poznawczym podjętych badań było zdobycie nowej wiedzy i dostarczenie know-how w zakresie określenia mierników wydajności procesu przy produkcji kastomizowanych wyrobów drzwi drewnianych. W oparciu o te wskaźniki opracowane zostały wytyczne technologiczne, dzięki którym możliwe będzie dostosowanie procesu przez sterowanie działaniem i wykorzystaniem kluczowych urządzeń produkcyjnych w zakładzie wytwarzającym drzwi drewniane. Dodatkowym celem było opracowanie graficznego modelu efektywnej technologii produkcji dla osiągnięcia stałej wysokiej wydajności.

Celem użytkowym pracy było wdrożenie zaprojektowanych systemów i rozwiązań dla osiągnięcia projektowego poziomu wydajności linii technologicznych do produkcji drzwi drewnianych w uruchamianym, modernizowanym i rozbudowywanym zakładzie w Kartoszynie.

4. Założenia prac badawczych

W ramach kolejnych etapów prac badawczo-wdrożeniowych wykonane zostały działania polegające na:

- określeniu sposobu doboru elementów składowych linii technologicznych i ich kluczowych parametrów z zakresie obróbki. Podczas tworzenia wstępnych projektów linii technologicznej uwzględnione zostało ich dostosowanie do obróbki materiałów drzewnych standardowo wykorzystywanych w produkcji oraz nowych materiałów konstrukcyjnych,
- komputerowym modelowaniu wyrobów w celu wykonania symulacji pozwalających ocenić ich właściwości i kluczowe parametry linii w zależności od przyjętych rozwiązań i parametrów technicznych wyrobów rzeczywistych,
- analizie efektywności poszczególnych etapów wytwarzania drzwi o wymiarach standardowych i o powiększonych gabarytach z uwzględnieniem ich indywidualnej obróbki,
- uzyskaniu wiedzy o działaniu inteligentnych linii produkcyjnych i maksymalizacji ich wykorzystania aż do uzyskania założonego poziomu wydajności, stopnia zautomatyzowania, efektywności systemu sterowania, elastyczności realizacji zleceń małoseryjnych i jednostkowego zużycia energii.

5. Wyjściowy stan technologii w Zakładzie PORTA o/Kartoszyne

W 2023 roku (dokładnie 24.04.2023 r.) firma PORTA nabyła od syndyka masy upadłościowej firmy Door-Pol zakład produkcji drzwi drewnianych w Kartoszyne (ryc. 1.). Zakład nie funkcjonował od ośmiu lat, ponieważ produkcja została wstrzymana w 2015 roku z uwagi na złą sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa i powstałe zobowiązania finansowe wobec wierzycieli. Obiekt ma bardzo ciekawą historię. Powstał w 2010 roku na bazie hal i maszyn, które polski inwestor nabył z likwidowanej firmy niemieckiej Hochwald Türenwerk, a następnie przetransportował do Polski. Maszyny renomowanych producentów takich m.in. jak Bürkle, HOMAG, Kraft, Bargstedt zaprojektowano i wykonano w latach 1996-2001. Ówczesny poziom automatyki i sterowania parametrycznego znacznie odbiegał od obecnie wymaganych potrzeb producentów stolarki otworowej. Zmieniły się też zasadniczo potrzeby klienta. Wymagana stała się szeroka personalizacja produktów, a także konieczność oferowania masowych produktów będących odpowiedzią na szybko zmieniające się trendy wyposażania wnętrz czy zmiany wymogów norm budowlanych. Niestety, zakupiony park maszynowy pochodzący z końca XX wieku nie był w stanie zapewnić polskiemu inwestorowi oczekiwanej efektywnej elastyczności produkcji i korzystnego kosztu wytworzenia drewnianej stolarki drzwiowej w krótkich seriach produkcyjnych. W środowisku produkcyjnym obejmującym wytwarzanie krótkich serii produkcyjnych napływ zleceń jest intensywny, a ich priorytety mogą podlegać nagłym zmianom. W skutecznej realizacji krótkich serii produkcyjnych każda minuta się liczy – opóźnienie spowodowane brakiem komponentu, awarią maszyny czy błędem planowania może zatrzymać całą linię technologiczną, generując straty ekonomiczne. Krótkie serie oznaczają produkcję niewielkiej liczby powtarzalnych wyrobów wymuszone przez częste zmiany zamawianego przez klientów asortymentu, co z kolei powoduje konieczność regularnego przezbrajania maszyn. To czasochłonny proces, który zmniejsza efektywność procesu produkcyjnego, jeśli nie jest dobrze zaplanowany.



Ryc. 1. Widok zakładu Porta Kartoszyno
(opracowanie własne z wykorzystaniem zdjęć z maps.google.com)

Nabyte formatyzerko-oklejarki firmy HOMAG przystosowane zostały pierwotnie do wysokowydajnej obróbki drewnianych skrzydeł drzwiowych o powtarzalnej konstrukcji płytowej. Były to skrzydła w wysokim stopniu podobne pod względem kształtu przyłgi, grubości gabarytowej i kolorystyki obrzeża na wąskich powierzchniach. Nominalna wydajność sekcji technologicznej firmy HOMAG wynosiła wg otrzymanych wraz z zakupem zakładu dokumentów producenta 7 szt./min. Niestety zapewnienie w planie produkcyjnym dużej serii zbliżonych konstrukcyjnie i kolorystycznie produktów już z początkiem roku 2011 (rok po uruchomieniu inwestycji w Polsce) okazało się trudnym dla inwestora wyzwaniem. Dodatkowo na rynku zaczęły być coraz bardziej poszukiwane przez klientów skrzydła o konstrukcji ramowo-płycinowej. Nastąpiło duże zmniejszenie udziału skrzydeł płytowych w łącznym koszyku zakupowym drzwi wewnętrznych i wejściowych do mieszkań. Inwestor

współpracował z dużymi odbiorcami z sieci marketów budowlanych, jednak nie wystarczyło to na stałe pozyskiwanie zamówień o odpowiednio dużej skali podobnych cech wyrobów do efektywnej realizacji planów produkcyjnych. Skutkowało to zmniejszeniem założonej wydajności systemów produkcyjnych zakładu i przekładało się bezpośrednio negatywnie na wynik finansowy spółki.

Pierwsze testy próbne przeprowadzone przez zespół inżynierów PORTA w 2023 roku na zastanym parku maszynowym w zakładzie Kartoszyno wykazały, że rzeczywista wydajność linii HOMAG dla produkcji wyrobów ze zróżnicowanych grup asortymentowo-wymiarowych wynosi ok. 1,15 szt./min. Podobnie sytuacja wyglądała z linią montażu ram skrzydła i prasowania firmy Bürkle. Niemiecki producent linii technologicznej HOMAG dwadzieścia pięć lat temu zapewniał wysoką wydajność do 4 szt./min, jednak konstruktorzy przewidzieli tylko kilka podstawowych rodzajów wypełnienia ramy skrzydła i podobne grubości całej konstrukcji. Dodatkowo system parametryzacji pojedynczego produktu, personalizowanego spoza grupy standardów wymagał ręcznego wprowadzania danych przez operatora. Taka sytuacja powodowała spadek wydajności nawet poniżej 1 szt./min.

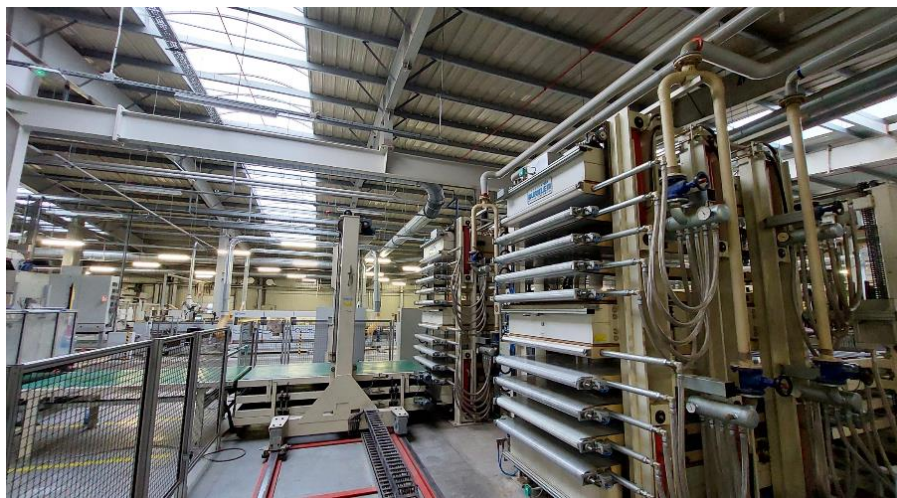
Zarząd firmy PORTA w momencie zakupu nieczynnego zakładu miał świadomość, że zespołowi inżynierów przyjdzie się zmierzyć z ambitnym wyzwaniem doprowadzenia ponaddwudziestoletniego letniego parku maszynowego do wymogów produkcji skrzydeł kastomizowanych. Dokonano szerokiej analizy technologiczno-inżynierskiej, przez pierwsze pół roku trwał żmudny proces prób uruchomieniowych maszyn, które w nieogrzewanych halach stały niekonserwowane przez wiele lat. Jak się okazało sprzyjający temperaturowo i wilgotnościowo lokalny mikroklimat przylegającego jeziora Żarnowieckiego i działającej tam elektrowni szczytowo-pompowej pozwolił uniknąć większej skali zniszczeń elektroniki i pozostałych elementów automatyki. W tym czasie działy technologii, inżynierii produkcji, utrzymania ruchu i projektów inwestycyjnych przygotowywały koncepcje rozbudowy i modernizacji dla całego zakładu. Rozwiązaniem dla uzyskania efektywności zakładu jest organizacja sekwencji zleceń tak, aby zminimalizować czas i koszty przebrojeń, np. grupowanie produktów o podobnych cechach. Bez tego produkcja traci płynność, a maszyny są niedostatecznie wykorzystane, co w krótkich seriach znacząco negatywnie wpływa na rentowność. Przy takich seriach łatwo o sytuacje, w których maszyny pracują poniżej możliwości (tzw. puste przebiegi) lub zatrzymują się z powodu złego planowania. System musi tak rozkładać zadania, aby maksymalizować obciążenie zasobów maszynowych, jednocześnie unikając przeciążeń czy kolizji w harmonogramie. Polega to na znalezieniu równowagi między

intensywnym wykorzystaniem mocy produkcyjnej a elastycznością wobec nagłych zmian, co wymaga zaawansowanej analizy i szybkich decyzji planistycznych. Krótkie serie produkcyjne nie pozostawiają czasu na ręczne przekazywanie danych między działami czy systemami. *Advanced Planning and Scheduling* (APS) musi być płynnie zintegrowany z MES (wykonanie produkcji) oraz ERP (zarządzanie zasobami) w celu zapewnienia szybkości przekazywania i przetwarzania danych produkcyjnych. Wyzwanie to utrzymanie automatycznej, bezbłędnej wymiany danych w czasie rzeczywistym w całym systemie produkcyjnym, aby uniknąć opóźnień, dublowania pracy czy pomyłek. Tego rodzaju rozwiązania postanowiono wdrożyć w modernizacji zakładu PORTA w Kartoszynie dla osiągnięcia koncepcji produkcji zgodnej z duchem ideologii przemysłu 4.0.

5.1. Obrabiarki i technologia

W zakupionym zakładzie istnieją maszyny z lat 1997- 2001 w skład których wchodzi:

- linia do zbijania ram i sklejanie skrzydeł Bürkle (ryc. 2.),
- linia do formatowania i oklejania wąskich powierzchni skrzydeł drzwiowych HOMAG (2 sekcje) (ryc. 3.),
- linia do pakowania gotowych wyrobów GRASO (ryc. 4.).



Ryc. 2. Linia do zbijania i sklejanie ram Bürkle



Ryc. 3. Linia do obróbki skrzydeł drzwiowych HOMAG (dwie sekcje)



Ryc. 4. Linia do pakowania GRASO

Produkcja elementów (ramiaków z tarcicy iglastej lub MDF) oraz rozkrój materiałów drewnianych oraz drewnopochodnych odbywa się obecnie w zakładzie PORTA w Bolszewie w dziale produkcji półwyrobów i komponentów niezbędnych do wyprodukowania skrzydła drzwiowego. Następnie wyprodukowane półfabrykaty trafiają transportem samochodowym do magazynu surowców w modernizowanym zakładzie PORTA w Kartoszynie oddalonym o ok. 20 km. Dział przygotowania produkcji skrzydeł drzwiowych kompletuje materiały pod względem zapotrzebowania wynikającego z planu produkcyjnego. Skompletowane materiały z magazynu surowców i magazynu materiałów technicznych są wydawane na poszczególne linie technologiczne w zależności od potrzeb i przebiegu realizacji planów produkcyjnych. Kolejnym etapem produkcji jest przygotowanie skrzydła drzwiowego. Produkcja skrzydła odbywa się na automatycznych prasach do sklejanie ram drzwiowych z wypełnieniem i płytami okładzinowymi. Wykonane skrzydła na prasach są sezonowane i buforowane na

zautomatyzowanych przenośnikach rolkowych. Z magazynu buforowego przekazywane są przez system automatycznych przenośników na linię HOMAG. Proces obróbki na tej linii rozpoczyna się od bazowania i formatowania wstępnego, następnie frezowane są wszystkie wąskie powierzchnie skrzydła, zaczynając od dolnej. Następnym etapem produkcji skrzydeł drzwiowych jest oklejanie wąskich powierzchni na zautomatyzowanych sekcjach linii produkcyjnej. W ramach tej technologii możliwe jest wykończenie wąskich powierzchni obrzeżem papierowym, ABS (Poliakrylonitryl-Butadien-Styren) i PP (Poli-Propylen) w skrzydłach przylgowych i bezprzylgowych. Po etapie oklejania wąskich powierzchni skrzydeł są one kierowane do stanowisk do wycinania otworów pod przeszklenia bądź frezowania wzorów na powierzchniach w zależności od modelu lub zamówienia klienta. Operacje te są wykonywane na frezarce CNC. Maszyna ta wykonuje wszystkie frezowania i wiercenia nietypowe oraz podcięcia i otwory wentylacyjne. Skrzydła drzwiowe, które są wyposażone w podstawowe okucia są poddawane frezowaniu i wierceniu gniazd i otworów pod zamki i zawiasy, a następnie automatycznemu okuwaniu na kolejnych zautomatyzowanych stanowiskach produkcyjnych. W dziale montażu odbywa się okuwanie skrzydeł. Skrzydła drzwiowe są tam także wyposażane w zamki i zawiasy w zależności od konstrukcji i modelu skrzydła drzwiowego. Ostatnim etapem procesu jest kontrola jakości wyrobów.

5.2. Systemy sterowania produkcją

Zastany w 2023 roku system sterowania produkcją w Kartoszynie ograniczał się do autonomicznego sterowania każdą z trzech linii produkcyjnych osobno. Uniemożliwiało to sterowanie wydajnością produkcji w zależności o zmiennych parametrów zamówień. W ramach prac badawczych wykonano testy wstępne, testy wielkoseryjne oraz wdrożenie nowatorskiego systemu sterowania maszynami produkcyjnymi o nazwie Translator, który umożliwia cyfryzację procesu produkcji drzwi w zakładzie PORTA w Kartoszynie. Innowacyjny system jest oparty o projekt własny PORTA, który integruje wszystkie maszyny niezbędne do procesu produkcji drzwi w zakładzie (istniejące i nowo kupowane), będzie też współpracował z istniejącym systemem ERP firmy PORTA.

System Translator to aplikacja agregująca informacje dotyczące wyrobu z systemów informatycznych PORTA i przetwarzająca je do postaci standardu komunikacji opracowanego dla poszczególnych maszyn produkcyjnych. Główną funkcją systemu jest tłumaczenie informacji z języka, jakim posługuje się PORTA w swoich systemach informatycznych, na

język zrozumiały przez maszyny produkcyjne. System został od strony architektury programistycznej zaprojektowany w taki sposób, aby mógł tłumaczyć informację dla potencjalnie każdej maszyny produkcyjnej, która używa parametrycznego sposobu komunikacji. Administratorzy aplikacji definiują szczegółowo, jakimi parametrami posługuje się każda maszyna w linii. Technolodzy tworzą reguły z dokładnością do jednego lub określonej grupy produktów stanowiące bazę do zmiany parametrów z wartości odpowiadających nomenklaturze PORTA na wartości zrozumiałe dla mechanizmów sterujących maszynami wchodzącymi w skład linii produkcyjnej. Każdy z modułów maszynowych linii ma własną bazę danych, do której z wyprzedzeniem przesyłane są dane planu produkcyjnego, które przeszły proces translacji. Każda operacja przesyłana do maszyny opisana jest kolejnością wykonania oraz unikalnym identyfikatorem produktu. Ten sam identyfikator jest zakodowany w formie kodu QR na etykiecie produktowej, która jest umieszczona na półwyrobie będącym materiałem dla linii. Kiedy półwyrób zostanie wprowadzony do maszyny, kod QR zostaje odczytany, a linia zgodnie z informacjami opisanymi identyfikatorem produktu odnajduje zakres operacji, jaki należy wykonać na danym półwyrobie. W celu wdrożenia systemu niezbędne było przygotowanie infrastruktury sieciowej i serwerowej, a także środowiska programistycznego, umożliwiającego zakodowanie języka sterowania dla maszyn produkcyjnych w zakładzie w Kartoszynie. Wymagane jest też rozpoczęte już uzupełnienie parku maszynowego o maszyny i linie produkcyjne niezbędne do prowadzenia pełnego procesu produkcji.

Z racji osiągniętej pełnej automatyzacji procesu sterowanego z wykorzystaniem danych zawartych w bazach modyfikujących dane wejściowe, maszyny mogą w sposób automatyczny przezbierać się w czasie pomiędzy obrabianymi przedmiotami. Z uwagi na zastosowanie bazy danych w sterowaniu całą linią, ten zbiór danych można również wykorzystać w procesie raportowania produkcji. Każde obrobione skrzydło drzwiowe jest rejestrowane w bazie danych. Dalej informacje te są importowane do systemu ERP celem ewidencji przebiegu i realizacji etapów produkcyjnych. Dodatkowo w celu usprawnienia procesu automatyzacji znakowania i paletyzowania wyrobów gotowych na potrzeby magazynu centralnego firmy PORTA w zakładzie w Kartoszynie powstała linia technologiczna, na której zainstalowano automat do znakowania wyrobów. Gotowe wyroby trafiają pod manipulator, który na podstawie zadanego programu sortuje je na palety. Tak przygotowane palety spełniają wymagania nowego magazynu centralnego PORTA w Nidzicy.

6. Modernizacja linii produkcyjnych w zakładzie PORTA Kartoszyno

6.1. Założenia wyjściowe

Jako wartość referencyjną uwzględniono wydajność linii technologicznej, którą można było zestawić z maszyn obecnymi w zakładzie w Kartoszynie w momencie jego zakupu (rok 2023). Na podstawie wydajności maszyn określono, że zdolności wytwórcze zakładu kształtują się na poziomie 1,15szt./min, przy czym otrzymywany produkt jest niekompletny (brak linii okuwającej, centrum CNC – frezarki przelotowej, urządzeń do pakowania i paletyzacji). Dlatego też, z punktu widzenia kompleksowości, proces nie kończy się powstaniem wyrobu gotowego.

Wdrożony w ramach doktoratu proces produkcji skrzydeł drzwiowych, dzięki wysokiemu poziomowi automatyzacji i cyfryzacji będzie w stanie pracować z maksymalną wydajnością do 4,0 szt./min. Wartość tę oszacowano na podstawie planowanej wydajności maszyn kupowanych w celu kompleksowego uzupełnienia linii technologicznej oraz cyfryzacji procesu produkcji, która wyeliminuje przestoje spowodowane nieskomunikowaniem wzajemnym maszyn oraz czasochłonne operacje ręczne. Przez zastosowanie odpowiedniego poziomu automatyzacji i cyfryzacji procesu linia będzie mogła ostatecznie osiągnąć wydajność wynoszącą do 7 szt./min w odniesieniu do wyrobów seryjnych, co potwierdzono testami przeprowadzonymi na pilotażowej linii HOMAG eksploatowanej w zakładzie firmy PORTA w Bolszewie.

Zaplanowane i wykonane badania przyczynią się do transformacji zakładu PORTA w Kartoszynie w kierunku koncepcji przemysłu 4.0. W zakładzie tym zintegrowane zostaną inteligentne maszyny i systemy operacyjne w celu osiągnięcia wysokiego poziomu wydajności. Zostanie to zrealizowane przez automatyzację maszyn, które będą funkcjonowały w zakładzie.

6.2. Zakres modernizacji

Zaplanowano i rozpoczęto zakup maszyn, które będą zautomatyzowane. Zasadniczo są to:

- moduły maszynowe do automatyzacji linii montażu zamków i zawiasów, pakowania i paletyzacji produktów z uwzględnieniem stref załadunku oraz rozładunku wykorzystujących portale przemysłowe oraz roboty do wprowadzania lub odbierania skrzydeł sztuka po sztuce (manipulatory przemysłowe do usprawnienia procesu podnoszenia, obracania, przenoszenia i pozycjonowania ładunków oraz uniwersalne

maszyny wielofunkcyjne – roboty przemysłowe, które zostaną wykorzystane przede wszystkim do automatyzacji procesów produkcyjnych i paletyzacji). Ponadto w celu przetransportowania skrzydeł z jednej stacji do kolejnej zostaną wykorzystanych wiele zautomatyzowanych przenośników rolkowych i taśmowych (wzdłużne, poprzeczne), a także obrotnic napędzanych silnikami elektrycznymi;

- obróbkowe centrum numeryczne pracujące w układzie przelotowym przeznaczone do rowkowania i obróbki szerokich powierzchni skrzydeł drzwiowych. Maszyna ta ma za zadanie sprostać wysokim wymaganiom produkcyjnym i wydajnościowym bez obniżania końcowej jakości produktu;
- linia technologiczna ze sterowanymi parametrycznie agregatami do frezowania gniazd zamków, zawiasów, która zostanie wyposażona w system czujników uszkodzenia narzędzia, co pozwoli zredukować ilość niepożądanych przerw oraz kontrolować stan narzędzi; dodatkowo maszyny te będą wyposażone w automatyczny system okuwania drzwi w zamki, zawiasy oraz narożniki ochronne;
- sterowany cyfrowo system manipulatorów i przenośników dla zapewnienia wysokowydajnego transportu międzystanowiskowego w produkcji stolarki drzwiowej, który umożliwi automatyczne przemieszczanie palet pomiędzy modułami linii technologicznej.

Zakup wymienionych maszyn umożliwi budowę kompletnej linii produkcyjnej do wytwarzania skrzydeł drzwiowych, gdzie w sposób automatyczny będą prowadzone operacje: klejenia drzwi, wykończania wąskich powierzchni oraz narożników skrzydeł drzwiowych, okuwania, znakowania i paletyzacji z zapewnieniem sterowania i raportowania. Proces produkcji będą wspomagały manipulatory (unoszące, obracające elementy, układające w stosie) umiejscowione na różnych etapach procesu – dzięki temu proces będzie zautomatyzowany od momentu załadunku materiałów do obróbki materiałów aż do automatycznego pakowania na wyjściu.

Oprócz wyposażenia maszynowego zaplanowano wdrożenie systemów cyfrowych, umożliwiających pełną automatyzację procesu produkcji. Zaliczają się do nich:

- system Translator, który będzie integrował wszystkie maszyny niezbędne do procesu produkcji drzwi w zakładzie (istniejące i nowo kupowane), będzie też współpracował z istniejącym systemem ERP. Dzięki temu systemowi możliwe będzie programowanie ścieżki produktu. System umożliwi realizowanie automatycznej komunikacji między

maszynami, automatycznie sterowanie nimi, możliwość zaprogramowania, a także raportowania produkcji;

- autorski system rejestrowania operacji REOP, który umożliwi rejestrowanie wykonanych operacji, zdarzeń na maszynach, generowanie raportów zawierających informacje zebrane z maszyn i ogólną komunikację pomiędzy stanowiskami.

Planowane prace i testy wykonywane są zgodne z najnowszymi koncepcjami systemów produkcyjnych ujętymi w idei przemysłu 4.0. Tylko takie rozwiązania dają możliwość uzyskiwania wysokiego poziomu wydajności ilościowej i materiałowej przy jednoczesnym ograniczaniu zużycia innych zasobów (np. energii). Przy czym możliwe jest również wtedy uzyskanie efektu masowej kustomizacji wyrobów, dzięki czemu przedsiębiorstwo PORTA utrzyma lub podwyższy swój poziom konkurencyjności na wymagającym rynku drewnianej stolarki otworowej.

Zweryfikowany podczas testów sposób zarządzania efektywnością produkcji odbywać się będzie w sposób ciągły na podstawie pozyskiwanych na bieżąco danych na temat stanu maszyn i urządzeń, bieżącym zużyciu i dostępności materiałów i obciążenia personelu, danych na temat zamówień oraz wynikających z przeprowadzanych analiz trendów rynkowych. Nieustanna analiza i przetwarzanie tych danych oraz równoległe wykorzystywanie ich z użyciem odpowiednio dobranych algorytmów jest fundamentem działania zakładu jako przykładu realizacji koncepcji *Smart Factory*. Autorski system parametryzacji i sterowania maszynami odpowiada na te potrzeby i wykazuje duży potencjał do dalszego rozwoju w środowiskach chmurowych i wykorzystaniu technologii IoT. Firma PORTA stawia bowiem na pełną integrację działań produkcyjnych z zagadnieniami związanymi z logistyką oraz prostotą zarządzania całym zakładem produkcyjnym. Warto podkreślić, że straty surowców i energii podczas realizacji procesów produkcyjnych w takiej fabryce są dużo mniejsze niż w tradycyjnych zakładach produkcyjnych, co zapewnia korzystne i przyszłościowe podejście do kwestii ochrony środowiska i jego zasobów.

6.2. Cele modernizacji

W przedsiębiorstwie PORTA zauważa się potrzebę opracowania modelu działalności inwestycyjnej i modernizacyjnej mającego na celu osiągnięcie zakładanych poziomów wydajności w produkcji drzwi drewnianych. Poszczególne elementy modelu obejmują:

- opracowanie szczegółowego projektu linii technologicznej umożliwiającej zautomatyzowaną produkcję kastomizowanych wyrobów o założonej wydajności docelowej,
- opracowanie modelu parametrycznego sterowania w postaci struktury połączeń sprzętowo-programowych, umożliwiających sterowanie procesem produkcji w czasie rzeczywistym, z wykorzystaniem zasad technologii zgodnych z koncepcją przemysłu 4.0,
- założenia budowy i optymalizacji linii technologicznych zautomatyzowanej produkcji kastomizowanych wyrobów,
- metodykę testów jakościowych i wydajnościowych obróbki wg kluczowych założeń: wydajności, automatyzacji, elastyczności oraz wykonania działań pozwalających na walidację technologii w warunkach zbliżonych do skali przemysłowej.

Ideą modelu jest zaawansowana automatyzacja procesów wytwarzania przy zachowaniu kastomizacji produktów końcowych, istotnie zwiększona wydajność, nowatorskie sterowanie procesem oraz zastosowanie nowych materiałów produkcyjnych, stanowiących alternatywę dla tradycyjnie wykorzystywanych materiałów drewnianych. Kluczowym działaniem będzie stworzenie modelu systemu bazodanowego parametryzującego kastomizowane cechy wyrobów w postaci modeli 3D, w tym BIM oraz certyfikacja produktów wytworzonych z jego wykorzystaniem. Jego efektem model wysokowydajnego i zautomatyzowanego systemu wytwarzania drzwi drewnianych zgodny z ideą przemysłu 4.0, co jest prekursorskim działaniem w branży drewnianej stolarki drzwiowej. Wdrożenie modelu stanowi innowację procesową w skali kraju. Rezultaty przedsięwzięcia zostaną wdrożone do działalności przedsiębiorstwa również w pozostałych zakładach produkcyjnych firmy PORTA. Planowane rozwiązania będą miały także uniwersalny charakter, co umożliwi też ich zastosowanie w dowolnej fabryce drzwi drewnianych.

W pracach badawczo-rozwojowych uwzględniono trzy kluczowe aspekty: konstrukcję drzwi, proces technologiczny i środowisko informatyczne inżynierii produkcji. Każdy z nich był analizowany pod kątem uzyskania projektowej wydajności i przygotowania wytycznych procesowych.

6.3. Przebieg prac modernizacyjnych

6.3.1. Koncepcje technologiczne modernizacji i założenia metodyczne oceny ich efektów

Proces modernizacji zakładu PORTA w Kartoszyźnie, ze względu na zakładane cele i efekty oraz zakres prac, podzielono na 3 etapy. Zasadniczo modernizacja prowadzona jest według zasad przemysłu 4.0 przy maksymalizacji wykorzystania istniejących urządzeń produkcyjnych oraz uzupełnienia wyposażenia technologicznego dla osiągnięcia kompleksowości procesu produkcyjnego, czyli uzyskania możliwości produkcji wyrobów w postaci skrzydeł drzwiowych w warunkach masowej kastomizacji. Istota wszystkich działań prowadzących do podejmowania decyzji modernizacyjnych była zgodna z ogólnie przyjętymi zasadami osiągania pożądanej wydajności i produktywności zasobów produkcyjnych w nowoczesnym przemyśle (Instytut Doskonalenia Produkcji, 2025).

Aby skutecznie zorganizować proces produkcyjny w modernizowanym zakładzie wykorzystano analizę wskaźników techniczno-ekonomicznych. Wskaźniki techniczno-ekonomiczne są to wielkości, które pozwalają mierzyć wydajność i efektywność maszyn oraz operatorów w szczególności i ogólnie całego procesu wytwarzania. Pojęcie wydajności odnosi się do rzeczywistego i teoretycznego tempa produkcji, czyli ilości wyrobów wytworzonych w danej jednostce czasu roboczego. Ocenia ona, jak szybko stanowisko robocze jest w stanie realizować produkcję bez względu na to, ile zasobów to tego celu zostaje zużytych. Duża wydajność może w efekcie korzystanie wpłynąć na zdolności produkcyjne firmy i pozwolić na szybszą realizację zamówień, ale bez kontroli kosztów w związku z ilością zużywanych na ten cel zasobów nie zawsze może przekładać się na wzrost zysku. Mimo dużej wydajności urządzeń produkcyjnych, ich efektywność może maleć ze względu na zwiększające się koszty zwiększania tempa produkcji, generowane przez szybko narastające również tempo zużywania zasobów.

Powszechnie wykorzystywanym wskaźnikiem do oceny efektywności produkcji jest wskaźnik OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), czyli wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia. Mierzy on, w jakim stopniu maszyny i urządzenia są wykorzystywane w odniesieniu do ich pełnego potencjału. OEE składa się z trzech głównych elementów (Hamrol 2018):

1. Dostępność (*Availability*), czyli wykorzystanie czasu roboczego, które stosunek czasu pracy stanowiska do planowanego czasu produkcji. Uwzględnia przestoje

spowodowane planowanymi przerwami, awariami, konserwacją. Można ją obliczyć wg wzoru:

$$\text{dostępność} = \frac{\text{czas produkcji} - \text{czas przestojów}}{\text{czas produkcji}}$$

2. Wykorzystanie (*Performance*), która ocenia, jak szybko maszyna aktualnie pracuje w stosunku do jej maksymalnej możliwej wydajności. Uwzględnia przebrojenia, mikroprzestoje i wolniejsze tempo pracy niż optymalne. Można ją obliczyć wg wzoru:

$$\text{wydajność} = \frac{\text{rzeczywista wydajność}}{\text{teoretyczna wydajność}}$$

3. Jakość (*Quality*), która definiuje, jaka duża część wytworzonej produkcji spełnia wymagania jakościowe. Uwzględnia ona liczbę wadliwych produktów, czyli braków produkcyjnych. Można ją obliczyć wg wzoru:

$$\text{jakość} = \frac{\text{liczba dobrych produktów}}{\text{całkowita liczba produktów}}$$

Wartość OEE oblicza się, mnożąc wartości poszczególnych wskaźników jednostkowych:

$$\text{OEE} = \text{dostępność} \cdot \text{wydajność} \cdot \text{jakość}$$

OEE można również w praktyczny sposób wyrazić w ujęciu procentowym i w ten sposób określić, w jakim stopniu zakład efektywnie wykorzystuje swoje wyposażenie produkcyjne.

Efektywność produkcji często ocenia się wg czterostopniowej skali:

- światowa klasa produkcji: 85% i więcej,
- dobra wartość OEE: 60-85%,
- średnia wartość OEE: 40-60%,
- mała wartość OEE: poniżej 40%.

Wartości te mogą się różnić w zależności od branży. Przykładowo:

- przemysł motoryzacyjny często dąży do uzyskania OEE powyżej 80%, ponieważ produkcja ma charakter masowy z dążeniem do eliminacji wszelakich błędów,
- branża spożywcza osiąga wartość OEE w granicach 60-75%, ponieważ procesy są tam bardziej złożone i charakterystyczną jej cechą jest występowanie przestojów potrzebnych dla utrzymania właściwej higieny linii produkcyjnych,

- branża farmaceutyczna wykazuje zwykle 70-85%, ponieważ czynnikiem ograniczającym jest przestrzeganie rygorystycznych norm jakościowych względem produktów.

Brak jest usystematyzowanych danych dotyczących wartości OEE dla przemysłu drzewnego, a w szczególności zakładów wytwarzających drewnianą stolarkę budowlaną. Na podstawie doświadczeń własnych przyjęto wartość OEE na poziomie 75% jako możliwą do osiągnięcia i korzystną dla efektów modernizacji zakładu w Kartoszyne. Jest to dobra wartość wskaźnika OEE.

Innymi wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi wziętymi pomocniczo pod uwagę podczas oceny efektów modernizacji zakładu są:

1. Wydajność modułów maszynowych, która określa możliwą do wykonania liczbę cykli roboczych w jednostce czasu roboczego. Wskaźnik ten mierzy, ile jednostek produkcji może wytworzyć określona maszyna w jednostce czasu. Jednostkami produkcji w zakładzie w Karoszyne są skrzydła drzwiowe. Wydajność wylicza się następująco:

$$\text{wydajność} = \frac{\text{liczba jednostek wyprodukowanych}}{\text{czas pracy maszyny}}$$

2. Wskaźniki wydajności pracy operatorów, które mierzą efektywność pracowników zatrudnionych do obsługi linii produkcyjnych. Zaplanowano wykorzystanie następujących wskaźników:

- liczba jednostek na operatora na godzinę;
- cykl pracy operatora (średni czas potrzebny do wykonania określonej operacji);
- wskaźnik wykorzystania czasu pracy (czyli procent efektywnego czasu pracy poświęconego na wykonywanie czynności w procesie produkcyjnym w stosunku do całkowitego czasu zmiany roboczej).

3. Poziom defektów i ilość odpadów produkcyjnych. Pierwszy z nich mierzy, jaka część produkcji nie spełnia wymagań jakościowych. Drugi określa wydajność materiałową.

$$\text{wskaźnik defektów} = \frac{\text{liczba wadliwych jednostek}}{\text{całkowita liczba jednostek}} \cdot 100\%$$

Monitorowanie wartości kluczowych wskaźników techniczno-ekonomicznych i podejmowanie działań korygujących to podstawa skutecznego wdrażania i późniejszego zarządzania produkcją. Przykłady interpretacji wyników monitorowania wskaźników

techniczno-ekonomicznych i sposoby ich poprawy, które zastosowano w pierwszym etapie modernizacji zakładu w Kartoszynie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przykłady działań w celu poprawy wartości wskaźników techniczno-ekonomicznych

Wskaźnik	Problem	Rozwiązanie
niepożądanie mała OEE – 45%	częste przestoje i niski wskaźnik jakości	wprowadzenie TPM (Total Productive Maintenance) i poprawa systemu kontroli jakości
duża wydajność, ale obniżona jakość wyrobów	szybkie tempo produkcji prowadzi do powstawania większej liczby braków	dostosowanie szybkości pracy modułów maszynowych i skuteczniejsze szkolenia ich operatorów
długie czasy przestojów i ograniczone wykorzystanie maszyn	częste awarie i przebrojenia	wdrożenie SMED (Single-Minute Exchange of Die) do szybszego przebrajania maszyn

Ważnym zadaniem przy osiągnięciu możliwie najlepszej efektywności procesu produkcyjnego jest unikanie i eliminowanie wąskich gardeł w produkcji. Wąskie gardła to takie składniki procesu produkcyjnego, które ograniczają ogólną wydajność całego systemu zakładu. Ich istnienie stwierdza się wtedy, gdy określony zasób (maszyna, stanowisko, pracownik) nie jest w stanie wykonać ilości pracy wymaganej do utrzymania płynności przebiegu całego procesu wytwórczego. Dodatkowo wąskie gardło jest uwypuklane w sytuacji, gdy inne bezpośrednio współpracujące z tym składnikiem procesu zasoby produkcyjne pracują z większą szybkością, czyli zasadniczo są wydajniejsze. W identyfikacji występowania wąskich gardeł przydatne są m. in.:

1. analiza wskaźników techniczno-ekonomicznych procesu (OEE, wydajność stanowisk, czasy przestojów),
2. obserwacja miejsc, w których gromadzone są produkty oczekujące na przekazanie do dalszej obróbki, czyli określanie stopnia obciążenia magazynów międzyoperacyjnych (buforów),
3. analiza czasów wykonania poszczególnych operacji technologicznych (badania chronometrażowe).

W eliminacji wąskich gardeł wykorzystywane dość proste zabiegi organizacyjne obejmujące:

1. zwiększenie zdolności produkcyjnych, czyli wydajności stanowiska (zwiększenie liczby stanowisk oraz zatrudnienie, wydłużenie czasu roboczego),

2. poprawne harmonogramowanie realizacji produkcji, czyli równoważenie obciążenia linii i w ten sposób dążenie do uzyskania jej jednostajnego taktu,
3. mechanizacja i automatyzacja procesu produkcyjnego, zwłaszcza czynności pomocniczych w obrębie operacji technologicznej, jeśli te składowe działania stanowiska są zbyt wolne.

Występowanie awarii i nieplanowanych przestojów modułów maszynowych w modernizowanym zakładzie w Kartoszynie powinno być ograniczone w możliwie największym stopniu. Nieplanowane przestoje maszyn i, co gorsze, ich awarie istotnie pogarszają efektywność procesu produkcyjnego i przez to mogą mieć poważne konsekwencje finansowe i organizacyjne dla całego przedsiębiorstwa. Znając główne przyczyny występowania awarii wyposażenia technologicznego zakładu, którymi najczęściej są:

1. brak regularnej konserwacji i przeglądów,
2. przeciążanie maszyn,
3. usterki techniczne spowodowane przez błędy operatorów,

podjęto w ramach modernizacji zakładu działania mające na celu ograniczenie możliwości występowania awarii. Najważniejsze z tych działań to:

1. wdrożenie strategii TPM (*Total Productive Maintenance*), czyli zasad konserwacji zapobiegawczej, która angażuje operatorów w dbałość o należyty stan techniczny maszyn,
2. monitorowanie parametrów pracy maszyn w oparciu o wykorzystanie czujników IoT (*Internet of Things*) do analizy ich stanu technicznego,
3. zapewnienie ciągłej dostępności podstawowych części zamiennych do maszyn w celu eliminacji i skrócenia opóźnień związanych z długim czasem oczekiwania na naprawę.

Podobnie należy potraktować występowanie zbyt długich przebrojeń modułów maszynowych. Przebrojenia maszyn to zmiany ustawień narzędzi, suportów, wrzecion potrzebne do rozpoczęcia nowego cyklu produkcyjnego (np. zmiana rodzaju narzędzi, kalibracja urządzeń). Długie przebrojenia wydłużają czas przestoju, kiedy maszyna nie wykonuje operacji technologicznych i przez to negatywnie wpływają wydajność linii produkcyjnej. Aby temu zapobiec postanowiono wdrożyć w zakładzie w Kartoszynie podczas jego modernizacji technikę SMED. Jest to technika pozwalająca na szybsze przebrajanie maszyn, ograniczając czas tej czynności do poniżej 10 minut. Uzyskuje się przez to większą

elastyczność produkcji i możliwość realizacji krótkich serii, co ma szczególnie ważne znaczenie dla masowej kastomizacji. Działania prowadzące do wdrożenia SMED obejmowały:

1. analizę aktualnego procesu przeobrażania w celu identyfikacji czynności, które można przyspieszyć,
2. oddzielenie i odrębne normowanie czasów czynności wewnętrznych (wykonywanych przy zatrzymanej maszynie) od czynności zewnętrznych (możliwych do wykonania bez zatrzymania produkcji),
3. standaryzację procedur przebrojeniowych opartą na opracowaniu instrukcji i norm,
4. regularne szkolenie operatorów w zakresie zauważenia i zrozumienia potrzeby oraz wykształcenia umiejętności dokonywania szybkich zmian ustawień i przygotowania modułów maszynowych do wykonywania określonych operacji technologicznych.

Zrozumienie i eliminacja tych problemów pozwala na zwiększenie wydajności produkcji, zmniejszenie kosztów produkcji, co bezpośrednio przełoży się na większą efektywność procesu produkcyjnego i wskutek tego, na poprawę konkurencyjności firmy.

W ostatecznym rezultacie modernizacji zakładu w Kartoszynie zostanie osiągnięty poziom automatyzacji i cyfryzacji procesu produkcyjnego odpowiadający zasadom koncepcji przemysłu 4.0. Cyfryzacja procesu obejmuje wdrożenie systemów ERP i MES. Systemy ERP (*Enterprise Resource Planning*) i MES (*Manufacturing Execution System*) to bardzo ważne narzędzia informatyczne zapewniające wsparcie zarządzania produkcją i sterowania przebiegiem procesów. Zadaniem systemu ERP jest integracja danych z różnych działów (obsługa zamówień, zaopatrzenie, produkcja, logistyka, sprzedaż), co umożliwi lepsze planowanie przebiegu produkcji i ograniczenie strat wynikających z niewłaściwego wykorzystywania zasobów. System MES służy zapewnieniu monitorowania i utrzymuje kontrolę nad przebiegiem procesu produkcyjnego w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe są szybkie reakcje na wszelkie niezgodności z jego planem.

Automatyzacja procesu produkcyjnego oparta zostanie na wdrożeniu robotyzacji i IoT. Robotyzacja procesów produkcyjnych pozwoli uzyskać na zwiększenie wydajności dzięki automatycznemu wykonywaniu powtarzalnych czynności technologicznych i transportowych. Zastosowanie robotów wyeliminuje błędy ludzkie i przyspieszy produkcję. Internet Rzeczy (IoT) umożliwi zdalne monitorowanie stanu maszyn i optymalizację ich wykorzystania. W rezultacie wdrożenia robotyzacji i IoT uzyskane zostaną redukcja kosztów pracy i ograniczenie występowania przestojów. Zwiększy się też jakość i powtarzalność wyrobów. Ważną korzyścią z zastosowania IoT jest możliwość predykcyjnego podejścia do gospodarki

remontowej i konserwacji maszyn (*Predictive Maintenance*). Koncepcja ta wykorzystuje również algorytmy AI, które analizują dane z czujników zainstalowanych w maszynach i przewidują potencjalne awarie przed ich wystąpieniem. Możliwe są wtedy interwencje zapobiegawcze, co przyczynia się do zmniejszenia liczby nieplanowanych przestoju i wydłuża ogólnie całkowity czas użytkowania maszyn.

Wykorzystanie sztucznej inteligencji (AI) i analizy Big Data to bardzo ważne czynniki wpływające na optymalizację procesów produkcyjnych. Są to nowoczesne rozwiązania, dzięki którym przedsiębiorstwo produkcyjne może uzyskać przewagę konkurencyjną, zwiększyć wydajność wyposażenia technologicznego i jednocześnie, przez ograniczenie zużycia kluczowych zasobów (energii i materiałów), może lepiej dbać o kwestie ekologiczne. Dzięki tym rozwiązaniom można gromadzić, przetwarzać i analizować ogromne ilości danych operacyjnych (produkcyjnych, organizacyjnych, logistycznych) w czasie rzeczywistym, co prowadzi w efekcie do skuteczniejszego zarządzania zasobami, minimalizacji strat produkcyjnych i zwiększenia ogólnej efektywności operacyjnej. Dzieje się tak ponieważ, AI może identyfikować typowe zespoły cech w danych produkcyjnych i proponuje optymalne rozwiązania do ich organizacji, np. najlepsze ustawienia parametrów obróbkowych oraz automatycznie dostosowywać parametry procesu do zmieniających się warunków, co ogranicza powstawanie braków i odpadów i podnosi poziom jakości produktów.

Analiza Big Data zostanie wykorzystana m.in. do prognozowania popytu i zarządzania zapasami materiałów w czasie rzeczywistym. Skutkiem tego będzie zmniejszenie kosztów magazynowania i eliminacja przerw w produkcji wynikających z opóźnień dostaw. Sztuczna inteligencja znajdzie zastosowanie w sterowaniu robotami współpracującymi z modułami maszynowymi, które mogą samodzielnie wykonywać skomplikowane operacje w linii produkcyjnej, czego skutkiem będzie zmniejszenie kosztów i poprawa bezpieczeństwa pracy.

Ważną zagadnieniem w koncepcji przemysłu 4.0 jest opracowanie tzw. cyfrowych bliźniaków (*Digital Twins*). Cyfrowe bliźniaki są to zasadniczo wirtualne modele maszyn, stanowisk, roboczych, linii technologicznych i całych fabryk, które pozwalają na symulację różnych scenariuszy produkcyjnych. Dzięki temu jest możliwe testowanie różnych ustawień parametrów produkcyjnych jeszcze przed ich fizycznym wdrożeniem i uzyskanie w ten sposób najlepszego wariantu ustawień w określonych warunkach.

Zastosowanie opisanych systemów i rozwiązań w modernizowanym i rozbudowywanym zakładzie w Kartoszynie doprowadzi do wdrożenia tam koncepcji przemysłu 4.0. Będzie to docelowo inteligentna fabryka, w której wymienione technologie cyfrowe: IoT, AI, Big Data

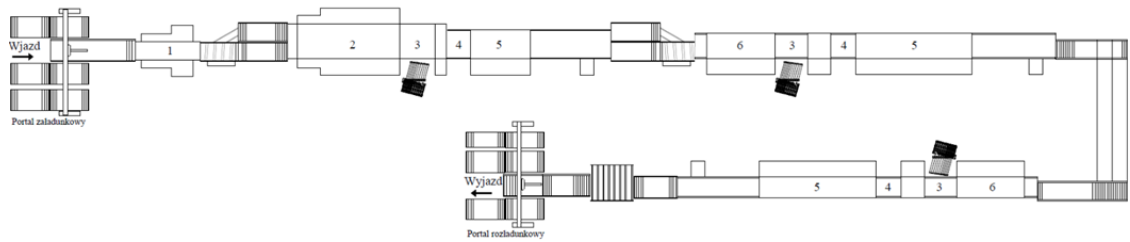
oraz automatyzacja i robotyzacja będą zintegrowane w jeden spójny inteligentny system produkcyjny. Dzięki temu zakłady sprosta współczesnemu wyzwaniu zwiększenia wydajności, wyeliminowania strat i ciągłego dostosowywania się do zmieniających się warunków rynkowych.

Koncepcja przemysłu 4.0 musi uwzględniać rosnące wymagania dotyczące ochrony środowiska. Dzięki wykorzystaniu inteligentnych systemów łatwiejsze jest odnalezienie równowagi między produktywnością przedsiębiorstwa a obciążeniem środowiska naturalnego. Zrównoważenie produkcji opiera się na minimalizacji zużycia surowców i energii oraz ograniczeniu powstawania odpadów i emisji CO₂ do atmosfery. Technologia zakładu w Kartoszynie będzie energooszczędna dzięki wykorzystaniu inteligentnych systemów zarządzania energią i optymalizacja zużycia energii elektrycznej i ciepłej. Zastosowane będą zasady gospodarki o obiegu zamkniętym polegające na ograniczeniu powstawania odpadów i, jeśli to możliwe, na ponownym wykorzystaniu surowców. Przy czym zarówno materiały podstawowe, najlepiej pozyskane z wykorzystaniem surowców alternatywnych do drewna, jak i materiały opakowaniowe będą musiały być biodegradowalne.

6.3.2. Etap 1.

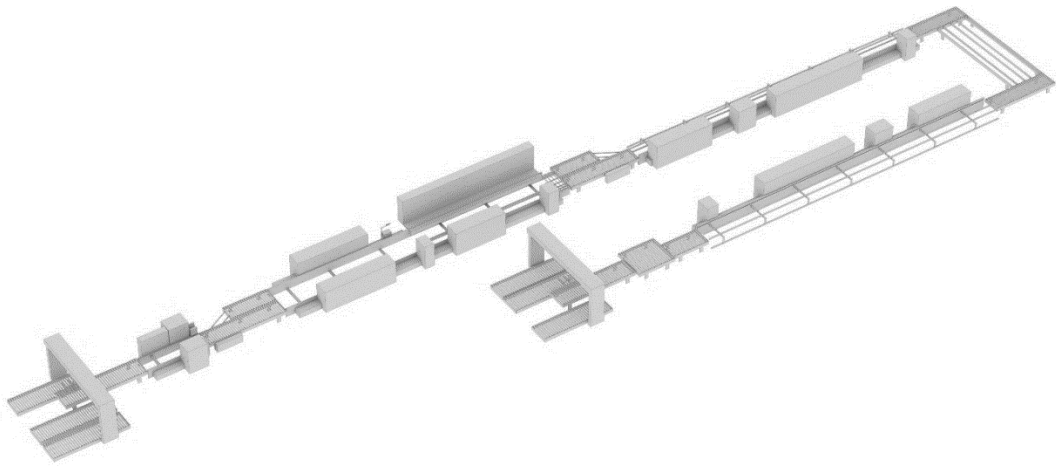
Etap 1. obejmował uruchomienie i modernizację nabytego parku maszynowego, w tym wymianę centralnego komputera sterującego modułami maszynowymi Bürkle oraz integrację środowiska zarządzania produkcją firmy PORTA z komputerem centralnym modułu maszynowego HOMAG. Przeprowadzono sukcesywną integrację wszystkich systemów bazodanowych z autorskim środowiskiem parametryzacji wyrobów Translator.

Moduły maszynowe firmy HOMAG do formatowania i oklejania wąskich powierzchni mogą pracować w określonych warunkach z maksymalną wydajnością 7 cykli na minutę (ryc. 5. i 6.). Jest to zespół zautomatyzowanych maszyn z ręcznym przezbrajaniem pod obróbkę danego profilu skrzydła (rok produkcji 1997). Gotowy produkt powstaje podczas jednego przejścia przez maszynę. Cykl pracy rozpoczyna się od automatycznego załadunku półwyrobu przy użyciu manipulatora podciśnieniowego produkcji Bargsted, który pobiera skrzydła ze stosu i umieszcza je pojedynczo na pierwszej sekcji przenośników rolkowych.



1. Sekcja wstępnego formatowania boków skrzydła
2. Sekcja formatowania na gotowo dołu i góry skrzydła
3. Sekcja aplikacji obrzeża
4. Sekcja docisku obrzeża
5. Sekcja końcowej obróbki krawędzi
6. Sekcja formatowania na gotowo boku skrzydła

Ryc. 5. Układ dwusekcyjnego modułu HOMAG w zakładzie Kartoszyno -obróbka skrzydła w jednym przejściu (cyklu)

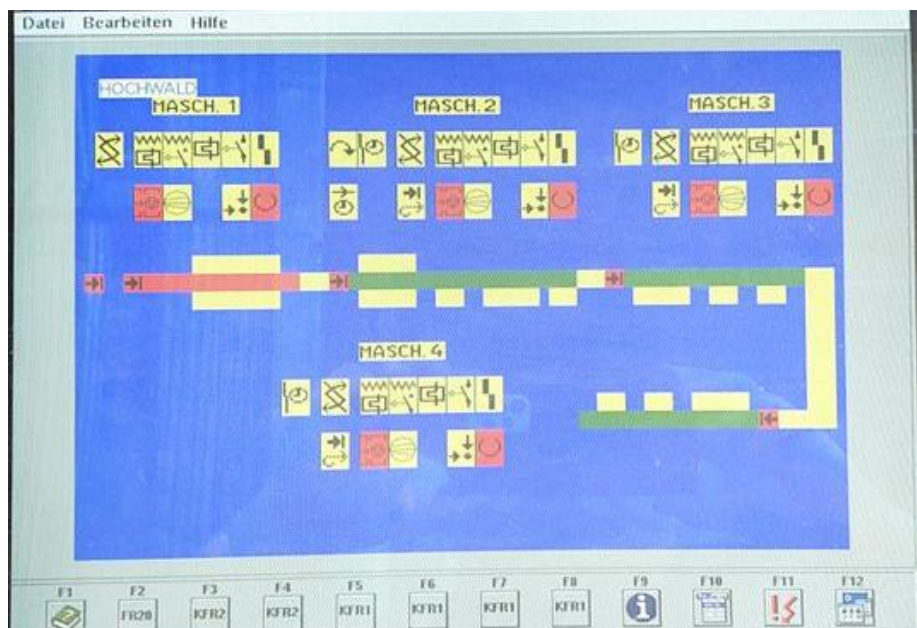


Ryc. 6. Model 3D dwusekcyjnego modułu HOMAG w zakładzie Kartoszyno -obróbka skrzydła w jednym przejściu (cyklu)

Pierwszą operację wykonuje jednostka o symbolu FR/20/07/15/S, odpowiedzialna wyłącznie za pionowe sformatowanie skrzydła i zebranie naddatku materiału. Maszyna ta wykorzystuje frezy tarczowe do obróbki bocznych powierzchni, zapewniając odpowiednią geometrię i czystość powierzchni przygotowanych do dalszej obróbki. Następnie obrabiane skrzydło trafia do maszyny o symbolu KFR23/43/20/QE/25/S, która jednocześnie obrabia górną i dolną wąską powierzchnię skrzydła. Na dolnej powierzchni zbiera naddatek materiału i aplikuje najważniejsze informacje o wyrobie z użyciem drukarki atramentowej. Maszyna ma możliwość frezowania rowka, jeżeli skrzydło wyposażone jest w uszczelkę opadającą lub prowadnicę. Na górnej powierzchni frezy formują żądany profil na gotowo, następnie nakładane jest obrzeże. Proces ten obejmuje aplikację kleju EVA na taśmę obrzeżową, docisk jej do powierzchni skrzydła z wykorzystaniem zespołu rolek oraz przycięcie końców taśmy.

Obróbka wykańczająca wąskie powierzchnie skrzydeł odbywa się z wykorzystaniem wysokowydajnych wrzecion frezujących, zapewniających powtarzalną jakość. Po zakończeniu tych operacji obrabiane skrzydło kierowane jest do dwóch kolejnych takich samych maszyn o symbolu KRF 10/54/QE, ustawionych jedna za drugą. Każda z nich odpowiedzialna jest za wykończenie jednego boku pionowego skrzydła, wykonuje operacje profilowania i oklejania. Najpierw sekcja frezów tarczowych wykonuje frezowanie końcowe, nadając odpowiedni kształt profilu skrzydła. Następnie na obrzeże nanoszony jest cienkowsarstwowy klej EVA. Kolejna sekcja maszyny wykonuje docisk taśmy, zapewniając trwałe i równe przyleganie. Nadmiar obrzeża przy końcach płyty zostaje precyzyjnie przycięty frezami formatyzującymi. Dodatkowo maszyna przeprowadza cyklinowanie – zebranie naddatku taśmy dla wyrównania krawędzi pomiędzy obrzeżem, a powierzchnią szeroką. Cały proces kończy się rozładunkiem obrobionego skrzydła, który ponownie wykonuje manipulator podciśnieniowy Bargsted, umieszczając skrzydła w strefie odbioru oraz tworząc stos skrzydeł na palecie.

Pierwotnie istniejące zakładzie w Kartoszynie moduły maszynowe formatowania i oklejania działały w oparciu o system o nazwie Homatic, który nie integrował się elastycznie ze środowiskiem zarządzania produkcją firmy PORTA (ryc. 7. i 8.). Dlatego konieczne okazało się wprowadzenie pośrednich aplikacji i systemów w celu umożliwienia współpracy z unikatową dwudziestojednoznakową alfanumeryczną symboliką wyrobów PORTA oraz autorskiemu system etykietowania QR code oraz Barcode połączonych z laserowymi skanerami marki Keyence. Dodatkowo dokonano także zainstalowania w sekcjach modułu maszynowego firmy HOMAG systemu drukarek z technologią nadrukowywania kodów ciepłym woskiem w czasie rzeczywistym procesu produkcji bez jego spowalniania z wykorzystaniem do tego celu aplikacji Ninja.



Ryc. 7. Interfejs systemu sterowania procesem produkcji modułów HOMAG z 1997 roku



Ryc. 8. Baza parametrów sterowania procesem produkcji Homatic z 1997 roku

Ograniczone zestawy podprogramów z dokładnością jedynie do rodziny głównej produktów w bazie Homatic z 1997 roku powodowały konieczność ręcznej parametryzacji przez operatora przy każdej zmianie konfiguracji produktu (ryc. 9.).



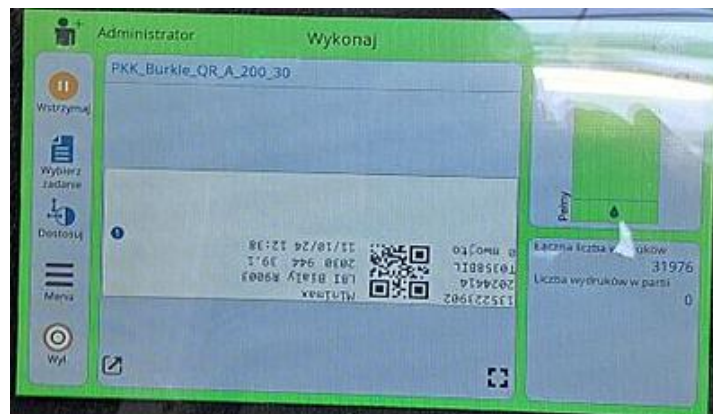
Ryc. 9. Oryginalny ekspozytor możliwości wytwórczych modułów maszynowych Bürkle dla firmy Hochwald z 1999 roku

Aplikacja Ninja jest wykorzystywana w fabryce PORTA Kartoszyno w kilku obszarach. Jej głównym zadaniem jest wspomaganie znakowania skrzydeł oraz dostarczanie nazw programów obróbczych do maszyny frezującej zamki i zawiasy. Oprogramowanie Ninja wykorzystuje szablony etykiet, które są korelowane z aktualną symboliką wyrobów firmy PORTA i pobierane w trybie *just in time* z serwerów wewnętrznych. Po nawiązaniu połączenia z wspomnianym serwerem pobiera wskazany przez operatora szablon do swojego widoku. Następnie, gdy operator zeskanuje kod kreskowy z metki produkcyjnej, wszystkie parametry znajdujące się w szablonie są uzupełniane o dane. Dzieje się to przy wykorzystaniu Translatora, który rozkodowuje symbolikę produktową i zwraca parametry zrozumiałe dla maszyny. Po uzupełnieniu danych aplikacja Ninja generuje plik tekstowy, który jest zapisywany we wskazanej lokalizacji. W celu wydrukowania znaku QR i dodatkowych opisów na dolnej powierzchni skrzydła w czasie jego obróbki na module maszynowym HOMAG przemysłowa drukarka atramentowa z wykorzystaniem oprogramowania dystrybutora drukarki przechwytyje plik tekstowy z wcześniej wybranego szablonu i następuje proces nanoszenia (ryc. 10.).

Dodatkowo, jeśli zachodzi taka potrzeba operatorzy zarówno modułów maszynowych HOMAG, jak i prasy Bürkle mogą wydrukować etykiety wyrobu, wykorzystując oprogramowanie Ninja. Generowany jest plik tekstowy, który przy wykorzystaniu oprogramowania BarTender ma zmieniane rozszerzenie i przesyłany jest do drukarki (ryc. 11.).



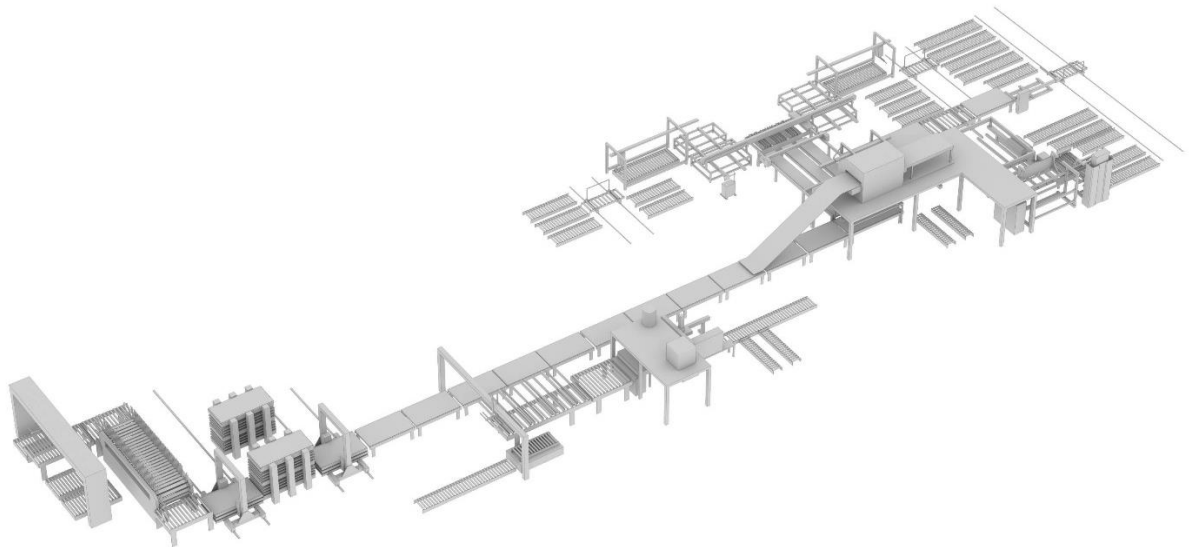
Ryc. 10. Wdrożone w module maszynowym HOMAG stanowisko etykietowania produktów z drukarką Markem-Imaje 5940G – stan na maj 2024



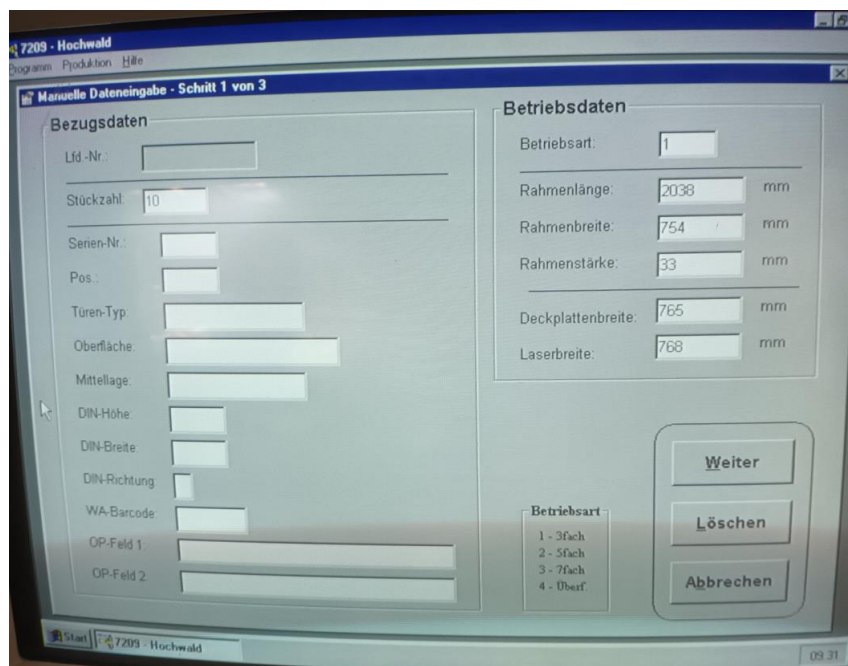
Ryc. 11. Aplikacja BarTender do znakowania produktów

Zakupione wraz z zakładem w Kartoszynie moduły maszynowe firmy Bürkle przeznaczone są do seryjnego zbijania ram skrzydłowych i sklejanie skrzydeł drzwiowych o konstrukcji płytowej z wypełnieniami z płyty wiórowej lub papierowymi w formie tzw. plastra miodu (ryc. 12.) Ramy skrzydła mogą składać się z pojedynczych ramiaków (głównie z MDF) lub być wzmocnione maksymalnie dwoma kolejnymi ramiakami pionowymi i poziomymi. Projektowa wydajność prasy wynosi 4 szt./min. Praca tych modułów oparta była na systemie Windows NT z bazą MS Access, który pozwalał jedynie na manualną parametryzację pożądanego procesu technologicznego (ryc. 13.). Baza danych technologicznych była system zamkniętym, opracowanym w środowisku C++ z bardzo

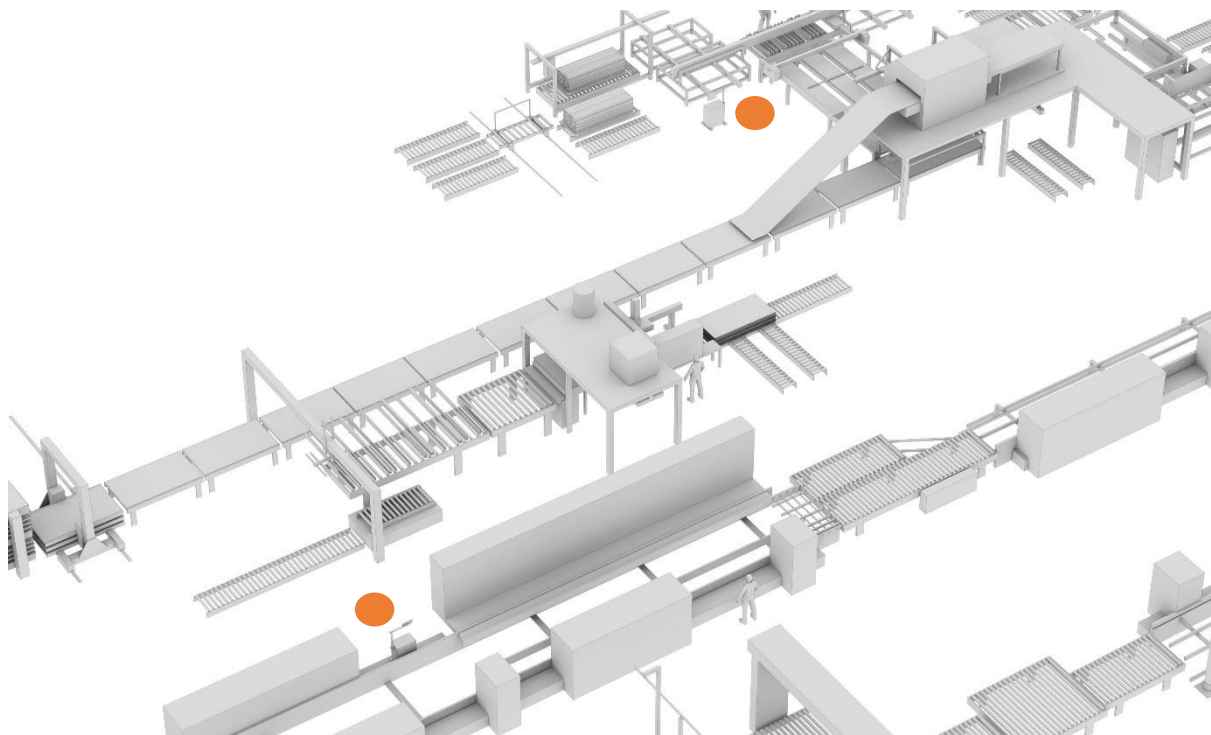
ograniczoną ilością pól do predefiniowania, zaś przekazywanie danych do bazy ze środowiska zarządzania produkcją firmy PORTA nie było możliwe. Konieczna więc była wymiana centralnego komputera sterującego, co dzięki dalszej integracji ze środowiskami APS PORTA, umożliwia pracę z unikatową dwudziestojednoznakową alfanumeryczną symboliką wyrobów i autorskim systemem etykietowania QR code oraz Barcode połączonym ze laserowymi skanerami. W celu skutecznego etykietowania zainstalowano system drukarek z technologią zadrukowywania etykiety na ramiaku ciepłym woskiem (ryc. 14.).



Rys. 12. Model 3D modułów Bürkle w zakładzie Kartoszyno



Ryc. 13. Moduł Bürkle – manualne zarządzanie personalizacją konstrukcji skrzydła



Ryc. 14. Model 3D pokazujący umiejscowienie drukarek Markem-Imaje 5940G w zakładzie Kartoszyno

Po modernizacji modułów maszynowych Bürkle proces rozpoczyna się od zeskanowania metek produkcyjnych przez operatora. Następnie system przefiltrowuje bazę danych w poszukiwaniu odpowiednich parametrów procesowych dla danego skrzydła. Dzieje się to przy użyciu zaprojektowanego translatora, który analizuje wcześniej przygotowane filtry i jako wynik zwraca dane maszynowe (ryc. 15 – 17). Moduł przeznaczony do sklejania skrzydeł ma kilka buforów załadowczych przeznaczonych na materiały, które należy załadować ręcznie, po czym maszyna w sposób w pełni automatyczny pobiera odpowiednie komponenty i włącza je do procesu. Dwa bufory przeznaczone na ramiaki pionowe ładowane są ze stosu, każda warstwa ramiaków spychana jest za pomocą automatycznego ramienia. Następnie sekcja siłowników, czujników optycznych i przenośników łańcuchowych oddziela po dwie sztuki ramiaków. Przed przeniesieniem ramiaków do strefy zbijania ramy, są one przycinane na odpowiednią długość oraz na jedną ze stron za wykorzystaniem układu dysz nanoszony jest klej kauczukowy. Dodatkowo na jednym z ramiaków drukowane są podstawowe informacje o zleceniu oraz kody QR (ryc. 18.). Płyty wiórowe, które służą jako jedno z wypełnień, również ładowane są ze stosu z wykorzystaniem automatycznego ramienia i transportowane do obszaru składania ramy. Magazynki ramiaków poziomych wypełniane są manualnie przez operatora w kierunku pionowym od góry. Każdy magazynek zawiera ramiaki o określonej długości i szerokości. W odpowiednim momencie są one transportowane do strefy składania ramy z wykorzystaniem

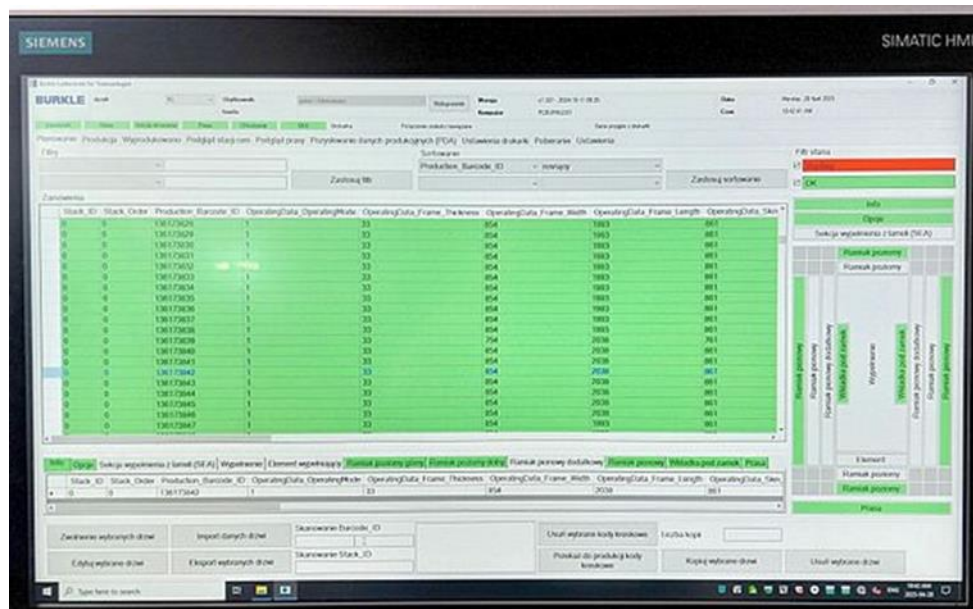
przenośników taśmowych i następnie zbijane z ramiakami pionowymi przy użyciu zszywek. Wzmocnienia pod zamek pobierane są z oddzielnego magazynku zasilanego przez operatora. Po załadunku dwóch sztuk elementów wzmacniających do maszyny są one pozycjonowane i przyklejane do ramiaków pionowych. Nad linią postawiony jest stalowy podest, na którym znajduje się magazyn wypełnienia papierowego w formie tzw. plastra miodu wraz z urządzeniem grzewczym, który go podgrzewa w celu uelastycznienia. Jeśli skrzydło drzwiowe ma być wypełnione z wykorzystaniem tzw. plastra miodu, jest on automatycznie pobierany, docinany na mniejsze fragmenty i zsuwany na podajniku skośnym do stanowiska ręcznego montażu wypełnienia. Po zbitiu ramy i umieszczeniu w niej wypełnienia, cała konstrukcja przenośnikiem taśmowym transportowana jest do sekcji klejenia z okładzinami z płyt HDF. Płyty HDF ładowane są z bufora bezpośrednio pod nakładarkę walcową z wykorzystaniem automatycznego ramienia spychającego, gdzie nakładany jest klej dyspersyjny. Na jednej z płyt umieszcza się wcześniej złożoną konstrukcję, natomiast druga okładzina z płyty HDF przy użyciu automatycznych ramion i systemu przyssawek układana jest na górę ramy. W pełni złożona konstrukcja przemieszcza się do sekcji pras za pośrednictwem systemów transportowych.

Moduły zbijania ram skrzydłowych i sklejenia skrzydeł drzwiowych zawierają dwie sekcje pras hydraulicznych, w każdej z nich znajdują się po dwa zestawy pras czteropółkowych ustawionych pionowo. Załadunek i rozładunek odbywają się z wykorzystaniem automatycznych wind. Parametry prasowania zależą od użytych materiałów, ciśnienie w obiegu 6 – 12 MPa, temperatura 50 – 75°C, czas prasowania 150 – 220 s. Po sklejeniu skrzydła chłodzone są na przenośniku pionowym i następnie składane w stosy na płytach podkładowych.

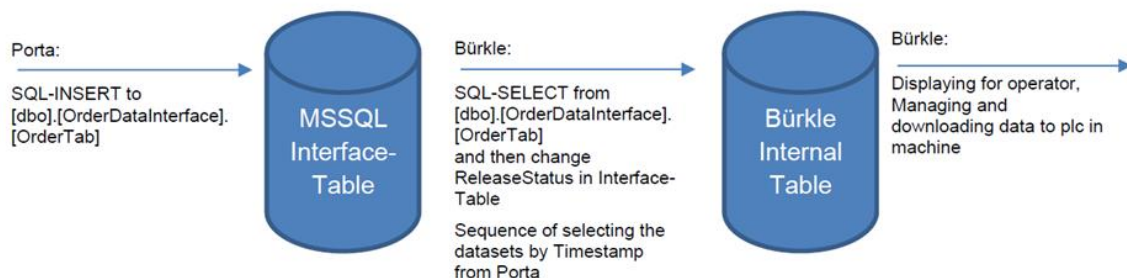
Dzięki zastosowaniu Translatora przygotowano zestaw specjalnych podprogramów, które automatycznie są zadawane do modułu maszynowego z dokładnością do unikatowego ID każdego produktu. Sposób parametryzacji obróbki przypisany do dwudziestojednoznakowej symboliki produktów PORTA umożliwiające dynamiczne wywoływanie przygotowywanych podprogramów maszynowych z dokładnością do danego, personalizowanego procesu technologicznego pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Podprogramy obróbkowe dla linii technologicznej zbijania i sklejania skrzydeł

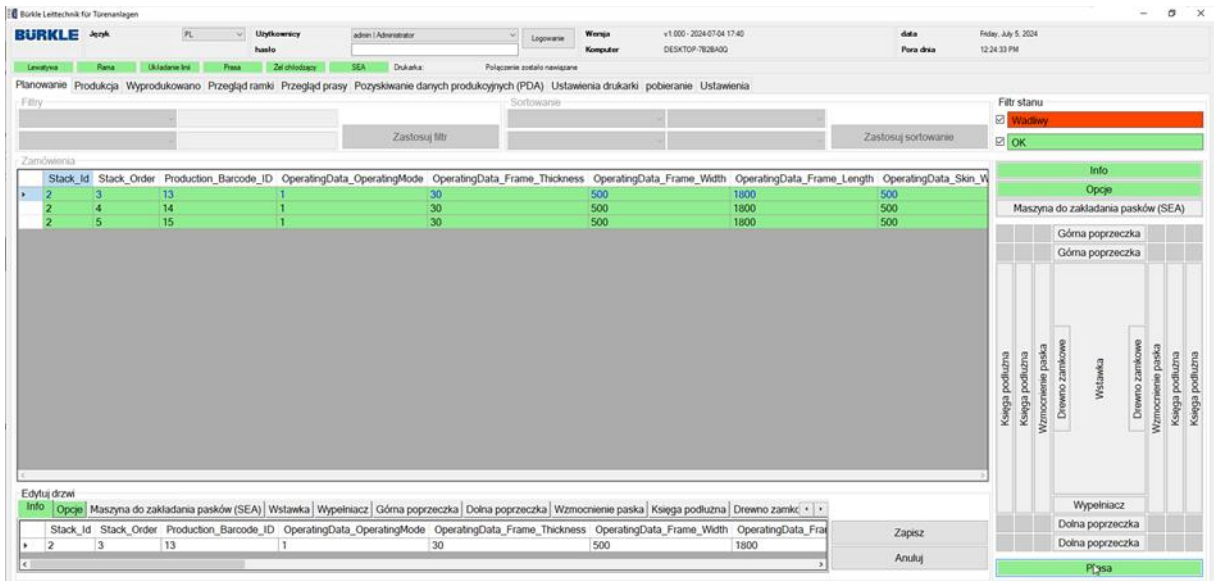
kolejność rodzina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	przebieg wynik	uwagi		
1	%																						0	bierna	
2																							1	NXexpl_P_TH_edgedodgora_XXXXXXX_XXX50	NX obrzete
3																							1	NXexpl_P_TH_edgedodgora_XXXXXXX_XXX50	NX obrzete
4																							1	NXexpl_P_TH_edgedodgora_XXXXXXX_XXX50	NX obrzete
5																							1	NXexpl_P_TH_edgedodgora_XXXXXXX_XXX50	NX obrzete
6																							1	NXexpl_P_TH_edgedodgora_XXXXXXX_XXX50	NX obrzete
7																							1	NXexpl_P_TH_edgedodgora_XXXXXXX_XXX50	NX obrzete
8																							1	T03588IA	be zprzywowe T030045E_BIALY
9																							1	T03588IL	be zprzywowe T030045E_BIALYLAK
10																							1	T03588IA	be zprzywowe
11																							1	T03588IA	be zprzywowe T030045E_BIALY
12																							1	A0458CZA	be zprzywowe Decor + ABS A100045E_CZARNYPE
13																							1	A0458BI3	be zprzywowe Decor + ABS A100045E_BIALYRAL9003
14																							1	T03588IL	be zprzywowe T030045E_BIALYLAK
15																							1	T03588IA	be zprzywowe Powietrze T070045E_BIALY
16																							1	T0358PDP	be zprzywowe T030045E_POPIEL
17																							1	A0458ORB	be zprzywowe Decor + ABS A100045E_ORZECHEBILON
18																							1	T0358ORB	be zprzywowe T030045E_ORZECHEBILON
19																							1	T0358WEN	be zprzywowe T030045E_WENGE
20																							1	T0358MI3	be zprzywowe T030045E_MILANO3
21																							1	T0358ORZ	be zprzywowe T030045E_ORZECHEDECOR
22																							1	T0358DAN	be zprzywowe T030045E_DABANGIELSKIHAMILTON
23																							1	A0458LE	be zprzywowe A100045E_ELEGANT_MAT
24																							1	A0458POP	be zprzywowe Decor + ABS A100045E_POPIEL
25																							1	T0358PDP	be zprzywowe T030045E_POPIEL



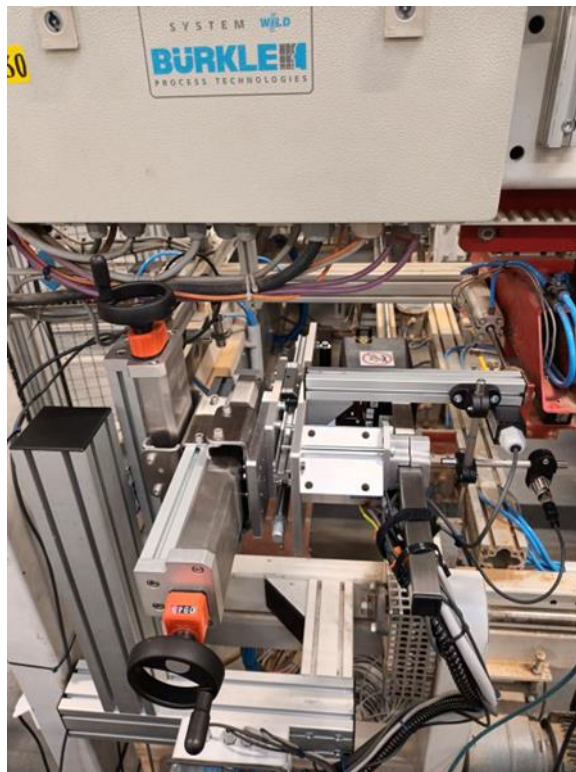
Ryc. 15. Nowoczesny dotykowy panel sterowniczy modułów Bürkle po wdrożeniu w lipcu 2024 r



Ryc. 16. Układ logiczny przekazania danych do nowego komputera centralnego po modernizacji (stan z lipca 2024 roku) (materiały firmy PORTA)

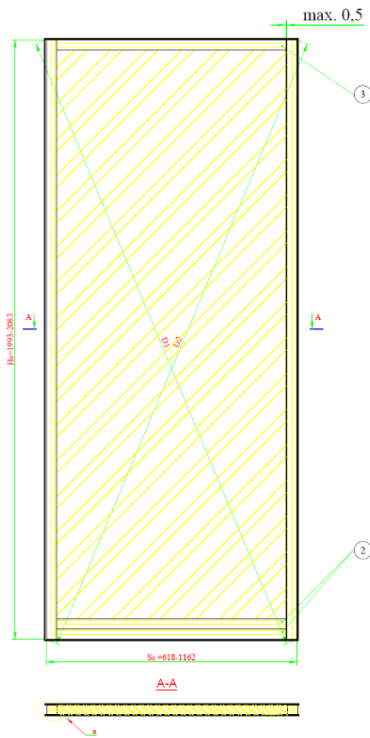


Ryc. 17. Personalizowana sekcja konstrukcji skrzydła



Ryc. 18. Wdrożone stanowisko etykietowania produktów (stan na czerwiec 2024)

Główne konstrukcje skrzydeł drewnianych wykonywane na modułach maszynowych Bürkle według stanu zadań produkcyjnych w maju 2025 r. pokazano na ryc. 19-21.



Nr.	element	material	grubość	dlugość	szerość	ilość
			[mm]	[mm]	[mm]	[szt.]
1	Ramiak pionowy	MDF	33,1	1993-2083	35	2
2	Ramiak pionowy dolny	MDF	33,1	618-1162	35	2
3	Ramiak pionowy górny	MDF	33,1	618-1162	35	1
4	Wypełnienie	Płyta wiórowa otworowa	33	1893-1983	550-594	1
5	Okładzina	HDF matowa	3	2010-2095	634-668	2
		HDF = laminat	3,2			
		HDF lakierowana	3			

element	material	grubość [mm]
Laminat	Folia finisz (decor)	0,1-0,2
	CPL	0,2

- Tolerancje:
1. Grubość Ds: ± 1 mm
 2. Szerokość Ss: ± 1 mm
 3. Wysokość Hs: ± 2 mm
 4. Przekątna: D1 - D2 = ± 5 mm
 5. Płaskość:
 - szerokość: max 1 mm
 - wysokość: max 2 mm

szczeół "a"
(1:1)

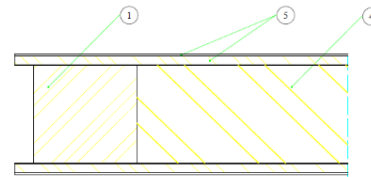
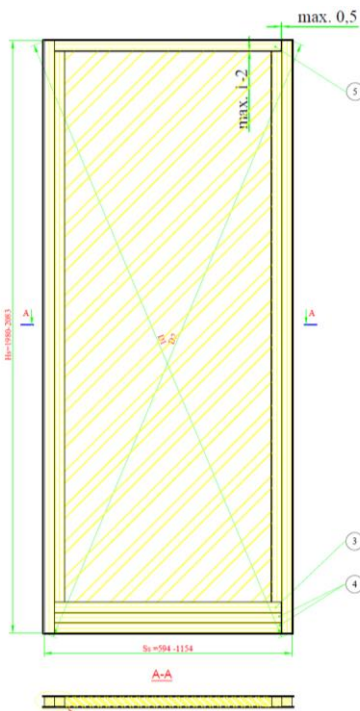


Tabela tolerancji		Rysował	Sprawdził		Data		Konstrukcja, tolerancje	
Wymiar	0-15	15-100	100-1000	1000-3000	Nazwisko	Imię	Podpis	Podpis
Tolerancja	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	Zatwierdził			

Ryc. 19. Skrzydło z ramiakami wykonanymi z MDF i wypełnieniem z płyty wiórowej; podwójny ramiak dolny (materiały firmy PORTA)



Nr.	element	material	grubość	dlugość	szerość	ilość
			[mm]	[mm]	[mm]	[szt.]
1	Ramiak pionowy - zewnętrzny	MDF	33,1	1090-2083	35	2
2	Ramiak pionowy - wewnętrzny	MDF	33,1	1851-1939	22:35	2
3	Ramiak pionowy dolny	MDF	33,1	524-1084	22:35	1
4	Ramiak pionowy dolny	MDF	33,1	524-1084	35	2
5	Ramiak pionowy górny	MDF	33,1	524-1084	35	1
6	Wypełnienie	Płyta wiórowa otworowa, Płyta wiórowa	33	1851-1941	472-1160	1
7	Okładzina	HDF matowa	3	2010-2095	604-1160	2
		HDF = laminat	3,2			
		HDF lakierowana	3			

element	material	grubość [mm]
Laminat	Folia finisz (decor)	0,1-0,2
	CPL	0,2

- Tolerancje:
1. Grubość Ds: ± 1 mm
 2. Szerokość Ss: ± 1 mm
 3. Wysokość Hs: ± 2 mm
 4. Przekątna: D1 - D2 = ± 5 mm
 5. Płaskość:
 - szerokość: max 1 mm
 - wysokość: max 2 mm

szczeół "a"
(1:1)

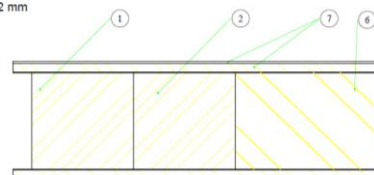
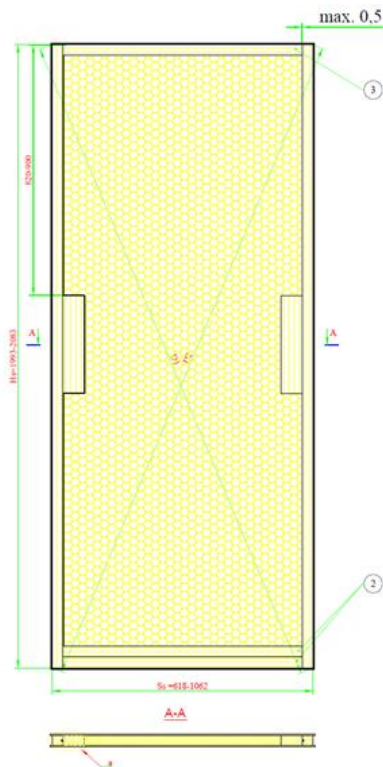


Tabela tolerancji		Rysował	Sprawdził		Data		Konstrukcja, tolerancje	
Wymiar	0-15	15-100	100-1000	1000-3000	Nazwisko	Imię	Podpis	Podpis
Tolerancja	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	Zatwierdził			

Ryc. 20. Skrzydło z ramiakami wykonanymi z MDF i wypełnieniem z płyty wiórowej; podwójne ramiaki pionowe, potrójny ramiak dolny (materiały firmy PORTA)



Nr	element	material	grubość [mm]	długość [mm]	szerokość [mm]	ilość [szt]
1	Ramiak pionowy	MDF	33,1	1993-2083	32	2
2	Ramiak poziomy dolny	MDF	33,1	554-998	32	2
3	Ramiak poziomy górny	MDF	33,1	554-998	32	1
4	Wypełnienie	Plaster miodu	33,6	-	-	1
5	Wzmocnienie pod zamak	MDF, płyta wiórowa	33,1	320	mm 65	2
6	Okładzina	HDF czarna	3	2010-2095	624-668	2
		HDF - laminat	3,2			
		HDF lakierowana	3			

element	material	grubość [mm]
Laminat	Folia finisz (decor)	0,1-0,2
	CPL	0,2

Tolerancje:

1. Grubość Ds: ± 1 mm
2. Szerokość Ss: ± 1 mm
3. Wysokość Hs: ± 2 mm
4. Przekątna: D1 - D2 = ± 5 mm
5. Płaskość:
 - szerokość: max 1 mm
 - wysokość: max 2 mm

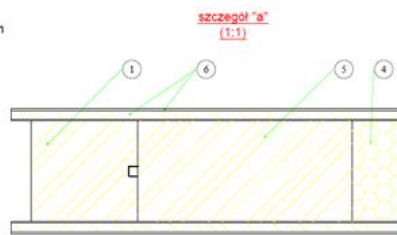


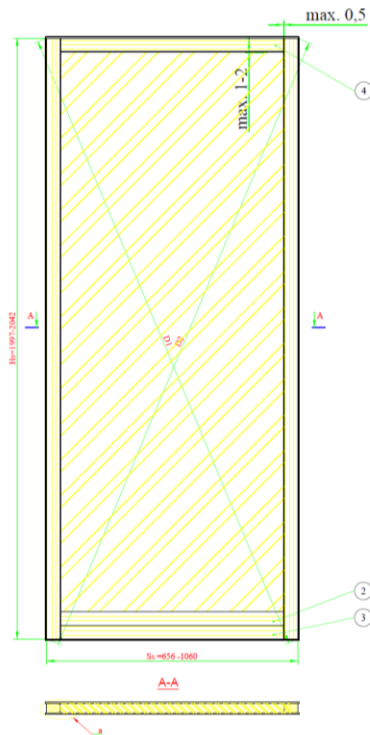
Tabela tolerancji		Konstrukcja, tolerancje			
Wymiar	0-10	15-100	100-1000	1000-10000	
Tolerancja	±0,3	±0,5	±1	±2	

Rysował	Konstrukcja, tolerancje			
Sprawił				
Zakwalifikował				
Nazwisko	Data	Podpis		

Podzika 1:10
 Nr projektu: 20-P118/G
 PORTA S.A.
 POLSKA

Ryc. 21. Skrzydło z ramiakami wykonanymi z MDF i wypełnieniem papierowym w formie tzw. plastra miodu; podwójny ramiak dolny (materiały firmy PORTA)

Kolejne konstrukcje skrzydeł drewnianych włączone do produkcji z wykorzystaniem modułów maszynowych Bürkle według stanu zadań produkcyjnych w czerwcu 2025 r. pokazano na ryc. 22-25.



Nr	element	material	grubość	długość	szerokość	ilość
			[mm]	[mm]	[mm]	[szt]
1	Ramiak pionowy	Dąb klejotka	46	1997.2042	46	2
2	Ramiak poziomy dolny	Dąb klejotka	46	562.966	46	1
3	Ramiak poziomy dolny	Dąb klejotka	46	562.966	46	1
4	Ramiak poziomy górny	Dąb klejotka	46	562.966	46	1
5	Wypełnienie	Płyta wiórowa	12	1857.1902	560.964	3
6	Okładzina	HDF + laminat	3.2	2005.2050	660.1065	2

- Tolerancje:**
1. Grubość Ds: ± 1 mm
 2. Szerokość Ss: ± 1 mm
 3. Wysokość Hs: ± 2 mm
 4. Przekładna: D1 - D2 = ± 5 mm
 5. Płaskość:
 - szerokość: max 1 mm
 - wysokość: max 2 mm

element	material	grubość
Laminat	CPL	0.2

szczegół "a"
(1:1)

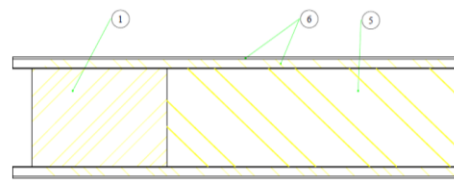
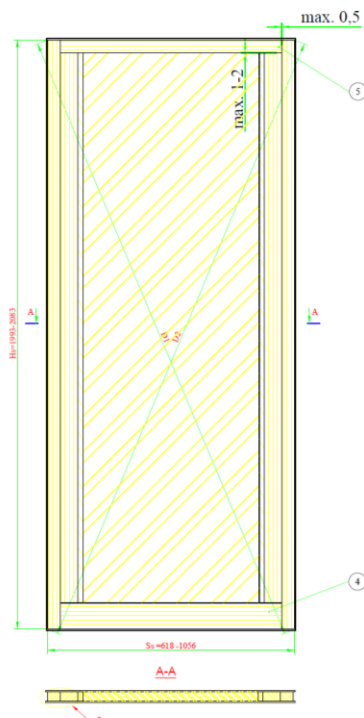


Tabela tolerancji		Rysował		Sprawdził		Data		Projekt		Konstrukcja, tolerancje	
Wymiar	Tolerancja	Nazwisko	Nazwisko	Data	Data	Problemy	Problemy	Problemy	Problemy	Problemy	Problemy
0-15	±0.3										
15-100	±0.5										
100-1000	s1										
1000-3000	s2										

Ryc. 22. Skrzydło techniczne z ramiakami z drewna dębowego i wypełnieniem z płyty wiórowej; podwójny ramiak dolny (materiały firmy PORTA)



Nr	element	material	grubość	długość	szerokość	ilość
			[mm]	[mm]	[mm]	[szt]
1	Ramiak pionowy - zewnętrzny	Sosna klejotka	33.1	1993.2038	44	2
2	Ramiak pionowy - wewnętrzny	Sosna klejotka	33	1852.1897	60	2
3	Ramiak pionowy - wewnętrzny	Sosna klejotka	33	1852.1897	18	2
4	Ramiak poziomy dolny	Sosna klejotka	33.1	530.968	92	1
5	Ramiak poziomy górny	Sosna klejotka	33.1	530.968	44	1
6	Wypełnienie	Płyta wiórowa	33	1852.1897	368.800	1
7	Okładzina	HDF + laminat + aluminium	3.5	2005.2050	630.1065	2

- Tolerancje:**
1. Grubość Ds: ± 1 mm
 2. Szerokość Ss: ± 1 mm
 3. Wysokość Hs: ± 2 mm
 4. Przekładna: D1 - D2 = ± 5 mm
 5. Płaskość:
 - szerokość: max 1 mm
 - wysokość: max 2 mm

element	material	grubość
Laminat	Folia finisz (decor)	0.1-0.2
Laminat	CPL	0.2

szczegół "a"
(1:1)

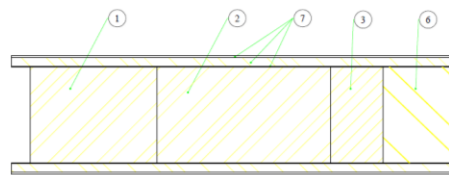
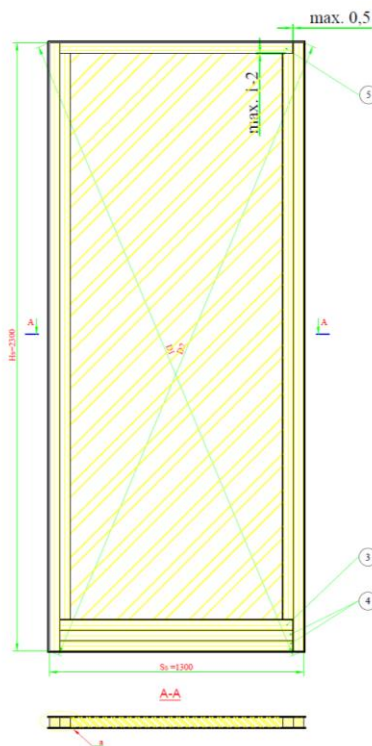


Tabela tolerancji		Rysował		Sprawdził		Data		Projekt		Konstrukcja, tolerancje	
Wymiar	Tolerancja	Nazwisko	Nazwisko	Data	Data	Problemy	Problemy	Problemy	Problemy	Problemy	Problemy
0-15	±0.3										
15-100	±0.5										
100-1000	s1										
1000-3000	s2										

Ryc. 23. Wzmocnione skrzydło wejściowe z ramiakami z drewna sosnowego i wypełnieniem z płyty wiórowej (materiały firmy PORTA)



Nr	element	material	grubość [mm]	długość [mm]	szerokość [mm]	liczba [szt]
1	Ramiak pionowy - zewnętrzny	Sosna klejona	33,1	2300	35	2
2	Ramiak pionowy - wewnętrzny	Sosna klejona	33,1	2158	35	2
3	Ramiak pionowy dolny	Sosna klejona	33,1	1228	35	1
4	Ramiak pionowy dolny	Sosna klejona	33,1	1228	35	2
5	Ramiak pionowy górny	Sosna klejona	33,1	1228	35	1
6	Wypełnienie	Płyta wiórowa otworowa, Płyta wiórowa	33	2158	1158	1
7	Okładzina	HDF nacowa	3			
		HDF + laminat	3,2	2308	1308	2
		HDF lakierowana	3			

- Tolerancje:
1. Grubość Ds: ± 1 mm
 2. Szerokość Ss: ± 1 mm
 3. Wysokość Hs: ± 2 mm
 4. Przekątna: D1 - D2 = ± 5 mm
 5. Płaskość:
 - szerokość: max 1 mm
 - wysokość: max 2 mm

element	material	grubość [mm]
Laminat	Folia finisz (decor)	0,1-0,2
	CPL	0,2

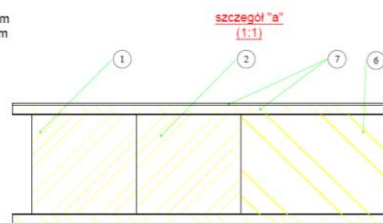


Tabela tolerancji		Plyswal		Sprawdzil		Zabawerdzil		Konstrukcja, tolerancje	
Wymiar	0-10	15-100	100-1000	1000-3000	Wzrost	Podpis	Data	Wzrost	Podpis
Tolerancja	±0,3	±0,5	±1	±2					

Ryc. 24. Wzmocnione skrzydło wejściowe o zwiększonych gabarytach z ramiakami z drewna sosnowego i wypełnieniem z płyty wiórowej; w tym otworowej (materiały firmy PORTA)



skrzydło płytowe Porta CPL z wypełnieniem z płyty wiórowej pełnej Skrzydło płytowe Porta z wypełnieniem z płyty wiórowej otworowej skrzydło płytowe Porta z wypełnieniem TRIM w formie tzw. plastra miodu

Ryc. 25. Przykładowe wizualizacje konstrukcji skrzydeł w wykorzystaniu różnych wypełnień (materiały firmy PORTA)

Po wykonaniu etapu 1. modernizacji, który obejmował uruchomienie i modernizację wyposażenia produkcyjnego oraz integrację modułów maszynowych ze środowiskiem zarządzania produkcją firmy PORTA przeprowadzono testy dla sprawdzenia, jakie parametry wyrobu wpływają na wydajność modułów maszynowych HOMAG. Przygotowanie metodyczne i analiza wyników testów zostały poszerzone dodatkowo zdobytą już wiedzą z prac

badawczych wykonanych uprzednio w wykorzystaniem innych linii technologicznych procujących na terenie pozostałych zakładów firmy PORTA.

Przykładową ocenę procesu obróbki wąskich powierzchni skrzydeł drzewiowych z wykorzystaniem modułów maszynowych HOMAG w zakładzie w Kartoszynie w oparciu o wyznaczenie wskaźnika OEE dla dwóch wariantów serii produkcyjnych uwzględniających kolorystykę skrzydeł przedstawiono w tabeli 3. Obliczenia i wykresy OEE wykonane zostały z wykorzystaniem kalkulatora online (ExeCode).

Tabela 3. Test OEE w warunkach produkcji skrzydeł o różnym wykończeniu kolorystycznym

Wariant 1.	Wariant 2.
Skrzydło z pokryciem białym z płyty lakierowanej dostarczonej z firmy Homanit lub lakierni własnej w zakładzie w Bolszewie	Skrzydło z płyty wykończonej różnymi dekorami (różne kolory w jednej palecie skrzydeł przygotowanych losowo do obróbki)
Takt – 15 s	Takt – 32 s
Rozruch maszyny i wymiana narzędzi – 30 min	Rozruch maszyny i wymiana narzędzi – 30 min; przezbrajanie po każdej palecie (32 szt.) – 13 min
Przerwa – 20 min	Przerwa – 20 min
Sprzątanie stanowiska – 20 min	Sprzątanie stanowiska – 20 min
Maksymalna wielkość produkcji na jedną zmianę – 1500 szt.	Maksymalna wielkość produkcji na jedną zmianę – 544 szt.
Wskaźnik OEE na poziomie 76.8% jest powyżej średniej branżowej. Twoje procesy produkcyjne działają dobrze, ale wciąż istnieje przestrzeń do optymalizacji. Warto rozważyć dalsze usprawnienia w obszarze wydajności (87.2%).	Wskaźnik OEE na poziomie 57.7% jest poniżej średniej branżowej. Istnieje znaczny potencjał do poprawy. Zalecamy analizę wszystkich trzech czynników: dostępności (86.9%), wydajności (69.6%) i jakości (95.4%).

Test wykazał, że sortowanie skrzydeł drzwiowych pod względem kolorystyki okładzin i wykończenia wąskich powierzchni ma kluczowe znaczenie dla wydajności i wykorzystania modułów maszynowych HOMAG. W sytuacji obecności skrzydeł jednego koloru na jednej palecie znacznie zmniejszy się czas przebrojenia modułów ze względu na kolor obrzeża o konieczność zmiany temperatury podczas obróbki. Czas ręcznej wymiany obrzeża przez operatora to około 3 min. Dodatkowo różne kolory obrzeży wymagają innych nastaw temperatury kleju EVA. Czas autoregulacji temperatury dla 6 kolorów dostępnych w oryginalnym, seryjnym magazynku obrzeży to około 10 s, czas dla kolorów spoza listy magazynkowej wynosi powyżej 60 s.

Innymi, poza kolorem wykończenia skrzydła, czynnikami wpływającymi na wpływające na wydajność modułów maszynowych HOMAG w zakładzie Kartoszynie są:

1. Zmiana szerokości skrzydła; dla uzyskania możliwości obróbki skrzydła o określonej szerokości wymagane jest przestawienie się położenia agregatów obrabiających w osi X. Czas zmiany nastawu szerokości z nominalnej szerokości 80 na 90 wynosi 10 s. Jest to czynność nie wymagająca regulacji bezpośrednio przez operatora, ale wymaga autodefinicji w parametrach obróbki. Dlatego dla utrzymania dużej wydajności wskazane jest sortowanie skrzydeł wg ich szerokości (ryc. 26.).



Ryc. 26. Sortowanie skrzydeł wg szerokości

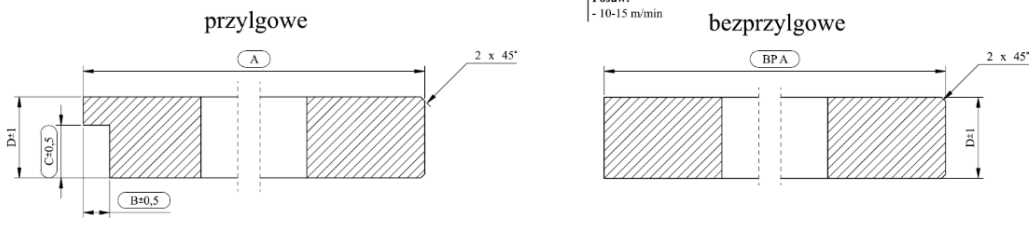
2. Zmiana grubości skrzydła, która powoduje, że wymagane jest przestawienie położenia agregatów obrabiających w osi Y. Czas zmiany nastawy z 40 mm na 44 mm trwa powyżej 10 min. Jest to proces wymagający ręcznej regulacji w kilku polach maszyny bezpośrednio przez operatora. Jest tak dlatego, że w pierwotnym wykonaniu moduły maszynowe przystosowane były do obrabiania skrzydeł o jednakowej grubości 40 mm (ryc. 27.).

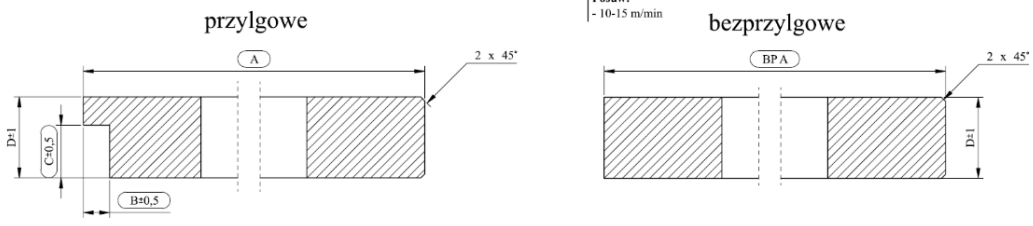


Ryc. 27. Konstrukcje skrzydeł o zunifikowanej grubości 40 mm zaprojektowane dla zautomatyzowanej produkcji w 2001 r.

3. Zmiana rodzaju i kształtu przyłgi skrzydła, dla której wymagane jest przestawienie rolek agregatów obrabiających w osi X dociskowej. Czas zmiany nastawy trwa powyżej 5 min. Jest to proces wymagający ręcznej regulacji bezpośrednio przez operatora.

Skrzydła przyłgowe mają bardziej skomplikowany proces obróbki wąskich powierzchni (najpierw profil górny, potem powierzchnia dolna) niż skrzydła bezprzyłgowe, gdzie wymagane jest użycie tylko jednej rolki dociskowej (ryc. 28.). Średnia wydajność uzyskiwana przy manualnym nastawieniu sposobu obróbki w warunkach wyjściowych przed modernizacją to poniżej 1,15 szt./min, podczas gdy po modernizacji uzyskano, dzięki zastosowaniu APS i dynamicznego środowiska parametrycznego firmy PORTA, powyżej 6 szt./min.

Wydział KW2	Nazwa: Linia obróbki skrzydeł Stanowisko/Zasób: 2221	Wyrób: Formatowanie do długości brutto skrzydeł wewnętrzzłokalowych			
Element/materiał/ podzespół	Operacja: 2201, 2202	Parametry technologiczne	Wymiary nietolerowane	Przyrząd pomiarowy	Pomiar
1	2	3	4	5	6
Skrzydło	Formatowanie wstępne skrzydła do długości.	Narzędzia: - piła tarczowa podcinająca - 2 szt - piła tarczowa z rozdrabniaczem - 2 szt - głowice frezarskie - 2 szt - frez fazujący - 2 szt Posuw: - 10-15 m/min	wg opisu w tabeli	- przymiar zwiżany - suwmiarka	Wymiary i parametry konieczne do rejestracji w karcie KJ są oznaczone ramką.  Pierwszy pomiar po rozpoczęciu produkcji. Przynajmniej dwa pomiary kontrolne na zmianę z każdego produkowanego na zmianę typu skrzydeł.



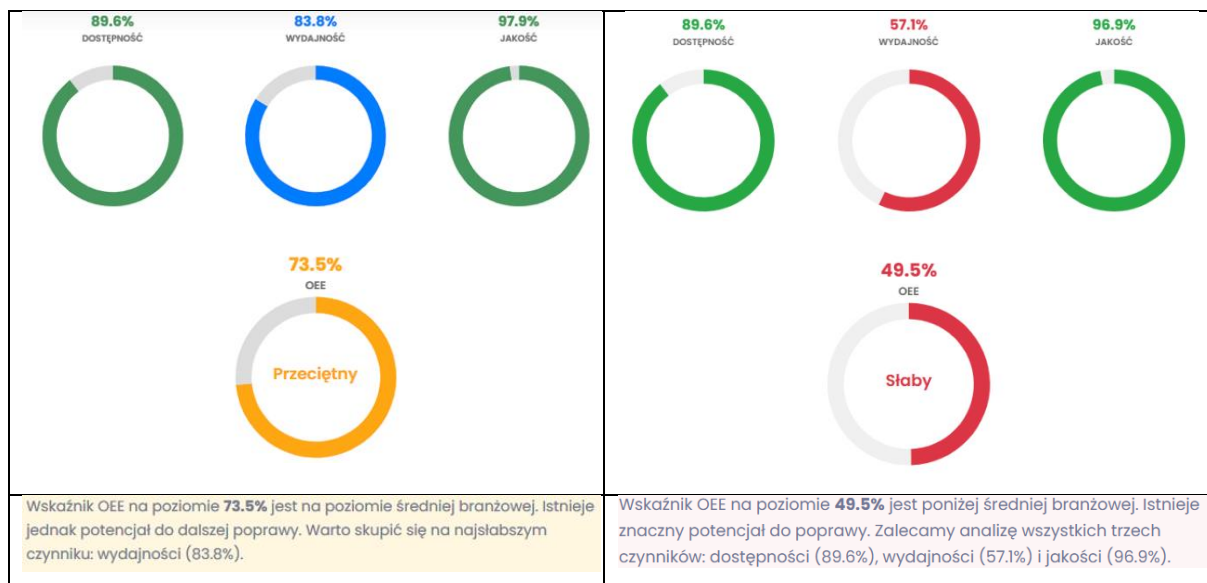
Typ skrzydła	PN				DIN				CN				HN			FN			IN			D	Tolerancja
	A	BPA	B	C	A	BPA	B	C	A	BPA	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
wewnętrzzłokalowe, płaskie	2032	2019	13	20-24	1987	1974	13	20-24	1987	1974	13	20-24	2077	13	20-24	2042	13	20-24	2032	13	20-24	40	+2/-1

Ryc. 28. Plan obróbki wąskiej powierzchni skrzydła na linii HOMAG Kartoszyno (materiały firmy PORTA)

Również wykorzystanie modułów maszynowych Bürkle zostało poddane ocenie po wykonaniu etapu 1. modernizacji. Przykładową ocenę procesu przygotowania półproduktu skrzydeł drzwiowych z wykorzystaniem modułów maszynowych Bürkle w zakładzie w Kartoszynie w oparciu o wyznaczenia wskaźnika OEE dla dwóch wariantów serii produkcyjnych uwzględniających konstrukcję (rodzaj wypełnienia) skrzydeł przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Test OEE w warunkach produkcji skrzydeł o różnym wypełnieniu

Wariant 1.	Wariant 2.
Skrzydło z wypełnieniem papierowym w formie tzw. plastra miodu	Skrzydło z wypełnieniem w postaci płyty wiórowej otworowej
Takt – 23 s	Takt – 23 s
Rozruch – 30 min	Rozruch – 30 min
Przerwa – 20 min	Przerwa – 20 min
Czyszczenie pras (16 półek) – 2 × 30 min	Załadunek płyty otworowej co 32 szt. – 5 min
Przezbijanie z grubości 35 na 32 mm – 2 × 15 min	Czyszczenie pras (16 półek) – 2 × 30 min
Sprzątanie – 20 min	Przezbijanie z 35 na 32 mm – 2 × 15 min
	Sprzątanie – 20 min
Maksymalna wielkość produkcji na jedną zmianę – 940 szt.	Maksymalna wielkość produkcji na jedną zmianę – 640 szt.



Inne ważne czynniki technologiczne wpływające na wydajność modułów maszynowych Bürkle (ryc. 29-36) w zakładzie w Kartoszynie to:

1. Zmiana gabarytów skrzydła, ponieważ w takiej sytuacji wymagane jest ręczne przygotowywanie buforów materiałów w postaci formatek płyt wiórowych wypełniających ramę skrzydła już na etapie załadunku elementów do montaż półproduktów wg określonej normy wymiarowej np. nominalnej szerokości skrzydła oraz stosownie do grubości zgodnie z założoną konstrukcją. Czas takiej zmiany trwa około 5 min. Jest to proces wymagający przeprowadzenia czynności bezpośrednio przez operatora polegających na wprowadzeniu przygotowanej uprzednio palety z nową partią materiału o pożądanym gabarytach. Wymaga to ciągłego sortowania i pakietyzowania elementów przygotowywanych produkcji wg gabarytów. Dodatkowo związana z tym jest także operacja automatycznego cięcia na żadaną długość ramiaków używanych do budowy ramy skrzydła. Pierwotne zarządzanie wbudowanym systemem specjalnych predefiniowanych wymiarowo magazynków do ramiaków było wystarczające dla dużych serii powtarzalnych wyrobów. Po modernizacji nie jest to już efektywne z uwagi na skalę występującej kastomizacji w planach produkcyjnych.
2. Zmiana kolorystyki skrzydła, dla której wymagane jest wprowadzenie i sortowanie nowej partii okleinowanych płyt HDF (poszycie skrzydła) do magazynku w środku linii. Jest to proces półautomatyczny, nadzorowany bezpośrednio przez operatora. Wymaga to ciągłego sortowania i pakietyzowania materiałów do produkcji wg kolorów, a także wg wymiarów skrzydeł.

3. Zmiana grubości skrzydeł wpływa na wydajność automatycznej prasy wielopółkowej, ponieważ współczynnik czasu prasowania wynosi 1 min na 1 mm grubości okładziny. W stosunku do stosowanych w zakładzie okładzin mieści się on w zakresie 150 – 230 s. Ponadto wydłuża się czas sezonowania sklejaných półproduktów wraz z wydłużeniem czasu prasowania (ryc. 37).



Ryc.29. Sekcja zbijania ramy skrzydeł drzwiowych linii Bürkle



Ryc. 30. Sekcja załadunku wsadu wypełniającego ramę skrzydła na linii Bürkle



Ryc. 31. Sekcja załadunku ramiaków poziomych na linii Bürkle



Ryc. 32. Sekcja załadunku ramiaków pionowych na linii Bürkle



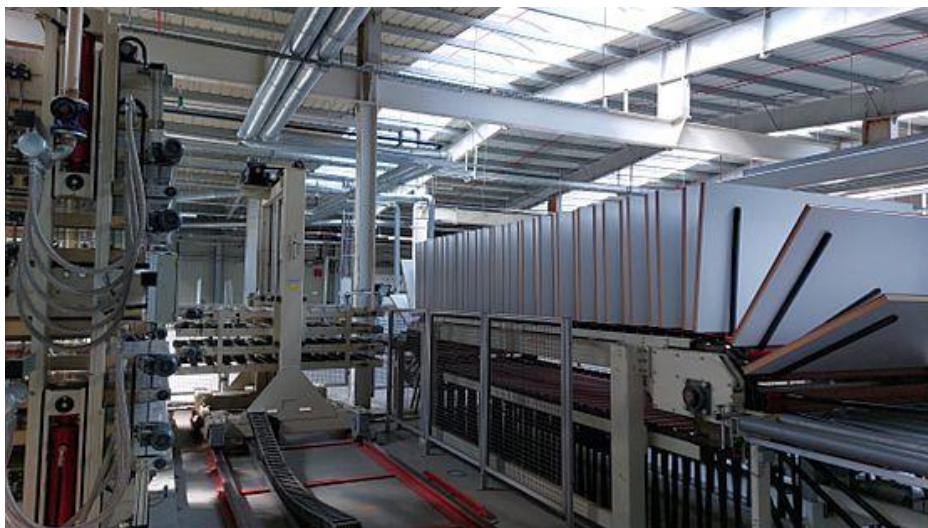
Ryc. 33. Sekcja załadunku ramiaków nietypowych na linii Bürkle



Ryc. 34. Sekcja załadunku formatek okładzinowych HDF na linii Bürkle



Ryc. 35. Sekcja załadunku prasy wielopółkowej na linii Bürkle



Ryc. 36. Sekcja sezonowania linii Bürkle

Wydział KW2	Nazwa: Prasy klejące Stanowisko/Zasób: 2211	Wyrób: Skrzydła wewnętrzłokalne			
Element/materiał/ podzespół	Operacja: 2101, 2102	Parametry technologiczne	Wymiary nietolerowane	Przyrząd pomiarowy	Pomiar
1. Próbk płyty, 2. Wsad skrzydła.	<p>I. Wagowe określenie nanoszenia kleju - walce klejarskie</p> <ol style="list-style-type: none"> Do wykonania próby należy przygotować 3 szt. próbek o wymiarze 500 x 500±1 mm. Formatki oznaczyć numerami 1, 2, 3. Przygotowane formatki należy zważyć na wadze elektronicznej, wyniki zapisać. Próbki przepuścić przez walce klejarskie zgodnie ze schematem nr 1. Próbki z naniesionym klejem zważyć na wadze elektronicznej, wyniki zapisać. Obliczyć ilość naniesionego kleju wg wzoru: $I = (W1a - W1b) \times 4$ gdzie: I - ilość naniesionego kleju, W1a - waga próbki nr 1 z naniesionym klejem w (g), W1b - waga próbki nr 1 bez naniesionego kleju w (g), Czynność (6) wykonać z każdą próbką. <p>II. Parametry technologiczne:</p> <p>1. Ciśnienie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Decor (D); Synchro 3D (R), Perfect 3D (P): 50-70 bar, - Laminat CPL (2), HPL (7): 80-115 bar, - Biofaser (U;W): 120-130 bar, - Pozostałe pokrycia: 65-70 bar <p>2. Temperatura</p> <p>a) prasowania</p> <ul style="list-style-type: none"> - Decor: 50-60°C - Biofaser, CPL, HPL: 65-75°C - pozostałe pokrycia: 50-65°C <p>b) otoczenia, kleju, mat. klejonego - min. 18°C</p> <p>3. Czas:</p> <p>a) prasowania:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 150-230 sek. <p>b) otwarty kleju: 5-8 min</p> <p>c) sezonowania: min. 4h</p> <p>4. Parametry kleju:</p> <p>a) klej:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Woodmax WR 13.50M (D3) - Jowacoll 10 103.15 - Meblcoll D3 TTL <p>b) naniesienie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biofaser: 140±20 g/m² - pozostałe: 110±20 g/m² 	<p>Parametry technologiczne</p>	<p>Wymiary nietolerowane</p> <p>Długość, szerokość: ±0,2 mm Grubość: -pl. wior: ±0,3mm -pozostałe ±0,2mm</p>	<p>Przyrząd pomiarowy</p> <ul style="list-style-type: none"> - przymiar zwijany, - suwmiarka, - waga elektroniczna 	<p>Pomiar</p> <p>Wymiary i parametry konieczne do rejestracji w karcie KJ są oznaczone ramką.</p> <p>Kontrolować z wpisem w kartę KJ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ciśnienie prasowania, - temperaturę otoczenia, - czas prasowania, - wymiary w ramce, - naniesienie kleju - dla próbki najbardziej odbiegającej od normy. <p>Naniesienie kleju. Pomiar przy każdej zmianie naniesienia oraz przy każdej zmianie rodzaju kleju. Minimum jeden pomiar kontrolny na zmianę.</p> <p>Pozostałe parametry i wymiary. Pierwszy pomiar przed rozpoczęciem produkcji, przynajmniej dwa pomiary kontrolne na zmianę.</p> <p>Wzrokowo w każdej szt sprawdź:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zespolenie ramy z okładziną na całym obwodzie skrzydła, - uszkodzenia wsadu.
<p>Schemat nr 1</p>					
<p>UWAGA:</p> <p>Na czas ogrzania lub ochłodzenia prasy przy zmianie rodzaju okładziny skrzydła można stosować temperaturę pośrednią między temperaturą dla okładziny 'decor' i dla pozostałych okładzin.</p>					

Ryc. 37. Plan obróbki dla linii Bürkle
(materiały firmy PORTA)

Modernizacja w odniesieniu do modułów maszynowych linii Bürkle rozwiązała zastany problem braku parametrycznego sterowania procesem technologicznym. O ile same prasy wielopółkowe są w stanie dostarczyć 4 szt./min sklejoných półproduktów, to system zbijania ram i podawania formatek okładzinowych płyt HDF spowalnia proces do 2 szt./min. Było to wówczas rozwiązanie wystarczające ze względu na masowy charakter produkcji jednorodnych i nieskomplikowanych konstrukcyjnie skrzydeł drzwiowych (ryc. 38). W 2024 roku we współpracy z firmą Bürkle, oraz dzięki parametryzacji z wykorzystaniem Translatora firmy PORTA, zainstalowano nowy komputer i system sterujący całą linią zbijania i prasowania półproduktów skrzydeł. Zrealizowane w ten sposób przedsięwzięcie pozwala obecnie na osiągnięcie wydajności 4 szt./min dla całej linii Bürkle. Zostało zdiagnozowane i usunięte wąskie gardło zmniejszające wydajność tej części systemu produkcyjnego. Wydajności linii technologicznych i całego zakładu po wdrożeniu tego rozwiązania przedstawiono w tabeli 5. Są to wartości możliwe do uzyskania przy wskaźniku OEE = 65% i rocznym funduszu czasu pracy maszyn i urządzeń wynoszącym 245 dni/r.

Tabela 5. Wydajność zakładu PORTA w Kartoszynie

Proces	Wydajność [Szt. / min]	Wydajność na zmianę [szt.]	Wydajność na 3 zmiany [szt.]	Wydajność na rok [szt.]
Linia Bürkle	4,00	1 248	3 744	917 280
Linia Homag	7,00	2 184	6 552	
Zamek, Zawias (SMM) + automatyczne okuwanie, 2 zawiasy czopowe	4,00	1 248	3 744	
Kontrola jakości + pakowanie	3,00	936	2 808	



Ryc. 38. Konstrukcje skrzydeł dla zautomatyzowanej produkcji linii Bürkle w 1997 roku

W etapie 1., który zasadniczo obejmował uruchomienie i modernizację nabytego parku obróbkowego maszynowego, czyli linii HOMAG i Bürkle, przeprowadzono także integrację sekcji magazynu buforowego Kraft – Bargstedt z autorskim środowiskiem parametryzacji wyrobów Translator.

Pierwotnie magazyn buforowy firmy Kraft zarządzany był niezależnym systemem wg kilku predefiniowanych algorytmów paletyzowania. Z racji szerokiej kustomizacji produktów takie sztywne rozwiązanie nie sprawdzi się w warunkach pracy zakładu. Konieczna była więc również integracja z systemem ERP-APS-Translator. Obecna pojemność inteligentnego bufora półwyrobów to około 900 szt. Pozwala to przygotować odpowiednią partię dla potencjału produkcyjnego maszyn w zakładzie Kartoszyno (ryc. 39-40).



Rys. 39. Sekcja paletyzowania i buforowania

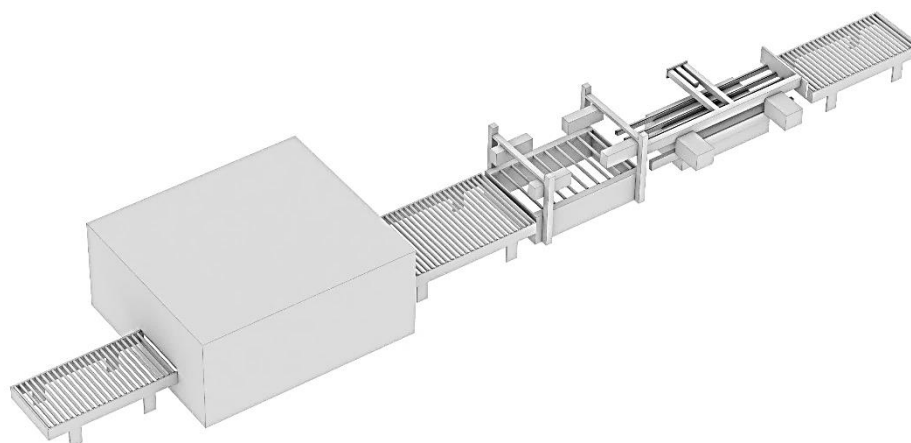


Rys. 40. Posortowane i oznakowane półwyroby umożliwiające wydajną obróbkę w kolejnych etapach produkcji

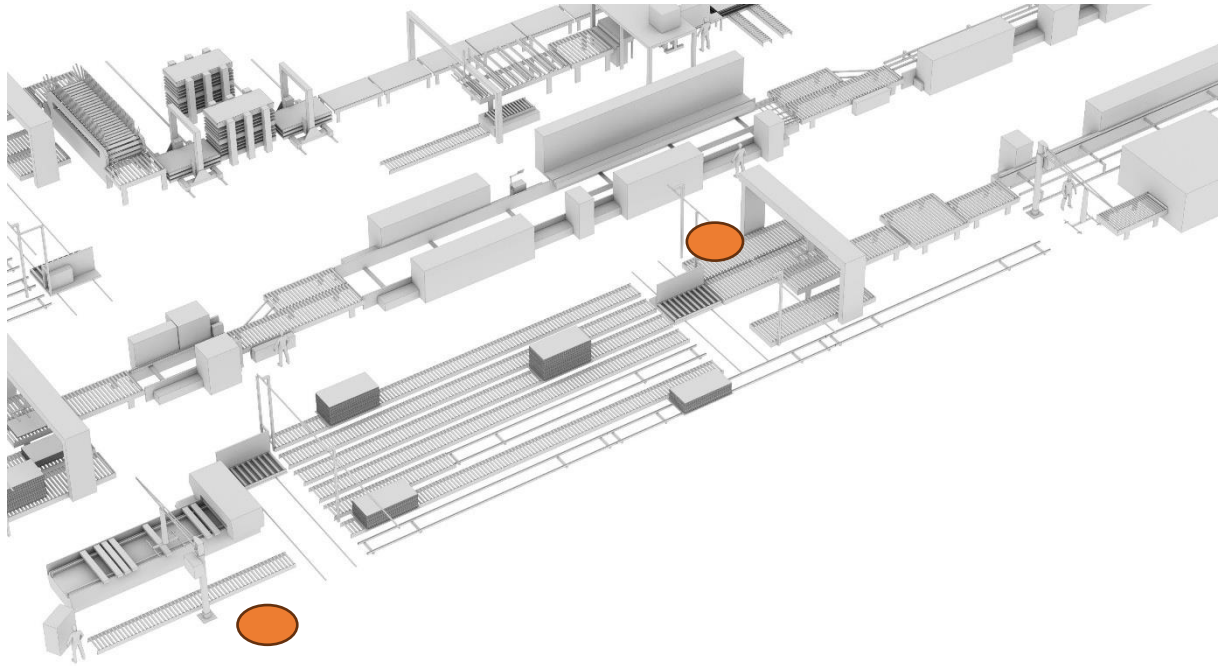
6.3.3. Etap 2

Etap 2. obejmował instalację nowych maszyn i urządzeń wymaganych do produkcji gotowych wyrobów określonych w programie produkcyjnym firmy PORTA. Postanowiono więc powiększyć wyposażenie zakładu w Kartoszynie o obrabiarki do automatycznego wiercenia i frezowania, montażu zamków i zawiasów firmy SMM. Zakupiona była także frezarka do obróbki szerokich powierzchni skrzydeł drzwiowych w postaci centrum obróbkowego CNC firmy BIESSE Rover. Wyposażenie to uzupełniono o wspomagające przemysłowe manipulatory załadunkowe firmy AHS.

Zakupiona wraz z zakładem linia frezowania i wiercenia otworów montażowych do zamków i zawiasów w skrzydłach drzwiowych nie była przystosowana do wykonywania kieszeni pod zawiasy w skrzydłach bezprzylgowych. Wyprodukowane skrzydła tego typu musiały trafiać na dodatkowe maszyny w innych zakładach w ramach firmy PORTA. Zakupiono więc na rynku wtórnym linię technologiczną niemieckiej firmy SMM wyposażoną w specjalnie przystosowane agregaty frezujące kieszenie zawiasów bezprzylgowych (ryc. 41). Maszyna SMM SE 270 FS to wielofunkcyjne, trzysekcyjne stanowisko zautomatyzowane, przeznaczone do obróbki skrzydeł drzwiowych w zakresie frezowania gniazd i otworów i montażu zamków oraz zawiasów. Dzięki swojej konstrukcji umożliwia powtarzalną realizację typowych operacji okuwania drzwi w produkcji seryjnej. Wydajność tej maszyny wynosi około 1,4 szt./min dla obróbki skrzydła wyposażonego w pojedynczy zamek oraz trzy zawiasy wraz montażem tych elementów. Skrzydła są ładowane do maszyny z użyciem żurawia z głowicą podciśnieniową obsługiwanego przez operatora (ryc. 42-43). Wcześniej następuje odczyt kodu kreskowego z etykiety wyrobu z wykorzystaniem skanera ręcznego. Wdrożone do użycia w marcu 2024 oprogramowanie Ninja pomaga zdekodować symbolikę skrzydła i przy wykorzystaniu własnej bazy danych generuje kod maszynowy, który jest przesyłany bezpośrednio do aplikacji maszynowej.



Ryc. 41. Model 3D linii SMM w zakładzie w Kartoszynie

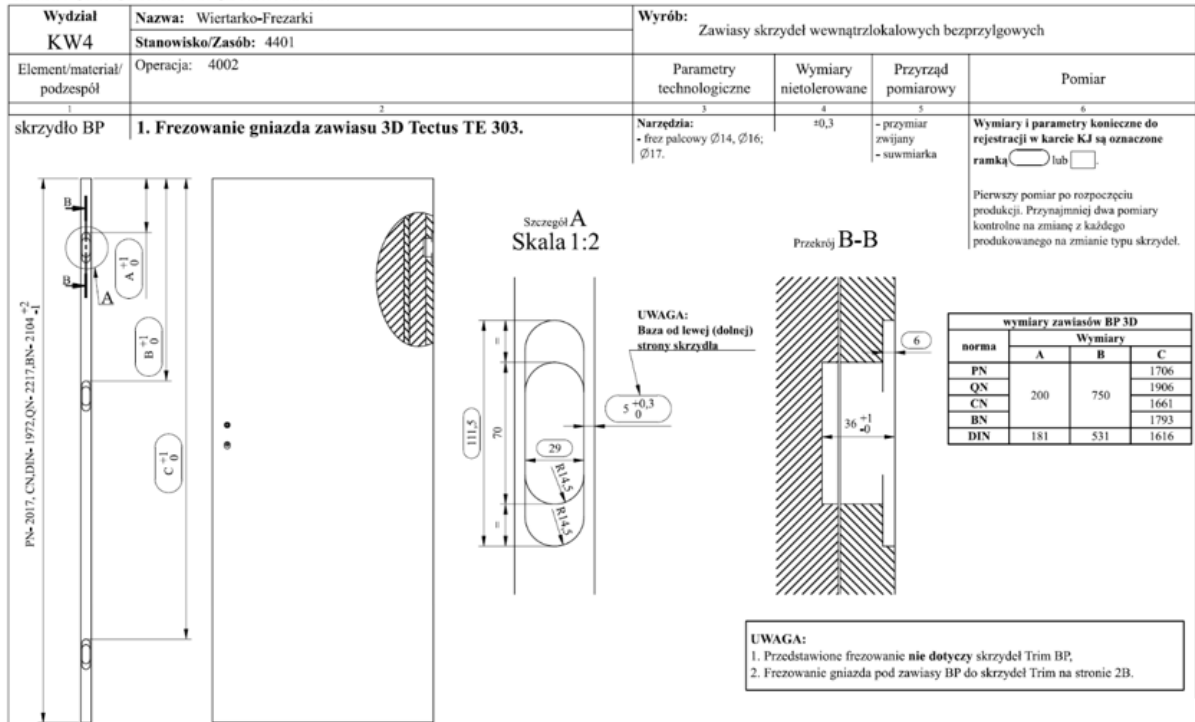


Ryc. 42. Umieszczenie żurawi wspomagających załadunek w strefie obróbki CNC i SMM

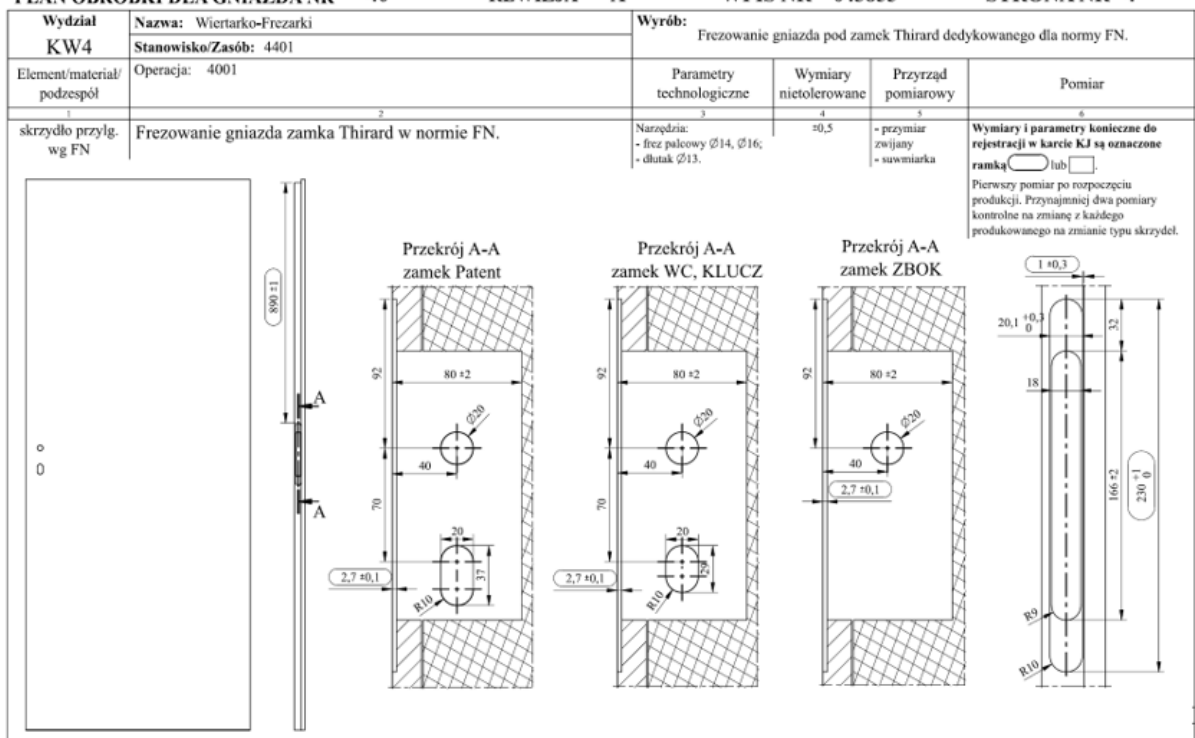


Ryc. 43. Wspomagający, przemysłowy manipulator załadunkowy (przed sekcją SMM na wyjściu z linii HOMAG)

Proces technologiczny rozpoczyna się na pierwszej sekcji, w której realizowana jest precyzyjna obróbka agregatami poziomymi i pionowymi (ryc. 44-46). Po spozycjonowaniu skrzydła na stacji wykonywane jest frezowanie czoła oraz kieszeni pod zamek wpuszczany. Głowica obróbcza porusza się wzdłuż osi X/Z, a parametry obróbcze regulowane są automatycznie według zapisanego programu obróbczego. Głowica pozioma wyposażona jest



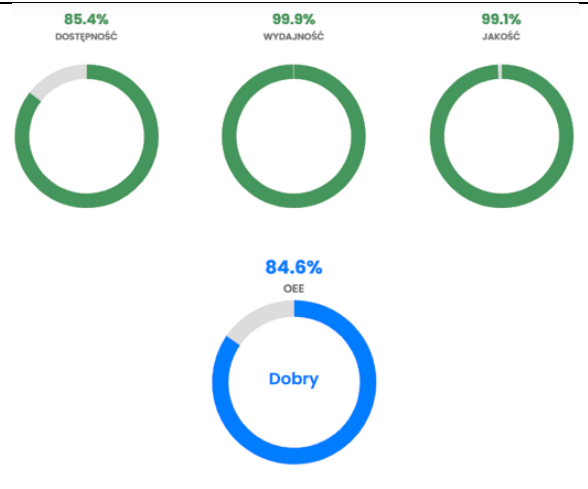
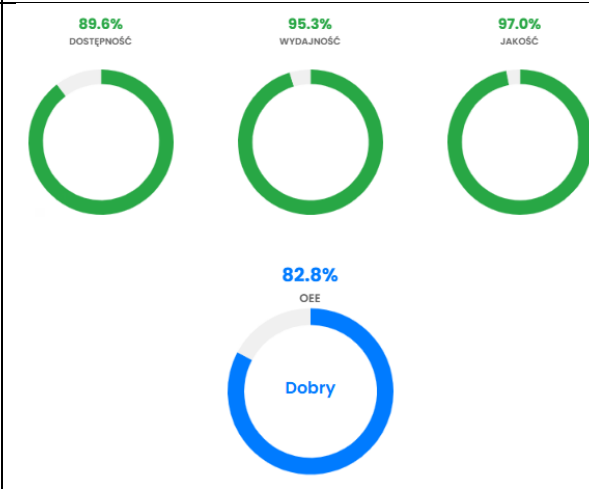
Ryc. 45. Dokumentacja operacji wiercenia otworów pod zawiasy w skrzydle bezprzylgowym na linii SMM (materiały firmy PORTA)



Ryc. 46. Dokumentacja operacji frezowania gniazda zamka na linii SMM (materiały firmy PORTA)

Wykorzystanie linii SMM zostało poddane ocenie po wykonaniu etapu 2. modernizacji. Przykładową ocenę procesu obróbki skrzydeł drzwiowych oraz montażu okuć z wykorzystaniem modułów maszynowych SMM w zakładzie w Kartoszyne w oparciu o wyznaczenie wskaźnika OEE dla dwóch wariantów serii produkcyjnych uwzględniających sposób obróbki przyłgi przedstawiono w tabeli 6.

Tabela. 6. Test OEE w warunkach produkcji skrzydeł przylgowych i bezprzylgowych

Wariant 1.	Wariant 2.
Skrzydło przylgowe	Skrzydło bezprzylgowe
Takt – 42 s	Takt – 50 s
Rozruch i wymiana narzędzi – 30 min	Rozruch – 30 min
Przerwa – 20 min	Przerwa – 20 min
Sprzątanie – 20 min	Sprzątanie – 20 min
Maksymalna wielkość produkcji na jedną zmianę – 585 szt.	Maksymalna wielkość produkcji na jedną zmianę – 492 szt.
	
Wskaźnik OEE na poziomie 84.6% jest powyżej średniej branżowej. Twoje procesy produkcyjne działają dobrze, ale wciąż istnieje przestrzeń do optymalizacji. Warto rozważyć dalsze usprawnienia w obszarze dostępności (85.4%).	Wskaźnik OEE na poziomie 82.8% jest powyżej średniej branżowej. Twoje procesy produkcyjne działają dobrze, ale wciąż istnieje przestrzeń do optymalizacji. Warto rozważyć dalsze usprawnienia w obszarze dostępności (85.4%).

Należy zaznaczyć, że obecnie wszystkie skrzydła pełne są okuwane w sposób automatyczny. Automat SMM montuje zamki i zawiasy we wcześniej wykonanych kieszeniach i otworach. W ten sposób tego typu drzwi będą mogły trafiać bezpośrednio na stanowisko pakowania, a czas procesu produkcji w odniesieniu do jednego wyrobu skraca się (ryc. 47.).



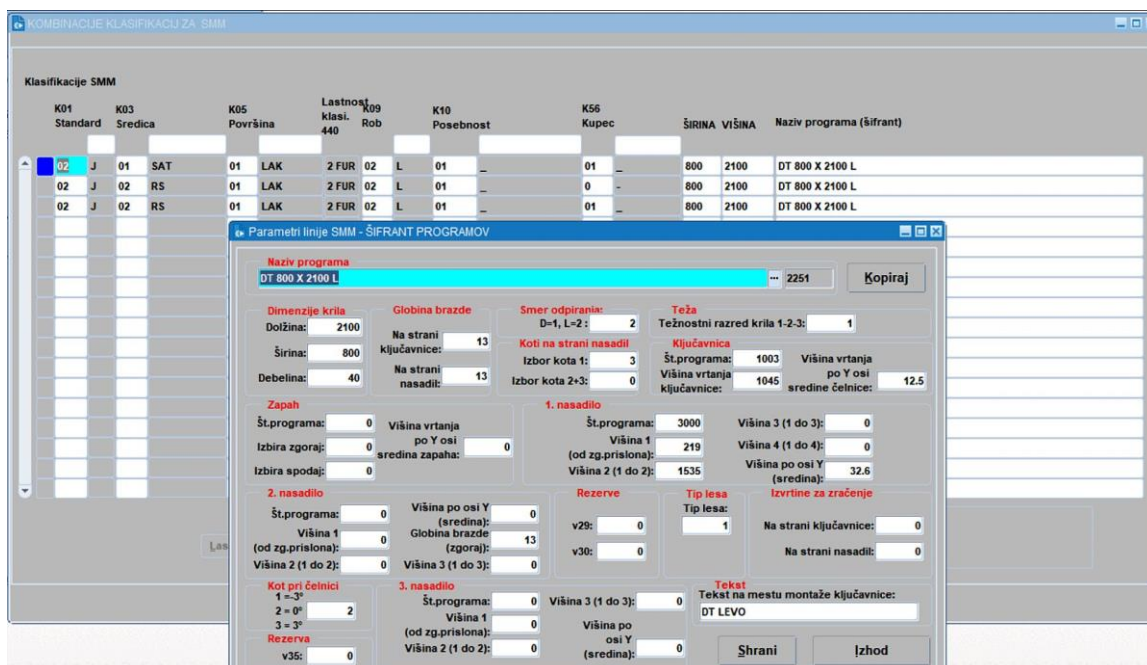
Ryc. 47. Automatyczna obróbka skrzydeł bezprzyłgowych w trybie potokowym

Parametryzacja modułów maszynowych SMM odbywa się z wykorzystaniem aplikacji Ninja. Aplikacja Ninja na maszynie SMM generuje listę z nazwami programów obróbczych, które przesyłane są do maszyny. Na wstępie operator wybiera odpowiedni szablon w aplikacji Ninja, po czym z użyciem ręcznego czytnika kodów skanuje indywidualne kody kreskowe przypisane do każdego skrzydła, tworząc jednocześnie listę programów obróbczych. Podobnie jak w procesie znakowania elementów, również w tym przypadku sam proces generowania poszczególnych parametrów i łączenia ich w pełne nazwy programu odbywa się na poziomie Translatora. Ninja pobiera tylko gotowe nazwy programów do swojej listy. Po opracowaniu pełnej listy operator inicjuje wysyłkę danych, podczas której we wskazanej lokalizacji tworzony jest plik tekstowy z nazwami programów. Oprogramowanie maszynowe SMM otwiera nadesłany plik i porównuje nazwy programów przesłanych z nazwami programów znajdujących się w bazie maszyny. Jeśli nazwy programów są identyczne, maszyna tworzy listę programów wyświetlaną na panelu operatora, w innym przypadku pojawia się komunikat o braku istnienia danego programu. Programy zapisane w bazie maszyny zawierają podstawowe parametry obróbcze takie jak wymiary skrzydła, wymiary przyłgi, stronę skrzydła, programy obróbki zamka i zawiasów oraz pozycje frezowania otworów na okucia. Programy obróbki otworów dla zamka i zawiasów są dodatkowo zapisane w komputerze maszyny i zawierają wszystkie wymiary niezbędne do przeprowadzenia operacji frezowania i wiercenia. Są one uruchamiane w momencie, kiedy ich nazwa znajdzie się w ogólnym programie obróbczym. Kiedy lista na panelu operatora jest gotowa i nie ma dodatkowych błędów,

pracownik linii łąduje pierwsze skrzydło do maszyny, po czym następuje obróbka według parametrów z pierwszego programu. Po opuszczeniu stacji obróbkowej przez pierwsze skrzydło pierwszy program znika z listy i maszyna jest gotowa do obróbki kolejnego skrzydła według drugiego programu (ryc. 48-51). Ciągłe monitorowanie wydajności linii SMM potwierdza negatywny wpływ wykonywania gniazd pod zawiasy w skrzydłach bezprzylgowych. W przypadku najbardziej złożonej konstrukcji wydajność wynosi jedynie 0.65 szt./min, co jest wielkością niezadowalającą, szczególnie w odniesieniu do wydajności modułów Bürkle i HOMAG (tab 7.). Dlatego w etapie 2. modernizacji zdecydowano o dalszej rozbudowie linii SMM o trzecią sekcję zgodnie z zasadami retrofitingu.

Tabela. 7. Wyniki testów wielkoseryjnych badania wydajności produkcyjnych linii SMM, lipiec 2024

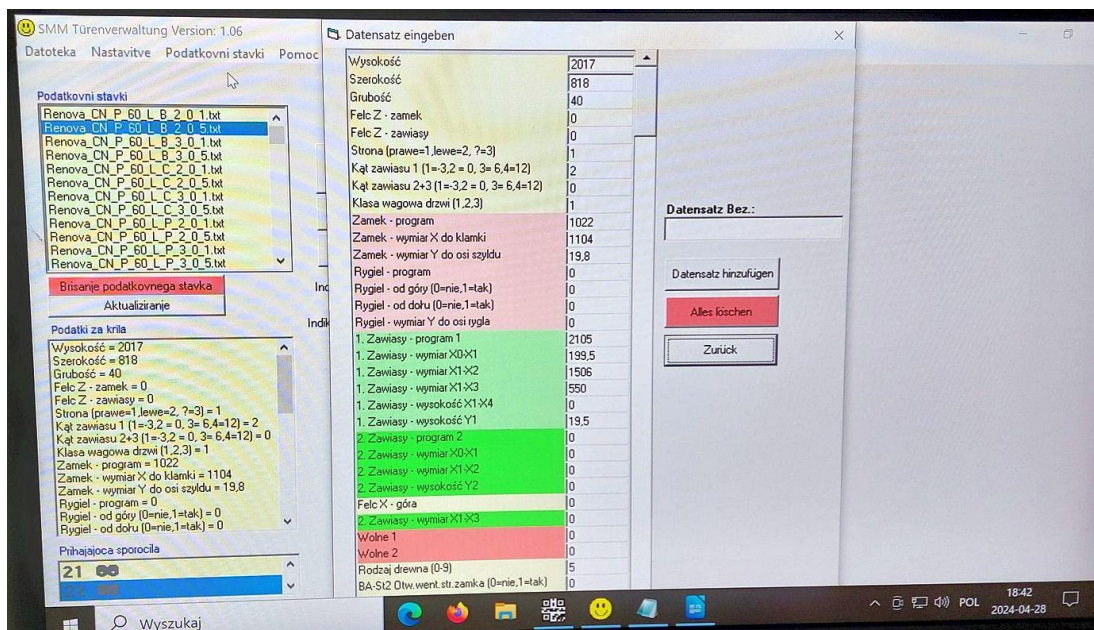
SMM					
Operacja	Stacja	Ilość drzwi	Czas	Czas cyklu	Wydajność
		[pcs]	[s]	[s]	[pcs/min]
Wyniki pomiarów, posuwa narzędzia 60%					
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe	1 stacja (klamka, klucz , szyld, kieszeń)	3	116	38,7	1,6
	2 stacja (3 zawiasy, bez wkręcania)	3	106	35,3	1,7
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe + wkręcanie	1 stacja (klamka, klucz , szyld, kieszeń)	3	116	38,7	1,6
	2 stacja (3 zawiasy, wkręcanie)	3	127	42,3	1,4
Zamek zwykły + 2 zaw. bezp.	1 stacja (klamka, klucz , szyld, kieszeń)	4	157	39,3	1,5
	2 stacja (2 zawiasy bezp.)	4	200	50,0	1,2
Zamek zwykły + 3 zaw. bezp.	1 stacja (klamka, klucz , szyld, kieszeń)	4	157	39,3	1,5
	2 stacja (3 zawiasy bezp.)	4	372	93,0	0,65



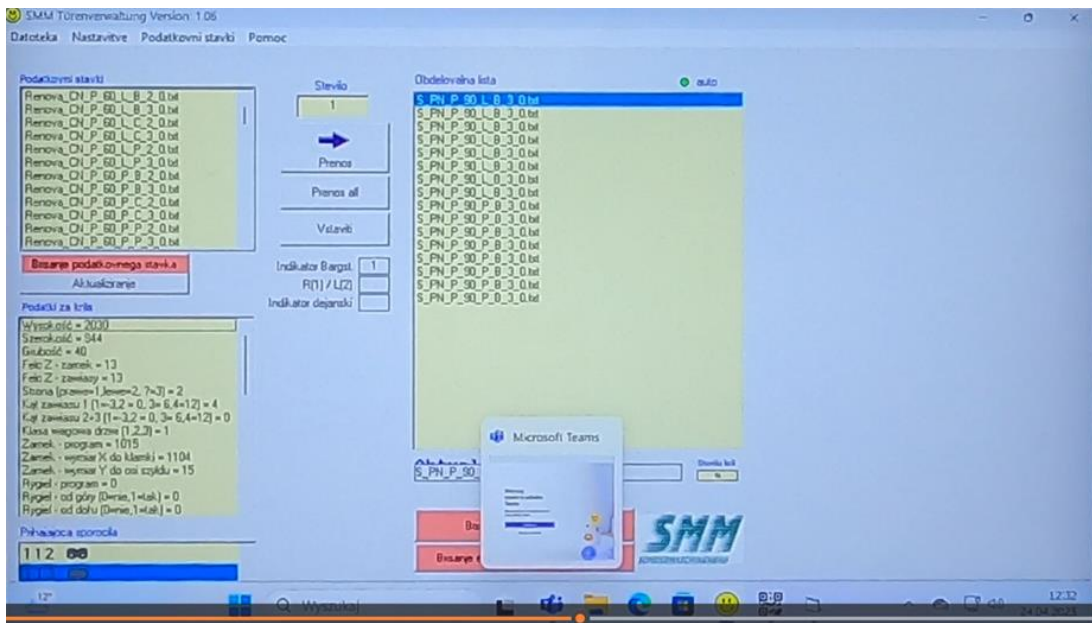
Ryc. 48. Pierwotne algorytmy sterujące linią SMM przed wdrożeniem aplikacji Ninja



Ryc. 49. Pierwotny panel sterowania modułem okuwania – montażu zamka i zawiasów



Ryc. 50. Predefiniowane algorytmy sterujące linią SMM po modernizacji



Ryc. 51. Dynamiczne parametryzowanie modułu SMM przez Translator

Retrofitting maszyny SMM polegał na dodaniu odrębnej stacji przystosowanej do frezowania kieszeni na zamek. Nowa, trzecia stacja również wykorzystywana jest w oparciu o sterowanie aplikacją NINJA. Działania te mają przynieść efekt w postaci wzrostu wydajności do min 3 szt./min. Dane takie pokazuje symulacja z wykorzystaniem prognozowanych czasów obróbki na linii SMM z wykorzystaniem trzech sekcji (tab. 8.).

Retrofitting maszyn produkcyjnych to proces modernizacji i ulepszania istniejących maszyn, przeprowadzany po to, aby dostosować je do nowych wymagań, standardów i technologii, bez konieczności zakupu nowego sprzętu. Obejmuje on dodawanie nowych funkcji, aktualizację oprogramowania, wymianę podzespołów i inne modyfikacje, mające na celu zwiększenie efektywności, wydajności, bezpieczeństwa i niezawodności maszyn. Działanie to ma wiele zalet, które sprzyjają zwiększaniu efektywności procesu produkcyjnego (MM Magazyn Przemysłowy, 2025). Zalety retrofittingu:

- oszczędność kosztów inwestycyjnych – dodawanie nowych funkcji jest często bardziej oszczędne niż zakupy nowych maszyn, szczególnie w odniesieniu do starszych, ale nadal sprawnych jednostek,
- krótki czas wdrażania zmian – proces modernizacji może być krótszy niż w przypadku zakupu i instalacji nowego sprzętu, dzięki wykorzystaniu znanych wcześniej rozwiązań technicznych,
- zwiększona wydajność – dodatkowe podzespoły i oprogramowanie w linii technologicznej mogą znacząco skrócić czasy wykonania operacji technologicznych,

- poprawa bezpieczeństwa – retrofitting powinien uwzględniać unowocześnienie systemów bezpieczeństwa, co przekłada się na mniejsze ryzyko wypadków i awarii,
- wydłużenie czasu użytkowania maszyn – pozwala na opóźnienie konieczności ich wymiany na nowe,
- dostosowanie do nowych wymagań – umożliwia dostosowanie maszyn do zmieniających się norm i standardów w produkcji,
- wsparcie zrównoważonego rozwoju – ograniczenie zużycia surowców i energii.

Działania w zakresie retrofitingu wdrożone w drugim etapie modernizacji zakładzie w Kartoszynie:

- wymiana układów sterowania modułów maszynowych,
- wymiana głównego komputera i systemu baz danych,
- zastąpienie przestarzałych sterowników PLC nowymi, bardziej zaawansowanymi technologicznie, co poprawia precyzję i elastyczność działania maszyn,
- modernizacja układów napędowych modułów maszynowych,
- wymiana tradycyjnych silników na serwomotory, co zwiększa efektywność energetyczną i precyzję ruchów,
- dodanie czujników i systemów monitoringu.

Tabela. 8. Prognozowana wydajność linii SMM po retrofitingu

Operacja	Stacja	Ilość drzwi	Czas	Czas cyklu	Wydajność
		[pcs]	[s]	[s]	[pcs/min]
Wyniki pomiarów, posuwa narzędzia ograniczony do 60%					
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe	1 stacja (klamka, klucz, szyld, kieszeń)	3	116	38,7	1,6
	2 stacja (3 zawiasy, bez wkręcania)	3	106	35,3	1,7
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe + wkręcanie	1 stacja (klamka, klucz, szyld, kieszeń)	3	116	38,7	1,6
	2 stacja (3 zawiasy, wkręcanie)	3	127	42,3	1,4
Zamek zwykły + 2 zaw. Bezp	1 stacja (klamka, klucz, szyld, kieszeń)	4	157	39,3	1,5
	2 stacja (2 zawiasy bezp.)	4	200	50,0	1,2
SYMULACJA (dodanie odrębnej stacji na kieszeń zamka)					
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			24,0	2,5
	2 stacja (kieszeń)			23,0	2,6
	3 stacja (3 zawiasy, bez wkręcania)			27,0	2,2
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe + wkręcanie	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			24,0	2,5
	2 stacja (kieszeń)			23,0	2,6
	3 stacja (3 zawiasy, wkręcanie)			42,3	1,4
Zamek zwykły + 2 zaw. Bezp	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			24,0	2,5
	2 stacja (kieszeń)			23,0	2,6
	3 stacja (2 zawiasy bezp.)			50,0	1,2
Zamek zwykły + 3 zaw. Bezp	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			24,0	2,5
	2 stacja (kieszeń)			23,0	2,6
	3 stacja (3 zawiasy bezp.)			90,0	0,7
SYMULACJA (dodanie odrębnej stacji na kieszeń zamka+ optymalizacja czasów, która zakłada 30% poprawę czasu obróbki)					
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			19,20	3,1
	2 stacja (kieszeń)			18,50	3,2
	3 stacja (3 zawiasy, bez wkręcania)			21,30	2,8
Zamek zwykły + 3 zaw czopowe + wkręcanie	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			19,20	3,1
	2 stacja (kieszeń)			18,50	3,2
	3 stacja (3 zawiasy, wkręcanie)			32,03	1,9
Zamek zwykły + 2 zaw. Bezp	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			19,20	3,1
	2 stacja (kieszeń)			18,50	3,2
	3 stacja (2 zawiasy bezp.)			37,40	1,2
Zamek zwykły + 3 zaw. Bezp	1 stacja (klamka, klucz, szyld)			19,20	3,1
	2 stacja (kieszeń)			18,50	3,2
	3 stacja (3 zawiasy bezp.)			65,40	0,9

W kolejnym działaniu w ramach etapu 2. modernizacji zakładu w Karoszynie w celu zapewnienia pożądanego procesu produkcji skrzydeł płaskich zgodnie z aktualnymi trendami wzorniczymi dokonano w 2024 roku zakupu używanego centrum obróbczego BIESSE – typ BIESSE ROVER C6 i integracji tej maszyny z wewnątrzzakładowym systemem Translator (ryc. 52-54). Seria maszyn BIESSE ROVER C przeznaczona jest do ciężkiej obróbki i pozwala na obróbkę elementów o dużych gabarytach. Najważniejsze parametry techniczne tej obrabiarki obejmują:

- obszar roboczy osi X: 6200 mm,
- obszar roboczy osi Y: 1935 mm,
- moc wrzeciona głównego: 18 kW,
- ilość osi sterowanych: 5 osi,
- liczba wrzecion wiertarskich: 9,

- liczba pozycji narzędzi: 45.



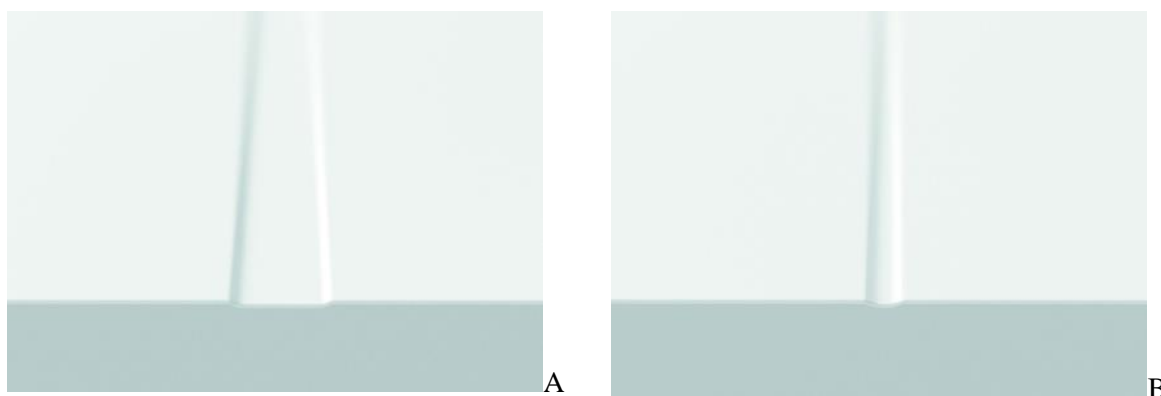
Ryc. 52. Centrum CNC 5-osiowe BIESSE zintegrowane z systemem Translator



Ryc. 53. Centrum CNC w zakładzie w Kartoszynie z półproduktami przygotowanymi do frezowania wzorów na szerokiej powierzchni skrzydła oraz wykonywania podcięć wentylacyjnych

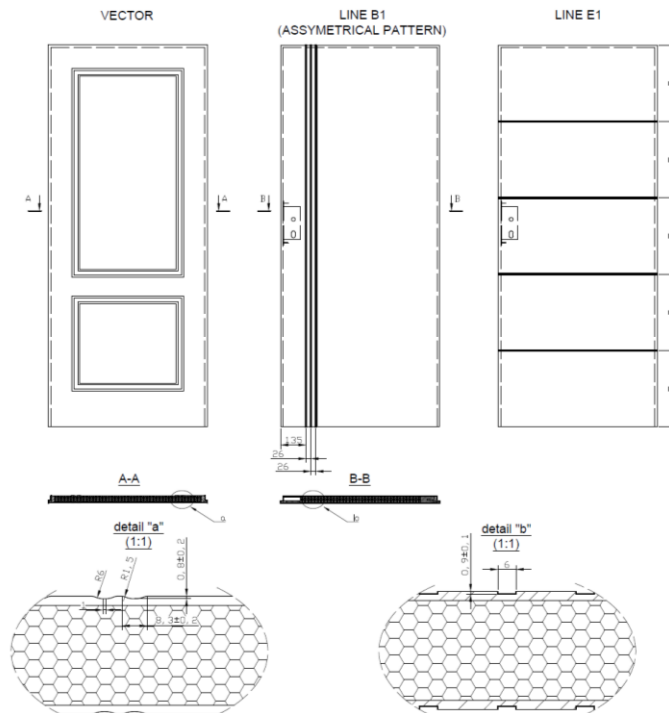


Ryc. 54. Pulpit sterowniczy CNC ROVER

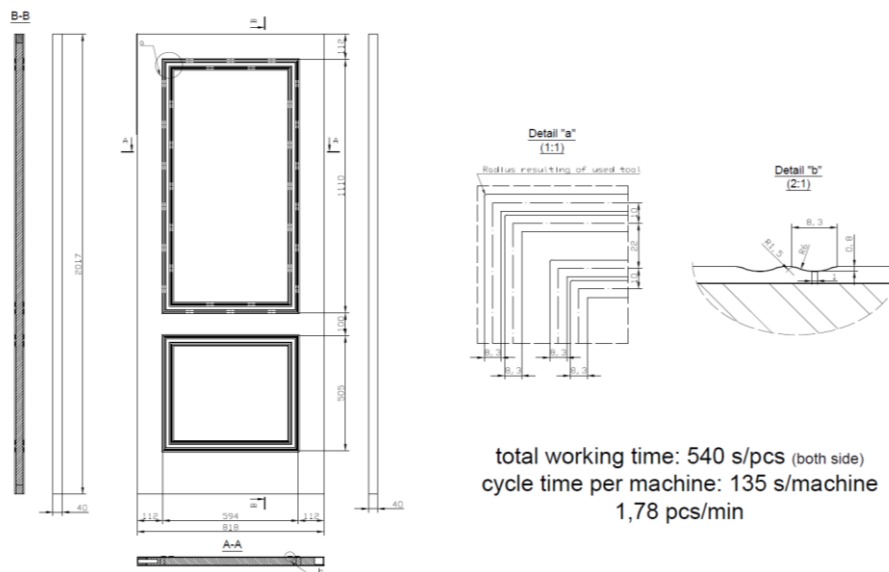


Ryc. 55. Frezowanie ozdobne na powierzchni skrzydła Porta VECTOR (A) i Porta TRIM (B)

Od kilku lat udział w sprzedaży grupy PORTA skrzydeł z ozdobnymi rowkami dekoracyjnymi na szerokiej powierzchni skrzydła drzwiowego ciągle rośnie (ryc. 55.). Obecnie ten asortyment jest to ponad 6% całej produkcji. Dlatego badanie wydajności tych operacji (ryc. 56 i 57) było przedmiotem szczególnego zainteresowania. Przeprowadzone testy pozwoliły na określenie czasów wykonania tych operacji i określenia wydajności w odniesieniu do różnych typów skrzydeł drzwiowych (tab. 9 i 10).



Ryc. 56. Przykładowe frezowania na szerokiej powierzchni skrzydła (materiały firmy PORTA)



Ryc. 57. Plan frezowania na szerokiej powierzchni skrzydła Porta VECTOR (materiały firmy PORTA)

Tabela 9. Aktualne średnie czasy operacji frezowania profili w szerokich powierzchniach skrzydeł – czerwiec 2025 r.

Model					
	Ilość	Długość frezowanego wzoru na 1 stronę (844x2030mm)	wejścia narzędzia	Czas obróbki na stronę [s]	Suma
Vector	[szt]/rok	[m]		[s]	[min/rok]
T	15894	0	0	0,00	0,00
A	970	4,06	2	60,45	977,28
B	1 876	6,09	3	80,68	2522,44
C	316	3,376	4	65,32	344,02
E	9 624	3,376	4	65,32	10477,33
J	216	12,25	25	236,88	852,75
L	2	6,5	4	88,75	2,96
M	2	6,62	4	89,65	2,99
N	0	4,768	11	110,76	0,00
U	5 997	17,82	4	173,65	17356,32
V	7 007	21,1	8	218,25	25487,96
W	859	7,03	7	107,73	1542,26
Suma:	42 763				59 566,30
Trim					
CO	1 097	13,72	8	162,90	2978,36
T1	12 302	6,72	8	110,40	22635,68
1J	3 947	12,25	25	236,88	15582,43
1W	17 682	7,03	7	107,73	31746,56
Suma:	35 028				72 943,02

Tabela 10. Wydajność centrum frezarskiego – czerwiec 2025

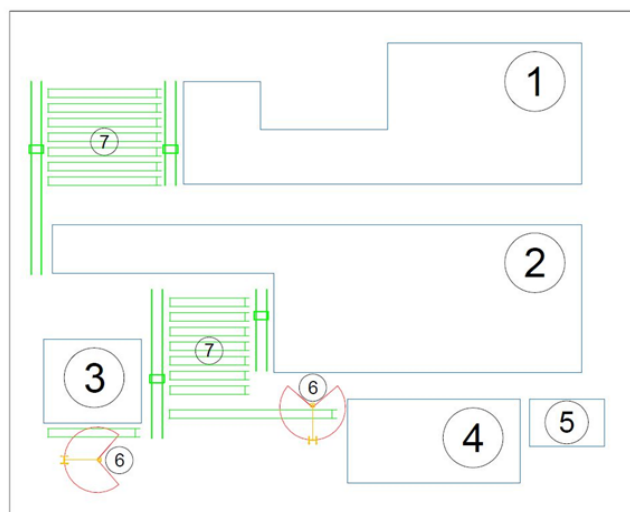
Doors	Czas operacji [s]								Całkowity czas obróbki [s]	Czas na maszynę [s/maszyna]	Wydajność na całą linię [pcs/min]
	Załadunek/rozładunek	Frezowanie wzoru	Frezowanie zawiasów bezprzygowych 3szt.	Wiercenie zawiasów czopowych 3szt.	Frezowanie kleszeni zamka	Frezowanie przeszklenia	Frezowanie podcięcia wentylacyjnego	Przebrojenie			
Representative door No. 1	10	530	-	-	-	-	-	-	540	135	1,78
Representative door No. 2	10	530	45	-	-	-	-	-	585	146,25	1,64
Representative door No. 3	10	-	-	20	40	116	40	20	246	61,5	5,90

Po zakończeniu działań w etapie 2. modernizacji zakładu w Kartoszynie mogą być produkowane skrzydła drzwiowe przygotowane do okuwania. W przypadku skrzydeł wykończonych lakierowaniem, muszą one być przekazane do zakładu w Bolszewie, celem przeprowadzenia obróbki wykończającej. W przypadku zaś skrzydeł laminowanych otrzymuje się produkt gotowy do okuwania, pakowania i przekazania do magazynu sprzedażowego. Operacje te również są wykonywane w zakładzie w Bolszewie. Ogólny zarys organizacji przebiegu procesu technologicznego pokazano na ryc. 58. Kolejna rycina (ryc. 59.) pokazuje makietę przestrzenną aktualnego stanu fabryki w Kartoszynie. Na dalszych rycinach (ryc. 60-62) pokazano wyodrębnione (zaznaczone kolorem niebieskim) poszczególne moduły maszynowe i linie technologiczne. Przemieszczanie powstającego wyrobu w czasie jego produkcji przez wszystkie systemy produkcyjne zakładu zobrazowano na ryc. 63. Rzeczywistą

wydajność osiągniętą w efekcie zakończenia etapu 2. modernizacji w odniesieniu do poszczególnych wyrobów przedstawiono w tabeli 11.

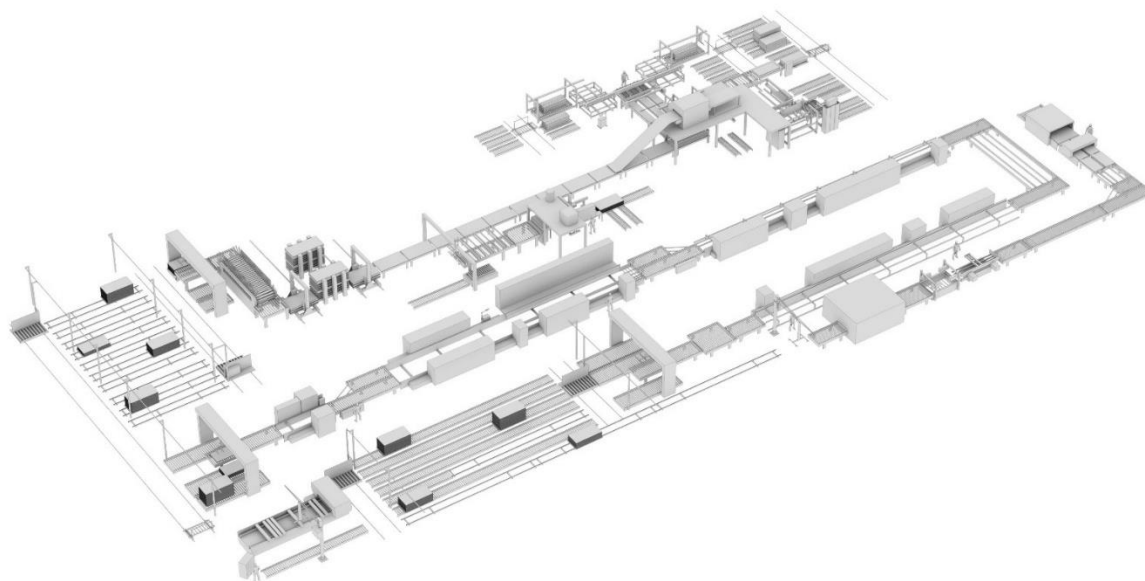
Tabela 11. Aktualna wydajność modułów maszynowych w zakładzie w Kartoszynie; czerwiec 2025 r.

Typ	Model	Zawiasy	Burkle	Homag	Rover- CNC przelotowe	SMM okuwanie zamek, zawias, okuwanie	Wydajność
			[szt/min]	[szt/min]	[szt/min]	[szt/min]	
Okleinowane	pełne	2 zawiasy czopowe	4	7		4	4,00
		3 zawiasy czopowe	4	7		3	3,00
		2 zawiasy bezprzylgowe	4	7		2	2,00
		3 zawiasy bezprzylgowe	4	7		1,5	1,50
Lakierowane	pełne Vector T Minimax P,M,D,L Hide	2 zawiasy czopowe	4	7		4	2,00
		3 zawiasy czopowe	4	7		4	2,00
		2 zawiasy bezprzylgowe	4	7		2	2,00
		3 zawiasy bezprzylgowe	4	7		1,5	1,50
	frezowane Vector A,B,C,E,W Factor 0,1,2,3,4 Art. Deco 1,2,4 Signa Premium Trim 1A,1B,1C,1D,1W,T1,T2,T3,T4 Desire 2,3,4,5,6	2 zawiasy czopowe	4	7	1,00	4	1,00
		3 zawiasy czopowe	4	7	1,00	3	1,00
		2 zawiasy bezprzylgowe	4	7	1,00	2	1,00
		3 zawiasy bezprzylgowe	4	7	1,00	1,5	1,00
	frezowane Vector J,L,M,U,V,X Factor 5,6 Oslo Minimax 5,6 Art. Deco 3 Trim 1J,C0	2 zawiasy czopowe	4	7	0,47	4	0,47
		3 zawiasy czopowe	4	7	0,47	3	0,47
		2 zawiasy bezprzylgowe	4	7	0,47	2	0,47
		3 zawiasy bezprzylgowe	4	7	0,47	1,5	0,47

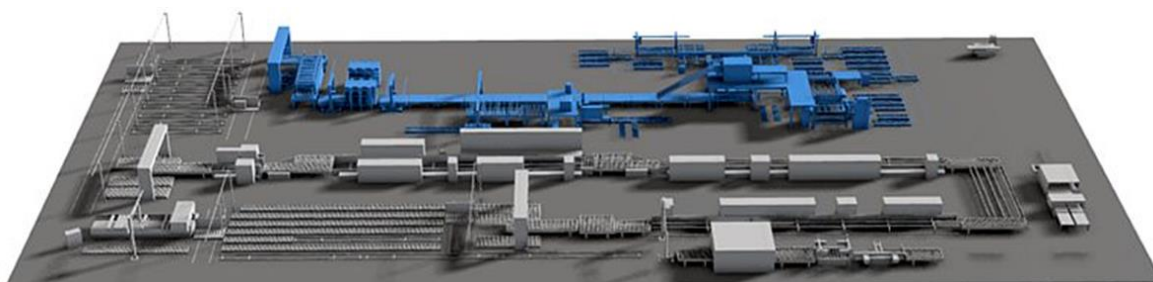


1. Linia prasowania skrzydeł
2. Linia formatowania i oklejania wąskich płaszczyzn
3. Centrum obróbkowe CNC dwustanowiskowe
4. Linia do frezowania kieszeni pod zamki i zawiasy wraz z automatycznym okuwaniem
5. Kontrola jakości
6. Żurawie kolumnowe z ramieniem obrotowym
7. System transportowy

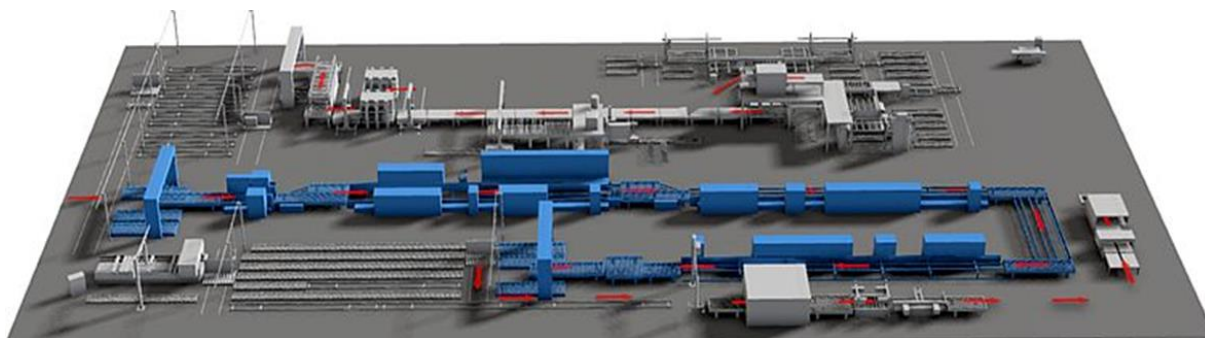
Ryc. 58. Wdrożony proces technologiczny; czerwiec 2025 r.



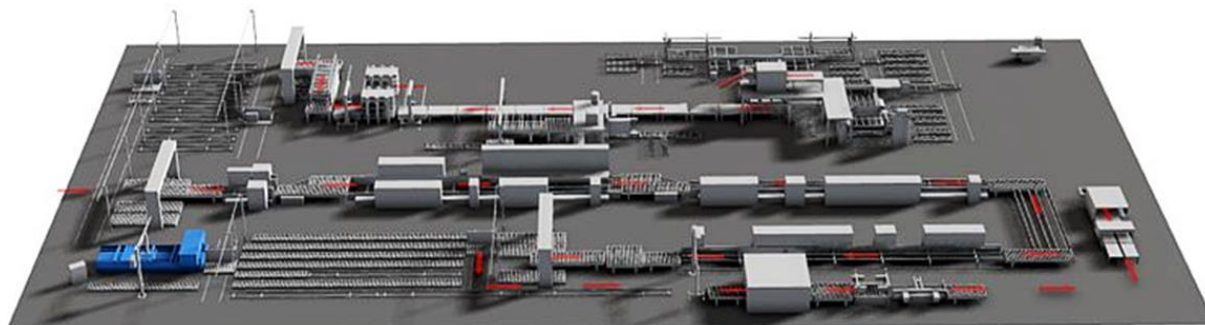
Ryc. 59. Makieta 3D wdrożonego procesu technologicznego, czerwiec 2025 r.



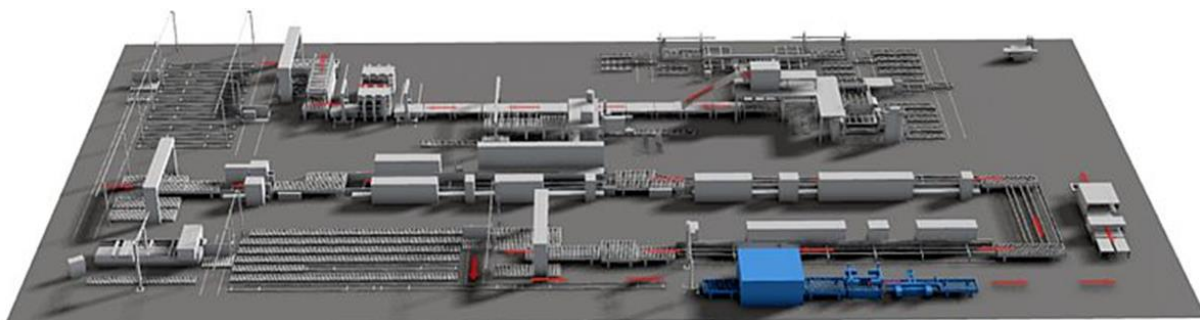
Ryc. 59. Linia Bürkle z nowym sterowaniem i systemem etykietowania produktów



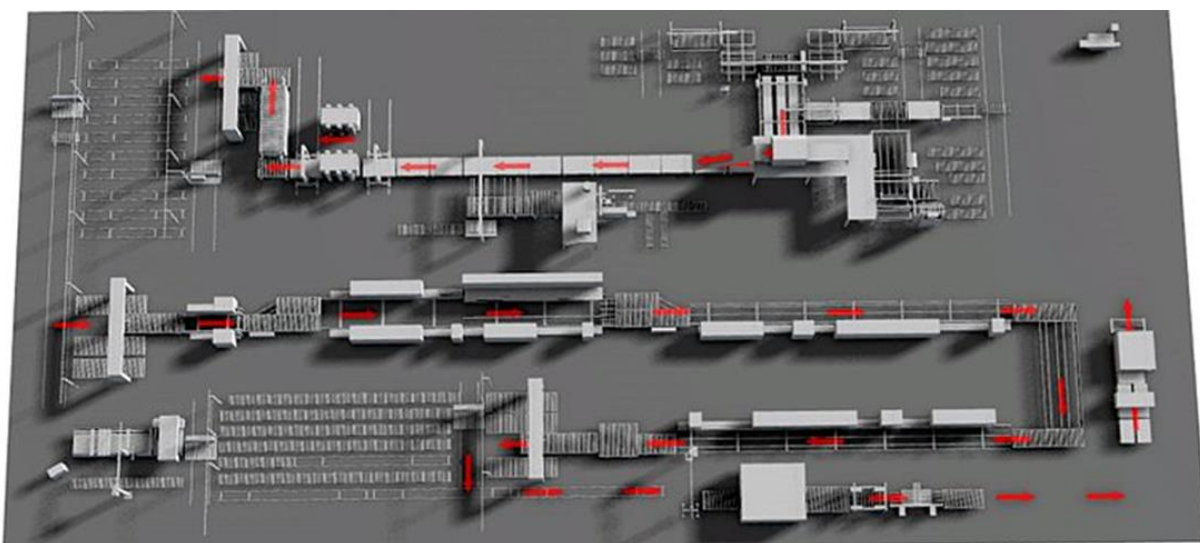
Ryc. 60. Linia HOMAG z nowymi aplikacjami i systemem etykietowania produktów



Ryc. 61. Pięciosiowe centrum CNC BIESSE Rover



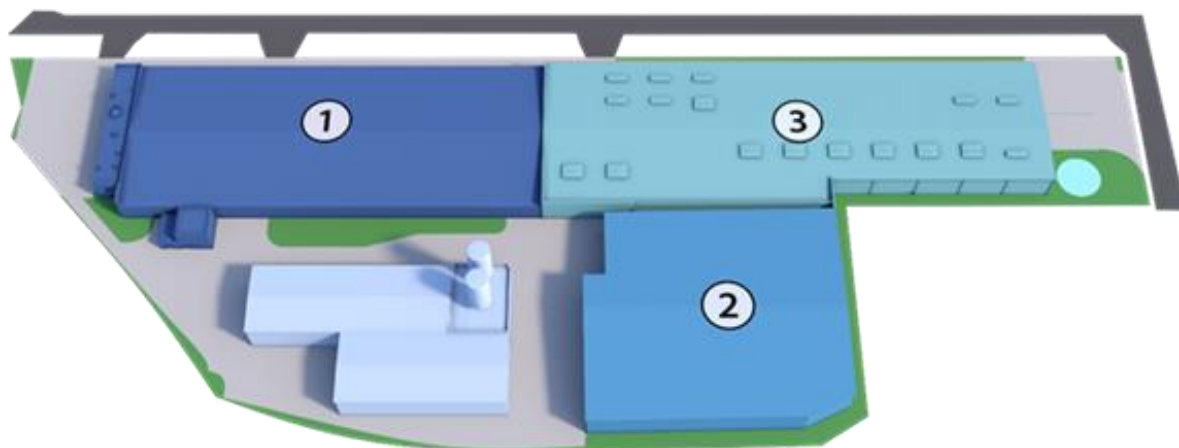
Ryc. 62. Linia SMM z nowymi aplikacjami i rozbudową dla wysokowydajnego systemu przygotowywania otworów i montażu zamków i zawiasów



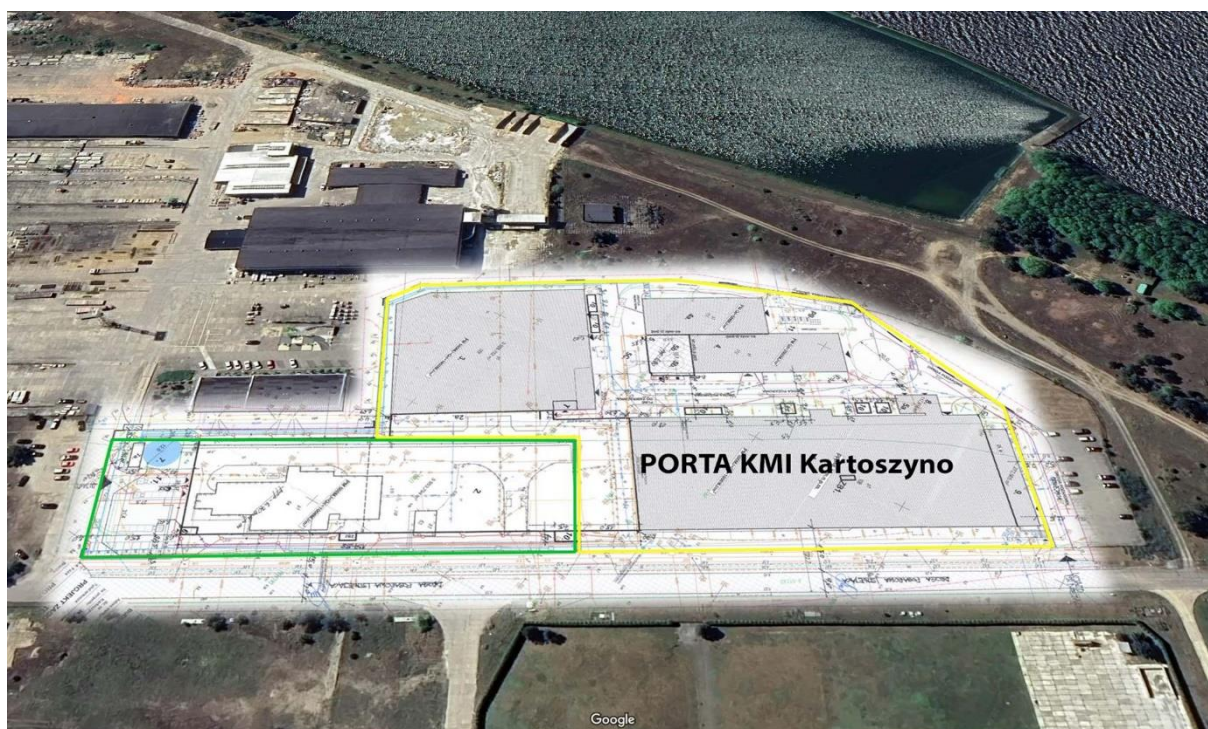
Ryc. 63. Diagram przemieszczania wyrobu w trakcie produkcji

6.3.4. Etap 3

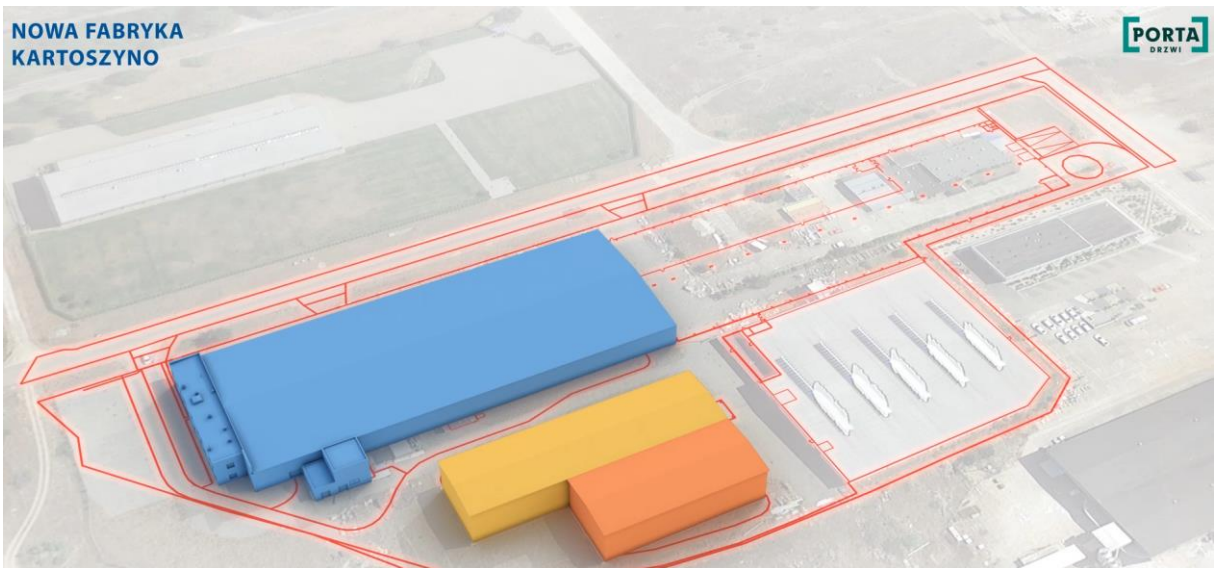
Planowany etap 3. to fizyczna rozbudowa zakładu na dodatkowo zakupionej, przylegającej działce przemysłowej, umożliwiająca poszerzenie programu produkcyjnego o kolejne rodzaje produktów i zastosowanie najnowocześniejszej technologii rozkroju i oklejania płyt, a także lakierowania ekologicznymi farbami wodnymi w technologii UV LED. Zaplanowana jest do tego celu budowa hali na tej właśnie pozyskanej działce przy granicy istniejącego zakładu. Koncepcję planu rozbudowy zakładu zaprezentowano na ryc. 64-71.



Ryc. 64. Koncepcja rozbudowy zakładu Kartozyń w etapie 3;
 1 – aktualnie wdrożona technologia w oparciu o maszyny HOMAG, Bürkle, BIESSE i SMM;
 2 – zaprojektowane centrum rozkroju i formatyzowania i oklejania; 3 – projektowana lakiernia oraz dodatkowo dwa centra przelotowe CNC i centrum okuwania skrzydeł



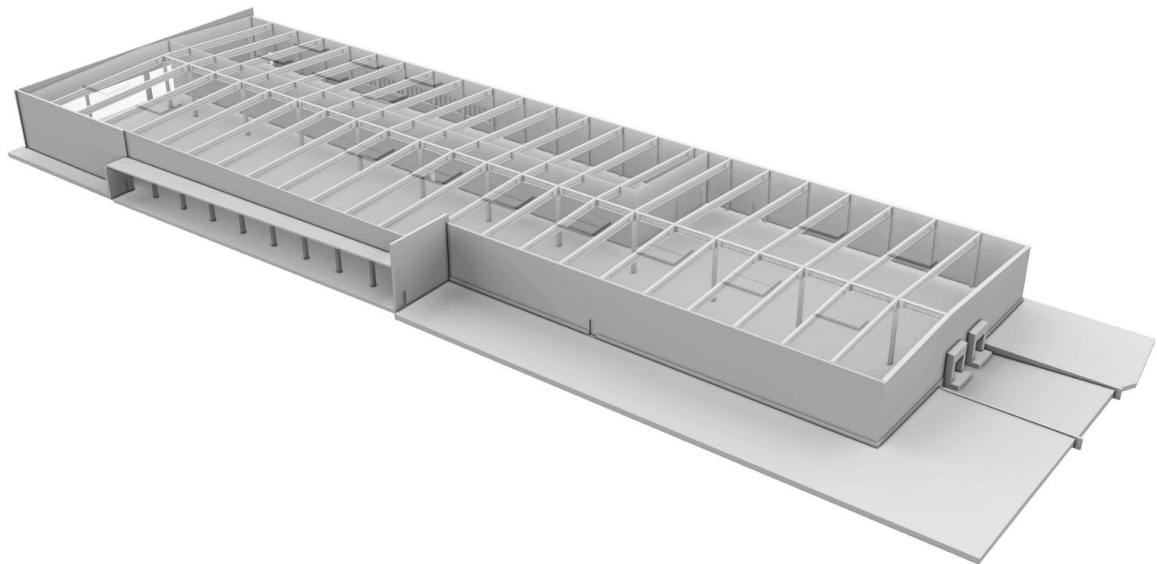
Ryc. 65. Zakład Kartozyń (żółty prostokąt) i zakupiony teren inwestycyjny (zielony prostokąt) maj 2022
 (opracowanie własne z wykorzystaniem zdjęcia z maps.google.com)



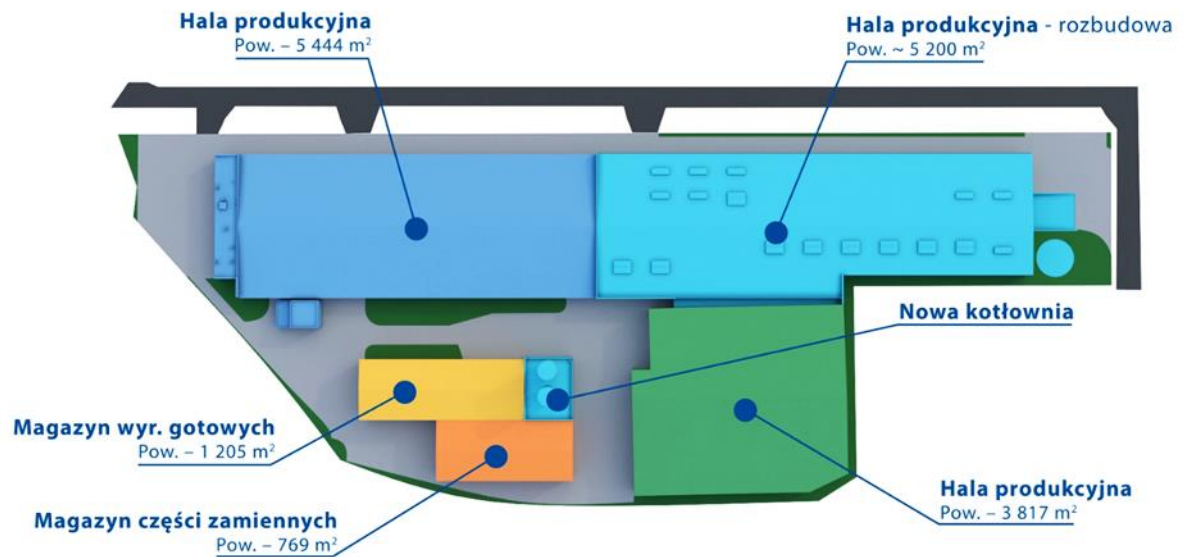
Ryc. 66. Koncepcja rozbudowy zakładu na lata 2025-2027



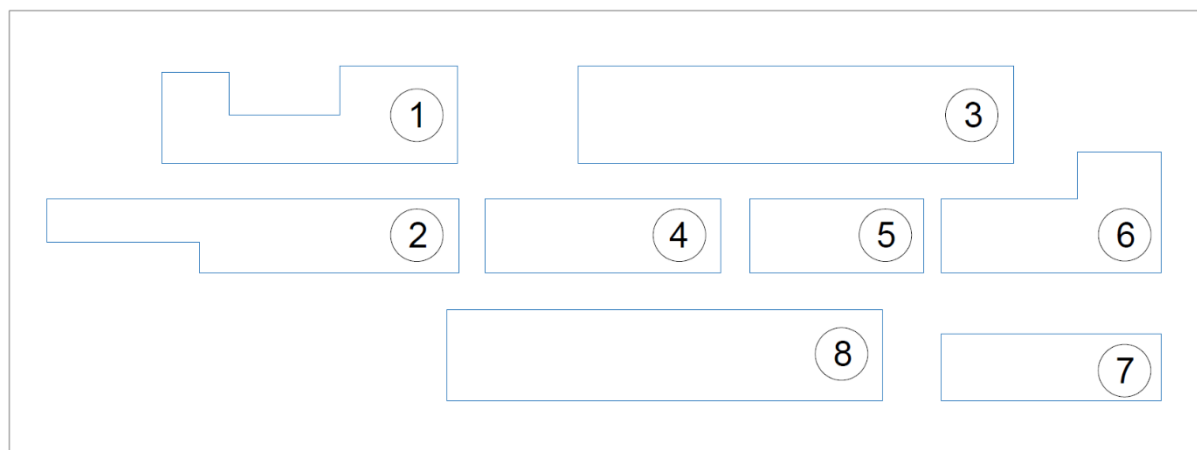
Ryc. 67. Przygotowanie terenu na działce pozyskanej pod budowę hali w etapie 3. czerwiec 2025



Ryc. 68. Bryła konstrukcji nowej hali produkcyjnej zaprojektowana do budowy w etapie 3. z wydzieloną strefą na lakiernię



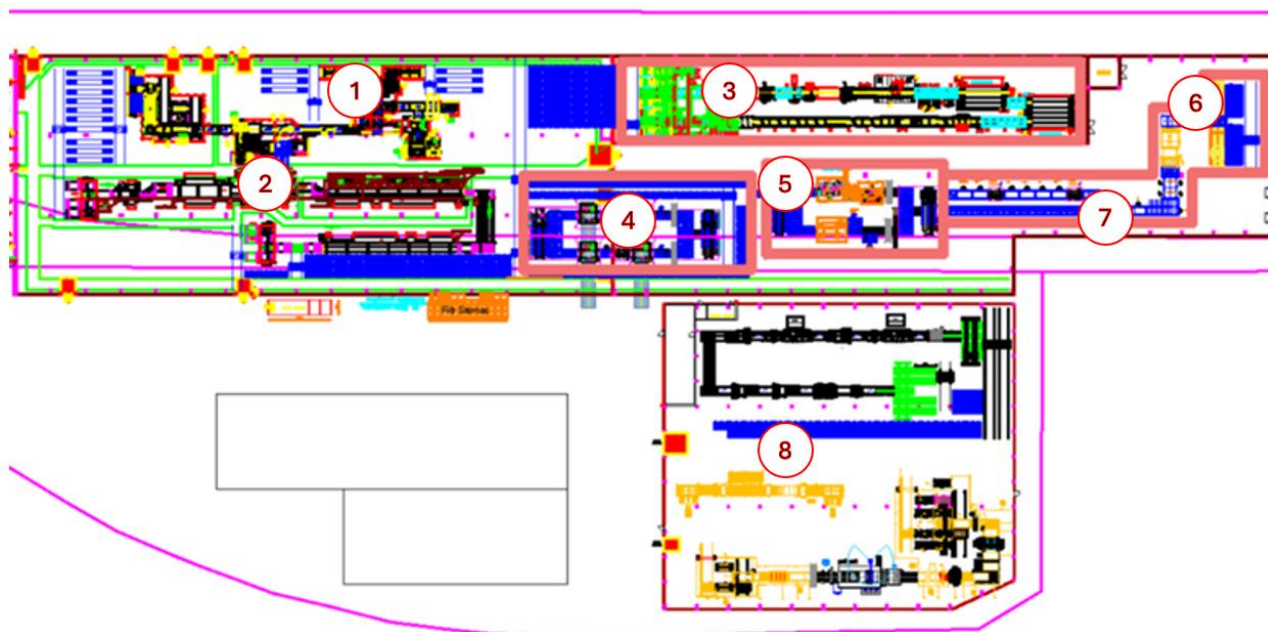
Ryc. 69. Koncepcja rozbudowy zakładu w latach 2025-2028 wraz z budową kotłowni TPO



1. Linia prasowania skrzydeł
2. Linia formatowania i oklejania wąskich płaszczyzn
3. Linia lakiernicza polewarkowa
4. Sekcja CNC

5. Linia do frezowania kieszeni pod zamki i zawiasy wraz z automatycznym okuwaniem
6. Linia do pakowania wyrobów
7. Sekcja montażu przeszkleń
8. Linia do kaszerowania płyt

Ryc. 70. Docelowy schemat technologiczny na zakończenie etapu 3.



Ryc. 71. Stan technologii planowany na rok 2027; rozruch linii i testy integracji z ERP i MES (opracowanie własne z wykorzystaniem materiałów firmy PORTA)

Przedmiotem planowanego przedsięwzięcia w etapie 3. jest rozbudowa istniejącego zakładu produkcyjnego z istniejącymi halami produkcyjno-magazynowymi o łącznej powierzchni istniejących obiektów budowlanych około 11136 m² wraz z infrastrukturą instalacji i przyłączy zewnętrznych i wewnętrznych, drogami i placami manewrowymi. Otrzymano już pozwolenie na budowę wraz z kartą informacyjną przedsięwzięcia (KIP). Działanie to wymagało dodatkowej analizy środowiskowej z uwagi na projekt nowej kotłowni TPO (termicznego przekształcania odpadów). Obecnie rozpoczęto już przygotowanie gruntów

pod budowę nowego obiektu produkcyjnego o powierzchni zabudowy do 7000 m² wraz z rampami załadunkowymi i infrastrukturą towarzyszącą, m.in. wewnętrznymi i zewnętrznymi sieciami i przyłączami wodno-kanalizacyjnymi, energetycznymi, elektrycznymi, siecią kanalizacji deszczowej, infrastruktury teleinformatycznej, przeciwpożarowej, wentylacyjnej – w tym wentylacji technologicznej oraz pełnej infrastruktury instalacji ciepłej wraz z dwoma źródłami ciepłą ze spalania paliw stałych w postaci dwóch lub trzech kotłów wodnych przeznaczonych do termicznego przetwarzania odpadów drzewnych o znamionowej mocy do 1,5 MW, do 2,5 MW i do 3,0 MW oraz łącznej nominalnej mocy cieplnej do 8,5 MW. Odrębny obiekt kotłowni będzie wydzielony z dotychczasowej hali magazynowej po jej częściowej przebudowie – powierzchnia zabudowy do 400 m², maksymalna wysokości obiektu budowlanego do 10 m. Będzie to obiekt o konstrukcji stalowej, murowanej lub żelbetowej z przewidywanym posadowieniem na dachu dwóch silosów magazynowych odpadów o łącznej pojemności ok. 600 m³ i wysokości ok. 12 m od poziomu posadowienia i podstawy silosów o konstrukcji stalowej lub żelbetowej. Realizacja etapu 3. wymaga budowy nowej hali produkcyjnej w konstrukcji żelbetowej lub stalowej, o łącznej powierzchni zabudowy ok. 7000 m² i maksymalnej wysokości obiektu budowlanego do 10 m. W zakresie prac budowlanych niezbędne będzie wykonanie prac związanych z wykonaniem wykopów fundamentowych, przeprowadzenie niwelacji terenu wokół nowych obiektów oraz równoczesne wykonanie uzbrojenia terenu inwestycji w podziemne instalacje i przyłącza wodociągowe, ciepłe, kanalizacyjne i energetyczne wraz z ewentualną stacją transformatorową. Następnie przeprowadzone zostaną prace budowlane związane z budową hali i obiektów budowlanych, w tym budynku kotłowni.

W ostatniej fazie inwestycji planowanej na lata 2027-2028 wykonany zostanie montaż linii technologicznych i urządzeń produkcyjnych w częściach produkcyjnych, montaż niezbędnego wyposażenia oraz montaż wewnętrznych instalacji energetycznych, przeciwpożarowych, ewakuacyjnych i teleinformatycznych oraz montaż niezbędnych zewnętrznych instalacji towarzyszących, w tym instalacji odciągowych, montaż zbiorników i silosów magazynowych na odpady oraz budowa miejsc magazynowania odpadów – w tym szczelnych i zamkniętych zbiorników na płynne odpady i szlamy z mycia urządzeń lakierniczych o konstrukcji z tworzywa sztucznego lub betonu o pojemności do 30 m³. Odpady te będą przekazywane uprawnionym odbiorcom. Energia cieplna dla potrzeb CO i CWU pozyskiwana będzie z planowanych źródeł energii o łącznej mocy nominalnej do 8,5 MW, czyli

z 2 lub 3 kotłów zasilanych paliwem stałym – odpadami drzewnymi, które będą powstawały na podczas produkcji drzwi z materiałów drzewnych.

Sam proces produkcyjny prowadzony w zakładzie po zakończeniu prac w etapie 3. opierać się będzie głównie o wielkogabarytowe płyty drewnopochodne jako główny surowiec produkcyjny. Transportowane one będą do hali produkcyjnej, gdzie na wysoko specjalistycznych maszynach i zautomatyzowanym procesie produkcji nastąpi ich rozkrój na formatki niezbędne do produkcji danego modelu skrzydeł drzwiowych. Poszczególne elementy będą następnie przycinane do wymaganego wymiaru i transportowane do kolejnych sekcji, gdzie nastąpi ich dalsza obróbka: frezowanie wąskich powierzchni, przycinanie elementów, maszynowe oklejanie wąskich powierzchni oraz automatyczne wiercenie otworów na elementy łączące i okucia. Szerokie powierzchnie będą oklejane folią finisz, PP, PVC i laminatem CPL. Przygotowane w poszczególnych częściach zakładu elementy skrzydeł poddawane będą procesom sklejana w odpowiednie konstrukcje warstwowe. Do klejenia i oklejania stosowane będą wyroby wodne lub topliwe, takie jak Kleiberit PUR, Synthos Woodmax, Jowacoll, Rakoll SK, Mitol, Termokol i Dorus Q, Selena, Libracol. Procesy okleinowania i sklejana będą prowadzone w większości przypadków na ciepło klejami termotopliwymi z zastosowaniem m.in. termoutwardzalnego kleju poliuretanowego Jowat lub Libracol (lub ich substytutów) do klejenia okładzin do elementów skrzydeł drzwiowych oraz na zimno klejami wodnymi octanowinyłowymi. Ostatnią czynnością związaną z obróbką jest nawiercenie otworów pod zawiasy i frezowanie gniazda pod zamek, co wykonywane będzie na zintegrowanych centrach obróbczych CNC frezująco-wiercących. Następnym etapem produkcyjnym będzie wyposażenie skrzydeł w zawiasy i zamek oraz proces pakowania wyrobów gotowych. Ostatnim etapem produkcyjnym będzie automatyczny lub ręczny montaż w niektórych wyrobach opcjonalnego przeszklenia, które dostarczane będzie do zakładu od dostawców szkła. Produkty gotowe składowane będą na paletach w obrębie magazynowych pól odkładczych wewnątrz obiektów.

W ramach inwestycji w celu maksymalnego usprawnienia procesów produkcyjnych zaplanowano montaż i budowę linii technologicznych oraz maszyn i urządzeń produkcyjnych takich jak: systemy uszlachetniania płyt metodą kaszerowania, pilarki tarczowe panelowe, prasy wielopółkowe, formatyzerko-oklejarki, oklejarki, frezarki wieloosiowe, formatyzerki wielostronne, szlifierki, wielooperacyjne centra CNC, linie lakiernicze, automaty okuwające, manipulatory i roboty załadunkowo-wyładowcze oraz pakowarki. Część maszyn, jak np. specjalna niskoemisyjna linia lakiernicza do nakładania lakierów wodnych, będzie stanowić

integralną linię technologiczną do powlekania ościeżnic i skrzydeł drzwiowych. Natomiast niektóre linie obróbkowe będą budowane z przystosowanych maszyn jedno lub wielooperacyjnych, realizujących poszczególne etapy procesu technologicznego, zakupionych od różnych dostawców krajowych i zagranicznych.

Procesy obróbki mechanicznej płyt są źródłem powstawania głównych odpadów w postaci kawałków płyt wiórowych i płyt MDF, wiórów z piłowania oraz frezowania materiałów drzewnych. W zakładzie Porta Kartoszyo w ramach obróbki i produkcji skrzydeł drzwiowych z materiałów drewnopodobnych będą wykonywane również procesy i prace lakiernicze związane z procesem produkcyjno-technologicznym. Pozostałości produkcyjne w postaci wiórów z rozkroju i obróbki materiałów drewnopodobnych kierowane będą do zbiorników magazynowych – zewnętrznych szczelnych silosów stalowych lub żelbetowych oraz szczelnych kontenerów stalowych – podciśnieniowym systemem transportu pneumatycznego wyposażonym w odpowiedniej wydajności system odpylający.

Wszystkie czynności związane z obróbką mechaniczną wykonywane będą na zautomatyzowanych maszynach i liniach produkcyjnych, z których miejscowymi odciągami usuwane będą wióry pochodzące z obróbki płyt wiórowych i MDF. Odciągi miejscowe z maszyn będą skierowane do instalacji odpylających, które stanowić będą poszczególne sekcje filtracyjne o wydajnościach dostosowanych do wymagań poszczególnych zespołów urządzeń podłączonych do danego kolektora podciśnieniowego. Na obecnym etapie planowania przedsięwzięcia przewiduje się zainstalowanie do czterech stacji odpylania, które stanowić będą zaplecze procesów mechanicznej obróbki materiałów drzewnych (formatowania, cięcia, nawiercania, szlifowania), z których odseparowane odpady kierowane będą wspólnym systemem do silosów magazynowych lub szczelnych kontenerów magazynowych i docelowo do kotłowni zakładowej. Z procesów mechanicznej obróbki powierzchni zalakierowanych w czynnościach przeszlifowywania powierzchni lakierniczych (w ciągu planowanych linii lakierniczych) odprowadzanie pyłów będzie prowadzone za pośrednictwem dwóch stacji odpylania, z których pyły będą separowane i magazynowane w oddzielnych, przeznaczonych do tego celu workach o dużej pojemności, skąd odbierane będą okresowo i wywożone z zakładu w celu dalszego zagospodarowania przez uprawnionych odbiorców odpadów. Bezwzględnie nie przewiduje się mieszania lakierniczych pyłów drzewnych z pozostałymi pyłami drzewnymi pochodzącymi z głównych procesów mechanicznej obróbki surowców drzewnych, które docelowo stanowić będą paliwo we własnej kotłowni. Niezanieczyszczone powłokami lakierniczymi pyły i wióry będą również wykorzystywane w planowanej kotłowni w celu

pozyskania energii cieplnej, w tym na potrzeby grzewcze zakładu i ciepła technologicznego w procesach ogrzewania zintegrowanych z liniami lakierniczymi sekcyjnymi urządzeniach suszarni.

Filtry zainstalowane w stacjach odpylania będą filtrami o wysokiej skuteczności, co umożliwić będzie recyrkulację oczyszczanego powietrza do wnętrza hal produkcyjnych. Pozwalać to będzie na wydatną poprawę sumarycznego bilansu energetycznego zakładu. Recyrkulacja oczyszczonego powietrza odbywać się będzie wyłącznie z instalacji separacji pyłów drzewnych. Wyklucza się tym samym możliwość recyrkulacji powietrza do wnętrza hal z innych procesów technologicznych i urządzeń powlekania powierzchni lub procesów energetycznego spalania paliw. Zainstalowane urządzenia filtracyjne będą typowymi filtrami funkcjonującymi w branży drzewnej, które zapewniają oczyszczenie zapyłonego powietrza do poziomu bezpiecznego dla zdrowia i życia pracowników. Jednocześnie w zakładzie będą okresowo prowadzone pomiary zapylenia na stanowiskach pracy, dzięki którym możliwe będzie monitorowanie stanu jakości powietrza wewnątrz obiektów produkcyjnych zgodnie z wymaganiami prawnymi.

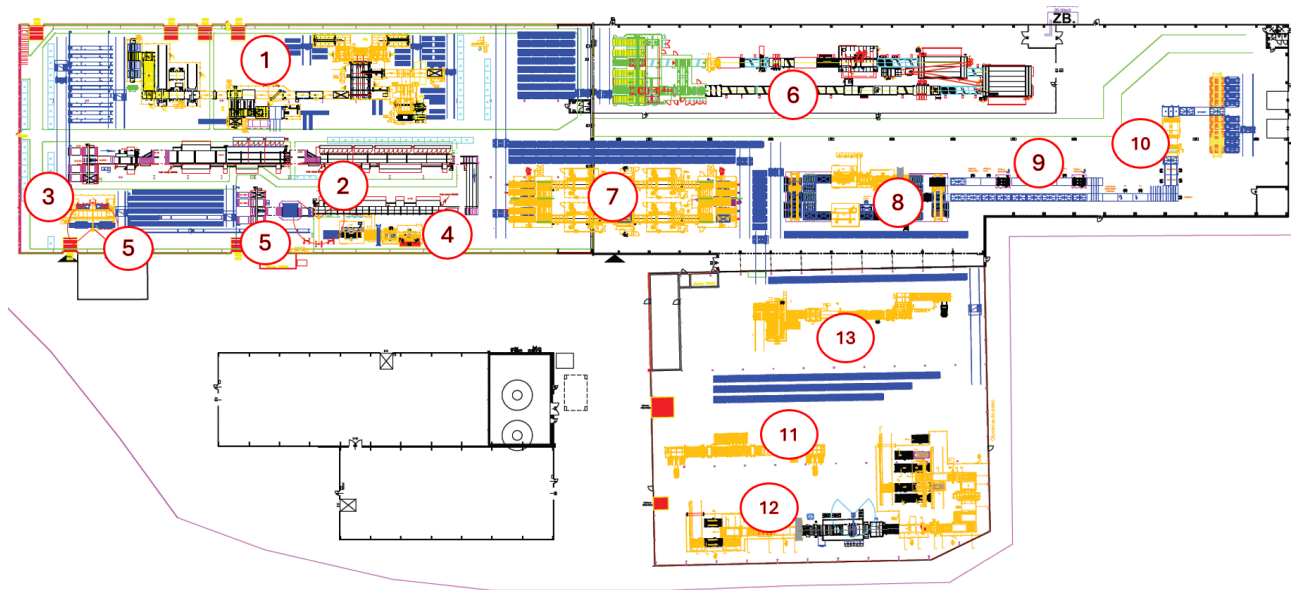
Integralną częścią procesu produkcyjnego w rozbudowywanym zakładzie będzie proces nakładania farb i powłok podkładowych i nawierzchniowych na przygotowane powierzchnie jako jedna z ostatnich operacji wykończeniowych wyrobów surowych skrzydeł drzwiowych. Procesy te odbywać się będą na dwóch zautomatyzowanych liniach lakierniczych: polewarkowej i walcowej, lub alternatywnie z wykorzystaniem systemu natryskowego w zrobotyzowanej automatycznej kabine lakierniczej zainstalowanej w ciągu linii lakierniczych. Główny proces nakładania powłok na powierzchnie skrzydeł będzie wykonywany automatycznie w produkcji potokowej wyrobów gotowych.

W natryskowej metodzie nanoszenia powłok istotnym problemem jest emisja substancji do powietrza. Wynika to z obecności niereaktywnych, lotnych związków organicznych, których zadaniem jest zmniejszenie lepkości wyrobów lakierniczych stosownie do wymagań technologicznych. Potrzeba eliminacji rozpuszczalników niereaktywnych wymusiła konieczność wprowadzania powłok, w których większość składników podlega natychmiastowemu utwardzeniu, co w praktyce oznacza stosowanie materiałów utwardzających przez sieciowanie i polimeryzację oraz używanie wyrobów wodnych ze zmniejszoną zawartością lotnych związków organicznych. Systemy takie to wyroby utwardzane z użyciem promieniowania ultrafioletowego (UV), które na skutek fotoinicjacji ulegają polimeryzacji opierającej na mechanizmie wiązań wolno rodnikowych.

Systemy utwardzane UV są opracowywane w ten sposób, że propagacja reakcji sieciowania przebiega szybko w temperaturze otoczenia a dostarczana energia niezbędna jest jedynie do uaktywnienia fotoinicjatorów, które rozpoczynają proces sieciowania i polimeryzacji powłoki. Szybkość procesu utwardzania powłok UV jest podobna lub większa, jak szybkość procesu nakładania tych powłok, stąd wynika powszechne zastosowanie tych systemów w automatycznych liniach lakierniczych. Dzięki temu zwiększa się ich wydajność oraz wydawnie skraca czas produkcji gotowego wyrobu.

Automatyczne linie lakiernicze składać się będą z modułów szlifiersko–czyszczących, nakładarek lakieru oraz suszarek UV lub tuneli suszarniczych. Półprodukty powlekane na liniach będą przemieszczane w obrębie wszystkich elementów linii w sposób ciągły z wykorzystaniem przenośników taśmowych i rolkowych. Na liniach do lakierowania walcowego wyroby lakiernicze nanoszone są z użyciem obrotowych walców, rozprowadzających cienki film lakieru na powierzchniach wyrobu przez bezpośredni styk obrabianego elementu z walcem nakładającym. Jednostka transportowa nakładarki składa się z taśmy transportowej i walca posuwowego o wspólnym napędzie. Przenośnik wyposażony jest w pneumatyczne sterowanie, które reguluje bieg modułu transportowego.

Wszystkie te działania doprowadzą w roku 2028 do uzyskania zdolności zautomatyzowanej produkcji kastomizowanych drewnianych skrzydeł drzwiowych w koncepcji przemysłu 4.0. Plan organizacji procesu technologicznego w momencie przewidywanego zamknięcia syku inwestycyjnego związanego z uruchomieniem, modernizacją i rozbudową zakładu w Kartoszynie pokazano na ryc. 72.



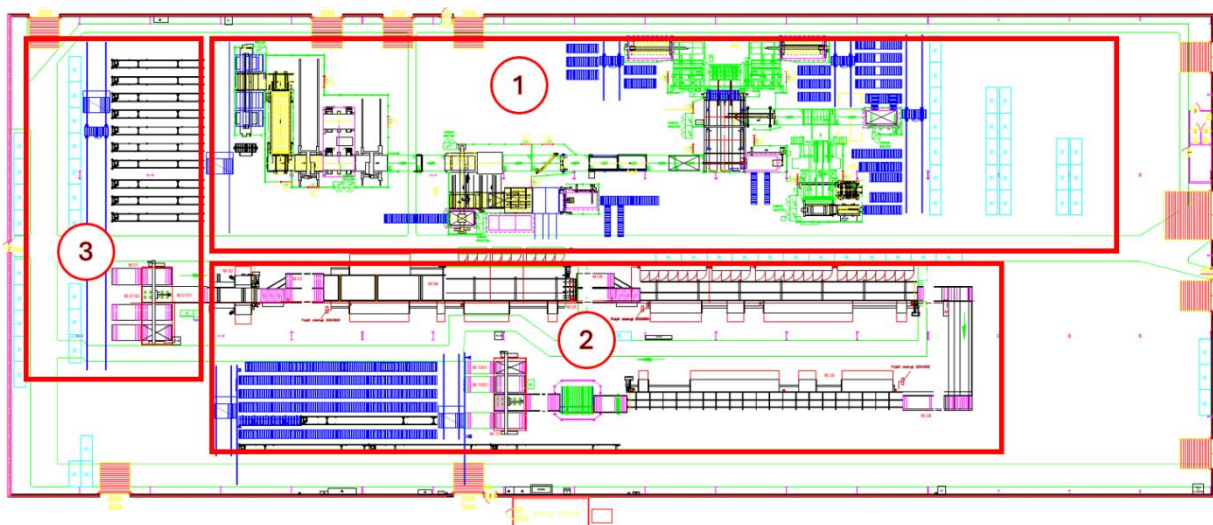
1. Linia do sklejania skrzydeł
2. Linia do formatowania skrzydeł i oklejania wąskich powierzchni
3. Centrum obróbcze CNC dwustanowiskowe
4. Linia do frezowania gniazd pod zamki i zawiasy wraz z automatycznym okuwaniem
5. Żurawie kolumnowe z ramieniem obrotowym
6. Linia lakiernicza polewarkowa
7. Linia do frezowania na powierzchniach skrzydeł
8. Linia do frezowania gniazd pod zamki i zawiasy wraz z automatycznym okuwaniem
9. Montaż przeszkleń
10. Pakowanie
11. Kaszerowanie płyt laminatem z arkuszy
12. Kaszerowanie płyt laminatem z rolki
13. Linia do formatowania płyt

Ryc. 72. Stan technologii planowany na rok 2028 z pełną integracją z systemami ERP i MES
(opracowanie własne z wykorzystaniem materiałów firmy PORTA)

7. Stan prac wdrożeniowych

7.1. Rys historyczny

W celu skrócenia terminów realizacji zamówień, obniżenia kosztu wytworzenia drzwi pełnych w zakładzie w Kartoszynie w 2014 roku powstała w pełni zautomatyzowana linia do klejenia półwyrobów do produkcji skrzydeł drzwiowych. Linia ta w sposób automatyczny zbijała ramy skrzydeł drzwiowych, umieszczała w nich wypełnienie w postaci płyty wiórowej otworowej lub pełnej oraz sklejała całość wraz z okładzinami w prasie wielopółkowej. Proces prasowania realizowany był w prasach wielopółkowych, do których ciepło technologiczne pochodzi z własnej kotłowni. Otrzymywany był w ten sposób półwyrob gotowy do obróbki na kolejnych linii produkcyjnej HOMAG. Po przejściu tej fazy obróbki skrzydło miało już wyfrezowane i oklejone przyłgi (ryc. 73.). Innowacyjnym rozwiązaniem jest brak konieczności ręcznej obróbki wykańczającej krawędzi oraz narożników skrzydeł drzwiowych. Przed zakupem z zakładu usunięto wyposażenie przeznaczone do frezowania otworów, gniazd i innych kształtów (frezarka CNC) i okuwania skrzydeł. Nie były one własnością upadłego przedsiębiorstwa.



1. linia prasowania skrzydeł – Bürkle,
2. linia formatowania i oklejania wąskich płaszczyzn – HOMAG,
3. automatyczny magazyn buforowy z portalami KRAFT i Bargstedt

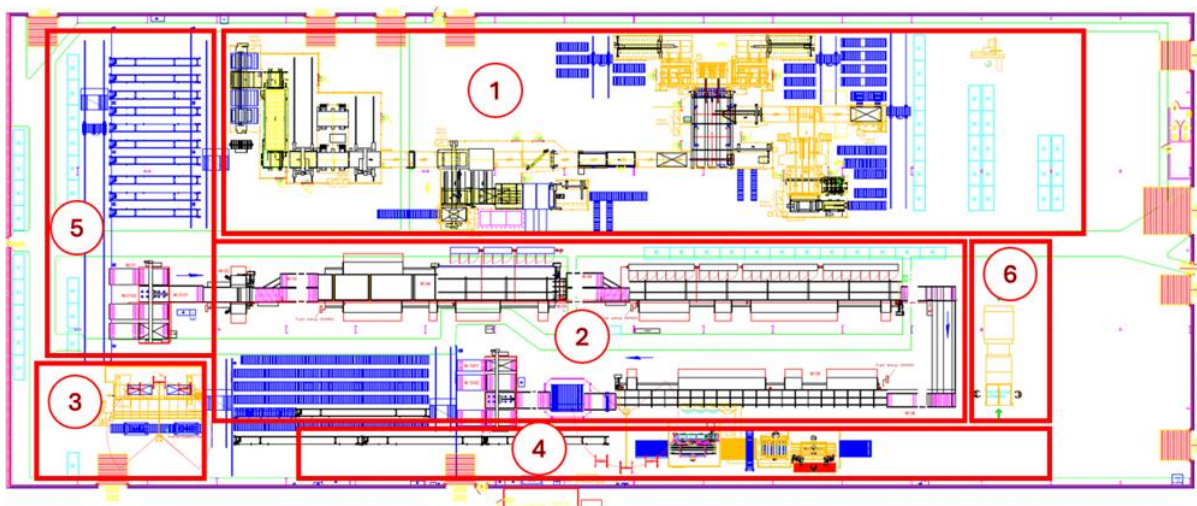
Ryc. 73. Historyczny stan technologii produkcji w momencie zakupu nieczynnego zakładu w Kartoszynie, maj 2022 r.

(opracowanie własne z wykorzystaniem materiałów firmy PORTA)

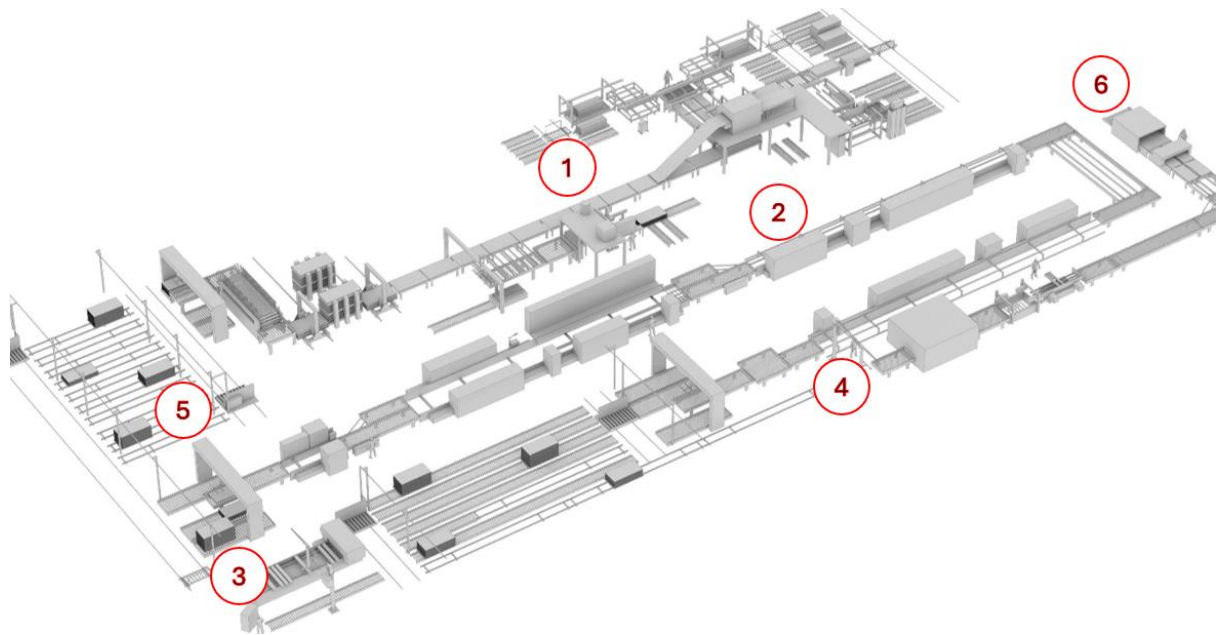
7.2. Stan parku maszynowego oraz wdrożonych systemów ERP, APS, Translator w czerwcu 2025 r.

Proces produkcyjny zakładu firmy PORTA w Kartoszynie obejmuje obecnie pięć systemów dostarczonych przez różnych producentów. W efekcie ich działania realizowana jest możliwość produkcji kompletnych skrzydeł drzwiowych, przygotowanych do wysyłki do klientów. Systemy produkcyjne działające obecnie to:

1. linia prasowania skrzydeł – Bürkle,
2. linia formatowania i oklejania wąskich powierzchni – HOMAG,
3. sekcja CNC – BIESSE,
4. linia do frezowania kieszeni pod zamki i zawiasy wraz z automatycznym okuwaniem – SMM,
6. linia do pakowania wyrobów – GRASO (numeracja odzwierciedlona jest na ryc. 74 i 75).

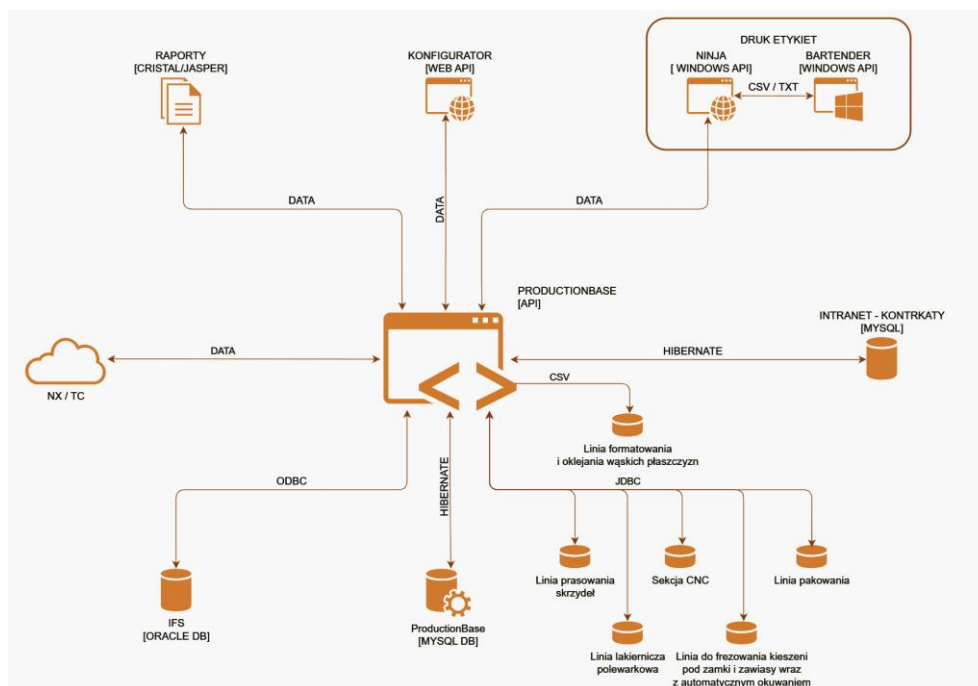


Ryc. 74. Stan technologii produkcji w zakładzie w Kartoszynie, czerwiec 2025 r.
(opracowanie własne z wykorzystaniem materiałów firmy PORTA)



Ryc. 75. Model przestrzenny stanu technologii produkcji w zakładzie w Kartoszynie, czerwiec 2025 r.

Opierając się na bazie wiedzy z wcześniejszych analiz procesów przepływu zamówień wewnątrz firmy PORTA od momentu przesłania go przed klienta do momentu przekazania do produkcji, wyciągnięto wnioski, dzięki którym ustalono konieczność zastosowania oprogramowania wspomagającego ten przepływ. Konieczne było również wsparcie komunikacji pomiędzy istniejącymi systemami firmy PORTA, a maszynami zakładu w Kartoszynie. Autorska aplikacja zespołu inżynierów utrzymania ruchu firmy PORTA służy tłumaczeniu informacji niesionych w kodach produktowych wyrobów firmy PORTA na zestawy danych, z których maszyny na produkcji mogłyby odczytać zakres prac, jaki jest do wykonania dla danego wyrobu. Ustalenia z producentami maszyn i urządzeń zakładu w Kartoszynie potwierdziły, że każde z nich da się zasilać danymi parametrycznymi. Umożliwiło to opracowanie sprawdzonej metody przygotowywania i przetwarzania danych maszynowych, podobnie jak ma to miejsce już w pozostałych fabrykach PORTA (ryc. 76.).



Ryc. 76. Schemat ideowy wymiany danych w środowisku APS (Automated Scheduling Planning) firmy PORTA (materiały firmy PORTA)

Aplikacja ProductionBase-API zwana dalej Translatorem powstała w 2018 roku dla zakładu PORTA w Bolszewie. Agreguje ona informacje dotyczące wyrobu z systemów informatycznych firmy PORTA i przetwarza je na dane zgodne ze standardem komunikacji opracowanym z dostawcami poszczególnych maszyn produkcyjnych. W dużym uproszczeniu, główną funkcją Translatora jest tłumaczenie informacji z języka, jakim posługuje się firma PORTA w swoich systemach na język zrozumiały przez maszyny produkcyjne. System został opracowany i zaprojektowany od strony architektury programistycznej w taki sposób, aby mógł tłumaczyć informację dla potencjalnie każdej maszyny, która może być wykorzystywana w zakładzie.

Jednym z głównych zadań Translatora jest gromadzenie i przetwarzanie danych z różnych systemów informatycznych przechowujących informacje na temat produktów zleconych do produkcji. Dla Translatora na chwilę obecną wyróżnia się trzy główne źródła danych, które są przetwarzane i wysyłane do linii technologicznych:

- system ERP Porta – IFS; jest to system zawierający informacje dotyczące standardowych konfiguracji wszystkich oferowanych produktów oraz danych dotyczących planów produkcyjnych. Dane z tego systemu są pobierane przez procedury SQL zaprogramowane bezpośrednio w jego bazie danych. Pozwala to osiągnąć dużą

wydajność przy pobieraniu danych oraz nie obciąża serwerów aplikacyjnych systemu ERP;

- bazy danych Translatora oraz platformy Intranet; w bazie danych definiowane są reguły dla procesu tłumaczenia danych firmy PORTA na język maszynowy. Dane są przygotowywane z dokładnością do konfiguracji oprogramowania maszyny na produkcji. Translator jest osadzony w autorskiej platformie aplikacyjnej firmy PORTA o nazwie Intranet, co umożliwia dostęp do wszelkich danych dotyczących procesów produkcyjno-sprzedażowych. Dzięki zastosowaniu mapowania obiektowo-relacyjnego (ORM) pobieranie danych od strony kodu źródłowego aplikacji jest relatywnie proste w zastosowaniu. Tak samo jak rozszerzenie zakresu pobieranych danych o dodatkowe źródła, jak na przykład pobieranie danych dotyczących ponownej produkcji reklamowanych produktów;
- dane numeryczne z programu Siemens NX; jest to program typu CAD/CAM/CAE umożliwiający parametryczne przygotowywanie modeli produktów. W tym systemie definiowane są trójwymiarowe projekty brył produktów oferowanych przez firmę PORTA. Wartości atrybutów danego modelu są pobierane z systemu typu PLM Siemens TeamCenter, w którym modele są przechowywane oraz katalogowane. Pobranie danych możliwe jest dzięki modyfikacjom przygotowanym we współpracy z zespołem IT firmy PORTA przez firmę Siemens PLM w 2018 roku specjalnie na potrzeby produkcji w firmie PORTA.

Sterowanie maszynami, które wchodzi w skład fabryki firmy PORTA w Kartoszynie odbywa się w sposób parametryczny. Przez co można rozumieć, że każda linia ma swój zestaw parametrów niosących informację o zakresie prac, jaki należy wykonać nad danym produktem. Administratorzy aplikacji definiują, jakimi parametrami posługuje się dana maszyna, natomiast jej użytkownicy (inżynierowie procesu), korzystając z konfiguratora aplikacji, tworzą reguły zwracające odpowiednie wyniki. Wynik może być zwracany z dokładnością do konkretnego wyrobu lub określonej grupy produktów (rodziny). Reguły te stanowią pewnego rodzaju słownik służący do zmiany parametrów z wartości odpowiadających nomenklaturze firmy PORTA na wartości zrozumiałe dla mechanizmów sterujących maszynami produkcyjnymi. Każda z maszyn posiada własną bazę danych, do której z wyprzedzeniem przesyłane są dane obróbcze dla każdej sztuki przetwarzanego produktu. Każda operacja wykonywana na maszynie opisana jest kolejnością wykonania oraz unikalnym identyfikatorem produktu. Ten sam identyfikator jest zakodowany w formie kodu QR na etykiecie produktowej, która to

z kolei jest umieszczana na każdym półwyrobie będącym materiałem wejściowym dla maszyny (ryc. 77.).

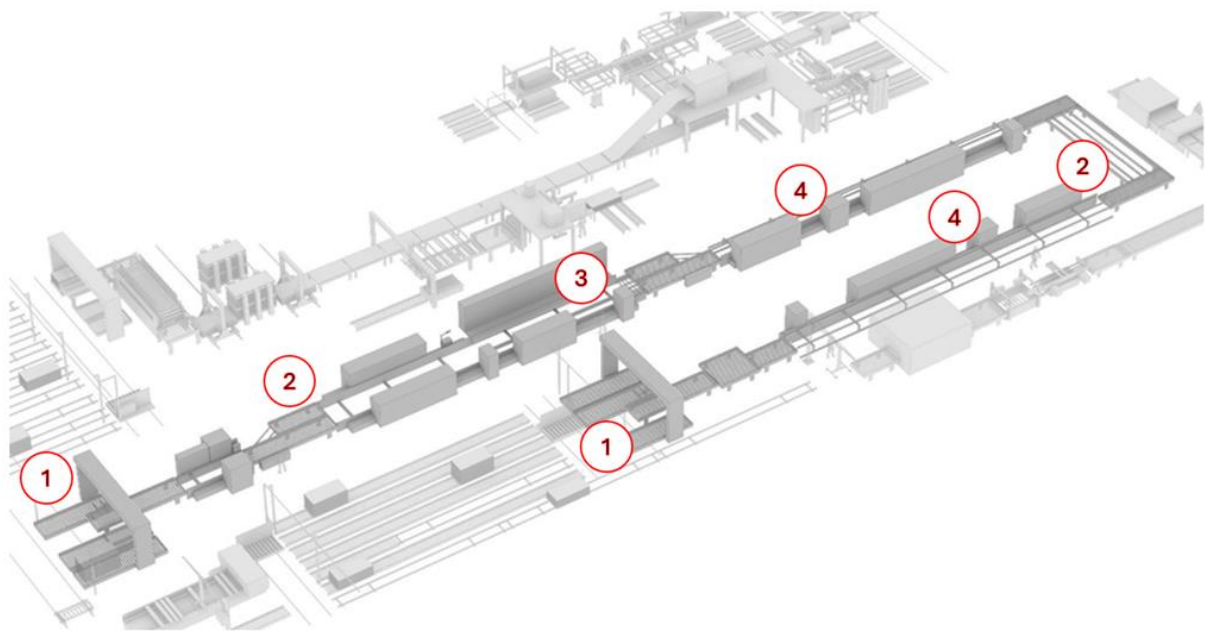


Ryc. 77. Etykieta wyrobu

W momencie wprowadzenia półwyrobu do maszyny skaner na jej wejściu odczytuje identyfikator wyrobu z kodu QR. Na jego podstawie maszyna wyszukuje w lokalnej bazie danych wcześniej przygotowany zestaw danych obróbczych, a następnie rozpoczyna proces. Dodatkowo każda maszyna w ramach systemu daje możliwość raportowania. Do lokalnej bazy danych zwracana jest informacji o wykonaniu operacji nad danym produktem od razu po jej wykonaniu. Pozwala to na dokładne monitorowanie wszystkich etapów produkcyjnych z dokładnością do jednej sztuki wyrobu oraz umożliwia jego szybkie zlokalizowanie na produkcji.

Linia firmy HOMAG to znaczący element systemu produkcyjnego nowego zakładu. Można go określić jako zespół maszyn formatująco – oklejających odpowiedzialnych za obróbkę wąskich powierzchni skrzydeł drzwiowych. W zespole tym można zidentyfikować cztery moduły maszyn:

1. manipulatory i obrotnice załadowczo-rozładowcze Bargstedt,
2. formatyzerki,
3. formatyzerko-oklejarki,
4. oklejarki (numeracja odzwierciedlona jest na ryc. 78.).



Ryc. 78. Strefa HOMAG w procesie produkcji zakładu w Kartoszynie

Linia przygotowana jest do masowej produkcji skrzydeł drzwiowych w sposób w pełni automatyczny. W ciągu jednego przejścia wykańczane są wszystkie wąskie powierzchnie wyrobu. W bazie danych dla każdej sztuki drzwi znajduje się jeden wiersz danych. Do sterowania linią HOMAG zdefiniowano trzydzieści dwa parametry. Można je podzielić na kilka grup:

1. identyfikacja wyrobu,
2. opis wyrobu,
3. wymiary wyrobu,
4. parametry maszynowe,
5. parametry transportowe.

Pełna lista zdefiniowanych parametrów dla linii HOMAG znajduje się w tabeli 12.

Tabela 12. Lista zdefiniowanych parametrów dla linii HOMAG

No.	Parameter	descripton	Data- typ	Pre- fix	Suf- fix	min.	max.	Unit	Empty low
ERP- data from customer (ASCII- File in CSV- format)									
1	F	Obecnie obrabiane. Domyślnie pusta.	varchar	8					no
2	STCK	Ilość drzwi dla pojedynczego barcode np. 0001, 9999	varchar	4					no
3	IDENTNUMMER	Numer katalogowy np. Agat, Opal	varchar	14					yes
4	TEILENUMMER	Barcode. Unikalny numer dla każdego drzwi lub nazwa w formie tekstu identyfikująca partię produkcyjną np. 123456789, PSTEIFO	varchar	20					no
5	DL	Domyślnie pusta.	varchar	8					
6	TEXT1	Komentarz 1. Opis trafia do 2 pól na panelu maszyny TEXTFELD i TEXT 1	varchar	30					yes
7	TEXT2	Komentarz 2.	varchar	30					yes
8	TUERBREITE	Szerokość	float	4	1	?	1300	mm	no
9	TUERHOEHE	Wysokość	float	4	1	?	2500	mm	no
10	DICKE	Grubość	float	2	1	30	55	mm	no
11	VORSCHUB	Posuw. Normalnie 21	float	2	1	?	21	m/min	no
12	TAKTZAHL	Cykle np.7	float	2	1	1	7	szt/min	no
13	LAGEN.BESCH	Wielkość palety na wejściu np. 40	int	2		1	40	szt	no
14	>EINLAUF	Makro pozycji bazy na wejściu do maszyny	varchar	8					no
15	PRG.M1	Program maszyny M1	varchar	8					no
16	PRG.TD31	Obrotnica 0-90st: 1 - włącz, 0 - wyłącz. Normalnie 1.	varchar	8					no
17	>KANTE.M2	Makro obrzeża maszyny M2	varchar	8					no
18	PRG.M2	Program maszyny M2	varchar	8					no
19	>S-NUT.M2	Makro frezowania uszczelki dolnej	varchar	8					no
20	FALZ-Y.M2	Felc Y maszyny M2	float	2	2	10	35	mm	no
21	FALZ-X.M2	Felc X maszyny M2	float	2	2	9	15	mm	no
22	PRG.TD41	Obrotnica 90sz-0st: 1 - włącz, 0 - wyłącz. Normalnie 1.	varchar	8					no
23	>KANT.M3	Makro obrzeża maszyny M3	varchar	8					no
24	PRG.M3	Program maszyny M3	varchar	8					no
25	FALZ-Y.M3	Felc Y maszyny M3	float	2	2	10	35	mm	no
26	FALZ-X.M3	Felc X maszyny M3	float	2	2	9	15	mm	no
27	>KANTE.M4	Makro obrzeża maszyny M4	varchar	8					no
28	PRG.M4	Program maszyny M4	varchar	8					no
29	FALZ-Y.M4	Felc Y maszyny M4	float	2	2	10	35	mm	no
30	FALZ-X.M4	Felc X maszyny M4	float	2	2	9	15	mm	no
31	WENDEN	Obrotnica wzdłużna na wyjściu Bargsted: 1 - włącz, 0 - wyłącz. Normalnie 0.	int	1	0	0	1		no
32	LAN- GEN.ABSTA	Wielkość palety na wyjściu np. 40	int	2		0	40	szt	no

Do sterowania linią zdefiniowanych zostało kilka różnego typu parametrów takich jak:

- parametry wymiarowe i masowe – ich wartości wyrażają się w milimetrach i kilogramach,
- nazwy makr – są to zestaw poleceń przeznaczone do wykonania przez określoną maszynę.

EINLAUF

Makro liniału wlotowego (4 znaki, max 8)			
Pozycja	Funkcja	Przykład	Opis
X	Makro	1	Profil Kant
		2	Profil R
		REP1	Naprawa 1
		REP2	Naprawa fornirowane

PRG M1

Program maszyny (4 znaki, max 8)			
Pozycja	Funkcja	Przykład	Opis
X	Program	1	Profil Kant
		2	Profil R
		REP1	Naprawa 1
		REP2	Naprawa fornirowane

PRG TD31, TD41, WENDEN

Program obrotnicy (4 znaki, max 8)			
Pozycja	Funkcja	Przykład	Opis
X	Program	0	Brak obrotu
		1	Obrót włączony

PRG M2 M3 M4

Program maszyny (5 znaków, max 8)			
Pozycja	Funkcja	Przykład	Opis
PX0000	Typ przyłgi	0	Brak obróbki
		A0000	Bezprzyłgowe
		P0000	Przyłgowe
		10000	Przyłgowe bierne
		20000	Bezprzyłgowe czynne, przyłgowe uniwersalne
		30000	Bezprzyłgowe bierne
P0X000	Typ okleiny	00000	Brak
		0B000	Surowe, brak okleiny
		0D000	Dekor
		0C000	CPL
		0F000	Fornir
		0Y000	Profilowane (relief)
		0Z000	Folia ochronna
P00X00	Typ obrzeża	00000	Brak obróbki
		00A00	ABS
		00B00	Surowe
		00F00	Fornir
		00T00	Taśma – melamina (papierowe)
P000X0	Profil	00000	Brak
		000E0	Ecke – profil Kant
		000K0	Karnieskante
		000R0	Profil R
		00010	Enduro przyłgowe
		0000X	Uszczelka
		00001	1 – włączona
		0000R	Surowe szlifowane

KANTE M2 M3 M4

Makro obrzeża (8 znaków, max 8)			
Pozycja	Funkcja	Przykład	Opis
X0000000	Materiał obrzeża	0	Brak obrzeża
		T0000000	Taśma - melamina (papierowe)
		A0000000	ABS
		P0000000	PP
		V0000000	PCV
		L0000000	Acryl (PMMA)
		H0000000	Laminat CPL lub HPL
0XX00000	Grubość obrzeża	0	Brak
		00300000	Grubość 0,3 mm
		00800000	Grubość 0,8 mm
		01000000	Grubość 1,0 mm
		02000000	Grubość 2,0 mm
000XX000	Wysokość obrzeża	0	Brak
		00023000	Wysokość 23 mm
		00044000	Wysokość 44 mm
		00057000	Wysokość 57 mm
00000XXX	Kolor obrzeża	0	Brak
		00000MI1	Milano1
		00000MI2	Milano2

S-NUT M2

Makro obróbki wręgującej prawa strona maszyny (8 znaków, max8)			
Pozycja	Funkcja	Przykład	Opis
XX0000	Szerokość	0	Brak obróbki
		07000000	Szerokość 7,0 mm
		12500000	Szerokość 12,5 mm
00XX00	Pozycja X (głębokość)	0	Brak
		00008000	Głębokość 8,0 mm
		00020000	Głębokość 20 mm
0000XX	Pozycja Y (odsuńnięcie od bazy)	0	Brak
		00000500	Pozycja Y 5,0 mm
		00000155	Pozycja Y 15,5 mm

Ryc. 79. Specyfikacja makr na linii do formatowania i oklejania wąskich powierzchni

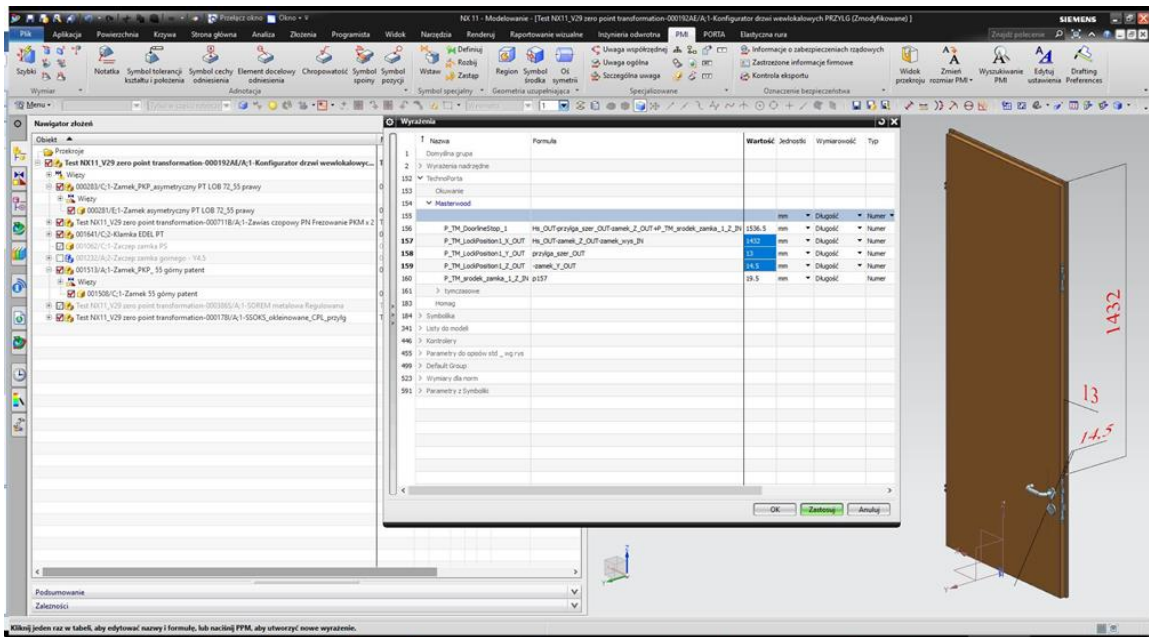
Zarówno makra jak i programy wymagają wcześniejszego przygotowania na maszynie. Zostają one zapisane w specjalnym pliku, który to z kolei wywoływany jest na żądanie przez wywołanie jego nazwy (ryc. 79.).

Zmiana wartości nazwy parametru Subprogram powoduje, że maszyna wykona inny typ frezowania. Może to być zmiana cech otworów pod zawiasy. Zmiana wartości parametru Postition powoduje przesuwanie obiektu w przestrzeni. Tym obiektem może być np. zawias. Odpowiednie sterowanie czterema podstawowymi parametrami obróbki pod zawiasy umożliwia pełną kastomizację wyrobu nietypowego bez wykorzystania oprogramowania typu CAM (tab. 13.).

Tabela 13. Przykład zdefiniowanych parametrów obróbki pod zawiasy dla linii SMM

SubProgramHinge1	Hinge 1 000001 - Program number A, B - Verison of program 0, 1 - Position: normal, rotated Example value: 000001 A 0	1, 3	nvarchar	20						yes
HeadHinge1	Describes active head with reference to the time 1, 2 - Head 1, 2, 3 - Cycle Time Example value: 00, 11, 12, 13, 21, 22, 23	1, 3	nvarchar	2						yes
HingePosition1_X	Position X	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingePosition1_Y	Position Y	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingePosition1_Z	Position Z	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingeAngle1	Angle of anuba Hinge	1, 3	float	4	1					yes
SubProgramHinge2	Hinge 2 000001 - Program number A, B - Verison of program 0, 1 - Position: normal, rotated Example value: 000001 A 0	1, 3	nvarchar	20						yes
HeadHinge2	A, B - Head 1, 2, 3 - Cycle Time Example value: A1	1, 3	nvarchar	20						yes
HingePosition2_X	Position X	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingePosition2_Y	Position Y	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingePosition2_Z	Position Z	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingeAngle2	Angle of anuba Hinge	1, 3	float	4	1					yes
SubProgramHinge3	Hinge 3 000001 - Program number A, B - Verison of program 0, 1 - Position: normal, rotated Example value: 000001 A 0	1, 3	nvarchar	20						yes
HeadHinge3	Describes active head with reference to the time 1, 2 - Head 1, 2, 3 - Cycle Time Example value: 00, 11, 12, 13, 21, 22, 23	1, 3	nvarchar	2						yes
HingePosition3_X	Position X	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingePosition3_Y	Position Y	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingePosition3_Z	Position Z	1, 3	float	4	1				mm	yes
HingeAngle3	Angle of anuba Hinge	1, 3	float	4	1					yes
SubProgramHinge4	Hinge 4 000001 - Program number A, B - Verison of program 0, 1 - Position: normal, rotated Examole value: 000001 A 0	1, 3	nvarchar	20						yes

Tego typu sterowanie, bez wykorzystania oprogramowania typu CAM, wymagało skorelowania punktu zerowego maszyny z punktem zerowym, w jakim rysowane są modele w zakupionym w 2016 roku w oprogramowaniu Siemens NX. Oczywiście okazało się, że punkty te nie są zgodne, a nawet bywają różnie położone ze względu na specyfikę i model samej maszyny. Dlatego też należało w którymś miejscu dokonać przekształceń punktów zerowych. Decyzja padła na oprogramowanie NX, które z racji swojej bogatej możliwości parametryzacji było najlepszym do tego narzędziem. W oprogramowaniu tym powstały specjalne grupy parametrów, tożsame z parametrami maszynowymi, dla których zostały wykonane przekształcenia punktów zerowych (ryc. 80.).



Ryc. 80. Przekształcenia punktu zerowego w oprogramowaniu Siemens NX na potrzeby sekcji CNC

Tworzenie w Translatorze reguł, według których zwracane są odpowiednie wartości danych maszynowych jest domyślnie przeprowadzane przez użytkowników systemu (inżynierów procesu produkcji firmy PORTA) zajmujących się konfiguracją danego produktu. Sam szablon parametrów, jakimi dysponuje maszyna oraz reguły walidacji poprawności formatu zwracanych danych są ustanawiane przez administratora aplikacji. Interfejs roboczy definiowanych parametrów maszyny przedstawiono na ryc. 81.

Id	Nazwa	Opis	Adres	Typ operacji	IL, rodzaj	Lokalizacja	Options	Id	Nazwa	Typ zmiennej	Min	Max	J.m.	Wymagany	Opis	Zależniki	Options
1	Hasło		172.16.108.58:1433	HomagSQL	1	PKP	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	1	Production_Barcode_ID	nvarchar				tak	Nr identyfikacyjny drzwi na podstawie którego przeszukiwana jest baza danych maszyny. Wymagany również do druku etykiety, oraz nadruku inkjet.	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie
14	Hasztykwood/Hasztyk		192.168.1.1111	1	PKP	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	2	Cycle	int	1	7		tak	Bieżący cykli obróbki	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	
15	Hasztyk		192.168.1.1123	1	PKP	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	3	MaxCycle	int	1	7		tak	Maksymalna ilość cykli obróbki	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	
17	Label_1	Door bottom		1	PKP	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	4	Comment1	nvarchar				nie	Komentarz 1	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	
18	Label_2	Door finished product		1	PKP	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	5	Comment2	nvarchar				nie	Komentarz 2	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	
19	ID_1	Machine code		1	PKP	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	6	Comment3	nvarchar				nie	Komentarz 3	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	
						<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	9	Etikett	int	0	1		tak	Aktywuje druk i aplikację etykiety	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	
						<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	10	Printer	int	0	1		tak	Aktywuje nadruk inkjet	edycja	<input type="checkbox"/> Edycja <input type="checkbox"/> Usunięcie	

Ryc. 81. Interfejs administracyjny Translatora

Lewa strona interfejsu pokazuje listę zdefiniowanych maszyn. Można tam je usuwać lub edytować ich konfigurację. W tej konfiguracji definiowane są protokoły komunikacyjne dla danej maszyny, jej nazwa, opis, dane połączeniowe (adresy IP, loginy, hasła), fizyczna

lokalizacja maszyny oraz zbiór rodzin produktów, które do tej maszyny będą przekazywane. Prawa strona wyświetla listę parametrów urządzenia podświetlonego na liście po lewej stronie. Ta część panelu pozwala na definiowanie:

- nazw parametrów po stronie maszyny,
- typu danych (w tym przypadku użyto nazewnictwa typów danych znanych z baz danych typu SQL),
- wartości minimalnej i maksymalnej parametru,
- jednostek miary,
- tego czy parametr jest wymagany, aby informacje o produkcie mogły zostać wysłane,
- opisu parametru,
- załączników w postaci plików graficznych, które można dołączać jako dokumentację dla użytkownika ułatwiającą zrozumienie funkcji danego parametru.

Po zdefiniowaniu parametrów, którymi dysponuje dana część linii produkcyjnej, można rozpocząć tworzenie Translatora przypisanego do danej maszyny lub skorzystać z już istniejącego, jeżeli zdefiniowano wcześniej maszynę o identycznej konfiguracji. Podczas tworzenia nowego Translatora przeznaczonego do sterowania wyposażeniem zakładu w Kartoszynie wybierana jest dla niego domyślna maszyna. Dzięki temu, podczas rozbudowy Translatora, automatycznie dodają się do niego maszyny, których pracy dotyczą zdefiniowane parametrem. Po weryfikacji czy wszystkie maszyny poprawnie zapisały się w systemie można rozpocząć parametryzację tzw. filtrów, które można uznać za właściwy słownik, według którego następuje translacja danych (ryc. 82.).

Parametryzacja filtrów polega na definiowaniu elementów symboliki wybranych rodzin produktów, dla których zostanie zwrócona wartość ustanowiona w filtrze, jeżeli symbolika, dla której przebiega translacja zostanie dopasowana. Generowanie wartości parametru polega na zestawianiu rodziny produktu oraz jego symboliki z filtrami od początku ich listy i iterowania jej zawartości. Iteracja kończy się z momencie dopasowania pierwszego filtra, dla którego spełnione zostaną wszystkie kryteria. Następnie wartość zdefiniowana w filtrze jest zwracana jako gotowy do wysłania parametr maszyny. Kolejność filtrów jest edytowalna i może być zmodyfikowana w dowolnym czasie.

Id	Kolejność	Rodzina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Przejęcie	Wynik	Uwagi
69	1	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	3	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	368	420B PN ośc. PS I HDF
70	2	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	4	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	468	420B PN ośc. PS I HDF
71	3	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	5	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	568	420B PN ośc. PS I HDF
72	4	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	6	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	668	420B PN ośc. PS I HDF
73	5	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	7	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	768	420B PN ośc. PS I HDF
74	6	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	8	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	868	420B PN ośc. PS I HDF
75	7	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	968	420B PN ośc. PS I HDF
76	8	SSAKS;KSAKS	S	P	T	4	5	6	N,P	8	9	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1,2,3,4, 5,6,7	1068	420B PN ośc. PS I HDF

Ryc. 82. Przykładowe filtry Translatora

Konfiguracja produktów w systemie firmy PORTA polega na tym, że każdy z produkowanych wyrobów jest opisywany z użyciem ściśle określonych cech charakteryzujących między innymi: model, wzór szyby, normę wykonania, szerokość skrzydła, ilość i typ zawiasów, typ zamka itp. Zestaw tych cech wraz z informacją definiującą rodzinę, do której należy produkt daje pełen obraz produktu, który jest zamawiany przez klienta. Każda rodzina produktów w ofercie firmy PORTA ma własną listę cech charakteryzujących każdy z produktów.

Firma PORTA do opisu cech charakteryzujących produkt wykorzystuje swoistą symbolikę produktu, czyli ciąg dwudziestu dwóch znaków, który definiuje dwadzieścia jeden cech produktu. Symbolika składa się z dwudziestu dwóch znaków, ponieważ dwunasta cecha jest dwuznakowa. Odpowiada ona za definicję koloru wykończenia, jakim pokryty jest wyrób. Prócz tego wyjątku wszystkie pozostałe cechy opisywane są pojedynczymi znakami. Przykładowa symbolika oraz rodzina produktu wyglądają następująco:

Symbolika:

SPWM0POP08LBI0SZ2KH000

Rodzina:

SSMMSL

Pod kodem rodziny kryje się linia produktowa o nazwie MINIMAX, a zdekodowana symbolika przedstawia informacje zawarte w tabeli 14. System pozwala też na proste

generowanie raportów produkcyjnych. Widok rzeczywistego raportu z nowej bazy linii Bürkle, która została wdrożona w 2024 r. z wykorzystaniem środowiska MYSQL przedstawia ryc. 83. Wcześniej raporty były tworzone w programie MS Access z 1997 roku.

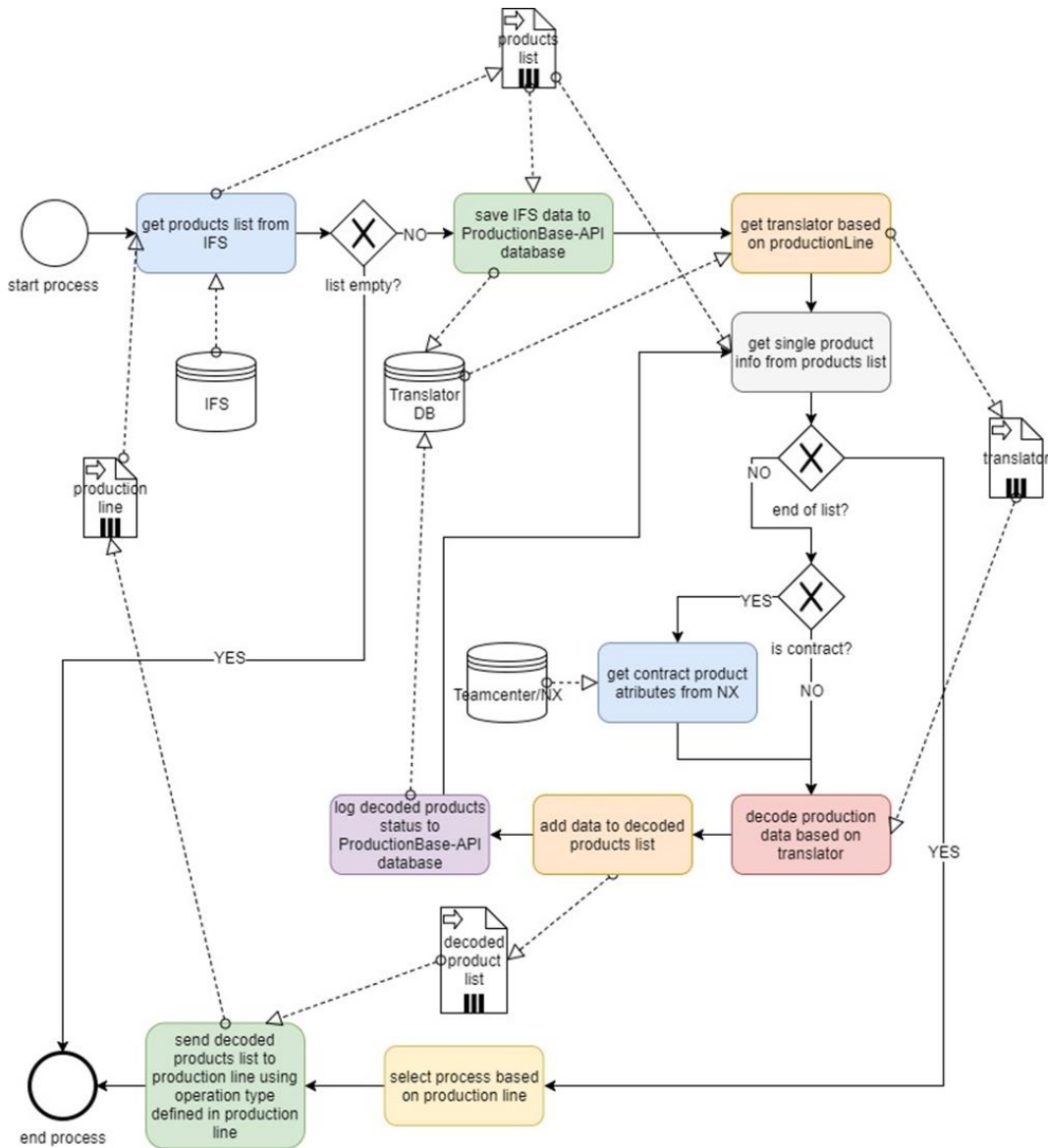
Tabela 14. Przykład definicji wszystkich cech produktu

Numer cechy	Nazwa cechy	Opis cechy	Wartość opcji	Pełna nazwa opcji
1	01-PRODUKT	Typ produktu	S	Skrzydło
2	02-NORMA	Norma wykonania	P	Polska norma
3	03-RODZAJ	Rodzaj produktu	W	Przylgowe
4	04-GRU-SKR	Grupa skrzydeł	M	Minimax
5	05-TYP-SKR	Typ skrzydła	0	Brak
6	06-MOD1-SKR	Model skrzydła 1 zmienna	P	Model P
7	07-MOD2-SKR	Model skrzydła 2 zmienna	0	Brak
8	08-STRONA	Strona	P	Prawa
9	09-ROZMIAR1	Rozmiar 1-składowa	0	Pojedyncze
10	10-ROZMIAR2	Rozmiar 2-składowa	8	80
11	11-WYKONCZENIE	Typ wykończenia	L	Lakier standard
12	12-KOLORY	Kolor wykończenia	BI	Biały (RAL 9003)
13	13-SKR-WYPOSAZ	Wentylacja	0	Brak
14	14-OKUC-KOLOR	Kolor okuć/wyposażenia	S	Srebrny
15	15-ZAMEK	Zamek	Z	Zwykły
16	16-ZAWIAS	Zawiasy	2	2 sztuki
17	17-SKR-PROFIL	Profil skrzydła	K	Profil K
18	18-SKR-WYPEL	Wypełnienie skrzydeł	H	Plaster miodu
19	19-SKR-SZYBY	Rodzaj szyby	0	Brak
20	20-SKR-INNE1	Inne1 opcje skrzydła	0	Brak
21	21-SKR-INNE2	Inne2 opcje skrzydła	0	Brak

DoorStatus	Info_OP_Text_1	Info_OP_Text_2	Lfd	Production_Barcode	ProductionReleaseTimeStamp	ProductionStartTimeStamp	ProductionStopTimeStamp	Stack_ID	Stack_Ord	Status
0	SSDCS	SPWPOPOL07DBIOSE2AH00S	1	00000000001	2024-12-16 13:58:22.923	2024-12-16 13:58:23.343	2024-12-16 14:01:33.013	0	0	10
1	SS02SL	SPYLT10SD9LBI0RTO0H000	3	00000000002	2024-12-19 12:22:04.473	2024-12-19 12:22:05.003	2024-12-19 12:45:39.467	0	0	10
1	SS02SL	SPYLT10SD9LBI0RTO0H000	2	00000000003	2024-12-19 12:17:19.643	2024-12-19 12:17:20.203	2024-12-19 12:40:20.673	0	0	10
1	SS02SL	SPYLT10SD9LBI0RTO0H000	1	00000000016	2024-12-19 12:11:42.223	2024-12-19 12:11:42.817	2024-12-19 12:30:55.247	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOS08JGMOCSUJH000	3	135576606	2024-12-05 09:20:57.677	2024-12-05 09:20:58.097	2024-12-05 09:42:54.38	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOS09JGMOCSUJH000	4	135576607	2024-12-05 09:37:56.92	2024-12-05 09:37:57.34	2024-12-05 09:46:18.563	0	0	10
1	SSDCS	SPWPOPOL07DBIWMBDAPO00	2	135576661	2024-12-05 09:17:08.617	2024-12-05 09:17:09.103	2024-12-05 09:26:11.587	0	0	10
1	SSDCS	SPWPOPOL08DBIOMFPAPO00	1	135576662	2024-12-05 09:09:30.343	2024-12-05 09:09:31.47	2024-12-05 09:20:59.537	0	0	10
1	SSDCS	SPAPOPOL07DBIWAQJAH000	7	135576667	2024-12-05 10:22:00.213	2024-12-05 10:22:00.633	2024-12-05 10:31:07.15	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOL06JGMOCELUH000	13	135576668	2024-12-05 10:35:45.05	2024-12-05 10:35:45.533	2024-12-05 10:46:19.247	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOP06JGMOCELUH000	14	135576669	2024-12-05 10:35:45.097	2024-12-05 10:35:47.753	2024-12-05 10:46:27.293	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOL08JGMOCMUJH000	9	135576670	2024-12-05 10:29:21.597	2024-12-05 10:29:22.143	2024-12-05 10:38:43.893	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOL08JGMOCMUJH000	10	135576671	2024-12-05 10:29:21.63	2024-12-05 10:29:23.893	2024-12-05 10:38:52.643	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOL08JGMOCMUJH000	11	135576672	2024-12-05 10:29:21.677	2024-12-05 10:29:26.083	2024-12-05 10:39:04.347	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOP08JGMOCMUJH000	12	135576673	2024-12-05 10:29:21.707	2024-12-05 10:29:28.33	2024-12-05 10:39:44.157	0	0	10
1	SSDCS	SCAPOPOP09JGMOCMUJH000	8	135576674	2024-12-05 10:25:40.757	2024-12-05 10:25:41.243	2024-12-05 10:34:30.307	0	0	10
1	SS18S	SPXSDPOL08DBI0SZ3KH000	3	135592597	2024-12-06 11:10:19.753	2024-12-06 11:10:20.83	2024-12-06 11:18:55.94	0	0	10
1	SS18S	SPXSDPOL08DBI0SZ3KH000	4	135592598	2024-12-06 11:10:19.817	2024-12-06 11:10:24.097	2024-12-06 11:19:04.627	0	0	10
1	SS18S	SPXSDPOL08DBI0SZ3KH000	5	135592599	2024-12-06 11:10:19.863	2024-12-06 11:10:26.347	2024-12-06 11:19:15.703	0	0	10

Ryc. 83. Przykładowy raport produkcji baza danych linii Bürkle

Proces translacji informacji dla maszyn jest głównym procesem całego systemu informatycznego. Jego poprawne działanie jest kluczowe dla sukcesu produkcji i dowodzi poprawności koncepcji przyjętej do rozwiązania problemu opracowania języka sterowania dla linii technologicznych. Ścieżka krytyczna procesu opisana została na ryc. 84.



Ryc. 84. Proces translacji informacji dla maszyn (materiały firmy PORTA)

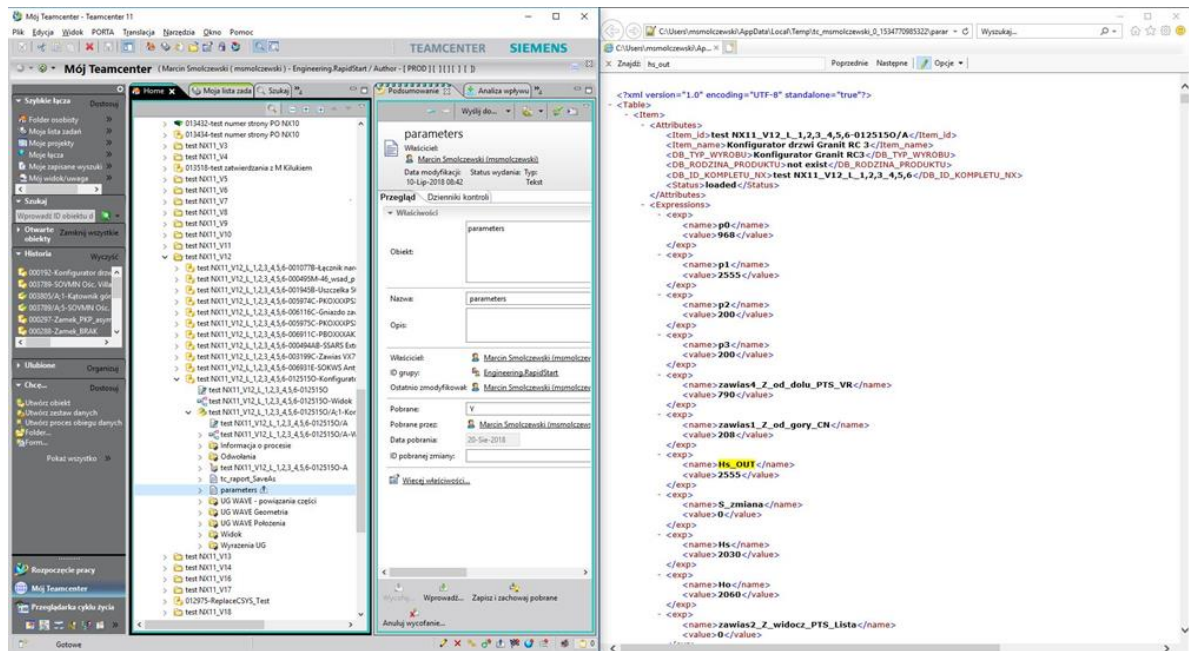
Całość procesu rozpoczyna się od danej wejściowej, jaką jest obiekt programistyczny skonfigurowanej w aplikacji linii produkcyjnej. Pierwszym krokiem jest pobranie listy produktów zatwierdzonych do produkcji z systemu ERP firmy PORTA, w tym wypadku IFS. Następnie lista produktów zapisywana jest w bazie danych Translatora w tabeli `_ifs_metka`. Po zakończeniu zapisu konstruowana jest ranga translacji przypisanej do danej linii produkcyjnej. Potem rozpoczyna się iteracja listy produktów pobranej z IFS. Algorytm sprawdza czy produkt jest wyrobem kastomizowanym (wyrób nietypowy spoza opcji katalogowych). Jeżeli tak, zostaje przeprowadzony proces pobrania danych dotyczących produktu kastomizowanego z systemu NX. Po pobraniu danych z NX następuje dekodowanie symboliki produktu z użyciem filtrów zapisanych w wcześniej zainicjowanym translatorze. Po zakończeniu dekodowania

produktu jest on dodawany do listy zdekodowanych produktów, a do bazy danych trafia informacja o statusie tłumaczenia konfiguracji produktu dla danej maszyny produkcyjnej. Kiedy iteracja wszystkich produktów z listy zatwierdzonych do produkcji dobiega końca, z konfiguracji maszyny produkcyjnej pobierany jest protokół przekazania informacji do jej baz danych. Następnie lista zdekodowanych produktów jest przekazywana do maszyny produkcyjnej zgodnie ze skonfigurowanym w niej protokołem przesłania danych.

Dekodowanie symboliki produktu polega na tym, że dekodery porównuje ją z wymaganymi wartościami zapisanymi w filtrach dla każdego parametru maszyny zdefiniowanego w Translatorze. Kiedy zostanie znaleziony dopasowany filtr, algorytm zwraca zdefiniowaną w nim wartość lub nazwę parametru ze źródła zewnętrznego. Do źródeł zewnętrznych zalicza się:

- wartość atrybutu z NX,
- wartość parametru z systemu ERP lub wartość z symboliki produktu.

Po odnalezieniu wymaganej wartości jest ona zwracana w postaci listy parametrów zdekodowanego produktu (ryc. 85).



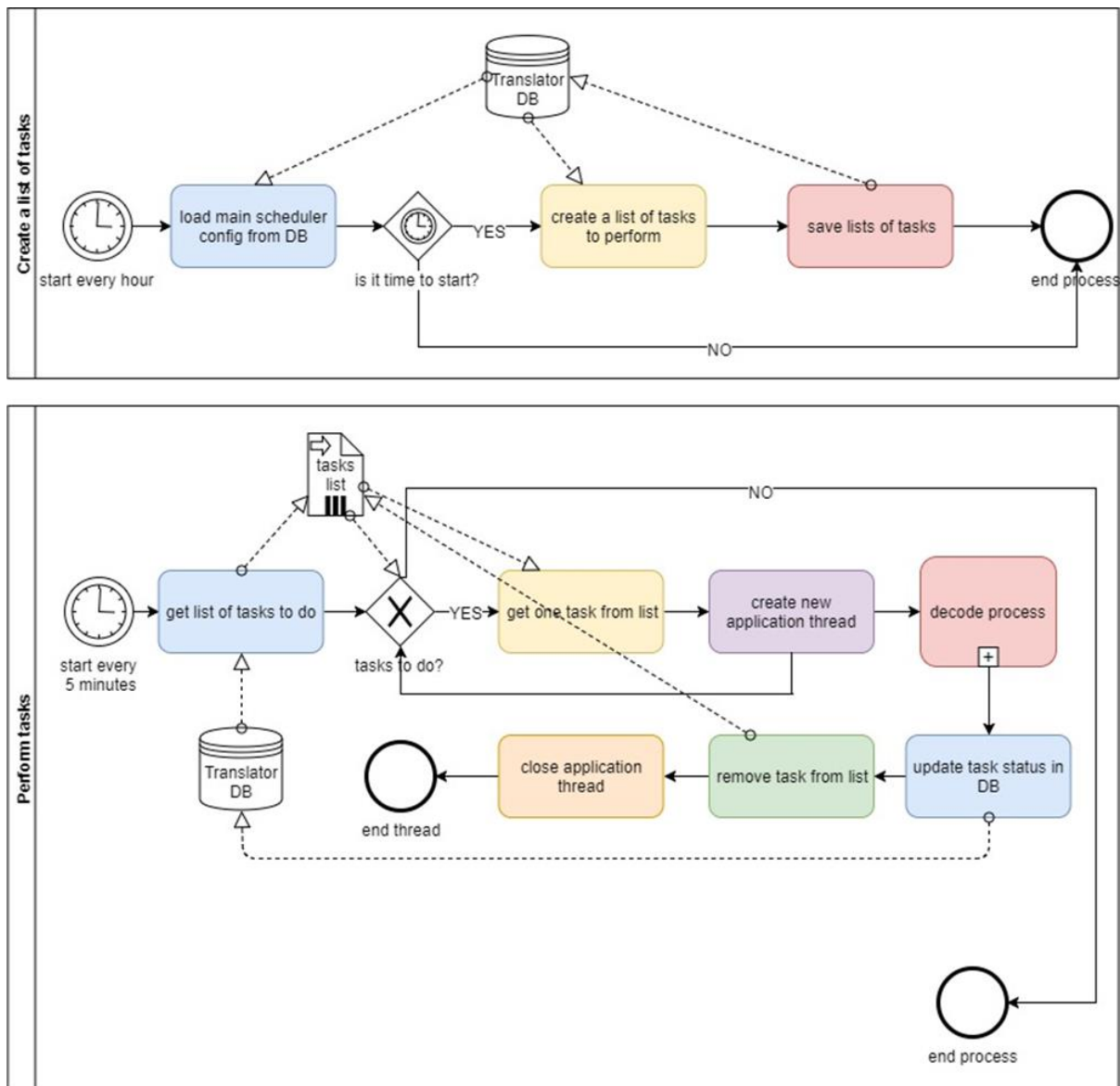
Ryc. 85. Lista parametrów zapisana w pliku Parameters w TeamCenter wygenerowana dla złożenia produktu kastomizowanego

Proces pobierania danych z TeamCenter/NX jest kluczowy do pozyskania parametrycznie opisanych nietypowych wartości produktu nietypowego (kastomizowanego). Pierwszym zadaniem po jego rozpoczęciu jest znalezienie na podstawie numeru zamówienia oraz numeru linii w tym zamówieniu nazwy zestawu złożenia w TeamCenter. Jeżeli

wyszukiwany rekord nie zostanie znaleziony, jest on rejestrowany w bazie danych rejestratora jako niegotowy w systemie NX (próba zostanie ponowiona w kolejnych wysyłkach). W przypadku, jeżeli produkt zostanie odnaleziony, rozpoczyna się połączenie z TeamCenter oraz wyszukane jest w nim złożenie produktu po nazwie zestawu. Następnie sprawdza się czy model posiada wymagany plik o nazwie parameters.xml.

Proces przesłania danych z Translatora do maszyn (Scheduler) składa się z dwóch podprocesów: tworzenie listy zadań do wykonania [Create a list of tasks] oraz wykonanie zadań [Perform tasks] (ryc. 86.):

- tworzenie listy zadań do wykonania – podproces ten jest zorganizowany w oparciu o interfejs TaskScheduler wchodzący w skład zastosowanego szkieletu programistycznego. W momencie rozpoczęcia procesu TaskScheduler sprawdza w tabeli konfiguracyjnej w bazie danych, czy to właściwy czas, żeby się uruchomić. Jeżeli tak, na podstawie pobranych z bazy danych Translatora informacji o przewidzianych w harmonogramie wysyłkach, tworzona jest lista zadań do wykonania. W kolejnym kroku lista zadań jest zapisywana w bazie danych, a podproces jest zakończony;
- wykonanie zadań – podproces ten uruchamiany jest automatycznie co pięć minut. Po każdym uruchomieniu pobiera z bazy danych sporządzoną wcześniej listę zadań, których status wykazuje, że nie zostały zakończone ani rozpoczęte. Jeżeli liczba uzyskanych zadań jest większa od zera, wybierane jest pojedyncze zadanie do wykonania. Dla każdego pojedynczego zadania do wykonania tworzony jest nowy wątek w aplikacji. Każdy wątek przechodzi następnie przez opisany wcześniej proces tłumaczenia informacji dla maszyn. Następnie w bazie danych zapisywany jest status zadania, które usuwane jest z pobranej listy zadań, a wątek zostaje zakończony. Takie działanie jest wykonywane dla każdego zadania na liście. W momencie, kiedy lista zadań do wykonania się wyczerpie, proces się kończy.



Ryc. 86. Schemat procesu przesłania danych z Translatora do maszyn (materiały firmy PORTA)

Komunikacji z maszynami w celu przekazania danych odbywa się następującymi metodami przygotowanymi do bezpośredniej komunikacji oraz systemami wydruku etykiet:

- SQL – przekazywanie sparametryzowanej informacji o produkcie przez wysłanie jej pod postacią zapytania w języku zapytań SQL bezpośrednio do serwera sterującego daną maszyną na produkcji. Dane zawarte w tej informacji trafiają do tabeli pośredniej skąd przez automatyczne skrypty są walidowane i importowane do produkcyjnej bazy danych,
- SOAP – komunikacja z wykorzystaniem usługi sieciowej, która dotyczy danych produktu zakodowanych w formie kodu języka znaczników XML. Usługa sieciowa

SOAP wykorzystuje protokół sieciowy HTTP do przesyłania zakodowanych w ten sposób informacji,

- REST – inna forma komunikacji z wykorzystaniem usług sieciowych. Ten typ usługi sieciowej również opiera się na protokole HTTP w celu przeprowadzenia wymiany informacji. Cechuje się ona dużą elastycznością ze względu na znaczną liczbę formatów, w jakich dane mogą być zakodowane. Są to między innymi: HTML, XML, zwykły tekst, PDF, JPEG oraz JSON.

8. Badania wydajności linii technologicznych

Dla zgromadzenia usystematyzowanej wiedzy technologicznej służącej opracowaniu sposobów osiągnięcia założonej wydajności linii technologicznych do produkcji drzwi drewnianych przeprowadzono szereg badań i testów. Badania te przeprowadzono w zakładzie w Bolszewie, gdzie ciągle pracująca i unowocześniana technologia pozawala na prowadzenie eksperymentów i gromadzenia niezbędnych danych. Dotyczyły one m.in. określenia, jakie parametry wyrobów wpływają na wydajność linii oklejania wąskich powierzchni skrzydeł czy frezowania profili w szerokich powierzchniach.

Uzyskane wyniki posłużyły też do identyfikacji i uszeregowania znaczenia różnych czynników wpływających na wydajność wybranych składników podstawowego wyposażenia technologicznego modernizowanego zakładu. A w dalszej kolejności były niezbędne do opracowania strategii ulepszania i procesu produkcyjnego przez jego reorganizację w celu osiągnięcia założonej wydajności.

8.1. Test I. Analiza danych produkcyjnych dla określenia czynników determinujących wydajność linii technologicznej

W związku z potrzebą oceny wykorzystania modułów maszynowych linii technologicznych dla określenia spełnienia projektowych założeń dotyczących wydajności, postanowiono przeprowadzić badania w oparciu o uzyskane danych produkcyjnych z systemu informatycznego sterującego pracą linii. Celem tych badań było określenie wydajności linii w poszczególnych dniach roboczych oraz określenie ewentualnego wpływu czynników organizacyjno-technologicznych charakteryzujących pracę linii, które mogą być zdefiniowane i określone na podstawie analizy czasowych danych technologicznych uzyskanych z systemu informatycznego sterującego pracą linii (Kwidziński i in., 2022).

Do testów wybrano linię technologiczną HOMAG KFL przeznaczoną do obróbki wąskich powierzchni skrzydeł drzwiowych w zakładzie firmy PORTA w Bolszewie. Składa się ona z modułu formatyzowania, frezowania przyłgi skrzydła drzwiowego, modułu aplikacji obrzeży, sekcji okleinującej, modułu frezowania narożników oraz modułu obróbki krawędzi, który ma kluczowe znaczenie dla wydajności całej linii produkcyjnej. W procesie produkcji każde skrzydło drzwiowe przechodzi przez tę linię co najmniej trzy razy (do sześciu razy) w celu obróbki trzech powierzchni (dwóch bocznych i jednej górnej). Dlatego, aby

wyprodukować jedno skrzydło drzwiowe, linia musi wykonać od trzech do sześciu cykli roboczych. W tym procesie kolejne zespoły obróbcze wykonują następujące czynności:

1. załadunek skrzydeł drzwiowych do produkcji (portal podający),
2. referencyjne frezowanie wśakich powierzchni skrzydeł (frezarka referencyjna),
3. obróbka obrzeży (obrzeża z maszyną do obróbki przylg),
4. układanie obrobionych skrzydeł drzwiowych i przekazywanie ich do dalszej obróbki (dwukierunkowy portal do sztaplowania).

Proces badawczy składał się z dwóch etapów. W pierwszym etapie dane dotyczące obróbki skrawaniem zostały zebrane w okresie od września do grudnia 2020 roku. Wówczas dane pozyskane z systemu informatycznego sterującego pracą linii miały postać plików *.csv (ryc. 87.). Dane te zostały przeanalizowane w oprogramowaniu MS Excel w celu określenia wydajności linii technologicznej.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	Production_Barcode_I	CYCLE	maxCY	Status	Date	User	Data	Czas	Takt	Czas prze
2	200394	123065054	2	3	10	2020-09-14 08:40:10.05	JB	14.09.2020	08:40:10	00:01:25	#NAZWA?
3	200395	123065055	2	3	10	2020-09-14 08:41:35.75	JB	14.09.2020	08:41:35	00:01:19	#NAZWA?
4	200396	123065056	2	3	10	2020-09-14 08:42:54.253	JB	14.09.2020	08:42:54	00:00:11	#NAZWA?
5	200397	123065057	2	3	10	2020-09-14 08:43:05.0	JB	14.09.2020	08:43:05	00:01:30	#NAZWA?
6	200398	123065059	2	3	10	2020-09-14 08:44:35.897	JB	14.09.2020	08:44:35	00:00:11	#NAZWA?
7	200399	123065060	2	3	10	2020-09-14 08:44:46.05	JB	14.09.2020	08:44:46	00:00:10	#NAZWA?
8	200400	123065061	2	3	10	2020-09-14 08:44:56.553	JB	14.09.2020	08:44:56	00:20:32	00:20:32
9	200401	123065062	2	3	10	2020-09-14 09:05:28.21	JB	14.09.2020	09:05:28	00:07:51	00:07:51
10	200402	123065063	2	3	10	2020-09-14 09:13:19.41	JB	14.09.2020	09:13:19	00:01:12	#NAZWA?
11	200403	123065036	2	3	10	2020-09-14 09:14:31.493	JB	14.09.2020	09:14:31	00:01:36	#NAZWA?
12	200404	123065037	2	3	10	2020-09-14 09:16:07.557	JB	14.09.2020	09:16:07	00:00:10	#NAZWA?
13	200405	123065038	2	3	10	2020-09-14 09:16:17.75	JB	14.09.2020	09:16:17	00:00:11	#NAZWA?
14	200406	123065039	2	3	10	2020-09-14 09:16:28.207	JB	14.09.2020	09:16:28	00:02:34	#NAZWA?
15	200407	123065040	2	3	10	2020-09-14 09:19:02.607	JB	14.09.2020	09:19:02	00:00:36	#NAZWA?
16	200408	123065048	2	3	10	2020-09-14 09:19:38.497	JB	14.09.2020	09:19:38	00:00:09	#NAZWA?
17	200409	123065049	2	3	10	2020-09-14 09:19:47.943	JB	14.09.2020	09:19:47	00:01:17	#NAZWA?
18	200410	123065050	2	3	10	2020-09-14 09:21:04.95	JB	14.09.2020	09:21:04	00:00:11	#NAZWA?
19	200411	123065051	2	3	10	2020-09-14 09:21:15.053	JB	14.09.2020	09:21:15	00:00:10	#NAZWA?
20	200412	123065052	2	3	10	2020-09-14 09:21:25.35	JB	14.09.2020	09:21:25	00:00:16	#NAZWA?
21	200413	123065023	2	3	10	2020-09-14 09:21:41.95	JB	14.09.2020	09:21:41	00:00:11	#NAZWA?
22	200414	123065024	2	3	10	2020-09-14 09:21:52.25	JB	14.09.2020	09:21:52	00:00:10	#NAZWA?
23	200415	123065025	2	3	10	2020-09-14 09:22:02.2	JB	14.09.2020	09:22:02	00:00:10	#NAZWA?
24	200416	123065026	2	3	10	2020-09-14 09:22:12.957	JB	14.09.2020	09:22:12	00:02:08	#NAZWA?
25	200417	123065027	2	3	10	2020-09-14 09:24:20.403	JB	14.09.2020	09:24:20	00:00:12	#NAZWA?
26	200418	123065041	2	3	10	2020-09-14 09:24:32.603	JB	14.09.2020	09:24:32	00:00:10	#NAZWA?
27	200419	123065042	2	3	10	2020-09-14 09:24:42.557	JB	14.09.2020	09:24:42	00:00:11	#NAZWA?
28	200420	123065043	2	3	10	2020-09-14 09:24:53.153	JB	14.09.2020	09:24:53	00:00:10	#NAZWA?
29	200421	123065044	2	3	10	2020-09-14 09:25:03.16	JB	14.09.2020	09:25:03	00:00:10	#NAZWA?
30	200422	123065045	2	3	10	2020-09-14 09:25:13.5	JB	14.09.2020	09:25:13	00:00:49	#NAZWA?
31	200423	123065028	2	3	10	2020-09-14 09:26:02.85	JB	14.09.2020	09:26:02	00:00:11	#NAZWA?

Ryc. 87. Przykładowy układ danych maszynowych w pliku *.csv

W pierwszej kolejności dane zostały posortowane w oparciu o kolumnę "CYKL" (ryc. 88.). Gdy wartość w kolumnie zmieni się na przykład z 1 na 3, oznacza to, że cała paleta jednego rodzaju skrzydła drzwiowego przeszła przez linię w celu obróbki jednej krawędzi, a następnie moduły maszynowe zostały przebrojone na obróbkę innego typu skrzydeł drzwiowych przygotowanych na następnej palecie. Z wykorzystaniem funkcji JEŻELI(C1 <> C2; 1; 1; 0), dane z kolumny CYKL można wykorzystać do określenia momentu, w którym następuje

przebrojenie maszyny. Pierwsze skrzydło drzwi obrabiane po przeobrażeniu oznaczone jest cyfrą 1 w kolumnie L. Następnie w kolumnie M, w oparciu o kolumnę L, każda seria obrabionych skrzydeł drzwiowych została kolejno ponumerowana dzięki wzorowi = L2 + M1. Na podstawie uzyskanych danych w kolumnie F (Data) można określić dokładny czas godzinę rozpoczęcia i zakończenia cyklu obróbki każdego. Na podstawie tych czasów obliczono czas produkcji dla każdego dnia produkcji skrzydeł drzwiowych. Z kolumny B (ID kodu kreskowego produkcji) można policzyć liczbę cykli roboczych wykonanych na skrzydłach drzwiowych wyprodukowanych każdego dnia produkcyjnego. Te dwa parametry są bardzo ważne dla głównego parametru charakteryzującego produkcję, czyli liczby cykli wykonywanych na minutę. Kolumna J przedstawia czasy cyklu roboczego dla produkcji skrzydeł drzwiowych. Na podstawie tych danych udało się obliczyć średni czas produkcji z wykorzystaniem funkcji =ŚREDNIA(Jx; Jy). Korzystanie z funkcji =MODESNGL(Jx; Jy) pozwoliło odnaleźć najczęściej występujący czas cyklu roboczego i z użyciem funkcji =COUNTIF(Jx:Jy; najczęstszy czas), obliczono, ile razy ten czas został osiągnięty podczas produkcji.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
ID	Production_Barcode_ID	CYCLE	maxCYCL	Status	Date	User	Data	Czas	Takt	Czas przestoju					CzyPrzezb	Key	MaxTakt	Count	
226827	123093324	2	6	10	2020-10-19 13:24:54	JB	19.10.2020	13:24:54	00:09:09	#NAZWA?	1	1	1		1	1y		00:09:09	1
226828	123357016	1	3	10	2020-10-19 13:34:03	JB	19.10.2020	13:34:03	00:00:12	#NAZWA?	1	2	5		0	2y		00:00:12	0
226829	123357015	1	3	10	2020-10-19 13:34:15	JB	19.10.2020	13:34:15	00:00:09	#NAZWA?	0	2	3		0				0
226830	123393375	1	3	10	2020-10-19 13:34:24	JB	19.10.2020	13:34:24	00:00:12	#NAZWA?	0	2	1		0				0
226831	123393376	1	3	10	2020-10-19 13:34:36	JB	19.10.2020	13:34:36	00:00:12	#NAZWA?	0	2	5		0	2y		00:00:12	0
226832	123393385	1	3	10	2020-10-19 13:34:48	JB	19.10.2020	13:34:48	00:01:03	#NAZWA?	0	2	1		0				0
226833	123225209	1	3	10	2020-10-19 13:35:51	JB	19.10.2020	13:35:51	00:00:12	#NAZWA?	0	2	5		0	2y		00:00:12	0
226834	123225208	1	3	10	2020-10-19 13:36:03	JB	19.10.2020	13:36:03	00:00:09	#NAZWA?	0	2	3		0				0
226835	123225203	1	3	10	2020-10-19 13:36:12	JB	19.10.2020	13:36:12	00:00:12	#NAZWA?	0	2	5		0	2y		00:00:12	0
226836	123225202	1	3	10	2020-10-19 13:36:24	JB	19.10.2020	13:36:24	00:00:09	#NAZWA?	0	2	3		0				0
226837	123225201	1	3	10	2020-10-19 13:36:33	JB	19.10.2020	13:36:33	00:00:12	#NAZWA?	0	2	5		0	2y		00:00:12	0
226838	123225200	1	3	10	2020-10-19 13:36:45	JB	19.10.2020	13:36:45	00:00:09	#NAZWA?	0	2	1		0				0
226839	123225199	1	3	10	2020-10-19 13:36:54	JB	19.10.2020	13:36:54	00:08:30	#NAZWA?	0	2			1	2y		00:08:30	1
226840	123256303	3	6	10	2020-10-19 13:45:24	JB	19.10.2020	13:45:24	00:00:10	#NAZWA?	1	3	1		0	3y		00:00:10	0
226841	123256304	3	6	10	2020-10-19 13:45:34	JB	19.10.2020	13:45:34	00:00:11	#NAZWA?	0	3	1		0	3y		00:00:11	0
226842	123256305	3	6	10	2020-10-19 13:45:45	JB	19.10.2020	13:45:45	00:00:10	#NAZWA?	0	3	1		0	3y		00:00:10	0
226843	123256306	3	6	10	2020-10-19 13:45:55	JB	19.10.2020	13:45:55	00:01:57	#NAZWA?	0	3	1		0	3y		00:01:57	0
226844	123093324	3	6	10	2020-10-19 13:47:52	JB	19.10.2020	13:47:52	00:03:30	#NAZWA?	0	3			1	3y		00:03:30	2
226845	123225199	2	3	10	2020-10-19 13:51:22	JB	19.10.2020	13:51:22	00:00:34	#NAZWA?	1	4	1		0				0
226846	123225200	2	3	10	2020-10-19 13:51:56	JB	19.10.2020	13:51:56	00:00:10	#NAZWA?	0	4	2		0	4y		00:00:10	0
226847	123225201	2	3	10	2020-10-19 13:52:06	JB	19.10.2020	13:52:06	00:00:10	#NAZWA?	0	4	1		0				0
226848	123225202	2	3	10	2020-10-19 13:52:16	JB	19.10.2020	13:52:16	00:00:10	#NAZWA?	0	4	2		0	4y		00:00:10	0
226849	123225203	2	3	10	2020-10-19 13:52:26	JB	19.10.2020	13:52:26	00:00:10	#NAZWA?	0	4	2		0	4y		00:00:10	0
226850	123225208	2	3	10	2020-10-19 13:52:36	JB	19.10.2020	13:52:36	00:00:11	#NAZWA?	0	4	1		0				0
226851	123225209	2	3	10	2020-10-19 13:52:47	JB	19.10.2020	13:52:47	00:03:39	#NAZWA?	0	4	1		0				0
226852	123393385	2	3	10	2020-10-19 13:56:26	JB	19.10.2020	13:56:26	00:00:10	#NAZWA?	0	4	2		0	4y		00:00:10	0
226853	123393376	2	3	10	2020-10-19 13:56:36	JB	19.10.2020	13:56:36	00:04:03	#NAZWA?	0	4	1		0				0
226854	123393375	2	3	10	2020-10-19 14:00:39	JB	19.10.2020	14:00:39	00:00:35	#NAZWA?	0	4	1		0				0

Ryc. 88. Przykład danych maszyny posortowanych według kolumny CYKL

Wszystkie te parametry (średni czas jednego cyklu roboczy, średni czas przeobrażania, liczba przebrojeń, liczba skrzydeł drzwiowych opuszczających się w serii, najczęstszy czas serii) zostały podsumowane w arkuszu (ryc. 89).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Date	Start of production	End of production	Time of production	Convert to minutes	Number of doors on the pallet	Number of door leave	Number of cycles performed per min	Mean time of the cycle	Convert to seconds	Retooling time	Convert to minutes	Number of retoolings	Number of most frequent time	Convert to minutes	Most frequent time in %		
2	14.09.2020	8:40:10	13:47:31	5:07:21	307.35000	20.26667	265	0.86221	0:01:10	70.00000	0:17:08	17.12576	10	4	0.66667	0.21691		
3	15.09.2020	6:38:33	18:43:53	12:05:20	725.33333	40.66667	1017	1.40211	0:00:43	42.79253	0:15:06	15.10000	27	13	2.16667	0.29871		
4	16.09.2020	8:23:10	18:39:04	10:15:54	615.90000	32.40909	714	1.15928	0:00:52	51.75630	0:15:48	15.80079	20	13	2.16667	0.35179		
5	17.09.2020	8:18:55	18:46:52	10:27:57	627.95000	23.29730	863	1.37431	0:00:44	43.65817	0:15:19	15.31667	21	15	2.50000	0.39812		
6	18.09.2020	6:43:25	18:34:57	11:51:32	711.53333	22.67241	1286	1.80736	0:00:23	33.19751	0:10:52	10.86746	21	27	4.50000	0.63244		
7	19.09.2020	7:15:11	13:39:31	6:24:20	384.33333	40.50000	1003	2.60971	0:00:23	22.99103	0:11:47	11.78704	9	3	0.50000	0.13010		
8	21.09.2020	6:48:19	13:47:09	6:58:50	418.83333	14.16393	865	2.06526	0:00:29	29.05202	0:11:08	11.13030	11	30	5.00000	1.19379		
9	22.09.2020	6:44:31	12:32:00	5:47:29	347.48333	19.12500	919	2.64473	0:00:23	22.68662	0:08:39	8.65278	6	25	4.16667	1.19910		
10	23.09.2020	7:04:53	13:40:58	6:36:05	396.08333	35.84000	876	2.21166	0:00:27	27.12900	0:09:30	9.49861	12	12	2.00000	0.50494		
11	24.09.2020	6:43:16	13:52:48	7:09:32	429.53333	19.66667	1025	2.38631	0:00:25	25.14341	0:15:14	15.23095	7	33	5.50000	1.28046		
12	25.09.2020	8:10:27	20:58:18	12:47:51	767.85000	20.51282	801	1.04317	0:00:58	57.51685	0:11:43	11.71838	39	12	2.00000	0.26047		
13	28.09.2020	6:49:54	19:19:36	12:29:42	749.70000	22.68182	1498	1.98813	0:00:30	30.02804	0:13:35	13.58704	18	38	6.33333	0.84478		
14	29.09.2020	6:45:51	18:00:43	11:14:52	674.86667	31.41379	912	1.35138	0:00:44	44.39912	0:14:27	14.45287	29	8	1.33333	0.19757		
15	30.09.2020	6:47:11	21:04:13	14:17:02	857.03333	22.70588	1159	1.35234	0:00:44	44.36756	0:12:41	12.68542	32	29	4.83333	0.56396		
16	01.10.2020	7:08:45	13:51:09	6:42:24	402.40000	20.00000	541	1.34443	0:00:45	44.62847	0:16:15	16.24394	11	9	1.50000	0.37276		
17	02.10.2020	6:34:01	13:40:44	7:06:43	426.71667	19.61702	923	2.16303	0:00:28	27.73889	0:15:07	15.11042	8	26	4.33333	1.01551		
18	05.10.2020	6:38:47	13:51:13	7:12:26	432.43333	28.62500	628	1.45225	0:00:41	41.31529	0:22:36	22.59500	10	6	1.00000	0.23125		
19	06.10.2020	6:49:37	15:48:09	8:58:32	538.53333	18.87500	949	1.76219	0:00:34	34.04847	0:19:14	19.23889	12	20	3.33333	0.61897		
20	07.10.2020	7:22:10	15:45:41	8:23:31	503.51667	20.36585	854	1.69607	0:00:35	35.37588	0:10:55	10.91905	21	23	3.83333	0.76131		
21	08.10.2020	6:30:23	21:32:09	15:01:46	901.76667	17.20000	1807	2.00384	0:00:30	29.94245	0:10:39	10.65402	29	54	9.00000	0.99804		
22	09.10.2020	6:33:00	21:19:55	14:46:55	886.91667	15.73239	1118	1.26055	0:00:48	47.59839	0:22:05	22.08788	22	31	5.16667	0.58254		
23	12.10.2020	6:49:01	13:48:10	6:59:09	419.15000	46.52174	1071	2.55517	0:00:23	23.48179	0:13:06	13.10185	9	14	2.33333	0.55668		
24	13.10.2020	6:51:51	13:46:14	6:54:23	414.38333	18.80000	754	1.81957	0:00:33	32.74800	0:10:04	10.06458	16	8	1.33333	0.32176		
25	14.10.2020	6:56:47	16:19:51	9:23:04	563.06667	19.80769	1031	1.83104	0:00:33	32.76819	0:12:06	12.10526	19	15	2.50000	0.44400		
26	15.10.2020	6:49:41	21:10:39	14:20:58	860.96667	23.87143	1672	1.94200	0:00:31	30.89593	0:10:55	10.91905	21	14	2.33333	0.27101		
27	16.10.2020	7:03:12	17:13:48	10:10:36	610.60000	26.14815	1413	2.31412	0:00:26	25.92781	0:09:02	9.03148	18	22	3.66667	0.60050		
28	19.10.2020	6:58:32	21:26:37	14:28:05	868.0833	28.17647059	1438	1.656522991	0:00:36	36.22044506	0:13:05	13.08988	28	24	4	0.46078525		

Ryc. 89. Przykład parametrów statystycznych wyznaczonych na podstawie danych produkcyjnych uzyskanych z maszyny

Na zakończenie analizy powstał kolejny arkusz w postaci tabeli, w której wyliczone parametry statystyczne zostały uśrednione dla każdego dnia produkcyjnego w analizowanym okresie (ryc. 90.).

Values					
Date	Average lowest time	Average highest time	Sum of number of door on pallet	Sum of time without retooling	
14.09.2020	0:00:58	0:12:52	304	0:13:28	
15.09.2020	0:00:17	0:11:50	976	0:38:01	
16.09.2020	0:00:09	0:14:46	713	0:19:54	
17.09.2020	0:00:20	0:08:22	862	0:20:52	
18.09.2020	0:00:20	0:05:22	1315	0:42:02	
19.09.2020	0:00:09	0:04:33	972	0:09:04	
21.09.2020	0:00:31	0:03:01	864	0:25:33	
22.09.2020	0:00:22	0:02:39	918	0:13:38	
23.09.2020	0:00:45	0:05:09	896	0:07:59	
24.09.2020	0:00:16	0:03:34	1003	0:19:50	
25.09.2020	0:00:41	0:08:30	800	0:36:29	
28.09.2020	0:00:37	0:05:19	1497	0:36:22	
29.09.2020	0:00:15	0:12:33	911	0:37:54	
30.09.2020	0:00:27	0:08:21	1158	1:11:23	
SUM	0:00:26	0:06:36	13189	6:32:29	

Ryc. 90. Przykład uśrednionych danych miesięcznych (wrzesień)

Wyniki podsumowano w ciągu kilku miesięcy okresu badania (w podziale na dane z września, października, listopada i grudnia 2020). Ważne jest, aby pokazać, że w sprzyjających warunkach linia HOMAG może osiągnąć poziom wydajności ponad 2,5 cykli na minutę. Ale często jest niższy, czasami tylko 0,5 cyklu na minutę. Oznacza to, że istnieją czynniki, które ograniczają tę wydajność. Celem naukowym dalszych badań powinno być zidentyfikowanie tych czynników, a celem biznesowym wyeliminowanie lub ograniczenie ich wpływu na wydajność linii technologicznej.

Przeprowadzona analiza wykazała, że poziom wpływu czynników wewnętrznych na wydajność tej linii technologicznej, który można określić na podstawie danych produkcyjnych, jest niewielki. Czynniki wewnętrzne takie jak: średni czas przezbrajania, liczba przezbrojeń, liczba drzwi na palecie oraz liczba najczęstszych czasów w jednej zmianie roboczej nie mają wpływu na wydajność linii oklejania wąskich powierzchni skrzydeł drzwiowych. Można więc wnioskować, że zebrane dane maszynowe nie pozwalają na identyfikację czynników wpływających na dobową zmienność wydajności. Albo system informatyczny nie jest w stanie ich wychwycić, albo też znajdują się poza obszarem kontrolowanym przez system. Można więc stwierdzić, że moduł oklejania obrzeży w linii jest elastyczny w znanych i mierzalnych warunkach. Jednak w wyniku przeprowadzonych testów stwierdzono znaczne zróżnicowanie w wydajności linii, określone średnią liczbą skrzydeł drzwiowych wyprodukowanych na minutę. Jest to wartość od nieco ponad 0,5 do ponad 2,5 sztuki na minutę. Świadczy to o obecności czynników zewnętrznych wpływających na wydajność linii lub czynników wewnętrznych niezidentyfikowanych w przeprowadzonej analizie. W tym przypadku do czynników zewnętrznych można zaliczyć się zmienność struktury zamówień klientów. Z drugiej strony, w celu zidentyfikowania ewentualnych czynników wewnętrznych związanych z pracą linii konieczne jest prowadzenie bardziej rozbudowanych obserwacji czasu pracy, szczególnie w zakresie identyfikacji przyczyn przestoju. Jest to potrzebne, ponieważ duże różnice w wydajności w poszczególnych dniach wskazują na istnienie czynników ją ograniczających. W związku z tym, dla skutecznej realizacji masowej kustomizacji, dzięki której wydajność modułów linii będzie stabilna, a ich działanie jak najbardziej elastyczne, konieczne jest przeprowadzenie zaplanowanych testów technologicznych w celu zidentyfikowania tych czynników i ich znaczenia. Po ich zidentyfikowaniu należy przeprogramować system informatyczny tak, aby zbierał i analizował te dane, co zapobiegnie spadkom wydajności linii.

8.2. Test II. Wpływ parametrów skrzydła drzwiowego na wydajność linii technologicznej

Celem badania było przetestowanie hipotezy, że kolejność obrabianych skrzydeł drzwiowych różniących się kolorem, szerokością i obecnością przyłgi wpływa na wydajność linii. Ponadto postanowiono określić, który z tych zmiennych czynników ma największe

znaczenie w klasyfikacji partii podczas produkcji skrzydeł drzwiowych na zautomatyzowanej linii produkcyjnej (Michalak i in., 2024).

W testach skrzydła drzwiowe skategoryzowane ze względu na kolor, szerokość i obecność przyłgi zostały przetestowane pod kątem wydajności maszyn formatująco-oklejających. W badaniach zmierzono czas, jaki upłynął między zakończeniem cyklu na linii dwóch kolejnych skrzydeł drzwiowych w serii dla określenia zmienności tego czasu w zależności od parametrów obrabianych przedmiotów. Badanie zostało przeprowadzone w zakładzie Bolszewie z uwagi na stabilne już środowisko produkcyjne, by uniknąć wpływu innych czynników na jego wynik. Wykorzystana została w badaniach linia firmy HOMAG dla identyfikacji czynników mogących oddziaływać na jej wydajność zgodnie z wnioskiem z poprzedniej analizy.

Każde skrzydło było oznaczone kodem QR zawierającym informacje takie jak numer cyklu, wymiary, kolor wykończenia, rodzina, model, typ okucia i inne niezbędne specyfikacje do jego identyfikacji i bezbłędnej obróbki. Zanim każda sztuka zostanie wprowadzona na linię, zamieszczona etykieta z kodem QR jest skanowana, a wraz z informacjami wysyłanymi do maszyn, ustawienia linii są automatycznie dostosowywane. Każde skrzydło drzwi musi przejść co najmniej trzy cykle na linii HOMAG. Wąska górna powierzchnia skrzydła drzwiowego jest obrabiana w pierwszym przejściu, a w kolejnych dwóch przejściach obrabiane są wąskie powierzchnie boczne. Każda zmiana parametrów obróbki stanowi wyzwanie ze względu na zmianę ustawień modułów linii. Zmiana koloru wykończenia wąskich powierzchni pomiędzy kolejnymi elementami wymaga dodatkowego czasu, aby linia technologiczna nagrzała lub schłodziła lampy do odpowiedniej temperatury. Proces chłodzenia nie jest dodatkowo wspomagany. Kolejno układane skrzydła drzwiowe o różnych szerokościach wymuszają zmianę ustawienia baz na maszynie, natomiast przejście z obróbki elementów bezprzyłgowych na skrzydła przyłgowe wiąże się z uruchomieniem kolejnej głowicy frezującej.

Badania przeprowadzono na skrzydłach drzwiowych o konstrukcji ramowej, które są wytwarzane w ciągłej produkcji. Wąskie powierzchnie zostały wykończone obrzeżem ABS o grubości 1 mm. Badaniem objęto cztery grupy skrzydeł drzwiowych. Pierwsza z nich składała się z wyrobów o identycznych parametrach, natomiast kolejne trzy składały się z wyrobów o zróżnicowanych wymaganiach dotyczących ustawiania linii. Skrzydła drzwiowe z różnych grup układano naprzemiennie na paletach. Na potrzeby testów zmierzono czasy obróbki dla 72 skrzydeł drzwiowych, z których każde przeszło wszystkie trzy cykle obróbki, co dało łącznie 216 kontrolowanych cykli. Zestawy mieszane zostały dobrane w taki sposób, aby produkty

różniły się tylko jednym parametrem wpływającym na ustawienie linii – kolorem, szerokością lub występowaniem przylgi (tab. 15., ryc. 91.). Pozostałe cechy dotyczące obróbki były w każdej grupie takie same.

Tabela. 15 Testowane warianty typów drzwi

Testowany wariant	Ilość testowana [sztuki]	Testowane skrzydło drzwiowe	
		Model	Kolor
Sortowane	5	Agat	Orzech
	5	32 dB	Biały
	5	Extreme RC3	Klon
	5	Ekstreme RC3	Dąb
Zmiana koloru	10	Extreme C	Klon
	10	Extreme C	Dąb
Zmiana szerokości	10	32 dB	Biały
	10	Agat	Orzech
Naprzemiennie przylgowe i beprzylgowe	6	Agat	Orzech
	6	Vector	Unicolor



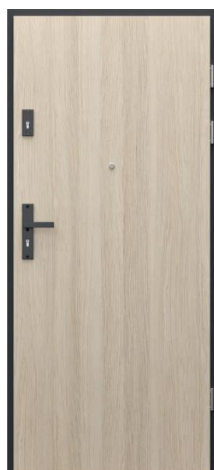
SSWZS Agat Orzech



SSAKS 32dB Biały



SSARS Extreme C Klon



SSARS Extreme RC3 Dąb



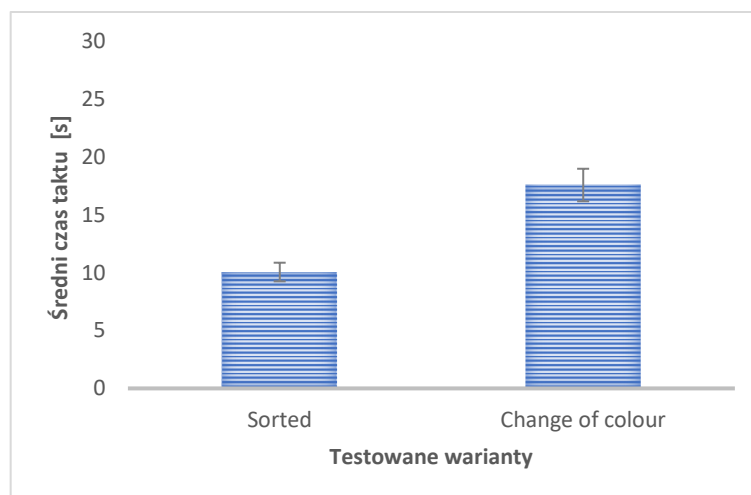
SSPTS Unicolor

Rys. 91. Wizualizacja typów drzwi wykorzystywanych do badań.

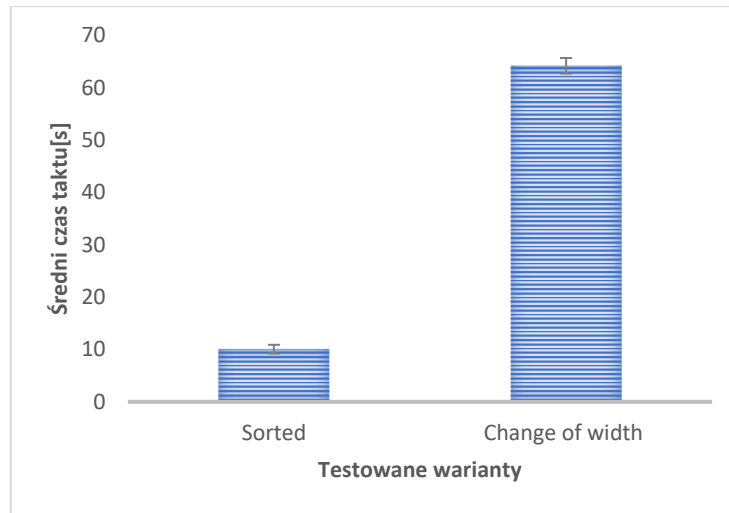
Pomiary czasowe zostały przeprowadzone przy stałej prędkości posuwu linii 20 m/min. Do precyzyjnego monitorowania czasu wykorzystano stoper o rozdzielczości 0,01 s. Procedura pomiarowa polegała na ustaleniu czasu pomiędzy zakończeniem przetwarzania kolejnych produktów. Pomiar czasu rozpoczął się w momencie opuszczenia linii przez pierwsze skrzydło drzwi, a kończył w momencie opuszczenia linii przez kolejne skrzydło drzwi. Zmierzony czas był w istocie taktem linii. W efekcie dla serii zawierającej n elementów uzyskano pomiary czasowe w liczbie $n - 1$ uwzględniające kolejno obrabiane skrzydła na linii technologicznej.

Zmierzone czasy zostały podzielone na cztery zestawy ze względu na charakterystykę grup przygotowanych do eksperymentu skrzydeł drzwiowych: sortowane – o identycznych parametrach obróbki, ze zmianą koloru, szerokości oraz naprzemiennie z przylgą lub bez. Pomiary wykorzystano do obliczeń. Pomiary podczas przestoju linii zostały wykluczone.

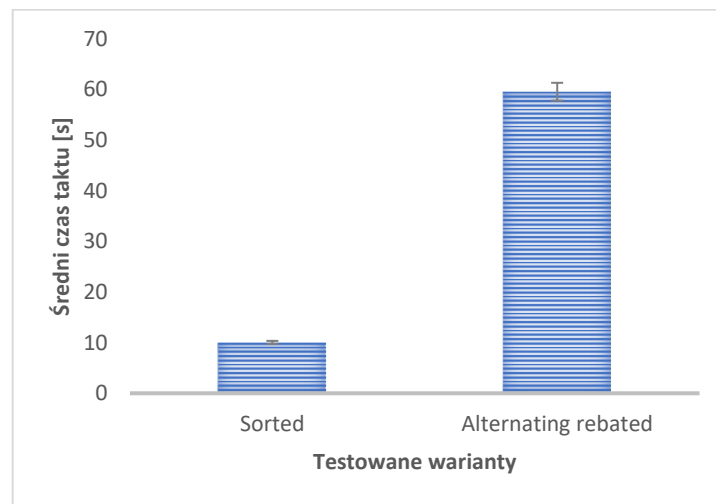
Średni czas obróbki w zależności od badanego wariantu skrzydła drzwiowego, przedstawiono na ryc. 92-94. W serii posortowanych skrzydeł drzwiowych średni czas pomiędzy zakończeniem obróbki dwóch kolejnych skrzydeł wynosił 10,06 s. Dla produktów ułożonych naprzemiennie pod względem kolorów wykończenia średni czas taktu wyniósł 17,58 s. Partia skrzydeł drzwiowych z naprzemiennie występującymi przylgami osiągnęła średni czas taktu na poziomie 59,58 s. W grupie drzwi o zmiennych szerokościach średni czas pomiędzy wyjściem produktów z linii wynosił 64,21 s. Wartości te przedstawiono na odpowiednich wykresach na rys. 92-94, obrazujących zmienność czasu taktu w zależności od różnicy parametrów poprzednich skrzydeł drzwiowych.



Ryc. 92. Czas taktu dla serii sortowanych kolorystycznie i serii ze zmianą koloru



Ryc. 93. Czas taktu dla serii skrzydeł sortowanych pod względem szerokości i serii o zmienianej szerokości



Ryc. 94. Czas taktu serii skrzydeł dla serii sortowanych z przylgą i serii naprzemiennie przylgowych i bezprzylgowych

Na ryc. 92 przedstawiono czas potrzebny na obróbkę skrzydeł ze zmianą koloru kolejno obrabianych wyrobów i serią posortowanych kolorystycznie. Wartości te różnią się około dwukrotnie. Kolejne wykresy (ryc. 93. i 94.), ilustrują różnice w wielkości taktu linii związane z doбором skrzydeł drzwiowych i ułożeniu ich naprzemiennie pod względem szerokości i występowania przyłgi. Różnice czasowe w obu tych porównaniach są podobne. Obróbki skrzydła drzwiowego o szerokości innej niż poprzednia skutkuje sześciokrotnym wydłużeniem czasu taktu. Jest to bardzo istotna wartość, szczególnie przy produkcji masowej. Biorąc pod uwagę, że każde skrzydło drzwiowe musi przejść 3 cykle obróbcze na linii, można symulować prognozy produkcji na ośmiogodzinną zmianę dla każdej z czterech możliwości ułożenia kolejności skrzydeł drzwiowych. Podzielenie czasu interwału przez trzykrotny średni czas

uzyskany w poprzednich obliczeniach (ryc. 92-94) daje wzrost liczby w pełni obrabianych drzwi w kolejnych godzinach pracy. Prognozę taką dla posortowanych serii w partiach po 20 sztuk przedstawiono na ryc. 95. Wartości tam pokazane obliczono przy użyciu wzoru:

$$D = \frac{1}{3} \cdot \frac{h \cdot 3600}{\overline{x}_s + \frac{\overline{x}_{us}}{e}}$$

gdzie:

D – liczba obrabianych drzwi w ciągu h godzin,

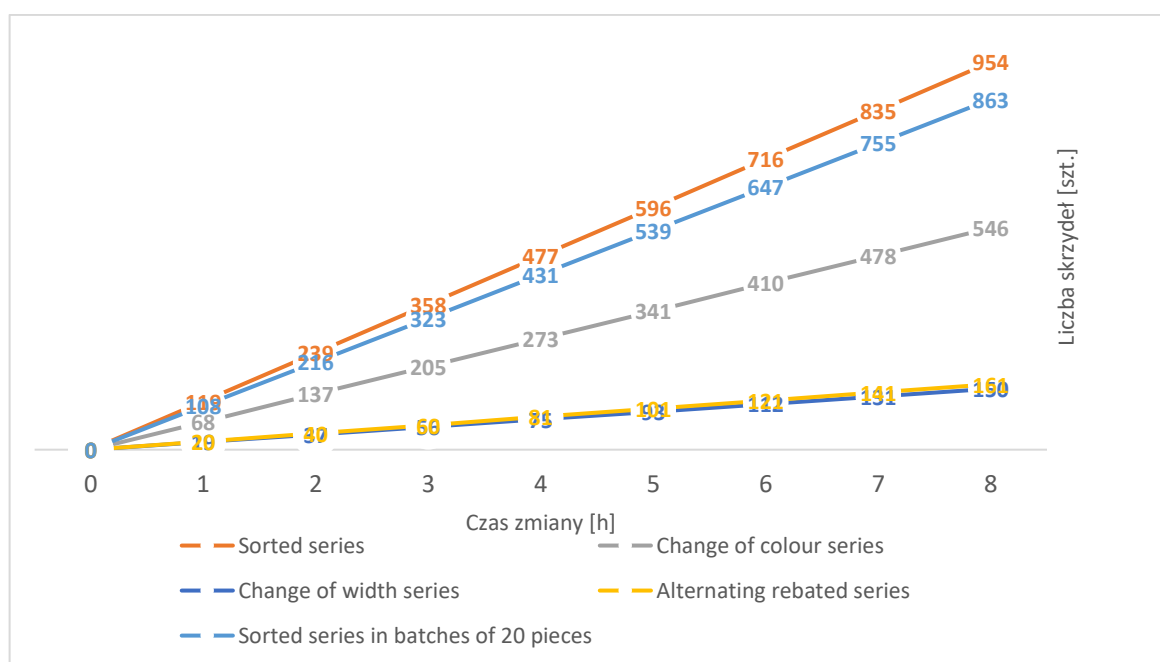
h – liczba godzin pracy,

\overline{x}_s – średni czas dla posortowanych serii,

\overline{x}_{us} – średni czas dla serii niesortowanych

e – liczba skrzydeł na palecie.

Wyniki te pozwalają oszacować nie tylko dzienną wydajność linii, ale także potencjalne straty wynikające z bardziej czasochłonnej sekwencji obróbki. W obliczeniach pominięto czas przetwarzania pierwszego elementu od wejścia do wyjścia z linii. Byłaby to wartość taka sama dla wszystkich czterech serii bez istotnego wpływu na wyniki, stąd uproszczenie obliczeń.



Ryc. 95. Zwiększenie liczby skrzydeł drzwiowych podczas ośmiogodzinnej zmiany

W ciągłej, ośmiogodzinnej obróbce wyrobów o identycznych właściwościach linia może wyprodukować 954 skrzydeł. Zmiana koloru kolejnych skrzydeł przy zachowaniu tej samej szerokości i przy obecności przyłgi zmniejsza wydajność linii do 546 szt. W przypadku

produkcji serii skrzydeł drzwiowych o tym samym kolorze wykończenia, ale różniących się obecnością wręgu lub zmianą szerokości, linia może wyprodukować odpowiednio 161 i 150 skrzydeł drzwiowych w ciągu jednej zmiany. Dane pokazują, że jest to sześć razy mniej niż najkorzystniejsza sytuacja, w której można obrabiać skrzydła o stałych cechach nie wpływających na ustawienia maszyny. Każda dodatkowa zmiana parametrów powoduje znaczny spadek wydajności, nawet do 84%, jak to się dzieje w przypadku zmian szerokości. To właśnie zmiana szerokości skrzydła wpływa na wydajność najbardziej negatywnie. Bardziej niż zmiana koloru wykończenia, co sugeruje konieczność zminimalizowania zmienności w tym zakresie podczas planowania produkcji. Wadą tej symulacji jest założenie niezmiennej, ciągłej produkcji przez 8 godzin. W praktyce produkcja w sposób ciągły jednego asortymentu do produkcji na zamówienie jest niemożliwa. Aby zaktualizować te prognozy, przyjęto sytuację sortowania skrzydeł drzwi według palet, po $e = 20$ sztuk każda. Na każdej paletce elementy byłyby identyczne względem siebie. Pomiędzy kolejnymi paletami dostosowywane byłyby ustawienia linii technologicznej. Aby zasymulować najgorszy możliwy scenariusz, założono, że pomiędzy kolejnymi paletami ustawienia linii muszą być dostosowane do zmian szerokości skrzydeł drzwiowych. W związku z tym za czas pomiędzy wyjściem ostatniego elementu z palety a wyjściem pierwszego elementu z kolejnej palety przyjęto największy średni czas taktu z rys. 2-4, czyli = 64,21 s. Na ryc. 95 pokazano także, że sortowanie skrzydeł drzwiowych, nawet w mniejszych sekwencjach po 20 sztuk, ma istotny wpływ na efektywność pracy linii technologicznej. W ciągu ośmiogodzinnego dnia pracy tak zaplanowana produkcja jest w stanie osiągnąć wartość 863 skrzydła drzwiowe, co daje 2589 zrealizowanych cykli obróbczych. Stanowi to niezaprzeczalny dowód na to, jak ważna jest kolejność skrzydeł poddawanych obróbce na tego rodzaju linii. Staje się również jasne, które z badanych cech mają największe znaczenie dla wydajności linii i które parametry powinny być traktowane priorytetowo dla maksymalizacji wydajności.

Przeprowadzone badanie wykazało, że na wydajność linii produkcyjnej istotny wpływ ma przemyślany dobór kolejności obróbki skrzydeł drzwiowych. Wszystkie trzy omówione parametry powinny być brane pod uwagę, aby jak najbardziej zminimalizować czas taktu. Najważniejszymi badanymi czynnikami były szerokość i obecność przyłgi lub jej brak. Z każdą zmianą tych właściwości czas taktu wydłuża się sześciokrotnie w porównaniu z serią bez zmian. Wydajność zmniejsza się o połowę na skutek dostosowania koloru wykończenia. Przy wyborze kolejności obróbki zwrócenie uwagi na te cechy może kilkakrotnie zwiększyć wydajność, w zależności od wielkości partii o tych samych parametrach. Bez zmian w procesie

technologicznym, inwestycji w nowe maszyny czy uszczerbku na jakości, wydajność może zostać znacznie zwiększona tylko poprzez reorganizację jednego etapu produkcji. Stwierdzenie to jest zgodne z dotychczasowymi danymi z literatury. Im mniejsza zmienność produkcji, tym krótszy czas cyklu, a każda różnorodność znacznie go wydłuża lub obniża efektywność (Barański i in., 2017; Ehteshami i in., 1992). Skrócenie czasu cyklu ma kluczowe znaczenie w rozwoju produkcji (Zhang i Tag, 2006), szczególnie w wysoce zaawansowanych branżach technicznych (Sherman i in., 2000) do której dzięki zaawansowanej automatyzacji zalicza się już branża produkcji drzwi drewnianych. Jednostkowy czas cyklu produkcyjnego jest wskaźnik ściśle związany z wykorzystaniem zasobów, ponieważ bezpośrednio wpływa na koszty produkcji i przychody przedsiębiorstw (Aurand i Miller, 1997; Kalir, 2023; Weber i Fayed, 2010). Ponadto występujące różnice w liczbie produkowanych skrzydeł drzwiowych wskazują, że kluczowe dla poprawy efektywności może być wdrożenie strategii grupowania ich według jak najmniejszej zmienności ich parametrów.

8.3. Test III. Szczegółowa analiza wpływu koloru wykończenia na wydajność zautomatyzowanej linii do produkcji skrzydeł drzwiowych

Ze względu na dużo większą zmienności kolorystyki wykończenia drzwi w rzeczywistej produkcji w stosunku do opisanej poprzednio analizy celem pracy było przeprowadzenie krótkiego testu poszerzającego zakres kolorystyki wskazującego na wpływ koloru wykończenia skrzydeł drzwiowych na czas obróbki wąskich powierzchni skrzydeł (Kwidziński i in., 2024).

Badania przeprowadzono na obecnie produkowanych modelach skrzydeł drzwiowych. Do badań tych wykorzystano opisaną wcześniej linię technologiczną HOMAG w zakładzie w Bolszewie. Kolorystyka szerokich i wąskich powierzchni obejmowała antracyt, czerń i biel. Wąskie powierzchnie skrzydeł drzwiowych zostały wykończone obrzeżem typu ABS o grubości 1 mm mocowanym z użyciem kleju termotopliwego. Różnica w procesie produkcji drzwi w kolorze białym i antracytowym czarnym polega na różnych ustawieniach lamp grzewczych. Aby uzyskać jaśniejsze kolory, lampy nagrzewają się do wyższej temperatury. Gdy dochodzi do wymiennego podawania elementów, których kolory są skrajnie różne, np. biały i antracyt, moduł maszynowy potrzebuje czasu, aby dostosować temperaturę lamp do konkretnego koloru obrzeża. W teście wykorzystano osiemnaście skrzydeł drzwiowych

w różnych kolorach. Informacja o ustawionej temperaturze zakodowana jest w kodzie charakterystycznym dla każdego skrzydła drzwiowego.

Komunikacja pomiędzy systemami IT firmy PORTA a zautomatyzowaną linią HOMAG realizowana jest przez aplikację Translator opracowaną przez firmę PORTA. Translator pobiera fragmenty danych dotyczących procesu obróbki skrawaniem z systemu ERP, a pozostałe dane są generowane z aplikacji przy użyciu odpowiednich filtrów. Pozwala to na przetłumaczenie informacji z języka używanego przez firmę PORTA na język zrozumiały przez maszynę. Wygenerowany pakiet danych jest wysyłany do maszyny. Maszyna odpytuje swoją bazę danych i uruchamia odpowiednie makra, które przenoszą informacje dotyczące zakresu obróbki, który należy wykonać w danym produkcie.

Podczas wykonywania testów głównym parametrem, który był sprawdzany pod kątem wydajności linii była zmiana laminatu, a co za tym idzie inny kolor obrzeża pokrywającego wąskie krawędzie skrzydeł. W systemie informatycznym PORTA każde skrzydło drzwiowe oznaczone jest dwudziestojednoznakowym symbolem zawierającym wszystkie dane technologiczne. Kolor laminatu znajduje się na dwunastym miejscu w kodzie i jest to symbol dwuznakowy. Przykłady dla testowanych skrzydeł drzwiowych model Agat z laminatem CPL białym (BM) (kod kreskowy 130846397) i czarnym laminatem CPL antracytowym (NC) (kod kreskowy 130846393) (ryc. 96.). Na podstawie symboli i rodziny danego produktu Translator dekoduje wszystkie parametry i znajduje odpowiednie filtry, dając maszynie makra (ryc. 97.). Parametrem określającym kolor, rodzaj, grubość i szerokość nakładanej obrzeża jest makro EdgeCode (rys. 98.).

Test translatora

Translator	Plan No	Rodzina	Symbolika	Barcode	TransId
Homag				130846397	

Test

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
S P E A O P O L O 8 2 B M D S P 3 0 0 0 0 0

Production_Barcode_ID	Cycle	MaxCycle	Comment1	Comment2	Comment3	Printer	Etikett	Order_No	Serial_No	Part_No	Product_Item_ID	Logistic_Trans_ID	Production_Plan_ID	ID_1	Description_1	Descr
130846397	1	3	Agat	EPF3LO8ADPHMOC00		1	1	26111167	*	SSWZ5	SPEADPOL082BMOSP300000	ZPL1000089/5/1	2023054	EPF3LO8ADPHMOC00	A	B
130846397	2	3	Agat	EPF3LO8ADPHMOC00		0	0	26111167	*	SSWZ5	SPEADPOL082BMOSP300000	ZPL1000089/5/1	2023054	EPF3LO8ADPHMOC00	A	B
130846397	3	3	Agat	EPF3LO8ADPHMOC00		0	0	26111167	*	SSWZ5	SPEADPOL082BMOSP300000	ZPL1000089/5/1	2023054	EPF3LO8ADPHMOC00	A	B

Test translatora

Translator	Plan No	Rodzina	Symbolika	Barcode	TransId
Homag				130846393	

Test

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
S P E A O P O L O 8 2 N C J S D 3 0 0 0 0 0

Production_Barcode_ID	Cycle	MaxCycle	Comment1	Comment2	Comment3	Printer	Etikett	Order_No	Serial_No	Part_No	Product_Item_ID	Logistic_Trans_ID	Production_Plan_ID	ID_1	Description_1	Descr
130846393	1	3	Agat	EPE3LO8ADPHNOC00		1	1	26136545	*	SSWZ5	SPEADPOL082NCJSD300000	R/959203/4/1	2023054	EPE3LO8ADPHNOC00	A	B
130846393	2	3	Agat	EPE3LO8ADPHNOC00		0	0	26136545	*	SSWZ5	SPEADPOL082NCJSD300000	R/959203/4/1	2023054	EPE3LO8ADPHNOC00	A	B
130846393	3	3	Agat	EPE3LO8ADPHNOC00		0	0	26136545	*	SSWZ5	SPEADPOL082NCJSD300000	R/959203/4/1	2023054	EPE3LO8ADPHNOC00	A	B

Ryc. 96. Parametry białego i czarnego skrzydła Agat

35	33	RebateDepth2_X	Wymiar 2 wrębu w osi X	tak	float	Od 0 do 35		pokaż
36	34	RebateHeight2_Y	Wymiar 2 wrębu w osi Y	tak	float	Od 0 do 60		pokaż
37	35	EdgeCode	Softforming. Makro obrzeża.	tak	nvarchar	Od 0 do 30		pokaż
38	36	GrooveMacroRightSide	Softforming, prawa strona maszyny. Makro frezowania uszczelki dolnych.	tak	nvarchar	Od 0 do 30		pokaż

Ryc. 97. Makro EdgeCode

Dla wspomnianych wcześniej skrzydeł drzwi testowych maszyna zaimportowała odpowiednie filtry z parametru EdgeCode nr 2475 dla laminatu białego i nr 24 dla laminatu antracytowo-czarnego, uzyskując określone makra odzwierciedlone w bazie danych maszyny, takie jak A100058E_BIALYRAL9003 (biały) (ryc. 99.).

6030	2474	%	S		W,T,E,X					O,C,B	10	2,7	BI	10	14	10	10	O,X	10	10	10	10	1,2,3	A100058E_BIALY	pryglowe
6031	2475	%	S		W,T,E,X					O,C,B	10	2,7	BH	10	14	10	10	O,X	10	10	10	10	1,2,3	A100058E_BIALYRAL9005	pryglowe
6032	2476	%	S		W,T,E,X					O,C,B	10	2,7	PO	10	14	10	10	O,X	10	10	10	10	1,2,3	A100058E_POPIEL	pryglowe
6033	2477	%	S		W,T,E,X					O,C,B	10	2,7	NC	10	14	10	10	O,X	10	10	10	10	1,2,3	A100058E_ANTRACYT	pryglowe
6034	2478	%	S		W,T,E,X					O,C,B	10	2,7	D1	10	14	10	10	O,X	10	10	10	10	1,2,3	A100058E_MILAN01	pryglowe

Ryc. 98. Filtry określające kolory obrzeża w bazie danych maszyny

Test translatora

Translator	Plan No	Rodzina	Symbolika	Barcode	Transid
Homag				130846397	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
S P E A O P D L O B 2 B H O 5 P 3 0 0 0 0 0

Description_3	Description_4	Notes_1	Notes_2	Notes_3	Notes_4	DoorHeight	DoorWidth	Thickness	OversizeHeight	OversizeWidth	OverhangSurface	RebateDepth1_X	RebateHeight1_Y	RebateDepth2_X	RebateHeight2_Y	EdgeCode	GrooveMacro
C	D	Agit	2BH	2030	844	2030	844	40.1	8	8	0	13	26	0	0	A100058E_BIALYRAL9005	H1000000000
C	D	Agit	2BH	2030	844	2030	844	40.1	8	8	0	13	26	0	0	A100058E_BIALYRAL9005	H1000000000
C	D	Agit	2BH	2030	844	2030	844	40.1	8	8	0	13	26	0	0	A100058E_BIALYRAL9005	H1000000000

Ryc. 99. Makro białego koloru obrzeża w bazie danych maszyny

Konieczne jest, aby baza danych maszyny zawierała makra, których nazwy są dokładnie takie same jak te przesłane przez Translator, w przeciwnym razie proces obróbki skrzydeł drzwiowych nie zostanie uruchomiony. Gdy zmienia się kolor laminatu, linia produkcyjna potrzebuje czas, aby urządzenia grzewcze osiągnęły zadaną temperaturę i wartości procentowe z danego makra. Różnice pomiędzy poszczególnymi programami maszynowymi w zależności od typu EdgeCode zostały przedstawione na ryc. 100.

Radius trimming_top 2	mm	0.00	Radius trimming_top 2	mm	0.00
Speed	/min	12000	Speed	/min	12000
X position correction	mm	0.00	X position correction	mm	0.00
Y position correction	mm	0.00	Y position correction	mm	0.00
snip 1			snip 1		
Speed	/min	12000	Speed	/min	12000
Lubricant order			Lubricant order		
Side lubricant application	On		Side lubricant application	On	
Edge activation door fold OA			Edge activation door fold OA		
Temperature Edge activation	°C	420.0	Temperature Edge activation	°C	450.0
Edge activation top radiator power set	%	050.0	Edge activation top radiator power set	%	060.0
Edge activation bottom radiator power set	%	040.0	Edge activation bottom radiator power set	%	060.0
Edge activation door fold PU			Edge activation door fold PU		
Temperature Edge activation	°C	250.0	Temperature Edge activation	°C	100.0
Edge activation top radiator power set	%	080.0	Edge activation top radiator power set	%	060.0
Edge activation bottom radiator power set	%	080.0	Edge activation bottom radiator power set	%	060.0

Ryc. 100. Ustawienia parametrów grzania w programach obróbki

Zmierzono odstęp czasowy pomiędzy wejściem kolejnego skrzydła drzwiowego do linii technologicznej. Czas ten jest definiowana jako takt linii. Do badania przygotowano dwie serie

skrzydeł drzwiowych. Jedna seria zawierała kolejno ułożone skrzydła drzwiowe w kolorze białym i antracytowym czarnym, oddzielone szarym skrzydłem drzwiowym w celu uzyskania separacji technologicznej (ryc. 101. i 102.). Drugi zestaw składał się z naprzemiennie umieszczonych skrzydeł drzwiowych w kolorze antracytowym - czarnym i białym.



Ryc. 101. Ułożenie skrzydeł na palecie dla pierwszej próby



Ryc. 102. Oznaczenia skrzydeł dla pierwszej próby



Ryc. 103. Skrzydła na linii podczas obróbki

Wyniki pomiarów czasu pomiędzy wejściem poszczególnych skrzydeł drzwiowych do linii technologicznej w każdym przejściu skrzydeł drzwiowych dla serii pierwszej przedstawiono w tab. 16., natomiast w tab. 17. przedstawiono pomiary dla serii drugiej (ryc. 103.). Po uśrednieniu czasów przerwy między kolejnymi skrzydłami drzwiowymi okazało się, że średni czas między białymi skrzydłami drzwiowymi wynosi 10,4 s. Dla czerni antracytowej jest to 10,6 s. Natomiast średni czas między rozpoczęciem obróbki skrzydeł drzwiowymi o różnych kolorach w momencie zmiany obrzeża wydłużył się do 22,9 s.

Tabela 16. Czas między skrzydłami drzwiowymi w serii pierwszej

Lp.	Kolor	Odstęp czasu pomiędzy wejściem kolejnych skrzydeł drzwiowych [s]		
		Przejście 1	Przejście 2	Przejście 3
1	Biały			
2	Biały	00:11,0	00:09,7	00:09,8
3	Biały	00:09,2	00:09,7	00:10,3
4	Biały	00:09,4	00:09,9	00:09,8
5	Biały	00:11,2	00:09,6	00:09,5

6	Biały	00:09,5	00:09,2	00:09,6
7	Szary	01:52,0	00:19,1	00:17,6
8	Antracyt	00:07,8	00:21,9	00:21,6
9	Antracyt	00:08,9	00:09,8	00:09,7
10	Antracyt	00:09,5	00:09,6	00:10,3
11	Antracyt	00:11,2	00:09,6	00:10,0

Tabela 17. Czas między skrzydłami drzwiowymi w serii drugiej

Lp.	Kolor	Odstęp czasu pomiędzy wejściem kolejnych skrzydeł drzwiowych [s]		
		Przejście 1	Przejście 2	Przejście 3
1	Antracyt			
2	Antracyt	00:11,3	00:09,5	00:10,2
3	Biały	00:20,5	00:23,9	00:23,8
4	Antracyt	00:20,1	00:23,9	00:23,9
5	Biały	00:22,1	00:23,9	00:23,8
6	Antracyt	00:21,1	00:23,8	00:23,9
7	Antracyt	00:09,7	00:23,9	00:09,8

Przeprowadzone badanie wykazało, że parametr dotyczący koloru obrzeża skrzydła drzwiowego jest czynnikiem wpływającym na wydajność linii. Z każdą zmianą koloru wykończenia takt linii podwaja się w stosunku do sytuacji, w której taka zmiana nie następuje. Wynika to z cyklicznego nagrzewania i chłodzenia urządzeń grzewczych w celu osiągnięcia temperatury aplikacji obrzeży o różnych kolorach. Efektem końcowym obróbki wraz ze zmianą koloru obrzeża dla każdego elementu może być pogorszenie wydajności na tym samym poziomie. Uzyskane wyniki szczegółowych badań wpływu wartości poszczególnych parametrów na wydajność linii technologicznych i przebieg obróbki tam realizowanej mogą w przyszłości posłużyć do stworzenia cyfrowych bliźniaków takich linii produkcyjnych.

8.4. Test V. Wpływ prędkości posuwu podczas frezowania na jakość obróbki rowków dekoracyjnych w okładzinach skrzydeł drzwiowych wykonanych z płyt HDF

Operacji technologiczną, która decyduje zarówno o końcowej jakości skrzydeł drzwiowych i o wydajności linii produkcyjnej jest frezowanie rowków dekoracyjnych w szerokich powierzchniach. Ze względu na dużą łączną długość frezowanych profili w obrębie jednego skrzydła drzwiowego jest to operacja czasochłonna. Do wykonywania tej operacji technologicznej stosuje się frezarki CNC, które stanowią często w sytuacji znacznego ich obciążenia wąskie gardła linii technologicznych do produkcji drzwi. Sytuacja ta może doprowadzić do zmniejszenia efektywności całego procesu produkcyjnego. Dla poprawy efektywności produkcji powinno się więc dążyć do zwiększenia wydajności ilościowej bardziej obciążonych maszyn w całym systemie (Rogoziński i in., 2010). Jednym ze sposobów zwiększenia wydajności, który wynika z bezpośrednio czynników wpływających na wydajność takich maszyn jest zwiększenie prędkości posuwu. Nie zawsze jednak można zwiększać posuw, ponieważ może wtedy dojść do pogorszenia jakości wyrobów związanej z niedostateczną jakością materiałów poddawanych obróbce (Kminiak i in., 2019; Rogoziński i in., 2010; Wilkowski i in., 2022).

W konstrukcji wielu odmian skrzydeł drzwiowych, głównie pełnych o jakości powierzchni decydują właściwości płyt użytych do wytworzenia okładzin (Bal i Dumanoğlu, 2019). Ze względu na oczekiwaną jakość oraz cenę wyrobu właściwości płyt HDF wykorzystywanych do tego celu mogą być różne. Dzięki temu wyroby, w zależności od sposobu produkcji, mogą być konkurencyjne na rynku. Frezowanie dekoracyjne w okładzinach o gorszych właściwościach może okazać się nieefektywne ze względu na pogorszenie jakości frezowanej powierzchni. Pojawia się zatem związek kilku czynników: wydajności maszyn, jakości materiałów, jakości obróbki oraz efektywności produkcji. Zrozumienie związku tych czynników będzie skutkowało zwiększeniem wydajności produkcji i przez to poprawą efektywności przedsiębiorstwa.

Aby ocenić możliwości w zakresie doboru parametrów obróbkowych i rodzaju materiału w produkcji drzwi przedsiębiorstwie PORTA postanowiono przeprowadzić badania przemysłowe, których celem była analiza możliwości zwiększenia wydajności sterowanego numerycznie stanowiska frezowania dekoracyjnych rowków w okładzinach skrzydeł

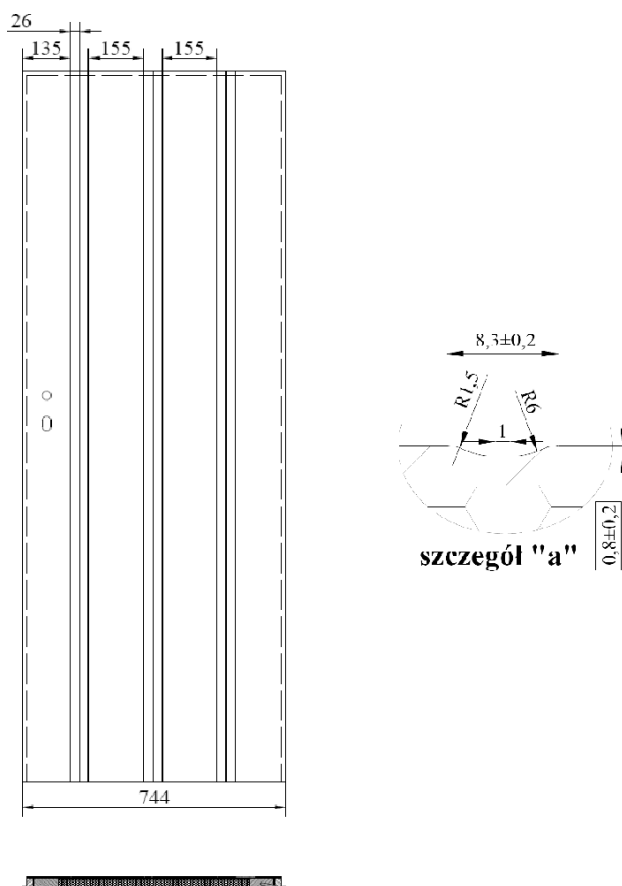
drzwiowych wykonanych z HDF. Czynnikiem decydującym o możliwości zwiększania wydajności była jakość wyrobów (Kwidziński i in., 2021c).

Do badań wytworzono trzy serie testowych skrzydeł drzwiowe z okładzinami z HDF o różnych właściwościach. Podstawowe właściwości użytych w badaniu płyt HDF przedstawiono w tab. 18.

Tabela 18. Zestawienie właściwości płyt HDF wykorzystanych w badaniach

Oznaczenie płyt HDF przyjęte w testach	Gęstość (kg/m ³)	Wytrzymałość na zginanie (N/mm ²)	Wytrzymałość na rozciąganie prostopadle do powierzchni (N/mm ²)
A	>950	>45	>0.7
B	880	>35	>1.2
C	930	>45	>1.1

Wykonano po sześć sztuk skrzydeł z okładzinami z płyt HDF oznaczonych symbolami A, B i C pochodzącymi od różnych dostawców. Frezowanie przeprowadzono z zastosowaniem prędkości posuwu 5, 8, i 11 m/min., wykonując w każdej szerokiej powierzchni po trzy grupy trzech rowków dekoracyjnych wykonanych odpowiednia z każdą z zastosowanych prędkości posuwu wg schematu na ryc. 104.



Ryc. 104. Schemat frezowania doświadczalnych skrzydeł drzwiowych

Do frezowania wykorzystano frezarkę CNC firmy BIESSE w wykorzystywanej z zakładzie w Bolszewie. Jest to czteroosiowe, dwuwrzecionowe frezarskie centrum obróbkowe. Frezowanie przeprowadzono ze stałą prędkością obrotową frezu trzpieniowego z ostrzami diamentowymi wynoszącą 16000 obr./min (ryc. 105.).



Ryc. 105. Frez trzpieniowy użyty w badaniach

Ocenę jakości przeprowadzono wizualnie wg zasad zdefiniowanych w zakładowej normie oceny jakości. Wynikiem przeprowadzonej oceny było zaliczenie każdego wykonanego rowka dekoracyjnego do dobrych lub wadliwych. Ocenę jakości rowków dekoracyjnych przeprowadzono dwukrotnie. Pierwszy raz miało to miejsce bezpośrednio po frezowaniu. Końcowa ocena jakości została wykonana po lakierowaniu skrzydeł. Wszystkie badane skrzydła drzwiowe poddano lakierowaniu w takich samych warunkach technologicznych. Operacja lakierowania została przeprowadzona metodą polewania. Prędkość posuwu polewarki wynosiła 65 m/min. Zarówno farby podkładowa oraz nawierzchniowa były наносzone w ilości 140 g/m².

Badanie wykazało, że zgodnie z zasadami zakładowej normy oceny jakości akceptowalną jakość mają tylko rowki wykonane w skrzydłach z okładzinami, które wykonano z płyty HDF o symbolu A przy prędkości posuwu równej 5 i 8 m/min. Większa prędkość posuwu (11 m/min.) skutkowałą pogorszeniem jakości wykonania rowków dekoracyjnych i zaliczeniem ich do wadliwych. Dla pozostałych typów płyt HDF nie uzyskano dobrej jakości przy wszystkich prędkościach posuwu podczas frezowania. Zestawienie wyników przedstawiono w tab. 19.

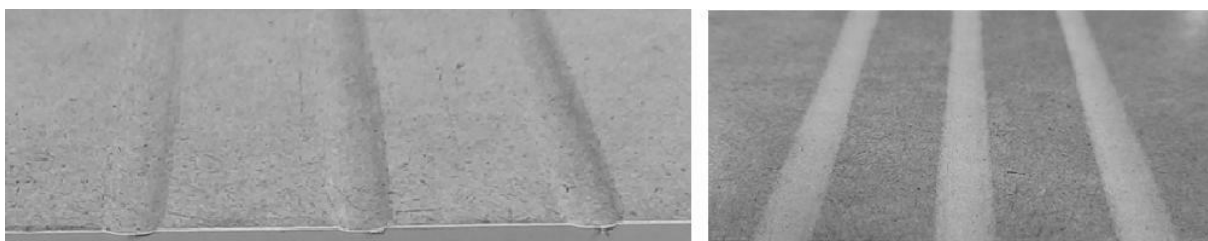
Tabela 19. Wyniki oceny jakości rowków dekoracyjnych w okładzinach skrzydeł drzwiowych wykonanych z HDF

Oznaczenie płyt HDF przyjęte w testach	Posuw 5 m/min.		Posuw 8 m/min.		Posuw 11 m/min.	
	dobre	wadliwe	dobre	wadliwe	dobre	wadliwe
	(%)					
A	100	0	100	0	0	100
B	0	100	0	100	0	100
C	0	100	0	100	0	100

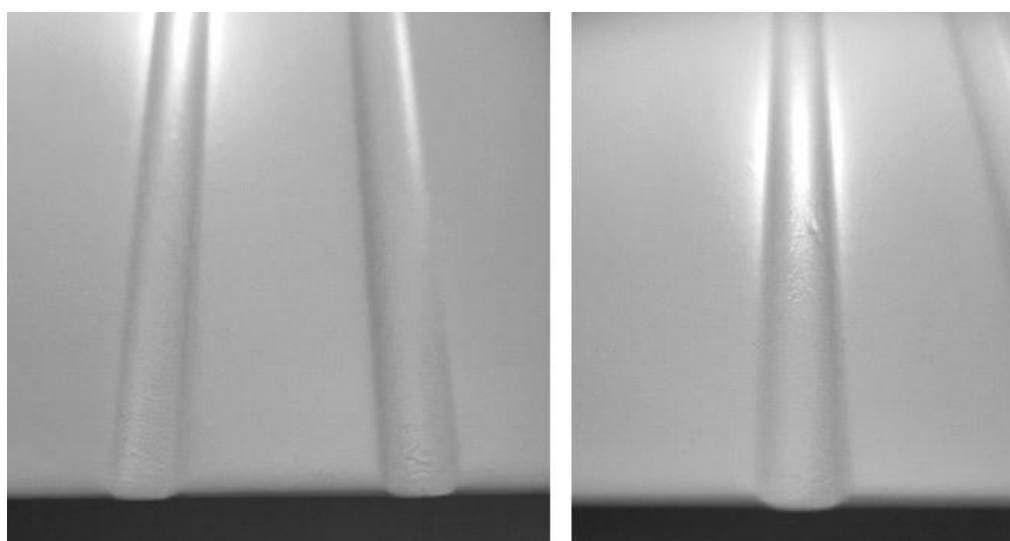
W czasie oceny jakości zauważono i zidentyfikowano kilka powtarzających się rodzajów wad obróbki. Można tu wymienić nich falistość powierzchni rowka (ryc. 106.) i zmienną szerokość rowka po frezowaniu (ryc. 107.)



Ryc. 106. Falistość powierzchni po frezowaniu



Ryc. 107. Zmienność szerokości rowka po frezowaniu



Ryc. 108. Podniesione włókna widoczne po lakierowaniu

Oceny jakości po lakierowaniu ujawniła kolejną wadę w postaci nierówności powierzchni rowków wynikających z podniesienia włókien w naruszonej obróbką strukturze płyty (ryc. 108.). Wszystkie opisane wady występują z dużym nasileniem poblizu krótszych krawędzi skrzydeł, czyli w początkowym i końcowym odcinku frezowania rowka. Może to wynikać z niepoprawnego prowadzenia narzędzia w czasie obróbki, szczególnie przy dużej długości frezowanego rowka.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że możliwe jest zwiększenie wydajności produkcji skrzydeł drzwiowych w rowkami dekoracyjnymi w szerokich powierzchniach przez zwiększenie posuwu frezowania z 5 do 8 m/min. Jest to możliwe wyłącznie dla płyty HDF oznaczonej symbolem A. Ze względu na niewystarczającą jakość obróbki płyt HDF oznaczonych symbolami B i C nie należy ich stosować do produkcji skrzydeł drzwiowych z rowkami dekoracyjnymi w warunkach frezowania stosowanych w zakładzie w Bolszewie i z tego tytułu płyty te nie będą wykorzystywane również w zakładzie w Kartoszynie. Wydajna obróbka frezowanie szerokich powierzchni skrzydeł drzwiowych możliwe jest tylko przy starannym doborze materiału na okładziny, którego właściwości pozwalają na zwiększenie prędkości posuwu bez pogorszenia jakości wykonanych profili.

8.5. Test VI. Identyfikacja czynników wpływających na wydajność maszyn w zakładzie w Kartoszynie; diagram Pareto

Diagram Pareto-Lorenza jest narzędziem, które umożliwia uporządkowanie znaczenia czynników wpływających na analizowane zjawisko. Zakłada ono, że w każdym systemie produkcyjnym jest ograniczona liczba czynników, które mają największy wpływ efekt tego zjawiska, a wpływ pozostałych czynników jest nieznaczący. Można je zatem wykorzystać do bieżącego obserwowania efektywności produkcji oraz do graficznego przedstawienia i analizy głównych problemów przedsiębiorstwa. Zazwyczaj jest ono wstępnie wykorzystywane do określenia kierunków działań dla celu poprawy jakości i efektywności produkcji. Diagram Pareto (nazywany również metodą ABC lub metodą 20-80) przedstawia czynniki wpływające na efektywność produkcji z wykorzystaniem histogramu w sposób malejący. Dodatkowo, na takim wykresie umieszcza się linię Lorenza, która łączy wierzchołki słupków histogramu. Narzędzie to pokazuje więc, które czynniki należy w pierwszej kolejności poddać naprawie i na jakich działaniach warto się skupić, w celu zwiększenia efektywności zarządzania. Wskazuje to także na czynniki o mniejszym znaczeniu, które można pominąć, albo też takie,

na które i tak wpływ jest ograniczony. Narzędzie to porządkuje dane pod względem ich znaczenia dla badanych zakresów działalności przedsiębiorstwa. Stosowanie analizy Pareto zalecane jest zasadniczo wtedy, gdy pojawia się konieczność wyeliminowania często występujących negatywnych zjawisk z procesów w przedsiębiorstwie i najistotniejszych przyczyn generowania dużych kosztów (ISOQAR, 2021). Etapy postępowania według metody Pareto-Lorenza są następujące:

- określenie czynników (przyczyn) wpływających na wielkości decydujące o wyniku procesu lub charakterystyce produktu,
- zbieranie danych ilościowych o wskazanych czynnikach stanowiących przyczyny,
- malejące uporządkowanie czynników (przyczyn) uwzględniające znaczenie ich oddziaływania na wynik procesu lub charakterystykę produktu,
- wyznaczenie skumulowanych wartości udziału (wyrażonych w procentach) dla kolejnych czynników, z uwzględnieniem znaczenia ich oddziaływania na wynik procesu,
- naniesienie tych wartości na wykres.

Analiza wykres Pareto-Lorenza ma ułatwić analizę możliwości poprawienia jakości procesu i wyrobów przy ograniczeniu nakładów i wysiłku ponoszonych na ten cel. Dodatkowym efektem tej analizy jest identyfikacja problemów, które należy najpilniej rozwiązać w pierwszej kolejności. Aby przeprowadzić analizę Pareto w dowolnym zakresie produkcyjnym konieczne są dobrej jakości, rzetelne dane. Bez względu na profil działalności przedsiębiorstwa najlepszymi narzędziami, które umożliwiają automatyczne i ciągle otrzymywanie dużych zasobów wysokiej jakości danych produkcyjnych są systemy typu ERP, APS, IoT. Dane zebrane w sposób automatyczny obarczone są znikomą liczbą błędów, których przyczyną może być bezpośrednie działanie człowieka gromadzącego takie same dane tradycyjnymi sposobami (DSR, 2022).

Przygotowując się do zastosowania analizy Pareto, należy zacząć od wyznaczenia rodzaju, ilości i jakości danych niezbędnych do podjęcia analizy. W przypadku analizy procesów produkcyjnych w zakładzie w Kartoszynie wykorzystywano dane wydajnościowe otrzymane ze środowiska IoT. Zebrane dane przedstawiono w formie tabelarycznej wraz z oznaczeniem liczby wystąpień poszczególnych czynników. Po wyznaczeniu danych ilościowych przyczyn wystąpienia danego błędu przyczyny uszeregowano malejąco względem

liczby wystąpień. Kolejnym krokiem był wyznaczenie udziałów procentowych wystąpienia każdej z przyczyny według prostego wzoru:

$$\text{udział} = \frac{\text{liczba wystąpień danej przyczyny}}{\text{suma liczby wszystkich wystąpień wszystkich przyczyn}} \cdot 100\%$$

Dalszym etapem analizy było wyliczenie udziału skumulowanego dla kolejnych przyczyn. W tabeli pokazano sposób wyznaczenia udziału skumulowanego dla kilku pierwszych przyczyn problemów procesu realizowanego przez moduły maszynowe Bürkle (tab. 20.). Pozostałe udziały skumulowane wyznaczono analogicznie. Dzięki wyznaczeniu udziału skumulowanego w prosty sposób wyznaczone zostały kluczowe przyczyny występowania analizowanego problemu (tab. 21.).

Tabela 20. Określenie skumulowanych udziałów procentowych procesu montażu półwyrobów

Bürkle
1 zmiana/8h wypełnienie papierowe w formie tzw. plastra miodu

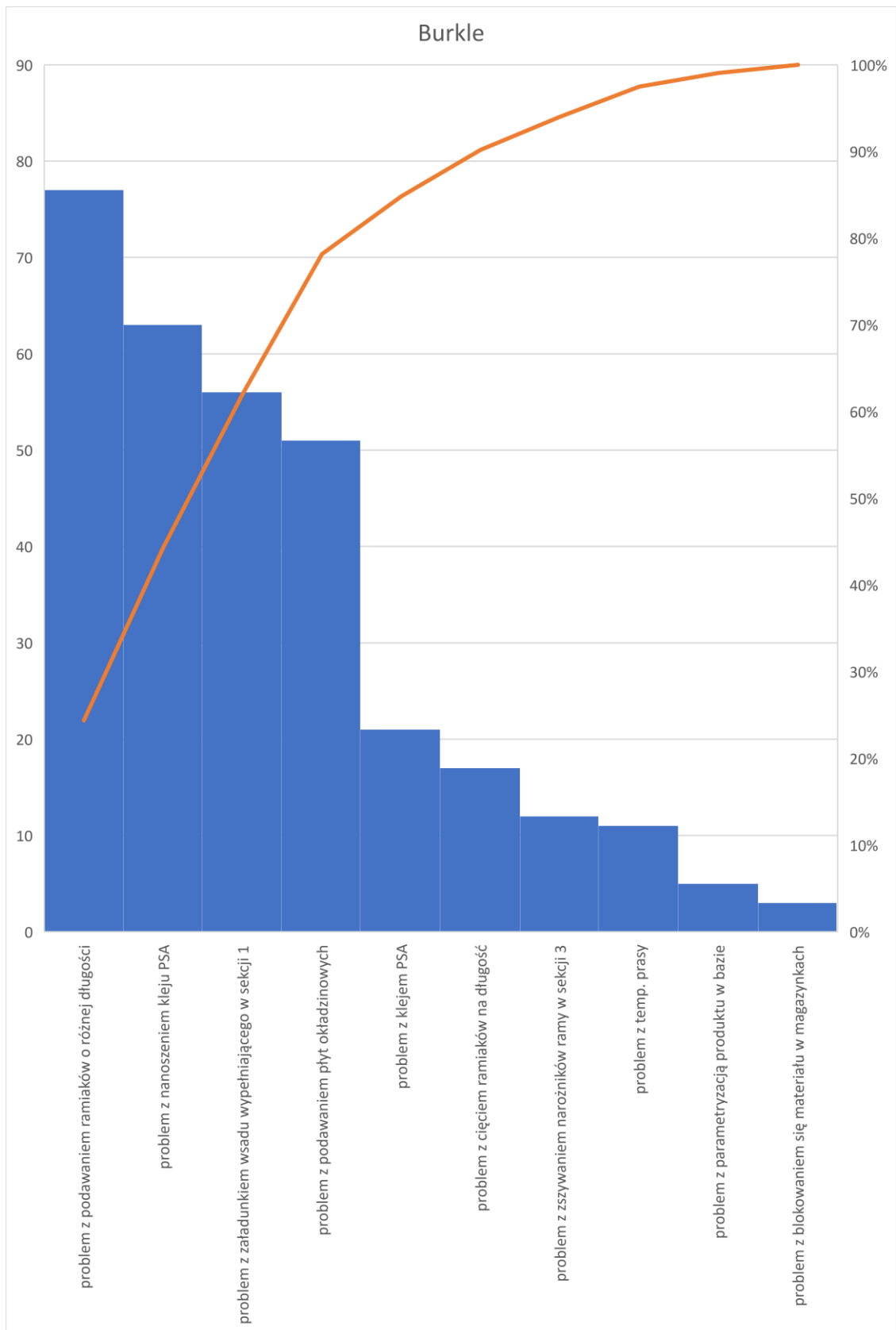
	Przyczyny	Ilość wystąpień	Udział %
1	problem z załadunkiem wsadu wypełniającego w sekcji 1	56	18%
2	problem z podawaniem ramiaków o różnej długości	77	24%
3	problem z cięciem ramiaków na długość	17	5%
4	problem z zszywaniem narożników ramy w sekcji 3	12	4%
5	problem z klejem PSA	21	7%
6	problem z podawaniem płyt okładzinowych	51	16%
7	problem z nanoszeniem kleju PSA	63	20%
8	problem z temp. prasy	11	3%
9	problem z parametryzacją produktu w bazie	5	2%
10	problem z blokowaniem się materiału w magazynkach	3	1%

suma wystąpień

316

Tabela 21. Nazwanie kluczowych przyczyn problemów w procesie montażu półwyrobów

	Przyczyny	Ilość wystąpień	Udział %	Udział skumulowany
2	problem z podawaniem ramiaków o różnej długości	77	24%	23%
7	problem z nanoszeniem kleju PSA	63	20%	43%
1	problem z załadunkiem wsadu wypełniającego w sekcji 1	56	18%	61%
6	problem z podawaniem płyt okładzinowych	51	16%	77%



Ryc. 109. Wykres Pareto procesu realizowanego przez moduły maszynowe Bürkle

Dla prezentowanego procesu 4 z 10 przyczyn przekładają się na 77% wystąpień wszystkich problemów (ryc. 109.). Wyciągnięte wnioski uzyskane w ramach analizy wykresu i utworzonej tabeli pozwalają na sprawną eliminację przyczyn wystąpienia niekorzystnych zjawisk.

Analogicznie wyliczono udział skumulowanego dla kolejnych przyczyn problemów proces realizowanego przez moduły maszynowe HOMAG. W tabeli 22 pokazano sposób wyznaczenia udziału skumulowanego dla kilku pierwszych przyczyn problemów procesu realizowanego przez moduły maszynowe HOMAG. Pozostałe udziały skumulowane wyznaczono w taki sam sposób, jak wyżej. Dzięki wyznaczeniu udziału skumulowanego wyznaczone zostały również kluczowe przyczyny występowania analizowanego problemu (tab. 23.).

Tabela 22. Określenie skumulowanych udziałów procentowych procesu obróbki wąskich powierzchni

HOMAG			
1 zmiana produkcyjna/ skrzydła płytowe oklejone CPL			
	Przyczyny	Liczba wystąpień	Udział %
1	problem z załadunkiem półwyrobów na wejściu linii	12	4%
2	problem z formatowaniem wstępnym sekcja 1	65	21%
3	problem z formatowaniem dolnej powierzchni sekcja 2	16	5%
4	problem z frezami do narożników skrzydeł	45	14%
5	problem z klejem EVA do obrzeży	13	4%
6	problem z cyklami do krawędzi	49	16%
7	problem z rysami na powierzchni skrzydła	81	26%
8	problem z magazynkiem obrzeży	11	3%
9	problem z odpylaniem	5	2%
10	problem z przezbrajaniem	12	4%
11	problem z komunikacją sieciową	7	2%
12	problem z parametryzacją produktu w bazie	15	5%
13	problem z sterownikami PLC	11	3%
14	problem z autoregulacją agregatów formatujących	10	3%
15	problem z drukarką etykietującą	2	1%
16	problem z czytnikami laserowymi barkodów	1	0%
17	problem z rolkami w sekcji formatowania wąskiej powierzchni	5	2%
18	problem z wymianą narzędzi	3	1%
19	problem z dociskiem skrzydeł do bazy	2	1%
20	problem z komputerem głównym	2	1%

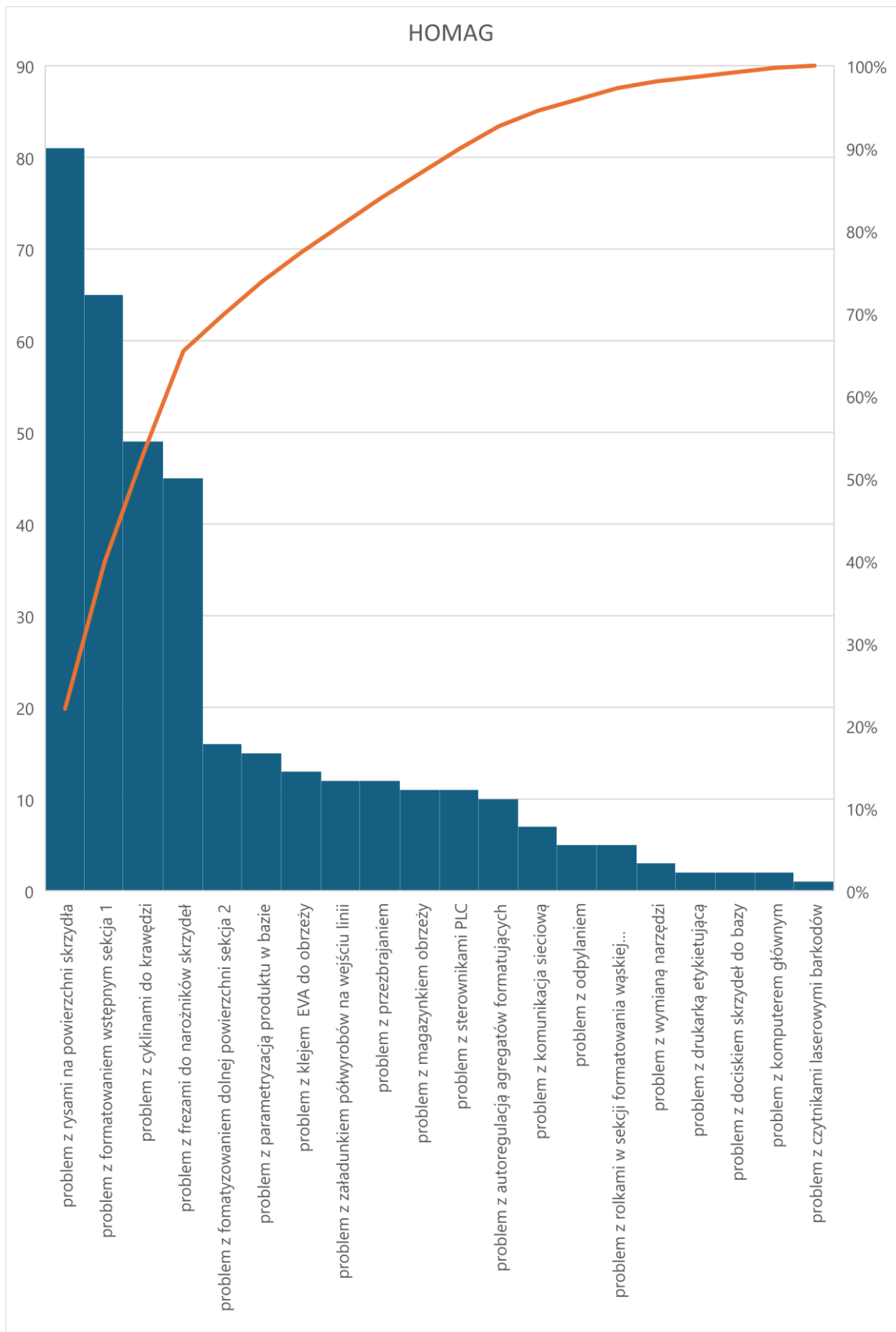
suma wystąpień

367

Tabela 23. Nazwanie kluczowych przyczyn problemów w procesie obróbki wąskich powierzchni

	Przyczyny	Ilość wystąpień	Udział %	Udział skumulowany
7	problem z rysami na powierzchni skrzydła	81	26%	26%
2	problem z formatowaniem wstępnym sekcja 1	65	21%	46%
6	problem z cyklami do krawędzi	49	16%	62%
4	problem z frezami do narożników skrzydeł	45	14%	76%

Dla procesu oklejania wąskich powierzchni 4 z 10 przyczyn przekładają się na ponad 70% wystąpień wszystkich problemów (ryc. 110.). Również w tym przypadku analiza tych danych pozwala na sprawną eliminację przyczyn wystąpienia niekorzystnych zjawisk.



Ryc. 110. Wykres Pareto procesu realizowanego przez moduły maszynowe HOMAG

Najważniejsze czynniki oddziałujące na wydajność linii produkcyjnej można pogrupować na trzy kluczowe kategorie:

1. czynniki techniczne:

- wydajność maszyn i urządzeń wynikająca z ich parametrów, niezawodności i stopnia automatyzacji,
- dbałość o stan techniczny urządzeń – regularne konserwacje i minimalizacja awarii,
- technologia produkcji uwzględniająca nowoczesne rozwiązania, które mogą zwiększyć tempo i jakość produkcji,

2. czynniki organizacyjne:

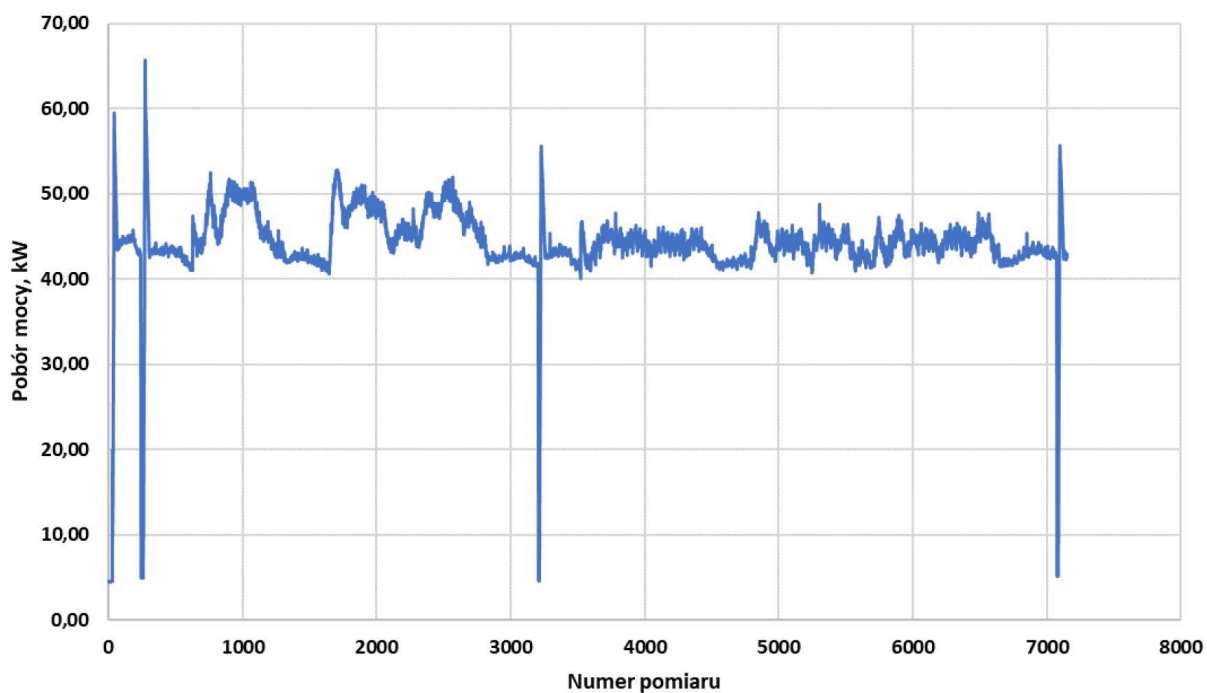
- planowanie i harmonogram produkcji, czyli minimalizacja przestojów,
- efektywny transport wewnątrz zapewniający sprawny i szybki dostęp do surowców oraz półproduktów,
- zarządzanie personelem w celu odpowiedniego doboru, szkolenia i motywacji pracowników,

3. czynniki jakościowe:

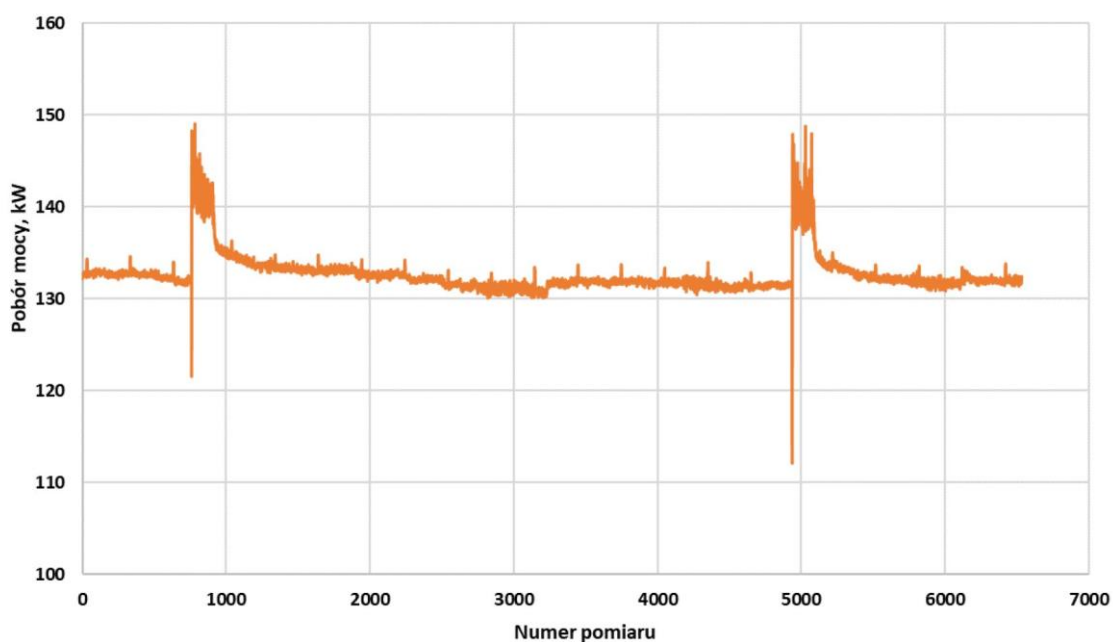
- kontrola jakości gwarantująca minimalizację powstawania odpadów i wykonywanych napraw dzięki wysokiej jakości produkcji,
- standaryzacja procesów zapewniająca powtarzalność operacji i wydajność maszyn.

8.6. Test VII. Efektywność energetyczna

Pomiary zużycia energii na linii HOMAG znajdującej się w Kartoszynie przeprowadzono 6 września 2023 roku. Analizator jakości energii Sonel PQM-707 został podłączony do głównego zasilania w stacji transformatorowej na trzy fazy. Wszystkie dodatkowe układy w zakładzie poza badaną linią zostały wyłączone, pominąwszy napęd sprężarki oraz zasilanie instalacji odciągowej. Działanie tych systemów jest niezbędne do poprawnego funkcjonowania linii. W celu uzyskania zapotrzebowania na energię elektryczną dla linii HOMAG należało odjąć od pomiaru głównego wynik uzyskany dla zasilania sprężarek oraz instalacji odciągowej. Do pomiarów sprężarki został użyty miernik cęgowy UNI-Trend model UT243, który mierzył zapotrzebowania energii dla procesu wytwarzania sprężonego powietrza, z kolei pomiary zużycia energii przez instalację odciągową zostały wykonane kolejnego dnia. Pobór energii elektrycznej przez sprężarki oraz instalację odciągową podczas wykonywanego pomiaru przedstawiono na ryc. 111. i 112.

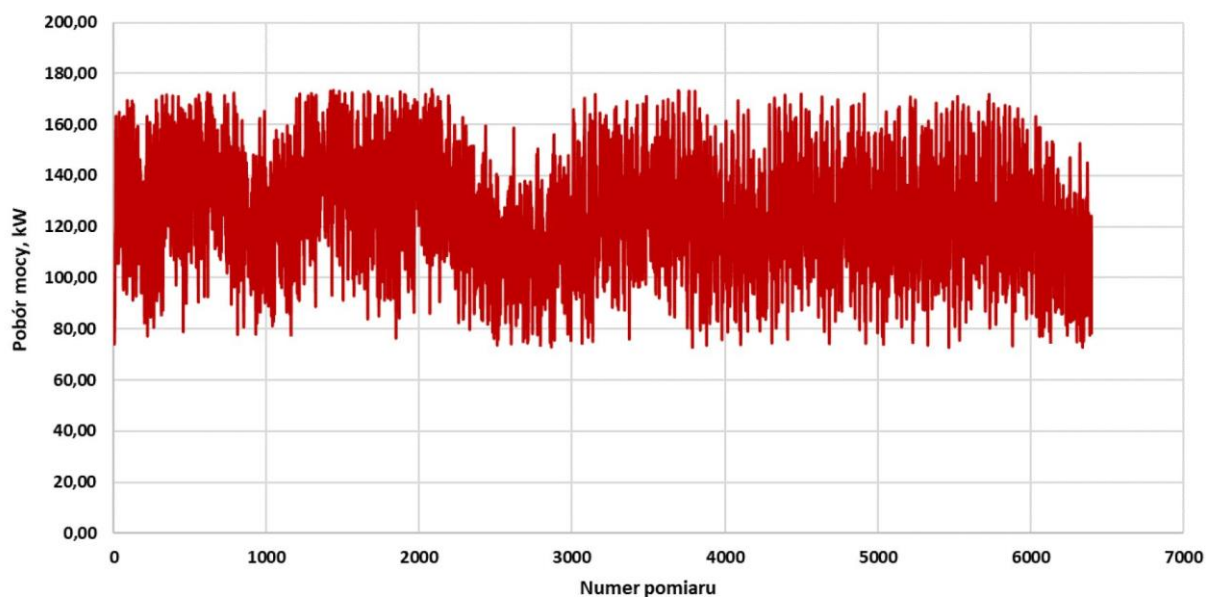


Ryc. 111. Pobór mocy przez sprężarki



Ryc. 112. Pobór mocy przez instalację odciągową

W oparciu o przedstawione wyniki pomiarów oraz po odrzuceniu pomiarów uznanych za błędy pomiarowe określono średni pobór mocy uwzględnionych w badaniu urządzeń na poziomie wynoszącym kolejno 44,2 kW dla sprężarek oraz 132,6 kW dla instalacji odciągowej. Zużycie energii przez samą linię HOMAG przedstawiono na ryc. 113.



Ryc. 113. Pobór mocy linii HOMAG znajdującej się w zakładzie w Kartoszyne

Na podstawie przedstawionych pomiarów oszacowano, że średni pobór mocy linii HOMAG kształtuje się na poziomie 125,25 kW/h. Punktem odniesienia dla tej linii są pomiary przeprowadzone na pilotażowej linii HOMAG, która obecnie z powodzeniem funkcjonuje w zakładzie w Bolszewie. Wyniki uzyskanych pomiarów przedstawiono w tab. 24.

Tabela 14. Wyniki pomiarów dla linii pilotażowej Homag w Bolszewie

Lp.	Parametr	Wartość	Jednostka
1	Wielkość produkcji	47	sztuk wyrobu
2	Czas obróbki	0,68	h
3	Pobrana energia	38,33	kWh
4	Średni pobór mocy	56,09	kW

Linia HOMAG w zakładzie w Kartoszyne charakteryzuje się wydajnością na poziomie 1,15 szt./min. Zgodnie z założeniami projektowymi, po automatyzacji i usprawnieniach linia charakteryzować się będzie wydajnością na poziomie 4 szt./min, co przełoży się również na średni pobór mocy. Oszacowano, że linia HOMAG, aby spełnić to wymaganie pobierać będzie około 195,73 kW.

Docelowo planowane jest wytwarzanie gotowych produktów w liczbie wynoszącej 832 000 szt./rok. Ze względu na różnicę pomiędzy obecną wydajnością (maksymalnie 2,5 szt./min), a wydajnością po modernizacji różny jest czas wytworzenia takiej liczby wyrobów. Czas pracy

maszyny potrzebny do osiągnięcia wspomnianej liczby stanowi iloraz docelowej wartości wielkości produkcji oraz wydajności urządzenia. Przewiduje się więc, że linia HOMAG dla wytworzenia tej liczby wyrobów pracować będzie:

- przed przeprowadzeniem modernizacji - 5 547 h/r.,
- po modernizacji - 3 467 h/r.

Zużycie energii elektrycznej przed oraz po modernizacji dla tej linii określono z wykorzystaniem prostego wzoru:

$$E_{el,i} = P_{sr,i} \cdot \tau_{sr,i}$$

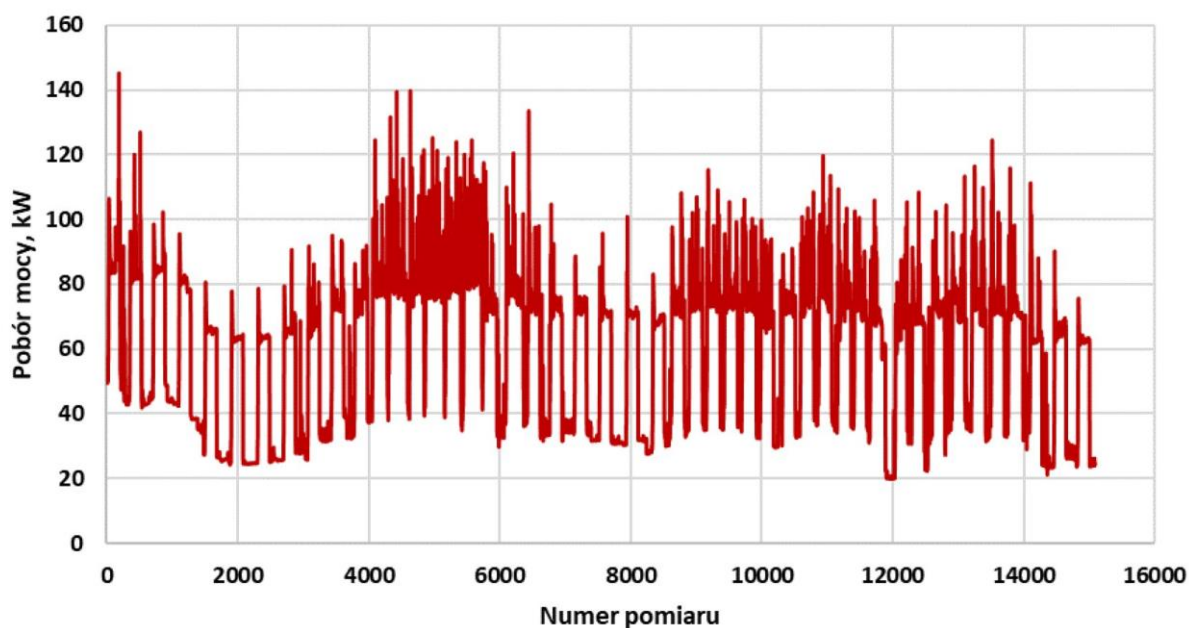
gdzie:

$E_{el,i}$ – zużycie energii przed oraz po modernizacji, kWh,

$P_{sr,i}$ – średni pobór mocy przed oraz po modernizacji, kW,

$\tau_{sr,i}$ – średni czas pracy urządzenia przed oraz po modernizacji, h.

Analogicznie jak w przypadku linii HOMAG, moduły maszynowe Bürkle zostały poddane pomiarom zużycia energii dnia 04 września 2023 r. Analizator został podłączony w głównym zasilaniu w stacji transformatorowej. Wszystkie pozostałe układy zostały wyłączone, pomijając zasilenie sprężarki. W celu uzyskania zapotrzebowania na energię elektryczną dla linii Bürkle należy odjąć od pomiaru głównego wynik uzyskany dla sprężarki. Do pomiarów urządzenia został użyty drugi miernik, który mierzył zapotrzebowania na energię elektryczną zużytą w procesie wytwarzania sprężonego powietrza. Teoretyczna wydajność linii to 4 szt./min, jednak ze względu na brak zaawansowanej automatyzacji i cyfryzacji procesów nie ma możliwości osiągnięcia takiego jej poziomu. Maksymalna wydajność, jaką udało się w czasie badania osiągnąć to 2,3 szt./min. W wyniku modernizacji zakładu w Kartoszynie maksymalna wydajność tej linii zostanie osiągnięta przy takim samym zużyciu energii. Pobór mocy przez linię Bürkle oraz sprężarkę zarejestrowany podczas pomiarów przedstawiono na ryc. 114. Średni pobór mocy zarejestrowany został na poziomie 60,9 kW.



Ryc. 114. Pobór mocy dla linii Bürkle oraz sprężarki.

Czas pracy linii Bürkle potrzebny do osiągnięcia gotowych produktów w liczbie wynoszącej 832 000 szt./r. obliczono, jak poprzednio jako iloraz docelowej liczby produktów oraz wydajności linii wydajności urządzenia, uzyskując następujące wartości:

- przed przeprowadzeniem modernizacji - 6 144,9 h/r.,
- po modernizacji - 3 533,3 h/r.

Podobnie też obliczono zużycie energii, wykorzystując ten sam wzór, jak dla linii HOMAG. Zestawienie wskaźników techniczno-ekonomicznych związanych ze zużyciem energii oraz modernizacją zakładu w Kartoszynie zestawiono w tab. 25. Przedstawione tam porównanie wskazuje na uzyskanie oszczędności dzięki modernizacji zakładu. Efekt ten jest przy tym wyraźniejszy dla linii Bürkle.

Tabela 25. Energochłonność operacji technologicznych w zakładzie w Kartoszynie

Lp.	Parametr	Wartość	Jednostka
linia Homag			
1.	Zużycie energii przed modernizacją	1 085,71	MWh/r.
2.	Zużycie energii po modernizacji	678,52	MWh/r.
3.	Jednostkowe zużycie energii przed modernizacją	1,305	kWh/szt.

Lp.	Parametr	Wartość	Jednostka
4.	Jednostkowe zużycie energii po modernizacji	0,816	kWh/szt.
linia Bürkle			
5.	Zużycie energii przed modernizacją	367,3	MWh/r.
6.	Zużycie energii po modernizacji	211,2	MWh/r.
7.	Jednostkowe zużycie energii przed modernizacją	0,4415	kWh/szt.
8.	Jednostkowe zużycie energii po modernizacji	0,2538	kWh/szt.

9. Model osiągnięcia wydajności w wielkoseryjnej produkcji drzwi

Złożoność procesów technologicznych realizowanych w produkcji drewnianych skrzydeł i ościeżnic drzwiowych sprawiają, że w technologii konieczne jest zastosowanie modelowego podejścia do rozwiązania postawionego problemu. Zaproponowany model jest odzwierciedleniem rzeczywistej sytuacji technologicznej w firmie PORTA. Został on przedstawiony graficznie i opisuje podejście, jakie następuje we wdrożeniu każdego procesu technologicznego, zarówno całkowicie nowego, jak i opartego na modernizacji czy rozbudowie istniejących już systemów produkcyjnych (ryc. 115.). Model ten odpowiada na pytanie jak w efektywny sposób przeprowadzić działania zmierzające do uzyskania założonej wydajności z uwzględnieniem przeprowadzonych badań eksperymentalnych i analizy ich wyników oraz ze zwróceniem uwagi na istotne operacje w procesie technologicznym.

Uzyskanie wysokiej wydajności nie jest możliwe bez wykorzystania systemów informatycznych. Po analizie procesu przepływu zamówień wewnątrz przedsiębiorstwa od momentu przesłania ich przed klientów do momentu przekazania do produkcji wyciągnięto wnioski, dzięki którym ustalono konieczność opracowania oprogramowania, które wspierałoby komunikację pomiędzy wewnętrznymi systemami PORTA, a nowymi urządzeniami wchodzącymi w skład nowego zakładu. Ustalenia z dostawcami urządzeń potwierdziły, że dla każdego z urządzeń da się opracować zestaw sterujących danych parametrycznych. Umożliwiło to opracowanie spójnej metody przygotowywania i przetwarzania danych maszynowych. Wdrożony system został od strony struktury programistycznej zaprojektowany w taki sposób, aby mógł tłumaczyć informację dla potencjalnie każdej maszyny produkcyjnej, która używa parametrycznego sposobu komunikacji. Opracowana została zatem specjalna aplikacja o nazwie Translator, która umożliwia:

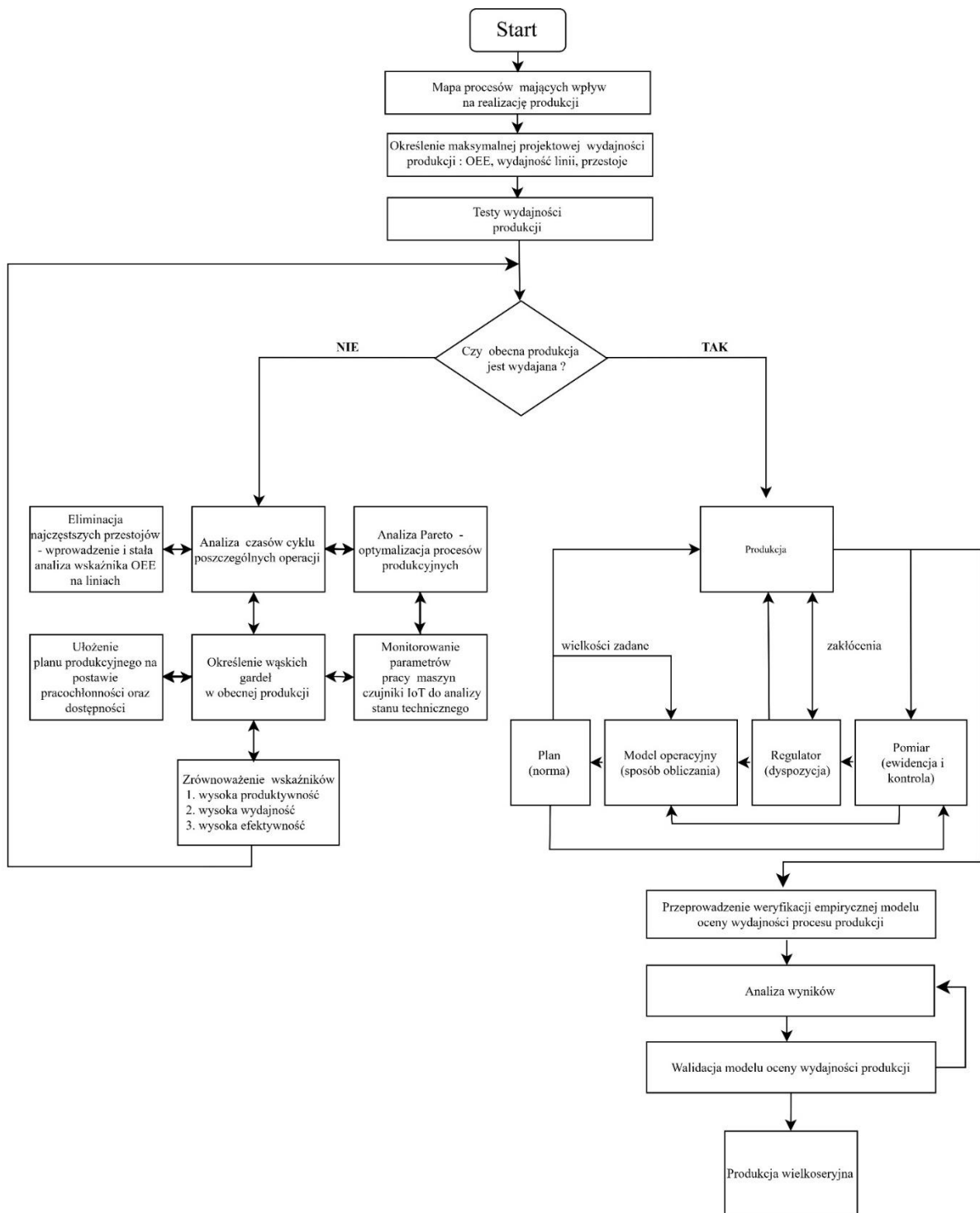
- integrację maszyn, urządzeń, linii technologicznych z systemami ERP/APS we współdziałaniu ze środowiskiem aplikacji Ninja,
- wprowadzenie nowego systemu etykietowania produktów i wykorzystanie kodów QR do zapisu informacji o produkcji.

Dzięki temu uzyskano lepszą komunikację maszyn z systemami zarządzania produkcją i planowania zasobów w firmie PORTA oraz poprawiono efektywność i niezawodność wyposażenia produkcyjnego.

Opracowany model ma potencjał wdrożeniowy. W ramach badań w skali przemysłowej w trakcie uruchomienia i modernizacji zakładu w Kartoszynie sprawdzono czy możliwe jest

dzięki jego wykorzystaniu osiągnięcie projektowej wydajności technologicznej. Okazało się, że jest on prawdziwy dla rzeczywistej produkcji wielkoseryjnej drzwi drewnianych. Dodatkowo wyniki przeprowadzonych badań i testów potwierdziły tę możliwość, a wdrożone dzięki niemu praktyki przyczyniły się do zwiększenia dalszej integracji i parametryzacji procesów produkcyjnych w zakładzie w Kartoszynie. Opracowanie modelu wymagało przeprowadzenia szeregu prac badawczo-rozwojowych dla weryfikacji jego założeń i potwierdzenia ich skuteczności. Wiele z tych prac zostało przeprowadzonych w innych zakładach przedsiębiorstwa PORTA, zanim podjęto się wdrożenia modelu podczas modernizacji zakładu w Kartoszynie. Wyniki badań przeprowadzonych w trakcie opracowywania modelu zostały opublikowane w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym (Kwidziński i in., 2022, 2021c, 2021b, 2021a; Michalak i in., 2024). Ponadto zidentyfikowano szereg innych korzyści, w tym efekty o potencjale wdrożeniowym, będące rezultatem przeprowadzonych w ramach pracy doktorskiej badań, do których można zaliczyć:

- opracowanie zasad projektowania linii z uwzględnieniem wszystkich elementów składowych i określania kluczowych parametrów poszczególnych modułów przeznaczonych do obróbki skrzydeł i ościeżnic drzwi;
- określenie czynników doboru ilościowego i jakościowego urządzeń w oparciu o wydajność projektową, opracowanie metod postępowania przy osiągnięciu projektowego poziomu wydajności linii technologicznych w całym procesie inwestycyjnym, możliwych do wykorzystania przez dowolny zakład produkcyjny drewnianej stolarki otworowej;
- opracowanie koncepcji systemu parametrycznego sterowania linią w postaci struktury połączeń sprzętowo-programowych, umożliwiających sterowanie procesem produkcji w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem zasad przemysłu 4.0;
- opracowanie założeń poprawnego montażu modułów linii technologicznych, w tym poszerzenie oferty o nowe zrównoważone technologie materiałowe bazujące na odnawialnych surowcach i pozostałościach poprodukcyjnych (zgodnie z ideą gospodarki cyrkularnej).



Ryc. 115. Model osiągnięcia projektowej wydajności produkcyjnej

10. Efekty wdrożeniowe dla przedsiębiorstwa POTRA KMI Poland S.A. wynikające ze zrealizowanych prac badawczo-rozwojowych

Innowacyjność jest wpisana w strategię rozwoju wielu firm. Zmiany w najbliższym otoczeniu biznesowym wymuszają w firmach kreatywne spojrzenie na rozwój i bieżące rozwiązywanie pojawiających się problemów. W strategii firmy PORTA do roku 2030 przyjęto:

- zwiększenie liczby zamówień z poziomu 400 000 skrzydeł płaskich rocznie do poziomu 900 000 tego rodzaju wyrobów w ciągu 5 lat działalności;
- skrócenie czasu realizacji zamówienia produkcyjnego do okresu nie dłuższego niż jeden tydzień;
- zmniejszenie technicznego kosztu wytworzenia o 10%.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia, firma PORTA opracowała i już częściowo wdrożyła następujące innowacje procesowe w zakładzie w Kartoszynie:

1. Organizacja działu przygotowania produkcji

W obecnym zakładzie przygotowanie do produkcji odbywa się bezpośrednio na stanowisku klejenia skrzydeł drzwiowych. Prowadzący stanowisko jest bezpośrednio odpowiedzialny za przygotowanie niezbędnego materiału do realizacji zlecenia produkcyjnego. Rozwiązanie to ma znaczący wpływ na wydajność procesu klejenia i niepotrzebnie ją zmniejsza. W celu poprawy wydajności klejenia skrzydeł drzwiowych utworzono nowy dział przygotowania produkcji, odpowiedzialny za kompletowanie materiałów niezbędnych do realizacji konkretnego zlecenia produkcyjnego.

2. Automatyzacja procesu klejenia drzwi płytowych pełnych

W celu skrócenia terminu realizacji zamówienia oraz zmniejszenia kosztu wytworzenia drzwi pełnych powstała w pełni zautomatyzowana linia do klejenia półwyrobów skrzydeł drzwiowych. Linia ta w sposób automatyczny zbija ramy skrzydeł drzwiowych, docina i wkłada wypełnienie oraz skleja wsad w prasie wielopółkowej. Na wyjściu z tej fazy procesu otrzymywany jest półwyrób gotowy do obróbki na kolejnych liniach produkcyjnych.

3. Automatyzacja procesu wykończania wąskich powierzchni oraz narożników skrzydeł drzwiowych

W nowym procesie powstała zautomatyzowana, parametrycznie sterowana linia technologiczna do obróbki wąskich powierzchni (przyłg) skrzydeł drzwiowych.

4. Automatyzacja procesu etykietowania i paletyzacji wyrobów gotowych na potrzeby magazynu centralnego

W celu usprawnienia procesu etykietowania produktów w linii technologicznej zainstalowano specjalny automat do znakowania wyrobów. Dodatkowo każdy gotowy wyrób trafia do strefy dziania manipulatora, która na podstawie zadanego programu sortuje i odkłada wyroby na palety. Tak przygotowane palety spełniają wymagania nowego magazynu centralnego.

5. Parametryczne sterowanie liniami produkcyjnymi oraz automatyzacja procesu raportowania etapów produkcji

Zaprojektowane nowe i zmodernizowane linie technologiczne z racji pełnej automatyzacji procesów są sterowane z wykorzystaniem danych zawartych w bazach danych. Modyfikując dane wejściowe, maszyna w sposób automatyczny przeobraża się w czasie pomiędzy obróbką kolejno produkowanych wyrobów. Dzięki zastosowaniu bazy danych w sterowaniu maszyną można również wykorzystać ją w procesie raportowania produkcji. Każde obrobione skrzydło jest rejestrowane, a uzyskane w ten sposób dane są importowane do systemu ERP-APS celem ewidencji realizacji poszczególnych etapów produkcyjnych.

6. Zwiększenie wydajności obróbki drzwi bezprzylgowych

Frezarki przeznaczone do wykonywania otworów osadczych zamków i zawiasów w ciągu technologicznym są przystosowane do wykonywania kieszeni pod zawiasy bezprzylgowe. Dzięki temu tempo procesu obróbki tego typu drzwi będzie zbliżone do obróbki skrzydeł przylgowych.

7. Automatyczne okuwanie skrzydeł drzwiowych

Skrzydła pełne charakteryzujące się najkrótszym czasem wykonania w procesie technologicznym są okuwane w sposób automatyczny. Dzięki temu tego typu drzwi po zakończeniu obróbki i montażu okuć mogą trafiać bezpośrednio na stanowisko pakowania.

11. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych, rozwojowych i projektowych będących przedmiotem pracy doktorskiej stwierdzono, że:

- najważniejszymi czynnikami oddziałującymi na wydajność linii technologicznych do produkcji drzwi drewnianych związanymi z ich konstrukcją są:
 - występowanie przyłgi w skrzydłach drzwiowych; obecność przyłgi zwiększa wydajność modułów maszynowych przeznaczonych do obróbki wąskich powierzchni, natomiast zmniejsza wydajność przy obróbce otworów montażowych systemu zawiasowego. Niezależnie od formy wykończenia wąskich powierzchni skrzydeł liczba zawiasów i rodzaj zamka wpływa na wydajność frezowania,
 - każda zmiana koloru skrzydła drzwiowego zmniejsza wydajność maszyn obrabiających wąskie powierzchnie. Podobnie jest w przypadku zmienności grubości i szerokości skrzydła, przy czym wpływ zmian koloru wykończenia jest najważniejszy, a zmiany szerokości skrzydła najmniejszy,
 - konieczność frezowania wzorów i innych profili na powierzchniach skrzydeł, ponieważ jest to obróbka czasochłonna, nawet z wykorzystaniem zaawansowanych obrabiarek,
- czynnikiem sprzyjającym osiągnięciu wysokiej wydajności jest możliwość sterowania obróbką z wykorzystaniem przystosowanego informatycznego systemu sterowania pracą modułów maszynowych linii technologicznych, dzięki któremu założone wydajności modułów są osiągnięte niezależnie od stopnia zmienności parametrów technicznych skrzydeł drzwiowych,
- sterowanie wartościami czynników pozwoliło na osiągnięcie założonej wydajności na poziomie do 4 szt./min. (podczas gdy nominalna wydajność zakładu po przejęciu wynosiła zaledwie 1,15 szt./min.), co zostało zweryfikowane w fazie rozruchu technologicznego i próbnej eksploatacji zmodernizowanych linii technologicznych w zakładzie produkcyjnym przedsiębiorstwa PORTA w miejscowości Kartoszyno,
- jednocześnie zmniejszyło się jednostkowe zużycie energii w procesie produkcji, poprawiono jakość wyrobów – liczba defektów w żadnych warunkach nie przekracza

4,6%, a w sprzyjających, jest nawet mniejsza niż 1%. Zapewniono możliwie wysoki poziom automatyzacji procesów, dzięki czemu pracownicy nie muszą wykonywać żadnych ręcznych czynności związanych z przenoszeniem półproduktów czy wyrobów. Wykonują jedynie czynności pomocnicze, które w dużym zakresie zostały również zmechanizowane,

- uzyskano nową wiedzę w zakresie określenia mierników wydajności procesu w produkcji kastomizowanych wyrobów drzwi drewnianych. Na ich podstawie zostały opracowane wytyczne technologiczne, dzięki którym możliwe jest dostosowanie procesu przez sterowanie działaniem i wykorzystaniem kluczowych urządzeń produkcyjnych w zakładzie wytwarzającym drzwi drewniane. Na podstawie tej wiedzy i doświadczeń opracowany został graficzny model efektywnej technologii produkcji dla osiągnięcia stałej wysokiej wydajności,
- systemy i rozwiązania zaprojektowane w celu osiągnięcia projektowego poziomu wydajności linii technologicznych do produkcji drzwi drewnianych zostały skutecznie wdrożone w uruchomionym, zmodernizowanym i rozbudowywanym zakładzie w Kartoszynie,
- kastomizacja produktów ma wpływ na parametry operacji technologicznych w produkcji drzwi drewnianych, a ich zmienność oddziałuje na wydajność urządzeń produkcyjnych. Nie mniej jednak, dzięki znajomości tej zmienności i jej wpływu można skutecznie planować i kontrolować wydajność z wykorzystaniem systemów informatycznych sterujących produkcją.

Bibliografia

- Achabal, D.D., Heineke, J.M., McIntyre, S.H., 1984. Issues and perspectives on retail productivity. *Journal of Retailing* 60, 107–127.
- Adamkiewicz-Drwiłło, H.G., 2010. Konkurencyjność przedsiębiorstw w świetle uwarunkowań współczesnej gospodarki. Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa „Dom Organizatora”, Toruń.
- Antosz, K., Ciecńska, B., 2011. Podstawy zarządzania parkiem maszyn w przedsiębiorstwie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- Aurand, S.S., Miller, P.J., 1997. The operating curve: a method to measure and benchmark manufacturing line productivity, w: 1997 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop ASMC 97 Proceedings. IEEE, pp. 391–397. <https://doi.org/10.1109/ASMC.1997.630768>
- Bal, B.C., Dumanoglu, F., 2019. Surface roughness and processing time of a medium density fiberboard cabinet door processed via CNC router, and the energy consumption of the CNC router. *Bioresources* 14, 9500–9508. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9500-9508>
- Barański, J., Klement, I., Vilkovská, T., Konopka, A., 2017. High Temperature Drying Process of Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.) with Different Zones of Sapwood and Red False Heartwood. *Bioresources* 12. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.1861-1870>
- Blecker, T., Friedrich, G., 2006. *Mass Customization: Challenges and Solutions*. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/0-387-32224-8>
- Borsos, G., Iacob, C.C., Calefariu, G., 2016. The use KPI's to determine the waste in production process. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 161, 012102. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012102>
- Cavusoglu, Hasan, Cavusoglu, Huseyin, Raghunathan, S., 2007. Selecting a Customization Strategy Under Competition: Mass Customization, Targeted Mass Customization, and Product Proliferation. *IEEE Trans Eng Manag* 54, 12–28. <https://doi.org/10.1109/TEM.2006.889064>
- Chabowski, P., Rewers, P., 2015. Wpływ przebrojeń na elastyczność produkcji. *Logistyka* 4, 8736–8743.

- Cheng, H.J., 2011. Research on the Multiple Level Performance Management System Based on KPI., in: Proceedings of the 8th International Conference on Innovation and Management. Yamaguchi Univ, Kitakyushu, Japan.
- Corredera, A., Macia, A., Sanz, R., Hernandez, J.L., 2016. An Automated Monitoring System for Surveillance and KPI Calculation, w: Proceedings of the 2016 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Bari, Italy 1–6.
- Davis, S.M., 1987. Future perfect. Addison-Wesley Publishing, Reading, MA.
- Deng, N., Wang, J., Sun, J., Cao, N., 2023. Life cycle assessment and optimization scenario of solid wood composite doors: A case study in the east of China. *Science of The Total Environment* 868, 161494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161494>
- Diewert, W.E., 1973. Functional forms for profit and transformation functions. *J Econ Theory* 6, 284–316. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(73\)90051-3](https://doi.org/10.1016/0022-0531(73)90051-3)
- Dolny, S., Strumiński, J., 1993. Technologiczne projektowanie zakładów mechanicznej obróbki drewna, część I. Wyd. Akademii Rolnicze, Poznań.
- DSR, 2022. Analiza Pareto narzędziem do optymalizacji procesów produkcyjnych. URL <https://www.dsr.com.pl/analiza-pareto-narzedziem-do-optymalizacji-procesow-produkcyjnych/> (dostęp 12.08.2025)
- Ehteshami, B., Petrakian, R.G., Shabe, P.M., 1992. Trade-offs in cycle time management: hot lots. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 5, 101–106. <https://doi.org/10.1109/66.136270>
- Espinoza Pérez, A.T., Rossit, D.A., Tohmé, F., Vásquez, Ó.C., 2022. Mass customized/personalized manufacturing in Industry 4.0 and blockchain: Research challenges, main problems, and the design of an information architecture. *Information Fusion* 79, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.09.021>
- ExeCode, OEE online calculator. URL <https://execode.pl/tools/oeo-calculator> (dostęp 12.08.2025)
- Furman, J., 2014. Wdrażanie wybranych narzędzi koncepcji Lean Manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole, Polska.
- Gierszewska, G., Romanowska, M., 2017. Analiza strategiczna przedsiębiorstwa. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Griffin, R.W., 2017. Podstawy zarządzania organizacjami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Haddouche, M., Ilinca, A., 2022. Energy Efficiency and Industry 4.0 in Wood Industry: A Review and Comparison to Other Industries. *Energies* (Basel) 15, 2384. <https://doi.org/10.3390/en15072384>
- Hamrol, J., 2018. Strategie i praktyki sprawnego działania LEAN, SIX SIGMA i inne. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa
- Instytut Doskonalenia Produkcji, 2025. Wydajność procesu produkcji – czym jest? Poznaj kluczowe wskaźniki. Doskonalenie Produkcji [online]. URL <https://www.doskonalenieprodukcji.pl/blog/wydajnosc-procesu-produkcji-czym-jest-poznaj-kluczowe-wskazniki> (dostęp 12.08.2025).
- ISOQAR, 2021. Narzędzia menadżera jakości – Diagram Pareto – Lorenza. URL <https://www.isoqar.pl/pl/aktualnosci/zloty-standard/narzedzia-menadzera-jakosci-%E2%80%93-diagram-pareto-lorenza> (dostęp 12.08.2025).
- Kalir, A.A., 2023. Optimizing Factory Performance for Unit Cost in Semiconductor Manufacturing. *Open Journal of Optimization* 12, 61–71. <https://doi.org/10.4236/ojop.2023.122005>
- Kminiak, R., Siklienka, M., Igaz, R., Krišťák, Ľ., Gergel, T., Němec, M., Réh, R., Očkajová, A., Kučerka, M., 2019. Effect of cutting conditions on quality of milled surface of medium-density fibreboards. *Bioresources* 15, 746–766. <https://doi.org/10.15376/biores.15.1.746-766>
- Kotha, S., 1995. Mass customization: Implementing the emerging paradigm for competitive advantage. *Strategic Management Journal* 16, 21–42. <https://doi.org/10.1002/smj.4250160916>
- Kraszewska, M., Pujer, K., 2017. Konkurencyjność przedsiębiorstw. Sposoby budowania przewagi konkurencyjnej. Exante, Wrocław.
- Krupińska, B., Szewiczek, D., Dobrzański, L., 2007. Improvement of technological processes by the use of technological efficiency analysis. *Archives of Materials Science and Engineering* 28, 751–756.
- Kwidziński, Z., Bednarz, J., Pędzik, M., Sankiewicz, Ł., Szarowski, P., Knitowski, B., Rogoziński, T., 2021a. Innovative Line for Door Production TechnoPORTA Technological and Economic Aspects of Application of Wood-Based Materials. *Applied Sciences* 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11104502>
- Kwidziński, Z., Bednarz, J., Sankiewicz, Ł., Pędzik, M., Rogoziński, T., 2021b. TechnoPORTA intelligent, customized technological line for the automated production of technical doors -

- selected technical and economic indicators. *Annals of WULS Forestry and Wood Technology* 96–100.
- Kwidziński, Z., Chodnicki, M., Sankiewicz, Ł., Knitowski, B., Rogoziński, T., 2024. Influence of Finishing Colour on the Efficiency of Automated Production Line for Wooden Doors, w: *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Establishing Bridges for More Sustainable Manufacturing Systems. Proceedings of FAIM 2023*, pp. 216–224. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38165-2_26
- Kwidziński, Z., Hanincová, L., Tyma, E., Bednarz, J., Sankiewicz, Ł., Knitowski, B., Pędzik, M., Procházka, J., Rogoziński, T., 2022. The Efficiency of Edge Banding Module in a Mass Customized Line for Wooden Doors Production. *Applied Sciences* 12, 12510. <https://doi.org/10.3390/app122412510>
- Kwidziński, Z., Sankiewicz, Ł., Bednarz, J., Darżnik, D., Knitowski, B., Pędzik, M., Rogoziński, T., 2021c. The influence of the feed speed during milling on the processing quality of decorative grooves in door leaf facings made of HDF. *Biuletyn informacyjny OB-RPPD* 3–4. <https://doi.org/10.32086/biuletyn.2021.07>
- Lau, L.J., 1976. A characterization of the normalized restricted profit function. *J Econ Theory* 12, 131–163. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(76\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0022-0531(76)90030-2)
- Michalak, D., Kwidziński, Z., Pędzik, M., Bednarz, J., Sankiewicz, Ł., Knitowski, B., Drewczyński, M., Rogoziński, T., 2024. The impact of door leaf parameters on the efficiency of the automated technological line. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen* 66, 115–123. <https://doi.org/10.17423/afx.2024.66.2.10>
- MM Magazyn Przemysłowy, 2025. Firmy przemysłowe coraz chętniej stawiają na retrofitting [WWW Document]. URL <https://magazynprzemyslowy.pl/artykuly/firmy-przemyslowe-coraz-chetniej-stawiaja-na-retrofitting> (dostęp 12.08.2025).
- Niziałek, I., Podobas, I., Knysak, A., 2016. Ekoinnowacje na przykładzie przedsiębiorstw z branży meblarskiej, in: *Firmy Rodzinne - Wyzwania Współczesności. Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, Łódź, pp. 241–253.
- Pędzik, M., Bednarz, J., Kwidziński, Z., Rogoziński, T., Smardzewski, J., 2020. The idea of mass customization in the door industry using the example of the company porta KMI Poland. *Sustainability (Switzerland)* 12. <https://doi.org/10.3390/su12093788>
- Pine, B.J., 1993. Mass customizing products and services. *Planning Review* 21, 6–55. <https://doi.org/10.1108/eb054420>

- Porter, Michael E., 2010. *Strategia Konkurencji. Metody analizy sektorów i konkurentów*. Wydawnictwo MT Biznes Sp z o.o, Warszawa.
- Pyszka, A., 2015. Istota efektywności. Definicje i wymiary. *Studia Ekonomiczne* 230, 13–25.
- Radam, A., Yacob, M.R., Muslim, H.F.M., 2010. Technical Efficiency of the Malaysian Wooden Furniture Industry: A Stochastic Frontier Production Approach. *International Business Research* 3, 10. <https://doi.org/10.5539/ibr.v3n3p10>
- Rogoziński, T., Gawroński, T., Rahma, A., 2010. Influence of some technical and technological factors on the productivity of woodworking stations with CNC machines. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology* 70, 243–247.
- Sabioni, R.C., Daaboul, J., Le Duigou, J., 2022. Joint optimization of product configuration and process planning in Reconfigurable Manufacturing Systems. *International Journal of Industrial Engineering and Management* 13, 58–75. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2022-1-301>
- Schmidt, W.H., Finnigan, J.P., 1992. *The race without a finish line: America's quest for total quality*. CA: Jossey-Bass, San Francisco.
- Sherman, J.D., Souder, W.E., Janssen, S.A., 2000. Differential Effects of the Primary Forms of Cross Functional Integration on Product Development Cycle Time. *Journal of Product Innovation Management* 17, 257–267. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1740257>
- Subramaniam, S.K.A.L., Husin, S.H.B., Yusop, Y.B., Hamidon, A.H.B., 2008. Machine efficiency and man power utilization on production lines., in: *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications*. World Scientific and Engineering Academy and Society, pp. 70–75.
- Sung, C.S., 1985. A production planning model for multi-product facilities. *Journal of the Operations Research Society of Japan* 28, 345–358. <https://doi.org/10.15807/jorsj.28.345>
- Szymanik, E., 2016. Konkurencyjność przedsiębiorstwa - główne aspekty. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie* 107–124. <https://doi.org/10.15678/ZNUEK.2016.0953.0507>
- Tarigan, U., Tarigan, U.P.P., Sukirman, V., 2019. Integration of Lean Manufacturing and Group Technology Layout to increase production speed in the Manufacture of Furniture. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 528, 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012058>

- Weber, C.M., Fayed, A., 2010. Scale, Scope, and Speed—Managing the Challenges of Multiproduct Manufacturing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 23, 30–38. <https://doi.org/10.1109/TSM.2009.2039249>
- Wieruszewski, M., Turbański, W., Mydlarz, K., Sydor, M., 2023. Economic Efficiency of Pine Wood Processing in Furniture Production. *Forests* 14, 688. <https://doi.org/10.3390/f14040688>
- Wilkowski, J., Barlak, M., Kwidziński, Z., Wilczyński, A., Filipczuk, P., Pędzik, M., Drewczyński, M., Zagórski, J., Staszkiwicz, B., Rogoziński, T., 2022. Influence of Ion Implantation on the Wear and Lifetime of Circular Saw Blades in Industrial Production of Wooden Door Frames. *Applied Sciences* 12, 10211. <https://doi.org/10.3390/app122010211>
- Yu, C., 2016. Airline Productivity and Efficiency: Concept, Measurement, and Applications. pp. 11–53. <https://doi.org/10.1108/S2212-160920160000005002>
- Zhang, M.T., Tag, P.H., 2006. Cycle Time Reduction Through Preventive Maintenance De-clustering, w: 2006 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing. IEEE, pp. 70–73. <https://doi.org/10.1109/ISSM.2006.4493025>

Streszczenie

Specyfika produkcji skrzydeł drzwiowych wykazuje wysoki poziom indywidualizacji cech technicznych oraz użytkowych wyrobów, wynikających z wymagań klientów (kastomizacja). Wynika z tego konieczność ciągłych zmian w działaniu systemu wytwórczego następujących w ślad za dużą zmiennością parametrów pracy wszystkich stanowisk i urządzeń systemu. Brak efektywnego podejścia uwzględniającego automatyzację oraz skuteczną parametryzację pracy wszystkich składników wyposażenia technologicznego skutkuje małą wydajnością związaną z dużym udziałem czynności wykonywanych ręcznie, dużym zużyciem energii, zapotrzebowaniem na powierzchnię produkcyjną oraz niskim poziomem jakości wyrobów.

Tych problemów można uniknąć, stosując zautomatyzowaną technologię kastomizowanej produkcji wyrobów. W przedsiębiorstwie PORTA KMI Poland wdrażana jest inwestycja polegająca na uruchomieniu, modernizacji i rozbudowie takich linii technologicznych w zakładzie w Kartoszynie. Głównym jej celem jest osiągnięcie poziomu wydajności 4 szt./min. w stosunku do wyrobu odniesienia.

Przedmiotem pracy doktorskiej było określenie najważniejszych czynników oddziałujących na wydajność linii i efektywne sterowanie wartościami tych czynników dla osiągnięcia założonej wydajności. Dokonano także praktycznej weryfikacji w fazie rozruchu technologicznego i próbnej eksploatacji linii technologicznych przy jednoczesnej poprawie wartości innych wskaźników techniczno-ekonomicznych związanych z jakością wyrobów, czy zużyciem energii w procesie produkcyjnym. Dzięki tym działaniom został wypracowany trwały system sterowania pracą linii technologicznych zakładu w Kartoszynie, dzięki któremu założona wydajność będzie osiągnięta niezależnie od stopnia zmienności rodzajowej drewnianych skrzydeł drzwiowych.

Mając na uwadze wymagania rynkowe podjęto badania, których celem było wdrożenie zaprojektowanych systemów i rozwiązań dla osiągnięcia projektowego poziomu wydajności linii technologicznych w całym procesie inwestycyjnym oraz dostarczenie nowej wiedzy w zakresie sterowania i określenia mierników efektywności procesu. W oparciu o te wskaźniki zostały opracowane wytyczne technologiczne, przedstawione w postaci graficznego modelu osiągania projektowej wydajności produkcji drewnianych skrzydeł drzwiowych. Postawiono hipotezę badawczą, że rodzaj skrzydeł drzwiowych ma wpływ na parametry operacji technologicznych, natomiast zmienność parametrów rzutuje na wydajność procesu produkcyjnego.

Badania przeprowadzone w pracy potwierdziły możliwość uzyskania wydajnej technologii wytwarzania drzwi drewnianych, a analiza wyników badań eksperymentalnych i sformułowane wnioski umożliwiły zdefiniowanie zaleceń i wytycznych technologicznych procesu produkcji, aby w przyszłości uzyskać potencjał do wdrożenia koniecznych zmian i adaptacji technologii do szerokiego asortymentu produktów. Na podstawie wyników podjęto prace wdrożeniowe związane z zaprojektowaniem i uruchomieniem linii produkcyjnych.

Realizacja tych działań wpłynęła na bieżącą działalność firmy PORTA – zmodernizowany został zakład w Kartoszynie, który będzie prowadził w pełni zautomatyzowaną, inteligentną produkcję skrzydeł drzwiowych, dzięki czemu będzie możliwe wprowadzenie do oferty firmy jeszcze szerszego asortymentu produktów kastomizowanych.

Summary

Efficiency of automated technological lines for the production of wooden doors

The specificity of door leaf production demonstrates a high level of individualisation of technical and functional product features resulting from customer requirements (customisation). This entails the necessity of continuous changes in the operation of the manufacturing system, following the high variability of operating parameters of all workstations and devices within the system. The lack of an effective approach that takes into account automation and effective parameterization of the operation of all technological equipment components results in low efficiency related to the high share of manual operations, high energy consumption, demand for production space, and a low level of product quality.

These problems can be avoided by applying automated technology for customized product manufacturing. In the PORTA KMI Poland company, an investment is being implemented consisting of the launch, modernization, and expansion of such technological lines at the plant in Kartoszyno. Its main objective is to achieve a level of efficiency of 4 pcs/min in relation to the reference product.

The subject of this doctoral dissertation was the identification of the key factors influencing the performance of the production lines and, consequently, the effective control of these factors in order to achieve the target efficiency. The study also involved the practical verification of the proposed solutions during the technological start-up phase and trial operation of the production lines, while simultaneously improving other technological and economic indicators related to product quality and energy consumption in the manufacturing process. As a result of these efforts, a sustainable system for controlling the technological lines at the Kartoszyno plant was developed, ensuring that the target efficiency will be achieved regardless of the variability in the types of wooden door leaves processed.

Taking into account market requirements, research was undertaken with the aim of implementing and designing systems and solutions for achieving the designed level of efficiency of technological lines throughout the entire investment process, and for delivering new knowledge in the field of control and the determination of process efficiency indicators. Based on these indicators, technological guidelines were developed and presented in the form of a graphical model for achieving the target production efficiency of wooden product manufacturing. A research hypothesis was formulated that the type of door leaves influences

the parameters of technological operations, while the variability of these parameters affects the efficiency of the production process.

The research conducted in the dissertation confirmed the feasibility of developing an efficient technology for manufacturing doors from wood-based raw materials. Analysis of the experimental results and the conclusions drawn made it possible to define recommendations and technological guidelines for the production process of wooden doors, so as to secure in the future the potential to implement necessary changes and to adapt the technology to a broad range of products. Based on these findings, implementation work was undertaken concerning the design and launching of production lines.

The execution of these measures has influenced the ongoing operations of the PORTA company – the plant in Kartoszyno was modernized to enable fully automated, intelligent production of door leaves, which will allow the company to expand its product range with an even wider assortment of customized solutions.

Spis tabel

Tabela 1. Przykłady działań w celu poprawy wartości wskaźników techniczno-ekonomicznych

Tabela 2. Podprogramy obróbkowe dla linii technologicznej zbijania i sklejanie skrzydeł

Tabela 3. Test OEE w warunkach produkcji skrzydeł o różnym wykończeniu kolorystycznym

Tabela 4. Test OEE w warunkach produkcji skrzydeł o różnym wypełnieniu

Tabela 5. Wydajność zakładu PORTA w Kartoszyne

Tabela 6. Test OEE w warunkach produkcji skrzydeł przylgowych i bezprzylgowych

Tabela 7. Wyniki testów wielkoseryjnych badania wydajności produkcyjnych linii SMM, lipiec 2024

Tabela 8. Prognozowana wydajność linii SMM po retrofitingu

Tabela 9. Aktualne średnie czasy operacji frezowania profili w szerokich powierzchniach skrzydeł – czerwiec 2025 r.

Tabela 10. Wydajność centrum frezarskiego – czerwiec 2025

Tabela 11. Aktualna wydajność modułów maszynowych w zakładzie w Kartoszyne; czerwiec 2025 r.

Tabela 12. Lista zdefiniowanych parametrów dla linii HOMAG

Tabela 13. Przykład zdefiniowanych parametrów obróbki pod zawiasy dla linii SMM

Tabela 14. Przykład definicji wszystkich cech produktu

Tabela 15. Testowane warianty typów drzwi

Tabela 16. Czas między skrzydłami drzwiowymi w serii pierwszej

Tabela 17. Czas między skrzydłami drzwiowymi w serii drugiej

Tabela 18. Zestawienie właściwości płyt HDF wykorzystanych w badaniach

Tabela 19. Wyniki oceny jakości rowków dekoracyjnych w okładzinach skrzydeł drzwiowych wykonanych z HDF

Tabela 20. Określenie skumulowanych udziałów procentowych procesu montażu półwyrobów

Tabela 21. Nazwanie kluczowych przyczyn problemów w procesie montażu półwyrobów

Tabela 22. Określenie skumulowanych udziałów procentowych procesu obróbki wąskich powierzchni

Tabela 23. Nazwanie kluczowych przyczyn problemów w procesie obróbki wąskich powierzchni

Tabela 24. Wyniki pomiarów dla linii pilotażowej Homag w Bolszewie

Tabela 25. Energochłonność operacji technologicznych w zakładzie w Kartoszynie

Spis rycin

Ryc. 1. Widok zakładu Porta Kartoszyno

Ryc. 2. Linia do zbijania i sklejania ram Bürkle

Ryc. 3. Linia do obróbki skrzydeł drzwiowych HOMAG (2 sekcje)

Ryc. 4. Linia do pakowania GRASO

Ryc. 5. Układ dwusekcyjnego modułu HOMAG w zakładzie Kartoszyno -obróbka skrzydła w jednym przejściu (cyklu)

Ryc. 6. Model 3D dwusekcyjnego modułu HOMAG w zakładzie Kartoszyno -obróbka skrzydła w jednym przejściu (cyklu)

Ryc. 7. Interfejs systemu sterowania procesem produkcji modułów HOMAG z 1997 roku

Ryc. 8. Baza parametrów sterowania procesem produkcji Homatic z 1997 roku

Ryc. 9. Oryginalny ekspozytor możliwości wytwórczych modułów maszynowych Bürkle dla firmy Hochwald z 1999 roku

Ryc. 10. Wdrożone w module maszynowym HOMAG stanowisko etykietowania produktów z drukarką Markem-Imaje 5940G – stan na maj 2024

Ryc. 11. Aplikacja BarTender do znakowania produktów

Rys. 12. Model 3D modułów Bürkle w zakładzie Kartoszyno

Ryc. 13. Moduł Bürkle – manualne zarządzanie personalizacją konstrukcji skrzydła

Ryc. 14. Model 3D pokazujący umiejscowienie drukarek Markem-Imaje 5940G w zakładzie Kartoszyno

Ryc. 15. Nowoczesny dotykowy panel sterowniczy modułów Bürkle po wdrożeniu w lipcu 2024 r

Ryc. 16. Układ logiczny przekazania danych do nowego komputera centralnego po modernizacji (stan z lipca 2024 roku)

Ryc. 17. Personalizowana sekcja konstrukcji skrzydła

Ryc. 18. Wdrożone stanowisko etykietowania produktów (stan na czerwiec 2024)

Ryc. 19. Skrzydło z ramiakami wykonanymi z MDF i wypełnieniem z płyty wiórowej; podwójny ramiak dolny

Ryc. 20. Skrzydło z ramiakami wykonanymi z MDF i wypełnieniem z płyty wiórowej; podwójne ramiaki pionowe, potrójny ramiak dolny

Ryc. 21. Skrzydło z ramiakami wykonanymi z MDF i wypełnieniem papierowym w formie tzw. plastra miodu; podwójny ramiak dolny

Ryc. 22. Skrzydło techniczne z ramiakami z drewna dębowego i wypełnieniem z płyty wiórowej; podwójny ramiak dolny

Ryc. 23. Wzmocnione skrzydło wejściowe z ramiakami z drewna sosnowego i wypełnieniem z płyty wiórowej

Ryc. 24. Wzmocnione skrzydło wejściowe o zwiększonych gabarytach z ramiakami z drewna sosnowego i wypełnieniem z płyty wiórowej; w tym otworowej

Ryc. 25. Przykładowe wizualizacje konstrukcji skrzydeł w wykorzystaniu różnych wypełnień

Ryc. 26. Sortowanie skrzydeł wg szerokości

Ryc. 27. Konstrukcje skrzydeł o zunifikowanej grubości 40 mm zaprojektowane dla zautomatyzowanej produkcji w 2001 r.

Ryc. 28. Plan obróbki wąskiej powierzchni skrzydła na linii HOMAG Kartoszyno

Ryc.29. Sekcja zbijania ramy skrzydeł drzwiowych linii Bürkle

Ryc. 30. Sekcja załadunku wsadu wypełniającego ramę skrzydła na linii Bürkle

Ryc. 31. Sekcja załadunku ramiaków poziomych na linii Bürkle

Ryc. 32. Sekcja załadunku ramiaków pionowych na linii Bürkle

Ryc. 33. Sekcja załadunku ramiaków nietypowych na linii Bürkle

Ryc. 34. Sekcja załadunku formatek okładzinowych HDF na linii Bürkle

Ryc. 35. Sekcja załadunku prasy wielopółkowej na linii Bürkle

Ryc. 36. Sekcja sezonowania linii Bürkle

Ryc. 37. Plan obróbki dla linii Bürkle

Ryc. 38. Konstrukcje skrzydeł dla zautomatyzowanej produkcji linii Bürkle w 1997 roku

Rys. 39. Sekcja paletyzowania i buforowania

Rys. 40. Posortowane i oznakowane półwyroby umożliwiające wydajną obróbkę w kolejnych etapach produkcji

Ryc. 41. Model 3D linii SMM w zakładzie Kartoszyno

Ryc. 42. Umieszczenie żurawi wspomagających załadunek w strefie obróbki CNC i SMM

Ryc. 43. Wspomagający, przemysłowy manipulator ładunkowy (przed sekcją SMM na wyjściu z linii HOMAG)

Ryc. 44. Dokumentacja operacji wiercenia otworów pod zawiasy czopowe na linii SMM

Ryc. 45. Dokumentacja operacji wiercenia otworów pod zawiasy w skrzydle bezprzyługowym na linii SMM

Ryc. 46. Dokumentacja operacji frezowania gniazda zamka na linii SMM

Ryc. 47. Automatyczna obróbka skrzydeł bezprzyługowych w trybie potokowym

Ryc. 48. Pierwotne algorytmy sterujące linią SMM przed wdrożeniem aplikacji Ninja

Ryc. 49. Pierwotny panel sterowania modułem okuwania – montażu zamka i zawiasów

Ryc. 50. Predefiniowane algorytmy sterujące linią SMM po modernizacji

Ryc. 51. Dynamiczne parametryzowanie modułu SMM przez Translator PORTA

Ryc. 52. Centrum CNC 5-osiowe BIESSE zintegrowane z systemem Translator

Ryc. 53. Centrum CNC w zakładzie Kartoszyno z półproduktami przygotowanymi do frezowania wzorów na szerokiej powierzchni skrzydła oraz wykonywania podcięć wentylacyjnych

Ryc. 54. Pulpit sterowniczy CNC ROVER

Ryc. 55. Frezowanie ozdobne na powierzchni skrzydła Porta VECTOR (A) i Porta TRIM (B)

Ryc. 56. Przykładowe frezowania na szerokiej powierzchni skrzydła

Ryc. 57. Plan frezowania na szerokiej powierzchni skrzydła Porta VECTOR

Ryc. 58. Wdrożony proces technologiczny; czerwiec 2025 r.

Ryc. 59. Makieta 3D wdrożonego procesu technologicznego, czerwiec 2025 r.

Ryc. 59. Linia Bürkle z nowym sterowaniem i systemem etykietowania produktów

Ryc. 60. Linia HOMAG z nowymi aplikacjami i systemem etykietowania produktów

Ryc. 61. Pięciosiowe centrum CNC BIESSE Rover

Ryc. 62. Linia SMM z nowymi aplikacjami i rozbudową dla wysokowydajnego systemu przygotowywania otworów i montażu zamków i zawiasów

Ryc. 63. Diagram przemieszczania wyrobu w trakcie produkcji

Ryc. 64. Koncepcja rozbudowy Zakładu Kartoszyno w etapie 3;
1 – aktualnie wdrożona technologia w oparciu o maszyny HOMAG, Bürkle, BIESSE i SMM;
2 – zaprojektowane centrum rozkroju i formatyzowania i oklejania; 3 – projektowana lakiernia oraz dodatkowo 2 centra przelotowe CNC i centrum okuwania skrzydeł

Ryc. 65. Zakład Kartoszyno (żółty prostokąt) i zakupiony teren inwestycyjny (zielony prostokąt) maj 2022

Ryc. 66. Koncepcja rozbudowy zakładu na lata 2025-2027

Ryc. 67. Przygotowanie terenu na działce pozyskanej pod budowę hali w etapie 3. czerwiec 2025

Ryc. 68. Bryła konstrukcji nowej hali produkcyjnej zaprojektowana do budowy w etapie 3. z wydzieloną strefą na lakiernię

Ryc. 69. Koncepcja rozbudowy zakładu w latach 2025-2028 wraz z budową kotłowni TPO

Ryc. 70. Docelowy schemat technologiczny na zakończenie Etapu 3.

Ryc. 71. Stan technologii planowany na rok 2027; rozruch linii i testy integracji z ERP i MES

Ryc. 72. Stan technologii planowany na rok 2028 z pełną integracją z systemami ERP i MES

Ryc. 73. Historyczny stan technologii produkcji w momencie zakupu nieczynnego zakładu Kartoszyno, maj 2022 r.

- Ryc. 74. Stan technologii produkcji w zakładzie Kartoszyno, czerwiec 2025 r.
- Ryc. 75. Model przestrzenny stanu technologii produkcji w zakładzie Kartoszyno, czerwiec 2025 r.
- Ryc. 76. Schemat ideowy wymiany danych w środowisku APS (Automated Scheduling Planning) PORTA
- Ryc. 77. Etykieta wyrobu
- Ryc. 78. Strefa HOMAG w procesie produkcji zakładu Kartoszyno
- Ryc. 79. Specyfikacja makr na linii do formatowania i oklejania wąskich powierzchni - HOMAG
- Ryc. 80. Przekształcenia punktu zerowego w oprogramowaniu Siemens NX na potrzeby sekcji CNC
- Ryc. 81. Interfejs administracyjny Translatora
- Ryc. 82. Przykładowe filtry Translatora
- Ryc. 83. Przykładowy raport produkcji baza danych linii Bürkle
- Ryc. 84. Proces translacji informacji dla maszyn
- Ryc. 85. Lista parametrów zapisana w pliku parameters w TeamCenter, wygenerowana dla złożenia produktu kastomizowanego
- Ryc. 86. Schemat procesu przesłania danych z Translatora do maszyn
- Ryc. 87. Przykładowy układ danych maszynowych w pliku *.csv
- Ryc. 88. Przykład danych maszyny posortowanych według kolumny CYKL
- Ryc. 89. Przykład parametrów statystycznych wyznaczonych na podstawie danych produkcyjnych uzyskanych z maszyny
- Ryc. 90. Przykład uśrednionych danych miesięcznych (wrzesień)
- Rys. 91. Wizualizacja typów drzwi wykorzystywanych do badań.
- Ryc. 92. Czas taktu dla serii sortowanych kolorystycznie i serii ze zmianą koloru

- Ryc. 93. Czas taktu dla serii skrzydeł sortowanych pod względem szerokości i serii o zmienianej szerokości
- Ryc. 94. Czas taktu serii skrzydeł dla serii sortowanych z przylgą i serii naprzemiennie przylgowych i bezprzylgowych
- Ryc. 95. Zwiększenie liczby skrzydeł drzwiowych podczas ośmiogodzinnej zmiany
- Ryc. 96. Parametry białego i czarnego skrzydła Agat
- Ryc. 97. Makro EdgeCode
- Ryc. 98. Filtry określające kolory obrzeża w bazie danych maszyny
- Ryc. 99. Makro białego kolor obrzeża w bazie danych maszyny
- Ryc. 100. Ustawienia parametrów grzania w programach obróbki
- Ryc. 101. Ułożenie skrzydeł na palecie dla pierwszej próby
- Ryc. 102. Oznaczenia skrzydeł dla pierwszej próby
- Ryc. 103. Skrzydła na linii podczas obróbki
- Ryc. 104. Schemat frezowania doświadczalnych skrzydeł drzwiowych
- Ryc. 105. Frez trzpieniowy użyty w badaniach
- Ryc. 106. Falistość powierzchni po frezowaniu
- Ryc. 107. Zmienność szerokości rowka po frezowaniu
- Ryc. 108. Podniesione włókna widoczne po lakierowaniu
- Ryc. 109. Wykres Pareto procesu realizowanego przez moduły maszynowe Bürkle
- Ryc. 110. Wykres Pareto procesu realizowanego przez moduły maszynowe HOMAG
- Ryc. 111. Pobór mocy przez sprężarki
- Ryc. 112. Pobór mocy przez instalację odciągową
- Ryc. 113. Pobór mocy linii HOMAG znajdującej się w zakładzie w Kartoszynie
- Ryc. 114. Pobór mocy dla linii Bürkle oraz sprężarki.

Ryc. 115. Model osiągnięcia projektowej wydajności produkcyjnej