

# SYMULACJA PROCESU TECHNOLOGICZNEGO MONTAŻU Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU PLM DELMIA

*Łukasz Gola<sup>1</sup>  
Natalia Ficek*

## Streszczenie

W artykule przedstawiono etapy projektowania procesu technologicznego montażu na przykładzie reduktora walcowego. Szczególną uwagę zwrócono na te etapy, w których wykorzystano system PLM Delmia do symulacji montażu ręcznego reduktora. Przedstawiono miejsce wykorzystania konkretnego modułu pakietu. Przedstawiono również możliwości systemu, gdzie można m.in.: przygotować wirtualne makiety dla procesu montażu, podzielić proces na etapy (operacje, zabiegi, czynności montażowe).

**Słowa kluczowe:** montaż, Catia, Delmia, symulacja montażu.

## 1. Wstęp

W dzisiejszych czasach zauważa się wysoki poziom automatyzacji przemysłu, a podstawowym wymaganiem stawianym procesom jest jego jakość i wydajność. Coraz częściej stosuje się projektowanie współbieżne, które umożliwia jednoczesne prowadzenie działań projektowych na różnych płaszczyznach. Zaczynając od komponentów wyrobu poprzez projektowanie procesów produkcyjnych oraz procesów wytwarzania po współpracę z dostawcami i rozwój logistyki dotyczącej wyrobu (Pacana, 2010).

Zakłady produkcyjne oraz biura konstrukcyjne zmagają się z problemami związanymi z czasem, który jest jednym z podstawowych kryteriów podczas wyboru dostawców i podwykonawców. W odpowiedzi na rosnące wymagania przedsiębiorców powstają nowe aplikacje systemów CAx (*Computer Aided x*) umożliwiające rozwój komponentów, mechanizmów i procesów w środowisku wirtualnym. Wiodącymi dziedzinami w przemyśle, które najbardziej stymulują rozwój aplikacji

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji/  
Cracow University of Technology, Institute of Production Engineering and Automation.

pozwalających na wirtualne projektowanie jest branża automotive oraz lotnictwo. Ponadto zauważa się, że aplikacje CAx cieszą się dużym zainteresowaniem także w małych zakładach (Chlebus, 2000).

W artykule przedstawiono przykłady zastosowania systemu komputerowego Delmia w wersji v5, jako narzędzia wspomagającego technologa – projektanta podczas opracowywania dokumentacji technologicznej procesu montażu.

## **2. Proces technologiczny montażu**

Proces technologiczny montażu to część procesu produkcyjnego bezpośrednio związana z łączeniem poszczególnych części lub jednostek montażowych (zespołów montażowych) w jednostkę montażową wyższego rzędu – to jest nadaniem im prawidłowego położenia w wyrobie. Proces taki realizowany jest według ściśle z góry określonych warunków technicznych i ma na celu nadanie i utrwalenie cech funkcjonalnych części maszyny w zespole montażowym, jak i całym wyrobie. Proces technologiczny montażu charakteryzuje jego określona struktura. Głównym elementem strukturalnym procesu technologicznego montażu jest operacja, czyli część procesu, wykonywana na jednym stanowisku roboczym, przez jednego pracownika (lub ich grupę), na jednym (lub kilku) przedmiotach (jednostkach montażowych), bez przerw na inną pracę. W czasie realizacji operacji, zbiór jednostek niższego rzędu zostaje połączony w jednostkę rzędu wyższego. W przypadku złożonych wyrobów operacje mogą być dość skomplikowane, dlatego w celu uproszczenia ich opisu, dzieli się je na zabiegi. Zabieg montażowy jest częścią operacji, wykonywaną w jednym miejscu połączenia, jednym narzędziem (lub ich zespołem), nad dwiema lub więcej jednostkami montażowymi, bez zmiany ich położenia. Zabiegi można jeszcze podzielić na czynności montażowe, w ramach których można wydzielić ruchy elementarne (Puf, Sołtys, 1980).

### **2.1. Formalny zapis procesu technologicznego montażu**

Warunkiem poprawnie zbudowanego procesu technologicznego jest przestrzeganie ogólnie przyjętych norm i zasad jego projektowania. Aby cały system produkcyjny mógł działać niezawodnie, konieczne jest ciągle stosowanie się do procedur także w czasie trwania procesu. Spełnienie tego założenia stwarza potrzebę zgromadzenia wszystkich danych dotyczących zaprojektowanego procesu i przedstawienia ich w odpowiedniej formie. Sprowadza się to do wykonania dokumentacji technologicznej, która obejmuje wszystkie informacje i zalecenia dotyczące procesu. Właściwie opracowana dokumentacja stanowi podstawę do wykonania sprawnego technicznie wyrobu, określenia kosztów jego wytworzenia oraz organizacji i planowania produkcji. Zakres i szczegółowość tworzonej dokumentacji zależy głównie od wielkości produkcji. Wpływ na jej ostateczny kształt ma także stopień kwalifikacji pracowników i rodzaj samego wyrobu.

W zależności od danego zakładu produkcyjnego dokumentacja może różnić się formą. Ze specyfiki procesu technologicznego montażu wynikają jednak liczne cechy wspólne, co pozwala wyszczególnić dość uniwersalny zbiór dokumentów. Przyjęto, że dokumentacja procesu technologicznego montażu powinna obejmować (Duda, 2012; Grzegórski, 1987):

- strukturę montażową wyrobu (graficzne przedstawienie podziału wyrobu na jednostki montażowe);
- graficzny plan montażu (graficzne przedstawienie kolejności montowania poszczególnych części i zespołów);
- graf następstw zadań montażowych (graficzne przedstawienie zależności kolejnościowych realizacji poszczególnych zadań w montażu);
- kartę technologiczną montażu;
- karty instrukcyjne montażu;
- karty kalkulacyjne czasu pracy;
- dokumenty związane z obciążeniem i organizacją stanowisk roboczych;
- rysunki techniczne jednostek montażowych i całego wyrobu.

### 3. System PLM Delmia

PLM – Product Lifecycle Management, czyli systemy zarządzające cyklem życia produktu. Systemy PLM wspomagają procesy związane z produktem od opracowania jego koncepcji poprzez projektowanie, organizację produkcji, wytwarzanie, dystrybucję, serwisowanie ora recykling części, a więc przez pełen cykl życia produktu. Oferta systemów PLM zawiera funkcjonalności związane z rozwojem komponentów i wyrobu (PDM – Product Data Management), budową i rozwojem koncepcji produkcyjnych, a także z zarządzaniem produkcją. Ponadto systemy PLM umożliwiają zarządzanie projektem od strony finansowej, jak również zarządzanie produkcją oraz opiekę nad produktem od strony wymagań prawnych.

System PLM Delmia (Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application) to wielomodułowy system komputerowy firmy Dassault Systemes. Pozwala na definiowanie, planowanie, tworzenie, monitorowanie oraz kontrolowanie wszystkich etapów procesu produkcyjnego. Wszystkie dane procesu produkcyjnego znajdują się na jednej platformie, co pozwala na pełną asocjatywność pomiędzy procesami, produktami, programami, zasobami. Do głównych funkcjonalności systemu Delmia z zakresu technicznego przygotowania produkcji zaliczyć można:

- projektowanie systemów produkcyjnych: planowanie, organizacja i optymalizacja czynności produkcyjnych, analizy chronometrażowe;
- projektowanie procesów technologicznych montażu i demontażu: zastosowanie diagramów PERT, wykrywanie kolizji, automatyczne generowanie torów ruchu;
- badania ergonomiczności produktów, procesów, serwisowania, optymalizacja miejsca pracy, symulacja czynności, wykorzystanie makiet ludzkich;

- projektowanie zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych, optymalizacja ułożenia linii produkcyjnej, symulacja pracy, analiza czasowa cykli pracy, definiowanie oprzyrządowania, sprawdzanie kolizji.

Do realizacji badań przedstawionych w niniejszej pracy zostały użyte wybrane moduły systemu Delmia: moduł Assembly Process Simulation (symulacja montażu), moduł DPM Device Task Definition (definiowanie makiety systemu montażu), moduł Human Builder, Human Task Simulation (definiowanie manekina – wirtualnego pracownika stanowiska montażu). Ponadto, do przygotowania dokumentacji konstrukcyjnej wyrobu, użyto modułów:

- Part (modelowanie części),
- Assembly (tworzenie złożeń),
- Drawing (dokumentacja płaska 2D).

Ostatnich trzech modułów nie opisano w ramach niniejszego pracowania.

### 3.1. Moduły systemu Delmia

Moduł DPM Assembly Process Simulation służy do tworzenia zaawansowanych symulacji procesu technologicznego montażu. Podstawowe funkcje realizowane w module to:

- generowanie ścieżek za pomocą wbudowanego algorytmu (możliwość ich edytowania);
- możliwość wplatania w symulację elementów niezwiązanych z ruchem za pomocą diagramów PertChart;
- edycja czasu trwania ruchu;
- możliwość sprawdzenia (bez przeprowadzenia powtórnej symulacji), czy edytowany element będzie wchodził w kolizję z innymi elementami;
- możliwość ustawienia/zmiany kolejności podstawowych elementów strukturalnych procesu;
- tworzenie odnośników, wymiarowania i adnotacji 3D;
- wstawianie opóźnień, hiperłączy.

Moduł DPM Device Task Definition – umożliwia definiowanie pełnej struktury procesu technologicznego montażu za pomocą otwartego modelu PPR (*product-process-resource*). Model ten umożliwia prostą integrację środowiska pracy całego portfolio produktu i elementów cyfrowej fabryki. Reprezentuje on unikalną bazę danych, która umożliwia zdefiniowanie danych o produktach, procesach i zasobach wymaganych do projektowania, od koncepcji produktu do jego realizacji.

Moduł Human Builder pozwala na wizualizację dokładnego cyfrowego wzorca ludzi, oferując przyjazny interfejs dla użytkownika. Przejrzyste w użytku menu pozwala na stworzenie męskich i żeńskich manekinów, określając parametry takie jak np. płeć, wiek, centyle czy narodowość. Manekin składa się z 99 niezależnych połączeń, segmentów i elips. Dodatkowo manekiny posiadają w pełni przegubowe

ręce, ramiona, kręgosłup i szyję. Pozwala to na dokładniejsze odtworzenie naturalnego ruchu.

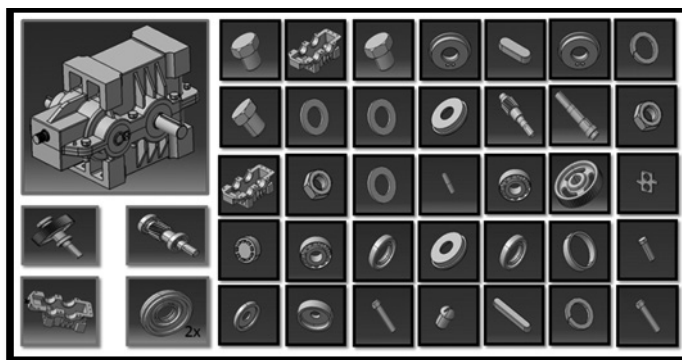
Human Task Simulation jest narzędziem stosowanym do symulacji zadań wykonywanych przez pracownika. Wirtualny pracownik wykonuje przydzielone zadania za pomocą predefiniowanych ruchów, takich jak: chód (przodem, tyłem, bokiem w prawo i lewo), czynność podnoszenia i odkładania, czynność ruchu względem zadanej trajektorii, wchodzenie po schodach i drabinie, podążanie za przedmiotem pracy (Zielińska i in., 2013).

#### 4. Komputerowo wspomagany projekt procesu technologicznego montażu na przykładzie reduktora walcowego

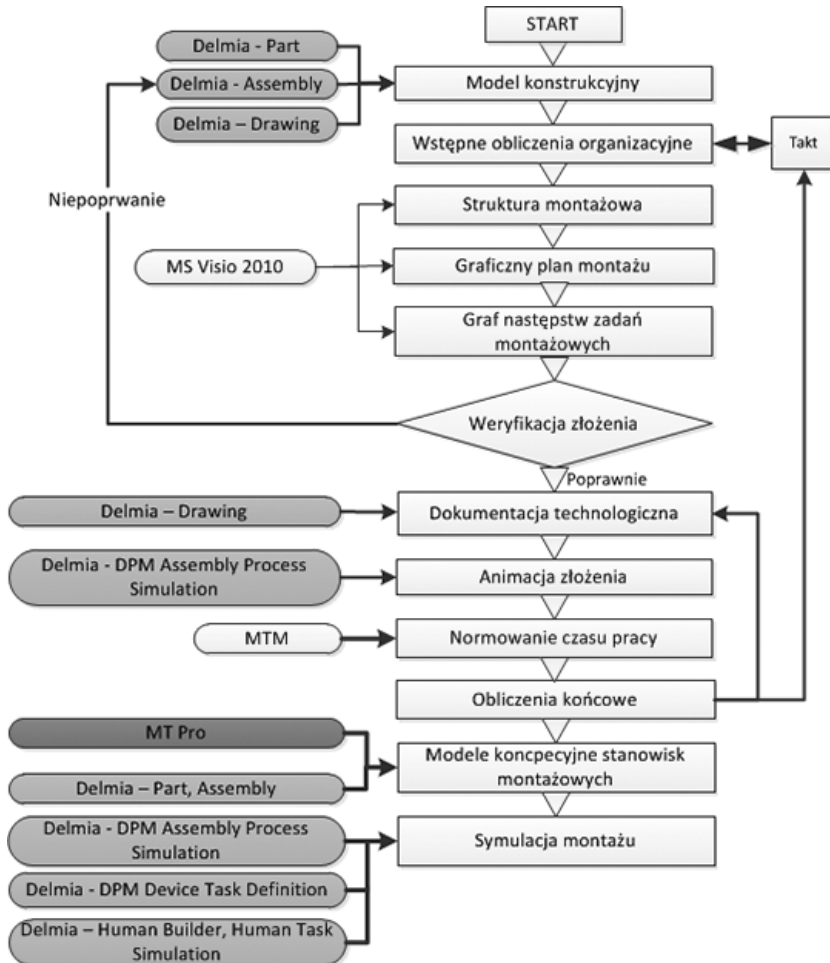
Dla potrzeb zbadania funkcjonalności systemu Delmia jako narzędzia wspomagającego projektowanie procesu technologicznego montażu, opracowano model konstrukcyjny wyrobu (reduktor walcowy przedstawiony na rys. 1) oraz proces technologiczny jego montażu. Przebieg projektowania procesu montażu z uwzględnieniem faz wspomaganych komputerowo przedstawiono w formie algorytmu na rys. 2. Zgodnie z przyjętymi założeniami projektowymi, w procesie technologicznym wyróżniono pięć operacji:

- 1 – montaż zespołu wałka wejściowego ZM1,
- 2 – montaż zespołu wałka wyjściowego ZM2,
- 3 – montaż korpusu dolnego ZM3,
- 4 – montaż pokryw bocznych ZM4,
- 5 – montaż reduktora ZM5.

Do wygenerowania niektórych elementów cyfrowej fabryki wykorzystano zewnętrzny program MTPPro firmy BoschRexroth. Cała opracowana dokumentacja procesu zawiera kilkadziesiąt stron A4. W ramach niniejszego opracowania pokazano tylko wybrane etapy, w których wykorzystano moduły systemu Delmia.



Rys. 1. Model reduktora oraz widok wydzielonych zespołów montażowych i części składowych

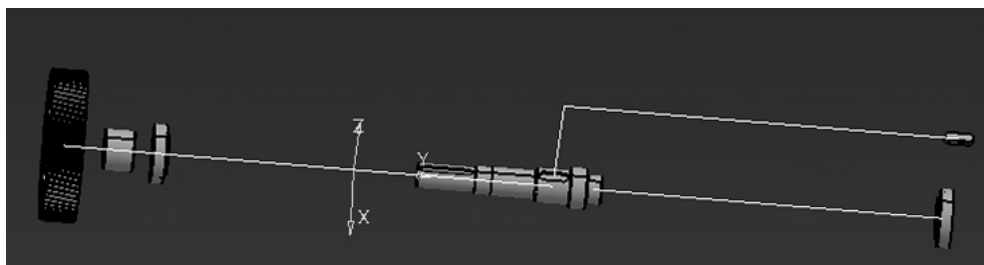


Rys. 2. Przebieg projektowania procesu technologicznego montażu z uwzględnieniem faz wspomaganych komputerowo w systemie Delmia

#### 4.1. Symulacja montażu w Assembly Process Simulation

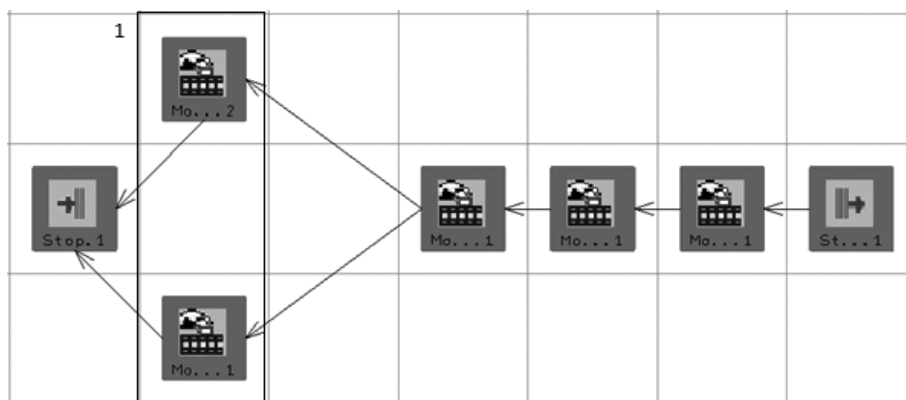
Symulacja w module Assembly Process Simulation pozwala odwzorować ruchy i kolejność montażu jednak bez uwzględniania pracownika i środków pracy. Elementem bazowym do rozpoczęcia przygotowań do opracowania modelu symulacyjnego montażu reduktora, był model konstrukcyjny złożenia wykonany w module Assembly. Wychodząc z modelu w stanie złożonym, metodą rewersyjną w module Assembly Process Simulation wyznaczono w pierwszej kolejności ścieżki ruchu składania poszczególnych zespołów montażowych, a następnie montaż całego reduktora na gotowo. Metoda rewersyjna w efekcie przy-

pomina demontaż gotowego wyrobu. W pierwszej kolejności demontowane były poszczególne zespoły montażowe zgodnie z odwróconą kolejnością zaplanowaną na etapie przygotowania graficznego planu montażu. Ruch ścieżki każdej części programowany był „ręcznie” – każda część była odsuwana w określone miejsce w trójwymiarowej przestrzeni roboczej Delmii. Czas ruchu poszczególnej części wprowadzono na podstawie przeprowadzonego normowania czasu metodą MTM-2. Po zaprogramowaniu wszystkich ścieżek, w sposób automatyczny odwrócono kolejność ruchu, w rezultacie otrzymując ruch zgodny z zaprojektowaną kolejnością montażu. Przykład zaprogramowanych ścieżek ruchu dla Zespołu wałka wyjściowego pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Graficzna reprezentacja ścieżek dla Zespołu wałka wyjściowego

Zarządzanie, kontrola, modyfikacja ruchu możliwe są za pomocą bardzo wygodnych narzędzi zaimplementowanych do Delmii, tzw. PertChart i wykresu Gantta. W PertChart każdy wcześniej zdefiniowany ruch ma swoją graficzną reprezentację (rys. 4), a dzięki dostępnym opcjom możliwe jest tworzenie połączeń kolejnościowych między nimi, definiowanie współbieżnych ruchów. Wykres Gantta umożliwia przegląd zbudowanej symulacji z uwzględnieniem czasów ruchu.



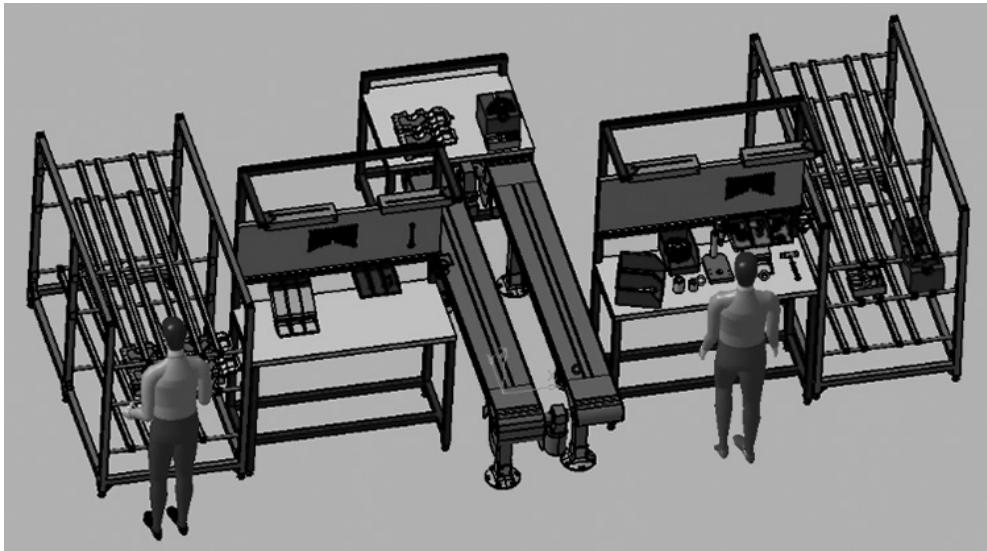
Rys. 4. PertChart – graficzna reprezentacja ścieżek ruchu dla Zespołu wałka wyjściowego



W wyniku przeprowadzonej symulacji zgodnie z kolejnością zaplanowaną w graficznym planie montażu, w symulacji wykryto 3 kolizje (montaż dwóch wpustów oraz montaż łożyska). Taka weryfikacja pozwoliła w trybie sprzężenia zwrotnego poprawić wcześniej zaplanowaną kolejność montażu.

#### 4.2. Symulacja montażu w DPM Assembly Task Definition, Human Builder, Human Task Simulation

W ramach kolejnej weryfikacji projektowanego procesu montażu, przygotowano symulację montażu z uwzględnieniem środków pracy oraz wirtualnych pracowników. Jako środki pracy należy rozumieć pełne wyposażenie gniazda montażowego (tj. stoły montażowe, magazyny buforowe, miejsca odkładcze, przyrządy montażowe, narzędzia montażowe). W projektowanym procesie, montaż reduktora odbywa się na trzech stanowiskach. Na stanowisku ST1 montowany jest ZM1 i ZM2 na stanowisku ST2 montowane są zespoły montażowe ZM3 i ZM4, na stanowisku ST3 montowany jest reduktor ZM5. Stanowisko ST1 obsługuje pracownik nr 1, stanowiska ST2 i ST3 obsługuje pracownik nr 2. W ramach przygotowywanego modelu symulacyjnego zdefiniowano wirtualny model gniazda montażu, składający się z wyżej wymienionych stanowisk oraz dodatkowo z magazynów grawitacyjnych, przenośników taśmowych, narzędzi montażowych (młotki, klucze, tuleje montażowe), przyrządów montażowych (prasy do łożysk). Dodatkowo makieta zawiera wirtualne modele dwóch pracowników oraz wszystkie komponenty (części) składowe reduktora. Makiety gniazda przedstawiono na rys. 5.

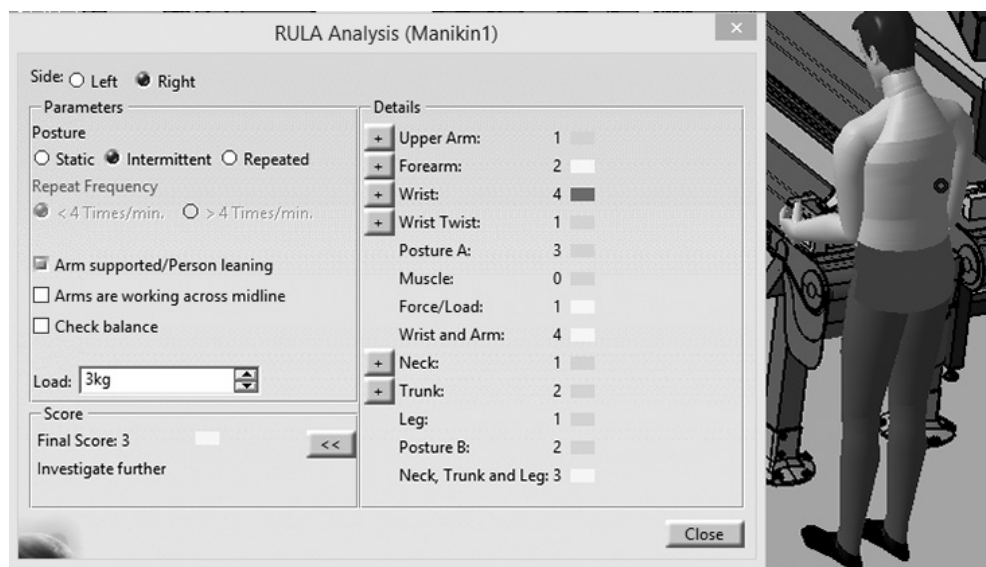


Rys. 5. Wirtualna makieta gniazda montażowego



Do tej pory w modelu symulacyjnym zdefiniowane zostały dwa z trzech elementów modelu PPR, tj. produkt oraz zasoby. Zdefiniowanie ostatniego elementu (procesu) nie było takie oczywiste. Dostępne, znalezione nieliczne anglojęzyczne przykłady nie wskazywały wprost jak dokładnie odwzorować strukturę procesu technologicznego montażu opisaną w części 2. W efekcie okazało się, że Delmia posiada bardzo dobre narzędzie, gdzie taką strukturę można zapisać. Jest to tzw. biblioteka procesu, gdzie w sposób hierarchiczny można zapisać operacje, zabiegi i czynności montażowe. Stwierdzono, że podstawowe elementy strukturalne procesu technologicznego montażu według PN mają swoje odpowiedniki w Delmii i są nimi: Process (Operacja), Activity (Zabieg), Task (Czynność montażowa).

Ostatnim, najbardziej pracochłonnym i czasochłonnym etapem budowy modelu symulacyjnego było zaprogramowanie ruchu wirtualnych pracowników. Zarządzanie programowaniem ścieżek ruchu odbywa się tu również za pomocą PertChart, jednak w tym przypadku grafy te są o wiele bardziej złożone, niż w przypadku programowania ruchu montażu samego wyrobu. W większości kroki programowe odbywają się w sposób „ręczny”, niewiele jest funkcji zautomatyzowanych. Zaliczyć można do nich np. automatyczne generowanie standardowej postury wirtualnego pracownika (siad, przysiad, obrót) lub automatyczne generowanie uchwycenia przedmiotu przez wirtualnego pracownika.



Rys. 6. Wynik analizy RULA dla odkładania pokrywy na przenośnik taśmowy

Po zdefiniowaniu kompletnego modelu symulacyjnego, przeprowadzono przykładowe symulacje: kolizyjności oraz analizę ergonomii stanowisk montażowych. Analizę ergonomii przeprowadzono z wykorzystaniem wbudowanej w Delmia metody RULA (Górska i in., 2012; Olszewski J., 1997). Jest to szybka metoda oce-

ny postury, gdzie każdej postawie przypisywana jest ocena od 1 do 7 punktów: 1–2 pkt. – postawa akceptowalna, 3–4 pkt. – należy ją przeanalizować, 5–6 pkt. – należy ją przeanalizować i wkrótce zmienić, 7 pkt. – należy ją zbadać i natychmiast zmienić. Na rys. 6 przedstawiono wynik analizy RULA dla odkładania pokrywy na przenośnik taśmowy. Pozycja została oceniona na 3. Największe obciążenie można zaobserwować na nadgarstkach. Pozycja ta wymaga poprawy.

#### 4. Podsumowanie

System Delmia to narzędzie komputerowe, które można zaliczyć do klasy systemów Computer Aided Assembly Process Planning (CAAPP). Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, iż wybrane moduły tego programu mogą być wykorzystane jako narzędzia komputerowego wspomaganie przy opracowywaniu projektu technologicznego montażu. Zalety zastosowania tych narzędzi to przede wszystkim:

- możliwość bardzo dokładnego odwzorowania procesu technologicznego i systemu montażowego,
- skrócenie czasu opracowania projektu, szybkie wygenerowanie nowej wersji procesu (np. po wprowadzeniu pewnych zmian w strukturze procesu).

Zauważone wady:

- niezbyt czytelna biblioteka procesu przy zdefiniowaniu większej liczby operacji i zabiegów,
- duża pracochłonność przygotowania modelu symulacyjnego,
- brak spójnej, logicznej dokumentacji do poszczególnych modułów opartej na konkretnych przykładach.

#### Bibliografia

1. Chlebus E. (2000), *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
2. Duda J. (2012): *Modelowanie komputerowo zintegrowanego rozwoju procesów i systemów montażowych*, Kraków, Politechnika Krakowska, 16–18 października 2012 [dostęp 23 listopada 2014], dostępny w Internecie: [http://www.procax.org.pl/pliki/Artykul\\_2012\\_DUDA\\_XI\\_Forum\\_Krakow.pdf](http://www.procax.org.pl/pliki/Artykul_2012_DUDA_XI_Forum_Krakow.pdf)
3. Górka E., Tytyk E. (1996) *Ergonomia w projektowaniu stanowisk pracy – materiały pomocnicze do ćwiczeń projektowych*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996;
4. Grzegórski Z. (1987) *Montaż maszyn i urządzeń*, podręcznik dla liceów zawodowych, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne.
5. Olszewski J. (1997) *Podstawy ergonomii i fizjologii pracy*, Wydanie II zmienione, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
6. Pacana A., Stadnicka D. (2010) *Systemy zarządzania jakością zgodne z ISO 9001 Wdrażanie, audytowanie i doskonalenie*, Politechnika Rzeszowska.

7. Puff T., Sołtys W. (1980): *Podstawy technologii montażu maszyn i urządzeń*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
8. Zielińska A., Kurczyk D. (2013) *Wybrane narzędzie ergonomiczne w środowisku Delmia*, [www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz](http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz), dostęp 24.10.2016

## **SIMULATION OF ASSEMBLY PROCESS PLAN WITH USING COMPUTER PROGRAM DELMIA**

### **Abstract**

The article presents examples of the use of the computer system Delmia (version v5) as a tool to support technologist – designer in the development of technological documentation of the assembly process. It shows the benefits of using this system as a class system Computer Aided Assembly Process Planning (CAAPP).

**Key words:** proces plan, assembly, Catia, Delmia.