

Dr inż. Marian Kwatera  
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny  
kwatera@mech.pk.edu.pl

## MODELOWANIE LINII MONTAŻU W SYSTEMIE CAx CATIA v5

*Streszczenie:* W Zakładzie Projektowania Procesów Wytwarzania ITMiAP Politechniki Krakowskiej prowadzone są prace z zakresu projektowania i optymalizacji zmechanizowanych i zrobotyzowanych stanowisk i systemów wytwarzania.

W artykule przedstawiono proces projektowania wielostanowiskowego systemu montażowego, zilustrowany przykładem reduktora dwustopniowego równoległego typu WD200. Wynikiem powyższych działań jest projekt zbalansowanego systemu montażowego zasilanego spaletyzowanym transportem części.

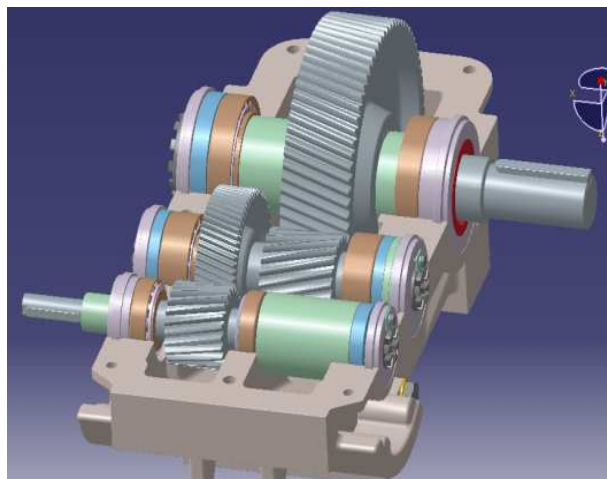
### 1. WSTĘP

Projektowanie złożonych systemów wytwórczych (montażowych) jest wieloetapowym procesem projektowo-decyzyjnym w czasie którego realizowane są podstawowe etapy projektowania, takie jak:

- opracowanie założeń,
- projektowanie wstępne procesu montażu,
- projektowanie koncepcyjne linii montażu,
- modelowanie i weryfikacja linii montażu.

### 2. OPRACOWANIE ZAŁOŻEŃ

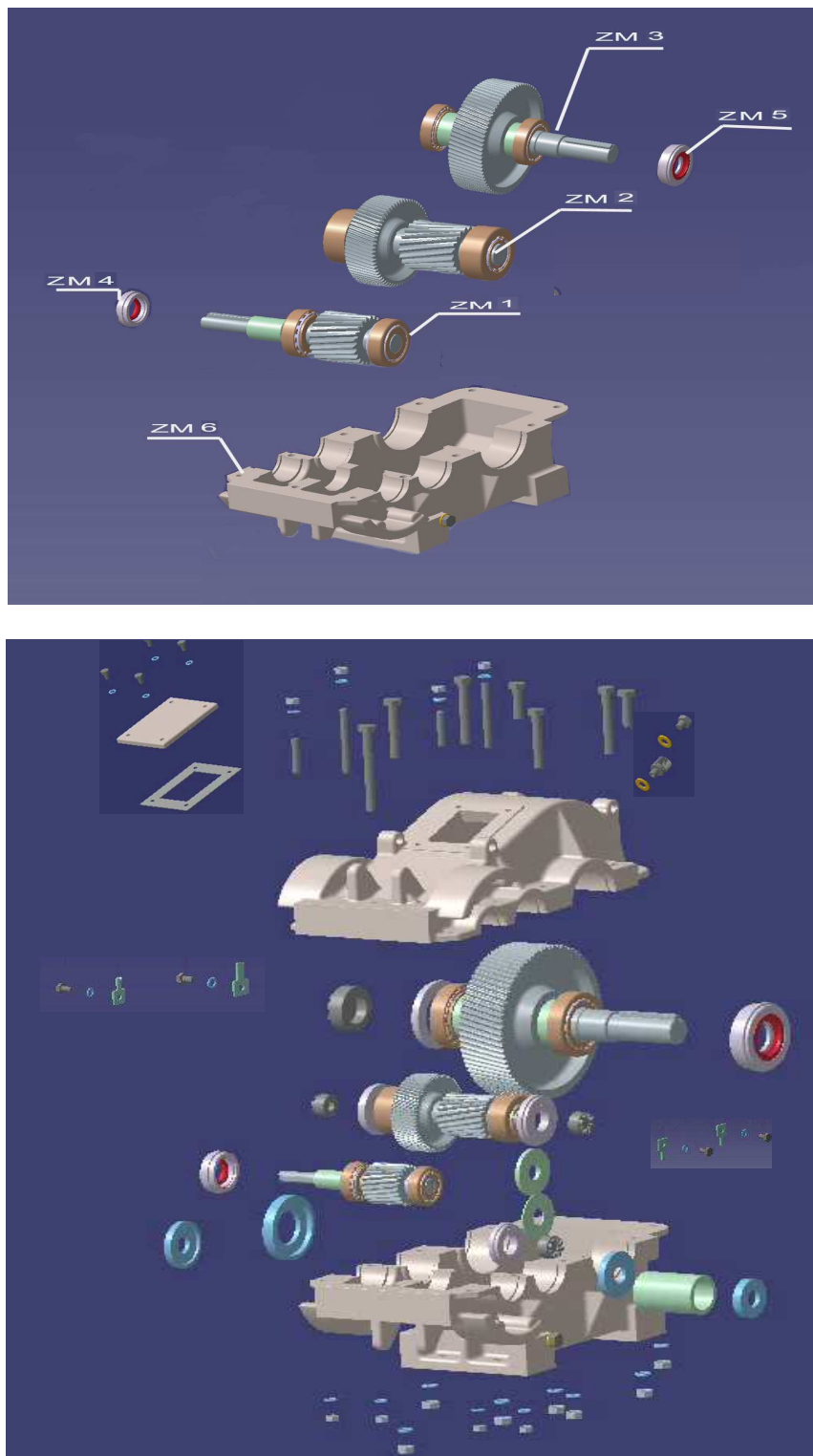
Punktem wyjścia każdego procesu projektowego jest zdefiniowanie produktu (rys. 1), który ma być montowany oraz określenie programu produkcyjnego. Produkt, jego charakterystyka a zwłaszcza wielkość (rozmiary, ciężar) rzutuje na dobór środków technicznych stanowiących wyposażenie poszczególnych stanowisk oraz na sposób transportu części i poszczególnych jednostek montażowych. Natomiast program produkcji wyznacza takt produkcji (takt klienta) ograniczający czas trwania poszczególnych operacji montażowych.



Rys. 1. Reduktor dwustopniowy równoległy WD200

### 3. PROJEKTAWANIE WSTĘPNE PROCESU MONTAŻU

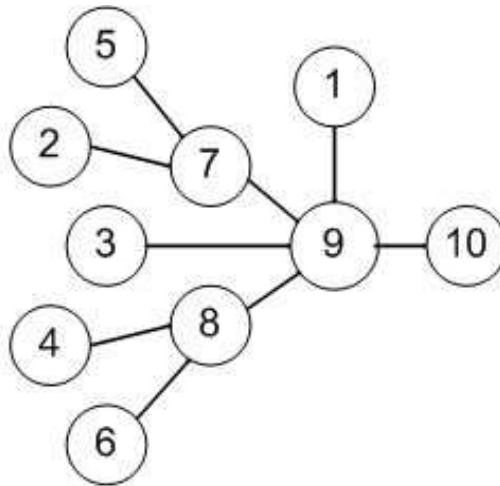
Celem tego etapu jest przeanalizowanie konstrukcji pod kątem możliwości podziału wyrobu na jednostki montażowe (zespoły, podzespoły), które mogą być montowane niezależnie od siebie. Proces ten nazywany jest również agregacją części. Przykład wyrobu z wydziałnymi jednostkami i widok całego reduktora po agregacji przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Widok rozstrzelony reduktora z wydziałnymi jednostkami montażowymi

Agregacja części pozwala na wskazanie, które jednostki mogą być montowane niezależnie od siebie. Na tej podstawie oraz na podstawie grafu następstw (rys. 3) obrazującego kolejność montażu wynikającą z konstrukcji wyrobu, można opracować sekwencję czynności montażowych (rys. 4).

Graf następstw może być bardzo pomocny przy ustalaniu sekwencji, zwłaszcza dla bardziej złożonych wyrobów o wieloetapowym procesie montażu.



Rys. 3. Graf następstw

#### Sekwencja czynności montażowych

- 1 - montaż zespołu korpusu dolnego,
- 2 - montaż zespołu wałka napędzającego,
- 3 - montaż zespołu wałka pośredniego,
- 4 - montaż zespołu wałka wyjściowego,
- 5 - montaż uszczelnienia wałka napędzającego,
- 6 - montaż uszczelnienia wałka wyjściowego,
- 7 - montaż uszczelnień na wałku napędzającym,
- 8 - montaż uszczelnień na wałku wyjściowym,
- 9 - montaż wałków z uszczelnieniami i pierścieniami oporowymi w korpusie dolnym,
- 10 - montaż korpusu górnego do korpusu dolnego,
- 11- połączenie korpusu dolnego z górnym za pomocą śrub łączących

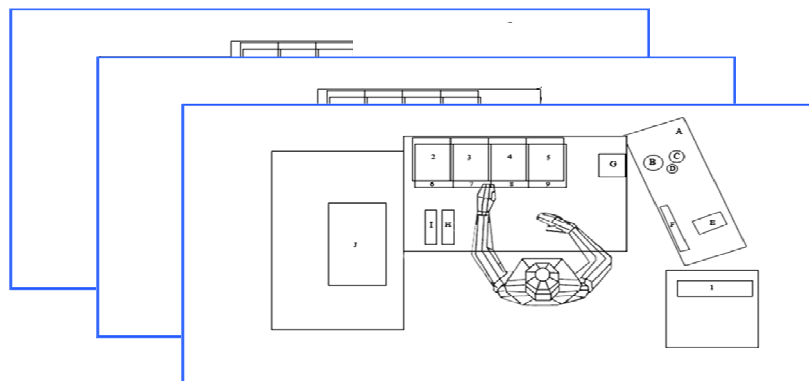
Rys. 4. Sekwencja czynności montażowych

### 3. PROJEKTOWANIE KONCEPCYJNE PROCESU MONTAŻU

Celem projektowania koncepcyjnego jest wyznaczenie czasów trwania wstępnie zaplanowanych operacji i taki ich podział lub grupowanie (balansowanie) aby, ostatecznie, uzyskać ciąg operacji o możliwie równych czasach realizacji i równocześnie takich wartościach czasów, które nie przekraczają taktu produkcji.

Aby osiągnąć ten cel należy najpierw opracować wstępne projekty stanowisk montażowych (szkice płaskie) zawierające rozmieszczenie elementów i odległości od operatora (rys. 5) a następnie znormować czasy trwania poszczególnych operacji.

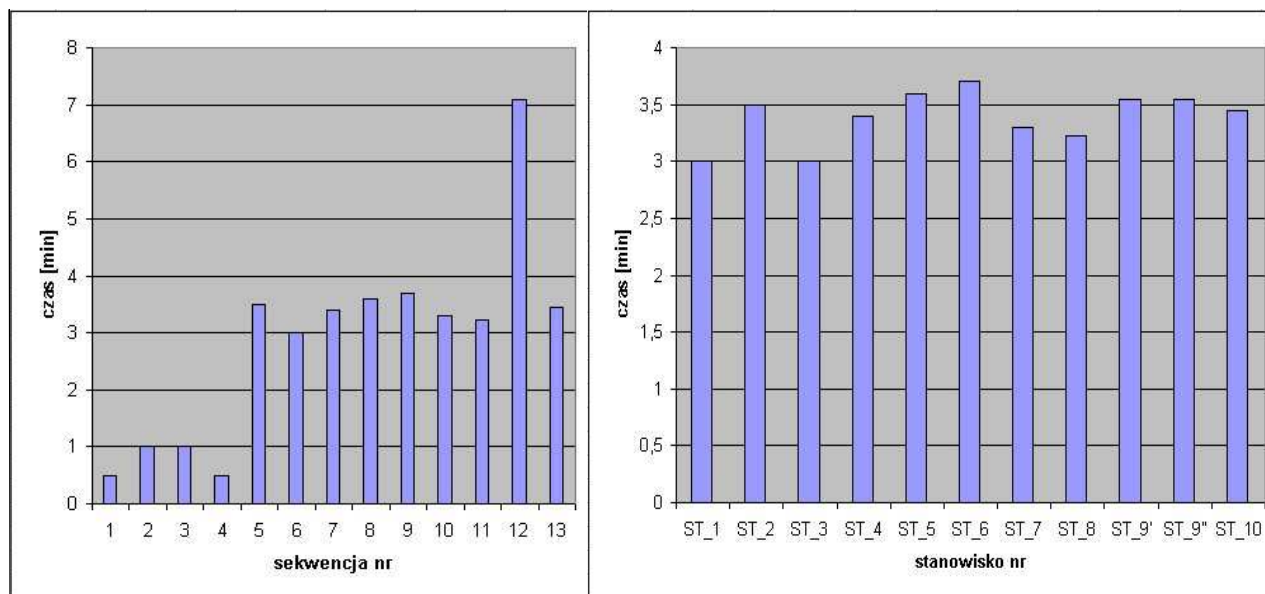
W przypadku prac ręcznych zwykle najbardziej przydatne metody normowania to metoda MTM1, MTM2 i metoda MOST. Wybór metody zależy od spodziewanego czasu trwania operacji i charakteru operacji (normowana operacja dzielona jest na pojedyncze ruchy lub całe sekwencje czynności).



Rys. 5. Szkice stanowisk montażowych

Kolejnym krokiem jest balansowanie operacji. W praktyce często stosuje się "ręczne" balansowanie operacji lub metody heurystyczne. Najbardziej znane z nich to metoda RPW (Ranked Positional Weight), metoda RRPW (Reversed Ranked Positional Weight), metoda Kilbridge'a and Wester'a (K&W), metoda macierzy kolejnościowej Hoffmana czy metoda IUFF (Immediate Update First-Fit).

Rys. 6 ilustruje proces montażu przed balansowaniem i po balansowaniu operacji.



Rys. 6. Balansowanie operacji

Operacja	Opis operacji	Czas [min]	Czas [min]	ST
10	Montaż zespołu korpusu dolnego (ZM6)	0,5	3,0	ST_1
20	Montaż uszczelnienia wałka napędzającego (ZM4)	1		
30	Montaż uszczelnienia wałka wyjściowego (ZM5)	1		
40	KT zmontowanych jednostek (ZM6, ZM4, ZM5)	0,5		
50	Montaż zespołu wałka napędzającego (ZM1)	3,5	3,5	ST_2
60	Montaż zespołu wałka pośredniego (ZM2)	3,0	3,0	ST_3
70	Montaż zespołu wałka wyjściowego (ZM3)	3,4	3,4	ST_4
80	Nałożenie pasty uszczelniającej w rowki półpanewek, montaż wałków i uszczelnień, umieszczenie pierścieni oporowych w korpusie dolnym, montaż 4-ch śrub mocujących szpilkowych	3,6	3,6	ST_5
90	Nałożenie pasty uszczelniającej na pow. styku, nałożenie (montaż) korpusu górnego	3,7	3,7	ST_6
100	Założenie pozostałych śrub łączących i wstępne skręcenie obu części korpusu	3,3	3,3	ST_7
110	Dokręcenie śrub łączących metodą „na krzyż”	3,23	3,23	ST_8
120	Regulacja luzów poosiowych i montaż zabezpieczeń	7,0	3,55	ST_9' ST_9''
130	Napełnienie olejem, montaż przelewu oleju i odpowietznika	3,45	3,45	ST_10

Ostatnim krokiem tego etapu jest opracowanie dokumentacji technologicznej zawierającej kartę technologiczną (plan operacji) i karty instrukcyjne operacji (rys. 7).

Politechnika Krakowska Instytut Technologii Maszyn i Automatyki Produkcji		<b>Karta instrukcyjna montażu</b>		Nazwa wyrobu: <b>Reduktor dwustopniowy</b>	Symbol wyrobu: <b>WD 200</b>	Nazwa montowanej jednostki <b>Zespół wałka napędzającego</b>	Symbol montowanej jednostki <b>ZM 1</b>	Wielkość serii:
Wydział: <b>Wydział Montażu</b>		Nazwa operacji: <b>Montaż zespołu wałka napędzającego</b>			Nr operacji: <b>10</b>	Stanowisko montażowe: <b>SM1 (stół montażowy)</b>		Nominy czasu $T_{ps} =$ $t_j =$ $T =$
Nr zabiegu	Treść zabiegu (czynności)						Urządzenia montażowe: prasa ręczna	
Politechnika Krakowska Instytut Technologii Maszyn i Automatyki		<b>Karta instrukcyjna montażu</b>		Nazwa wyrobu: <b>Reduktor</b>	Symbol wyrobu: <b>WD 200</b>	Nazwa montowanej jednostki <b>Uszczelnienie wałka</b>	Symbol montowanej jednostki <b>ZM 5</b>	Wielkość serii:
Politechnika Krakowska Instytut Technologii Maszyn i Automatyki		<b>Karta instrukcyjna montażu</b>		Nazwa wyrobu: <b>Reduktor</b>	Symbol wyrobu: <b>WD 200</b>	Nazwa montowanej jednostki <b>Podzespół korpusu dolnego</b>	Symbol montowanej jednostki <b>ZM 6</b>	Wielkość serii:
Wydział: <b>Wydz. Montażu</b>		Nazwa operacji: <b>Montaż podzespołu korpusu dolnego</b>			Nr operacji: <b>10</b>	Stanowisko montażowe: <b>SM5 (stół montażowy)</b>		Nominy czasu $T_{ps} =$ $t_j =$ $T =$
Nr zabiegu	Treść zabiegu (czynności)						Urządzenia montażowe:	
1	Ustawić korpus dolny (1) na stole montażowym.							
2	W otwór spustu oleju wkręcić śrubę M10x0,75 (18) z podkładką miedzianą Ø10 (19).						Uchwyty i przyrządy montażowe:	
3	Sprawdzić wzrokowo prawidłowość połączenia i odstawić zmontowany zespół na paletę transportową.						Narzędzia montażowe i skrawające: klucz maszynowy 14	
							Narzędzia i przyrządy pomiarowe:	
							Materiały pomocnicze:	
Opracował:		Sprawdził:		Zatwierdził:		Uwagi:		

Rys. 7. Karty instrukcyjne operacji

#### 4. MODELOWANIE I WERYFIKACJA LINII MONTAŻU

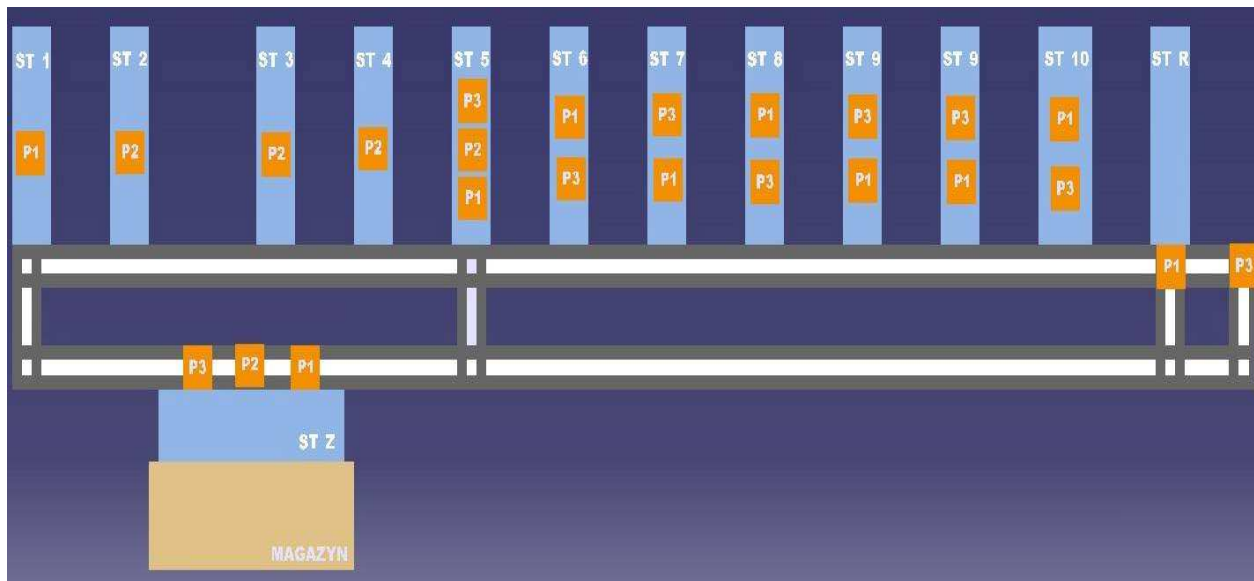
Na tym etapie przygotowania organizacyjno-technologicznego można już przystąpić do właściwego projektowania linii montażowej, obejmującego:

- projektowanie struktury linii (przestrzennego usytuowania poszczególnych stanowisk) wraz ze stanowiskiem załadowniczo-wyładowczym oraz sposobu ich powiązania środkami transportu) - rys. 8,
- projektowanie poszczególnych stanowisk roboczych w oparciu o opracowane wcześniej szkice stanowisk. Przykłady stanowisk - rys. 9 i 10,
- projektowanie środków transportu i wyposażenia - rys. 11.

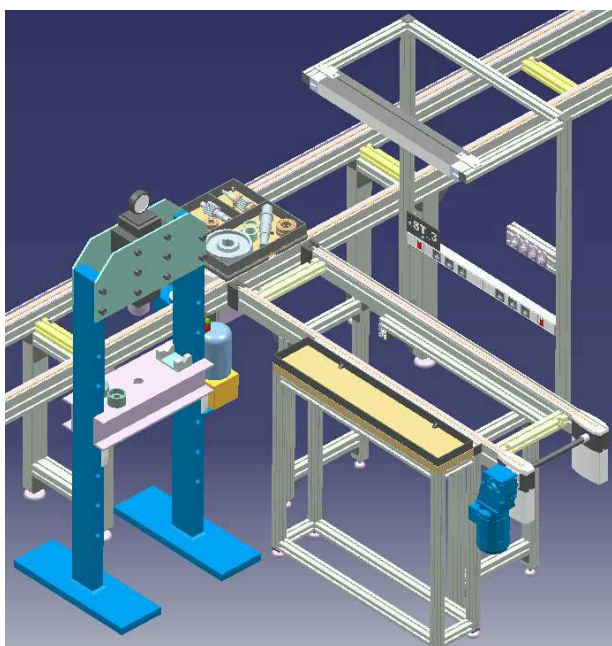
Ostatnim krokiem, przed rozpoczęciem fizycznej realizacji projektu, jest symulacja działania całej linii i poszczególnych stanowisk oraz ich ocena ze względu na wymagania ergonomiczne stanowisk.

Narzędziem, które można kompleksowo zastosować do realizacji wszystkich czynności projektowych obejmujących modelowanie 3D poszczególnych części produktu i jego złożenia, modelowanie stanowisk i systemu transportu a następnie symulacji działania i analizy ergonomiczności Rula jest system CAx CATIA v5.

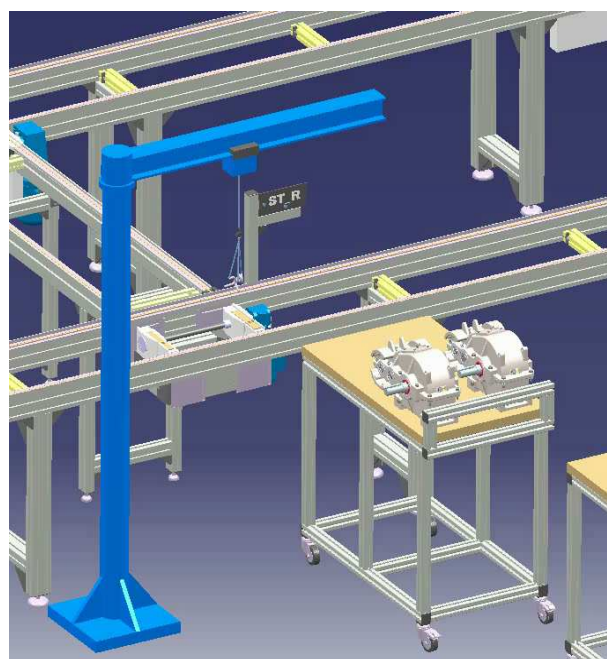




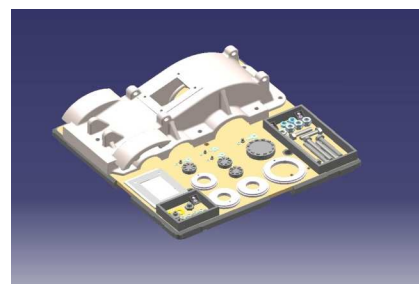
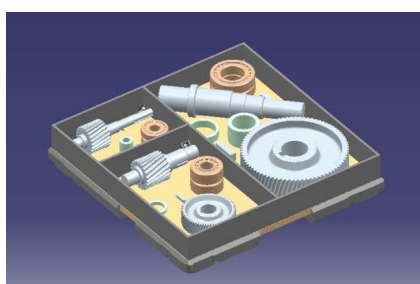
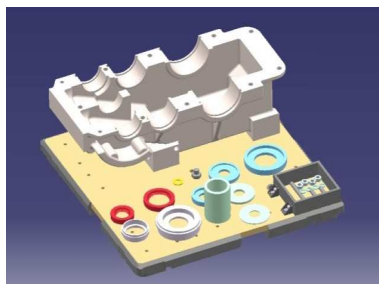
Rys. 8. Struktura linii montażu



Rys. 9. Stanowisko ST\_3. Montaż zespołu wałka pośredniego (ZM2)



Rys 10. Stanowisko ST\_R. Rozładunek gotowych wyrobów



Rys.11 Palety transportowe części do montażu (paleta P\_1, P\_2 i P\_3)

## 5. PODSUMOWANIE

Projektowanie każdego systemu wytwórczego jest złożonym procesem projektowo-decyzyjnym wykorzystującym wiedzę z zakresu projektowania procesów technologicznych, normowania operacji, balansowania operacji realizowanych w systemie wytwórczym i zasad ergonomii projektowania stanowisk.

Zastosowanie narzędzi do wirtualnego tworzenia modelu 3D systemu, pozwala na symulację i weryfikację działania systemu zanim jeszcze zostanie on zrealizowany fizycznie "w metalu". Dzięki temu można uniknąć wielu błędów konstrukcyjnych, znacząco obniżyć koszty i skrócić czas całego cyklu przygotowania produkcji "od projektu do produkcji".

## LITERATURA

- [1] Feld Mieczysław: Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn, WNT, W-wa, 2003.
- [2] Skarka Wojciech, Mazurek: CATIA Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji, Wyd. HELION, Gliwice, 2005.
- [3] Wyleżoł Marek: CATIA v5 Modelowanie i analiza układów kinematycznych, Wyd. HELION, Gliwice, 2003.
- [4] Dokumentacja techniczna programu CATIA v5.
- [5] <http://www.boschrexroth.com>