

Dr inż. Mariusz Cholewa, email: mariusz.cholewa@pwr.wroc.pl
Politechnika Wroclawska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji

Koncepcja zarządzania konstrukcyjną i technologiczną strukturą produktu w rozwoju złożonych produktów

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienie integracji prac różnych działów przedsiębiorstwa w obszarze rozwoju i zarządzania strukturą produktu. W szczególności zaprezentowano zagadnienie integracji prac i zarządzania zmianami w obszarze konstrukcji i technologii. Przedstawiono funkcję, algorytm oraz model danych umożliwiające integrację różnych domen danych, a co za tym idzie prac w całym cyklu rozwoju produktu.

Słowa kluczowe: konstrukcja, technologia, BOM, struktura produktu, integracja, algorytm, model danych

Concept of management of engineering and process planning BOM in development of complex products

Abstract: This paper describes the issue of integration of the various departments of the company in the development and management of product structure. In particular, the issue of the integration of works and change management is presented in the area of design and process planning. Presented function, algorithm and data model enabling integration of different data domains, and thus the work within the entire product development cycle.

Key words: design, process planning, BOM, product structure, integration, algorithm, data model

1. WPROWADZENIE

Ze względu na stale rosnące możliwości oferowane przez nowe technologie oraz łatwość i zdolność ich szerszego stosowania, dzisiejsze produkty są coraz bardziej złożone, zarówno z technicznego jak i użytkowego punktu widzenia. Produkty lub usługi o rozbudowanej strukturze nazywane są produktami złożonymi i są to np. rakiety, roboty, statki, lokomotywy kolejowe, samoloty, samochody, systemy uzbrojenia. Złożoność jest przeciwieństwem prostoty i charakteryzuje się liczbą części, liczbą rodzajów części, liczbą połączeń i interfejsów oraz liczbą funkcji. Główną cechą złożoności jest jej strukturalna niepewność, widziana jako jej zróżnicowanie i zachodzące w niej zależności [1]. Złożoność jest określona przez liczbę części i wariantów w modułach, typu interakcji między elementami, interakcji między podsystemami zintegrowanej konstrukcji, zaawansowanych połączeń między wieloma różnymi technologiami oraz zintegrowanej architektury [2].

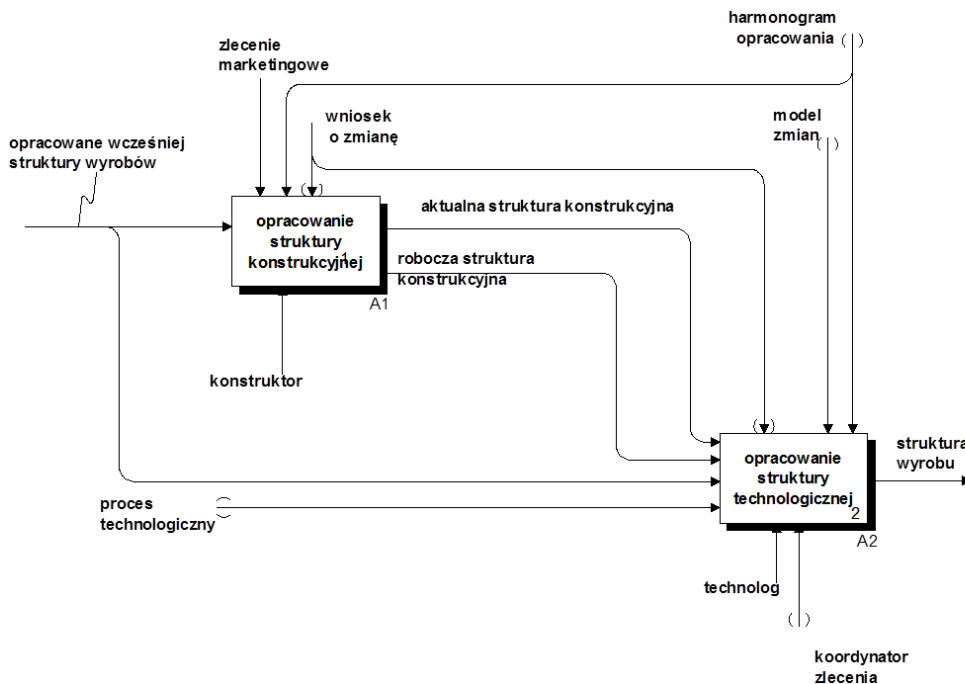
Ogólnie rzecz ujmując, proces rozwoju złożonego produktu w istocie nie tylko koncentruje się na zarządzaniu i dostępie do rozproszonych źródeł wiedzy oraz na procesie współbieżnego projektowania na każdym etapie cyklu wytwarzania i montażu, ale również na integracji i współpracy podczas projektowania w takich obszarach jak: mechanika, sterowanie i zarządzanie, dynamika, itp. Zazwyczaj w procesie rozwoju złożonych nowych produktów biorą udział zespoły specjalistów, dla których sprawna komunikacja i

współpraca między poszczególnymi ekspertami ma znaczenie strategiczne i znacząco wpływa na proces projektowania i jego efektywność [3].

Poniżej umieszczono wykaz najczęściej obserwowanych problemów podczas rozwoju dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej w przemyśle produkującym wyroby o złożonej strukturze produktu:

- Proces konstrukcyjnego projektowania złożonych produktów zorientowany jest na funkcje przyszłego wyroby. Praktycznie nie jest możliwe projektowanie złożonych produktów (np. autobus, samolot, statek) zorientowane na ich wytwarzanie.
- Rozwój projektu konstrukcyjnego odbywa się w rozproszonym środowisku projektowym, w którym trudno jest koordynować prace.
- Zazwyczaj niska, nie akceptowana przez technologów technologiczność konstrukcji.
- Brak możliwości reagowania i uwzględniania zmiennych warunków zachodzących na poziomie warsztatu produkcyjnego na etapie projektowania konstrukcyjnego spowodowana długim procesem konstruowania i wprowadzania zmian.
- Trudny i skomplikowany proces wprowadzania zmian i śledzenia konsekwencji tych zmian na różnych etapach cyklu życia produktu .

Poniższy rysunek przedstawia zależności istniejące pomiędzy domeną konstruktora i technologa na przykładzie aktywności związanych z rozwojem struktury produktu



Rys. 1 Ogólny model faz rozwoju struktury wyrobu

W artykule zostanie przedstawiona koncepcja modelu zintegrowanego rozwoju konstrukcyjnej i technologicznej struktury wyrobu, który ma zapewnić wysoki stopień integracji prac podczas rozwoju struktur wyrobu w dziale konstrukcyjnym i w dziale technologicznego przygotowania produkcji. Prezentowany model został opracowany z myślą o zmianie i poprawie sposobu współpracy działu konstrukcyjnego i technologicznego zgodnie z założeniami re-engineering'u ewolucyjnego. Model przedstawiony zostanie na trzech warstwach, na które składają się:

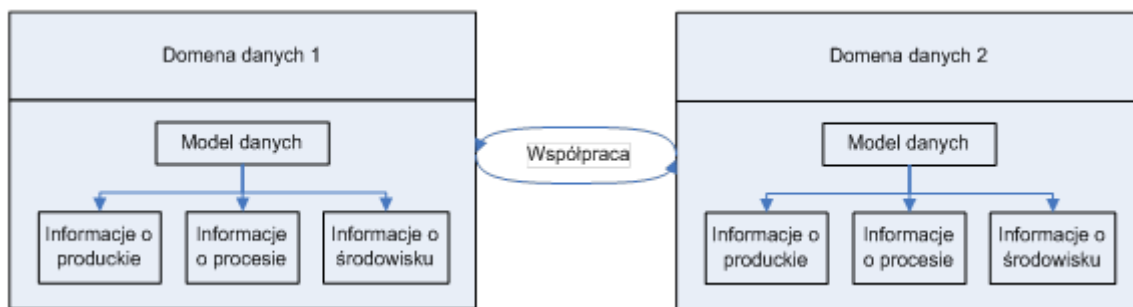
- model funkcji systemu, który pozwala na integrację pracy w dziale konstrukcyjnym i technologicznym przedsiębiorstwa produkcyjnego,
- algorytm opracowania zintegrowanej konstrukcyjnej i technologicznej struktury wyrobu,
- model fizyczny systemu opisujący sposób przechowywania dokumentów, danych, modeli oraz metadanych w relacyjnej bazie danych.

2. FUNKCJA PRZEJSCIA

Podczas opracowywania nowego produktu na kolejnych etapach jego rozwoju generowane i prezentowane są dane niezbędne do efektywnego prowadzenia prac przez poszczególne działy przedsiębiorstwa. Danymi komórkom organizacyjnym odpowiadają grupy danych zwanych domenami. Domena danych jest to zamknięta jednostka zawierająca dane o produkcie w obrębie jednego działu lub fazy życia produktu [4]. Jednostka ta ma za zadanie przechowywanie, systematyzowanie i zarządzanie wszelkimi danymi niezbędnymi na danym etapie rozwoju produktu.

Model każdej domeny zawiera trzy rodzaje informacji:

1. Informacje o produkcie - wszystkie informacje o produkcie łącznie z informacją na jakim etapie cyklu swojego życia aktualnie się znajdują.
2. Informacje o procesie - informacje o samym procesie produkcji, łącznie ze zmianami jakie pojawiały się w trakcie ewolucji produktu.
3. Informacje o środowisku w jakim znajduje się domena – specyfikacja domeny oraz powiązania ze źródłami danych.



Rys. 2 Model domeny i jej powiązania z inną domeną

Domeny reprezentują poszczególne etapy, a powiązania pomiędzy nimi są ustalane poprzez inteligentne interfejsy.

Przykładowe domeny obserwowane w przedsiębiorstwach produkcyjnych:

- Domeny w **procesie projektowania koncepcyjnego** zawierają funkcjonalną strukturę produktu. Struktura ta przede wszystkim zawiera dane, dzięki którym możliwe jest spełnienie wymaganych fizycznych i chemicznych właściwości produktu oraz możliwości funkcjonalnych.
- Po ustaleniu koncepcji projektu kolejnym krokiem jest **etap projektowania strukturalnego i szczegółowego**. Model danych na tym etapie obejmuje strukturę

konkretnych funkcji, warstwę informacyjną, strukturę części składowych oraz inne ogólne informacje włącznie z ograniczeniami montażowymi.

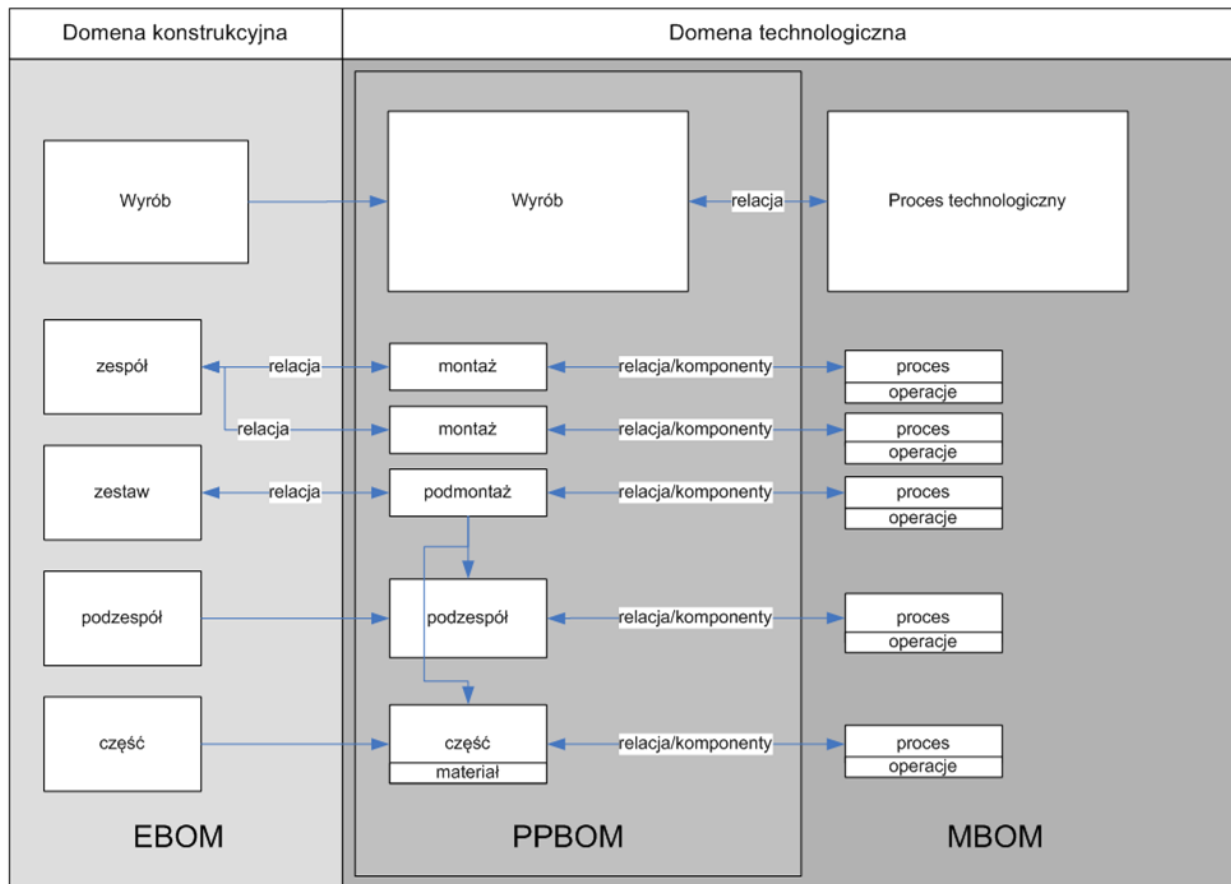
- Domeny używane w **procesie projektowania procesu i wytwarzania**, zawierają model danych zbudowany pod kątem wytwarzania. Tutaj model opisuje sekwencję montażową, z podziałem na prace manualne i automatyczne, oraz informacje o sposobach wytwarzania. Model danych w domenie produkcji opisuje głównie proces wytwarzania, informacje o użytych materiałach, charakterystykach geometrycznych, wyposażeniu produkcyjnym oraz o liczności partii.
- Model **sprzedaży i serwisu** jest produktem usługowym, który jest zbudowany na potrzeby planu sprzedaży i wymagań klienta. Model rejestruje końcową sprzedaż produktu, sprzedaż części, jak również informacje serwisowe.

Modele danych w poszczególnych domenach zawierają m.in. strukturę produktu z wykazem części i materiałów – BOM (ang. Bill Of Material). BOM jest to wykaz elementów zorganizowany dla konkretnego obiektu (półfabrykatów lub gotowych produktów), który posiada wszystkie części składowe obiektu z nazwą, numerem referencyjnym, ilością i jednostką miary każdego komponentu. Kompletna struktura produktu zawierająca wszystkie zespoły, podzespoły oraz pojedyncze elementy wraz z ich specjalizacją jest podstawą do sprawnego zarządzania finalnym wyrobem – pozwala na planowanie i organizację produkcji, zarządzanie logistyczne oraz ekonomiczne.

BOM może być określany z wielu różnych perspektyw, dlatego też każda domena danych może posiadać własną strukturę. Istnieje wiele rodzajów BOM – np. BOM budowany na etapie projektowania koncepcyjnego będzie przedstawiał jedynie ogólną budowę, dzieląc finalny produkt na zespoły, podzespoły i części. Ta struktura będzie zawierać wykaz tylko tych elementów, które będą miały konkretne przełożenia na funkcjonalność produktu. BOM inaczej może być przedstawiany w domenie projektowania konstrukcyjnego – będzie on zawierał wyszczególnione elementy o istotnym wpływie na budowę struktury konstrukcyjnej elementu. Struktura ta może być niewystarczającą, gdyż nie będzie wykazywała grupowania elementów na każdym etapie procesu produkcji i brak w niej będzie danych potrzebnych do wsparcia produkcji oraz zadań z nią związanych. Domena produkcyjna wymaga zaprezentowania całego układu konstrukcji produktu, co jest konieczne do określenia i zapewnienia zdolności produkcyjnych. Wymusza to budowę innej struktury dostosowanej do potrzeb procesu wytwarzania. Będzie ona bardziej szczegółowa, gdyż musi zawierać wszystkie elementy wykorzystywane podczas produkcji. BOM może być określany również z innych perspektyw, np. dla potrzeb działów wspierających produkcję.

Każdy dział przedsiębiorstwa zarówno bezpośrednio jaki pośrednio zaangażowany w proces produkcyjny, będzie wymagał jasno określonej struktury produktu, zawierającej wszystkie elementy potrzebne na danym etapie. BOM zawsze jest tworzony w celu przedstawienia wszystkich elementów, jakie są istotne z danej perspektywy – w danej domenie.

Sprawne zarządzanie BOM ma kluczowe znaczenie w firmach produkujących wyroby o dużym stopniu skomplikowania, składających się z wielu części i zespołów, które same również mają skomplikowaną budowę. BOM może być tworzony w ramach pojedynczego zakładu, jak również grupy przedsiębiorstw. Dodatkowo struktura produktu może być wymieniana pomiędzy kooperującymi firmami.



Rys. 3 Algorytm opracowania struktury technologicznej przez dekompozycję struktury konstrukcyjnej

BOM są zwykle hierarchiczne, układane stopniowo od wyrobu gotowego, poprzez zespoły, podzespoły, części, aż do elementów niepodzielnych. Poniżej przedstawione są trzy podstawowe typy struktur produktów występujące w przemyśle wytwórczym:

- EBOM (eng. Engineering Bill of Material) jest tworzony w trakcie projektowania konstrukcyjnego - określa główną strukturę produktu, mechanizmy i urządzenia elektryczne. EBOM to hierarchiczny model z wyrobem gotowym przedstawionym na samej górze, tworzony na ogół z modelu mechanicznego CAD. Najczęściej jest to lista części składowych gotowego wyrobu zebranych razem dla wygody pracy z modelem.
- PPBOM (eng. Process Planning Bill of Material) to informacje używane do projektowania i zarządzania produktem oraz elementami pośrednimi. Podobnie jak EBOM zawierają informację o częściach produktu, ich relacjach montażowych i informacjach dodatkowych, jednakże PPBOM definiuje składniki według technologii wytwarzania. Ukazany jest w formie informacji technicznej – wykresów, rysunków. Zawiera bardziej szczegółowe niż w EBOM informacje o sposobie montażu – może zmieniać powiązania pomiędzy poszczególnymi elementami w strukturze, łącząc je w zespoły montażowe.
- MBOM (eng. Manufacturing Bill of Material) zawiera wszystkie materiały biorące udział w rzeczywistym procesie wytwarzania. MBOM przygotowany jest dla potrzeb produkcji, dlatego znajdują się tu wszystkie elementy potrzebne na etapie produkcyjnym. W MBOM usuwane są podzespoły, które nie występują w świecie

fizycznym - mogą być to grupy elementów logicznie pogrupowanych przez projektanta, które nie miały sensu z punktu widzenia produkcji.

W celu zapewnienia efektywnego środowiska współpracy pomiędzy konstruktorem i technikiem niezbędne jest opracowanie mechanizmów umożliwiających konwersję struktury produktu pomiędzy poszczególnymi domenami.

Konwersja struktur pomiędzy domeną konstrukcyjną i technologiczną polega na dostosowaniu i uzupełnieniu informacji zawartych w EBOM o informacje niezbędne dla potrzeb produkcji i projektowania procesów technologicznych. PPBOM został tu wyodrębniony dla potrzeb rozbudowanego procesu montażu. PPBOM bazując na EBOM zawiera wszystkie elementy konstrukcyjne pogrupowane w zespoły montażowe. Konwersja struktur umożliwia wygenerowanie widoku struktury produktu z uwzględnieniem elementów istotnych w procesie wytwarzania. Przejście z jednej struktury w drugą można przedstawić za pomocą funkcji:

$$PPBOM = f_{AM} (f_{GM} (f_{CM} (EBOM)))$$

Konwersja jest ona trzy stopniowa:

f_{CM} – system kopiuje tabele EBOM, które są podstawowym zbiorem danych niezbędnym do budowania struktury, a następnie zmienia relacje między poszczególnymi elementami.

f_{GM} – następuje unieruchomienie węzłów, tzn. przydzielenie im konkretnego miejsca w strukturze. Jeżeli węzły stanowią pojedynczą część lub zespół, należy uwzględnić ich lokalizację w trakcie procesu montażu.

f_{AM} – w tej fazie utworzone wcześniej węzły stają się elementami procesu. Elementy są dokładnie określone, a zespoły rozłożone na podzespoły.

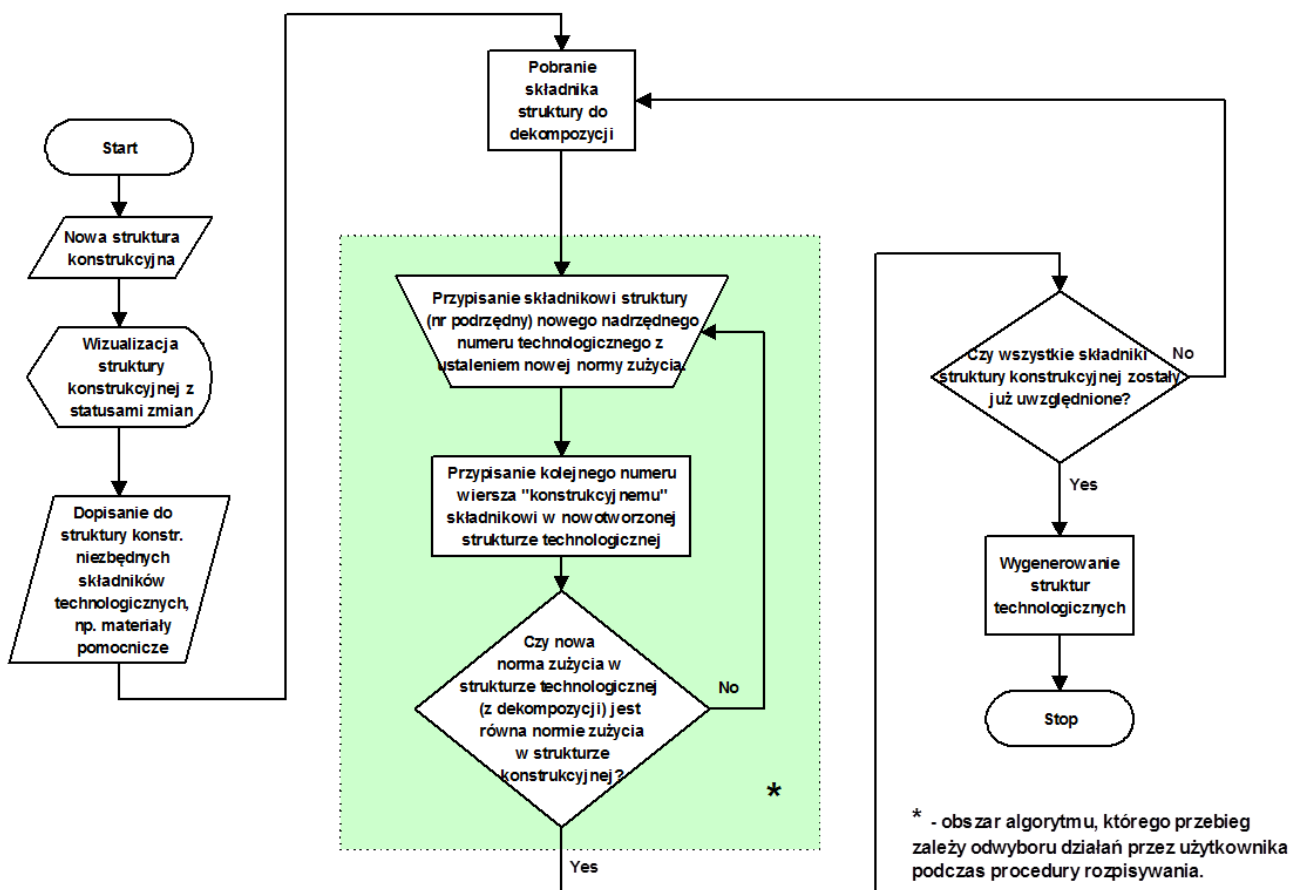
3. ALGORYTMY I IMPLEMENTACJA

Analizując zaprezentowaną wcześniej funkcję przejścia wyodrębniono pięć scenariusz postępowania, które gwarantują zintegrowany, opisany na kilku poziomach, rozwój konstrukcyjnej i technologicznej struktury wyrobu.

Jeden z nich umożliwia równoległy rozwój dwóch typów struktur tego samego wyrobu:

- struktury konstrukcyjnej ukierunkowanej na funkcje wyrobu oraz
- struktury technologicznej ukierunkowanej na sposób wytworzenia wyrobu.

Scenariusz ten daje możliwość pełnej integracji prac projektowych pomimo pozornej utraty więzi pomiędzy konstrukcyjną i technologiczną strukturą wyrobu. Algorytm umożliwia pracownikom działu technologicznego na całkowitą zmianę struktur produktów otrzymanych z działu konstrukcyjnego. Jednym z powodów podjęcia decyzji o realizacji opracowania w tym trybie może być niska technologiczność konstrukcji. Procedura „dekompozycji” umożliwia wprowadzenie poszczególnych składników struktury konstrukcyjnej do struktury technologicznej z jednoczesną zmianą normy ich zużycia.



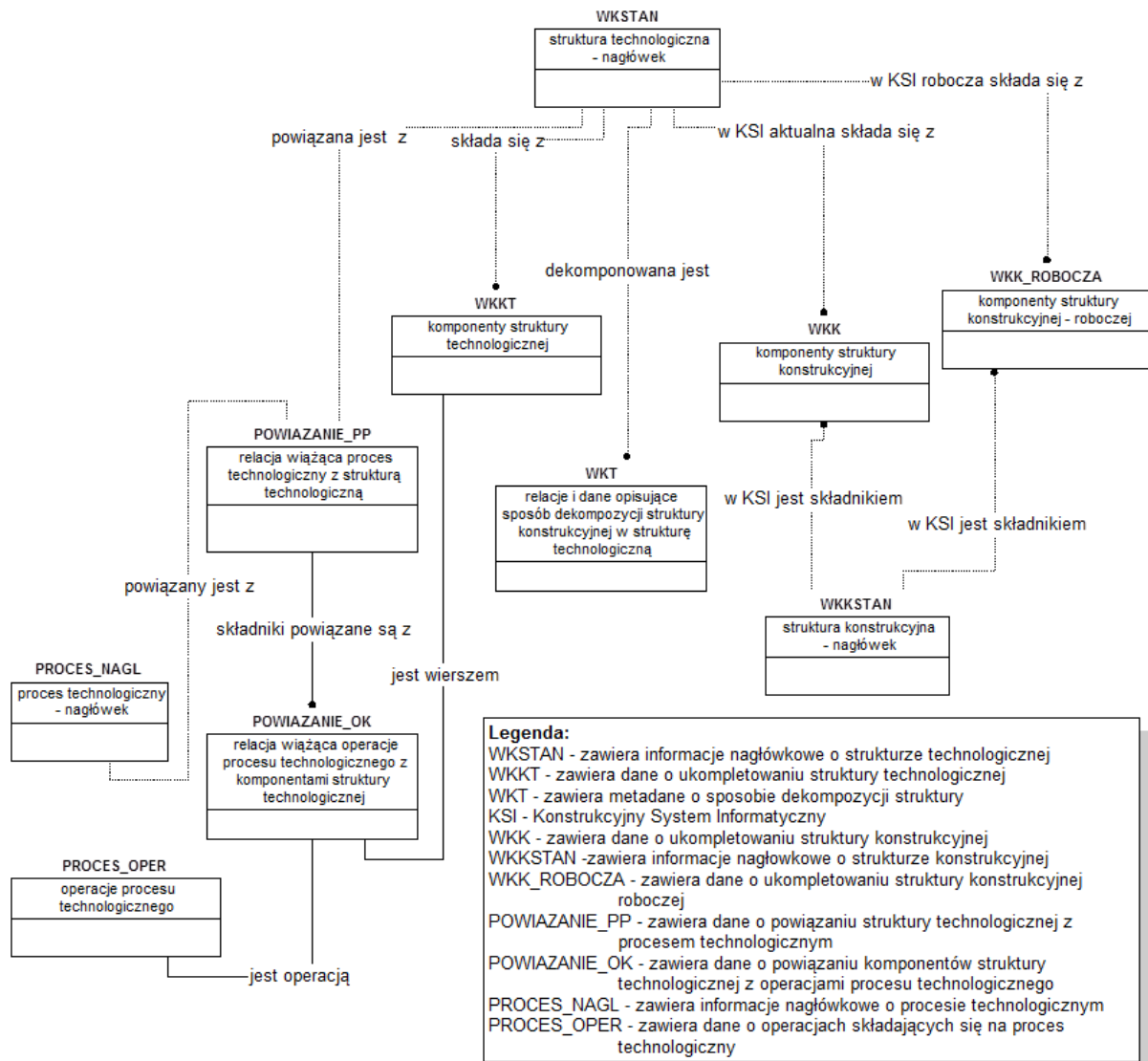
Rys. 4 Algorytm opracowania struktury technologicznej przez dekompozycję struktury konstrukcyjnej

W celu pełnej kontroli procesu tworzenia i wprowadzania modyfikacji do dokumentacji technologicznej w zakresie tworzenia struktur wyrobów opracowano algorytm umożliwiający śledzenie i kontrolę całego procesu dekompozycji – transformacji struktur konstrukcyjnych w struktury technologiczne (rysunek powyżej).

Na rysunku Rys. 5 zaprezentowana została pełna fizyczna domena odpowiadająca za rozwój i przechowywanie informacji związanych z procesem konwersji i zapisu zintegrowanej konstrukcyjno-technologicznej struktury wyrobu [5].

Fizyczny model pierwszego z wymienionych obszarów, w relacyjnym systemie zarządzania danymi, opisują trzy tabele: WKKSTAN, WKK_ROBOCZA i WKK.

- Pierwsza z tabel - **WKKSTAN** odpowiedzialna jest za przechowywanie informacji związanych z danymi podstawowymi struktury wyrobu zawartymi w nagłówku dokumentu. Pozostałe tabele przechowują informacje o ukończeniu struktury konstrukcyjnej.
- Tabela **WKK** przechowuje informacje o ukończeniu aktualnych i historycznych struktur wyrobu, a tabela **WKK_ROBOCZA** o składzie struktur tymczasowych będących w opracowaniu u konstruktora (przed zatwierdzeniem).



Rys. 5 Model fizyczny (IDEF1X) danych zintegrowanej konstrukcyjno-technologicznej struktury wyrobu

Między tabelą **WKKSTAN** a tabelami **WKK** i **WKK_ROBOCZA** zachodzą związki nieidentyfikujące z relacjami *jeden do wielu*. Relacja realizowana jest po polach: numer karty zmian, numer struktury, numer wiersza w strukturze oraz numer opcji składnika struktury.

Model drugiego obszaru – obszar technologii, składa się z dwóch grup tabel. Pierwsza grupa odpowiedzialna jest za rozwój technologicznej struktury wyrobu. Opisują ją trzy tabele **WKSTAN**, **WKKT** i **WKT**.

- Podobnie jak w obszarze konstrukcyjnym tabela **WKSTAN** przechowuje informacje o nagłówkach struktur.
- Zawartość struktury wyrobu – składniki wykazu, przechowywana jest w tabeli **WKKT**. W tabeli tej przechowywane są informacje zarówno o strukturach aktualnych, historycznych i roboczych – będących w opracowaniu.
- Tabela **WKT** przechowuje dane związane z rozwojem zintegrowanej konstrukcyjno-technologicznej struktury wyrobu. Zawartość tej tabeli stanowią metadane opisujące

sposób rozpisania struktury konstrukcyjnej i ukompletowanie nowopowstałych, po rozpisaniu, struktur technologicznych.

4. PODSUMOWANIE

Zaproponowane modele i struktury danych są koniecznym elementem w procesie wdrażania zintegrowanego rozwoju produktu w obszarze konstrukcji, technologii i planowania normatywnego. Zaprezentowany model może być elastycznie dostosowywany do indywidualnych uwarunkowań organizacyjnych istniejących w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Otwartość opracowanego modelu danych umożliwia jego integrację z otoczeniem systemów CAx, PDM w obszarze TPP i ułatwia współpracę z systemami nadrzędnymi przedsiębiorstwa w rodzaju MRPII/ERP w zakresie zarządzania strukturą produktu w różnych działach przedsiębiorstwa.

Sprawne zarządzanie BOM w wielu domenach generuje wymierne korzyści dla całego procesu wytwarzania nowych wyrobów. Do korzyści tych można zaliczyć możliwość:

- tworzenia dedykowanych zestawień materiałów, w zależności od potrzeb poszczególnych komórek przedsiębiorstwa. Umożliwia zarządzanie wydatkami, tworzenie wykazów kosztów i rachunków z uwzględnieniem różnych konfiguracji produktu. W procesie zarządzania zmianami możliwość bieżącej kontroli kosztów, co wspiera proces podejmowania decyzji podczas modyfikacji produktu.
- ulepszenia procesów wytwórczych. Można wywierać większy wpływ na sam proces wytwarzania produktu. Dokładne opisanie struktury, pozwala na dokonywanie różnych analiz budowy produkt, w celu zaprojektowania lepszego sposobu jego wytwarzania. Szczegółowe opisy każdego elementu na różnych etapach procesu wytwarzania pomagają w eliminowaniu problemów, jakie mogą powstać w trakcie wytwarzania wyrobu
- zmniejszenia kosztów produkcji, poprzez lepsze zarządzanie zapasami, a co za tym idzie wyeliminowanie marnotrawstwa powstałego w wyniku utrzymywania nadmiernych zapasów. Precyzyjnie zarządzanie ilością i lokalizacją materiałów, komponentów i zespołów.
- wsparcia dla systemów CRM i logistyki odpowiedzialnych za dobre relacje z klientami. Sprawne zarządzanie strukturą produktu eliminuje problem nieterminowych lub nie w pełni zrealizowanych zleceń, np. poprzez generowanie precyzyjnych zapotrzebowań materiałowych w oparciu o kompletne i aktualne wykazy materiałów, co jest szczególnie istotne dla produkcji zorganizowanej wg. zasad Just in Time.
- precyzyjnego śledzenia produkcji i zmian w wyrobie. Możliwość swobodnego tworzenia zestawień dla różnych wariantów i zmian przeprowadzonych na nich daje dokładny zbiór informacji o tym, co w danym momencie jest produkowane, jak również tego, co jest w planach produkcyjnych oraz co już zostało zrealizowane. Możliwość śledzenia produktu na różnych etapach wytwarzania pozwala na dokładną analizę procesu, wykrywanie problemów i jego doskonalenie.

Zaprezentowany model jest jednym z elementów koncepcji integracji prac w obszarze rozwoju produktu. Pełna koncepcja została z sukcesem zaimplementowana w dedykowanych rozwiązaniach informatycznych dla przemysłu wytwórczego.

LITERATURA

- [1] Feng Guoqi, Cui Dongliang, Wang Chengen, Yu Jiapeng. Integrated data management in complex product collaborative design. *Computers in Industry* 2009;1(1):48–63.
- [2] Ulrich KT, Eppinger SD. *Product design and development*. 4th ed. New York: Irwin McGraw-Hill; 2008.
- [3] Jiaqing Yu a,b,* , Jianzhong Cha a, Yiping Lu a, Wensheng Xu a, M. Sobolewski; A CAE-integrated distributed collaborative design system for finite element analysis of complex product based on SOOA; *Advances in Engineering Software* 41 (2010) 590–603
- [4] Yumei L., Li W., Tifan X., Product data model for PLM system, <http://www.ijcc.org/ojs/index.php/ijcc/article/viewFile/163/124>
- [5] Cholewa Mariusz, Model danych w technologicznym projektowaniu procesów wytwarzania i jego integracja z systemami PDM, praca doktorska, 2001