

# SYSTEM DECYZYJNY W OPTYMALNYM HARMONOGRAMOWANIU PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Roman KIELEC, Milan EDL

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono rzeczywisty przykład, zaczerpnięty z przemysłu, projektowania i konstruowania pieca próżniowego typu VPT. Analizie poddano obieg informacji technicznej, który został przedstawiony za pomocą macierzy sprzężeń. Przeprowadzając wizualizację zależności po między zadaniami realizacyjnymi zidentyfikowano pętle iteracyjne, które zostały poddane optymalizacji pod względem czasu i kosztu ich realizacji. Na podstawie mapowania obiegu informacji zaplanowano system decyzyjny.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie produkcją, optymalizacja, system decyzyjny, macierz sprzężeń.

## 1. Wprowadzenie

Praktyka przemysłowa wymaga uporządkowania poszczególnych operacji tj. działań produkcyjnych w odpowiednią sekwencję. W przypadku dużej ilości operacji oraz działań paralelnych zagadnienie to ulega znacznemu skomplikowaniu.

Niewłaściwe zaplanowanie sekwencji operacji prowadzi do powstania dużych dodatkowych i zbędnych kosztów jak również wydłużenia czasu realizacji produktu. Dlatego też istotnym elementem przy wprowadzaniu nowych produktów na rynek jak i przy modernizowaniu już istniejących jest odpowiednie planowanie organizowanie i podejmowanie decyzji.

Próby uporządkowania procesów wytwórczych były podejmowane od dość dawna i znalazły swój wyraz we względnie prostych formach zapisu takich jak wykresy Gantt'a, czy sieciowe metody planowania, tj. PERT, CPM, MPM itp. Najpóźniej powstała forma prezentacji realizacji procesów jest macierz sprzężeń.

Problematyka optymalizowania struktury procesów projektowych jest bardzo ważna ze względu na dążenie przedsiębiorstw do coraz krótszych cykli rozwoju produktów i ich wdrażania do produkcji. Optymalizacja procesów wymuszona jest nie tylko chęcią i próbą obniżenia kosztów produkcji, ale przede wszystkim koniecznością konkurencyjnego działania na rynku poprzez ciągłą modernizację wyrobów i oferowanie nowych. Jest to szczególnie ważne w aktualnych warunkach gospodarczych, kiedy zanikają bariery technologiczne i cenowe, a cykl życia produktów wytworzonych jest coraz krótszy, tworząc w ten sposób, popyt na nowoczesne i innowacyjne produkty. Sprostać takim warunkom można tylko poprzez stosowanie nowoczesnych narzędzi we wszystkich fazach projektowania, przygotowania i produkcji wyrobów [5].

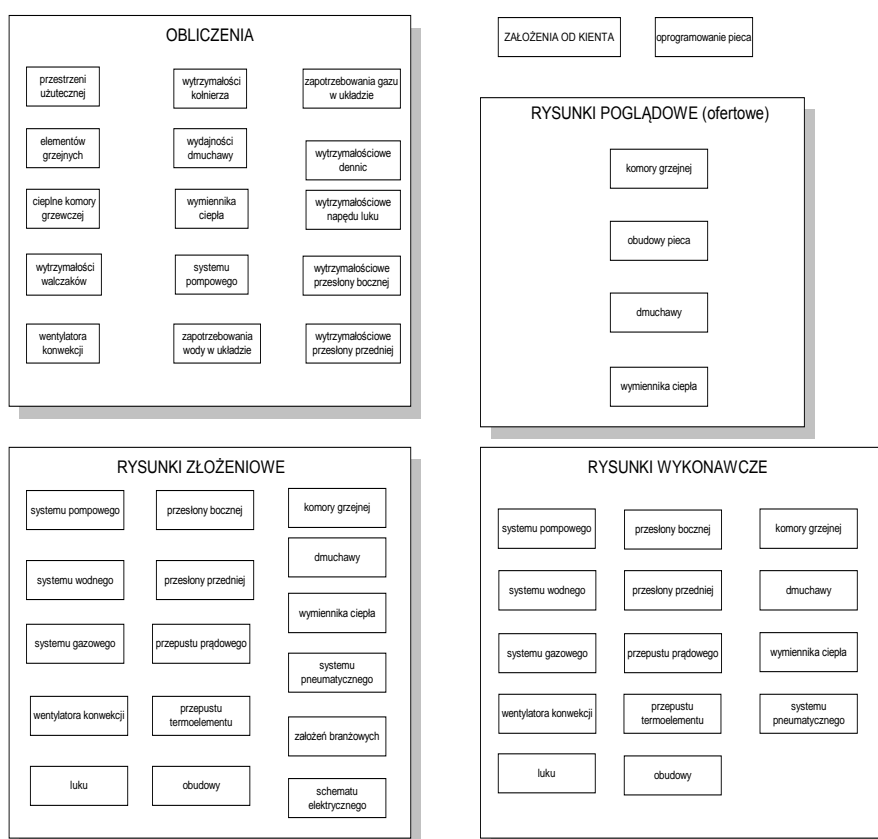
Metody, wykorzystujące ideę planowania sieciowego, czy też wykresy Gantt'a nie uwzględniają wszystkich sprzężeń międzyzadaniowych, a zwłaszcza iteracji, które powodują, że jawne uwzględnienie bloków decyzyjnych powinno stać się integralną częścią harmonogramowania przedsięwzięć. Zaproponowana w pracy metoda do planowania zadań realizacyjnych, której zastosowanie daje możliwość grupowania,

porządkowania oraz planowania działań decyzyjnych, bazuje na przedstawieniu zdekomponowanego procesu na macierzy sprzężeń [1, 7].

Jedną z najważniejszych cech procesu produkcyjnego jest jego proces projektowo-konstrukcyjny. Proces projektowania jest procesem stopniowego określania cech obiektu, począwszy od ogólnych, aż do coraz bardziej szczegółowych [2].

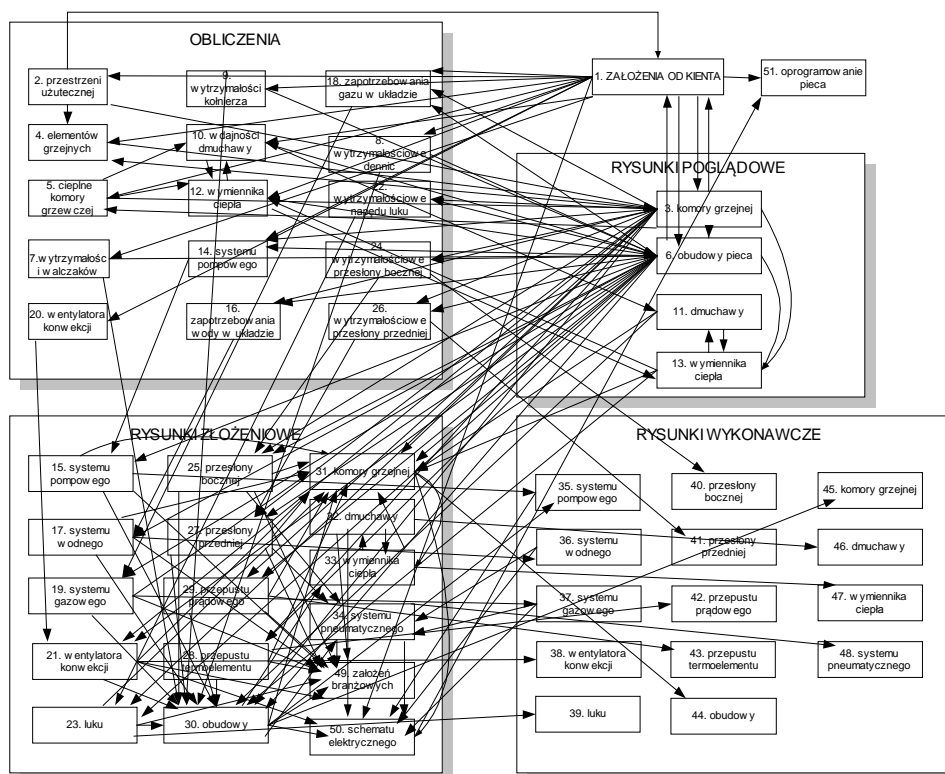
## 2. Proces projektowo-konstrukcyjny

W treści niniejszego rozdziału przedstawiono rzeczywisty przykład zaczerpnięty z przemysłu wykonywania dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej pieca próżniowego firmy SecoWarwick sp. z o.o. Na rys. 1 przedstawiono zdekomponowany proces projektowo-konstrukcyjny. Wstępnie rozpatrywany proces podzielony został na sześć bloków tematycznych: założenia od klienta, rysunki poglądowe (ofertowe), obliczenia, oprogramowanie pieca, rysunki złożeniowe i rysunki wykonawcze. Dla każdej z grup przyporządkowane zostały zadania częściowe, z których składa się dokumentacja konstrukcyjna.



Rys.1. Dekompozycja rzeczywistego procesu konstrukcyjnego (opracowanie własne)

Zależności pomiędzy zadaniami częściowymi są najważniejszym elementem w dalszej analizie, ze względu na ich duże znaczenie i wpływ na realizację procesu. Dlatego też należy dokładnie określić relacje między zadaniami, przy współdziałaniu osób odpowiedzialnych w przedsiębiorstwie za realizację wszystkich zadań rozpatrywanych w procesie rys. 2.



Rys. 2. Relacje pomiędzy zdekomponowanymi zadaniami procesu (opracowanie własne)

Dokumentacja projektowo-konstrukcyjna podzielona została na 51 zadań częściowych, pomiędzy którymi zachodzą odpowiednie relacje. Na rys. 2 zdekomponowany proces jest nieczytelny ze względu na dużą liczbę powiązań zadań częściowych. Dlatego też istnieje potrzeba przedstawienia wszystkich informacji zawartych na tym rysunku w formie tabeli.

W tabeli 1 oprócz nazw zadań częściowych i relacji pomiędzy nimi zawarte są informacje dotyczące kosztów i czasów realizacji zadań, które wykorzystane będą do budowania macierzy sprzężeń.

Tab.1. Czynności podstawowe, ich czasy, koszty oraz sprzężenia informacyjne (opracowanie własne)

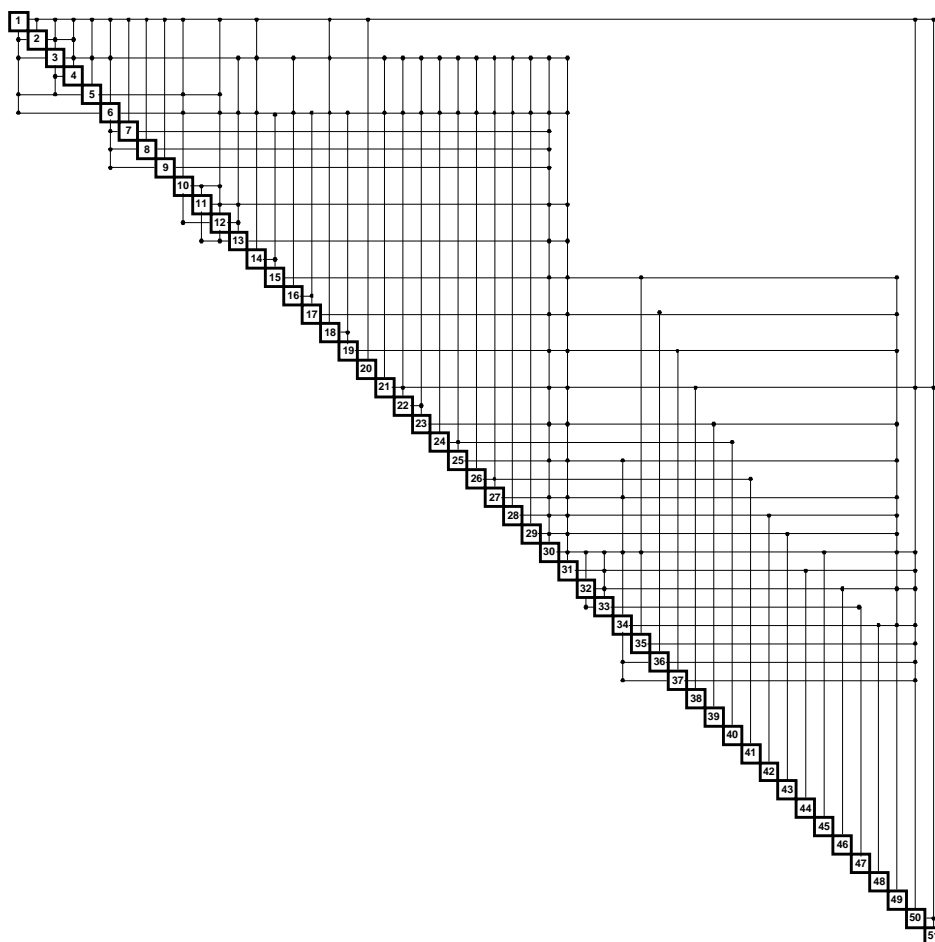
Numer zadania	Zadanie częściowe	Sprzężenia informacyjne	Czas realizacji zadania	Koszt realizacji zadania
1.	Założenia od klienta	2, 3,5,6	24	528
2.	Obliczenia przestrzeni użytkowej	1	2	44
3.	Wstępny rys. złożeniowy komory grzejnej (KG)	1, 2,4,5	48	1056

4.	Obliczenia elementów grzejnych	1, 2, 3	4	88
5.	Obliczenia ciepłne KG	1, 3	8	176
6.	Wstępny rys. złożeniowy obudowy pieca	1, 3,7,8,9	36	792
7.	Obliczenia wytrzymałościowe walczaków	1	4	88
8.	Obliczenia wytrzymałościowe dennic	1	4	88
9.	Obliczenia wytrzymałościowe kołnierza	1	4	88
10.	Obliczenia wydajności dmuchawy	1, 5, 6, 12	4	88
11.	Wstępny rys. złożeniowy dmuchawy	10,13	8	176
12.	Obliczenia wymiennika ciepła	1, 5, 6, 10,13	8	176
13.	Wstępny rys. złożeniowy wymiennika ciepła	3, 6, 11, 12	36	792
14.	Obliczenia i dobór systemu pompowego	1, 3, 6	6	132
15.	Rys. złożeniowy systemu pompowego	6, 14	34	748
16.	Obliczenia na zapotrzebowanie wody w układzie	3, 6	6	132
17.	Rys. złożeniowy sytemu wodnego	6, 16	48	1056
18.	Obliczenia na zapotrzebowanie gazu w układzie	1, 3, 6	2	44
19.	Rys. złożeniowy sytemu gazowego	6, 18	8	176
20.	Obliczenia wentylatora konwekcji	1	2	44
21.	Rys. złożeniowy wentylatora konwekcji	3, 6, 20	16	352
22.	Obliczenia wytrzymałościowe napędu luku	3, 6	4	88
23.	Rys. złożeniowy luku	3, 6, 22	24	528
24.	Obliczenia wytrzymałościowe przesłony bocznej	3, 6	4	88
25.	Rys. złożeniowy przesłony bocznej	3,6, 24	24	528
26.	Obliczenia wytrzymałościowe przesłony przedniej	3, 6	4	88
27.	Rys. złożeniowy przesłony przedniej	3, 6, 26	16	352
28.	Rys. złożeniowy przepustu prądowego	3, 6	8	176
29.	Rys. złożeniowy przepustu termoelementu	3, 6	16	352
30.	Rys. złożeniowy obudowy	3, 6, 7,8,9,11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 28, 29	64	1408
31.	Rys. złożeniowy KG	3, 6, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 28, 29, 30	80	1760
32.	Rys. złożeniowy dmuchawy	30, 33	8	176
33.	Rys. złożeniowy wymiennika ciepła	30, 31, 32	16	352
34.	Rys. złożeniowy systemu pneumatycznego	25, 27, 30, 36, 37	16	352
35.	Rys. wykonawcze systemu pompowego	15, 30	16	352
36.	Rys. wykonawcze systemu wodnego	17	24	528
37.	Rys. wykonawcze systemu gazowego	19	16	352
38.	Rys. wykonawcze wentylatora konwekcji	21	8	176
39.	Rys. wykonawcze napędu luku	23	6	132
40.	Rys. wykonawcze przesłony bocznej	24	8	176
41.	Rys. wykonawcze przesłony przedniej	26	8	176
42.	Rys. wykonawcze przepustu prądowego	28	4	88
43.	Rys. wykonawcze przepustu termoelementu	29	4	88
44.	Rys. wykonawcze KG	31	16	352
45.	Rys. wykonawcze obudowy	30	36	792
46.	Rys. wykonawcze dmuchawy	32	12	264
47.	Rys. wykonawcze wymiennika ciepła	33	16	352

48.	Rys. wykonawcze systemu pneumatycznego	34	8	176
49.	Rysunek założeń branżowych	15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 28, 29, 30,32,34	48	1056
50.	Rys. schematu elektrycznego	1, 34, 35, 36, 37, 32, 21, 30, 31	150	3300
51.	Oprogramowanie pieca	1, 50	100	2200

### 3. Macierz sprzężeń dla rzeczywistego procesu konstrukcyjnego

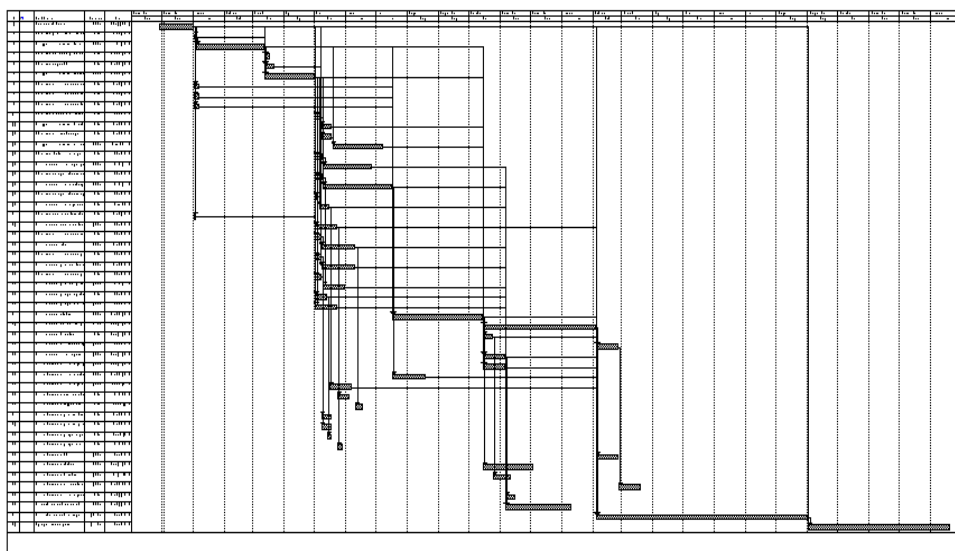
Na podstawie szczegółowych danych zawartych tabeli 1 utworzono macierz sprzężeń przedstawioną na rys. 3. Stanowi ona przebieg procesu w kolejności zgodnej z rzeczywistą realizacją procesu w przedsiębiorstwie. Na głównej przekątnej znajdują się zadania częściowe po dekompozycji procesu projektowo-konstrukcyjnego. Powyżej przekątnej sprzężenia progresywne (do przodu), natomiast poniżej sprzężenia zwrotne.



Rys.3. Macierz sprzężeń procesu konstrukcyjnego (opracowanie własne)

#### 4. Wykres Gantt'a analizowanej macierzy sprzężeń

Wykresy Gantt'a są obecnie najczęściej stosowane do zarządzania projektami nie tylko ze względu na swoją prostotę, ale także na możliwość uwzględniania przerw podczas trwania projektu, współzależności między zadaniami, a przede wszystkim na łatwość odczytu postaci graficznej. Przedstawia przebieg procesu na osi czasowej w postaci belek obrazujących najwcześniejszy termin rozpoczęcia i najpóźniejszy termin zakończenia danego zadania. Rys. 4 powstał na podstawie macierzy zależności z rys. 3. Na wykresach Gantt'a można uwzględnić tylko sprzężenia progresywne, dlatego też na poniższym rysunku przedstawiono powiązania znajdujące się powyżej głównej przekątnej z macierzy sprzężeń.



Rys. 4. Wykres Gantt'a procesu projektowo- konstrukcyjnego (opracowanie własne)

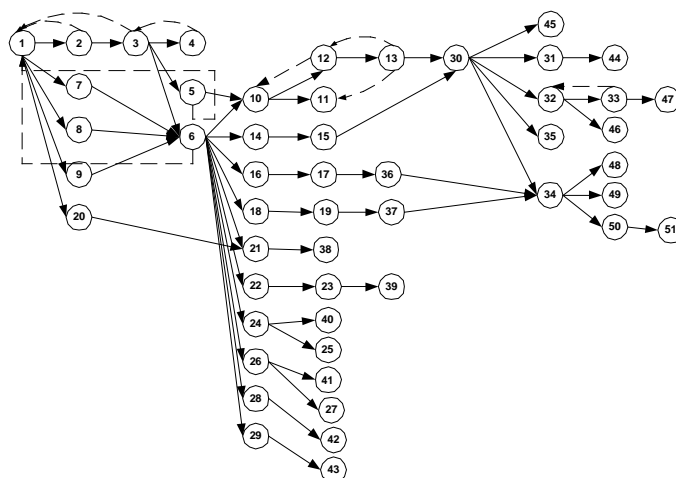
Według powyższego wykresu Gantt'a realizację procesu rozpoczynamy od zadania 1 - Założenia od klienta, po zakończeniu którego równolegle, o ile są ku temu możliwości organizacyjne w zakładzie realizujemy zadania 2 - *Obliczenia przestrzeni użytecznej*; 7 - *Obliczenia wytrzymałościowe walczków*; 8 - *Obliczenia wytrzymałościowe dennic*; 9 - *Obliczenia wytrzymałościowe kołnierza* oraz zadanie 20 - *Obliczenia wentylatora konwekcji*. Po zakończeniu zadania 2 przechodzimy do realizacji zadania 3 - *Wstępny rys. złożeniowy komory grzejnej (KG)*, po którym wykonywane są równocześnie zadania 4 - *Obliczenia elementów grzejnych*; 5 - *Obliczenia cieplne KG*; 6 - *Wstępny rys. złożeniowy obudowy pieca*. Do realizacji zadania 6 wymagane jest zakończenie prac związanych z wykonywaniem zadań 3, 7, 8, 9. Po zadaniu 6 równolegle wykonujemy 10 kolejnych zadań: 14 - *Obliczenia i dobór systemu pompowego*; 16 - *Obliczenia na zapotrzebowanie wody w układzie*; 18 - *Obliczenia na zapotrzebowanie gazu w układzie*; 21 - *Rys. złożeniowy wentylatora konwekcji*; 22 - *Obliczenia wytrzymałościowe napędu luku*; 24 - *Obliczenia wytrzymałościowe przesłony bocznej*; 26 - *Obliczenia wytrzymałościowe*

przesłony przedniej; 28 - Rys. złożeniowy przepustu prądowego; 29 - Rys. złożeniowy przepustu termoelementu. Po zakończeniu tych zadań przechodzimy do realizacji 13 zadań częściowych – również niezależnie względem siebie (równolegle). Są to zadania: 11 - Wstępny rys. złożeniowy dmuchawy; 12 - Obliczenia wymiennika ciepła; 15 - Rys. złożeniowy systemu pompowego; 17 - Rys. złożeniowy systemu wodnego; 19 - Rys. złożeniowy systemu gazowego; 23 - Rys. złożeniowy luku; 25 - Rys. złożeniowy przesłony bocznej; 27 - Rys. złożeniowy przesłony przedniej; 38 - Rys. wykonawcze wentylatora konwekcji; 40 - Rys. wykonawcze przesłony bocznej; 41 - Rys. wykonawcze przesłony przedniej; 42 - Rys. wykonawcze przepustu prądowego i 43 - Rys. wykonawcze przepustu termoelementu. W dalszej kolejności wykonujemy równocześnie zadania odpowiednio: po zadaniu 12 - realizujemy 13 - Wstępny rys. złożeniowy wymiennika ciepła, po 17 – 36 – Rys. wykonawcze systemu wodnego, po 19 – 37 - Rys. wykonawcze systemu gazowego, po 23 – zadanie 39 - Rys. wykonawcze napędu luku. Zadanie 39 jest jednym z zadań kończących ze względu, że nie generuje danych potrzebnych w dalszej części przebiegu procesu. Po wykonaniu zadania 13 realizowane jest zadanie 30 -, po zakończeniu którego równocześnie wykonujemy zadania: 31 - Rys. złożeniowy KG ; 32 - Rys. złożeniowy dmuchawy; 34 - Rys. złożeniowy systemu pneumatycznego; 35 - Rys. wykonawcze systemu pompowego i 45 - Rys. wykonawcze obudowy. Następnie równolegle możliwa jest realizacja zadań 33 - Rys. złożeniowy wymiennika ciepła po zakończeniu zadania 32, 44 – Rys. wykonawcze KG po zadaniu 31, 46 - Rys. wykonawcze dmuchawy, 49 - Rysunek założeń branżowych, 50 - Rys. schematu elektrycznego po zadaniu 34. Zadania 44, 46, 48, 49 są zadaniami kończącymi w tej fazie procesu. Ostatnimi zadaniami, kończącymi cały proces są zadania 47 – Rys. wykonawcze wymiennika ciepła i 51 – Oprogramowanie pieca możliwe do równoległej realizacji po zakończeniu odpowiednio zadań 33 i 50.

Tak ogólnie opisać można rzeczywistą realizację procesu. Należy jednak w tym miejscu zaznaczyć, że realizacja procesu, a dokładnie jego zadań częściowych, uzależniona jest od wewnętrznej organizacji zakładu oraz możliwości angażowania zasobów ludzkich, sprzętowych i materiałowych.

Z podanych form zapisu kolejności realizacji rozpatrywanego procesu projektowo-konstrukcyjnego wszystkie nadają się do planowania procesu. Różnica między nimi polega na zawartości informacji, np. na macierzy zależności zobrazowane są wszystkie relacje pomiędzy zadaniami (sprzężenia zwrotne i progresywne), na wykresie sieciowym (rys. 2.) zaznaczone są jedynie sprzężenia. Z kolei na wykresie belkowym Gantt'a czasy rozpoczęcia zadań częściowych uzależnione są od terminów zakończenia ich bezpośrednich poprzedników, dzięki czemu uzyskujemy przesunięcia w czasie realizacji niektórych zadań. Na rys. 5 zadaniami kończącymi realizację całego procesu są zadania 47 i 51, natomiast na wykresie Gantt'a (rys. 4) zadaniem kończącym cały proces jest zadanie 51. Wynika to z możliwości wcześniejszej realizacji zadania 47.

Wygodniejszą metodą w interpretacji macierzy zależności są grafy. Graf taki przedstawiony został na rys. 5.



Rys. 5. Graf realizacyjny procesu (opracowanie własne)

## 5. Harmonogramy realizacyjne optymalnego procesu

Harmonogramowanie produkcji polega na przewidywaniu przyszłego przebiegu oraz warunków jego realizacji jak również określeniu celów działania podczas wykonywania procesu. Podstawową cechą planowania jest celowość, określająca sprawną realizację sformułowanego celu. Brak poprawnego planu stwarza doskonałe warunki do przypadkowego podejmowania decyzji, co doprowadza do niepożądanych zaburzeń podczas realizacji procesu produkcyjnego.

Cały proces podzielić możemy na dwa etapy:

- określenie celu i działań niezbędnych do jego realizacji,
- określenie kolejności realizacji zaplanowanych działań.

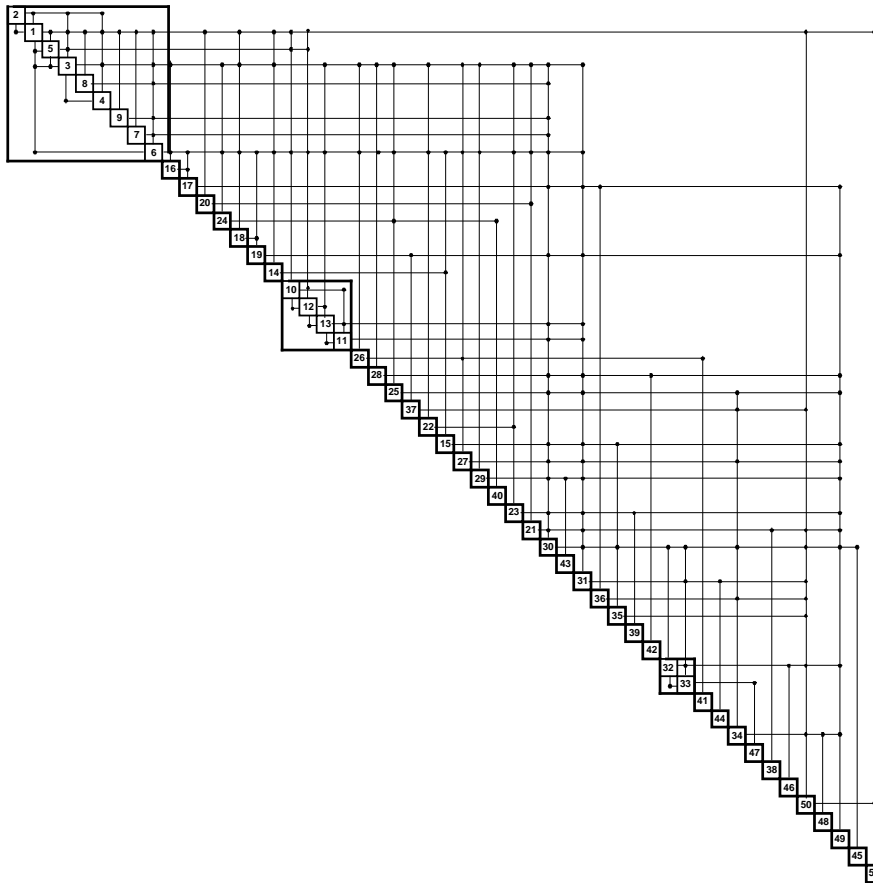
Sprawnym systemem planowania zapewnić może ograniczenie ryzyka w procesie podejmowania decyzji. Przez podjęcie uzasadnionej i usystematyzowanej decyzji planistycznej zmniejszane jest ryzyko podjęcia błędnej decyzji. Planowanie stanowi podstawową część składową zarządzania, gdyż bez zaplanowania działań, nie jesteśmy w stanie zorganizować ich realizację.

Dzięki zastosowaniu macierzy zależności do wizualizacji i optymalizacji obiegu informacji technicznej (rys. 6), autor pracy zauważył możliwości dokonania filtracji zadań częściowych w aspekcie podejmowanych decyzji. Wyróżnione zostały dwa rodzaje decyzji:

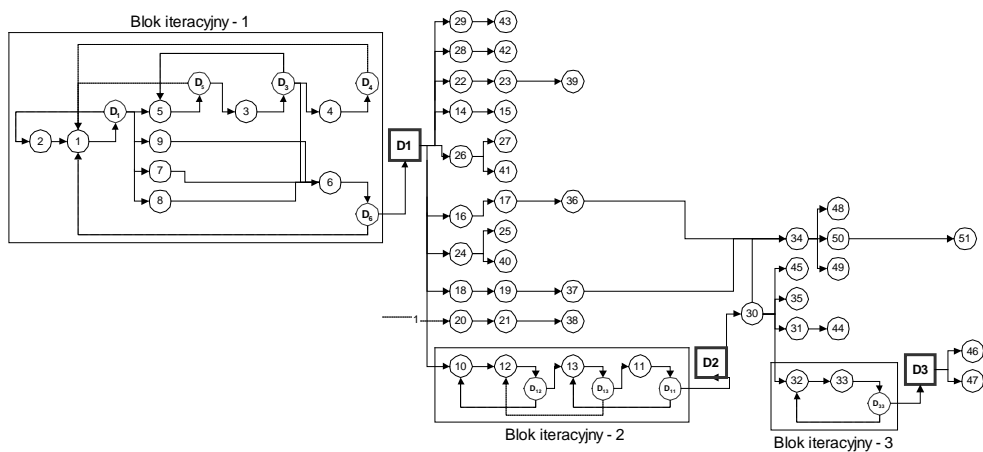
1. decyzje sprzężeniowe,
2. decyzje blokowe.

Decyzje sprzężeniowe występują po każdym sprzężeniu zwrotnym, natomiast decyzje blokowe kończą realizację każdego bloku iteracyjnego. Celem decyzji sprzężeniowej jest określenie potrzeby powtórnej realizacji zadań w cyklu iteracyjnym lub możliwości realizacji kolejnego zadania częściowego procesu wg harmonogramu. Decyzja blokowa występująca po zakończeniu każdego bloku iteracyjnego zatwierdza poprawność realizacji zadań w bloku iteracyjnym lub określa zadania wymagające poprawy. Tak reprezentowany harmonogram realizacji procesu pokazany jest na rys. 7.





Rys. 6. Optymalna macierz zależności po reorganizacji. Blokowanie zadań (opracowanie własne)



Rys. 7. Graf realizacyjny procesu po optymalizacji

Realizacja zoptymalizowanego procesu, przedstawionego za pomocą grafu realizacyjnego na rys. 7, rozpoczyna się od zadania 2-*obliczeń przestrzeni użytkowej*. Następnie zadanie to przekazywana jest do *uzgodnienia z klientem*, po czym następuje podjęcie decyzji (**D<sub>1</sub>**) o dokonaniu powtórnego przeliczenia w przypadku zmian założeń od klienta, ewentualnie przekazanie obliczeń do 5- *obliczeń cieplnych komory grzejnej*. Równolegle na poziomie trzecim z zadaniem 5 można realizować zadania częściowe 7, 8, 9. Po zakończeniu zadania 5 należy podjąć kolejną decyzję (**D<sub>5</sub>**). W przypadku poprawności realizacji zadania 5 przechodzimy do wykonywania zadania 3, po zakończeniu którego następuje decyzja (**D<sub>3</sub>**) ze względu na zaistnienie iteracji pomiędzy tymi zadaniami. Jeżeli decydent określi, że należy dokonać poprawek w zadaniu 3, wówczas powtórnym zrealizować należy zadanie 5, a następnie zadanie 3. W przeciwnym wypadku po zadaniu 3 realizujemy równolegle zadania 4 i 6, po których należy podjąć decyzje – odpowiednio (**D<sub>4</sub>**) i (**D<sub>6</sub>**). Jeżeli decydent (**D<sub>4</sub>**) określi potrzebę dokonania poprawek, wówczas wracamy do powtórnej realizacji zadania 1 i kolejnych zadań, aż do zadania 4, po którym powtórnym podejmowana jest decyzja (**D<sub>4</sub>**). Podobnie jest w przypadku decyzji (**D<sub>6</sub>**). Jeżeli decydent zatwierdzi poprawność wykonania zadania 6, które jest zadaniem kończącym realizację bloku iteracyjnego 1 przechodzimy do decyzji blokowej (**D<sub>1</sub>**). Decydent, a w tym przypadku kierownik projektu lub inna osoba odpowiedzialna za realizację wszystkich zadań w bloku iteracyjnym 1 ma za zadanie określenie, czy można przejść do dalszej realizacji projektu, czy należy dokonać ewentualnych korekt w zadaniach częściowych zrealizowanych w bloku iteracyjnym 1. Po całkowitym zakończeniu realizacji bloku iteracyjnego 1 przejść należy do realizacji zadań na następnym poziomie zgodnie z grafem przedstawionym na rys. 7.

W strukturze realizacji projektu wyróżnić można kolejne dwa bloki iteracyjne – 2 i 3 składające się odpowiednio z zadań: blok 2 – zadania 10, 12, 13 i 11 oraz blok 3 - zadania 32 i 33. Realizacja tych bloków uwzględniająca decyzje operacyjne, przebiega analogicznie jak w bloku iteracyjnym 1.

Zadania w blokach iteracyjnych 2 i 3 można realizować równolegle z zadaniami częściowymi nie znajdującymi się w tych blokach, bez jakiegokolwiek wpływu na realizację procesu, ze względu na fakt, że zadania te nie są ze sobą powiązane relacjami. Ponadto niektóre zadania w powyższym procesie mogą być realizowane współbieżnie, co w znaczny sposób zmniejsza liczbę poziomów realizacyjnych i doprowadza do zmniejszenia liczby poprawek w procesie. Dla przykładu zadania 1 i 2 wykonywane są po optymalizacji na dwóch poziomach, jeżeli uwzględni się realizację współbieżną realizowane są na tym samym pierwszym poziomie z przesunięciem czasowym zadania 1.

## **6. Analiza porównawcza optymalnego harmonogramu z rzeczywistym przebiegiem procesu**

Tradycyjne metody planowania, jak Gantt, PERT, itp. uwzględniają w procesie realizacji produktu jedynie działania sekwencyjne i równoległe. Niemożliwe staje się zintegrowane podejście do realizacji procesu charakteryzujące się współbieżnością wykonywania zadań częściowych, wynikającą z występowania sprzężeń zwrotnych pomiędzy zadaniami [8]. Stosując metody macierzowe, na których oznaczyć możemy wszystkie rodzaje relacji pomiędzy zadaniami (sprzężenia zwrotne i progresywne) planowanie realizacji procesu odbywa się z uwzględnieniem równoległości i współbieżności wykonywania zadań (tab. 2.) [4].

Tab. 2. Tabela porównująca możliwości realizacji zadań częściowych przed i po optymalizacji (opracowanie własne)

Realizacja równoległa zadań przed optymalizacją:	Realizacja zadań częściowych po optymalizacji	
	równoległa:	współbieżna:
2, 7, 8, 9, 20	5,7,9,8	1,2
4, 5, 6	4,6	1,5
10, 14, 16, 18, 21, 22, 24, 26, 28, 29	29,28,22,14,26,16,24,18,20,10	1,3
12, 11, 15, 17, 19, 38, 23, 40, 25, 41, 27, 42, 43	43,42,23,15,27,41,17,25,40,19,21,12	3,4
13, 36, 37, 39	39,36,37,38,13	3,5
45, 31, 32, 35, 34	34,45,35,31,32	1,6
44, 33, 46, 48, 49, 50	48,50,49,44,36	10,12
47, 51	51,46,47	12,13
		11,13
		32,33

Rzeczywisty przebieg realizacji procesu, przedstawiony przez producenta odbywał się na 10 poziomach realizacji. Plan przedstawiony przez firmę nie uwzględniał ewentualnych poprawek wynikających z istniejących 15 sprzężeń zwrotnych. Po przeprowadzonej optymalizacji, według zadanego kryterium (czas i koszt realizacji), procedura wykonywania procesu odbywa się na 13 poziomach. Mając na uwadze fakt, iż nie uwzględniono możliwości realizacji współbieżnej. Wyeliminowano natomiast 5 sprzężeń zwrotnych, co w konsekwencji doprowadza do oszczędności całkowitego kosztu i skrócenia czasu realizacji przedsięwzięcia, w przypadku wystąpienia poprawek wynikających ze sprzężeń zwrotnych. Poniżej w tabelach 3 i 4 zestawione są całkowite czasy i koszty realizacji procesu w odniesieniu do rzeczywistego planu procesu (przed optymalizacją) oraz do proponowanego harmonogramu realizacji zadań (po optymalizacji) z uwzględnieniem zaplanowanego systemu decyzyjnego.

Tab. 3. Czas realizacji zadań częściowych w jednostkach umownych podanych przez producenta (opracowanie własne)

Całkowite czasy realizacji zadań częściowych	
przed optymalizacją	1 896
po optymalizacji	1 578
oszczędność	<b>16,8%</b>

Tab. 4. Koszt realizacji zadań częściowych w jednostkach umownych podanych przez producenta (opracowanie własne)

Całkowite koszty realizacji zadań częściowych	
przed optymalizacją	41 612
po optymalizacji	34 616
oszczędność	<b>16,7%</b>

Projektowanie maszyn i urządzeń technicznych jest więc procesem złożonym z wielu podprocesów – zadań częściowych. Dla wykonania każdego zadania częściowego potrzeba określonych informacji, lub założeń. Wykonanie zadania dostarcza kolejnych informacji o projektowanym obiekcie tworząc obieg informacji. Spośród wielu proponowanych przez

naukę o projektowaniu ujęć (modeli) procesu projektowania wyróżniają się modele zadaniowe, informacyjne oraz systemy decyzyjne [3, 6].

## 7. Podsumowanie

Proponowana metoda macierzowa do harmonogramowania znajduje szerokie zastosowanie w praktyce przemysłowej, zwłaszcza w planowaniu systemu decyzyjnego w złożonych projektach o charakterze iteracyjnym. Pozwala ona na przeprowadzenie wnikliwej analizy procesów, przy uwzględnieniu dotychczas bagatelizowanych sprzężeniach zwrotnych. Sprzężenia tego typu są istotne zwłaszcza w inżynierii współbieżnej. Dzięki temu ustalony system decyzyjny realizacji procesu zapewnia prawidłowy i kontrolowany przepływ wymaganych informacji między zadaniami. W wyniku przeprowadzonych badań w przemyśle otrzymano znaczące oszczędności czasu **16,8%** oraz kosztu **16,7%** w porównaniu do oryginalnego harmonogramu realizacyjnego w firmie SecoWarwick sp. z o.o.

## Literatura

1. Kielec R. Rohatyński R.: A new tool for planning and scheduling in engineering design. W: Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2004: Proceedings of the Fifth International Symposium. Lausanne, Szwajcaria, 2004 .- Rotterdam: Millpress, 2004
2. Yassine A. A. Whitney D.E.: Do-It-Right-First-Time (DRFT) Approach to DSM Restructuring. MIT Working Paper Series, ESD-WP-2002-04, Sept. 2001.
3. Rohatyński R., Kielec R.: Artificial Evolution in Design Process Optimization, Computer Integrated Manufacturing, International Conference on Zakopane, CIM 2001.
4. Szaśiadek. M.: Planowanie i wybór sekwencji montażu w projektowaniu współbieżnym, Technologia i Automatyzacja Montażu .- 2008, nr 2, s. 19—23
5. Kielec R.: Planowanie procesów produkcyjnych o charakterze iteracyjnym /Przegląd Mechaniczny .- 2009, nr 11, s. 22—26
6. Rogers J.L.: Reducing Design Cycle Time and Cost Through Process Resequencing, International Conference on Engineering Design, ICED 97, Tampere, 1997.
7. Steward D. V.: Systems Analysis and Management, Petrocelli Books, Inc., New York 1981
8. Edl M., Ulrych, Z., Hořejší, P., Raška, P., Candrová, K.: Practical solution of issues parallel simulation, Kvalita Inovácia Prosperita VII/2 – 2003

Dr inż. Roman KIELEC  
Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją  
Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski  
65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50  
tel./fax.: 068 328 2655  
e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl

Dr hab. inż. Milan EDL  
Západočeská univerzita v Plzni  
Univerzitní 8, Plzeň  
e-mail: edl@kpv.czu.cz