

Uniwersytet Zielonogórski

Wydział Mechaniczny

mgr inż. Michał Sasiadek

**Planowanie i wybór sekwencji montażu
we współbieżnym projektowaniu
elementów i zespołów maszyn**

Rozprawa doktorska

Promotor: prof. dr hab. inż. Ryszard Rohatyński

Praca zrealizowana w ramach grantu promotorskiego N N502 358935

Zielona Góra 2009

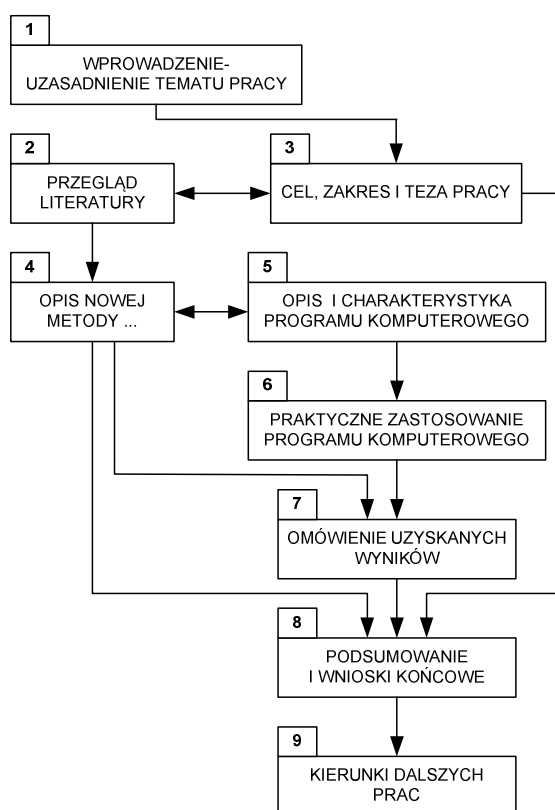
Spis Treści

STRESZCZENIE.....	4
1. WPROWADZENIE – UZASADNIENIE TEMATU PRACY	6
2. PRZEGLĄD LITERATURY	9
2.1. Proces projektowo-konstrukcyjny	9
2.2. Projektowanie współbieżne	13
2.3. Projektowanie dla montażu.....	14
2.4. Proces montażu	15
2.5. Planowanie sekwencji montażu	17
2.5.1. Wyznaczanie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu	18
2.5.2. Ocena i wybór sekwencji montażu	23
2.6. Podsumowanie i wnioski	26
3. CEL, ZAKRES I TEZA PRACY	30
4. OPIS NOWEJ METODY PLANOWANIA SEKWENCJI MONTAŻU	32
4.2. Wprowadzenie	34
4.3. Zapis struktury konstrukcyjnej wyrobu	37
4.4. Ocena procesu łączenia części.....	39
4.4.1. Przykładowe zastosowanie wskaźnika oceny łączenia części.....	46
4.5. Definiowanie ograniczeń	48
4.6. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji.....	50
5. OPIS I CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU KOMPUTEROWEGO	55
5.2. Algorytm wykonawczy programu	55
5.3. Komputerowa implementacja metody – program EASYASSEMBLE.....	61

6.	PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE PROGRAMU KOMPUTEROWEGO.	65
6.1.	Podzespół koła zębatego	65
6.1.1.	Rozwiązanie scenariusza 1	68
6.1.2.	Rozwiązanie scenariusza 2	71
6.1.3.	Rozwiązanie scenariusza 3	73
6.2.	Palnik gazowy.....	81
6.2.1.	Przeprojektowanie konstrukcji palnika gazowego	90
6.3.	Siłownik pneumatyczny obrotowo-wahliwy	96
6.3.1.	Przeprojektowanie konstrukcji siłownika.....	113
7.	OMÓWIENIE UZYSKANYCH WYNIKÓW	117
8.	PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE	123
9.	KIERUNKI DALSZYCH PRAC	125
	SPIS RYSUNKÓW	126
	SPIS TABEL	129
	LITERATURA.....	131
	ZAŁĄCZNIK NR 1 - INSTRUKCJA OBSŁUGI PROGRAMU EASYASSEMBLE.....	139
	ZAŁĄCZNIK NR 2 - WYNIKI UZYSKANE DLA SCENARIUSZA 2	150
	ZAŁĄCZNIK NR 3 - WYNIKI UZYSKANE DLA PALNIKA GAZOWEGO.....	151
	ZAŁĄCZNIK NR 4 - WYNIKI UZYSKANE DLA PALNIKA GAZOWEGO (2)	156
	ZAŁĄCZNIK NR 5 - WYNIKI UZYSKANE DLA PODZESPOŁU 4 SIŁOWNIKA.....	158
	ZAŁĄCZNIK NR 6 - WYNIKI UZYSKANE DLA SIŁOWNIKA PNEUMATYCZNEGO	162

Streszczenie

W rozprawie przedstawiono nową metodę planowania sekwencji montażu dostosowaną do wymogów projektowania współbieżnego. Metoda ta umożliwia generowanie zbioru dopuszczalnych kolejności montażu złożonego wyrobu oraz ich ocenę według zdefiniowanych kryteriów. Kryteria wyboru ukierunkowane są na łatwy i tani proces montażu. Istotną częścią pracy jest komputerowa implementacja metody w postaci programu o nazwie EASYASSEMBLE, którego zastosowanie pokazano na przykładach wziętych z praktyki przemysłowej. Zostały one w rozprawie szczegółowo omówione. Wyróżniającą cechą opracowanej metody jest jej przydatność w początkowych fazach rozwoju wyrobu, a w szczególności w projektowaniu wstępnym. Zastosowanie metody skłania do doboru już w czasie projektowania takich cech konstrukcyjnych elementów i zespołów, które uwzględniają efektywny proces montażu, dzięki czemu można istotnie skrócić czas i zmniejszyć koszty wytwarzania.



Rys. 1. 1. Struktura pracy

Praca składa się z dziewięciu głównych rozdziałów, których wzajemne powiązania przedstawiono na rysunku 1.1. W rozdziale 1 na tle wprowadzenia do zagadnienia będącego przedmiotem rozprawy, uzasadniono podjęty w niej temat. Rozdział 2 (Przeгляд literatury) dotyczy przeglądu i analizy literatury w zakresie projektowania i konstruowania wyrobów dostosowanych do wymogów montażu oraz planowania i wyboru sekwencji montażu. W rozdziale 3 sformułowano cel i zakres oraz tezę pracy. W rozdziale czwartym (Opis nowej metody planowania sekwencji montażu), w pierwszej kolejności scharakteryzowano

zagadnienie wyznaczania i oceny sekwencji montażu, po czym opisano cztery główne moduły opracowanej metody. Na początku opisano proponowaną formę zapisu struktury konstrukcyjnej wyrobu. W kolejnym podrozdziale zaproponowano kryteria oceny procesu łączenia dwóch części składowych wyrobu i charakteryzujące je wskaźniki. Następny podrozdział dotyczy opracowanych rodzajów i sposobów definiowania ograniczeń, głównie kolejnościowych. Ostatnim modułem opisanym w rozdziale 4 jest algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu. W rozdziale 5 opisano i scharakteryzowano komputerową implementację metody – autorski program EASYASSEMBLE. Instrukcję użytkownika programu zamieszczono w załączniku. W rozdziale 6 przedstawiono zastosowanie programu na trzech przykładach. W każdym z przykładów celem było przeprowadzenie analizy zmierzającej do wyznaczenia zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu i wyznaczeniu najkorzystniejszych sekwencji według przyjętych kryteriów. Analizy te przeprowadzono kolejno na: podzespołe koła zębatego złożonego z 8 części składowych, palnika gazowym złożonym z 13 części składowych oraz siłowniku pneumatycznym obrotowo-wahliwym złożonym z 38 części składowych. Na podstawie tego rozdziału opracowano kolejny – rozdział – Omówienie uzyskanych wyników (7), w którym omówiono wyniki i przeprowadzono analizę wynikającą z rozwiązanych, w rozdziale 6, przykładów. W rozdziale 8 podsumowano wyniki rozprawy i sformułowano wnioski końcowe. W końcowym rozdziale 9 zawarto plany kierunków dalszych prac badawczych autora, w tematyce będącej przedmiotem niniejszej pracy. Rozprawę kończy wykaz rysunków i tabel, spis źródeł literaturowych, oraz załączniki, w których umieszczono instrukcję użytkownika programu EASYASSEMBLE oraz uzyskane wyniki, których umieszczenie w głównej części rozpraw byłoby niecelowe.

Słowa kluczowe: montaż, sekwencja montażu, planowanie montażu, projektowanie współbieżne, projektowanie dla montażu, proces projektowo-konstrukcyjny

Adres autora:

mgr inż. Michał Sasiadek

Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny

Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją

ul. Prof. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra

tel. (68) 3282301, e-mail: m.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl

1. Wprowadzenie – uzasadnienie tematu pracy

W ostatnich dekadach zauważalny jest trend szybkiego wprowadzania wyrobów na rynek. Jest on wynikiem nasilającej się konkurencji oraz postępu technologicznego. Dotyczy to większości przypadków i aby sprostać tym uwarunkowaniom rynkowym celowe staje się możliwie szybkie wytworzenie i wprowadzenie wyrobu na rynek. Jakość produktu przemysłowego: elementu, zespołu, maszyny, przyrządu lub aparatu kształtowana jest w procesie jego realizacji, który składa się, między innymi, z projektowania, wytwarzania i montażu. Z tych trzech działań projektowanie ma znaczenie szczególne, ponieważ powinno uwzględniać wymagania technologiczne i montażowe, z drugiej zaś strony, możliwości poprawy projektu w procesie wytwarzania i montażu są minimalne [67]. Ponadto, proces wytwarzania i montażu osiągnął już duży stopień zaawansowania technologicznego i automatyzacji. Dlatego istotne jest zwrócenie szczególnej uwagi na te etapy opracowywania wyrobów, od których on zależy. Należy do nich, między innymi, proces projektowo – konstrukcyjny.

Tradycyjny sposób projektowania i konstruowania maszyn i ich zespołów charakteryzujący się sekwencyjnością wykonywania poszczególnych jego etapów jest procesem stosunkowo długim i nie zapewnia dobrych projektów.

Alternatywą dla sekwencyjnego procesu projektowo-konstrukcyjnego, eliminującą jego najważniejsze niedogodności, jest wykorzystanie, szeroko już rozpowszechnionej, inżynierii współbieżnej. Oparte na jej zasadach projektowanie współbieżne, cechujące się pracą zespołową i jednoczesną realizacją poszczególnych jego etapów, okazało się skuteczną metodą jawnego uwzględniania wielu późniejszych faz rozwoju wyrobu w możliwie wczesnym etapie projektowania. Ponieważ wymagania stawiane projektowanemu produktowi są przeciwstawne, to konieczne są rozwiązania kompromisowe. Osiągnięcie najlepszego kompromisu jest jedną z największych trudności projektowania współbieżnego. Dynamicznie rozwijające się metody projektowania współbieżnego stały się podstawową i niezastąpioną formą prac projektowych.

W nurcie projektowania współbieżnego powstało wiele metod ukierunkowanych na różne aspekty projektowania – DFX („Design for X”, gdzie „X” oznacza wyodrębnioną grupę wymagań), z których każda powinna być w zadowalającym stopniu uwzględniona w projekcie. Należą do nich, np. uwzględnienie wymogów technologiczności konstrukcji,

wytwarzania, montażu, itp. Spośród wymienionych metod, szczególnie istotną, ze względu na tematykę niniejszej pracy, jest projektowanie dla montażu (ang. DFA – Design For Assembly), która szerzej omówiona została w dalszej części rozprawy. Projektowanie dla montażu zakłada uwzględnianie wymogów procesu montażu w całym przebiegu cyklu projektowania nowego wyrobu, tak, aby konstrukcja jego przystosowana była przede wszystkim do efektywnego, w sensie szybkiego i taniego, montażu. Uwzględnienie wszystkich wymogów procesu montażu na etapie projektowania jest zadaniem skomplikowanym i czasami niemożliwym. Dlatego też praktyczne zastosowania zasad projektowania dla montażu ogranicza się do intuicyjnego uwzględniania tych wymogów montażu, które można uwzględnić w danym etapie rozwoju projektu.

Jest powszechnie wiadomo, że koszty wytwarzania stanowią przeważającą część procesu realizacji, natomiast udział kosztów montażu może być rzędu nawet 30-50% kosztów wytwarzania produktu [9, 11, 67]. Z tego względu projektowanie dla montażu należy do najważniejszych w obszernej dziedzinie metod objętych ogólną nazwą DFX.

Proces montażu zespołu, polegający na łączeniu jego elementów w jednostki montażowe wyższego rzędu, aż do osiągnięcia kompletnego zespołu stanowi jeden z istotniejszych etapów w procesie rozwoju wyrobu. Ważnym wobec tego jest, aby proces ten realizowany był możliwie szybko i bezbłędnie. Znaczenie procesu montażu dla kosztów realizacji i dla jakości produktu sugeruje jawne uwzględnienie tego procesu w czasie opracowywania konstrukcji maszyn i ich elementów. Z praktycznych obserwacji i rozeznania autora wynika, że często proces montażu planowany jest dopiero po zakończeniu projektu, a nawet po wykonaniu elementów. Jakkolwiek nawet wtedy możliwe są różne warianty procesu montażu, to zostały one ustalone niejawnie w czasie projektowania. Znacznie lepiej byłoby, gdyby projektant uwzględnił wymagania montażowe. Powinno to być zapewnione we wcześniejszych etapach kształtowania postaci konstrukcyjnej wyrobu. Dlatego ważne jest opracowanie konstrukcji wyrobu, a zwłaszcza jego elementów, zapewniającej poprawny, bezusterkowy, możliwie szybki i tani montaż. Pracochłonność procesu montażu rośnie wraz z liczbą części montażowych występujących w wyrobie [31, 46, 58, 61, 66], a prawidłowy przebieg tego procesu zależy od kolejności i poprawności łączenia części. Dlatego istotnym jest zdeterminowanie najkorzystniejszej kolejności łączenia części składowych (tzw. sekwencji montażu) wyrobu dostosowanej do uwarunkowań samego procesu jak i przedsiębiorstwa. Przy dużej liczbie części, zagadnienie wyznaczania najkorzystniejszej sekwencji montażu jest

skomplikowane kombinatorycznie, co wymaga opracowania efektywnego algorytmu wyznaczania zbioru dopuszczalnych rozwiązań.

Zatem, projektant powinien dysponować narzędziem umożliwiającym mu sprawdzenie i analizę tworzonej konstrukcji pod kątem wymagań montażowych. Powinien mieć również możliwość generowania wariantów sekwencji montażowych oraz oceny ich wpływu na przebieg i koszty procesu wytwarzania. Możliwość oceny i wyboru optymalnej (wg przyjętych kryteriów) sekwencji montażu w czasie konstruowania eliminowałaby konieczność późniejszego dostosowywania projektu do potrzeb montażu. Narzędzie takie umożliwiłoby projektowanie wyrobu z jednoczesnym planowaniem najkorzystniejszej sekwencji łączenia jego części składowych. Wyrób byłby projektowany współbieżnie z projektem jego montażu. Ze względu na dużą liczbę możliwych kombinacji, zagadnienia tego nie można rozwiązać bez zastosowania komputera.

Niniejsza rozprawa dotyczy nowej metody planowania i wyboru najkorzystniejszej sekwencji montażu, z jednoczesnym uwzględnieniem zasad projektowania dla montażu, dostosowanej do projektowania współbieżnego. Wyróżnić należy dwie możliwości zastosowania metody. Pierwszą z nich jest przypadek, kiedy jest dana postać konstrukcyjna wyrobu i należy wyznaczyć najkorzystniejszą sekwencję łączenia jego elementów. Drugą możliwością zastosowania metody jest sytuacja, w której wyrób jest w fazie projektowania (opracowywania postaci konstrukcyjnej). W takim przypadku znając relacje między częściami składowymi wyrobu istnieje możliwość wyznaczenia najkorzystniejszej sekwencji, z jednoczesną analizą zmian konstrukcyjnych przyczyniających się do ułatwienia procesu ich łączenia.

2. Przegląd literatury

W rozdziale tym dokonano przeglądu stanu aktualnego w obszarach: projektowania i konstruowania, projektowania współbieżnego i projektowania dla montażu oraz w zakresie wyznaczania i oceny sekwencji montażu.

W podrozdziale obejmującym charakterystykę tradycyjnych modeli procesu projektowo-konstrukcyjnego wykazano brak jawnego uwzględniania w ich strukturze wymogów procesu montażu.

W podrozdziale dotyczącym projektowania współbieżnego, skrótowo przedstawiono główne założenia tej metodologii.

W podrozdziale następnym - projektowanie dla montażu - przybliżono ważniejsze założenia i spodziewane efekty wynikające ze stosowania omawianego podejścia. Jednak wykazano brak sprzężenia między zalecanymi zasadami projektowania dla montażu dotyczącymi kształtowania konstrukcji w odniesieniu do planowania najkorzystniejszej kolejności montażu, poprawnie według tej metodologii skonstruowanych, części składowych wyrobu.

W kolejnym podrozdziale stanowiącym przegląd w zakresie planowania sekwencji montażu skupiono się na dwóch ważnych zagadnieniach, tj. aktualnie stosowanych algorytmach generowania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu oraz na opracowanych metodach oceny i wyboru najwłaściwszych z wyznaczonego zbioru rozwiązań. Wcześniej wykazano istotność montażu w procesie produkcyjnym.

W zakończeniu niniejszego rozdziału, na podstawie dokonanego przeglądu, sformułowano wnioski uzasadniające celowość podjętego w dysertacji tematu.

2.1. Proces projektowo-konstrukcyjny

Na początku procesu realizacji maszyny (zespołu) jest zawsze projektowanie inżynierskie. Każde działanie inżyniera w procesie rozwoju i wprowadzania wyrobu na rynek wiąże się z pewną metodyką postępowania. Projektowanie i konstruowanie

początkowo było działaniem praktycznym opartym na doświadczeniu i intuicji. W początkowych latach nie należało do sformalizowanych dziedzin będących przedmiotem badań naukowych. Dopiero w połowie dwudziestego wieku rozwinięto badania nad procesem projektowania, w szczególności nad jego makro- i mikro- strukturą, jak również nad uogólnieniem i sformalizowaniem czynności projektowych, opracowaniem metod i procedur jemu towarzyszących [21, 27, 29, 33, 88]. Zagadnienie to stało się przedmiotem badań na świecie oraz w Polsce, co stało się przyczynkiem do opracowania wielu modeli i metod projektowania. Poniższą ich charakterystykę ograniczono do wybranych modeli.

Najogólniejszym podziałem modeli procesu projektowania jest podział na modele preskryptywne i deskryptywne [73]. Modele preskryptywne opisują strukturę procesu projektowania i zalecają kolejność wykonywania działań. Zostały one opracowane w oparciu o doświadczenia autorów. Do drugiej grupy modeli procesu projektowania, tj. modeli deskryptywnych należą metody opisujące rzeczywiste działania wykonywane w czasie realnego projektowania. Większość procedur dzieli proces projektowo-konstrukcyjny (PPK) na podobne etapy. Ich uogólnieniem mógłby być podział PPK na:

- formułowanie zadania,
- projekt wstępny,
- projekt szczegółowy,
- dokumentacja techniczna.

Wybrane modele (preskryptywne i deskryptywne) oraz ich elementy składowe szerzej scharakteryzowane są w odpowiedniej literaturze, natomiast w tabeli 2.1 zestawiono wyselekcjonowane modele, ich autorów i główne etapy proponowanego postępowania przy projektowaniu w odniesieniu do uwzględniania wymogów montażu.

Spośród wybranych modeli preskryptywnych jawne uwzględnienie wymogów montażu, jakkolwiek zbyt późno podczas PPK, proponują Pahl i Beitz [59], Dziama [29], Asimow [2], Krick [47], Hubka [42], Pugh [62]. Z kolei J. i M. Dietrich [27, 28], Tarnowski [92], Cross [22] oraz Archer [1] nie ujmują w swoich modelach jawnego uwzględniania wymogów technologicznych, czy montażowych.

W drugiej grupie modeli, tj. modelach deskryptywnych wyróżniono kilka opracowań, z których, w każdym uwzględniono wymogi montażowe, jednak w propozycjach Marcha [54] i Matchetta [56], zdaniem autora, zbyt późno.

Tabela 2. 1. Zestawienie modeli procesu projektowo-konstrukcyjnego [opracowanie własne]

L.p.	Autor modelu	Etapy projektowania	Uwzględnienie wymogów wytwarzania /montażu
1.	Pahl G., Beitz W.	1) Formułowanie zadania 2) Projekt koncepcyjny 3) Projekt konstrukcyjny 4) Projekt realizacyjny	tak - po przyjęciu projektu ostatecznego
2.	Dziama A.	1) Poszukiwanie koncepcji 2) Projektowanie zasadnicze	tak – analiza funkcjonalna po sporządzeniu projektu wstępnego
3.	Dietrych J.	1) Koncepcja 2) Projekt wstępny 3) Projekt szczegółowy	niejawne uwzględnienie
4.	Tarnowski W.	1) Identyfikacja potrzeby 2) Projektowanie wstępne 3) Projektowanie szczegółowe 4) Dokumentacja techniczna	niejawne uwzględnienie
5.	Asimow M.	1) Badanie wykonalności 2) Projektowanie wstępne 3) Projektowanie szczegółowe 4) Planowanie wytwarzania 5) Planowanie dystrybucji 6) Planowanie użytkowania 7) Planowanie wycofania	tak – jako podetap planowanie wytwarzania po projekcie szczegółowym
6.	Krick E.	1) Formułowanie problemu 2) Analiza problemu 3) Poszukiwanie rozwiązań 4) Podejmowanie decyzji 5) Opracowanie dokumentacji	niejawne uwzględnienie
7.	Archer L.	1) Sformułowanie problemu 2) Gromadzenie informacji 3) Analiza problemu 4) Synteza problemu 5) Dokumentacja wykonawcza	tak – ostatni etap sporządzenie dokumentacji wykonawczej
8.	Cross N.	1) Sformułowanie celów 2) Określenie funkcji 3) Ustalenie wymagań 4) Utworzenie alternatyw 5) Ocena i ulepszenie wariantów	niejawne uwzględnienie
9.	Hubka V.	1) Opracowanie i analiza wymagań 2) Projektowanie koncepcyjne 3) Projektowanie wstępne 4) Projektowanie szczegółowe	tak – ostatnia faza projektowanie szczegółowe
10.	Pugh S.	1) Określenie wymagań rynku 2) Projektowanie koncepcyjne 3) Projektowanie szczegółowe 4) Wytwarzanie 5) Wprowadzenie produktu na rynek	tak – etap wytwarzanie po projektowaniu szczegółowym
11.	Matchett E.	1) Badanie sytuacji problemowej 2) Określenie potrzeb 3) Określenie potrzeby głównej 4) Badanie możliwości realizacji funkcji głównej 5) Propozycja projektu 6) Kontrola funkcjonalna projektu 7) Kontrola materiałochłonności i pracochłonności projektu	tak – jako kontrola sporządzonego projektu pod względem: materiałochłonności i pracochłonności
12.	Rohatyński R.	charakter iteracyjny poszczególnych faz procesu projektowo-konstrukcyjnego	tak – niejawne ciągle doskonalenie postaci konstrukcyjnej dla wytwarzania i montażu

Odmienne modele projektowania, w tej grupie, charakteryzujące się cyklicznym procesem generowania i ulepszania rozwiązań cząstkowych były wynikiem prac Gero [43] oraz Rohatyńskiego [67, 68, 69, 79]. W modelu opracowanym przez Rohatyńskiego projektowany obiekt znajduje się w stanie S^m , kiedy zostało określonych m z ogólnej liczby M jego całości oraz została sprawdzona ich zgodność wewnętrzna i zewnętrzna (sprawdzenie zgodności jest częścią operacji projektotwórczej). Po wykonaniu operacji projektotwórczej projektowany obiekt przechodzi w bardziej zaawansowany stan S^{m+1} , który podlega ocenie w systemie projektującym i - po zaakceptowaniu - staje się stanem aktualnym S^m . Do określenia pozostaje $(M - m)$ całości. Poprzez takie ujęcie (operacyjno-systemowe) wymogi procesu montażu uwzględniane są w kolejnych iteracjach doskonalenia projektu. Bardziej szczegółowy opis operacji projektotwórczej i pojęcia całości można znaleźć w publikacjach autora [68, 69].

W scharakteryzowanych modelach procesu projektowo-konstrukcyjnego nie zawsze jawnie uwzględnione są w fazie projektowania wymogi wytwarzania i montażu. Jeżeli są uwzględnione to wydaje się, że zbyt późno, tj. po opracowaniu projektu wstępnego, a nawet po sporządzeniu dokumentacji konstrukcyjnej.

W większości przypadków projektant i konstruktor nie mają wystarczającej wiedzy do dostosowania konstrukcji projektowanego wyrobu celem zapewnienia poprawnej i efektywnej jego produkcji. Wynika to z faktu, że nie mają oni doświadczenia w zakresie problemów pojawiających się w fazie wytwarzania, montażu i dalszych. Należałoby zatem podczas prac projektowo-konstrukcyjnych umożliwić analizę powstającej konstrukcji i jej części składowych ukierunkowaną na efektywność jej wytworzenia. W projektowaniu należałoby umożliwić jawne uwzględnianie wymogów procesu montażu, zwłaszcza analizę możliwych sekwencji montażu dla istniejącej konstrukcji.

Tradycyjny pogląd na projektowanie i wytwarzanie produktu można by było sformułować „my projektujemy, wy wytwarzacie”. Jednak obecnie w coraz szerszym zastosowaniu pogląd ten zmienił swoją treść na „projektowanie zintegrowane”, przez co rozumie się uwzględnienie wymogów wszystkich etapów rozwoju produktu w możliwie wczesnym etapie projektowania. Takie podejście stało się przyczynkiem rozwoju projektowania współbieżnego.

2.2. Projektowanie współbieżne

W odróżnieniu od tradycyjnego, realizowanego sekwencyjnie przebiegu działań projektowych, projektowanie współbieżne cechuje się równoległością i wieloaspektowością prowadzonych działań [3, 14, 49, 67, 69]. Literatura dostarcza wielu koncepcji i przykładów zastosowań o bardzo różnym stopniu szczegółowości i zakresie [3, 13, 15, 49, 67, 69, 87]. Projektowanie współbieżne zakłada uwzględnianie, na każdym etapie projektu, wymagań poszczególnych etapów całego cyklu istnienia produktu, co oznacza jak najwcześniejszą identyfikację wpływu cech konstrukcyjnych na wszystkie istotne właściwości produktu. Proces projektowania stał się przedmiotem działań zespołów złożonych ze specjalistów różnych dyscyplin.

W odniesieniu do tradycyjnego podejścia dotyczącego projektowania i konstruowania idea współbieżności prowadzonych prac projektowo-konstrukcyjnych wydaje się być nieunikniona w obecnych uwarunkowaniach rynkowych. Wynika to z tego, że jakiegokolwiek zmiany własności produktu wymagają zmian konstrukcyjnych a nawet modyfikacji założeń projektowych. Te czynności nie są integralną częścią procesu wytwarzania i muszą go poprzedzać. Z kolei możliwości zmiany konstrukcji wyrobu w fazie jego wytwarzania są bardzo ograniczone i kosztowne. Ta problematyka szerzej opisana została w publikacjach [13, 18, 72].

Podstawowym założeniem projektowania współbieżnego jest integracja metodyki projektowania zorientowanego (Design for ... X) oraz maksymalizacja równoległości poszczególnych działań procesu projektowo-konstrukcyjnego. Do grupy metod projektowania zorientowanego należą między innymi metody uwzględniające wytwarzanie i montaż, integrację systemów CAD/CAM, zagadnienia zarządzania i organizacji pracy zespołowej itp. Ze względu na tematykę niniejszej pracy, na szczególną uwagę zasługuje metoda przedstawiona przez Boothroyda i Dewhursta - „projektowanie dla wytwarzania i montażu” (ang. Design for Manufacture and Assembly - DFMA) [11, 12], zwłaszcza projektowanie dla montażu (ang. Design for Assembly - DFA).

2.3. Projektowanie dla montażu

Projektowanie dla montażu jest składową projektowania dla wytwarzania i ma na celu projektowanie elementów i zespołów, których wytworzenie i montaż są łatwe i tanie. Zwykle im prostsza konstrukcja, im mniejsza liczba jej części składowych, tym łatwiejszy i tańszy proces montażu. Uwzględnienie w fazie projektowania wymagań technologicznych i montażowych prowadzi do znacznego zmniejszenia kosztów wytwarzania [6, 11, 12, 41, 83].

Istotność projektowania dla montażu wynika z faktu, że koszty montażu stanowią znaczną część całkowitego kosztu wytwarzania. Dlatego sposób i kolejność montażu powinny być przedmiotem analizy realizowanej we wczesnych etapach projektowania, a wybór struktury i postaci konstrukcyjnej powinien uwzględniać wymagania montażu. Boothroyd i Dewhurst, w swoich pracach [11, 12] zaproponowali metodę projektowania dla wytwarzania i montażu dostosowaną do wykorzystania we wczesnych etapach powstawania produktu. Dzięki wykorzystaniu metod projektowania dla montażu w wielu przedsiębiorstwach udało się zredukować liczbę operacji montażowych i czas montażu. Godnym podkreślenia jest fakt, że metody projektowania dla wytwarzania i montażu zawierają procedury sprawdzania i kontroli jakości, dzięki którym można w odpowiednim czasie wyeliminować braki i części o złej jakości [67, 69].

Metodologia DFA stosowana jest przede wszystkim w celu minimalizacji liczby części składowych projektowanego wyrobu oraz uproszczeniu wykonywania operacji montażowych, a także do zredukowania całkowitych kosztów realizacji procesu montażu. Praktyczne wykorzystanie metod DFA przyjęto z dużym zainteresowaniem w wielu przedsiębiorstwach nie tylko w wersji „książkowej”, a coraz szerzej w formie specjalistycznego oprogramowania. Zastosowanie DFA w niektórych przedsiębiorstwach stało się obowiązkowe [11, 45]. Niektóre firmy podają, że dzięki temu podejściu zmniejszono liczbę części i średni koszt montażu o ok. 40%. Osiągnięto też jednostkowe zmniejszenie kosztu bezpośredniej robocizny i kosztu materiałów w granicach 15÷35%. Należy zauważyć, że te oszczędności uzyskano na wyrobach, które były uważane za dobrze zaprojektowane, przy wykorzystaniu analizy wartości [8, 23, 67].

Ponadto wykorzystanie metodologii DFA wpływa na silną współzależność pomiędzy wydajnością montażu i ilością występowania błędów podczas procesu montażu. Stwierdzono, że DFA wpływa na zmniejszenie błędów montażowych nawet o 80% [9, 11, 16, 67, 94, 95].

W literaturze przedmiotu odnaleźć można zróżnicowane zastosowanie metodologii „projektowania dla montażu”. W pracach [17, 24, 30] autorzy wykazują celowość stosowania ogólnie znanych narzędzi DFA w fazach rozwoju wyrobu, zwłaszcza w jego wczesnych etapach (np. proces konstruowania). W dostępnych opracowaniach dostrzec można również próby opracowania efektywnych narzędzi wspomagających projektowanie zorientowane na montaż [6, 38, 63, 65, 93, 96]. Metody DFA ułatwiają przede wszystkim identyfikację możliwości zmniejszenia liczby części i oszacowanie kosztów wytwarzania i montażu. Dzięki wprowadzeniu DFA do procesu projektowania zespół opracowujący wyrób proponuje ulepszone rozwiązania projektowe, które charakteryzują się lepszymi wskaźnikami: prostą konstrukcją, mniejszą liczbą części i uproszczeniem operacji montażowych. Korzyści, które daje zastosowanie DFA wynikają głównie z systematycznego przeglądu wymagań funkcjonalnych i zastąpienia grup elementów przez pojedyncze zintegrowane jednostki.

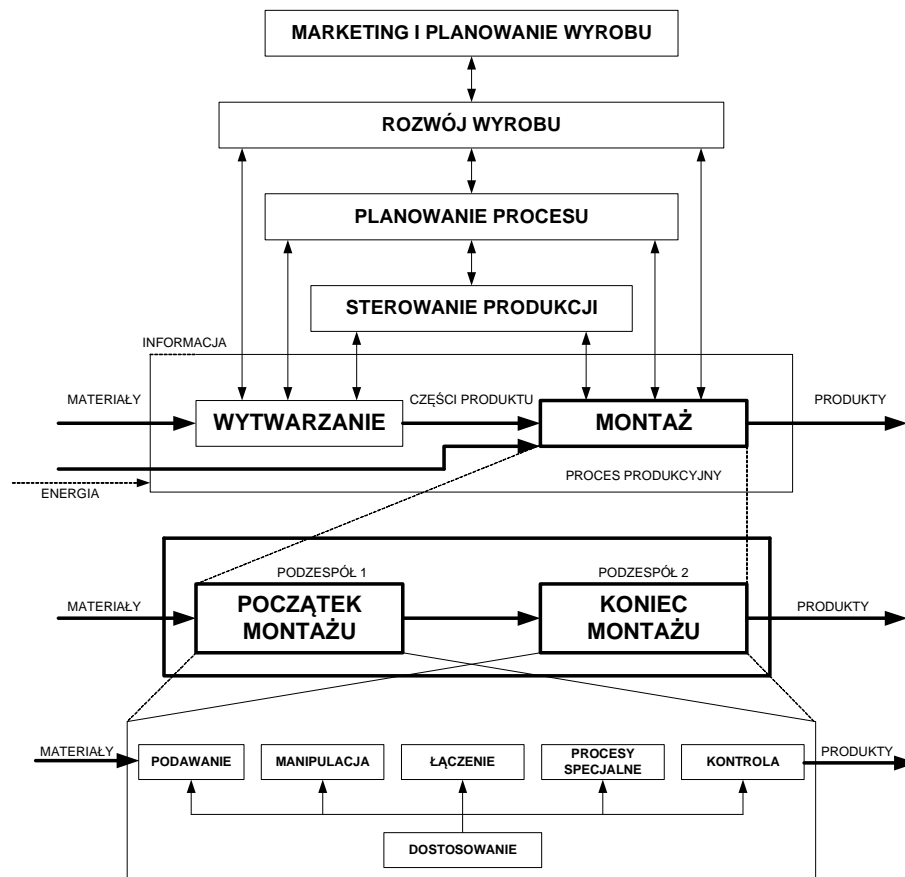
Scharakteryzowana w niniejszym podrozdziale metodologia „projektowania dla montażu” jest z jednej strony odpowiedzią na braki w ujęciu tradycyjnych modeli procesu projektowo-konstrukcyjnego, które wykazano w podsumowaniu podrozdziału 2.1, z drugiej zaś strony, jest zwróceniem uwagi autora na pewne ograniczenia w praktycznym zastosowaniu omawianej metodologii. W „projektowaniu dla montażu” możliwość analizowania konstrukcji wyrobu i jego części składowych, z uwzględnieniem wymogów procesu ich łączenia, jest ograniczona do jednego, przyjętego wariantu kolejności montażu wyrobu. Stwarza to trudność i zarazem niepewność w określeniu najkorzystniejszego przebiegu procesu montażu wyrobu.

2.4. Proces montażu

Proces montażu istotnie wpływa na koszt i czas realizacji oraz na niezawodność i trwałość produktu finalnego. Proces ten związany jest z procesem wytwarzania poprzez

przebieg wyrobów i materiałów. W relacji do procesu rozwoju produktu, montaż stanowi część procesu produkcyjnego, poprzez integrację informacyjną z jego kolejnymi fazami [45]. Relacje te przedstawiono na rysunku 2.1 [45].

Z przedstawionego na rysunku 2.1 schematu, wiążącego montaż z wcześniejszymi fazami realizacji wyrobu, wynika konieczność stosowania współbieżności przepływu informacji pomiędzy składowymi procesami projektowo-konstrukcyjnego, wytwarzania i produkcji.



Rys.2. 1. Montaż jako składnik procesu produkcyjnego [45]

Usprawnienia w procesie montażu uwarunkowane są poprzez świadome kształtowanie parametrów czynników wpływających na ten proces [11, 32, 61, 66, 67, 90, 94]. Do tych czynników zaliczyć można: wpływ przedmiotu pracy, wpływ robotników, wpływ środków pracy, wpływ organizacji produkcji, wpływ warunków produkcyjnych, itp. Dawniej projektowanie procesu montażu wykonywane było wyłącznie przez człowieka, który uważnie studiując dokumentację techniczną i wykorzystując swoje doświadczenie ustalał kolejność łączenia części składowych produktu i pozostałe czynności realizowane podczas montażu. Takie postępowanie nie zapewniało zadowalających rezultatów i obarczone było błędami ujawniającymi się w trakcie montażu, a nawet podczas eksploatacji. Zauważalny

postęp w zakresie rozwoju technik montażu, obejmuje swoim zakresem między innymi: automatykę, sterowanie, technologię, konstrukcję, organizację, wytwarzanie i inne [53]. Pomimo istniejących potrzeb w zakresie doskonalenia wymienionych składników zintegrowanych z montażem, w literaturze, nie poświęca się tej tematyce wystarczająco dużo miejsca.

2.5. Planowanie sekwencji montażu

Planowanie sekwencji montażu polega na ustaleniu wykonalnej i zarazem najkorzystniejszej (wg odpowiednich kryteriów) kolejności łączenia jednostek montażowych prostych w jednostki bardziej złożone prowadzącej do otrzymania produktu końcowego spełniającego wszystkie założenia projektowe i funkcjonalne.

Zagadnienie wyboru odpowiedniej sekwencji montażu jest złożone ze względu na dużą liczbę kombinacji, ponieważ teoretyczna liczba wariantów sekwencji montażu rośnie wykładniczo wraz z liczbą łączonych części. Opisane w literaturze metody różnią się rodzajem i sposobem zapisu danych wejściowych oraz sposobem generowania wariantów i selekcji rozwiązania końcowego. Ze względu na sposób opisu jednoznaczna klasyfikacja metod nie jest łatwa. Spośród publikacji zagranicznych należy wymienić metody opracowane przez, Homem de Mello i Sanderson [39, 81], De Fazio i Whitney [25, 26], Gottipolu i Ghosh [34, 35]. W Polsce duży wkład w rozwój teorii oraz modelowania i symulacji procesów projektowania montażu wniosły prace realizowane pod kierunkiem prof. Żurka [20, 97 - 100]. Warto wymienić również prace Łebkowskiego [51, 52] i Izdebskiego [44], w których podjęto tematykę zagadnienia ustalania kolejności montażu.

W powszechnie spotykanych wyrobach określić można setki, a nawet tysiące wykonalnych sekwencji montażu. Stanowi to podstawę do opracowania procedur ukierunkowanych na redukcję liczby dopuszczalnych sekwencji montażu celem łatwiejszego wyboru najkorzystniejszej (ew. kilku równoważnych sobie) sekwencji lub procedur zapewniających możliwość efektywnego wyboru najlepszego rozwiązania. Pierwszym ważnym etapem jest wygenerowanie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu, kolejnym krokiem jest ocena i wybór najlepszego rozwiązań. Aby zrealizować powyższe dwa kroki należy po pierwsze - opracować efektywny algorytm generowania

zbioru dopuszczalnych rozwiązań, po drugie - dobrać odpowiednie wskaźniki oceny oraz opracować procedury pozwalające na efektywne poszukiwanie najlepszych sekwencji. W wyidealizowanym systemie oba kroki powinny być realizowane możliwie współbieżnie, ale w praktyce, nie zawsze możliwa jest równoczesna ich realizacja. Dlatego też dąży się do włączenia procesu oceny i wyboru sekwencji w możliwie wczesnej fazie powstawania wyrobu.

Złożoność wyrobu (większa liczba części składowych) utrudnia wyznaczanie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu i prowadzi do zjawiska, trudno rozwiązywalnej - „eksplozji kombinatorycznej” [51, 52, 94].

2.5.1. Wyznaczanie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu

Zagadnienie wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu jest zadaniem istotnym w planowaniu kolejności montażu. W dostępnej literaturze jest wiele opracowanych metod rozwiązujących to zagadnienie, co pozwala na ich przegląd i klasyfikację według cech charakterystycznych. Poniżej przedstawiono przegląd metod wyznaczania kolejności procesu montażu w oparciu o wybraną literaturę [5, 7, 13, 25, 34, 37, 39, 40, 44, 48, 50, 52, 55, 57, 91, 94, 98].

Najogólniej metody wyznaczania sekwencji montażu (WSM) podzielić można na metody ścisłe, oraz przybliżone. Podział ten zaproponował Łebkowski w swoich opracowaniach [51, 52] i wydaje się on być najogólniejszy.

Innym istotnym podziałem są metody rozwiązujące problem WSM jako zadanie typowo montażowe oraz metody odwracające zagadnienie ustalania kolejności montażu w zadanie ustalania kolejności demontażu.

Kolejnym, bardziej szczegółowym podziałem tych metod jest podział ze względu na sposób rozwiązania problemu WSM. Wyróżnić możemy pięć grup:

- tradycyjna procedura generowania zbioru kolejności montażu, złożona jest z trzech podstawowych kroków. Pierwszym z nich jest definiowanie relacji kolejnościowych dla wszystkich części składowych rozważanego zespołu montażowego. Drugim krokiem jest, na podstawie wcześniej zdefiniowanych zależności pomiędzy częściami, wygenerowanie (poprzez stosowny algorytm)

zbioru sekwencji montażowych. Ostatnim krokiem tradycyjnego podejścia jest ocena i wybór najlepszej(ych) sekwencji,

- drugą grupę metod charakteryzuje zastosowanie procedur grupujących części składowe w podzespoły. Dopiero wtedy przy wykorzystaniu prostych reguł (najczęściej reguły opierają się na relacjach kolejnościowych) wyznaczane są podsekwencje dla każdego z podzespołów montażowych. Kolejnym krokiem jest synteza podsekwencji, w rezultacie czego, wygenerowany zostaje zbiór wariantów kolejności łączenia części,
- trzecią grupę stanowią metody wykorzystujące systemy ekspertowe,
- czwartą grupę stanowią metody bazujące na racjonalizacji wykorzystującej bazę dotychczas rozwiązanych zadań WSM,
- procedury wykorzystujące tzw. „sztuczną inteligencję”.

Z kolei Whitney [7, 25, 94] klasyfikuje metody WSM ze względu na rezultaty końcowe. W opracowanej klasyfikacji wyróżnia cztery grupy metod, w rezultacie których uzyskujemy: wszystkie możliwe sekwencje, wszystkie liniowe sekwencje, jedną możliwą sekwencję, jedną możliwą liniową sekwencję.

Innego podziału dokonać można ze względu na zróżnicowaną reprezentację danych wejściowych, rolę użytkownika oraz sposób zapisu otrzymanych wyników (opracowanie własne). Klasyfikację taką zestawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2. 2. Klasyfikacja wybranych metod wariantowania sekwencji montażu [opracowanie własne]

Źródło	Użytkownik	Reprezentacja danych wejściowych	Otrzymane wyniki	Reprezentacja wyników
A. Bourjault	Odpowiedzi na pytania (lista relacji poprzednictwa)	Graf powiązań	Generuje wszystkie sekwencje montażowe	Drzewa hierarchiczne
D.E. Whitney De Fazio	Odpowiedzi na pytania (lista relacji poprzednictwa operacji)	Graf powiązań	Generuje wszystkie sekwencje montażowe	Graf skierowany stanów procesu montażu
L.S. Homem de Mello A. C. Sanderson	Budowa modelu relacyjnego zespołu	Graf powiązań /przekroje grafu(możliwy podział grafu)	Generuje wszystkie sekwencje montażowe	Graf and/or
J. Żurek O. Ciszak	Definiowanie połączeń oraz kolizji pomiędzy częściami, identyfikacja podzespołów	Grafy Berge'a	Generuje zbiór sekwencji montażowych spełniających ograniczenia	Graf skierowany

Tabela 2.2. Klasyfikacja wybranych metod wariantowania sekwencji montażu – c.d.

P.Gu	Baza danych modelu montowanego zespołu	Graf powiązań	Generuje sekwencję operacji spełniającą narzucone ograniczenia	Uporządkowany ciąg nazw części (kolejność łączenia części)
Metoda modelu rozstrzelonego dla zespołów z osią główną	Budowa relacyjnego modelu produktu	Graf skierowany – graf modelu eksplodującego	Zbiór sekwencji montażowych	Graf struktury zespołu
Metody z zastosowaniem sztucznej inteligencji (m.in. P.Łebkowski)	Definiowanie struktury produktu i ograniczeń kolejnościowych	Kod genetyczny	Generuje zbiór dopuszczalnych sekwencji montażu	Grafy skierowane

Przedstawione powyżej klasyfikacje wydają się wystarczające celem przeglądu ważniejszych cech charakterystycznych wybranych metod.

Tradycyjna procedura generowania zbioru sekwencji montażu składa się z trzech podstawowych etapów (I. Definiowanie ograniczeń, II. Algorytm wyznaczania sekwencji montażu, III. Ocena i wybór optymalnej sekwencji) i każdy z tych etapów rozwiązywany może być różnymi metodami. Poniżej, dla każdego z wymienionych trzech etapów tradycyjnego podejścia rozwiązania WSM, scharakteryzowane zostaną wybrane metody rozwiązywania.

Etap pierwszy - I. Definiowanie ograniczeń - polegający na zapisie struktury analizowanego produktu i na ustaleniu relacji kolejnościowych. Zagadnienie to rozwiązywane jest różnymi sposobami:

- metoda opublikowana przez Bourjault (1984) stanowiła pierwsze opracowanie algorytmu generującego wszystkie możliwe sekwencje montażu. Jej cechą charakterystyczną jest definiowanie wszystkich relacji poprzednictwa dla wszystkich połączeń pomiędzy częściami składowymi rozważanego zespołu. Relacje poprzednictwa ustalane są na zasadzie pytanie – odpowiedź, co w konsekwencji eliminuje niepożądane stany montażowe. Wykorzystywane są dwa rodzaje pytań: „Czy jest możliwe wykonanie połączenia i jeżeli połączenie j jest już wykonane?” oraz „Czy jest możliwe wykonanie połączenia i jeżeli połączenie j jest jeszcze nie wykonane?”. Dla x analizowanych połączeń w zespole należy odpowiedzieć na $2 \cdot (x^2 - x)$ pytań. Podejście to ma istotną wadę, polegającą na tym, że przy dużej złożoności zespołu (duża ilość części składowych) wzrasta znacznie liczba koniecznych pytań i odpowiedzi. Dodatkowo metoda ta jest wrażliwa na pomyłki

użytkownika (osoby odpowiadającej na pytania) wynikające z subiektywnej analizy geometrycznej zespołu. Oprócz relacji kolejnościowych nie ma możliwości wprowadzenie dodatkowych ograniczeń,

- Whitney i De Fazio (1987) [7, 25] rozbudowali wcześniejszą metodę opracowaną przez Bourjault celem zwiększenia jej efektywności przy wzrastającej złożoności zespołu. Do ustalenia relacji kolejnościowych Whitney i De Fazio wykorzystali podobnie jak Bourjault dwa rodzaje pytań, lecz w zmienionej formie, pozwalającej na zredukowanie liczby zadawanych pytań, a tym samym zredukowanie liczby niezbędnych odpowiedzi na nie. Zadawane pytania to: „Które połączenie musi być wykonane przed połączeniem i ?” oraz „Które połączenia nie mogą być zrealizowane przed połączeniem i ?” Liczba koniecznych pytań zredukowana została do $2x$, gdzie x - jest liczbą analizowanych połączeń. Poza relacjami kolejnościowymi nie ma możliwości wprowadzania dodatkowych ograniczeń,
- innym sposobem definiowania relacji kolejnościowych jest podejście inwersyjne bazujące na demontażu analizowanego zespołu. Odwrócony jest zatem problem montażu w zagadnienie demontażu, głównie ze względu na to, że produkt końcowy zawiera wszystkie informacje dotyczące jego części składowych oraz relacji pomiędzy nimi. Możliwość demontażu części składowej lub wydzielonego podzespołu bezpośrednio określa relacje poprzednictwa. Jedną z metod przynależnych do tej grupy opracowali Homem de Mello i Sanderson [13, 39]. Opracowana przez nich metoda polega na stopniowej dekompozycji produktu końcowego w podzespoły niższego rzędu, aż do oddzielenia wszystkich części składowych analizowanego produktu. Podzespoły (oraz części składowe) identyfikowane są przez analizę zbioru cięć grafu powiązań całego zespołu. Na podstawie tej analizy określone są relacje kolejnościowe pomiędzy podzespołami i częściami składowymi analizowanego wyrobu,
- relacje kolejnościowe również mogą być określane na podstawie rysunków eksplodujących. Podejście to opracował Kroll [48].

Drugim krokiem (II. Algorytm wyznaczania sekwencji montażu) w rozwiązywaniu zagadnienia WSM jest generowanie zbioru możliwych sekwencji montażu. Istnieje wiele odmiennych algorytmów wykorzystywanych do wyznaczania sekwencji montażu, ale zdecydowana ich większość bazuje na definiowaniu połączeń pomiędzy częściami oraz

wykorzystaniu relacji kolejnościowych. Do generowania sekwencji montażowych wykorzystuje się przede wszystkim działania na grafach, macierzach, grupowanie części składowych, przeszukiwanie oparte na wcześniej rozwiązanych przykładach, metody wykorzystujące bazy wiedzy i inne. Warunkiem koniecznym do wyznaczenia możliwych sekwencji montażu jest zdeterminowanie relacji styku (połączenia pomiędzy częściami składowymi) oraz istotnych relacji kolejnościowych pomiędzy częściami składowymi zespołu.

Jedną z wykorzystywanych form do zapisu struktury wyrobu są grafy odwzorowujące wszystkie części składowe oraz relacje pomiędzy nimi. Sekwencje montażowe generowane są głównie przy wykorzystaniu metody „cięć grafu” w podgrafy lub metod przeszukiwania grafu. Wykorzystana metoda zależy od typu stosowanego grafu. Dla przykładu, grafy połączeń określają informacje o połączeniach natomiast grafy and/or zawierają informacje poprzednictwa. Reprezentacja graficzna wykorzystana jest między innymi w opracowaniach [5, 13, 34, 39, 44, 94, 98].

Innym zapisem stosowanym w wyznaczaniu sekwencji montażu jest zapis w formie macierzy. Stosowane do odwzorowania struktury wyrobu macierze to przede wszystkim macierze: incydencji, adiacencji, kolizji, sąsiedztwa wierzchołków, połączeń [34, 44, 66, 94, 98]. Ponadto macierze są szeroko stosowane do zapisu relacji styków i relacji poprzednictwa pomiędzy częściami składowymi produktu.

Proponowane są również podejścia polegające na grupowaniu części w zbiory tworzące podzespoły odrębnie rozważane w dalszych analizach. Wyznaczanie sekwencji montażu części składowych sprowadza się do generowania podsekwencji dla wydzielonych podzespołów i w dalszej części agregacji uzyskanych podsekwencji w sekwencje wynikowe [13, 34, 48, 98]. Zmniejsza to zdecydowanie czas poszukiwania rozwiązania końcowego.

Kolejnymi grupami metod WSM są metody bazujące na systemach ekspertowych i bazach wiedzy. W metodach tych wykorzystywana jest przede wszystkim wiedza o strukturze montażu, ograniczeniach poprzednictwa i zasobów. Sekwencje montażu wyznaczone są przy wykorzystaniu klasycznych metod przeszukiwania grafów skierowanych - celem wyszukania ścieżki odpowiadającej kryterium lub kryteriom poszukiwania.

Metody heurystyczne charakteryzuje przede wszystkim duża prędkość obliczeniowa. Do metod tych zaliczamy między innymi metodę opracowaną przez Gu [36], metody

wykorzystujące rysunek rozstrzelony (eksplodujący) [48], metody z zastosowaniem sztucznej inteligencji (algorytmy ewolucyjne, genetyczne) [24, 40, 55]. Metody te, choć dają jedynie przybliżone rozwiązania, ograniczają w dużym stopniu eksplozję kombinatoryczną.

Ostatnim etapem (III. Ocena i wybór optymalnej sekwencji) trzystopniowej procedury wyznaczenia sekwencji montażu jest ocena i wybór sekwencji montażowej według odpowiednich kryteriów. Po wyznaczeniu zbioru kolejności montażu należy wyselekcjonować jedną lub kilka, równoważnych sobie, najkorzystniejszych sekwencji montażu części składowych wyrobu. Poniżej, w podpunkcie 2.5.2, przedstawiono wybrane kryteria wykorzystywane do oceny sekwencji montażowych.

2.5.2. Ocena i wybór sekwencji montażu

Po wyznaczeniu dopuszczalnych sekwencji montażu powinna zostać wyselekcjonowana, poprawna i najkorzystniejsza sekwencja z wygenerowanego zbioru, zgodnie z przyjętymi kryteriami oceny. Wybór najkorzystniejszej sekwencji montażu dokonywać można poprzez optymalizację wielokryterialną lub zastosowanie „filtrów” do odrzucania niekorzystnych, ale już wygenerowanych sekwencji. W dostępnych opracowaniach, ocena i wybór najkorzystniejszej sekwencji dokonywane są wg różnych kryteriów, uzależnionych od specyfiki zakładów, dostępności urządzeń itp.

Kryteriami oceny sekwencji mogą być kryteria bezpieczeństwa, niezawodności, masy, ekonomiki eksploatacji, technologiczności, ergonomii, estetyki, ekologii itp. [28]. Jednym z nich może być np. kryterium najmniejszego skomplikowania ruchów jednostek montażowych, trudność w osiągnięciu następnego stanu procesu, technologiczna zdolność produkcji, ekonomiczność i poprawność przebiegu montażu zastosowane przez Żurka i Ciszaka [97, 98] Innymi kryteriami wyboru optymalnej sekwencji montażu, proponowanymi przez Whitneya [25, 94] mogą być: trudność osiągnięcia stanów montażowych, trudność wykonania pojedynczej operacji, koszt systemu montażowego. Także kryterium stabilności struktury jednostki montażowej jest często wykorzystywane przy ocenie sekwencji montażu. W pracy [52] Łebkowski zwrócił uwagę, że ważnym kryterium oceny sekwencji powinno być uwzględnienie gabarytów montowanych

jednostek montażowych. W zaimplementowanym przez Łebkowskiego algorytmie ewolucyjnym funkcja dopasowania (oceniająca wygenerowane chromosomy reprezentujące sekwencje montażowe) uwzględnia „złożoność operacyjną czynności montażowej” oraz „złożoność logistyczną sekwencji”. Z kolei Gottipolu i Ghosh [34] kryteria oceny sekwencji pogrupowali jako jakościowe oraz ilościowe. W tych pierwszych uwzględniają między innymi: stabilność podzespołu, kolejność części i podzespołów, zgrupowanie części, jednolitość kierunku montażu, modułowość itp. Natomiast kryteria ilościowe odnoszą się do charakterystyk lub atrybutów poszczególnych stanów lub zadań montażowych. W pracy Sandersona, de Mello i Hanga [13], autorzy do oceny sekwencji proponują między innymi złożoność oprzyrządowania i manipulowania w osiągnięciu kolejnych stanów montażowych (przy uwzględnieniu stopni swobody jednostki montażowej), a także czas montażu, niezawodność, koszty zasobów. W systemie GAPP (Generative Assembly Process Planner) [50] kryteriami oceny sekwencji są: reorientacja, współbieżność, stabilność oraz grupowanie.

Najkorzystniejsza sekwencja montażu wyznaczona może być na wiele sposobów. Najczęściej realizowane jest to poprzez:

- wyznaczenie wszystkich sekwencji montażowych i znalezienie najkorzystniejszej, odpowiadającej zadanym kryteriom lub ocena wartościowa każdej sekwencji. Podejście to gwarantuje wyznaczenie najlepszego(ych) rozwiązania. Wadą tego podejścia jest techniczna niemożliwość generowania, zapisywania i oceniania każdej możliwej sekwencji (eksplozja kombinatoryczna),
- wyznaczenie sekwencji montażowych oraz znalezienie najlepszej sekwencji przez montaż lub demontaż produktu. Poszukiwanie rozpoczynamy od stanu początkowego (jedna część lub kompletny produkt) i stopniowo dołączamy kolejne najlepsze operacje montażowe (demontażowe). Przy dołączaniu kolejnych operacji montażowych oceniane są wszystkie spośród dostępnych i wybierana jest jedna. Metoda ta gwarantuje znalezienie rozwiązania najlepszego spośród lokalnych rozwiązań dla kolejnej operacji montażowej. Jednakże globalne optimum nie zawsze jest ustalone,
- wygenerowanie jednej sekwencji przy wykorzystaniu systemu bazującego na wiedzy. Zazwyczaj startuje się z bazowego elementu i rozważane są kryteria montażowe celem znalezienia dalszych części (lub podzespołów) aż do momentu kompletności całego produktu. Podejście to, podobnie jak poprzednie, zapewnia

znalezienie kolejnych najlepszych zadań montażowych, ale nie zapewnia globalnego optimum,

- przeszukiwanie oparte na wcześniej określonej populacji, rozpoczyna się od oceny wygenerowanej populacji i wyborze spośród wszystkich – najlepszej sekwencji. Ponieważ podejście to bazuje na poszukiwaniu rozwiązania w populacji, dlatego istnieje duże prawdopodobieństwo znalezienia globalnego najlepszego rozwiązania, jednak nie gwarantuje najlepszego rozwiązania.

Przeszukiwanie całkowite jest jedynie teoretyczną metodą stosowaną do optymalizacji planowania sekwencji montażu. Wykorzystując tę metodę do znalezienia optymalnej kolejności montażu należy wygenerować wszystkie sekwencje, poddać je ocenie i wybrać najlepszą. Ocena wykonana jest na podstawie kryteriów optymalizacyjnych lub poprzez wartościowanie każdej sekwencji. Najlepsza sekwencja montażu wyznaczona jest w oparciu o porównanie wartości ocenianych sekwencji. Teoretycznie sposób ten jest kompletny i gwarantuje odnalezienie optymalnej sekwencji. Konieczne jest jednak wyznaczenie wszystkich sekwencji, obliczenie (oszacowanie) ich wartości i ich zapisanie. Ogranicza to wykorzystanie tego sposobu do rozwiązywania prostych przypadków (podzespoły złożone do 10 komponentów).

Typowy eksperymentalny system planowania montażu wykorzystywany w przemyśle bazuje na jednym z dwóch podejść. Pierwsze z tych podejść wymaga od użytkownika wprowadzenia wszystkich ograniczeń w procesie montażu. Powstający tu problem polega na tym, że projektanci zazwyczaj nie wiedzą o tych ograniczeniach, a poznają je dopiero jak jedno (lub kilka) z nich zostaje przez nich naruszone. Drugim podejściem jest system generujący sekwencje montażowe, a zadaniem projektanta jest wykluczenie niepoprawnych (niepożądanych) sekwencji. Podejście to wymaga od projektanta narzucania kolejnych ograniczeń i testowanie wyników w procesie iteracyjnym, aż do uzyskania jednej lub kilku optymalnych sekwencji. Podejście eksperymentalne ma przewagę nad innymi poprzez dodawanie kolejnych ograniczeń i obserwowanie rezultatów ich zastosowania. Wadą tego podejścia jest długi czas rozwiązywania wynikający z dodawania kolejnych ograniczeń. Poza tym uzyskanie poprawnych rezultatów nie jest gwarantowane.

Stochastyczne metody poszukiwania pozwalają uzyskać bardzo dobre rezultaty w problemach o dużej złożoności kombinatorycznej. Metody te umożliwiają określenie globalnego minimum rozwiązania wykorzystując tendencje probabilistyczne pomiędzy

lokalnymi minimami (optymalizacja lokalna). Wadą tych metod jest stosunkowo długi czas rozwiązania.

Inne opracowania wykorzystują do problemu znalezienia optymalnej sekwencji montażu metody oparte na sztucznej inteligencji. W algorytmach genetycznych i ewolucyjnych chromosomy przeważnie reprezentują trzy zmienne: części składowe, kierunki i orientacje, w których części mogą być montowane oraz typ połączenia. Wszystkie chromosomy są jednakowej długości, inicjalna populacja zawiera wykonalne i niewykonalne kody sekwencji montażowych [7, 80, 87, 89].

2.6. Podsumowanie i wnioski

Współczesne uwarunkowania rynkowe wymusiły istotne zmiany w procesie przygotowania produktu. Ostra konkurencja zmusiła przedsiębiorstwa produkcyjne do redukcji czasu i kosztu wprowadzania nowego produktu na rynek przy jednoczesnym zachowaniu jego wysokiej jakości. Tradycyjny sposób realizacji, charakteryzujący się sekwencyjnym opracowaniem projektu i sposobu wykonania produktu nie daje możliwości osiągnięcia krótkiego czasu i niskiego kosztu realizacji oraz wysokiej jakości produktu. Potwierdza to przegląd stanu badań nie tylko w zakresie projektowania, ale również planowania procesu montażu i interakcji pomiędzy nimi. W wybranych modelach, powszechnie akceptowanych nie występuje jawne uwzględnienie wymogów wytwarzania i montażu. Owszem mówi się o tym, ale w sposób niejednoznaczny, wykorzystując przede wszystkim wiedzę oraz doświadczenie projektantów i konstruktorów. Proces montażu nie jest traktowany z należytą uwagą we wczesnych fazach projektowania i dlatego często pojawiają się w jego trakcie błędy wynikające przede wszystkim z braku uwzględniania wymogów tego procesu we wcześniejszych fazach projektowania. Proces ten stanowi integralną część procesu rozwoju produktu i stąd zajmuje on istotne miejsce w projektowaniu współbieżnym. W odpowiedzi na taki stan opracowano między innymi metodologię „projektowania dla montażu” reprezentującą grupę metod tzw. projektowania współbieżnego. Już podczas procesu koncepcyjnego oraz procesu projektowania konstrukcja wyrobu optymalizowana jest z uwzględnieniem zasad „projektowania dla montażu”.

W kolejnym etapie realizacji produktu, podczas planowania produkcji, prace dotyczące planowania procesu montażu ukierunkowane są przede wszystkim na wyznaczenie optymalnej kolejności montażu (sekwencji montażowej).

Zauważyć należy, że zwiększenie efektywności montażu znacznie lepiej uzyskać można poprzez modyfikowanie konstrukcji celem ustalenia jej poprawności ze względu na montaż niż poprzez technologiczne i organizacyjne modyfikacje do istniejącej, niezmienionej konstrukcji wyrobu. Wobec tego należy dążyć do możliwie wczesnego poprawiania technologiczności konstrukcji ze względu na montaż, w możliwie wczesnym etapie procesu projektowo-konstrukcyjnego, wtedy kiedy jest to tylko możliwe. Wymusza to z kolei współpracę konstruktorów i technologów, lub zapewnienie odpowiedniego narzędzia konstruktorom spełniającego rolę doradczą w tym zakresie. Warto podkreślić, że badania prowadzone w przedsiębiorstwach wykazały, że ok. 75% przyczyn wszystkich błędów w wyrobach (w tym i montażowych) związanych jest z fazą projektowania wyrobów, a ujawniają się dopiero w późniejszych fazach (wytwarzanie, montaż, kontrola jakości) [67, 94, 95].

W literaturze dotyczącej montażu uwagę poświęca się konstrukcji wyrobów, technologicznemu projektowaniu procesów montażowych, zagadnieniom pracy i roli człowieka w procesie montażu, kontroli jakości, a także planowaniu i kierowaniu tym procesem. Miejscem, w którym dokonuje się ustalenia odpowiedniej kolejności montażu, w praktyce, jest etap przygotowania technologicznego procesu montażu.

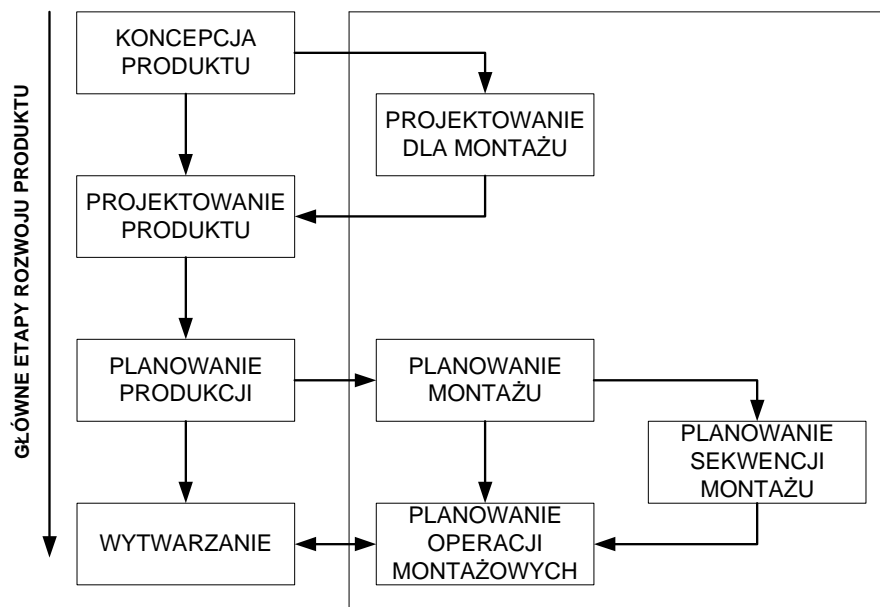
Wczesne zdeterminowanie wymogów montażu podczas procesu projektowo-konstrukcyjnego umożliwiłoby ukierunkowanie tego procesu na montaż, a tym samym pozwoliłoby eliminować zbędne (przeważnie duże) koszty wiążące się z poprawkami konstrukcji w dalszych etapach tego procesu. W każdej fazie procesu projektowo-konstrukcyjnego konstruktor powinien mieć świadomość dotyczącą sposobu wykonania projektowanego wyrobu, zwłaszcza jego części składowych.

Ważnym zagadnieniem w planowaniu przebiegu montażu jest ustalenie najkorzystniejszej sekwencji łączenia części. Zagadnienie wyznaczania dopuszczalnych sekwencji montażu i wyboru najkorzystniejszej jest zagadnieniem skomplikowanym i trudnym, ze względu na dużą ilość uzyskiwanych rozwiązań i jest rozwiązywane w zasadzie, dopiero po ukształtowaniu wyrobu, tzn., kiedy już znany jest dokładny opis geometryczny konstrukcji. Większość błędów występujących w procesie montażu nie jest

wynikiem nieuwagi, czy niedostatecznych szkoleń obsługi, ale wynikiem niepoprawnie zaprojektowanego wyrobu.

Przedstawione algorytmy generowania i oceny zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu nie są dostosowane do wykorzystania we wczesnych fazach procesu projektowo-konstrukcyjnego, wtedy gdy nie jest jeszcze zdeterminowana szczegółowo postać konstrukcyjna projektowanego wyrobu i jego części składowych.

Na rysunku 2.2 przedstawiono miejsca w trakcie rozwoju wyrobu, w których dotychczas można było uwzględniać wymogi procesu montażu. Zauważyć można, że najwcześniej stosowana jest metodologia „projektowania dla montażu”. Dopiero w późniejszych fazach, podczas przygotowywania produkcji występuje planowanie montażu, w sensie ustalenia jego struktury, kolejności operacji montażowych i innych. Wydaje się to być zdecydowanie za późno.



Rys.2. 2. Uwzględnienie wymogów montażu w rozwoju produktu [opracowanie własne]

Wobec powyższego, projektant, konstruktor, technolog, a także planista montażu powinni dysponować narzędziem umożliwiającym sprawdzanie i analizę tworzonej konstrukcji pod kątem wymagań montażowych. Powinni mieć również możliwość generowania wariantów sekwencji montażowych oraz oceny ich wpływu na przebieg i koszty procesu montażu.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury sformułowano następujące wnioski:

- w dotychczas opracowanych modelach tradycyjnego ujęcia procesu projektowo-konstrukcyjnego zbyt mało miejsca poświęca się na jawne uwzględnianie wymogów procesu montażu. Ponadto sekwencyjny proces projektowo-konstrukcyjny realizacji nowego wyrobu nie może już sprostać współczesnym wymaganiom wysoce konkurencyjnego rynku,
- metodologia „projektowania dla montażu” jakkolwiek uwzględnia wymogi montażu w projektowanym wyrobie, ale bez możliwości wariantowania kolejności montażu jego części składowych, a tym samym określenia najkorzystniejszej sekwencji ich łączenia,
- dotychczas opracowane algorytmy generowania, oceny i wyboru najkorzystniejszej sekwencji montażu nie są dostosowane do wykorzystania we wczesnych etapach kształtowania konstrukcji wyrobu, a ponadto w ocenie nie uwzględniają w większości zasad „projektowania dla montażu”,
- nie opracowano narzędzia komputerowego, ukierunkowanego na kształtowanie konstrukcji wyrobu, zapewniającego jednocześnie wybór najkorzystniejszej kolejności montażu z jednoczesnym uwzględnieniem ważniejszych zasad „projektowania dla montażu”.

3. Cel, zakres i teza pracy

Na podstawie sformułowanych w rozdziale 2.6 wniosków wyciągniętych z przeglądu literatury można stwierdzić, że istnieje potrzeba opracowania nowej metody komputerowego wspomaganie generowania sekwencji łączenia części zespołów maszyn, metody która będzie przydatna do stosowania we wczesnych fazach projektowania i będzie wykorzystywać wiedzę inżynierską do wyboru najlepszego rozwiązania.

Zatem cel pracy został sformułowany jak następuje:

Celem pracy jest opracowanie nowej, wspomaganie komputerowo metody wyboru najkorzystniejszej kolejności łączenia elementów maszyn, dostosowanej do projektowania współbieżnego i umożliwiającej dostosowanie konstrukcji do wymagań procesu montażu.

Tak sformułowany cel zostanie zrealizowany w kolejnych etapach:

- opracowanie koncepcji i założeń metody,
- opracowanie algorytmu generowania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu oraz sposobu definiowania ograniczeń kolejnościowych,
- opracowanie wskaźnika oceny sekwencji montażu,
- opracowanie prototypowej wersji komputerowej implementacji metody,
- praktyczne zastosowanie programu komputerowego w celu potwierdzenia skuteczności proponowanej metody,
- wnioski i kierunki dalszego rozwoju.

Teza pracy

W wyniku dokonanego w rozdziale 2 przeglądu literatury i własnego rozeznania stanu wiedzy w zakresie projektowania procesu montażu, sformułowano główną tezę pracy:

Istnieje możliwość opracowania nowej, komputerowo wspomaganej metody projektowania procesu montażu elementów i zespołów maszyn, która będzie cechowała się integralnym ujęciem istotnych jego aspektów, a w szczególności:

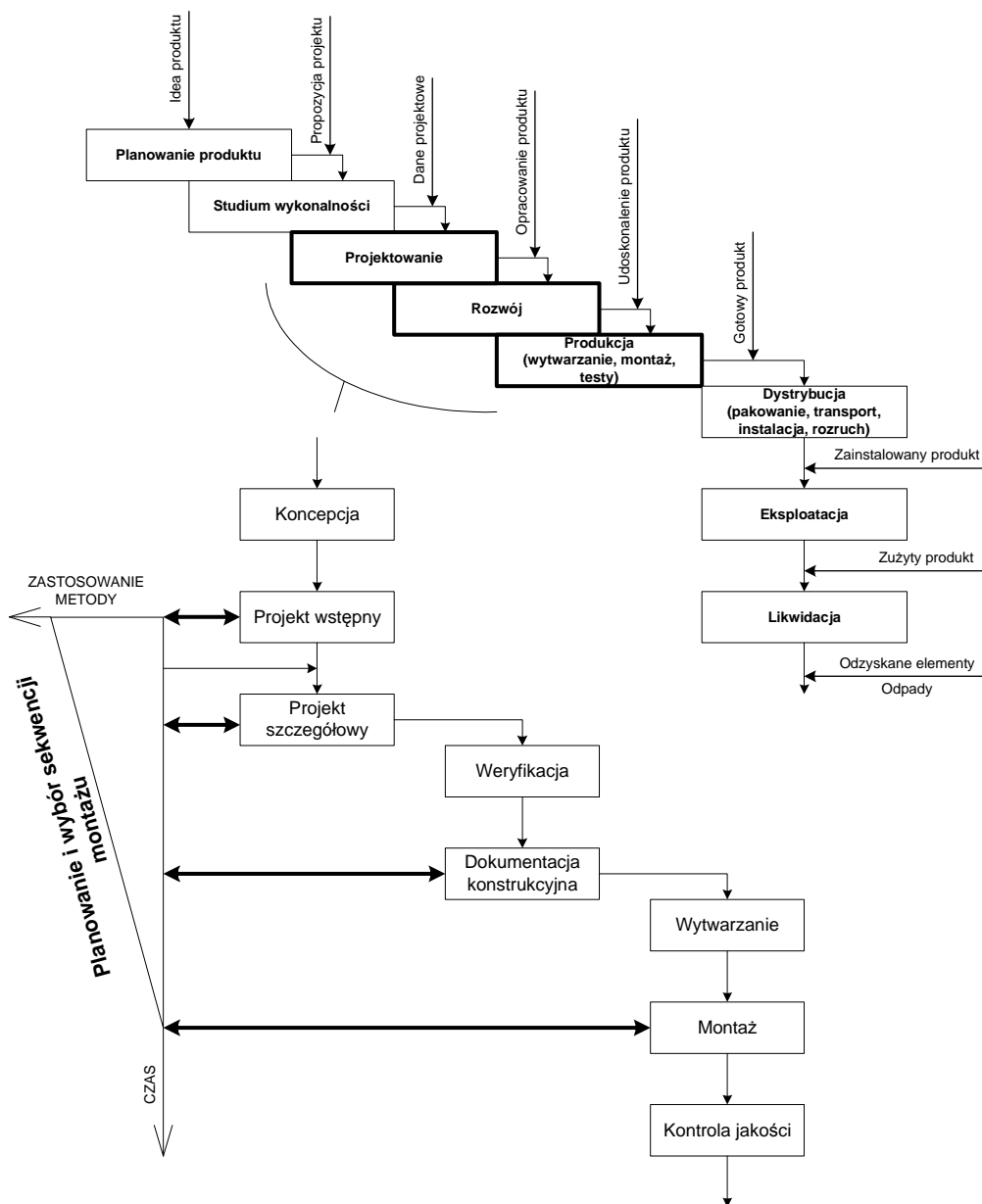
- **generowała zbiór dopuszczalnych sekwencji montażu i je wartościowała,**
- **wskazywała możliwości zmian konstrukcyjnych przyczyniających się do ulepszenia procesu montażu,**

które to elementy według wiedzy autora nie zostały dotychczas ujęte w jedną spójną procedurę.

Nowa metoda ma być dostosowana do pracy w systemie projektowania współbieżnego oraz ułatwić wybór najlepszej – w myśl przyjętych kryteriów – sekwencji montażu.

4. Opis nowej metody planowania sekwencji montażu

Metoda i jej implementacja komputerowa przeznaczone są do pomocy przy wyznaczaniu najkorzystniejszej kolejności łączenia części składowych wyrobu z jednoczesną oceną i analizą ich postaci konstrukcyjnej ukierunkowaną na wymogi procesu montażu [74, 75, 76, 77, 78, 82, 83, 84, 85, 86]. Na rysunku 4.1 przedstawiono proponowane umiejscowienie metody planowania i wyboru sekwencji montażu w fazach projektowania, rozwoju i produkcji na tle wyszczególnionych etapów istnienia produktu.



Rys. 4. 1. Koncepcja opracowanej metody na tle projektowania wyrobu [opracowanie własne]

Zakłada się, że metoda ta powinna być zastosowana już we wczesnym etapie projektowania (projektowanie wstępne), gdy już została wstępnie określona konstrukcja projektowanego wyrobu. Na tym etapie, po zastosowaniu proponowanej metody, wygenerowane zostaną możliwe (tzn. dopuszczalne) kombinacje łączenia części składowych wyrobu oraz możliwa będzie ocena wyznaczonych sekwencji i każdego połączenia w nich występującego ze względu na efektywność jego montażu. W rezultacie, po analizie wynikowych (najlepszych) sekwencji, istnieje możliwość zmiany niektórych cech konstrukcyjnych części składowych wyrobu (a nawet jego struktury) celem usprawnienia proces ich montażu. W takiej sytuacji jakiegokolwiek zmiany lub przededefiniowanie rozwiązania wstępnego realizowane będzie jeszcze przed etapem projektowania szczegółowego, bez angażowania zbyt dużych nakładów czasowych, a przede wszystkim kosztowych.

Według schematu przedstawionego na rysunku 4.1 planowanie i wybór sekwencji montażu może się odbywać także w późniejszych fazach projektowania (projektowanie szczegółowe, na etapie sporządzania dokumentacji konstrukcyjnej), ale w wyniku przeprowadzanych ewentualnych zmian w konstrukcji należało by się liczyć z wydłużeniem całkowitego czasu realizacji procesu projektowania na skutek koniecznych iteracji związanych z tymi zmianami.

W przypadku wyznaczenia najkorzystniejszej sekwencji montażu bezpośrednio przed procesem montażu (już po wytworzeniu części składowych), mogłoby dojść do konieczności dostosowywania montażu do projektu, co również przyczyniłoby się do wydłużenia czasu i zwiększenia kosztów wprowadzenia produktu na rynek. Sytuacja taka jest niekorzystna.

Zakłada się, że zastosowanie proponowanej metody może przyczynić się do:

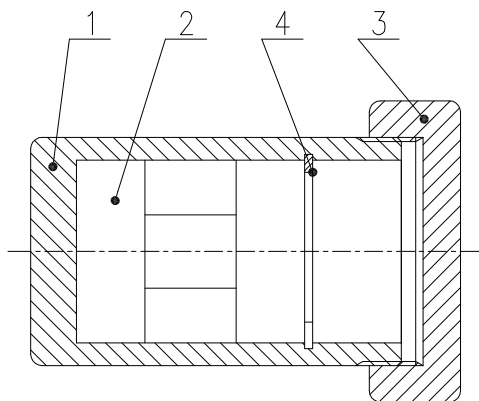
- zwiększenia jakości wyrobu,
- redukcji czasu i kosztów wprowadzenia wyrobu na rynek,
- uproszczenia procesu łączenia części składowych wyrobu,
- ograniczenia do minimum czynności pozycjonowania,
- dostosowania konstrukcji części składowych do łatwego manipulowania,
- wyboru (ew. zmiany) rodzaju połączenia celem skrócenia tego procesu,
- zmniejszenia złożoności kształtu części składowych,
- zmniejszenie siły niezbędnej do wzajemnego ustalenia elementów, itp.

Podsumowując, z uwagi na istotny wpływ prac montażowych na koszt i jakość maszyn i urządzeń mechanicznych, projektant powinien mieć do dyspozycji sprawne narzędzie oceny projektowanej konstrukcji pod względem wymagań montażu. Powinien także wybrać najkorzystniejszą kolejność łączenia części. Dzięki temu projektowanie dla montażu zostanie włączone do współbieżnego procesu projektowania oraz zostaną stworzone lepsze warunki dla projektowania konstrukcji charakteryzujących się łatwym i tanim procesem montażu. W dalszej części tego rozdziału przedstawiono i scharakteryzowano podstawowe moduły proponowanej metody.

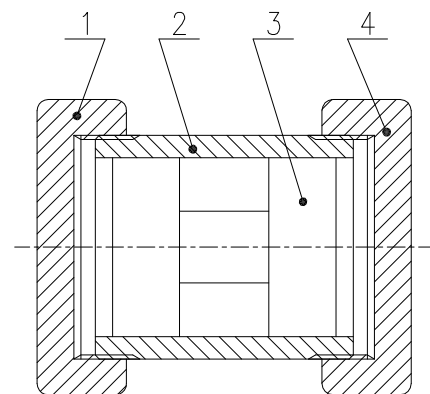
4.2. Wprowadzenie

Wyznaczanie wykonalnych (możliwych) sekwencji montażu jest problemem złożonym i w miarę wzrostu złożoności zespołu (maszyny) prowadzi do zjawiska, trudno rozwiązywalnej tzw. „eksplozji kombinatorycznej”.

Problem wariantowania sekwencji montażu przedstawiono na dwóch prostych, aczkolwiek wystarczających do zobrazowania, przykładach cztero-elementowych podzespołów. Podzespoły te przedstawiono poniżej na rysunkach 4.2 i 4.3.



Rys. 4. 2. Podzespół_1



Rys. 4. 3. Podzespół_2

Teoretycznie, bez uwzględnienia ograniczeń wynikających z konstrukcji części składowych, istnieją $4!=24$ sposoby montażu obu podzespołów. Liczebność możliwych kombinacji przy zwiększaniu liczby elementów rośnie według prawa silni (permutacje n-elementowego zbioru, gdzie n- ilość części składowych wyrobu). Zatem, przy większej liczbie elementów systematyczna analiza wszystkich wariantów bez odpowiedniego

wspomagającego narzędzia jest praktycznie niewykonalna. Taka analiza nie jest jednak konieczna, ponieważ w tym teoretycznym zbiorze znajduje się wiele wariantów niewykonalnych i nie zalecanych (np. ze względu na trudność poprawnej realizacji). W tabeli 4.1 zestawiono wszystkie teoretycznie możliwe sekwencje montażu dla rozważanych czteroelementowych podzespołów. Zauważyć można, że dla podzespołu z rysunku 4.2 istnieją jedynie 4 dopuszczalne sekwencje ze względu na możliwość ich realizacji, natomiast dla podzespołu z rysunku 4.3 poprawnych kolejności jest 12.

Tabela 4. 1. Zestawienie możliwości montażu podzespołów z rysunku 4.2 i 4.3

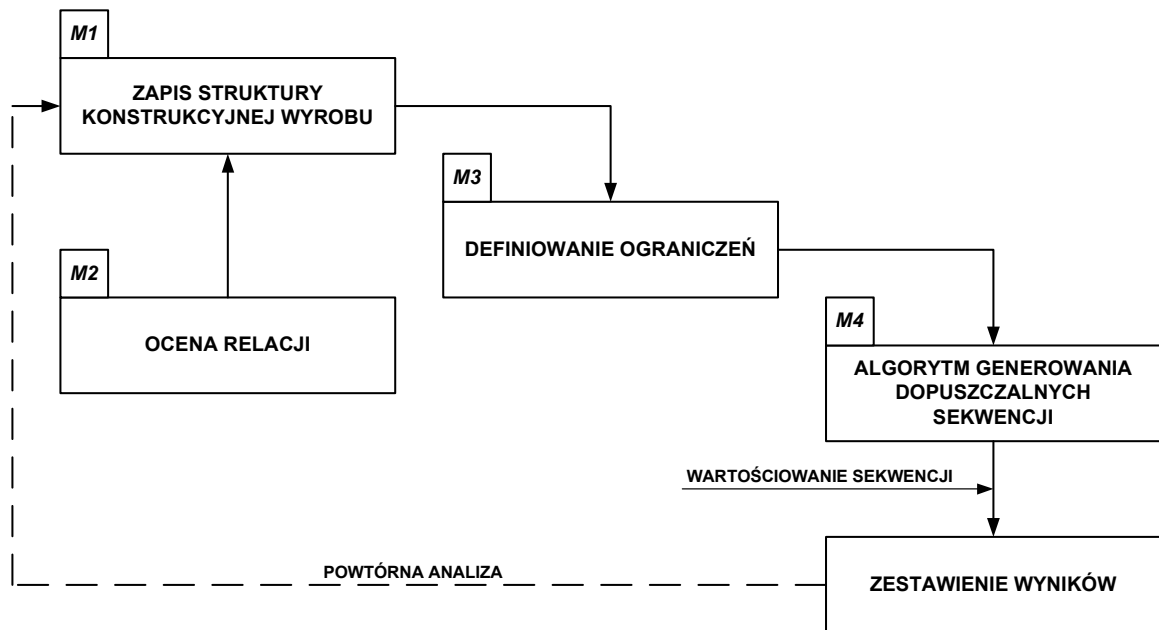
Nr	Sekwencja	Podzespół_1 (możliwość realizacji)	Podzespół_2 (możliwość realizacji)	Nr	Sekwencja	Podzespół_1 (możliwość realizacji)	Podzespół_2 (możliwość realizacji)
1	(1-2-3-4)	--	tak	13	(3-1-2-4)	--	tak
2	(1-3-4-2)	--	--	14	(3-4-1-2)	--	--
3	(1-4-2-3)	--	--	15	(3-2-4-1)	--	tak
4	(1-2-4-3)	tak	--	16	(3-1-4-2)	--	--
5	(1-3-2-4)	--	tak	17	(3-4-2-1)	--	tak
6	(1-4-3-2)	--	--	18	(3-2-1-4)	--	tak
7	(2-1-3-4)	--	tak	19	(4-1-2-3)	--	--
8	(2-3-4-1)	--	tak	20	(4-2-3-1)	--	tak
9	(2-4-1-3)	tak*	--	21	(4-3-1-2)	--	--
10	(2-1-4-3)	tak	--	22	(4-1-3-2)	--	--
11	(2-3-1-4)	--	tak	23	(4-2-1-3)	tak*	--
12	(2-4-3-1)	--	tak	24	(4-3-2-1)	--	tak

* sekwencja tylko teoretycznie możliwa

Jakkolwiek przytoczone przykłady są proste, to jest w nich 20 i 12 sekwencji niedopuszczalnych odpowiednio w przypadku pierwszego i drugiego podzespołu. Z analizy przytoczonych przypadków stwierdzić można, że efektywny algorytm generowania sekwencji montażu powinien cechować się przede wszystkim eliminowaniem ze zbioru wynikowego wszystkich tych rozwiązań, które ze względu na rzeczywistą realizację są niewykonalne lub niepoprawne. Zrealizować to można poprzez zdefiniowanie odpowiednich warunków ograniczających dla elementów składowych sekwencji.

Proponowana w niniejszej pracy metoda wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu oraz ich wartościowania i selekcji należy do kategorii klasycznych metod formalnych [51, 52, 75]. W metodzie wyróżnić można cztery podstawowe,

realizowane kolejno moduły (części) – rysunek 4.4. Moduły te stanowią część opracowanej metody wbudowaną do programu komputerowego.



Rys. 4. 4. Moduły metody

W module pierwszym konstrukcja wyrobu odwzorowana jest w formie macierzy struktury konstrukcyjnej (M_k). W module drugim oceniane są wszystkie relacje zapisane w macierzy M_k . Wynikiem realizacji dwóch pierwszych modułów jest zapis struktury konstrukcyjnej wyrobu w formie macierzy M_k oraz przyporządkowanie każdej relacji zapisanej w tej macierzy wskaźnika jej oceny. W module trzecim definiowane są ograniczenia kolejnościowe dla połączeń montażowych (wygenerowanych na podstawie macierzy M_k), które w dalszej kolejności będą uwzględnione do ustalenia zbioru dopuszczalnych kolejności montażu. Ostatni moduł metody to algorytm generowania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu. Uzyskane sekwencje montażu są wartościowane i zapisywane w pliku wynikowym. Istnieje możliwość przeprowadzenia powtórnej analizy z odpowiednimi modyfikacjami w poszczególnych krokach metody. Modyfikacjami w powtórnych analizach mogą być:

- uzupełnienie lub redukcja relacji zapisanych w macierzy zależności,
- zmiana oceny relacji,
- zmiana lub uzupełnienie warunków ograniczających.

W dalszych podpunktach opisano szczegółowo moduły metody.

4.3. Zapis struktury konstrukcyjnej wyrobu

Identyfikacja wszystkich relacji kontaktu (styku) pomiędzy częściami składowymi wyrobu sporządzana jest na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej wyrobu. W dalszej części pracy relacja kontaktu będzie rozumiana jako połączenie dwóch części. Ustalone relacje (połączenia) zapisywane są w formie grafu i odpowiadającej mu macierzy – nazwanej dalej macierzą zależności M_k . Macierz ta ma rozmiar $n \times n$, gdzie n jest liczbą części składowych wyrobu [70, 71].

Relacje pomiędzy częściami składowymi wyrobu mogą przybierać trzy formy. Pokazano je w tabeli 4.2.

Tabela 4. 2. Formy macierzowego zapisu relacji pomiędzy częściami

Macierz M_k	Kierunek relacji	Zapis łączenia części	Uwagi									
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>x</td><td></td></tr> </table>		1	2	1			2	x			$1 \leftarrow 2$	Element 2 dołączany jest do elementu 1
	1	2										
1												
2	x											
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	1		x	2				$2 \leftarrow 1$	Element 1 dołączany jest do elementu 2
	1	2										
1		x										
2												
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>2</td><td>x</td><td></td></tr> </table>		1	2	1		x	2	x			$2 \leftarrow 1$ $1 \leftarrow 2$	Element 1 dołączany jest do elementu 2 lub odwrotnie
	1	2										
1		x										
2	x											

W przypadku braku relacji pomiędzy częściami (lub gdy nie ma możliwości połączenia dwóch części) nie zostaje przypisany żaden typ relacji, a odpowiednie pole macierzy M_k pozostaje puste. Poniżej w tabeli 4.3 zestawiono, dla dwóch podzespołów przedstawionych na rysunkach 4.2 i 4.3 odpowiadające im postacie grafu skierowanego (digrafu) oraz macierzy zależności, a także zestawiono wszystkie połączenia pomiędzy częściami składowymi.

Tabela 4. 3. Graf skierowany i macierz zależności analizowanych podzespółów

	Graf skierowany	Macierz zależności M_k	Zdefiniowane połączenia																									
Podzespół_1		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>x</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td></td> <td>x</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>x</td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td></td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	1		x	x	x	2	x			x	3	x				4	x	x			Połączenie_1 (1←2) Połączenie_2 (1←3) Połączenie_3 (1←4) Połączenie_4 (2←1) Połączenie_5 (2←4) Połączenie_6 (3←1) Połączenie_7 (4←1) Połączenie_8 (4←2)
	1	2	3	4																								
1		x	x	x																								
2	x			x																								
3	x																											
4	x	x																										
Podzespół_2		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>x</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>x</td> <td>x</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>x</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	1		x	x		2	x		x	x	3	x	x		x	4		x	x		Połączenie_1 (1←2) Połączenie_2 (1←3) Połączenie_3 (2←1) Połączenie_4 (2←3) Połączenie_5 (2←4) Połączenie_6 (3←1) Połączenie_7 (3←2) Połączenie_8 (3←4) Połączenie_9 (4←2) Połączenie_10 (4←3)
	1	2	3	4																								
1		x	x																									
2	x		x	x																								
3	x	x		x																								
4		x	x																									

Duży rozmiar macierzy M_k wynikający ze złożoności wyrobu oraz duża liczba zdefiniowanych połączeń wpływają niekorzystnie na czas rozwiązywania zadania. Wobec tego zakłada się, że w formie macierzy M_k definiowane będą jedynie połączenia praktycznie możliwe do realizacji. Pozostałe połączenia, które wynikają jedynie z warunku styczności dwóch części, a ich realizacja jest nieistotna dla montażu należy pominąć w dalszych rozważaniach. Dla podzespółu_1 takimi połączeniami są np. 2←4, 4←1, a dla podzespółu_2: 1←3 oraz 3←4. Po wyeliminowaniu tego typu połączeń wypełnioną macierz struktury konstrukcyjnej dla obu podzespółów przedstawiono w tabeli 4.4, gdzie po prawej stronie każdej z macierzy przedstawiony został zbiór odwzorowanych w jej postaci połączeń montażowych.

Tabela 4. 4. Zredukowany macierzowy zapis połączeń w analizowanych podzespółach

Podzespół_1					Podzespół_2				
	1	2	3	4		1	2	3	4
1			x		1		x		
2	x				2	x			x
3	x				3		x		
4	x				4		x		

W macierzach zależności odwzorowujących relacje pomiędzy częściami składowymi podzespołu 1 i 2 zredukowano liczbę przyjętych do dalszej analizy połączeń, odpowiednio dla podzespołów z 8 do 4 oraz z 10 do 5.

4.4. Ocena procesu łączenia części

Do oceny połączenia dwóch części zaczerpnięto z literatury [9] i zastosowano wskaźnik q_a . Opracowany on został w oparciu o wiedzę ekspertów oraz wiele analiz prowadzonych w rzeczywistych przedsiębiorstwach i opisany został w publikacjach [9, 10, 12, 84]. W tym ujęciu, z autorskimi modyfikacjami dotyczącymi wprowadzenia współczynnika przekierowania d , wykorzystano go do wartościowania sekwencji montażu w gotowych wyrobach celem ich przeprojektowania i dostosowania konstrukcji do zasad „projektowania dla montażu”.

Wskaźnik ten został wykorzystany do oceny zbioru połączeń uprzednio zdefiniowanych w formie macierzy M_k celem wartościowania sekwencji montażu i wyszukania najkorzystniejszych w wygenerowanym zbiorze. Ponadto zakłada się, że będzie on zastosowany do uzyskania informacji dotyczących stopnia skomplikowania analizowanej konstrukcji oraz jej części składowych.

Wprowadzono możliwość definiowania innych niż w oryginalnym opracowaniu - wartości oceniających poszczególne składowe wskaźnika q_a . Uzyskano w ten sposób możliwość dostosowania oceny wskaźnikiem q_a do specyfiki i uwarunkowań określonego przedsiębiorstwa, w którym literaturowe wskaźniki z różnych względów byłyby niewłaściwie stosowane. Ponadto jako wartość oceny wprowadzić można np. koszt lub czas realizacji połączenia, co umożliwiłoby wyznaczenie sekwencji charakteryzujących się najkrótszym czasem lub najniższym kosztem realizacji.

Składowymi wskaźnika $q_a = h_p \times f_p$ [9] są:

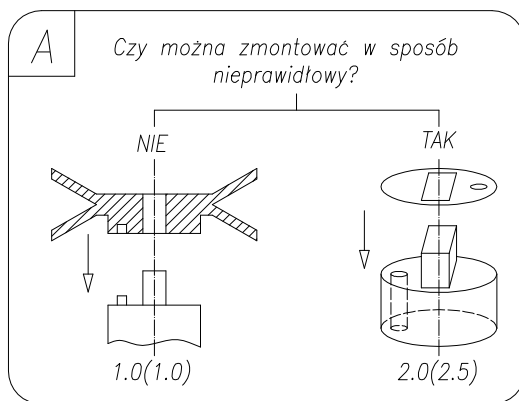
- charakterystyka podawania i chwytania komponentu oznaczona jako h_p ,
- charakterystyka procesu łączenia komponentów f_p .

Wskaźnik $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$ [9] uwzględnia:

- **A** - poprawność łączenia części ze względu na funkcję zespołu,

- **B** - wymaganie dokładnego wzajemnego pozycjonowania dwóch łączonych części,
- **C** - orientowanie łączonych części,
- **D** - kierunek łączenia części,
- **E** - rodzaj łączenia części, zależny od powierzchni styku pomiędzy nimi,
- **F** - ograniczenia dostępu i/lub kontroli połączenia,
- **G** - osiowanie i inne możliwe utrudnienia,
- **H** - opory łączenia części.

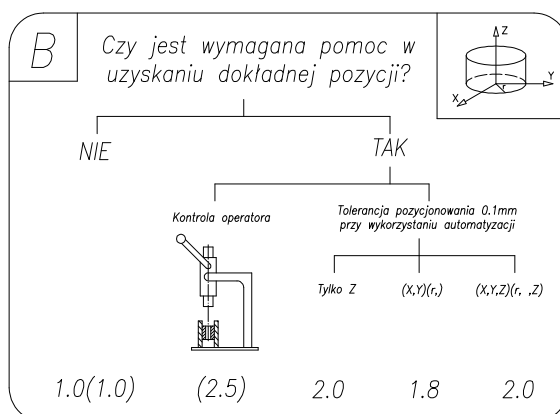
Wartości ocen poszczególnych składowych (od A do H) odnoszą się do montażu zautomatyzowanego oraz manualnego (wartości w nawiasach).



Rys. 4.5. Składowa A wskaźnika f_p [9]

Składowa A (rysunek 4.5) charakteryzuje niepoprawność montażu części ze względu na zakładaną funkcję połączenia. Zakłada się przy tym, że połączenie dwóch części zrealizowane nieprawidłowo, nie wyklucza dalszego montażu kolejnych części, a nawet kompletność całego wyrobu. Eliminuje natomiast prawidłowość spełnienia funkcji tego połączenia. Niższa wartość

oceny składowej A (**1.0**) dotyczy dwóch części, w których wyeliminowano możliwość niepoprawnego ich połączenia ze względu na zakładaną funkcję. Wyższa ocena **2.0** (**2.5**) dotyczy tych części, które można połączyć niepoprawnie.

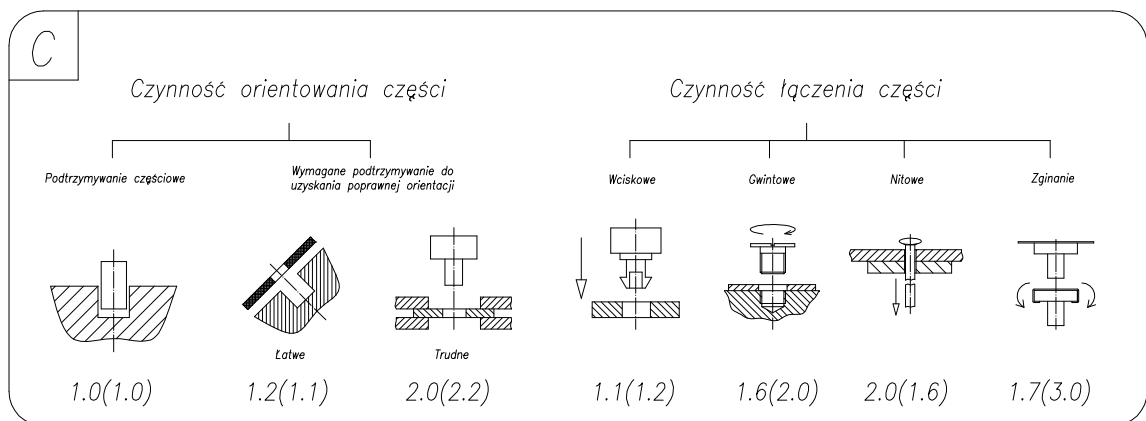


Rys. 4.6. Składowa B wskaźnika f_p [9]

Składowa B (rysunek 4.6) dotyczy pozycjonowania dwóch części względem siebie w odniesieniu do uciążliwości tej czynności pomocniczej. Jeżeli czynność pozycjonowania nie wymaga specjalnych zabiegów oceniona jest wartością **1.0** (w przypadku zautomatyzowanego oraz ręcznego montażu). W przypadku kiedy czynność

ta wymusza zastosowanie kontroli operatora i ewentualnych tolerancji pozycjonowania - wartość oceny wynosi **2.5** (dla montażu ręcznego), natomiast dla montażu zautomatyzowanego uzależniona jest od ilości kierunków, w których należy utrzymać tolerancję co najmniej 0,1 mm. Konieczność utrzymania tolerancji pozycjonowania oceniona została następująco:

- dla tolerancji w kierunku osi Z – wartość **2.0**,
- dla tolerancji w kierunku osi X,Y (lub r) – wartość **1.8**,
- dla tolerancji w kierunku X,Y i Z (lub r i Z) – wartość **2.0**.



Rys. 4.7. Składowa C wskaźnika f_p [9]

Składowa C wskaźnika łączenia komponentów f_p dotyczy dwóch grup łączonych części. Pierwsza z nich to takie części, które zachowują się niestabilnie i wymagały będą w dalszym przebiegu procesu montażu dodatkowych czynności pomocniczych (np. chwytnie, dociskanie, itp.) celem ich połączenia. Składową C przedstawiono na rysunku 4.7.

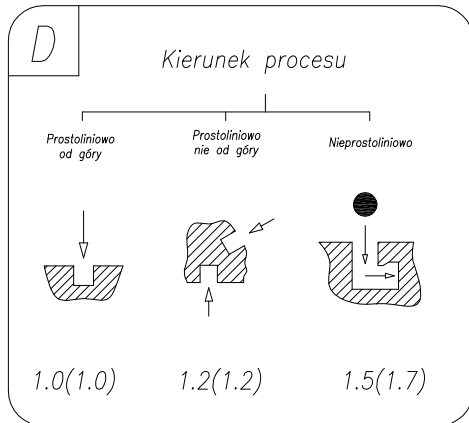
W grupie tej ustalono dwie możliwości:

- częściowe podtrzymywanie celem uzyskania poprawnej orientacji (wartość oceny dla montażu zautomatyzowanego i ręcznego – **1.0**),
- całkowite podtrzymywanie do uzyskania poprawnej orientacji w zależności od poziom trudności (łatwe – wartość oceny **1.2 (1.1)** i trudne – wartość oceny **2.0 (2.2)**).

W drugiej grupie łączonych części założono, że jedna z nich jest łącznikiem (lub spełnia jego funkcję) i ustalono cztery przypadki połączeń:

- wciskowe – charakteryzujące połączenie dwóch części poprzez wcisk z zabezpieczeniem przed rozłączeniem (wartość oceny **1.1 (1.2)**),
- gwintowe – wartość oceny **1.6 (2.0)**,

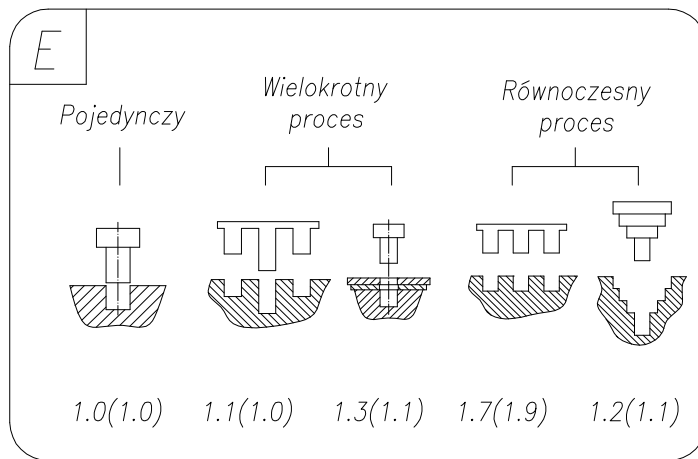
- nitowe – nitowanie z dostępem z jednej strony (wartość oceny **2.0 (1.6)**),
- zginanie – uzyskanie połączenia poprzez zginanie plastyczne jednego z elementów połączenia względem drugiego (wartość oceny **1.7 (3.0)**).



Rys. 4.8. Składowa D wskaźnika f_p [9]

Składowa D (rysunek 4.8) dotyczy kierunku procesu łączenia dwóch części. Zdefiniowano trzy przypadki. Pierwszy z nich określa nam proces łączenia dwóch części w osi prostej w kierunku wertykalnym od góry i wartość oceny wynosi **1.0** bez względu na formę montażu (zautomatyzowany, manualny). Drugą zdefiniowaną możliwością jest łączenie dwóch części w osi pionowej, ale w innym kierunku niż pionowy od góry (przykłady kierunków na rysunku 4.8). Wartość oceny dla tego przypadku wynosi **1.2** dla obu form montażu. Ostatnią możliwością jest sytuacja, kiedy części nie będą montowane w pojedynczej osi prostej, a połączenie ich uzyskać można jedynie poprzez zmianę kierunku ruchu jednej z nich. Wartość oceny w tym przypadku wynosi: dla montażu zautomatyzowanego - **1.5**, a ręcznego – **1.7**.

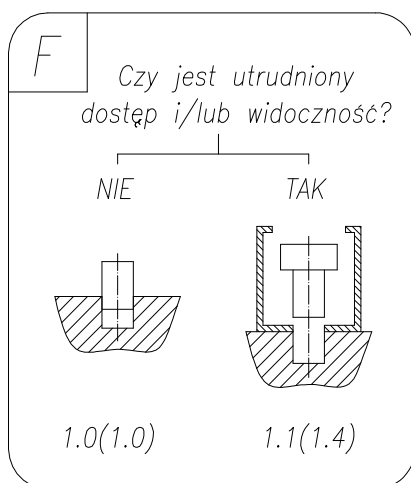
Składowa D może wpływać na wartościowanie sekwencji montażu i preferowanie tych sekwencji, które cechują się najmniejszą liczbą zmian kierunków łączenia części. W tym celu wprowadzony został współczynnik przekierowania powiązany z oceną D. Przy każdorazowej zmianie kierunku montażu w generowanej sekwencji wynikającej z dołączanych kolejno części wartość oceny D mnożona jest przez wartość współczynnika przekierowania (współczynnik ten definiowany jest bezpośrednio przez użytkownika). W rezultacie górną oceną (większa wartość) ocenione zostaną te sekwencje, w których występują niekorzystne częste zmiany kierunków dołączania kolejnych części. Według takiego podejścia, preferowane będą te sekwencje, w których dołączanie kolejnych części odbywa się przy minimalnej liczbie zmian kierunków montażu. Współczynnik przekierowania oznaczono małą literą d . Uzupełniona o ten współczynnik funkcja f_p , wynosi $f_p = A \times B \times C \times (d \cdot D) \times E \times F \times G \times H$.



Rys. 4.9. Składowa E wskaźnika f_p [9]

w połączeniu bierze więcej niż jedna krawędź czołowa, dodatkowo w innym czasie procesu łączenia.

Wartość oceny w zależności od ilości części biorących udział w połączeniu: dla dwóch części – **1.1 (1.0)**; dla więcej jak dwóch części **1.3 (1.1)**, udział w połączeniu bierze więcej niż jedna krawędź ale jednocześnie. Wartość oceny uzależniona od układu krawędzi czołowych (zgodnie ze schematem) i wynosi **1.7 (1.9)** lub **1.2 (1.1)**.



Rys. 4.10. Składowa F wskaźnika f_p [9]

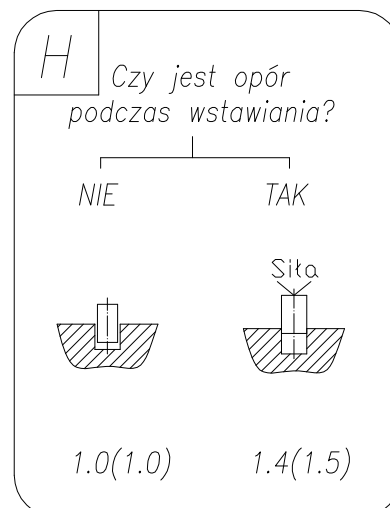
wykonywania połączenia. Podziału dokonano ze względu na stopień trudności. W przypadku kiedy konstrukcja części (np. fazy, zaokrąglenia lub inne cechy) ułatwia poprawne osiowanie lub wzajemne ustawienie dwóch części - wartość oceny wynosi **1.0** w obu formach montażu. W przypadku kiedy występuje trudność z osiowaniem (ustawieniem) wartość oceny wynosi **1.5 (1.4)** lub **1.6 (1.7)** – w zależności od rodzaju połączenia (wg schematu).

Składowa E (rysunek 4.9) określa połączenie dwóch części ze względu na ilość biorących udział krawędzi czołowych.

Wyodrębniono trzy możliwości: udział w połączeniu bierze jedna krawędź czołowa (wartość oceny **1.0** dla obu form montażu); udział

Składowa F (rysunek 4.10) rozróżnia dwa przypadki związane z widocznością (utrudnionym dostępem) realizowanego połączenia. W przypadku poprawnego dostępu i widoczności łączonych części wartość oceny ustalono na poziomie **1.0** dla obu form montażu, natomiast jeżeli widoczność połączenia jest ograniczona wartość oceny wynosi **1.1 (1.4)**.

Składowa G (rysunek 4.11) dotyczy osiowania (ustawienia) łączonych części w pierwszej fazie

Rys. 4.11. Składowa G wskaźnika f_p [9]Rys. 4.12. Składowa H wskaźnika f_p [9]

Ostatnia składowa H (rysunek 4.12) dotyczy występowania oporów podczas wykonywania połączenia. Opór podczas montażu dwóch części może być rezultatem zbyt małych luzów, obróbki, lub montażu z reakcją wywołującą przeciwną siłę (np. sprężyna). Na skutek niepożądanych oporów może dojść do uszkodzenia części (zniekształcenia, rozregulowanie efektów tolerancji) i w rezultacie do konieczności ich demontażu. W przypadku niewystępowania oporów podczas łączenia części wartość oceny dla obu form montażu wynosi **1.0**, w przypadku kiedy opory istnieją wartość oceny wynosi **1.4 (1.5)**.

Wskaźnik h_p funkcji oceny $q_a = h_p \times f_p$ [9] zależy od sposobu podawania i wrażliwości elementu. Uwzględnia on trzy warianty podawania:

- ręczne podawanie i chwytanie,
- podawanie z wykorzystaniem podajnika (chwytanie: mechaniczne, podciśnieniowe, magnetyczne),
- podawanie zautomatyzowane (z uwzględnieniem: podajnika i przenośnika; chwytanie: mechaniczne, podciśnieniowe, magnetyczne).

Wrażliwość elementu zależy od jego podatności na uszkodzenia mechaniczne, zmiany temperatury, zanieczyszczenia (chemiczne, mechaniczne). Wartości wskaźnika h_p zestawiono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Wartości wskaźnika h_p [9]

h_p	Wrażliwość komponentu		Delikatny ⁽¹⁾	Wrażliwy na zmiany temperatury	Wrażliwy na zanieczyszczenia		Nieokreślone ⁽³⁾			
					Technologia podawania	Chemiczne ⁽²⁾		Mechaniczne		
Manualne chwytanie i podawanie	Nie cienki/mały ⁽⁴⁾		1.3	1.2	1.5	1.1	1.0			
	cienki/mały		1.7	1.3	2.0	1.2	1.0			
Procesy z podajnikiem	Bez chwytania		1.2	1.1	1.2	1.1	1.0			
	Chwytanie	Mechaniczne mocowanie	Nie cienki		1.4	1.1	1.2	1.3	1.0	
		cienki		1.9	1.3	1.2	1.4	1.0		
	Kontakt próżniowy/magnetyczny		1.2	1.3	1.2	1.3	1.0			
Procesy zautomatyzowane	Bez chwytania		1.5	1.1	1.2	1.5	1.0			
	Podajnik części	Chwytanie	Mechaniczne mocowanie	Nie cienki		1.9	1.2	1.3	1.7	1.0
			cienki		2.2	1.3	1.3	1.8	1.0	
	Kontakt próżniowy/magnetyczny		1.6	1.3	1.3	1.8	1.0			
	Przenośnik ⁽⁵⁾	Bez chwytania		1.2	1.1	1.2	1.2	1.0		
		Chwytanie	Mechaniczne mocowanie	Nie cienki		1.5	1.2	1.5	1.7	1.0
cienki			2.2	1.3	1.5	1.8	1.0			
Kontakt próżniowy/magnetyczny		1.3	1.3	1.5	1.8	1.0				

W powyższej tabeli uwagi od (1) do (5) oznaczają [9]:

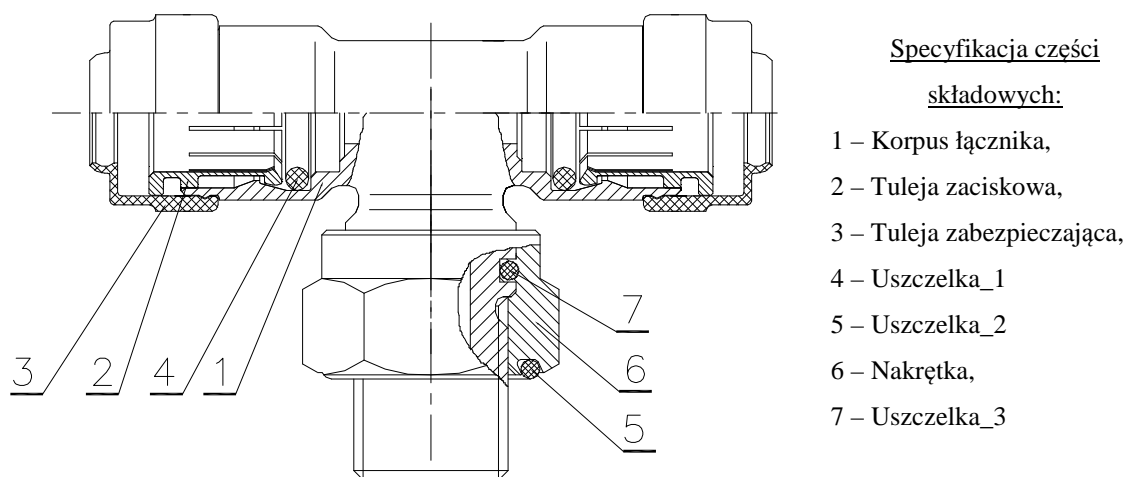
- (1) – Uwzględniające również obróbkę wykańczającą,
- (2) – Zanieczyszczenia chemiczne operatora/maszyny lub produktu,
- (3) - Jeżeli wrażliwość komponentu (część) nie jest ujęta w tabeli $h_p = 1.0$,
- (4) – Komponent jest uważany za cienki, jeżeli jeden z jego głównych wymiarów jest $\leq 0.25mm$,
- (5) – Z uwzględnieniem mechanicznych i wspomaganym powietrzem mechanizmów.

Wartość wskaźnika oceny sekwencji montażowej wyliczana jest ze wzoru $Q = \sum_{i=1}^j q_a$, gdzie od i do j oznaczono kolejne połączenia w ocenianej sekwencji.

Im niższa wartość funkcji Q tym korzystniejsza sekwencja montażowa, przy czym minimalna wartość Q wynosi $Q = n \cdot 1,0$, gdzie n jest ilością połączeń składających się na ocenianą sekwencję.

4.4.1. Przykładowe zastosowanie wskaźnika oceny łączenia części

Przykładową ocenę dwóch różnych sekwencji montażu i składowych połączeń montażowych dla łącznika zobrazowanego na rysunku 4.13 przedstawiono w tabelach 4.6 i 4.7. Założono, że montaż realizowany jest ręcznie i celem zwiększenia czytelności, pominięto części składowe nieoznaczone odnośnikami na rysunku - występujące po prawej stronie łącznika.



Rys. 4. 13. Konstrukcja łącznika oraz jego specyfikacja

W pierwszej tabeli zestawiono ocenę poszczególnych połączeń montażowych zdefiniowanych na podstawie relacji pomiędzy częściami składowymi łącznika. Ocenę każdego połączenia wykonano według składowego wskaźnika q_a . Zestawiono składowe (od A do H) wskaźnika f_p , wyliczono jego wartość poprzez iloczyn składowych. W tabeli tej wyliczono również wartość wskaźnika q_a , z uwzględnieniem składowych f_p i h_p .

Tabela 4. 6. Ocena połączeń montażowych łącznika z rysunku 4.13

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2	1,0	2,5	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,5	5,94	1,7	10,098
1←3	1,0	2,5	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,5	5,94	1,7	10,098
1←4	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,32	1,0	1,32
1←6	1,0	2,5	2,2	1,0	1,1	1,0	1,4	1,5	12,705	1,0	12,705
1←7	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
6←5	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1

W tabeli 4.7 zestawiono ocenę dwóch różnych sekwencji i ich składowych połączeń montażowych bez i z uwzględnieniem współczynnik przekierowania d . Wartość oceny połączeń q_a uwzględniającą współczynnik przekierowania d oznaczono gwiazdką (*).

Tabela 4. 7. Ocena wybranych dwóch sekwencji łącznika

Sekwencja I: 1-4-2-3-7-6-5				Sekwencja II: 1-4-7-2-6-3-5			
Kolejność połączeń	q_a	Z uwzględnieniem zmiany kierunku montażu		Kolejność połączeń	q_a	Z uwzględnieniem zmiany kierunku montażu	
		q_a^*	Składowa D			q_a^*	Składowa D
1←4	1,32	1,32	1,2	1←4	1,32	1,32	1,2
1←2	10,098	10,098	1,2	1←7	1,1	2,2	2,0
1←3	10,098	10,098	1,2	1←2	10,098	20,196	2,4
1←7	1,1	2,2	2,0	1←6	12,705	25,41	2,0
1←6	12,705	12,705	1,0	1←3	10,098	20,196	2,4
6←5	1,1	1,1	1,0	6←5	1,1	2,2	2,0
Wartość Q	36,421	37,521			36,421	71,522	

* - z uwzględnieniem współczynnika przekierowania $d=2$

W tabeli 4.7 celowo zestawiono dwie różne sekwencje, z których jednoznacznie wskazać można korzystniejszą. Jednak bez zastosowania współczynnika przekierowania obie sekwencje charakteryzowałaby ta sama wartość wskaźnika oceny Q.

Obie z przykładowych sekwencji (**1-4-2-3-7-6-5** i **1-4-7-2-6-3-5**) dla współczynnika przekierowania $d=1,0$ charakteryzują się wskaźnikiem $Q=36,421$. Jednak jednoznacznie zauważyć można, że w drugiej sekwencji występuje wiele niekorzystnych zmian kierunku montażu kolejno dołączanych części składowych. W przypadku pierwszej sekwencji zmiana kierunku montażu następuje jednokrotnie po zmontowaniu sekwencji **1-4-2-3** i dołączaniu pozostałych **7-6-5**. Bez uwzględnienia współczynnika przekierowania mogą w niektórych przypadkach pojawić się problemy z jednoznacznym wskazaniem najkorzystniejszych rozwiązań. Wprowadzenie współczynnika przekierowania pozwala na uwzględnienie zmian kierunków montażu. W tabeli 4.7 dwie omawiane sekwencje oceniono również z uwzględnieniem współczynnika $d=2,0$. W takim przypadku, przy

każdorazowej zmianie kierunku montażu wartość składowej D wskaźnika q_a połączenia w innym kierunku mnożona jest przez wartość współczynnika d . W rezultacie uzyskano zróżnicowane wartości Q wynoszące dla sekwencji **1-4-2-3-7-6-5** i **1-4-7-2-6-3-5** odpowiednio $Q = 37,521$ i $Q = 71,522$, na podstawie których jednoznacznie można wskazać korzystniejszy wynik (mniejsza wartość wskaźnika Q).

Zaproponowane w pracy uwzględnienie współczynnika przekierowania d przyczynia się do różnicowania wartości oceny wygenerowanych sekwencji, a tym samym pozwala na efektywniejszą selekcję korzystnych sekwencji, co wykazano na powyższym przykładzie.

4.5. Definiowanie ograniczeń

Wyznaczenie poprawnych sekwencji montażu wymaga uwzględnienia odpowiednich ograniczeń kolejnościowych. Ograniczenia dotyczą zbioru połączeń zapisanych w macierzy M_k . Każdemu połączeniu można przyporządkować jeden z trzech desygnatów:

- *połączenie startowe* (p_s)- połączenie dwóch części, od którego rozpoczyna się tworzenie wariantów sekwencji montażu wyrobu,
- *połączenie „pomiń”* (p_p)- połączenie, które nie będzie uwzględniane przy generowaniu wariantów sekwencji montażu wyrobu,
- *połączenie blokujące* (p_b)- połączenie, które uniemożliwia lub ogranicza – w dalszym przebiegu procesu montażu – uzyskanie kompletnego zespołu.

Pierwszy typ ograniczeń (połączenie startowe) wykorzystywany jest przede wszystkim do definiowania części bazowych oraz części, od których zakłada się budowanie sekwencji montażu. Przykładowo, dla łącznika z rysunku 4.13 takimi połączeniami mogą być, w zasadzie, dwa: $1 \leftarrow 4$ lub $1 \leftarrow 7$.

Połączenia typu „pomiń” definiowane są w przypadku redukcji zbioru wygenerowanych dopuszczalnych sekwencji montażu. Poprzez przypisanie tego ograniczenia można wykluczyć sekwencje wynikowe z niekorzystnymi podsekwencjami.

Ostatnim z wymienionych, a zarazem najważniejszym jest ograniczenie typu – połączenie blokujące, które bezpośrednio wpływa na generowanie poprawnych kolejności łączenia części, z punktu widzenia kompletności wyrobu. Ograniczenie to charakteryzuje te połączenia poprzedzające, których wcześniejsze wykonanie uniemożliwi realizację połączenia dla którego zostaną zdefiniowane. W ten sposób eliminuje się możliwość wystąpienia niepoprawnej kolejności łączenia części. Przyjmuje się, że połączenia blokujące mogą być definiowane z operatorem „i” (\wedge) oraz „lub” (\vee).

W pierwszym przypadku, przypisanie operatora „ \wedge ” do połączeń blokujących ($p_{b1} \wedge p_{b2} \wedge \dots \wedge p_{bn}$) oznacza, że połączenie p_n , dla którego zdefiniowano połączenia blokujące może być wykonane w przypadku kiedy nie są zrealizowane wszystkie połączenia blokujące. Dopuszczalna jest więc możliwość zrealizowania $n-1$ połączeń blokujących przed połączeniem p_n , dla którego zdefiniowano n połączeń blokujących. Jeżeli zrealizowane zostaną wszystkie połączenia blokujące to nie uzyska się kompletności montażu całego wyrobu, gdyż zablokowana będzie realizacja połączenia p_n .

W drugim przypadku, przypisanie operatora „ \vee ” do połączeń blokujących ($p_{b1} \vee p_{b2} \vee \dots \vee p_{bn}$) oznacza, że połączenie p_n , dla którego zdefiniowano połączenia blokujące musi być wykonane przed którymkolwiek połączeniem blokującym. Jeżeli wykonane zostanie co najmniej jedno z połączeń blokujących to nie uzyska się kompletności montażu całego wyrobu, gdyż zablokowana będzie realizacja połączenia p_n .

Ponadto wprowadzono możliwość definiowania sekwencji połączeń blokujących (z operatorem „ \wedge ”) z rozdzieleniem ich operatorem „ \vee ”. Dla przykładowych podzespołów umieszczonych na rysunkach 4.2 i 4.3, w tabeli 4.8 zestawiono zdefiniowane ograniczenia. W tabeli tej znakiem „x” oznaczono połączenia startowe.

Tabela 4. 8. Zestawienie zdefiniowanych ograniczeń dla podzespołów z rysunku 4.2 i 4.3

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenie blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
Podzespół_1				
1	1←2	x	1←4 \vee 1←3 \vee 3←1	--
2	1←3	--	--	--
3	1←4	--	1←3 \vee 3←1	--
4	3←1	--	--	--

Tabela 4.8. Zestawienie zdefiniowanych ograniczeń dla podzespółów z rysunku 4.2 i 4.3 – c.d.

Podzespół_2				
1	1←2	x	--	--
2	2←1	--	--	--
3	2←3	--	--	$(1←2 \wedge 2←4) \vee$ $(4←2 \wedge 2←1)$
4	2←4	--	--	--
5	4←2	x	--	--

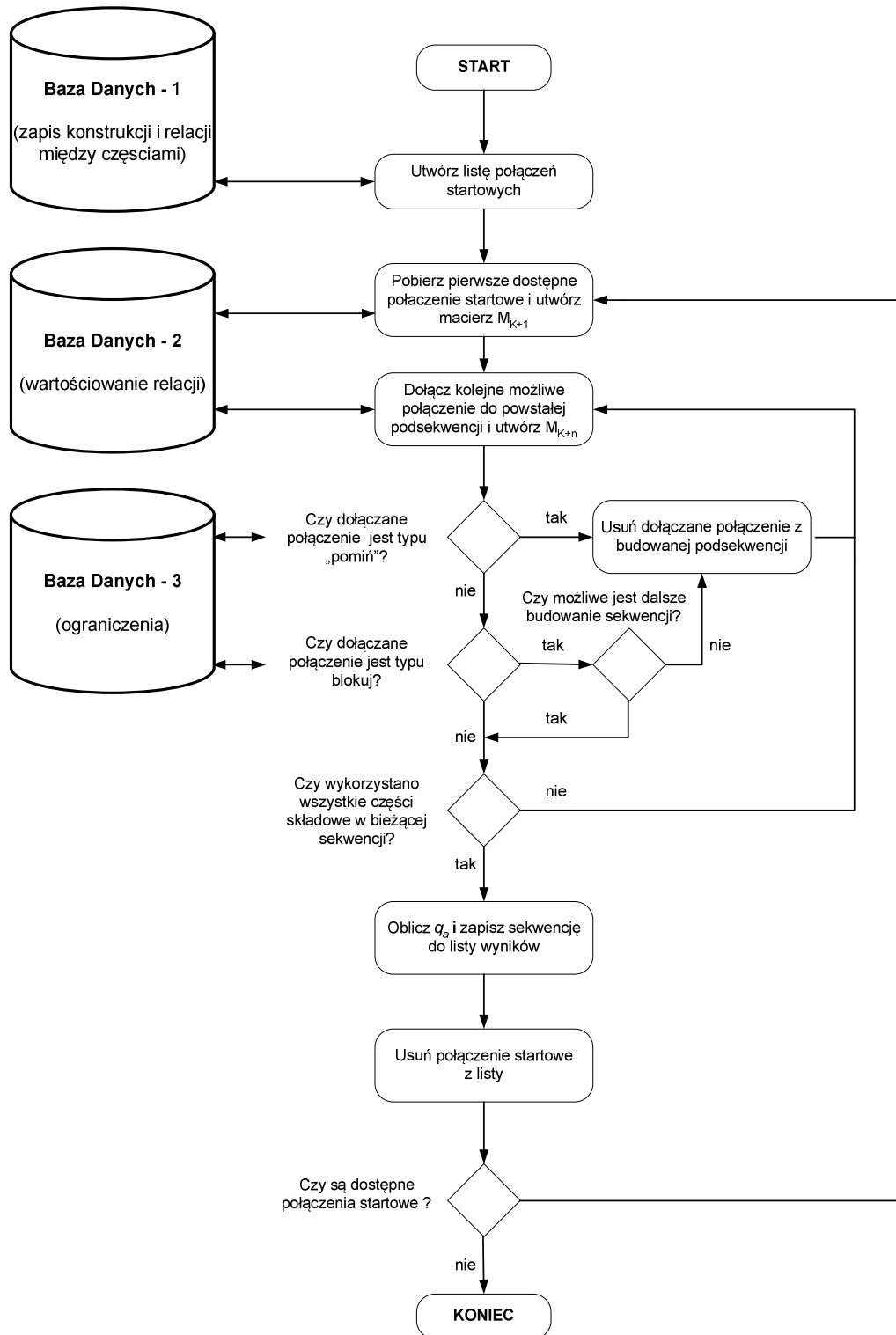
W przypadku pierwszego przykładu (przedstawionego na rys. 4.2), zrealizowanie jednego z połączeń 1←4, 1←3, 3←1 uniemożliwia wykonanie w dalszej kolejności montażu części 2 do 1. Podobnie, zrealizowanie jednego połączenia z 1←3, 3←1 uniemożliwia późniejszy montaż części 4. Wymienione połączenia uniemożliwiają montaż części 2 i 4 zdefiniowano jako połączenia blokujące typu „OR” i nie mogą one wystąpić wcześniej w poprawnej sekwencji montażu.

W przypadku drugiego podzespołu (przedstawionego na rys. 4.3) zdefiniowano jedynie połączenia blokujące typu „AND”. Występują one dla połączenia 2←3. Montaż części 1,2 i 4 spowoduje niemożliwość dołączenia części 3. Ograniczenia te zapisano w tabeli 4.8.

4.6. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji

Proponowany w niniejszej pracy algorytm wyznaczania i oceny sekwencji montażu umożliwia generowanie wszystkich dopuszczalnych wariantów sekwencji montażowych z jednoczesnym ich wartościowaniem i należy on do kategorii metod klasycznych (ściślych). Na rysunku 4.14 schematycznie przedstawiono algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu i jego poszczególne kroki. Wyróżnione zostały trzy bazy danych. W pierwszej z nich, przechowywane są dane dotyczące konstrukcji wyrobu i relacji pomiędzy jego częściami składowymi. Bezpośrednio z bazy wiedzy – 1 tworzona jest lista możliwych połączeń.

W pierwszym kroku algorytmu z listy połączeń startowych wybierane jest pierwsze dostępne i tworzona jest podsekwencja montażowa z jego części składowych.

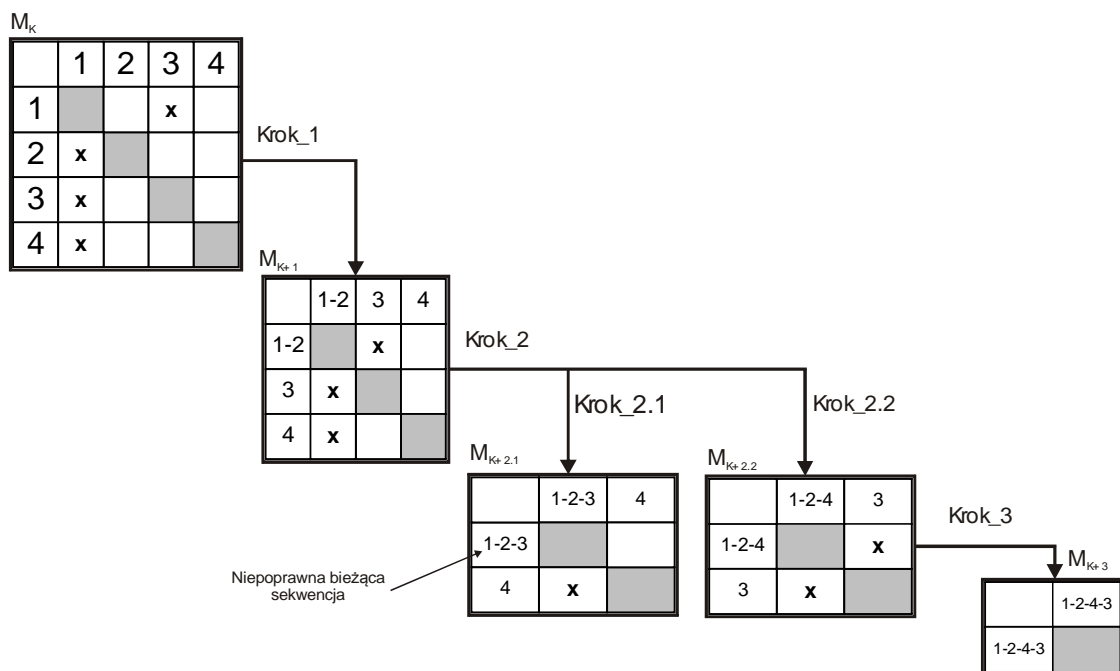


Rys. 4. 14. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu [opracowanie własne]

Jednocześnie przy wyborze połączenia startowego pobierana jest jego ocena z bazy danych -2. W bazie tej, zapisane są informacje związane z wartościowaniem wszystkich relacji pomiędzy częściami (połączeń). Podsekwencja ta zapisywana jest w formie macierzy M_{K+1} , przez co rozmiar macierzy M_K zmniejsza się o 1. Relacje zapisane

w macierzy M_K transformowane są do postaci macierzy M_{K+1} . Jednocześnie sprawdzane są ograniczenia dla bieżącej podsekwencji. Wszystkie ograniczenia (połączenia typu „pomiń”, połączenia blokujące typu „OR” i „AND”) zapisane są w bazie danych – 3. W przypadku występowania ograniczeń sekwencja zostaje usuwana z dalszych rozważań. Jeżeli ograniczenia pozwalają na dalsze budowanie sekwencji montażu dołączane są kolejne elementy (części składowe) i tworzone są podsekwencje wyższego rzędu aż do zbudowania kompletnej sekwencji spełniającej wszystkie ograniczenia. Utworzone sekwencje montażu są zapisywane, a wykorzystane połączenie startowe jest usuwane z listy dostępnych. Następnie algorytm wybiera kolejne dostępne połączenie startowe i proces tworzenia sekwencji powtarza się. Po wykorzystaniu wszystkich połączeń startowych uzyskuje się zbiór wszystkich możliwych sekwencji montażu.

Schematycznie, kolejne kroki proponowanego algorytmu, dla wyznaczenia zbioru dopuszczalnych sekwencji podzespołu_1 z rysunku 4.2, przedstawiono na rysunku 4.15. Kolejne kroki działania algorytmu przedstawiono na macierzy struktury konstrukcyjnej odwzorowującej relacje między częściami składowymi tego podzespołu.



Rys. 4. 15. Działanie algorytmu na przykładzie podzespołu_1

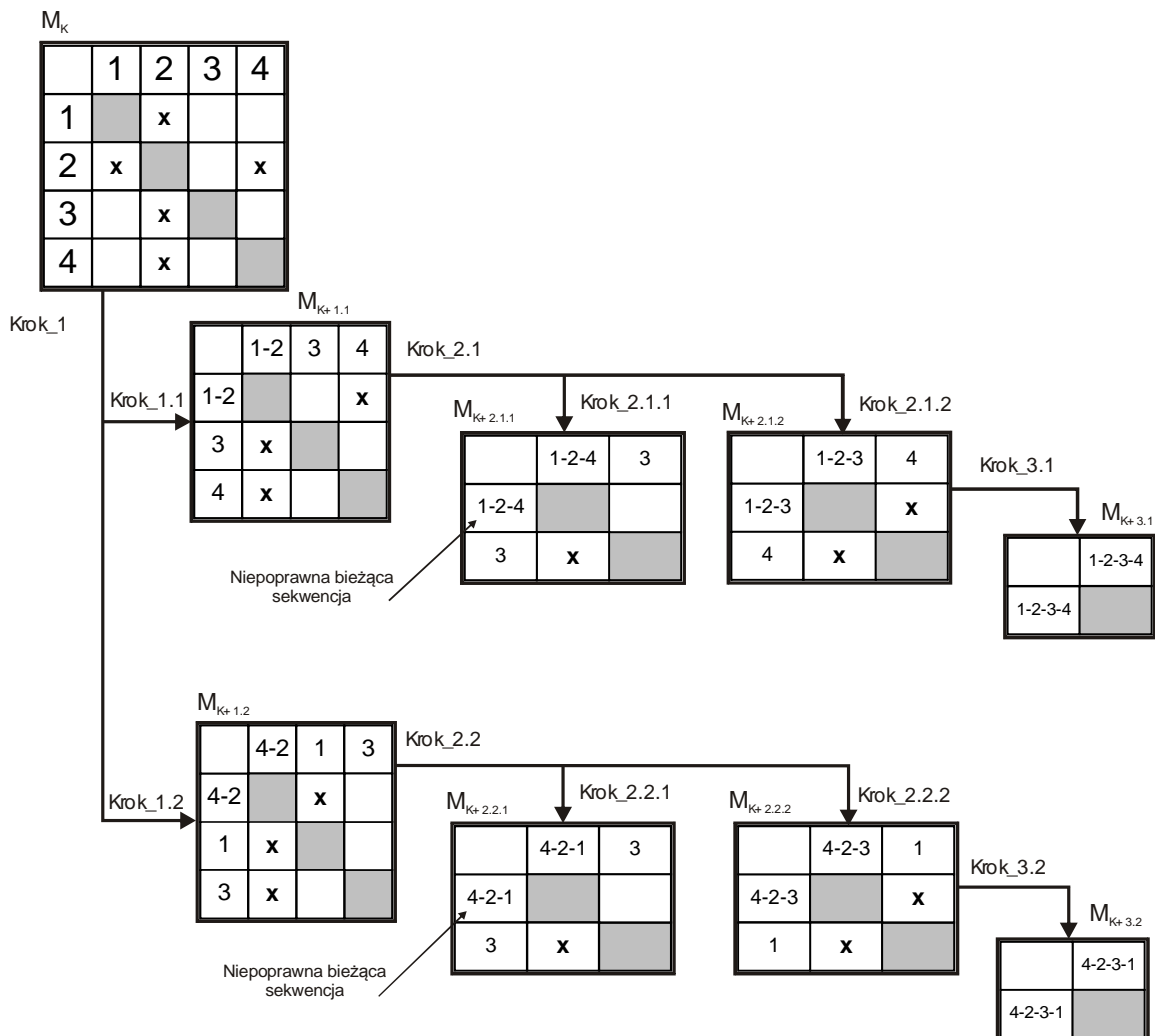
Pierwszym dostępnym połączeniem startowym w podzespołu_1 jest $1 \leftarrow 2$, które zapisane jest w podsekwencję $(1 \leftarrow 2)$. Zredukowana macierz M_{K+1} o rozmiarze 3×3 zawierająca bieżącą podsekwencję jest wynikiem Kroku_1 (rysunek 4.15) W kolejnym kroku do istniejącej podsekwencji istnieje możliwość dołączenia części 3 i 4 (co wynika z relacji

w macierzy M_{K+1}): $(1\leftarrow 2)$; $1\leftarrow 3$ lub $(1\leftarrow 2)$; $1\leftarrow 4$. Jednak pierwsza z możliwości jest eliminowana poprzez połączenie blokujące $1\leftarrow 3$, którego realizacja przed dołączeniem części 4 jest wykluczona (tabela 4.8).

Istnieje zatem jedyna możliwość dołączenia kolejnego elementu (część 4), przez co powstaje podsekwencja $((1\leftarrow 2); (1\leftarrow 4))$ zapisana w macierzy $M_{K+2.2}$ rozmiaru 2×2 .

Ostatnim krokiem algorytmu dla analizowanego przykładu jest dołączenie do bieżącej podsekwencji ostatniego elementu (część 3) i tym samym uzyskanie kompletnego podzespołu_1, zapisanego w macierzy M_{K+3} rozmiaru 1×1 jako sekwencja $((1\leftarrow 2)(1\leftarrow 4))(1\leftarrow 3)$ lub inaczej: **1-2-4-3**.

Na kolejnym rysunku (4.16) przedstawiono schematycznie kolejne kroki działań na macierzy struktury konstrukcyjnej podzespołu_2 celem generowania dopuszczalnych sekwencji jego montażu.



Rys. 4. 16. Działanie algorytmu na przykładzie podzespołu_2

W pierwszym kroku są dwie możliwości wyboru połączenia startowego: $1\leftarrow 2$ i $4\leftarrow 2$.

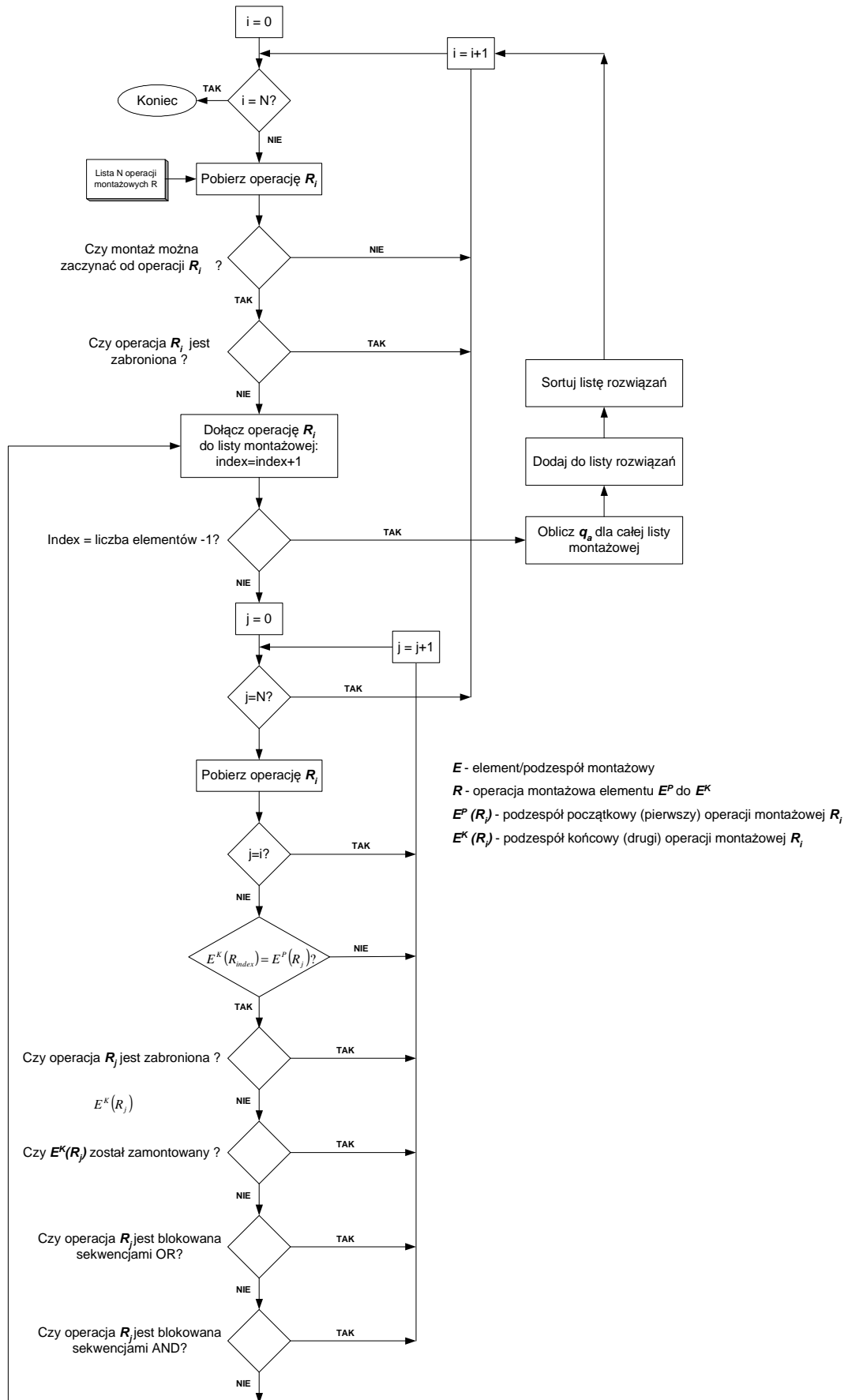
- Wybierając połączenie $1 \leftarrow 2$ tworzona jest podsekwencja $(1 \leftarrow 2)$ i zapisywana jest w formie macierzy $\mathbf{M}_{K+1,1}$ rozmiaru 3×3 . W dalszej kolejności istnieje możliwość dołączenia części 3 lub 4. Dołączenie części 4 jest wykluczone ponieważ połączenia $2 \leftarrow 4$ oraz $1 \leftarrow 2$ blokują możliwość dalszego dołączenia części 3. Jest zatem jedyna możliwość dołączenia do podsekwencji $(1 \leftarrow 2)$ części 3 i zapisanie bieżącej podsekwencji $((1 \leftarrow 2); (2 \leftarrow 3))$ w formie macierzy $\mathbf{M}_{K+2,1,1}$ rozmiaru 2×2 . Ostatnim elementem dołączanym jest część 4. Sekwencja wynikowa $((1 \leftarrow 2)(2 \leftarrow 3))(2 \leftarrow 4)$ zapisywana jest w macierzy $\mathbf{M}_{K+3,1}$ rozmiaru 1×1 .
- Wybierając połączenie startowe $4 \leftarrow 2$ tworzona jest podsekwencja $(4 \leftarrow 2)$ i zapisywana w macierzy $\mathbf{M}_{K+1,2}$ rozmiaru 3×3 . W dalszej kolejności istnieje możliwość dołączenia części 3 lub 1. Dołączenie części 1 jest wykluczone ponieważ połączenia $2 \leftarrow 1$ i $4 \leftarrow 2$ są połączeniami blokującymi dalsze dołączenie części 3. Jedyną możliwością jest dołączenie, w tym kroku, do podsekwencji $(4 \leftarrow 2)$ części 3 i zapisanie bieżącej podsekwencji $((4 \leftarrow 2); (2 \leftarrow 3))$ w macierzy $\mathbf{M}_{K+2,2,2}$ rozmiaru 2×2 . Ostatnim elementem dołączanym do aktualnej podsekwencji jest część 4. Sekwencja wynikowa $((4 \leftarrow 2)(2 \leftarrow 3))(2 \leftarrow 4)$ zapisywana jest w macierzy $\mathbf{M}_{K+3,2}$ rozmiaru 1×1 .

5. Opis i charakterystyka programu komputerowego

Jednym z celów proponowanej metody jest połączenie mocy obliczeniowej komputera z wiedzą inżynierską użytkownika. Każda decyzja podejmowana podczas projektowania, konstruowania, planowania montażu (jak i innych procesów) oparta jest na indywidualnej wiedzy osoby wykonującej określone działania projektowe. Osoba taka podejmuje szereg decyzji ukierunkowanych na osiągnięcie kompromisowego rozwiązania spełniającego wszystkie ograniczenia i założenia projektowe przy jednoczesnym spełnieniu określonych funkcji projektowanego wyrobu. W przypadku złożonych procesów, jakimi niewątpliwie są projektowanie, konstruowanie, montaż, w przeważającej większości wiedza projektowa nie jest generowana automatycznie, a pochodzi od ludzi – ekspertów w danej dziedzinie. Zgromadzona wiedza powinna usprawnić proces projektowania w znaczeniu szybkiego jego opracowywania z jednoczesnym uwzględnieniem wymogów np. technologicznych, montażowych, itp. [60,19] Z takim zamysłem autor pracy opracował integrację podstawowej wiedzy inżynierskiej w zakresie uwzględniania wymogów efektywnego łączenia części z etapem wczesnego opracowywania konstrukcji i jednoczesnym ukierunkowaniem na najkorzystniejszą kolejność montażu projektowanych wyrobów.

5.2. Algorytm wykonawczy programu

Na podstawie koncepcji metody, jej założeń oraz algorytmu przedstawionego w punkcie 4.5 opracowany został główny algorytm wykonawczy programu przeznaczonego do generowania i oceny dopuszczalnych sekwencji montażu oraz selekcji najkorzystniejszych rozwiązań. Algorytm ten przedstawiony został na rysunku 5.1. W algorytmie tym uwzględniono wszystkie opisane w poprzednim rozdziale moduły opracowanej metody. Przedstawiony na poniższym rysunku algorytm dotyczy praktycznie całego programu stanowiącego komputerową implementację metody.



Rys. 5. 1. Algorytm wykonawczy programu [opracowanie własne]

Poniżej opisano poszczególne kroki algorytmu wykonawczego programu (od I do VI):

I - w pierwszej kolejności definiowana jest macierz struktury konstrukcyjnej, na podstawie której wyznaczany jest zbiór połączeń montażowych (zapisany w postaci listy połączeń),

II - z powstałej listy pobierane jest pierwsze dostępne połączenie i sprawdzane są warunki dotyczące dalszego budowania sekwencji – są to: zdefiniowane **połączenie startowe** (w przypadku kiedy wybrane połączenie jest połączeniem startowym można od niego rozpoczynać budowanie sekwencji, w przeciwnym razie nie) zdefiniowane **połączenie pomiń** (w przypadku kiedy wybranemu połączeniu nie jest przypisany typ pomiń to można rozpoczynać od niego dalsze budowanie sekwencji, jeżeli jest przypisany ten typ połączenia to nie bierze ono udziału w generowaniu sekwencji).

Dla powyższych dwóch warunków stosowane są reguły zestawione są poniżej (tabela 5.1):

Tabela 5. 1. Zestawienie reguł dotyczących budowania sekwencji

Nr	Warunek	Wartość	Reguła
1	Czy zdefiniowano połączenie startowe ?	tak	Można rozpocząć budowanie sekwencji
		nie	Nie można rozpocząć budowanie sekwencji
2	Czy zdefiniowano połączenie typu pomiń?	tak	Połączenie to nie może występować w budowanych sekwencjach
		nie	Połączenie to może występować w budowanych sekwencjach

Według powyższego jedyną możliwością dalszego realizowania algorytmu jest uzyskanie wartości „tak” oraz „nie” odpowiednio dla warunku pierwszego i drugiego.

III - w kolejnym kroku algorytmu dołączane jest kolejne połączenie do bieżącego przy sprawdzaniu kolejno warunków:

1 - czy dołączane połączenie jest typu pomiń?

W przypadku tego warunku jest analogicznie jak w warunku drugim (tabela 5.1).

2 - czy podzespół został zmontowany?

Jeżeli podzespół jest zmontowany, tzn. $j = N$ ($Index = liczba\ element\u00f3w - 1$) wyliczana zostaje wartość q_a dla wygenerowanej sekwencji i zapisywana ona zostaje

w liście rozwiązań. Lista rozwiązań po każdorazowym dodaniu nowej sekwencji jest sortowana wg wzrastającej wartości wskaźnika q_a .

3 - czy dołączane połączenie jest połączeniem blokującym typu „OR”?

Jeżeli dołączane połączenie jest blokujące (typu „OR”) to można je wykorzystać pod warunkiem, że blokowane nim połączenie występuje już w budowanej sekwencji. W przeciwnym wypadku połączenia tego nie możemy dołączyć do bieżącej sekwencji.

4 - czy dołączane połączenie jest połączeniem blokującym typu „AND”?

Jeżeli dołączane połączenie jest blokujące (typu „AND”) to można je wykorzystać pod warunkiem, że blokowane nim połączenie występuje już w budowanej sekwencji lub w przypadku jak co najmniej jedno z występujących połączeń w warunku „AND” nie jest w bieżącej sekwencji. Jeżeli pozostałe połączenia występujące w warunku „AND” występują już w bieżącej sekwencji wówczas jest niemożliwe dołączanie połączenia blokującego.

IV - po negatywnych wartościach odpowiedzi („nie”) na przedstawione powyżej cztery reguły rozważane połączenie dołączane jest do bieżącej sekwencji, pobierane jest kolejne dostępne połączenie i analogicznie do poprzedniego wykonywany jest krok III algorytmu.

V – Jeżeli podzespół jest zmontowany tzn. $Index = liczba\ element\u00f3w - 1$ wyliczana zostaje wartość q_a dla wygenerowanej sekwencji i zapisywana ona zostaje w liście rozwiązań. Lista rozwiązań po każdorazowym dodaniu nowej sekwencji jest sortowana wg wzrastającej wartości wskaźnika q_a .

VI – Jeżeli wykorzystane zostaną wszystkie połączenia startowe i wygenerowane zostaną dla nich wszystkie poprawne sekwencje montażu algorytm kończy działanie.

Kody działania algorytmu wyznaczenia i oceny dopuszczalnych rozwiązań, dla podzespołów z rysunków 4.2 i 4.3 przedstawiono poniżej, w tabeli 5.2. Tekstem pochylonym w prawej kolumnie tabeli zamieszczono komentarze dotyczące poszczególnych kroków działania algorytmu. Komentarze te zamieszczono przy generowaniu sekwencji dla podzespołu_1. W drugim przypadku (wyznaczenie sekwencji dla podzespołu_2) przedstawiono jedynie algorytm programu. Poniżej zamieszczone algorytmy i ich kolejne kroki można przyrównać do schematycznie przedstawionego

generowania sekwencji montażu dla podzespołów 1 i 2 zamieszczonego na rysunkach odpowiednio 4.15 i 4.16.

Tabela 5. 2. Kody działania algorytmu dla podzespołów z rysunku 4.2 i 4.3

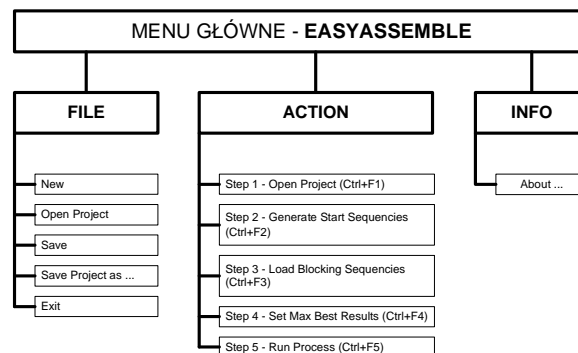
Podzespół_1	Komentarz
Run Process Starts.	<i>Start algorytmu</i>
List of all relations: 3<--1 1<--2 OR:[OR_0=[3<--1,1<--3,1<--4]] AND:[] 1<--3 1<--4 OR:[OR_0=[3<--1,1<--3]] AND:[]	<i>Lista zdefiniowanych połączeń z przypisanymi im ograniczeniami w postaci połączeń blokujących typu AND i OR.</i>
Curren sequence: 1<--2 fpr: 1,00	<i>Wybór pierwszego dostępnego połączenia startowego (1←2)</i>
AllRelationList: 3<--1;1<--3;1<--4 Curren sequence: 1<--2;1<--3 fpr: 2,00	<i>Lista pozostałych połączeń Sekwencja bieżąca. Próba dołączenia kolejnego połączenia i sprawdzenie ograniczeń</i>
remove 1<--4 because of OR list remove 1<--4 causes that assemble is impossible!	<i>Dołączane połączenie(1←3) jest połączeniem blokującym połączenie 1←4. Z tego względu bieżąca sekwencja jest odrzucana.</i>
Curr_1 sequence: 1<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 3<--1;1<--3;1<--4	<i>Algorytm powraca do kroku poprzedniego.</i>
Curren sequence: 1<--2;1<--4 fpr: 2,00 AllRelationList: 3<--1;1<--3	<i>Sekwencja bieżąca. Próba dołączenia kolejnego połączenia (1←4) i sprawdzenie ograniczeń (brak)</i>
Curren sequence: 1<--2;1<--4;1<--3 fpr: 3,00	<i>Sekwencja bieżąca. Próba dołączenia kolejnego połączenia (1←3) i sprawdzenie ograniczeń (brak)</i>
Result 1 : 1<--2;1<--4;1<--3 fpr: 3,00	<i>Wyniki 1</i>
Curr_1 sequence: 1<--2;1<--4 fpr: 2,00 AllRelationList: 3<--1;1<--3 Curr_1 sequence: 1<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 3<--1;1<--3;1<--4	<i>Algorytm powraca do kroku poprzedniego i sprawdza możliwość dołączenia niewykorzystanych połączeń z listy aktualnie dostępnych.</i>
Run Process Finished.	<i>Zakończenie działania algorytmu.</i>

Tabela 5.2. Kody działania algorytmu dla podzespółów z rysunku 4.2 i 4.3-c.d.

Podzespół_2
Run Process Starts.
List of all relations: 2<--1 1<--2 4<--2 2<--3 OR:[] AND:[AND_0=[1<--2,2<--4],AND_1=[2<--1,4<--2]] 2<--4
Curren sequence: 1<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 2<--1;4<--2;2<--3;2<--4 Curren sequence: 1<--2;2<--3 fpr: 2,00 AllRelationList: 2<--1;4<--2;2<--4 Curren sequence: 1<--2;2<--3;2<--4 fpr: 3,00
Result 1 : 1<--2;2<--3;2<--4 fpr: 3,00
Curr_1 sequence: 1<--2;2<--3 fpr: 2,00 AllRelationList: 2<--1;4<--2;2<--4
Curr_1 sequence: 1<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 2<--1;4<--2;2<--3;2<--4
Curren sequence: 1<--2;2<--4 fpr: 2,00 remove 2<--3 because of AND list remove 2<--3 causes that assemble is impossible! Curr_1 sequence: 1<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 2<--1;4<--2;2<--3;2<--4
Curren sequence: 4<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 2<--1;1<--2;2<--3;2<--4 Curren sequence: 4<--2;2<--1 fpr: 2,00 remove 2<--3 because of AND list remove 2<--3 causes that assemble is impossible! Curr_1 sequence: 4<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 2<--1;1<--2;2<--3;2<--4
Curren sequence: 4<--2;2<--3 fpr: 2,00 AllRelationList: 2<--1;1<--2;2<--4 Curren sequence: 4<--2;2<--3;2<--1 fpr: 3,00
Result 2 : 4<--2;2<--3;2<--1 fpr: 3,00
Curr_1 sequence: 4<--2;2<--3 fpr: 2,00 AllRelationList: 2<--1;1<--2;2<--4
Curr_1 sequence: 4<--2 fpr: 1,00 AllRelationList: 2<--1;1<--2;2<--3;2<--4
Run Process Finished.

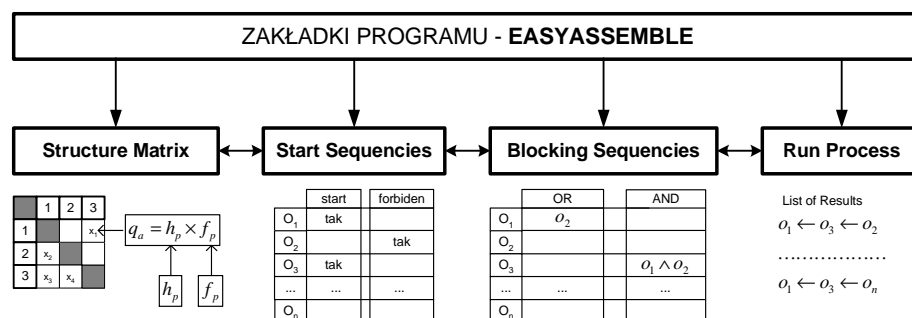
5.3. Komputerowa implementacja metody – program EASYASSEMBLE

Wynikiem komputerowej implementacji, zaproponowanej w pracy, metody jest program EASYASSEMBLE. Program ten opracowany został w języku C++, w wersji angielskiej i dołączony został do pracy na płycie CD. Menu główne programu i dostępne w nim polecenia pokazano na rysunku 5.2.



Rys. 5. 2. Menu główne programu EASYASSEMBLE

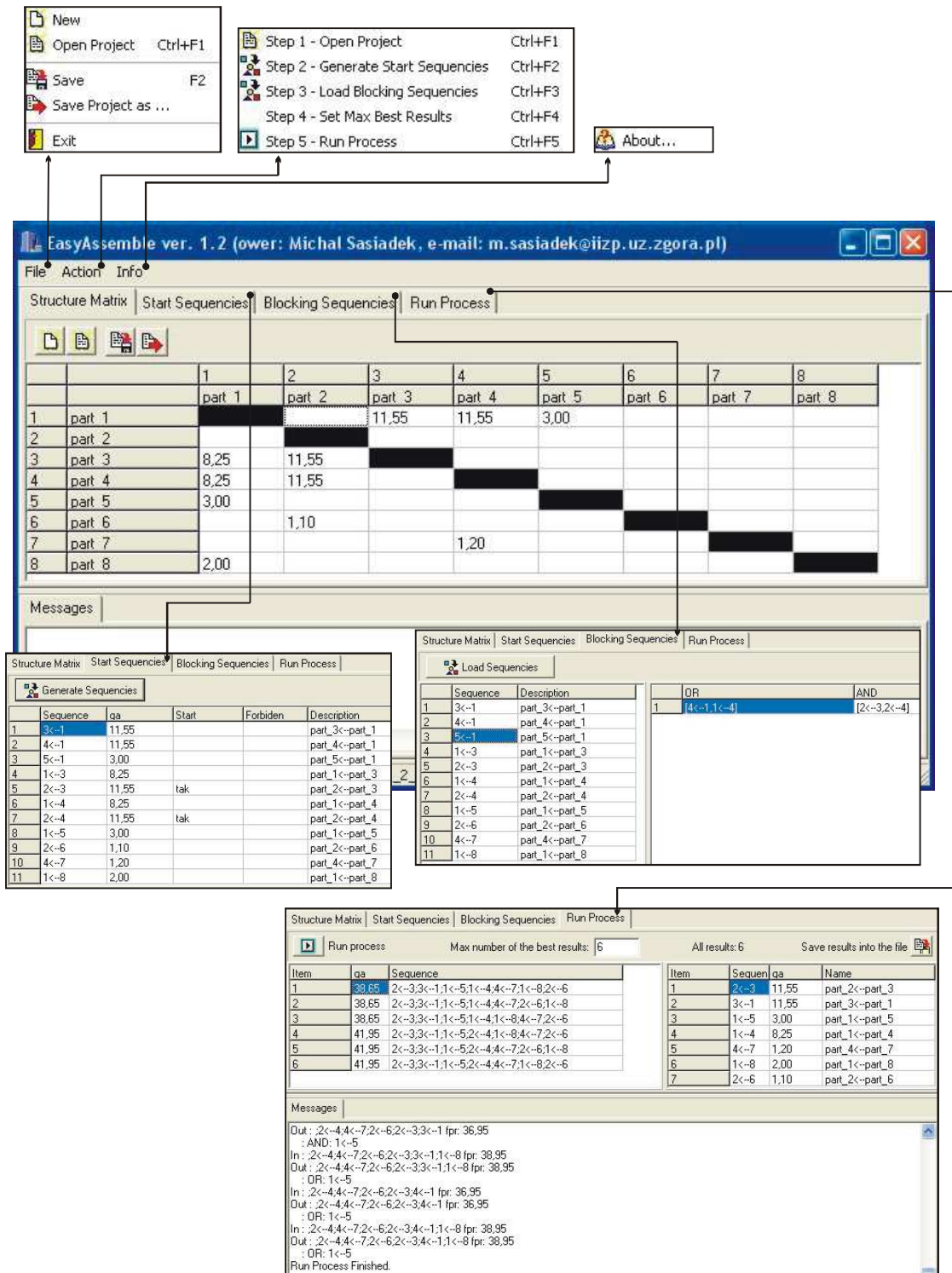
Na rysunku 5.3 przedstawiono schematycznie cztery zakładki programu. W pierwszej zakładce *Structure Matrix* użytkownik programu definiuje relacje pomiędzy częściami, przypisując im jednocześnie wartości składowych (h_p , f_p) wskaźnika oceny q_a . W kolejnej zakładce *Start Sequencies* program generuje zbiór dopuszczalnych operacji, z których użytkownik ma możliwość wyboru operacji typu: „start” i „pomiń”. W zakładce *Blocking Sequencies* wprowadzane są ograniczenia kolejnościowe typu: „OR” i/lub „AND”.



Rys. 5. 3. Zakładki programu EASYASSEMBLE

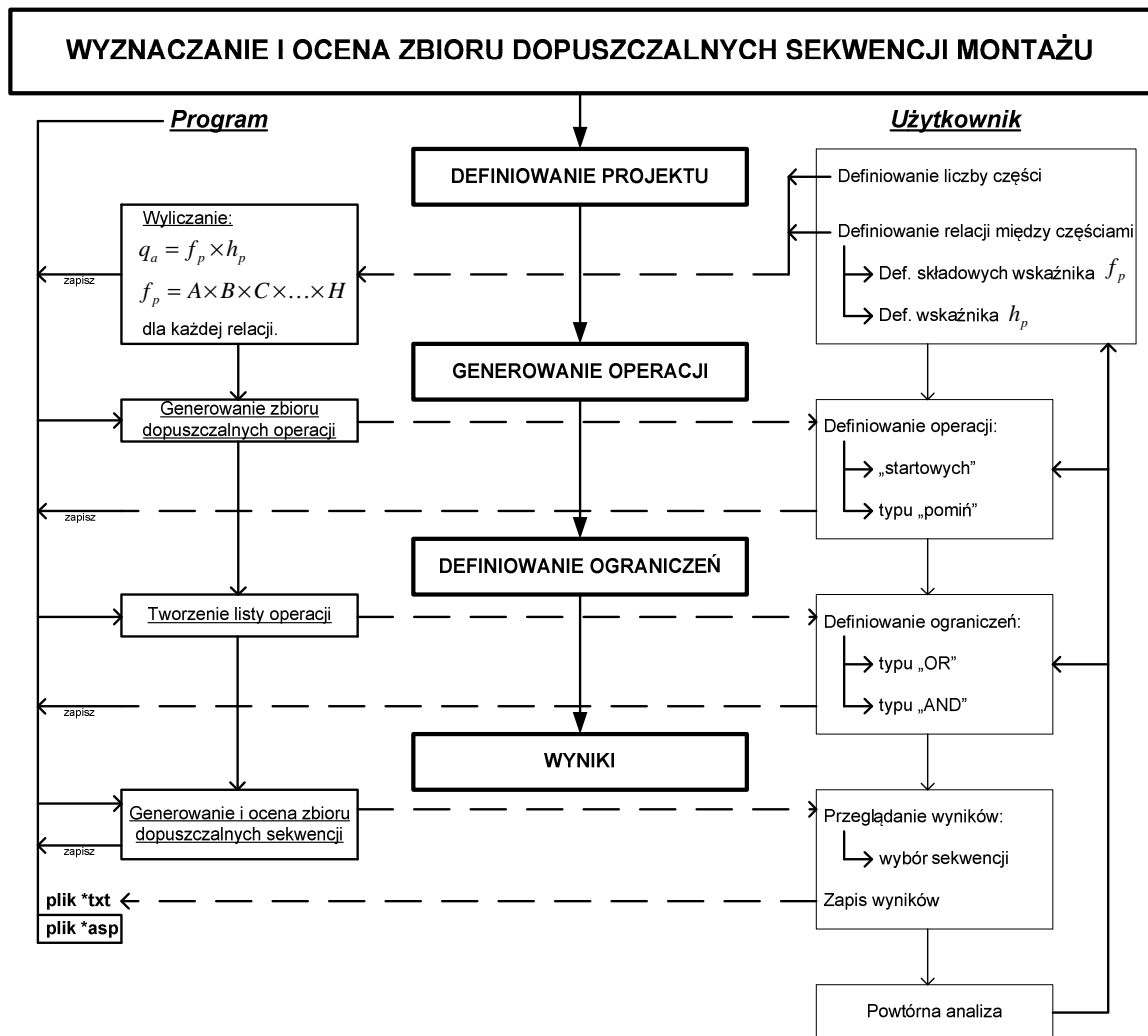
Wszystkie informacje definiowane w pierwszych trzech zakładkach zapisywane są do pliku programu z rozszerzeniem *.asp (od skrótu **a**ssembly **s**equency **p**lanning). W ostatniej zakładce *Run Process* wykonywany jest algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu według zdefiniowanego wcześniej pliku *.asp.

Użytkownik ma możliwość przeglądu wyników i ich zapisu do pliku tekstowego (*.txt), a ponadto uzyskania informacji dotyczących poszczególnych kroków algorytmu. Na rysunku 5.4 przedstawiono wybrane okna dialogowe programu EASYASSEMBLE. Scharakteryzowane wcześniej zakładki widoczne są w formie okien dialogowych. Instrukcję użytkowania programu zamieszczono w załączniku 1.



Rys. 5. 4. Okna dialogowe programu EASYASSEMBLE

Interakcję użytkownika z oprogramowaniem podczas postępowania przy generowaniu dopuszczalnych sekwencji montażu przedstawiono schematycznie na rysunku 5.5. Z prawej strony rysunku zestawiono czynności wykonywane bezpośrednio przez użytkownika, natomiast z lewej części zestawiono te czynności, które realizowane są przez komputer.



Rys. 5.5. Wyznaczanie i ocena sekwencji montażu: program – użytkownik [opracowanie własne]

W poszczególnych krokach użytkownik programu wprowadza swoją wiedzę dotyczącą analizowanego wyrobu. W pierwszym kroku użytkownik programu definiuje liczbę części składowych wyrobu. Na tej podstawie generowany jest odpowiedni rozmiar macierzy zależności, w której użytkownik zapisuje relacje pomiędzy częściami składowymi i każdą z nich ocenia według wskaźnika q_a . W kolejnych dwóch krokach definiowane są połączenia typu „start” i „pomiń” oraz ograniczenia kolejnościowe poprzez połączenia blokujące (typu „AND” i/lub „OR”). Wszystkie te informacje zapisywane są bezpośrednio w pliku *.asp. Przed generowaniem sekwencji montażu,

użytkownik może określić liczbę wyświetlanych najlepiej ocenionych sekwencji oraz zdefiniować plik tekstowy, w którym zapisane zostaną wszystkie kody algorytmu. Po wygenerowaniu dopuszczalnych sekwencji montażu istnieje możliwość zapisu wyników do pliku tekstowego lub wykonania powtórnej analizy poprzez zmiany wcześniej definiowanych informacji dotyczących wyrobu.

Wszystkie dane związane z definiowanymi strukturami wyrobu włącznie z ograniczeniami zapisywane są w pliku wsadowym programu z rozszerzeniem *.asp. Przykładowy plik wsadowy (wykonawczy) programu i stosowaną w nim konwencję kodowania przedstawiono na rysunku 5.6.

przykładowy plik *.asp programu

```

[General]
Version=0
SubVersion=0
[Project]
Name=4
Elements=4
[Element_1]
Name=part_1
2=[1,1.00,0,1,1,0,1,1,0,1,false,false]
[Element_2]
Name=part_2
1=[1,1.30,0,0,1,2,3,1,0,0,true,false]
[Element_3]
Name=part_3
2=[1,1.00,1,0,1,1,0,0,0,0,false,false]
[Element_4]
Name=part_4
2=[1,1.00,0,0,2,0,2,0,2,0,false,true]
3=[1,1.20,1,0,5,0,3,0,0,0,false,false]
[Sequences_with_blocking]
0=2<--1
[2<--1]
OR_0=[3<--4]
AND_0=[2<--3,2<--4]

2=[1,1.00,0,1,1,0,1,1,0,1,false,false]
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
1 - identyfikator części
2 - indeks wartości pola Type: =0 (Automated), =1 (Manual)
3 - wartość pola Assembly variability risk qa
4 - indeks wartości pola składowej A funkcji Fitting process risk fp
5 - indeks wartości pola składowej B funkcji Fitting process risk fp
6 - indeks wartości pola składowej C funkcji Fitting process risk fp
7 - indeks wartości pola składowej D funkcji Fitting process risk fp
8 - indeks wartości pola składowej E funkcji Fitting process risk fp
9 - indeks wartości pola składowej F funkcji Fitting process risk fp
10- indeks wartości pola składowej G funkcji Fitting process risk fp
11- indeks wartości pola składowej H funkcji Fitting process risk fp
12- true lub false - "dozwolona" lub "nie dozwolona" operacja "startowa"
13- true lub false - "nie pomija" lub "pomiń" operację

[Sequences_with_blocking] Zdefiniowane operacje "blokujące"
0=2<--1
[2<--1]
OR_0=[3<--4] typu "OR" dla operacji [2<--1]
AND_0=[2<--3,2<--4] typu "AND" dla operacji [2<--1]

```

Rys. 5. 6. Przykładowy plik *.asp programu

Plik przedstawiony na rysunku 5.6 dotyczy czteroelementowego wyrobu, w którym zdefiniowano:

- relacje: $1 \leftarrow 2$; $2 \leftarrow 1$; $2 \leftarrow 3$; $2 \leftarrow 4$; $3 \leftarrow 4$,
- operacje typu „start”: $1 \leftarrow 2$,
- operacje typu „pomiń”: $2 \leftarrow 4$,
- operacje blokujące dla $2 \leftarrow 1$: typu „OR” $3 \leftarrow 4$ oraz typu „AND” $2 \leftarrow 3$, $2 \leftarrow 4$.

6. Praktyczne zastosowanie programu komputerowego

W rozdziale tym przedstawiono kolejno trzy analizy wyznaczania i oceny dopuszczalnych sekwencji montażu wybranych przykładów.

Pierwszym z nich, jest stosunkowo prosty przykład podzespołu koła zębatego, jednak wystarczająco skomplikowany, by przedstawić i jednocześnie omówić najważniejsze cechy praktycznego zastosowania opracowanego programu komputerowego. Przykład ten i jego rozwiązanie przedstawiono w podrozdziale 6.1.

Kolejnym zastosowaniem programu jest wyznaczenie najkorzystniejszych sekwencji montażu dla palnika gazowego. Przykład ten realizowany był przy współpracy z producentem tego palnika. Opis i rozwiązanie tego przykładu przedstawiono w podrozdziale 6.2.

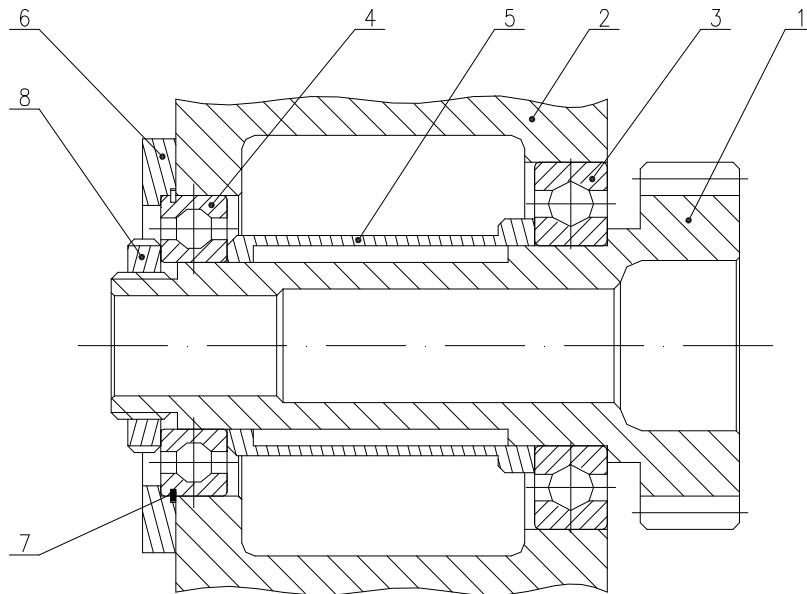
Ostatnim, zamieszczonym w niniejszej pracy przykładem zastosowania programu EASYASSEMBLE, jest wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu dla złożonego wyrobu, jakim jest siłownik pneumatyczny obrotowo-wahliwy. Przeprowadzono również analizę możliwości zmian konstrukcji. Analizę dla tego wyrobu przedstawiono w podrozdziale 6.3.

Dla palnika gazowego i siłownika przeprowadzono również analizę możliwości modyfikacji konstrukcji elementów składowych i ich wpływu na wartościowanie sekwencji. Uzyskane wyniki omówiono w rozdziale 7.

6.1. Podzespół koła zębatego

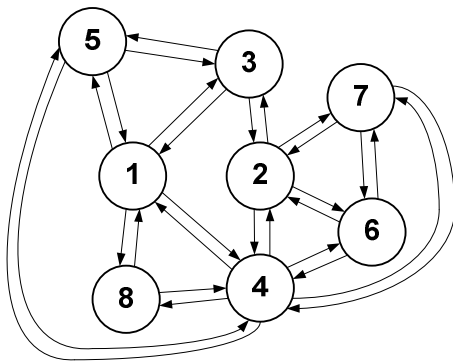
Wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu i ich ocena wykonane zostaną na przykładzie podzespołu koła zębatego ułożyskowanego w korpusie. Podzespół ten przedstawiono na rysunku 6.1, gdzie poniżej wyspecyfikowano jego części składowe. Ponadto na rysunku tym przedstawiono graf relacji między częściami składowymi podzespołu oraz macierz zależności odwzorowującą te relacje. W rozważanym przykładzie istnieje 28 możliwych połączeń montażowych, przy założeniu, że wynikają

one z relacji „styczności”. Przez sformułowanie „styczność” rozumie się stan, w którym pomiędzy dwoma częściami istnieje relacja kontaktu.



1–koło zębate, 2–korpus, 3–łożysko 1, 4–łożysko 2, 5–tuleja dystansowa, 6–pokrywa boczna, 7–pierścień zabezpieczający, 8–nakrętka

Graf relacji



Macierz zależności

	1	2	3	4	5	6	7	8
1			X	X	X			X
2			X	X		X	X	
3	X	X			X			
4	X	X			X	X	X	X
5	X		X	X				
6		X		X			X	
7		X		X		X		
8	X			X				

Rys. 6. 1. Podzespół koła zębatego

Stosowana konwencja zapisu połączeń montażowych: np. $1 \leftarrow 3$ informuje o dołączaniu do części 1 części oznaczonej numerem 3. Zbiór wszystkich możliwych (teoretycznie) połączeń dla podzespołu z rysunku 6.1 zestawiono w tabeli 6.1. Połączenia te zapisano również w formie grafu i macierzy zależności, na powyższym rysunku. Analizowanie wszystkich elementów tego zbioru jest pracochłonne, a zarazem niepotrzebne w odniesieniu do generowania dopuszczalnych sekwencji montażu.

Redukcja tego zbioru w znacznym stopniu przyczyni się do zwiększenia efektywności algorytmu generowania dopuszczalnych sekwencji montażu, jak również uprości interakcje użytkownika z programem. Redukowanie zbioru teoretycznych połączeń montażowych można dokonać np. poprzez analizę i wykluczenie tych połączeń, które są niewykonalne w rzeczywistych warunkach, a także tych, które są nadmiernie skomplikowane lub niepożądane ze względu na uwarunkowania i możliwości danego przedsiębiorstwa.

Tabela 6. 1. Zestawienie połączeń dla podzespołu koła zębatego

Lp.	Połączenie montażowe	Wyeliminowane połączenia	Lp.	Połączenie montażowe	Wyeliminowane połączenia
1	1←3		15	4←6	x
2	1←4		16	4←7	
3	1←5		17	4←8	x
4	1←8		18	5←1	
5	2←3		19	5←3	x
6	2←4		20	5←4	x
7	2←6		21	6←2	x
8	2←7	x	22	6←4	x
9	3←1		23	6←7	x
10	3←2		24	7←2	x
11	3←5	x	25	7←4	x
12	4←1		26	7←6	x
13	4←2		27	8←1	x
14	4←5	x	28	8←4	x

Zbiór 28 teoretycznych połączeń montażowych, w analizowanym podzespole, zredukowano do 13 par. Wykluczone połączenia odznaczono symbolem „x” w odpowiedniej kolumnie tabeli 6.1.

Poniżej przedstawiono trzy scenariusze, według których wykonano wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu:

- scenariusz 1, w którym założono, że częścią bazową będzie korpus oznaczony na rysunku 6.1 numerem 2,
- scenariusz 2, w którym założono teoretycznie, że bazowymi mogą być części oznaczone numerami 1, 2 i 3,
- scenariusz 3, w którym założono rozwiązanie dwóch różnych wariantów zdefiniowania podzespółów montażowych. W pierwszym wariantcie założono, że podzespół stanowić będą części numer 1,3,4,5,8, natomiast pozostałe będą częściami swobodnymi (2,7,6). W drugim wariantcie założono dwa podzespoły montażowe złożone kolejno z części numer (2,4,6,7) i (1,3,5) oraz jednej części swobodnej - 8.

6.1.1. Rozwiązanie scenariusza 1

Przy założeniu, że bazową jest część nr 2 (korpus), zbiór połączeń montażowych należy zredukować o wszystkie te, w których część 2 jest dołączana. W analizowanym przypadku są to połączenia: 3←2 i 4←2. Po ich wykluczeniu, do generowania dopuszczalnych sekwencji montażu uwzględnionych zostanie 11 połączeń montażowych.

W tabeli 6.2 zestawiono informacje potrzebne do rozwiązaniu scenariusza 1. Tabela ta zawiera zapis informacji dotyczących konstrukcji oraz ograniczeń kolejnościowych, w tym:

- opis połączenia montażowego (np. 1←3, 1←4, 1←5, itp.),
- połączenia startowe (oznaczone znakiem „x” – połączenia, od których algorytm rozpoczyna generowanie sekwencji montażu),
- połączenia blokujące (warunki kolejnościowe przy budowaniu sekwencji montażu),
- połączenia typu „pomiń” (wartość TAK lub NIE: TAK – w przypadku, jeżeli dane połączenie nie ma występować w budowanej lub reorganizowanej sekwencji montażu, NIE – w przypadku, kiedy nie wykluczamy połączenia z sekwencji montażu).

Tabela 6. 2. Zestawienie informacji do rozwiązania Scenariusza 1

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; ∨	„AND” ; ∧
1	1←3	--	1←5 ∨ 5←1	--
2	1←4	--	1←8 ∨ 2←6	--
3	1←5	--	1←8 ∨ 1←4 ∨ 4←1	2←3 ∧ 2←4
4	1←8	--	--	--
5	2←3	x	--	--
6	2←4	x	1←8	2←3 ∧ 2←6
7	2←6	--	--	--
8	3←1	--	--	--
9	4←1	--	1←8	--
10	4←7	--	2←6	--
11	5←1	--	4←1 ∨ 1←4	--

Odwzorowanie relacji pomiędzy częściami składowymi rozważanego podzespołu, w formie macierzy zależności, przedstawiono w oknie dialogowym programu *Structure Matrix* na rysunku 6.2. Zdefiniowano 11 relacji przypisując każdej z nich odpowiednią ocenę połączenia – wg tabeli 6.3.

Tabela 6. 3. Ocena połączeń montażowych dla Scenariusza 1

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←3	1,0	2,5	2,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	8,25	1,0	8,25
1←4	2,5	2,5	2,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	20,63	1,0	20,63
1←5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,4	1,0	1,54	1,0	1,54
1←8	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0
2←3	1,0	2,5	2,2	1,2	1,0	1,0	1,4	1,5	13,86	1,0	13,86
2←4	2,5	2,5	2,2	1,0	1,0	1,0	1,4	1,5	28,88	1,0	28,88
2←6	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
3←1	1,0	2,5	2,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	9,9	1,0	9,9
4←1	2,5	2,5	2,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	24,75	1,0	24,75
4←7	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,2
5←1	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,32	1,0	1,32

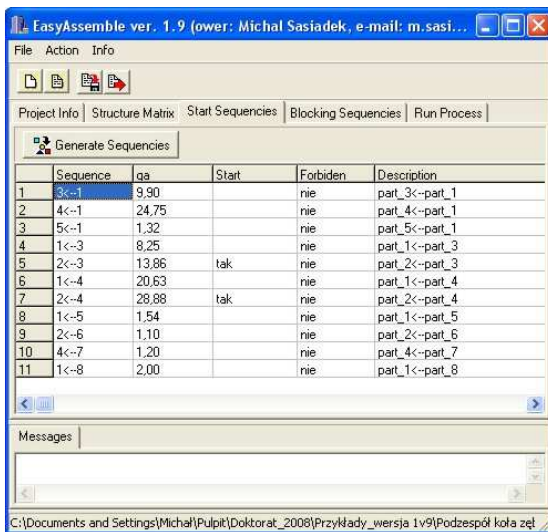
W oknie dialogowym, przedstawionym na rysunku 6.2, każde połączenie montażowe oznaczone jest na przecięciu odpowiednich: wiersza i kolumny macierzy odwzorowujących dwie części składowe tworzące to połączenie. Ponadto połączenie to scharakteryzowane jest wartością wskaźnika oceny, wg zestawienia w tabeli 6.3.

		1	2	3	4	5	6	7	8
		part 1	part 2	part 3	part 4	part 5	part 6	part 7	part 8
1	part 1			9,90	24,75	1,32			
2	part 2								
3	part 3	8,25	13,86						
4	part 4	20,63	28,88						
5	part 5	1,54							
6	part 6		1,10						
7	part 7				1,20				
8	part 8	2,00							

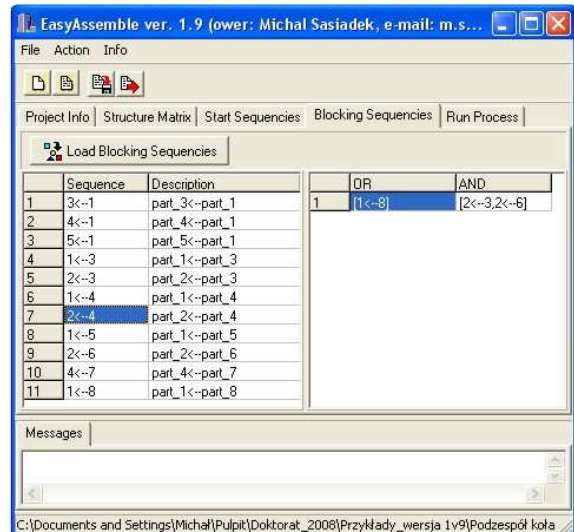
Rys. 6. 2. Macierz struktury konstrukcyjnej podzespołu dla scenariusza 1

Kolejnym krokiem wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu jest zdefiniowanie połączeń startowych. Przy założeniach scenariusza 1 połączeniami takimi mogą być jedynie: 2←3, 2←4 oraz 2←6. Jednak ostatnie z nich (2←6), dołączenie pokrywki bocznej 6 do korpusu 2, nie może być rozważane jako połączenie startowe

ponieważ należy ono do grupy połączeń blokujących. Zdefiniowane połączenia startowe przedstawiono na rysunku 6.3.

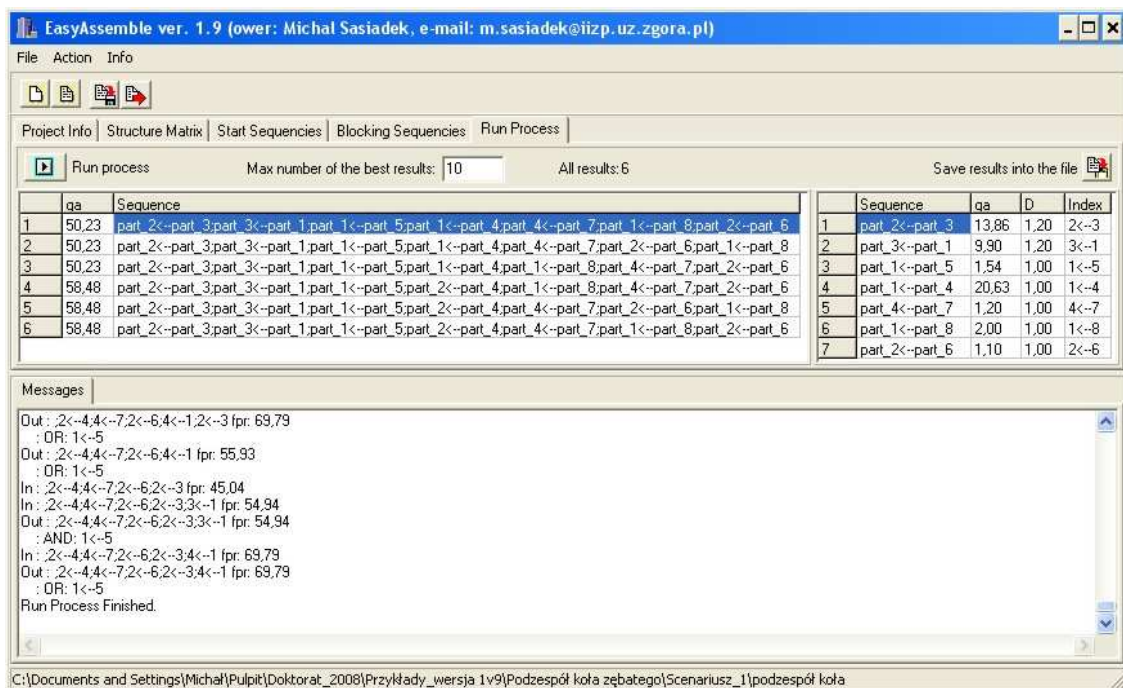


Rys. 6. 3. Zakładka Start Sequences-scen. 1



Rys. 6. 4. Zakładka Blocking Sequences- scen.1

W kolejnym kroku, w zakładce *Blocking Sequences* definiowane są połączenia blokujące typu: „OR”, „AND”, które zdefiniowano zgodnie z tabelą 6.2 i przedstawiono je na rysunku 6.4. Wynikowe okno dialogowe programu przedstawiono na rysunku 6.5.



Rys. 6. 5. Wynikowe okno dialogowe - scenariusz 1

W wyniku działania algorytmu uzyskano 6 dopuszczalnych sekwencji montażu widocznych w oknie dialogowym programu w zakładce *Run Process* przedstawionej na rysunku 6.5.

6.1.2. Rozwiązanie scenariusza 2

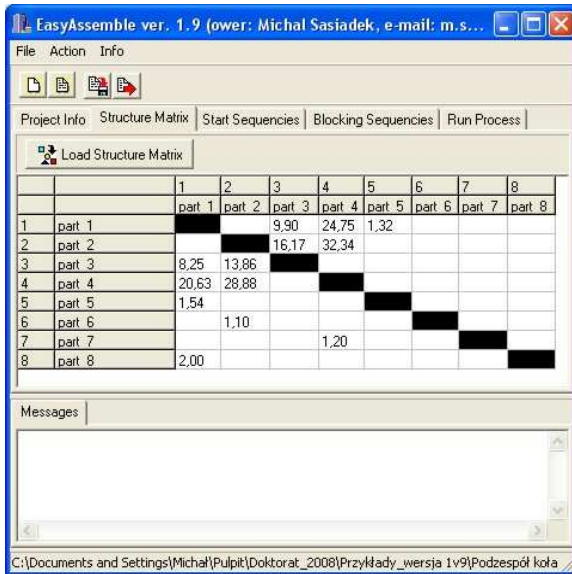
W scenariuszu 2 zakłada się wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu przy uwzględnieniu części 1, 2 i 3 jako bazowych (teoretycznie). Wszystkie wymagane informacje i ograniczenia dotyczące rozważanego przypadku zestawiono w tabeli 6.4. Poszczególne kroki wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu (analogicznie jak w przypadku przedstawionego powyżej rozwiązania scenariusza 1) przedstawiono poniżej.

Tabela 6. 4. Zestawienie informacji do rozwiązania Scenariusza 2

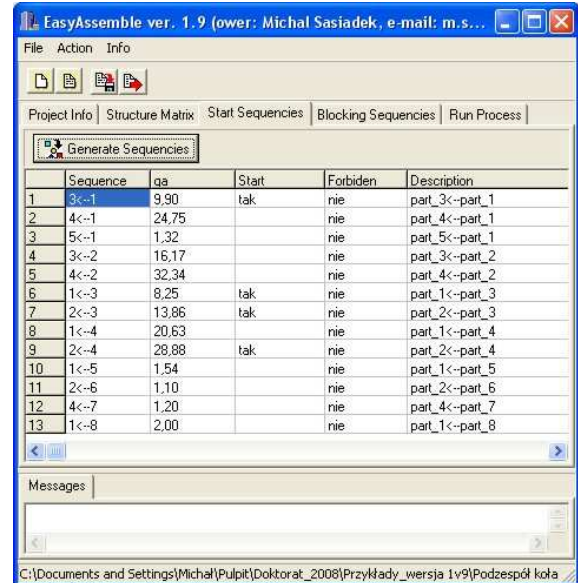
Lp.	Połączenia montażowe	Połączenia startowe	Połączenia blokujące		Wskaźnik $q_a = h_p \times f_p$
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge	
1	1←3	x	1←5 \vee 5←1	--	8,25
2	1←4	--	1←8 \vee 2←6	--	20,63
3	1←5	--	1←4 \vee 4←1 \vee 1←8	2←3 \wedge 2←4	1,54
4	1←8	--	--	--	2,0
5	2←3	x	--	--	13,86
6	2←4	x	1←8	2←3 \wedge 2←6	28,88
7	2←6	--	--	--	1,1
8	3←1	x	--	--	9,9
9	3←2	--	--	--	16,17
10	4←1		1←8	--	24,75
11	4←2		1←8	2←3 \wedge 2←6	32,34
12	4←7		2←6	--	1,2
13	5←1		4←1 \vee 1←4	2←3 \wedge 2←4	1,32

W tabeli 6.4, oprócz połączeń startowych i blokujących, zestawiono wartości wskaźnika oceny poszczególnych połączeń.

Zdefiniowany podzespół w formie macierzy struktury konstrukcyjnej przedstawiono w oknie dialogowym programu na rysunku 6.6. Zdefiniowano 13 relacji pomiędzy elementami składowymi przypisując każdej z nich odpowiadający wskaźnik oceny łączenia części – według tabeli 3. Kolejnym krokiem wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu jest zdefiniowanie połączeń startowych. Przy założeniach rozwiązywanego scenariusza są nimi: 2←3, 2←4, 3←1, 1←3 (rysunek 6.7).

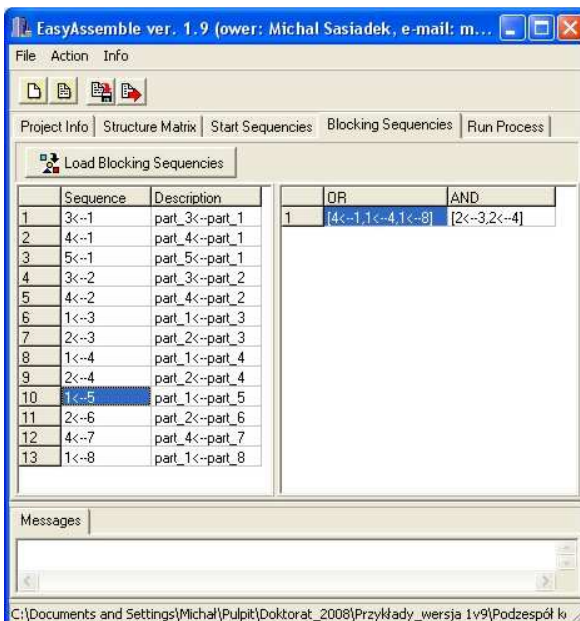


Rys. 6. 6. Okno dialogowe *Structure Matrix* - scenariusz 2



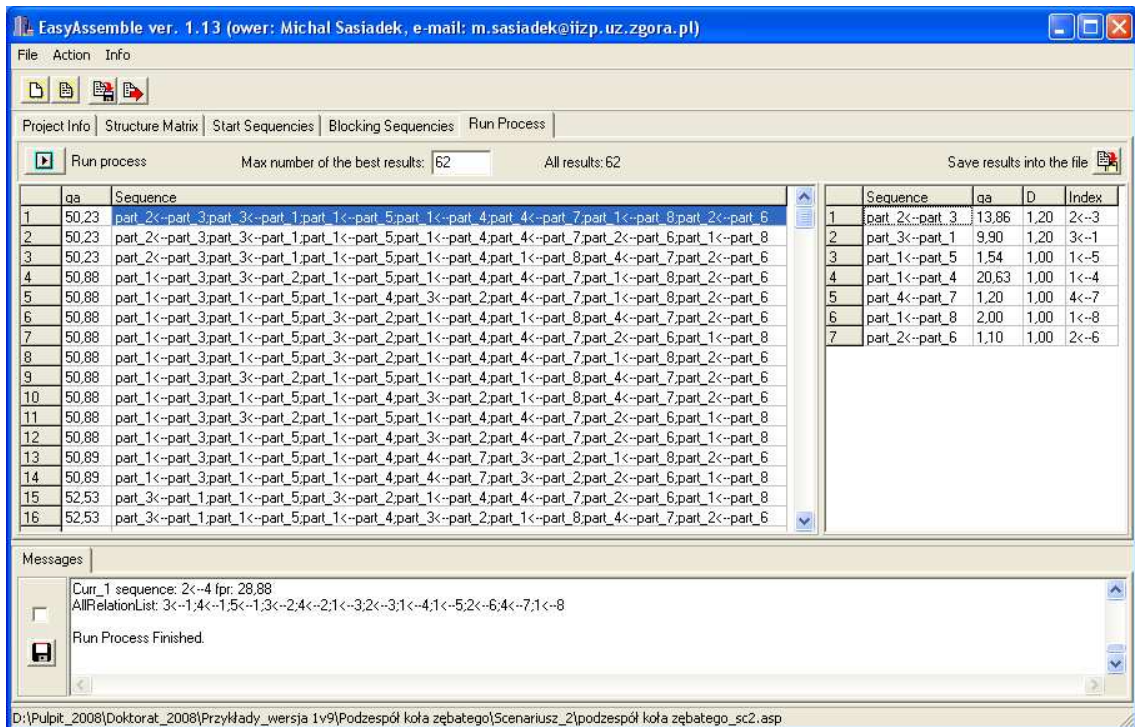
Rys. 6. 7. Okno dialogowe *Start Sequencies* - scenariusz 2

Po zdefiniowaniu połączeń startowych, w kolejnym kroku, w zakładce *Blocking Sequencies* definiowane są połączenia blokujące typu: „AND”, „OR”, zdefiniowane zgodnie z tabelą 6.4, co przedstawiono na rysunku 6.8.



Rys. 6. 8. Okno dialogowe *Blocking Sequencies* - scenariusz 2

W wyniku działania algorytmu uzyskano zbiór 62 dopuszczalnych sekwencji montażu. Wynikowe okno dialogowe programu (zakładka *Run Process*) przedstawiono na rysunku 6.9. Można zauważyć, że w scenariuszu 2 najkorzystniejsze sekwencje pokrywają się z wynikami scenariusza 1. Pozostałe sekwencje wynikowe wygenerowane zostały dla pozostałych zdefiniowanych połączeń startowych (2←4, 3←1, 1←3).



Rys. 6. 9. Wynikowe okno dialogowe - scenariusz 2

Wszystkie (62) uzyskane w scenariuszu 2 wyniki przedstawiono w załączniku 2.

6.1.3. Rozwiązanie scenariusza 3

W scenariuszu 3, przy wyznaczaniu dopuszczalnych sekwencji montażu, założono dwa warianty uwzględniające możliwości montażu analizowanego wyrobu z różnych podzespołów:

- wariant 1 [(1,3,4,5,8); 2; 7; 6] - montaż przy uwzględnieniu podzespołu (1,3,4,5,8),
- wariant 2 [(2,4,6,7); (1,3,5); 8] - montaż przy uwzględnieniu podzespołów: (1,3,5) i (2,4,6,7).

Podzespoły ustalone zostały w wyniku analizy dokumentacji konstrukcyjnej.

Rozwiązanie wariantu 1 [(1,3,4,5,8); 2; 7; 6]

W wariantcie 1 scenariusza 3 przyjęto, że montaż wykonany będzie z założeniem jednego podzespołu montażowego złożonego z części: 1,3,4,5,8. Analiza wyznaczenia zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu przeprowadzona będzie w dwóch etapach. W pierwszym etapie wyznaczone zostaną sekwencje dla podzespołu, natomiast w drugim

wyznaczone zostaną sekwencje dla całego przykładu z uwzględnieniem wyników zakładanego podzespołu. Wyznaczenie dopuszczalnych sekwencji dla podzespołu stanowić będzie rozwiązanie częściowe (podsekwencję) rozwiązania całościowego.

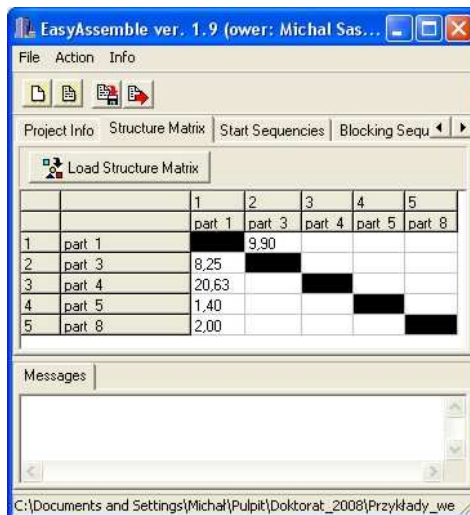
Rozwiązanie częściowe wariantu 1 – podsekwencja (1,3,4,5,8)

Dla podzespołu (1,3,4,5,8) wszystkie dane wejściowe i ograniczenia zestawiono w tabeli 6.5. Kolejne kroki algorytmu wyznaczenia dopuszczalnych sekwencji montażu przedstawiono w odpowiednich oknach dialogowych programu.

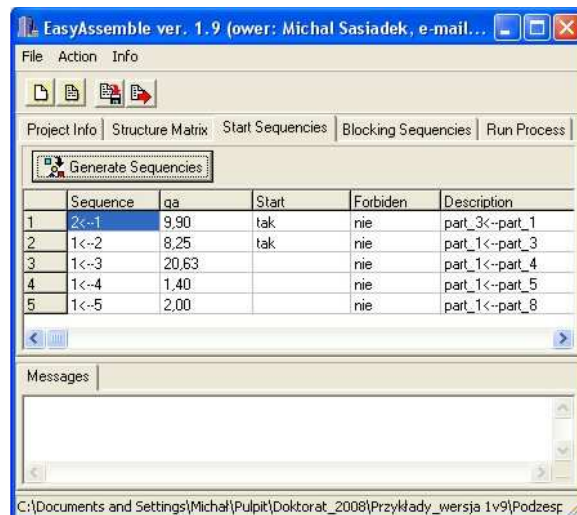
Tabela 6. 5. Zestawienie informacji do rozwiązania wariantu 1 Scenariusza 3

Lp.	Połączenia montażowe	Połączenia startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
1	1←3	x	--	--
2	1←4	--	1←8	--
3	1←5	--	1←4 \vee 1←8	--
4	1←8	--	--	--
8	3←1	x	--	--

Na rysunku 6.10 przedstawiono okno dialogowe programu z aktywną zakładką *Structure Matrix*, w której zdefiniowano strukturę konstrukcyjną podzespołu, każdej relacji przypisując wartość współczynnika q_a .

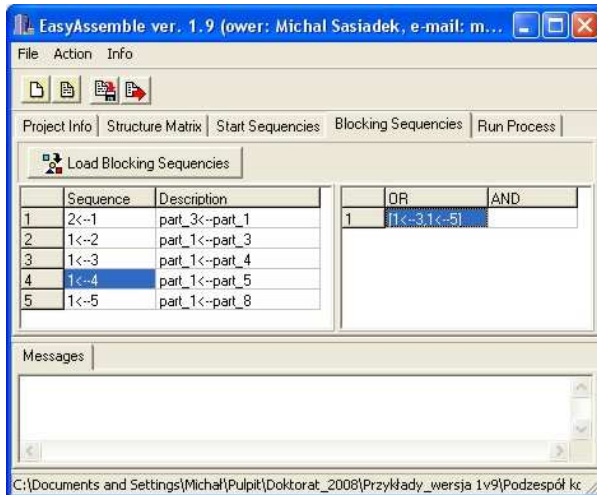


Rys. 6. 10. Zakładka *Structure Matrix* - wariant 1 scenariusza 3



Rys. 6. 11. Zakładka *Start Sequences* - wariantu 1 scenariusza 3

W kolejnej zakładce programu spośród wszystkich możliwych połączeń startowych (zestawionych w pierwszej kolumnie) wybierane są te, od których dopuszcza się budowanie sekwencji montażu. W podzespole (1,3,4,5,8) są to połączenia 1←3 i 3←1. Krok ten przedstawiono na rysunku 6.11.



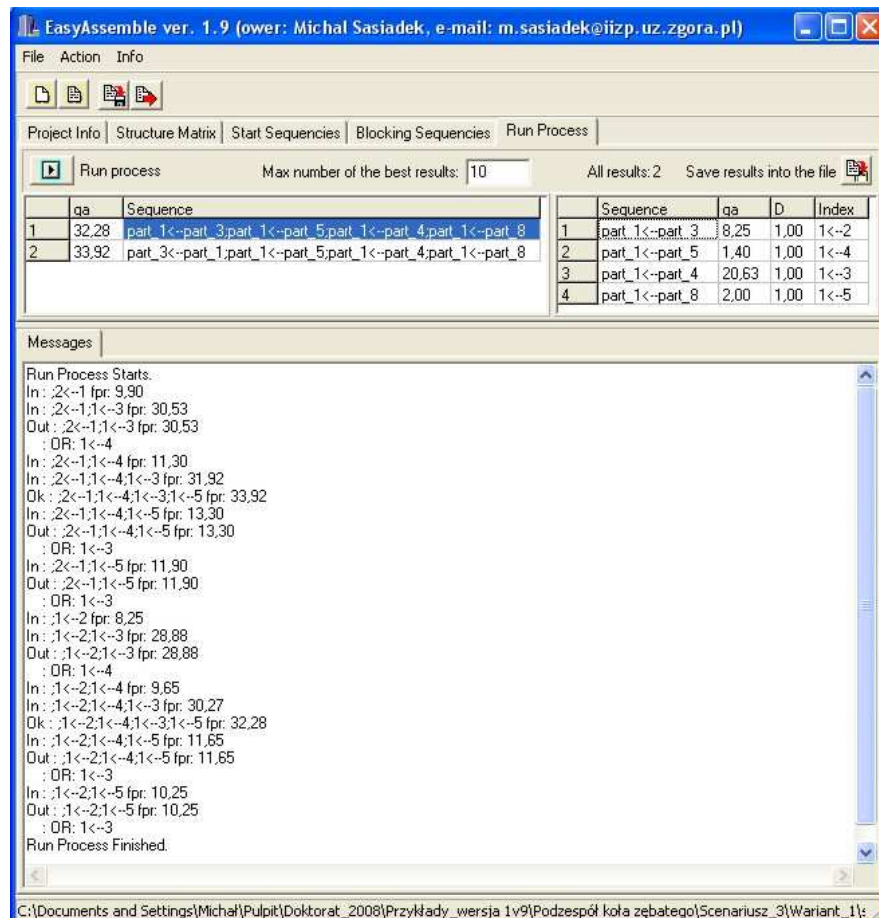
Rys. 6. 12. Zakładka *Blocking Sequences* - wariantu 1 scenariusza 3

Następnie definiowane są ograniczenia w postaci relacji kolejnościowych.

Dla rozwiązywanego podzespołu zdefiniowane zostały dwa ograniczenia: dla połączenia $1 \leftarrow 4$ oraz $1 \leftarrow 5$, zgodnie z tabelą 6.5, co przedstawiono na rysunku 6.12. Po uwzględnieniu wszystkich ograniczeń uzyskano dwie sekwencje – rysunek 6.13. Wartość wskaźnika q_a dla wynikowych sekwencji wynosi odpowiednio:

- $(1 \leftarrow 3; 1 \leftarrow 5; 1 \leftarrow 4; 1 \leftarrow 8) \Rightarrow q_a = 32,28$,
- $(3 \leftarrow 1; 1 \leftarrow 5; 1 \leftarrow 4; 1 \leftarrow 8) \Rightarrow q_a = 33,92$.

W polu *Messages* na rysunku 6.13 widoczne jest działanie algorytmu programu.



Rys. 6. 13. Wynikowe okno dialogowe - wariantu 1 scenariusza 3

Rozwiązanie całościowe wariantu 1 [(1,3,5,4,8); 2; 7; 6]

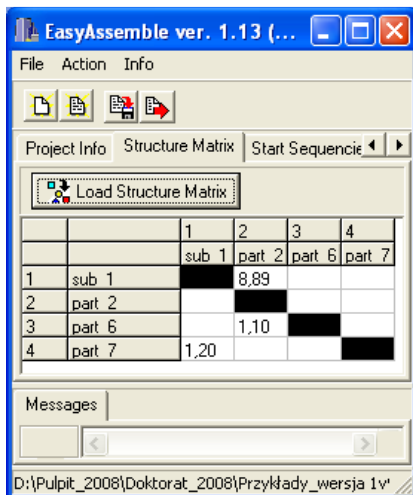
Na podstawie tabeli 6.6 w zakładce *Structure Matrix* programu zdefiniowano zależności pomiędzy częściami składowymi rozważanego podzespołu (rysunek 6.14).

Tabela 6. 6. Zestawienie informacji do rozwiązania wariantu 1 Scenariusza 3

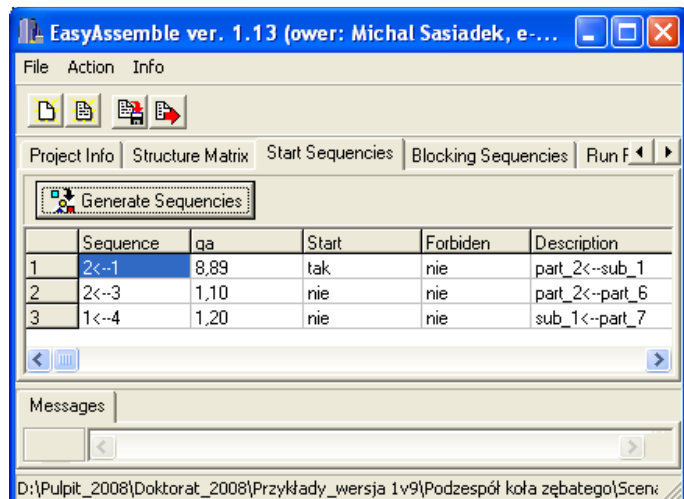
Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenie blokujące	
			„OR” ; ∨	„AND” ; ∧
1	sub_1*←7	--	2←6	--
2	2←sub_1*	x	1←7	--
3	2←6	--	--	--

*sub_1 – podzespół (1,3,4,5,8)

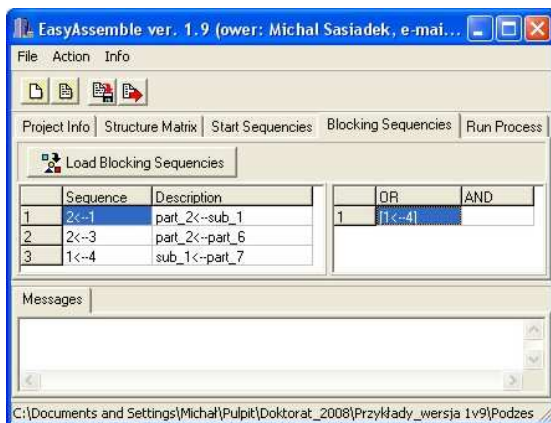
W kolejnym kroku programu spośród wszystkich możliwych połączeń startowych (sub_1←7; 2←sub_1; 2←6) wybrano połączenie: 2←sub_1. Okno dialogowe ze zdefiniowanym połączeniem startowym przedstawiono na rysunku 6.15.



Rys. 6. 14. Okno dialogowe *Structure Matrix* - wariantu 1 scenariusza 3

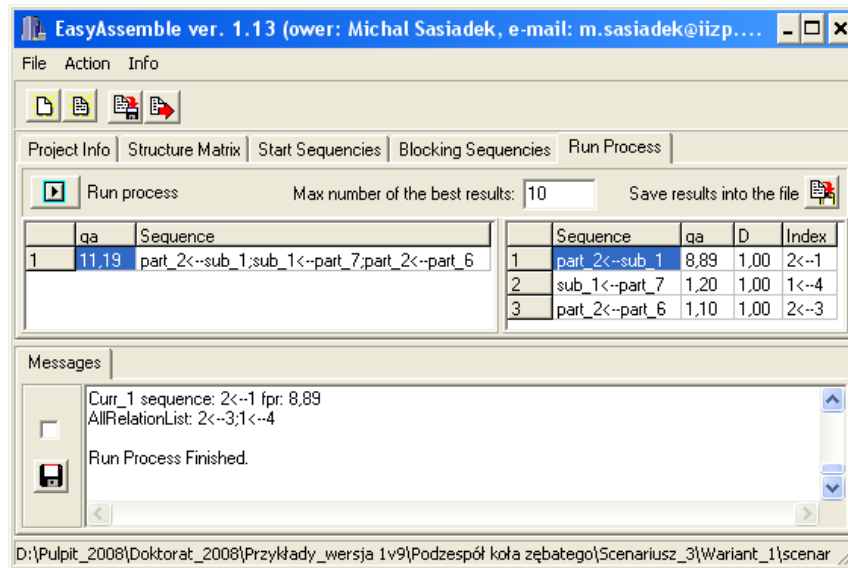


Rys. 6. 15. Okno dialogowe *Start Sequences* - wariantu 1 scenariusza 3



Rys. 6. 16. Okno dialogowe *Blocking Sequences* - wariantu 1 scenariusza 3

Relacje kolejnościowe zdefiniowano w kolejnej zakładce programu *Blocking Sequences* (rysunek 6.16), zgodnie z tabelą 6.6. W rezultacie działania algorytmu otrzymano 1 poprawną kolejność łączenia w wariantcie 1, widoczną w wynikowym oknie dialogowym programu przedstawionym na rysunku 6.17.



Rys. 6. 17. Wynikowe okno dialogowe wariantu 1 scenariusza 3

Wynikowa sekwencja **[2-(1,3,4,5,8)-7-6]** charakteryzuje się wskaźnikiem $q_a = 32,28 + 11,19 = 43,47$.

Rozwiązanie wariantu 2 [(2,4,6,7); (1,3,5); 8]

W wariacie 2 scenariusza 3 przyjęto, że montaż analizowanego wyrobu realizowany będzie przy założeniu 2 podzespołów montażowych złożonych odpowiednio z części: (2,4,6,7) i (1,3,5). Rozwiązania częściowe tych podzespołów stanowić będą podsekwencje rozwiązania całościowego. Po rozwiązaniu obu podzespołów montażowych dokona się agregacji rozwiązań częściowych celem wyznaczenia rozwiązania całościowego.

Rozwiązanie częściowe wariantu 2 - podsekwencja (2,4,6,7)

Dla podzespołu montażowego (2,4,6,7) wszystkie dane wejściowe i ograniczono zestawiono w tabeli 6.7.

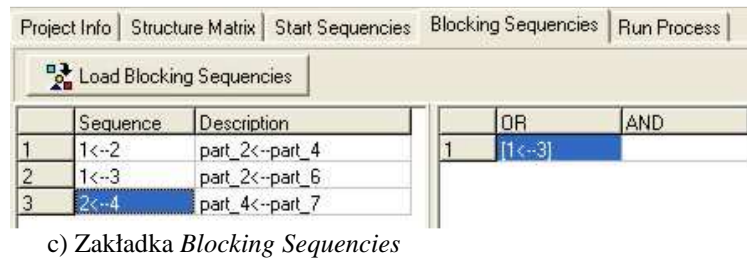
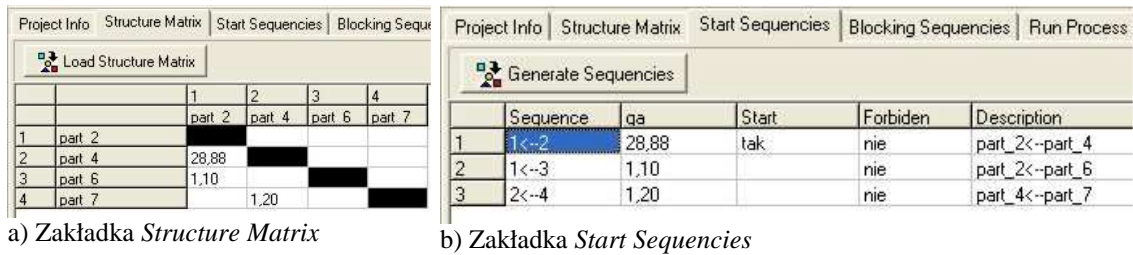
Tabela 6. 7. Zestawienie informacji do rozwiązania 1 wariantu 2 scenariusza 3

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące		Wskaźnik $q_a = h_p \times f_p$
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge	
1	2←4	x	--	--	11,55
2	2←6	--	--	--	1,1
3	4←7	--	2←6	--	1,2

Na podstawie tabeli 6.7 wyznaczono dopuszczalne sekwencje dla podzespołu montażowego (2,4,6,7), w kolejnych czterech krokach:

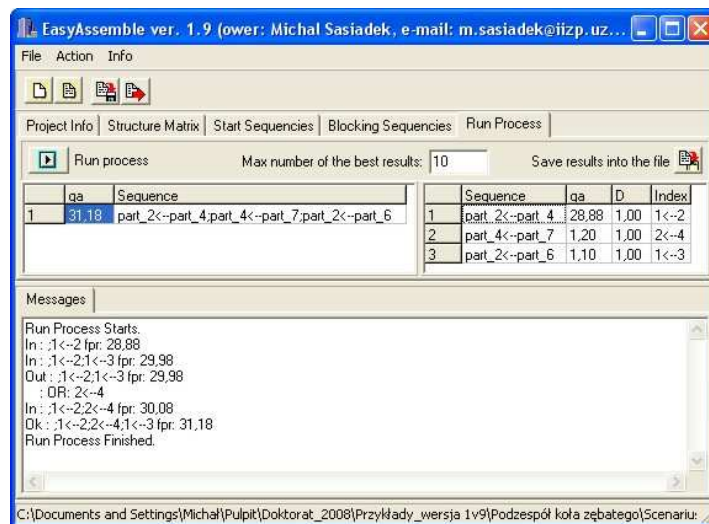
- Krok 1 – Definiowanie relacji pomiędzy częściami – rysunek 6.18 a),
- Krok 2 – wyznaczenie połączeń startowych – rysunek 6.18 b),

- Krok 3 – definiowanie relacji kolejnościowych i ograniczeń – rysunek 6.18 c).



Rys. 6. 18. Okna dialogowe – wariant 2 - Scenariusz 3

- Krok 4 – wyniki algorytmu generowania dopuszczalnych sekwencji – rysunek 6.19.



Rys. 6. 19. Wynikowe okno dialogowe – podzespół 1 wariantu 2 scenariusza 3

Rozwiązanie częściowe wariantu 2 - podsekwencja (1,3,5)

Dla podzespołu złożonego z części 1,3,5, wszystkie dane wejściowe i ograniczono zestawiono w tabeli 6.8.

Tabela 6. 8. Zestawienie informacji dla rozwiązania 2 wariantu 2 Scenariusza 3

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenia startowe	Połączenia blokujące		Wskaźnik $q_a = h_p \times f_p$
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge	
1	1←3	x	--	--	11,55
2	1←5	--	--	--	3,0
3	3←1	--	--	--	11,55
4	5←1	--	--	--	3,0

Na podstawie powyższej tabeli wyznaczono dopuszczalne sekwencje dla podzespołu montażowego (1-3-5), w kolejnych krokach:

- Krok 1 – Definiowanie relacji pomiędzy częściami – rysunek 6.20 a),
- Krok 2 – zdefiniowanie połączeń startowych – rysunek 6.20 b),

a) Zakładka *Structure Matrix*

		1	2	3
		part 1	part 3	part 5
1	part 1		9,90	1,20
2	part 3	8,25		
3	part 5	1,40		

b) Zakładka *Start Sequences*

	Sequence	qa	Start	Forbidden	Description
1	2<-1	9,90		nie	part_3<-part_1
2	3<-1	1,20		nie	part_5<-part_1
3	1<-2	8,25	tak	nie	part_1<-part_3
4	1<-3	1,40		nie	part_1<-part_5

a) Zakładka *Structure Matrix* b) Zakładka *Start Sequences*

Rys. 6. 20. Okna dialogowe dla podzespołu 2 - wariant 2 - scenariusz 3

- Krok 3 – definiowanie ograniczeń (w rozważanym przypadku nie zdefiniowano ograniczeń w postaci relacji kolejnościowych),
- Krok 4 – wyniki algorytmu generowania dopuszczalnych sekwencji – rysunek 6.21.

EasyAssemble ver. 1.9 (owner: Michal Sasiadek, e-mail: m.sa...)

File Action Info

Project Info | Structure Matrix | Start Sequences | Blocking Sequences | Run Process

Run process Max number of the best results: 10 s into the files

	qa	Sequence	Sequence	qa	D	Index
1	9,65	part_1<-part_3;part_1<-part_5	part_1<-part_3	8,25	1,00	1<-2
2			part_1<-part_5	1,40	1,00	1<-3

Messages

Run Process Starts.
In : ;1<-2 fpr: 8,25
Ok : ;1<-2;1<-3 fpr: 9,65
Run Process Finished.

C:\Documents and Settings\Michal\Pulpit\Doktorat_2008\Przykłady_wersja 1v9\Podzespół koła z

Rys. 6. 21. Wynikowe okno dialogowe - podzespołu 2 wariantu 2 scenariusza 3

Rozwiązanie całościowe wariantu 2 [(2,4,6,7); (1,3,5); 8]

Po ustaleniu kolejności montażu w podzespołach montażowych (2,4,6,7) i (1,3,5) przeprowadzono wyznaczenie sekwencji montażu całego rozważanego podzespołu. Tabela z danymi do rozwiązania całościowego przedstawiono poniżej (tabela 6.9).

Tabela 6. 9. Zestawienie informacji do rozwiązania całościowego wariantu 2 Scenariusza 3

Lp.	Połączenia montażowe	Połączenia startowe	Połączenia blokujące		Wskaźnik $q_a = h_p \times f_p$
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge	
1	sub_1*←sub_2	--	2←6	--	10,80
2	sub_2**←8	x	1←7	--	2,0

W tabeli 6.9 oznaczono: *sub_1 – podzespół (2,4,6,7) oraz **sub_2 – podzespół (1,3,5).

Rozwiązanie całościowe wariantu 2 – scenariusz 3:

- Krok 1 – Definiowanie relacji pomiędzy częściami – rysunek 6.22 a),
- Krok 2 – zdefiniowanie połączeń startowych – rysunek 6.22 b),

Project Info					Structure Matrix					Start Sequen					
Load Structure Matrix															
			1	2	3										
			sub 1	sub 2	part 8										
1	sub 1														
2	sub 2		10,80												
3	part 8			2,40											

Project Info						Structure Matrix						Start Sequencies						Blocking Sequencies						Run F						
Generate Sequencies																														
	Sequence	qa	Start	Forbidden	Description																									
1	1<-2	10,80	tak	nie	sub_1<-sub_2																									
2	2<-3	2,40	nie	nie	sub_2<-part_8																									

a) Zakładka *Structure Matrix* b) Zakładka *Start Sequencies*

Rys. 6. 22. Okna dialogowe –wariantu 2 scenariusza 3

- Krok 3 – definiowanie ograniczeń w postaci relacji kolejnościowych,
- Krok 4 – generowanie wyników – rysunek 6.23.

qa	Sequence	Sequence	qa	D	Index	
13,20	sub 1<-sub 2;sub 2<-part 8	1	sub 1<-sub 2	10,80	1,00	1<-2
		2	sub 2<-part 8	2,40	1,20	2<-3

Messages

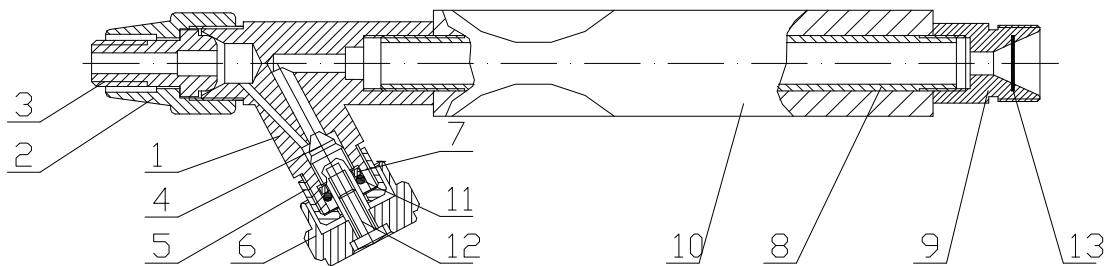
Current sequence: 1<-2;2<-3 fpr: 13,20
 Result 1 : 1<-2;2<-3 fpr: 13,20
 Curr_1 sequence: 1<-2 fpr: 10,80
 AllRelationList: 2<-3
 Run Process Finished.

Rys. 6. 23. Wynikowe okno dialogowe - wariantu 2 scenariusza 3

Wynikowa sekwencja [(2,4,6,7); (1,3,5); 8] uwzględniająca podzespoły charakteryzuje się wskaźnikiem $q_a = 31,18 + 9,65 + 13,20 = 54,03$.

6.2. Palnik gazowy

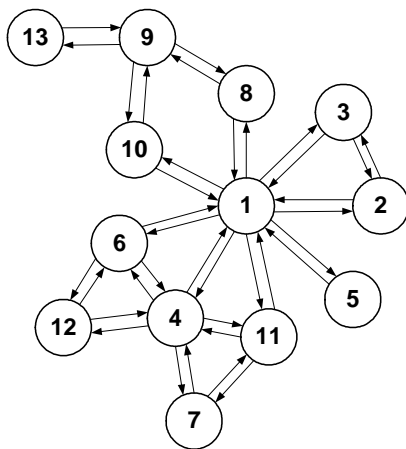
W podrozdziale tym przedstawiona zostanie analiza wyznaczenia zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu dla palnika gazowego przedstawionego na rysunku 6.24. Palnik ten złożony jest z trzynastu części składowych wyspecyfikowanych na poniższym rysunku.



Rys. 6. 24 Budowa palnika gazowego

1 – Korpus, 2-Tuleja gwintowana, 3-Tuleja łącząca, 4-Zawór, 5-Nakrętka dociskowa, 6-Pokrętło zaworu, 7-Pierścień, 8-Łącznik rękojeści, 9-Końcówka łącznika, 10-Rękojeść, 11-Oring, 12-Śruba, 13-Siateczka

Wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji wykonane zostanie przy założeniu, że część bazową stanowi korpus (1). Wykonane zostaną trzy analizy zakładające generowanie sekwencji od połączenia startowego, kolejno: $1 \leftarrow 3$, $1 \leftarrow 4$, $1 \leftarrow 8$. Dla każdego wybranego połączenia startowego wykonane zostaną dwa warianty rozwiązania: jedno ze zdefiniowanym współczynnikiem przekierowania $d=1$, oraz drugie rozwiązanie dla $d=2$, celem porównania otrzymanych wyników i ich zależności od tego współczynnika.



Rys. 6. 25. Relacje części składowych palnika gazowego

Na rysunku 6.25 przedstawiono schematycznie relacje pomiędzy częściami składowymi palnika.

Inną formą zapisu relacji pomiędzy częściami składowymi, preferowaną przez autora pracy, jest odwzorowanie ich w formie macierzy zależności (relacji). Macierz taką, odwzorowującą wszystkie relacje z rysunku 6.25, przedstawiono na rysunku 6.26.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		X	X	X	X	X		X		X	X		
2	X		X										
3	X	X											
4	X					X	X				X	X	
5	X												
6	X			X								X	
7				X							X		
8	X								X	X			
9								X		X			X
10	X							X	X				
11	X			X			X						
12				X		X							
13									X				

Rys. 6. 26. Macierz zależności części składowych palnika gazowego

Na podstawie grafu i macierzy zależności, w tabeli 6.10 zestawiono wszystkie połączenia montażowe, które należy uwzględnić w budowaniu sekwencji, przy założeniach, że częścią bazowa jest korpus. Dodatkowo w tabeli tej odznaczono poprzez „x” te połączenia, które zdefiniowano jako startowe. W ostatnich dwóch kolumnach tabeli zapisano warunki ograniczające w formie połączeń blokujących dwóch typów: OR i AND.

Tabela 6. 10. Zestawienie połączeń montażowych i ograniczeń dla palnika gazowego

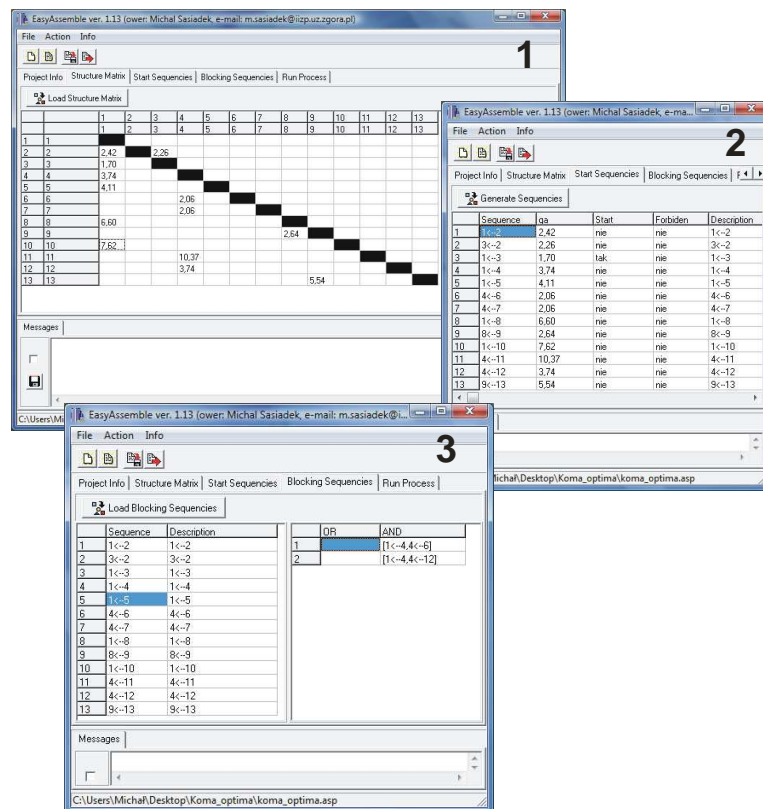
Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
1	1 \leftarrow 2	--	--	--
2	1 \leftarrow 3	x	1 \leftarrow 2	--
3	1 \leftarrow 4	x	1 \leftarrow 5	--
4	1 \leftarrow 5	--	--	(1 \leftarrow 4 \wedge 4 \leftarrow 6) \vee (1 \leftarrow 4 \wedge 4 \leftarrow 12)
5	1 \leftarrow 8	x	--	--
6	1 \leftarrow 10	--	--	1 \leftarrow 8 \wedge 8 \leftarrow 9
7	3 \leftarrow 2	--	--	--
8	4 \leftarrow 6	--	4 \leftarrow 12	--
9	4 \leftarrow 7	--	1 \leftarrow 5 \vee 4 \leftarrow 6 \vee 4 \leftarrow 11 \vee 4 \leftarrow 12	--
10	4 \leftarrow 11	--	1 \leftarrow 5 \vee 4 \leftarrow 6 \vee 4 \leftarrow 12	--
11	4 \leftarrow 12	--	--	--
12	8 \leftarrow 9	--	--	--
13	9 \leftarrow 13	--	--	--

W kroku kolejnym, celem wartościowania generowanych sekwencji, dokonano oceny każdego ze zdefiniowanych połączeń montażowych, według wskaźnika q_a . Oceny połączeń montażowych palnika gazowego przedstawiono w tabeli 6.11.

Tabela 6. 11. Ocena połączeń montażowych w palniku gazowym

Połączenie montażowe	Składowe wskaźniki: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2	1,0	1,0	2,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	2,2	1,1	2,42
1←3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7
1←4	1,0	1,0	2,0	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	3,4	1,1	3,74
1←5	1,0	1,0	2,0	1,7	1,1	1,0	1,0	1,0	3,74	1,1	4,11
1←8	2,5	1,0	2,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	6,0	1,1	6,6
1←10	2,5	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	1,4	1,5	7,62	1,0	7,62
3←2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,7	1,0	2,06	1,1	2,26
4←6	1,0	1,0	1,1	1,7	1,1	1,0	1,0	1,0	2,06	1,0	2,06
4←7	1,0	1,0	1,1	1,7	1,1	1,0	1,0	1,0	2,06	1,0	2,06
4←11	1,0	1,0	2,2	1,7	1,1	1,0	1,4	1,5	8,64	1,2	10,37
4←12	1,0	1,0	2,0	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	3,4	1,1	3,74
8←9	1,0	1,0	2,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,1	2,64
9←13	1,0	1,0	2,2	1,2	1,0	1,0	1,4	1,5	5,54	1,0	5,54

Poniżej przedstawiono kolejne kroki generowania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu i ich oceny, dla każdego z trzech przypadków omówionych na wstępie tego rozdziału. Na rysunku poniżej (rysunek 6.27) przedstawiono trzy główne okna dialogowe programu.



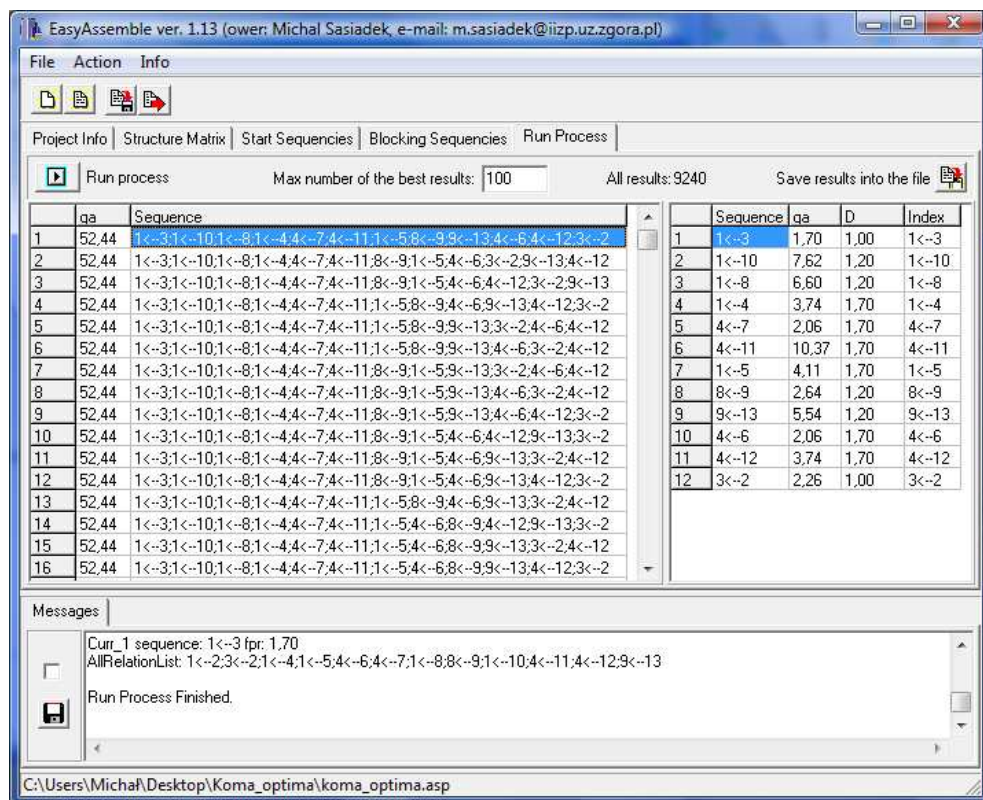
Rys. 6. 27. Okna dialogowe programu – palnik gazowy

W kolejnych oknach na rysunku 6.27 przedstawiono informacje dotyczące:

- 1 - relacji pomiędzy częściami i ich oceny (zakładka *Structure Matrix*),
- 2 – zdefiniowanych połączeń startowych (zakładka *Start Sequencies*),
- 3 – ograniczeń, w formie warunków OR i AND dla odpowiednich połączeń (zakładka *Blocking Sequencies*).

W każdym rozważanym przypadku zmieniają się jedynie połączenia startowe, definiowane w zakładce *Start Sequencies* oraz wartość współczynnika przekierowania d - dlatego też pominięto przedstawienie odpowiednich okien dialogowych programu odwzorowujące te zmiany.

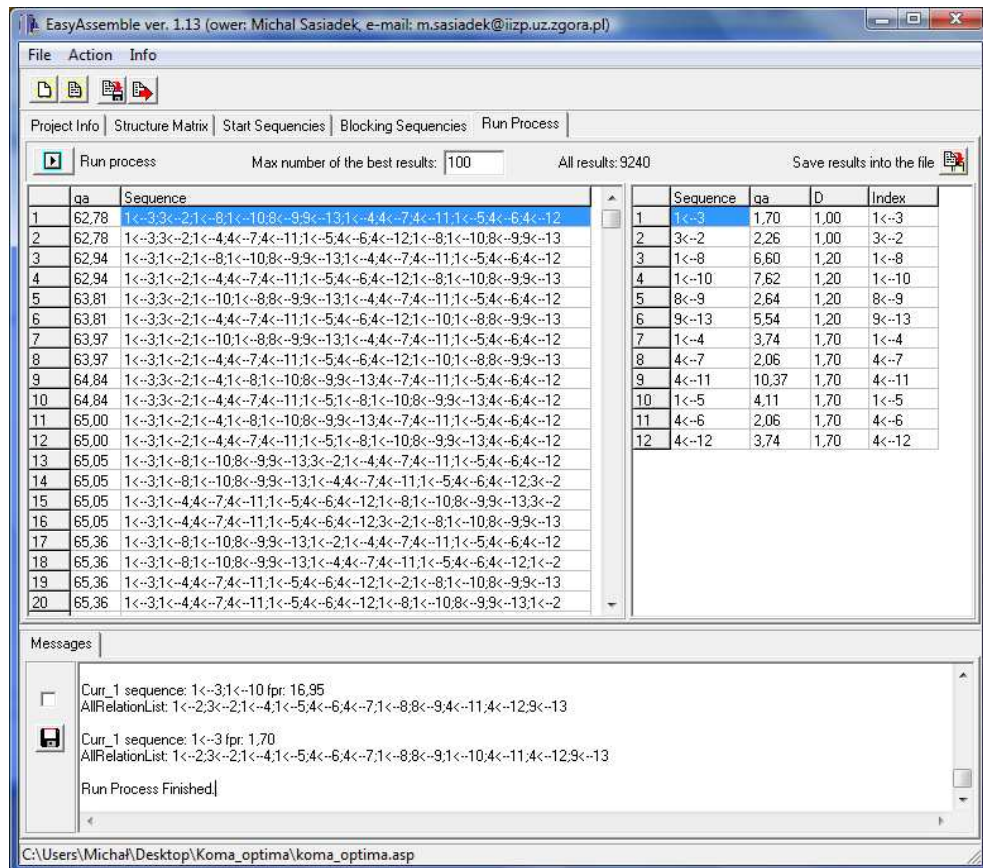
Pierwszym, rozwiązaniem za pomocą programu komputerowego, jest przypadek, w którym jako połączenie startowe zdefiniowano dołączenie do korpusu (1) tulei łączącej (3), przy zdefiniowanej wartości współczynnika przekierowania $d=1$. W rezultacie uzyskano 9240 dopuszczalnych sekwencji łączenia części składowych palnika gazowego. Wynikowe okno dialogowe (Zakładka *Run Process*) programu przedstawiono na rysunku 6.28.



Rys. 6. 28. Wynikowe okno dialogowe 1 dla palnika gazowego

Wszystkie wygenerowane sekwencje ocenione zostały jednakowo, przy wartości wskaźnika $q_a = 52,44$. Wynika to z faktu, że przy współczynniku przekierowania $d=1$, na

ocenę nie ma wpływu zmiana kierunku montażu. Z praktycznego punktu widzenia nie jest to założeniem prawdziwym. Aby uwzględnić w ocenie sekwencji zmiany kierunku montażu kolejno dołączanych części składowych, należy współczynnik przekierowania ustalić na odpowiednim poziomie. W analizowanym przypadku przypisano mu wartość 2 i po rozwiązaniu uzyskano identyczny zbiór 9240 sekwencji. Okno dialogowe programu z tymi rozwiązaniami przedstawiono na rysunku 6.29.



Rys. 6. 29. Wynikowe okno dialogowe 2 dla palnika gazowego

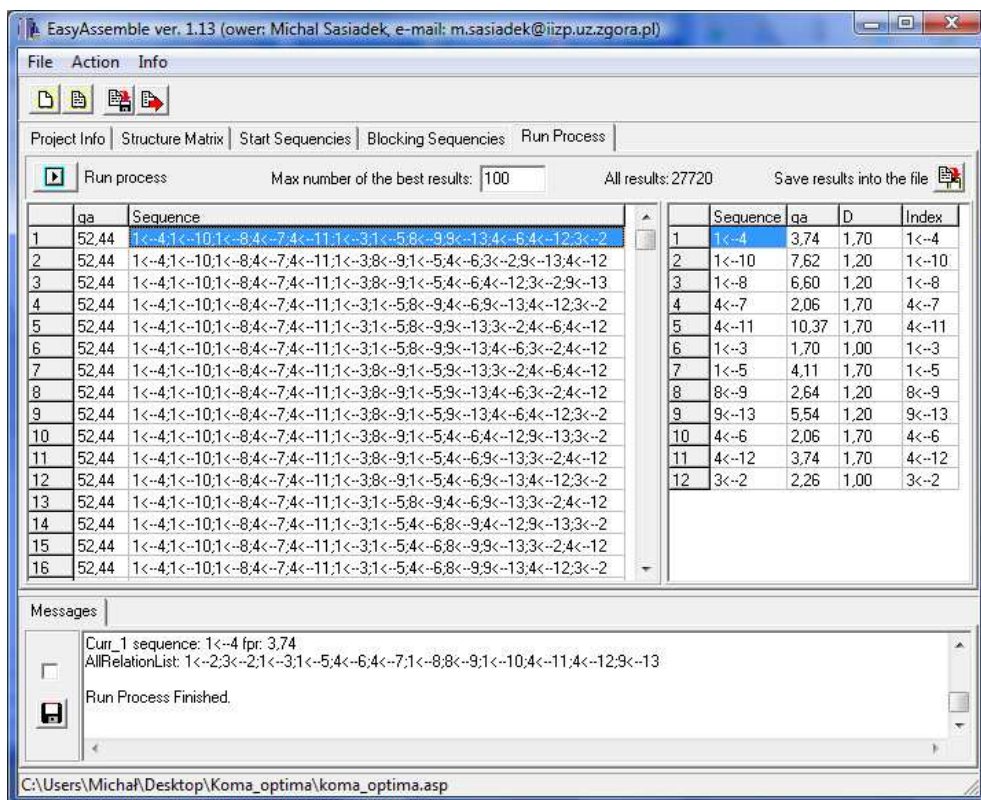
Spośród wygenerowanych sekwencji jednoznacznie wskazać można te, które charakteryzują się najlepszą oceną (najniższa wartość funkcji oceny q_a). Są to dwie równoważne sekwencje, charakteryzujące się wartością $q_a = 62,78$:

- (1-3-2-8-10-9-13-4-7-11-5-6-12),
- (1-3-2-4-7-11-5-6-12-8-10-9-13).

Najlepsze sekwencje różnią się wariantowaniem dwóch podsekwencji linowych (8-10-9-13) i (4-7-11-5-6-12). Pierwsza część tych sekwencji (1-3-2), ze względu na zdefiniowane połączenie startowe (1-3), musi występować na pierwszym miejscu. Ponadto, w prawej części okna dialogowego (rysunek 6.29), zauważyć można, że w kolejno dołączanych częściach występuje uporządkowana składowa D wskaźnika f_p ,

co pozwala sądzić, że proces montażu odbywa się bez niepotrzebnej zmiany kierunku dołączania poszczególnych części składowych. Zbiór 100 najkorzystniejszych rozwiązań zamieszczono w załączniku 3.

W drugim rozważanym przypadku jako połączenie startowe zdefiniowano dołączenie do korpusu (1) zaworu (4). Początkowo wyznaczono zbiór sekwencji przy wartości współczynnika przekierowania $d=1$. Uzyskano 27 720 dopuszczalnych sekwencji łączenia części składowych palnika gazowego – wyniki przedstawiono na rysunku 6.30.



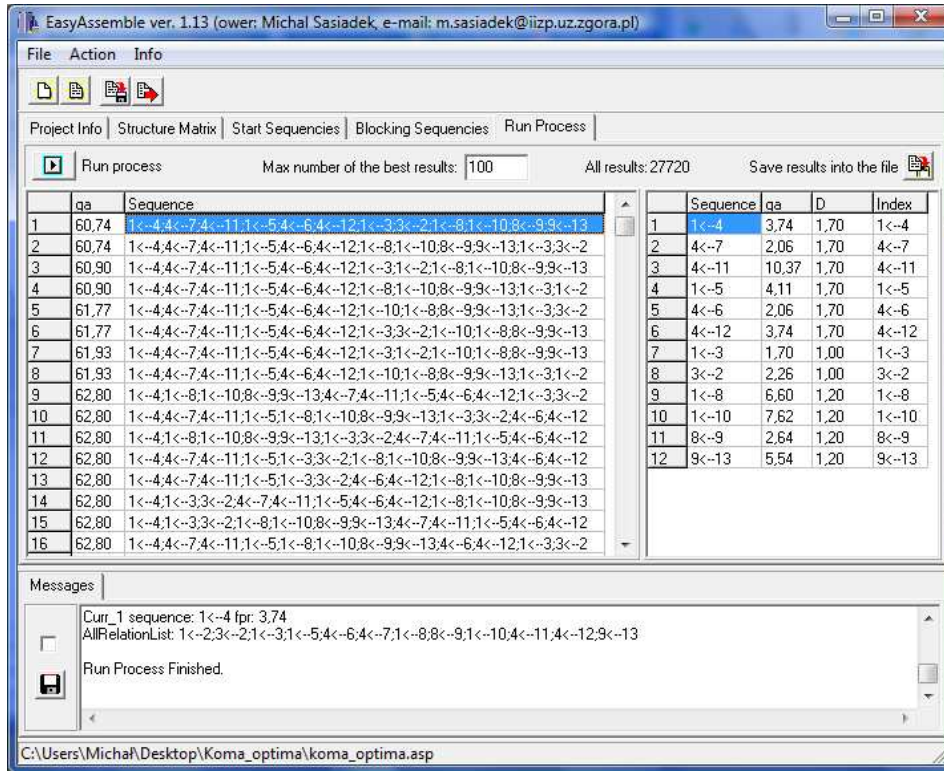
Rys. 6. 30. Wynikowe okno dialogowe 3 dla palnika gazowego

Podobnie jak w pierwszym przypadku, tak i tu, wszystkie wygenerowane sekwencje przyjmują jednakową wartość wskaźnika $q_a=52,44$. W celu uzyskania prawidłowych, w sensie rzeczywistych, wyników zmieniono wartość współczynnika przekierowania ($d=2$), w wyniku czego uzyskano 27720 sekwencji. Okno dialogowe programu z omawianym rozwiązaniem przedstawiono na rysunku 6.31. Najkorzystniej ocenionymi sekwencjami są:

- (1-4-7-11-5-6-12-8-10-9-13-3-2),
- (1-4-7-11-5-6-12-3-2-8-10-9-13).

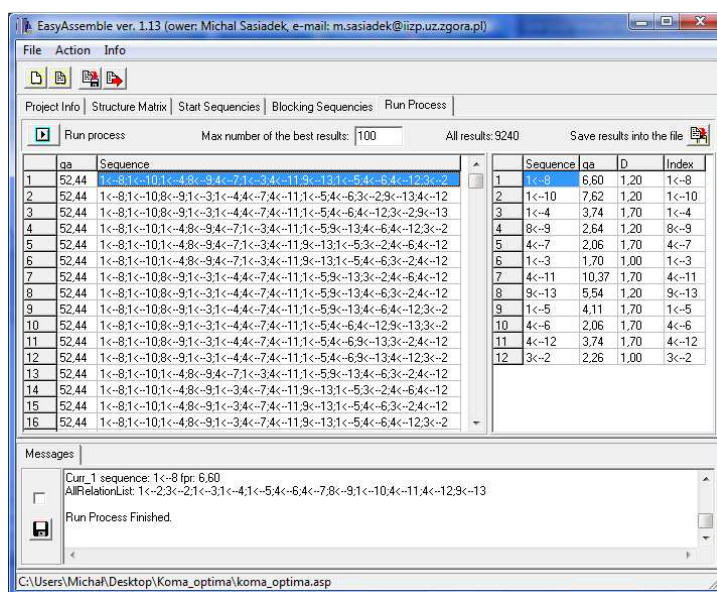
W sekwencjach tych początkowy człon stanowi montaż części 1, 4, 7, 11, 5, 6, 12 w wymienionej kolejności i wynika to ze zdefiniowanego połączenia startowego (1←4)

i minimalizacji zmian kierunku dołączania kolejnych części. W dalszych członach obu sekwencji mamy wariantowanie dwóch podsekwencji: (3-2) oraz (8-10-9-13). Zbiór 100 najkorzystniejszych rozwiązań zamieszczono w załączniku 3.



Rys. 6. 31. Wynikowe okno dialogowe 4 dla palnika gazowego

Ostatnim rozwiązywanym przypadkiem, jest wygenerowanie dopuszczalnych sekwencji przy założeniu połączenia startowego 1←8, czyli dołączania do korpusu (1) łącznika rękojeści (8).



Rys. 6. 32. Wynikowe okno dialogowe (5) dla palnika gazowego

Podobnie jak w dwóch poprzednich rozwiązaniach zakłada się w pierwszej kolejności rozwiązanie przy wartości współczynnika $d=1$, a następnie powtórzenie wyliczeń dla wartości tego współczynnika $d=2$. W pierwszym przypadku uzyskano 9240 sekwencji i wynikowe okno dialogowe przedstawiono na rysunku 6.32.

Podobnie jak we wcześniejszych rozwiązaniach dla współczynnika przekierowania równego 1, ze względu na jednakową wartość q_a wygenerowanych sekwencji, nie jest łatwym wybranie najkorzystniejszej z nich. Dlatego też, w kolejnym kroku zmieniono wartość tego współczynnika na 2 i uzyskano ponownie 9240 rozwiązań, ale zróżnicowanych pod względem oceny. Okno dialogowe programu z wynikami przedstawiono na rysunku 6.33.

Najkorzystniej ocenionymi sekwencjami są:

- (1-8-10-9-13-4-7-11-5-6-12-3-2),
- (1-8-10-9-13-3-2-4-7-11-5-6-12).

Podobnie jak we wcześniejszych dwóch rozwiązaniach z uwzględnieniem $d=2$ i odpowiedniego połączenia startowego człon pierwszy sekwencji stanowią części kolejno: 1, 8, 10, 9 i 13. Pozostałe części palnika gazowego tworzą dwie podsekwencje dołączane przemiennie w każdej z dwóch sekwencji najniżej ocenionych. Są to: (4-7-11-5-6-12) i (3-2). Zbiór 100 najkorzystniejszych rozwiązań zamieszczono w załączniku 3.

The screenshot shows the 'Run process' dialog box in EasyAssemble ver. 1.13. The window title is 'EasyAssemble ver. 1.13 (owner: Michał Sasiadek, e-mail: m.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl)'. The interface includes a menu bar (File, Action, Info), a toolbar, and a tabbed interface with 'Run process' selected. The 'Run process' section shows 'Max number of the best results: 100' and 'All results: 9240'. Below this is a table with columns 'qa', 'Sequence', 'Sequence', 'qa', 'D', and 'Index'. The table lists 16 sequences with their respective values. The 'Messages' section at the bottom shows a log of the current sequence and a warning about an impossible assembly.

	qa	Sequence	Sequence	qa	D	Index	
1	57,88	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;1<-3;3<-2	1	1<-8	6,60	1,20	1<-8
2	57,88	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12	2	1<-10	7,62	1,20	1<-10
3	58,04	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;1<-2;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12	3	8<-9	2,64	1,20	8<-9
4	58,04	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;1<-3;1<-2	4	9<-13	5,54	1,20	9<-13
5	59,94	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;1<-3;3<-2;4<-6;4<-12	5	1<-4	3,74	1,70	1<-4
6	59,94	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4;1<-3;3<-2;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12	6	4<-7	2,06	1,70	4<-7
7	60,10	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4;1<-3;1<-2;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12	7	4<-11	10,37	1,70	4<-11
8	60,10	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;1<-3;1<-2;4<-6;4<-12	8	1<-5	4,11	1,70	1<-5
9	60,15	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;3<-2	9	4<-6	2,06	1,70	4<-6
10	60,46	1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;1<-2	10	4<-12	3,74	1,70	4<-12
11	60,52	1<-8;1<-10;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2	11	1<-3	1,70	1,00	1<-3
12	60,52	1<-8;1<-10;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;1<-3;3<-2;8<-9;9<-13	12	3<-2	2,26	1,00	3<-2
13	60,52	1<-8;1<-10;1<-3;3<-2;8<-9;9<-13;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12					
14	60,52	1<-8;1<-10;1<-3;3<-2;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;8<-9;9<-13					
15	60,68	1<-8;1<-10;1<-3;1<-2;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;8<-9;9<-13					
16	60,68	1<-8;1<-10;1<-4;4<-7;4<-11;1<-5;4<-6;4<-12;1<-3;1<-2;8<-9;9<-13					

Messages:

```

Curr sequence: 1<-8;1<-10;8<-9;1<-4;4<-7;1<-3;4<-11;9<-13;1<-2;1<-5;4<-12 fpr. 78,43
remove 4<-6 because of OR list
remove 4<-6 causes that assemble is impossible!
Curr_1 sequence: 1<-8;1<-10;8<-9;1<-4;4<-7;1<-3;4<-11;9<-13;1<-2;1<-5 fpr. 74,69

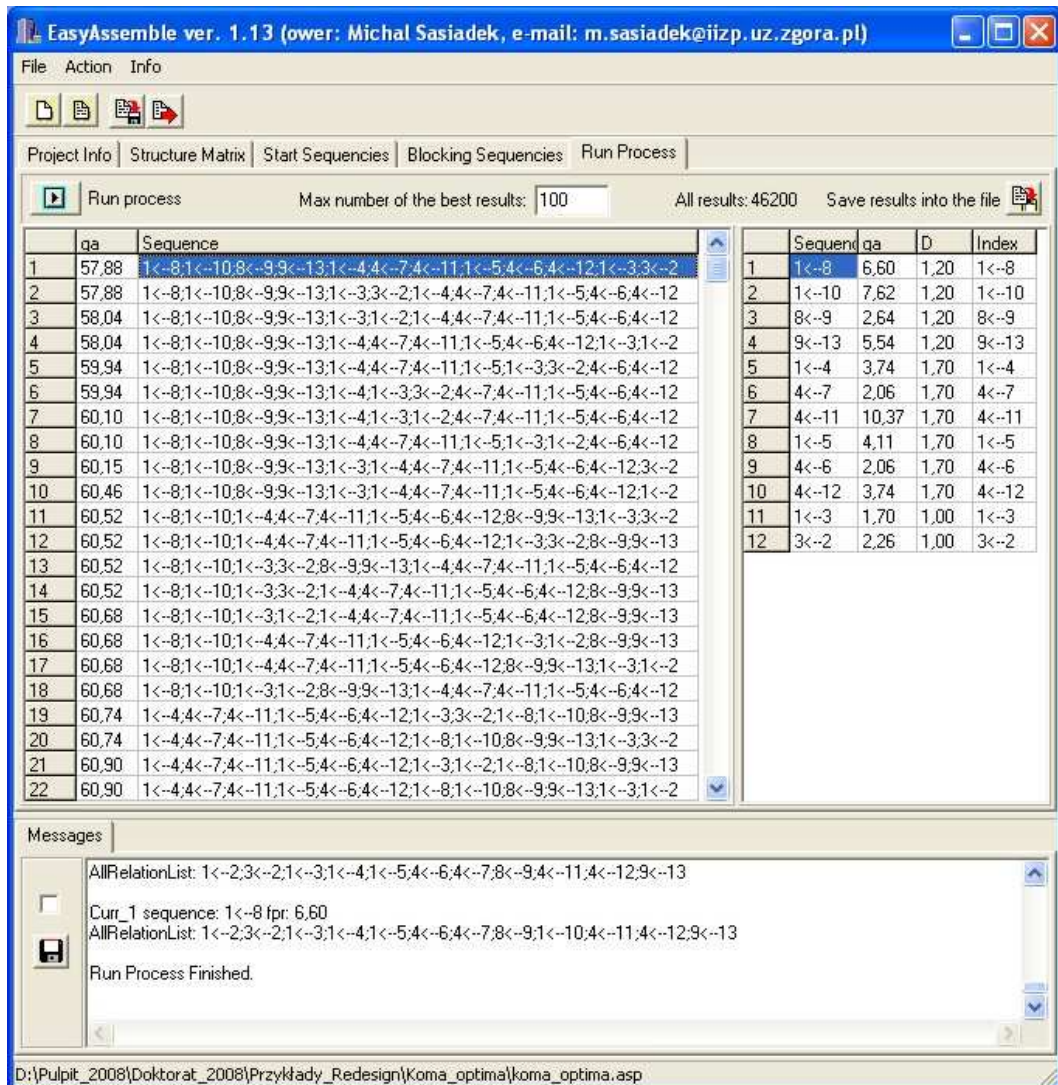
```

C:\Users\Michał\Desktop\Koma_optima\koma_optima.asp

Rys. 6. 33. Wynikowe okno dialogowe 6 dla palnika gazowego

Ostatnim krokiem analizy przykładu palnika gazowego, celem weryfikacji uzyskanych wyników, jest wygenerowanie rozwiązań przy jednoczesnym zdefiniowaniu wszystkich

założonych połączeń startowych (1←3, 1←4, 1←8). Okno dialogowe programu z widocznymi wygenerowanymi sekwencjami przedstawiono na rysunku 6.34.



Rys. 6.34. Wynikowe okno dialogowe 7 dla palnika gazowego

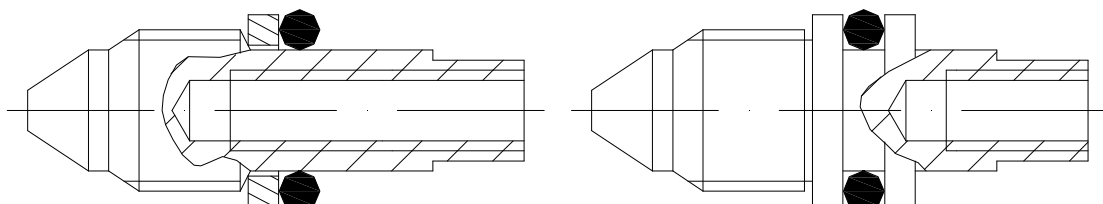
Zbiór dopuszczalnych rozwiązań wynosi 46200 sekwencji, natomiast najkorzystniej ocenionymi są początkowe sekwencje z analiz przeprowadzonych dla oddzielnie definiowanych połączeń startowych. Wyniki uzyskano dla współczynnika przekierowania równego 2. Na podstawie wyników (20 najkorzystniejszych sekwencji) widocznych w wynikowym oknie dialogowym na rysunku 6.34 stwierdzić można, że najkorzystniej rozpoczynać montaż od łączenia części oznaczonych numerami: 1-4-7-11-5-6-12. Rozszerzone wyniki (100 najkorzystniejszych rozwiązań), dla każdego z rozpatrywanych połączeń startowych, zamieszczono w załączniku nr 3.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wyniki wygenerowane przy założeniu jednocześnie trzech połączeń startowych stanowią agregację rozwiązań częściowych (rozwiązaniem częściowym jest zbiór sekwencji wygenerowany dla jednego z trzech połączeń startowych), przy czym czas ich uzyskania stanowi sumę czasów rozwiązań częściowych. Z tego względu, jeżeli znane jest połączenie startowe, korzystniejszym wydaje się generowanie wyników dla jednego połączenia startowego, o ile jest to możliwe.

6.2.1. Przeprojektowanie konstrukcji palnika gazowego

Kolejnym krokiem, w proponowanej metodzie, jest próba uproszczenia konstrukcji części składowych wyrobu celem polepszenia wartości wskaźnika q_a i wyboru najkorzystniejszej sekwencji. Uproszczenie konstrukcji powinno przyczynić się również do zwiększenia efektywności procesu montażu. Analizy takiej dokonano na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej palnika gazowego. Poniżej, na kolejnych czterech rysunkach zestawiono propozycje zmian i ich wpływ na wartościowanie sekwencji.

Pierwszą zmianą jest zredukowanie liczby części, poprzez przeprojektowanie części oznaczonych numerami 4 (zawór) i 7 (pierścienie) na rysunku palnika gazowego (rys. 6.24). W analizowanym wyrobie rolą pierścienia jest utrzymywanie poprawnej pozycji pierścienia uszczelniającego w korpusie zapewniając tym uszczelnienie (rys. 6.35a). Jest to jednak rozwiązanie kłopotliwe dla montażu. Zaproponowano zmianę polegającą na zaprojektowaniu w zaworze odpowiedniego gniazda, w którym byłby umieszczony oring (rys. 6.35b).



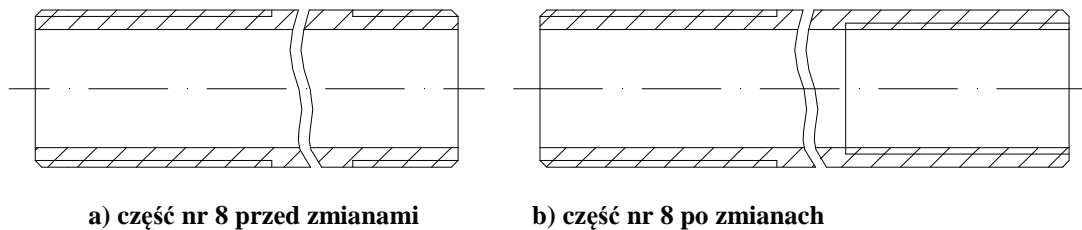
a) części nr 4 i 7 przed zmianami

b) część nr 4 i 7 po zmianach

Rys. 6. 35. Propozycja zmiany konstrukcji części nr 4 i 7

Dzięki temu rozwiązaniu zdecydowanie łatwiejszy będzie montaż zaworu w korpusie, gdyż zawór i oring stanowiący będą podzespół jednocześnie montowany do korpusu. Zredukowane będą wcześniej wykonywane operacje związane z montażem pierścienia (7) i oringu (11).

Druga proponowana zmiana dotyczy trzech części: łącznika rękojeści (8), końcówki rękojeści (9) i rękojeści (10). Łącznik rękojeści w pierwotnym opracowaniu na obu końcówkach miał gwint zewnętrzny o różnych długościach. Dawało to możliwość niepoprawnego montażu. Jeżeli łącznik ten zamontowany byłby do korpusu stroną z krótszym gwintem, wtedy uniemożliwiony byłby prawidłowy montaż końcówki rękojeści (9). W wyniku tego końcówka rękojeści nie dociskałaby zamontowanej rękojeści (10). Proponowane zmiany dotyczą zróżnicowania gwintów po obu stronach łącznika na wewnętrzny z jednej i zewnętrzny z drugiej jego strony. Wyeliminowany zostanie przez to niepoprawny montaż łącznika do korpusu. Łącznik przed i po zmianach przedstawiono na rysunku 6.36 odpowiednio a) i b).

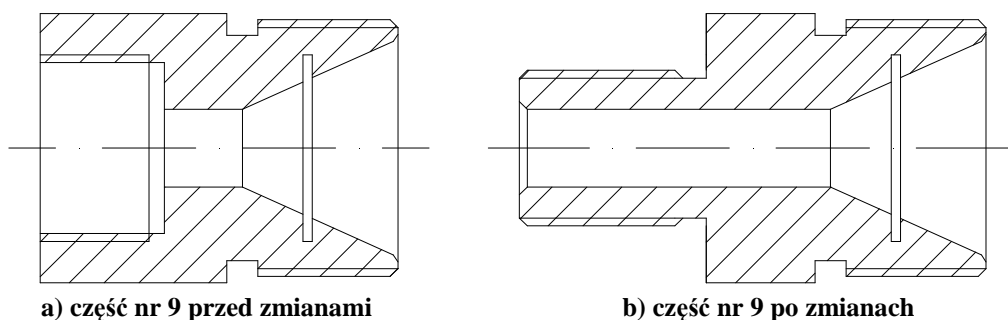


a) część nr 8 przed zmianami

b) część nr 8 po zmianach

Rys. 6. 36. Propozycja zmiany konstrukcji części nr 8

Zmiana w konstrukcji łącznika wiąże się z koniecznością przeprojektowania końcówki łącznika (9). Końcówkę tę przeprojektowano celem dostosowania jej do zmienionego łącznika rękojeści. Gwint wewnętrzny zmieniono na zewnętrzny, a zmiany w proponowanej konstrukcji przedstawiono na rysunku 6.37.



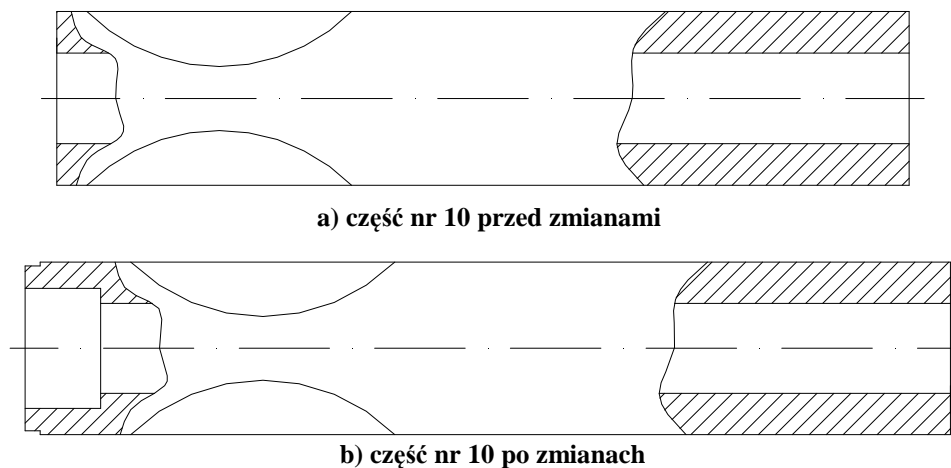
a) część nr 9 przed zmianami

b) część nr 9 po zmianach

Rys. 6. 37. Propozycja zmiany konstrukcji końcówki łącznika

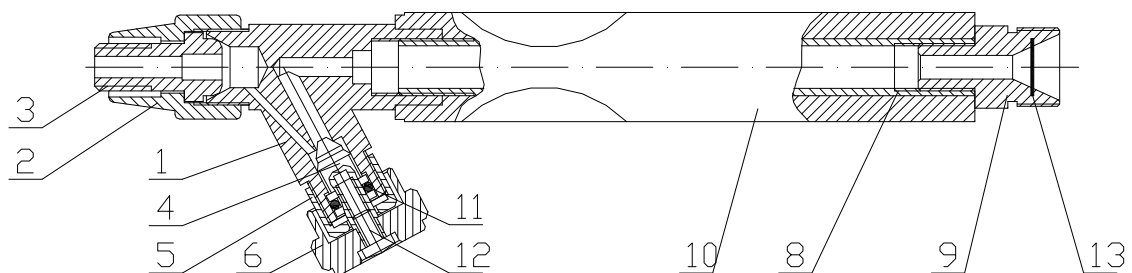
Ostatnią proponowaną zmianą jest dostosowanie konstrukcji rękojeści tak aby uniemożliwić odwrotny jej montaż na łączniku rękojeści, między korpusem a końcówką

łącznika. Proponowane zmiany ponownie dotyczą zróżnicowania zakończeń rękojeści aby jednoznacznie można było identyfikować strony poprawnego montażu. Zaprojektowana rękojeść od strony korpusu i łącznika konstrukcyjnie nie różni się i z tego względu istnieje możliwość błędnego montażu ze względu na spełnianą funkcję rękojeści. Rękojeść przy błędnym montażu byłaby zamontowana odwrotnie i niepoprawnie ze względu na ergonomię pracy. Aby wyeliminować możliwość niepoprawnego montażu przeprojektowano rękojeść różnicując jej ukształtowanie na obu zakończeniach oraz dostosowując jej konstrukcję, z jednej strony do korpusu, z drugiej do łącznika (9). Ponadto, zróżnicowanie zakończeń rękojeści pozwoli na eliminację niepoprawności jej montażu. Rękojeść przed i po zmianach przedstawiono na rysunku 6.38.



Rys. 6. 38. Propozycja zmiany konstrukcji części nr 10

Zmodyfikowaną konstrukcję palnika gazowego, przedstawiono na rysunku 6.39. W wyniku zmian zredukowano jedną część składową (pierścień nr 7) i wprowadzono zmiany, które przyczyniły się do zmniejszenia wartości wskaźnika q_a połączeń, w których występują zmodyfikowane części. Zmniejszono między innymi wskaźnik oceny połączeń $1 \leftarrow 8$ i $1 \leftarrow 10$ poprzez zmianę wartości składowej A z 2,5 do 1,0 oraz zredukowano liczbę połączeń montażowych z 13 do 11.



Rys. 6. 39. Przeprojektowana konstrukcja palnika gazowego

Po wprowadzeniu proponowanych zmian konstrukcyjnych w budowie palnika gazowego, przeprowadzono wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji i wybór najkorzystniejszej z nich. Poszczególne kroki są analogiczne jak w przypadku generowania wyników dla palnika gazowego przed zmianami konstrukcyjnymi. Przeprowadzono jedną analizę, z wykorzystaniem programu komputerowego, uwzględniającą wszystkie trzy dopuszczalne połączenia startowe. W tabelach 6.12 i 6.13 zestawiono wymagane informacje do wyznaczenia sekwencji montażu dla przeprojektowanego palnika gazowego. W tabeli 6.12 zamieszczono połączenia montażowe, połączenia startowe i ograniczenia kolejnościowe, natomiast w tabeli 6.13 zestawiono ocenę zdefiniowanych połączeń. W rozwiązaniu przyjęto jeden podzespół montażowy złożony z części 4 i 11 (podzespół ten oznaczono 4-11).

Tabela 6. 12. Połączenia i ograniczenia dla przeprojektowanego palnika gazowego

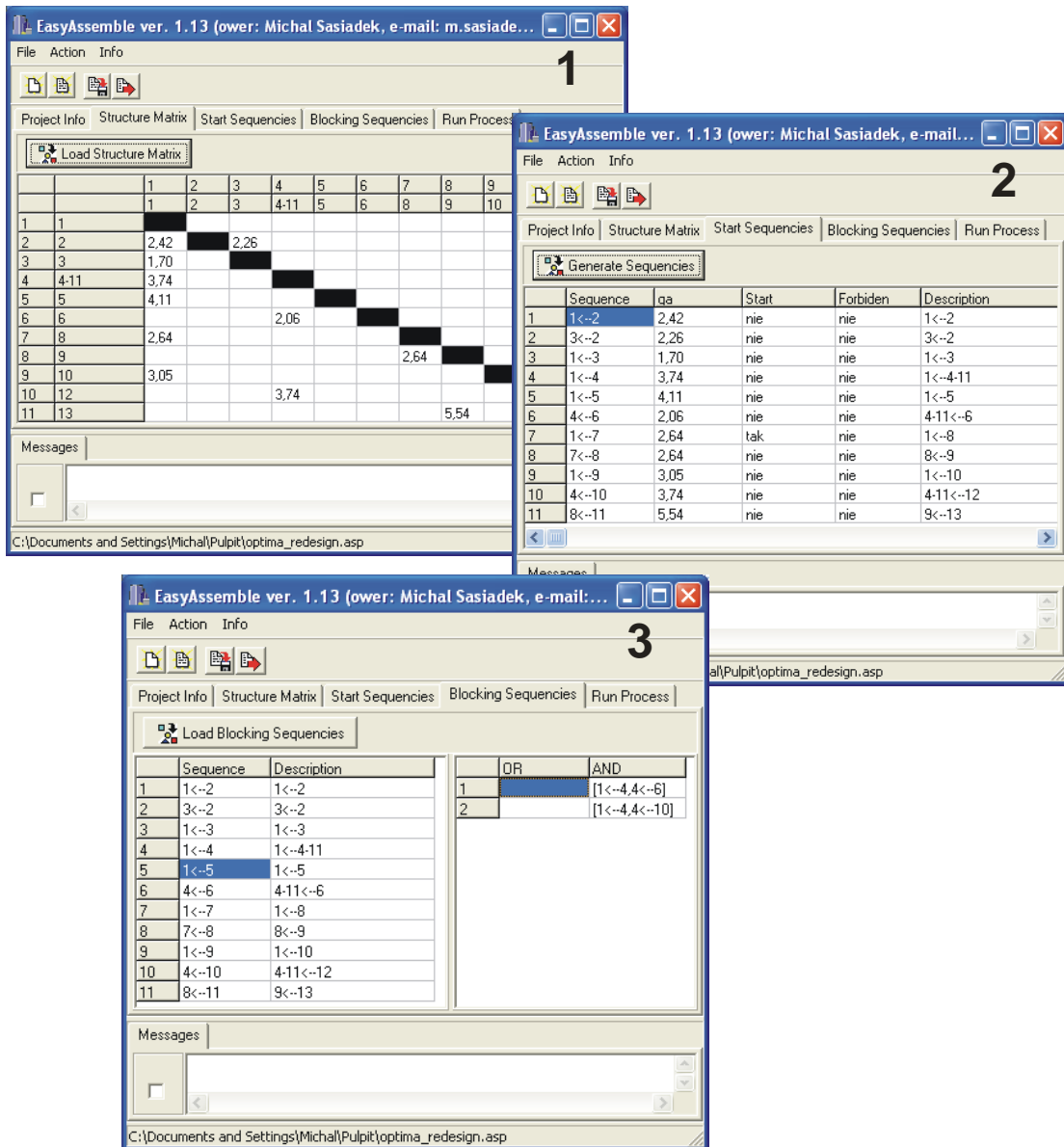
Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
1	1← 2	--	--	--
2	1← 3	x	1←2	--
3	1← 4-11	x	1←5	--
4	1← 5	--	--	(1←4-11 \wedge 4-11←6) \vee (1←4-11 \wedge 4-11←12)
5	1← 8	x	--	--
6	1← 10	--	--	1←8 \wedge 8←9
7	3← 2	--	--	--
8	4-11←6	--	4-11←12	--
9	4-11←12	--	--	--
10	8←9	--	--	--
11	9←13	--	--	--

W tabeli 6.13 pogrubiono te wiersze, w których, w wyniku zmian konstrukcyjnych zmianie uległa ocena połączenia montażowego.

Tabela 6. 13. Ocena połączeń montażowych w przeprojektowanym palniku gazowym

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2	1,0	1,0	2,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	2,2	1,1	2,42
1←3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7
1←4-11	1,0	1,0	2,0	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	3,4	1,1	3,74
1←5	1,0	1,0	2,0	1,7	1,1	1,0	1,0	1,0	3,74	1,1	4,11
1←8	1,0	1,0	2,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,1	2,64
1←10	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	1,4	1,5	3,05	1,0	3,05
3←2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,7	1,0	2,06	1,1	2,26
4-11←6	1,0	1,0	1,1	1,7	1,1	1,0	1,0	1,0	2,06	1,0	2,06
4-11←12	1,0	1,0	2,0	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	3,4	1,1	3,74
8←9	1,0	1,0	2,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,1	2,64
9←13	1,0	1,0	2,2	1,2	1,0	1,0	1,4	1,5	5,54	1,0	5,54

Kolejne trzy zakładki programu, odwzorowujące kroki rozwiązywania przedstawiono na rysunku 6.40.

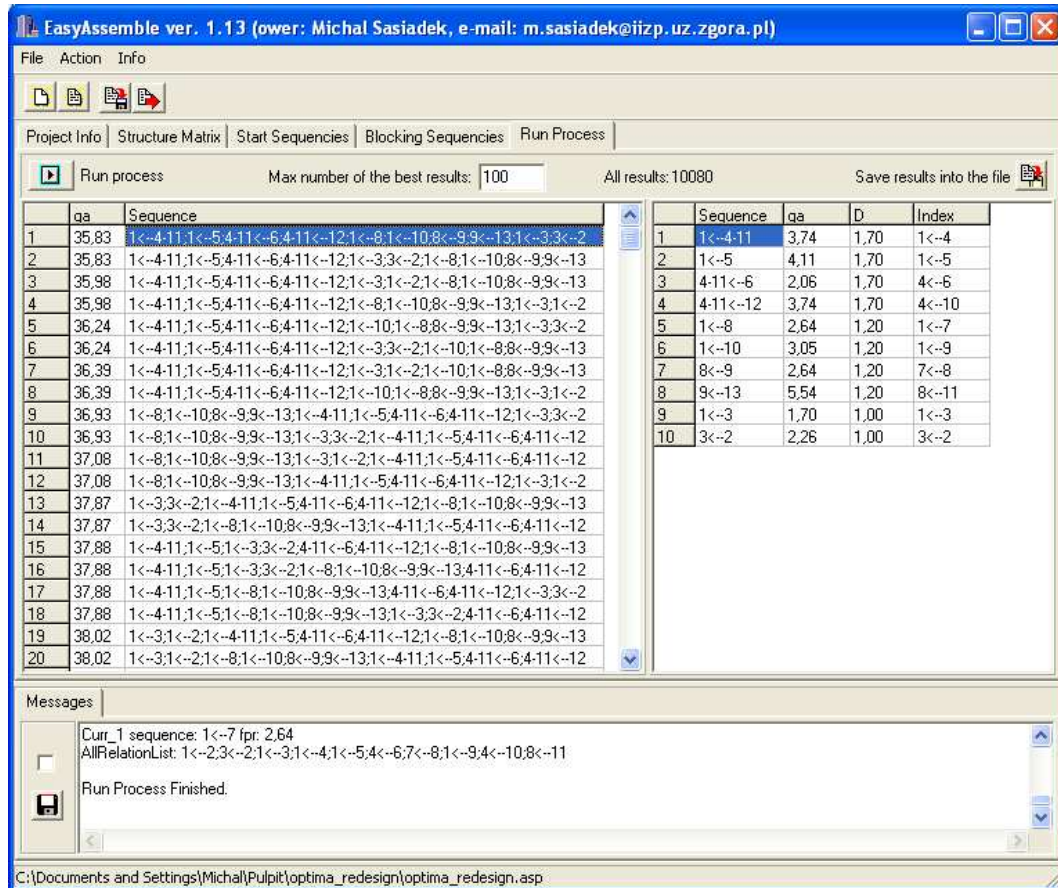


Rys. 6. 40. Okna dialogowe programu dla przeprojektowanego palnika gazowego

W wyniku działania algorytmu uzyskano zbiór 10800 dopuszczalnych sekwencji montażu przeprojektowanego palnika gazowego. Najkorzystniejszych 20 rozwiązań przedstawiono w wynikowym oknie dialogowym programu, zamieszczonym na rysunku 6.41, natomiast w załączniku nr 4 przedstawiono 100 najkorzystniejszych rozwiązań. Najlepszymi rozwiązaniami są dwie sekwencje ocenione wskaźnikiem o wartości $q_a=35,83$ i są to:

- 1-(4-11)-5-6-12-8-9-13-3-2,
- 1-(4-11)-5-6-12-3-2-8-9-13.

Ponadto zauważyć można, że spośród 20 najlepszych sekwencji 12 rozpoczyna się od połączenia części 1 i 4, a spośród pozostałych ośmiu 4 od połączenia części 1 i 8 oraz cztery od połączenia części 1i 3.

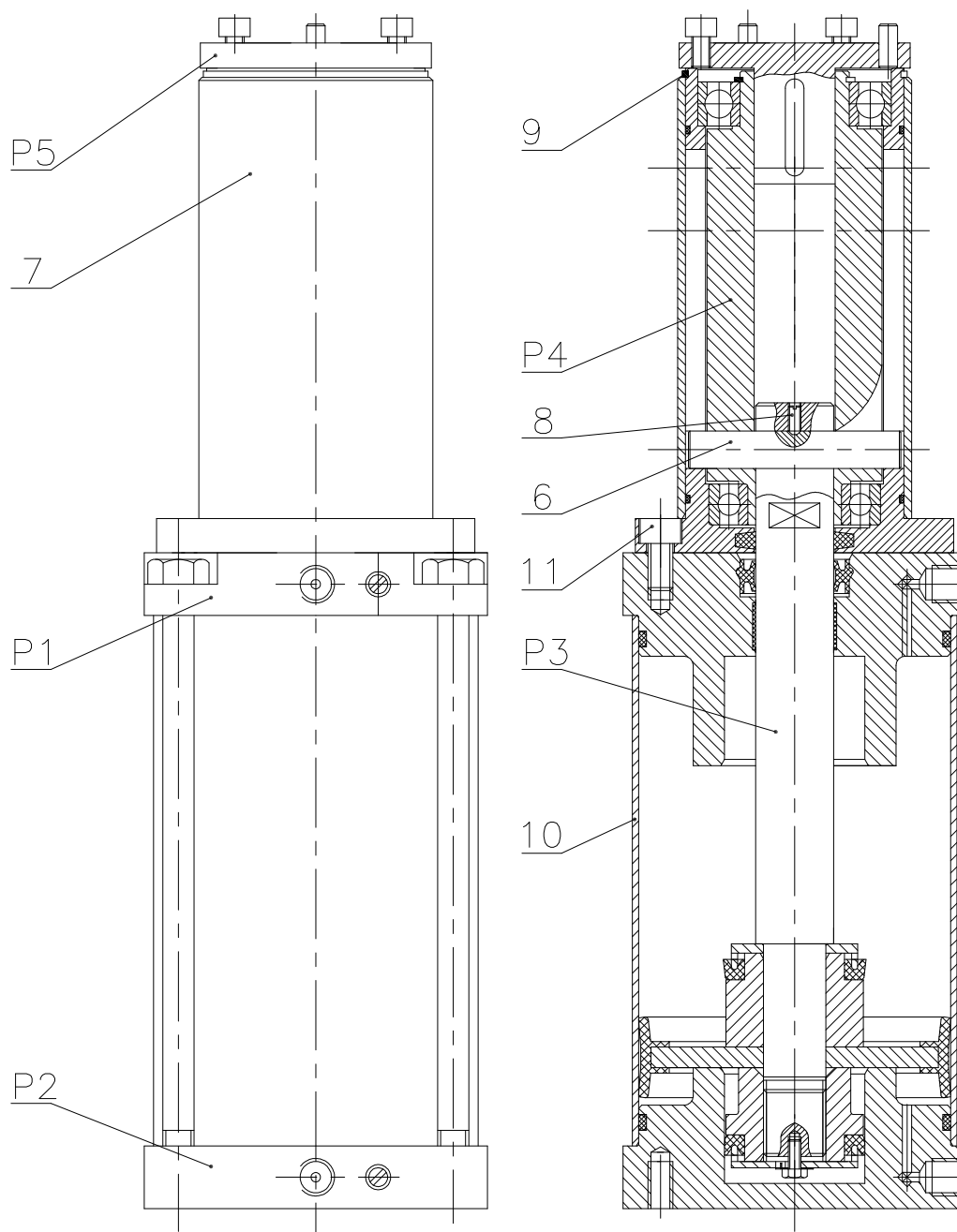


Rys. 6. 41. Wynikowe okno dialogowe dla przeprojektowanego palnika gazowego

Podkreślić należy, że w wyniku uproszczenia konstrukcji palnika gazowego, wyniki uzyskano w znacznie krótszym czasie, ze względu na zredukowanie liczby rozwiązań z 46 200 do 10 800 dopuszczalnych sekwencji.

6.3. Siłownik pneumatyczny obrotowo-wahliwy

W podrozdziale tym wyznaczony zostanie zbiór możliwych sekwencji montażu dla siłownika pneumatycznego obrotowo-wahliwego. Na podstawie wygenerowanego zbioru wskazane zostaną najkorzystniejsze sekwencje łączenia jego części składowych. Siłownik ten przedstawiono na rysunku 6.42.

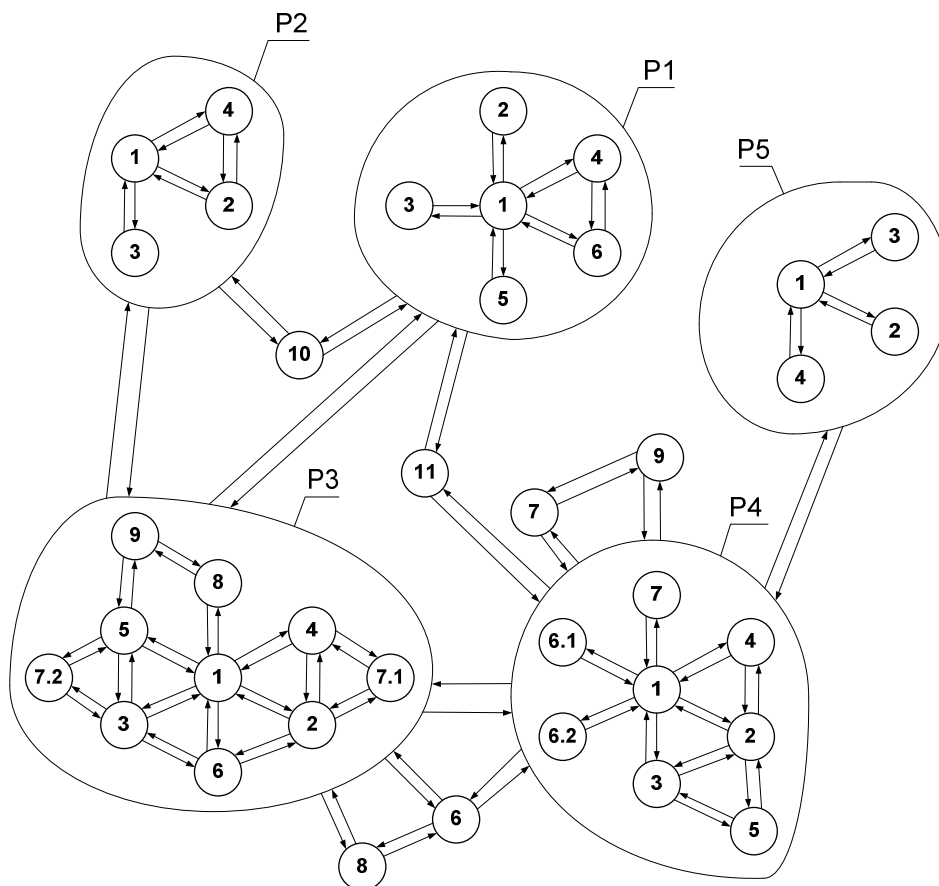


Rys. 6. 42. Siłownik pneumatyczny obrotowo-wahliwy

Specyfikacja części składowych siłownika obrotowo-wahliwego:

P1-Pokrywa przednia, P2 – Pokrywa tylna, P3 – Zespół tłoczyska, P4 – Mechanizm śrubowy, P5 – Trzpień przesuwny, 6 – Sworzeń, 7 – Osłona, 8 – Wkręt dociskowy, 9 – Pierścień osadcy sprężynujący, 10 – Cylinder tłoczyska

Na podstawie dokumentacji rysunku złożeniowego siłownik zdekomponowano na 5 podzespołów i 5 części niezależnych. Relacje pomiędzy podzespołami i częściami niezależnymi przedstawiono na rysunku 6.43. Ponadto w każdym z wyróżnionych podzespołów, oznaczonych od P1 kolejno do P5, zobrazowano relacje „styczności konstrukcyjnej” pomiędzy częściami składowymi poszczególnych podzespołów. Oznaczenia części składowych wyodrębnionych podzespołów odpowiadają oznaczeniom zamieszczonym na poszczególnych rysunkach podzespołów zamieszczonych w dalszej części rozprawy.



Rys. 6. 43. Relacje części składowych siłownika z uwzględnieniem podzespołów

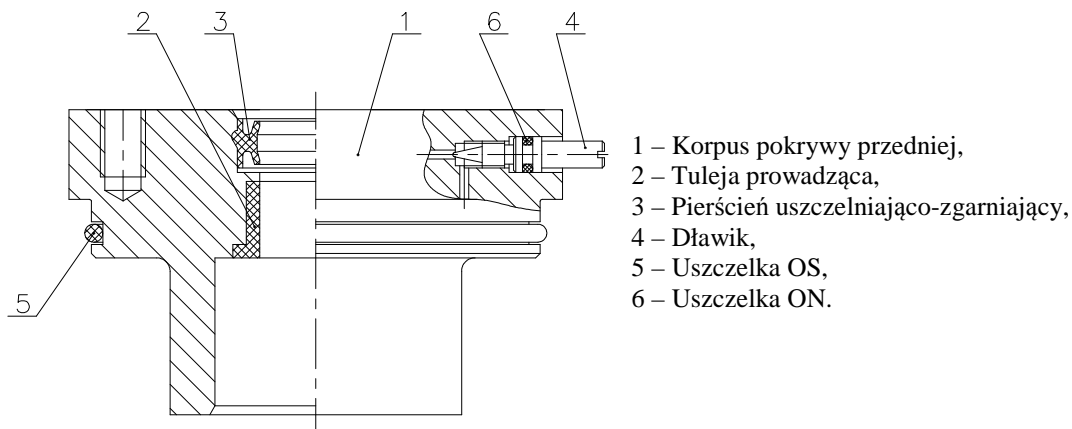
Alternatywną formą zapisu relacji „styczności konstrukcyjnej”, proponowaną w pracy, jest ich odwzorowanie w formie macierzy zależności. W macierzy takiej, wiersz

W macierzy zależności siłownika odwzorowano aż 106 relacji „styczności konstrukcyjnej” pomiędzy częściami składowymi siłownika, z czego w podzespole 1 – 12 relacji, w podzespole 2 – 8 relacji, w podzespole 3 – 32 relacji, w podzespole 4 – 20 relacji, w podzespole 5 – 6 relacji oraz 28 relacji pomiędzy częściami niezależnymi, a podzespółami.

W następnym kroku wyznaczone zostaną dopuszczalne zbiory sekwencji poszczególnych podzespołów (rozwiązania cząstkowe) i w kroku ostatnim wyznaczony zostanie zbiór agregujący rozwiązania cząstkowe oraz części niezależne.

Do wyznaczenia sekwencji w poszczególnych podzespółach zbiór wszystkich relacji odwzorowujących możliwość połączenia dwóch części zredukowano o wszystkie te relacje, których praktyczna realizacja jest zbyt trudna lub niemożliwa. Rozważany jest montaż manualny.

Podzespół 1 stanowi pokrywa przednia przedstawiona na rysunku 6.45. Złożona jest z 6 części wyspecyfikowanych po prawej stronie rysunku.



Rys. 6. 45. Pokrywa przednia siłownika i jej specyfikacja

Na podstawie relacji „styczności konstrukcyjnej” zdefiniowano możliwe połączenia montażowe w tym podzespole, przy założeniu, że części 4 i 6 stanowiąc będą podzespół bezpośrednio montowany do korpusu 1. Zbiór teoretycznie możliwych 12 połączeń montażowych zredukowano do 4 połączeń zestawionych w tabeli 6.14. Ponadto założono, że montaż części 2 (tulei prowadzącej) w korpusie 1 będzie połączeniem startowym, przy budowaniu sekwencji montażowej. W przykładzie tym, nie zostały zdefiniowane żadne ograniczenia kolejnościowe w postaci połączeń blokujących.

Każde z zestawionych w tabeli 6.14 połączeń poddano ocenie wskaźnikiem q_a . Oceny składowych f_p i h_p oraz wynikowy wskaźnik q_a przedstawiono w tabeli 6.15.

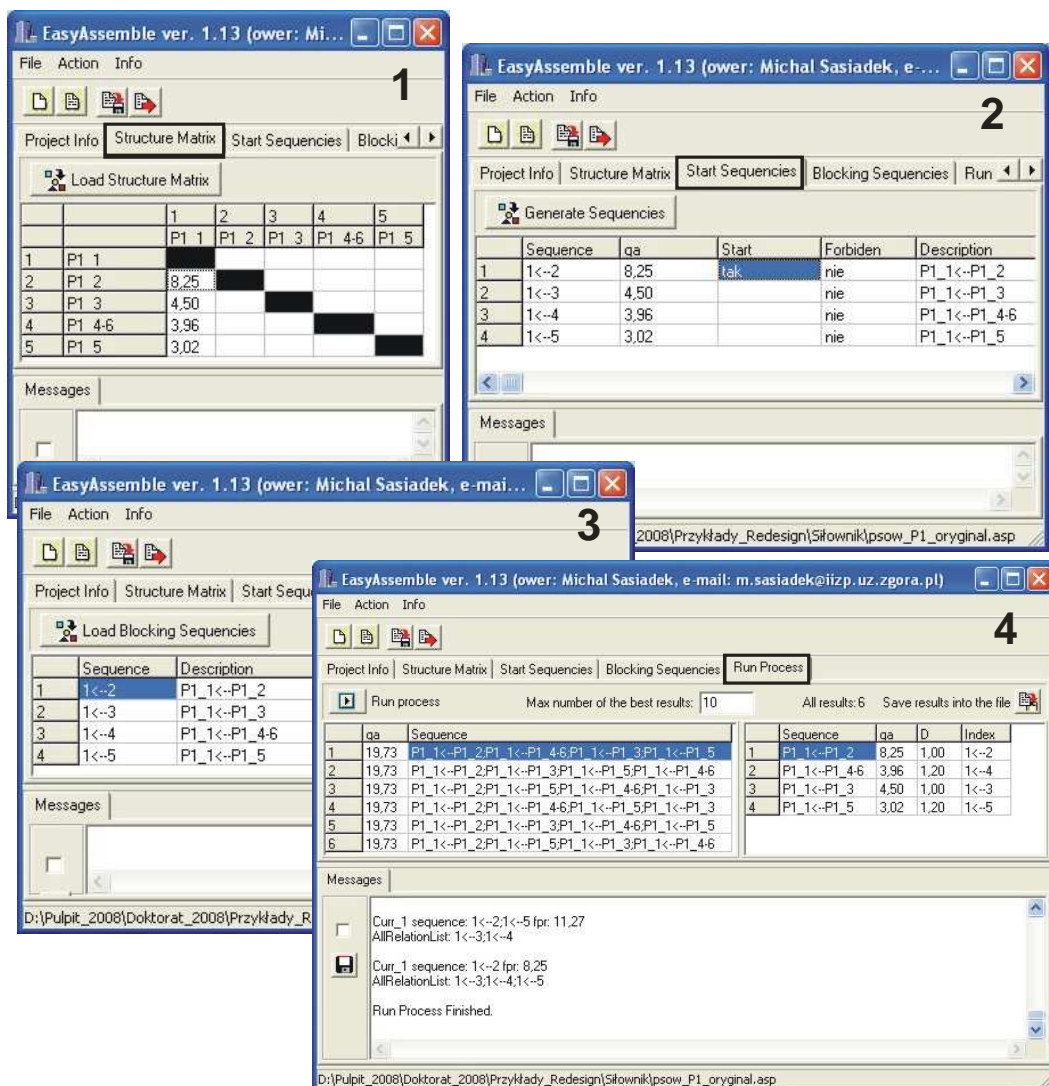
Tabela 6. 14. Zestawienie połączeń i ograniczeń dla pokrywy przedniej silownika

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; ∨	„AND” ; ∧
1	1←2	xx	--	--
2	1←3	--	--	--
3	1←4-6	--	--	--
4	1←5	--	--	--

Tabela 6. 15. Ocena połączeń montażowych pokrywy przedniej silownika

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2	1,0	2,5	2,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	8,25	1,0	8,25
1←3	2,5	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	4,50	1,0	4,50
1←4-6	1,0	1,0	2,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,5	3,96	1,0	3,96
1←5	1,0	1,0	2,2	1,2	1,0	1,0	1,4	1,5	3,02	1,0	3,02

Na podstawie informacji zawartych w powyższych tabelach wyznaczono zbiór rozwiązań dla pokrywy przedniej i przedstawiono je na rysunku 6.46.

**Rys. 6. 46. Okna dialogowe programu z rozwiązaniem dla pokrywy przedniej**

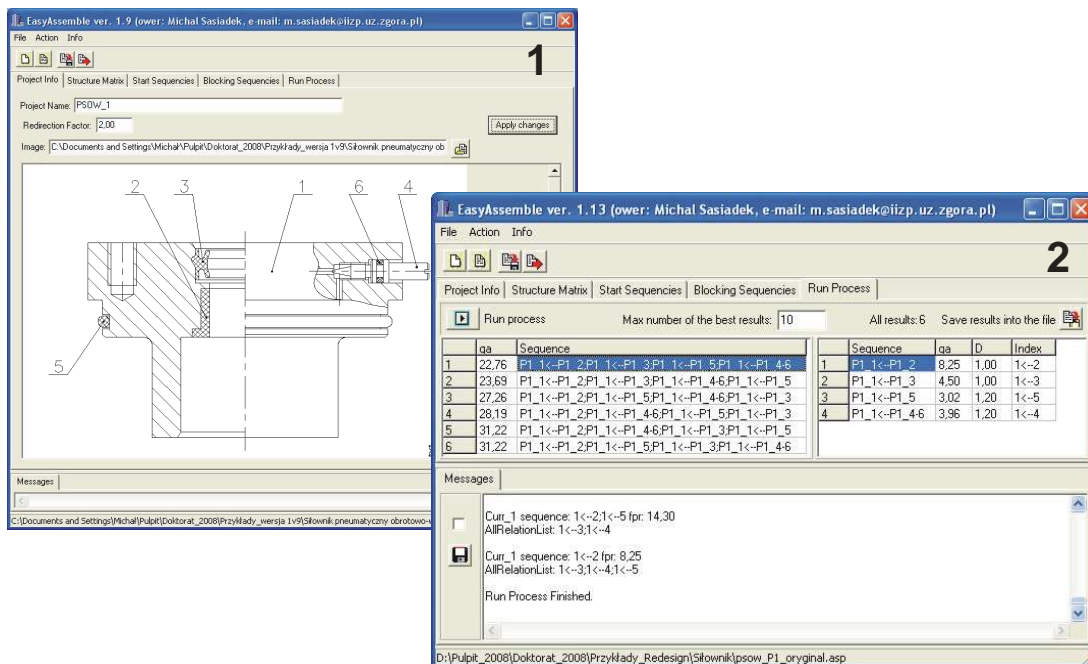
W poszczególnych zakładkach programu (oznaczonych na rysunku 6.46 pogrubionym prostokątnym obramowaniem oraz numeracją od 1 do 4) kolejno definiowano:

- w zakładce 1 (*Structure Matrix*) – połączenia montażowe,
- w zakładce 2 (*Start Sequencies*) – połączenia startowe,
- w zakładce 3 (*Blocking Sequencies*) – połączenia blokujące (w podzespole 1 nie zdefiniowano żadnego połączenia tego typu),

Z kolei, zakładka 4 (*Run Process*) stanowiąca wynikowe okno dialogowe przedstawia zbiór wygenerowanych dopuszczalnych sekwencji montażu podzespołu 1.

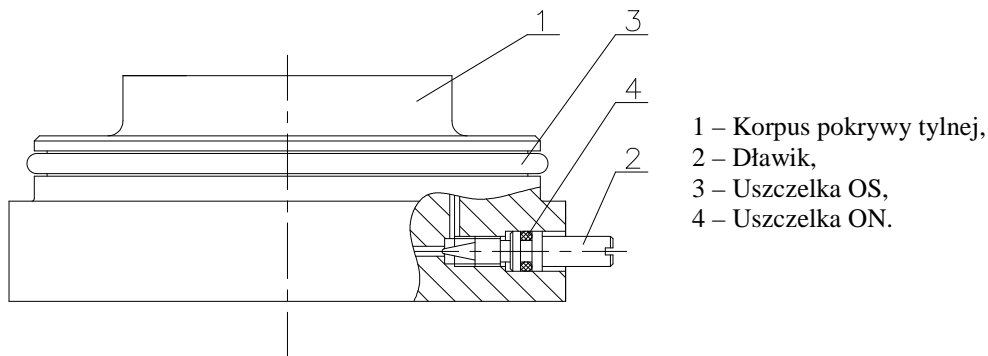
Uzyskano 6 sekwencji montażowych równorzędnie ocenionych ($q_a=19,73$) rozpoczynających się od połączenia części 1 i 2, różniących się od siebie kolejnymi dołączanymi częściami. Wynika to z tego, że części nr 3, 5 i podzespół złożony z części 4, 6 mogą być montowane w dowolnej kolejności.

W przypadku zmiany wartości współczynnika przekierowania (redirection factor) z wartości 1,0 na 2,0 uzyskujemy zróżnicowane oceny wyznaczonych 6 sekwencji, co przedstawiono na rysunku 6.47 w oknie oznaczonym nr 2.



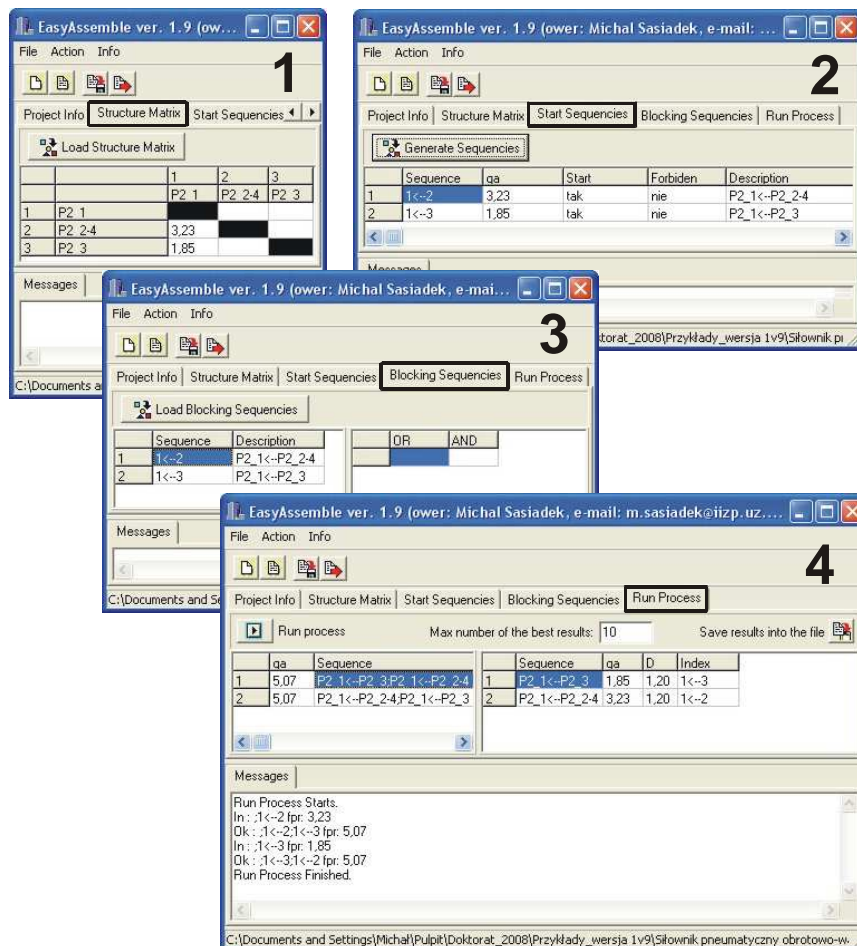
Rys. 6.47. Wynikowe okno dialogowe dla pokrywy przedniej siłownika

Podzespół 2 stanowi pokrywa tylna przedstawiona na rysunku 6.48. Złożona jest z czterech części wyspecyfikowanych po prawej stronie rysunku. Do wyznaczenia sekwencji montażu, podobnie jak w podzespole 1 założono, że części 2 i 4 stanowiąc będą podzespół.



Rys. 6. 48. Pokrywa tylna i jej specyfikacja

Na rysunku 6.49 przedstawiono w poszczególnych oknach dialogowych programu kolejne kroki wyznaczania sekwencji montażowych dla podzespołu 2. W rezultacie uzyskano dwie równoważne sekwencje montażu (1-2-3 i 1-3-2) widoczne w oknie dialogowym oznaczonym nr 4.



Rys. 6. 49. Wynikowe okna dialogowe pokrywy tylnej siłownika

W tabelach 6.16 oraz 6.17 zestawiono informacje analogicznie jak w poprzednim przypadku. Jako połączenie startowe wyznaczono montaż podzespołu 2-4 do korpusu 1.

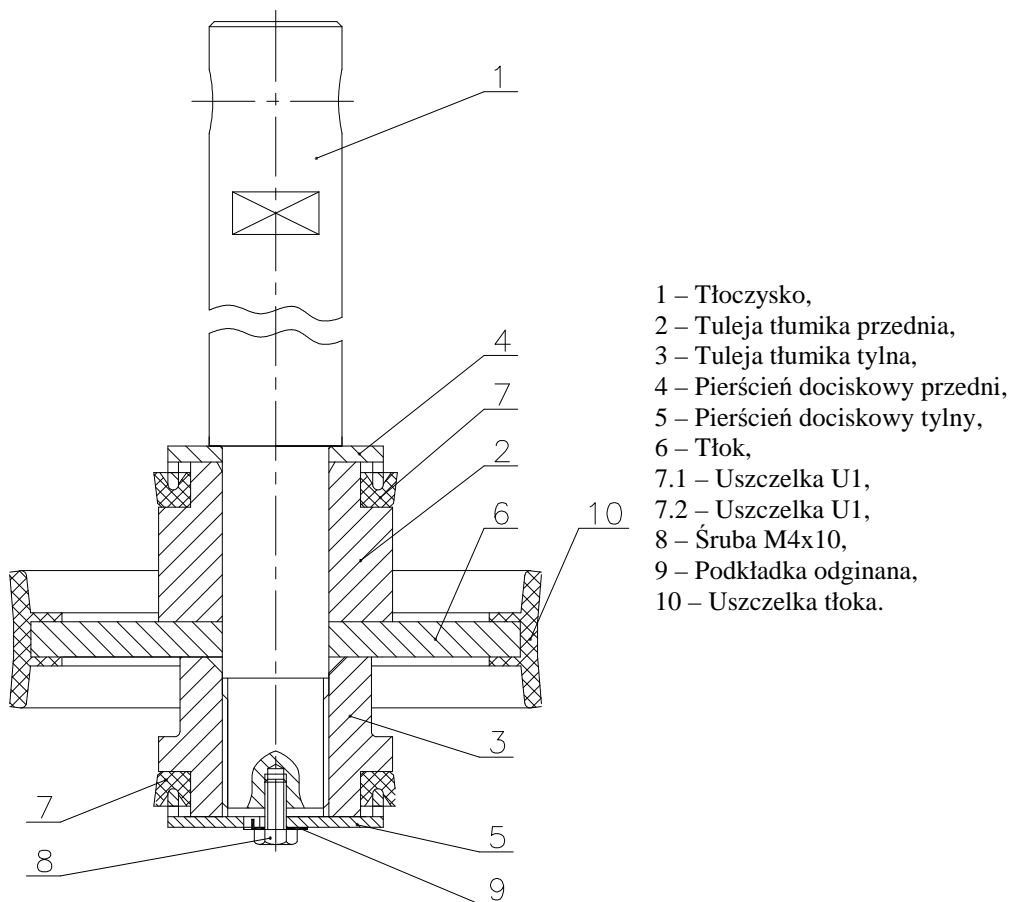
Tabela 6. 16. Zestawienie połączeń i ograniczeń pokrywy tylnej siłownika

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; ∨	„AND” ; ∧
1	1←2-4	xx	--	--
2	1←3	xx	--	--

Tabela 6. 17. Ocena połączeń pokrywy tylnej siłownika

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2-4	1,0	1,0	2,0	1,2	1,9	1,0	1,0	1,5	3,23	1,0	3,23
1←3	1,0	1,0	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,85	1,0	1,85

Podzespół 3 stanowi zespół tłoczyska przedstawiony na rysunku 6.50. Złożony jest z 11 części składowych wyspecyfikowanych po prawej stronie rysunku.

**Rys. 6. 50. Zespół tłoczyska i jego specyfikacja**

W tabeli 6.18 zestawiono 14 połączeń montażowych i jedno oznaczono jako startowe (montaż części 4 do części 1, 1←4). Ponadto celem wygenerowania poprawnych sekwencji zdefiniowano połączenia blokujące typu „i” oraz „lub” dla odpowiednich

połączeń montażowych. W porównaniu do wcześniej rozwiązanych podzespołów analizowanego siłownika (pokrywy przedniej i tylnej) zauważyć można, że w przypadku zespołu tłoczyska zdefiniowano znaczną liczbę ograniczeń kolejnościowych w postaci połączeń blokujących. Połączeń blokujących typu *OR* zdefiniowano czternaście, natomiast typu *AND* - sześć. Ograniczenia te, dla odpowiednich połączeń, zestawiono również w tabeli 6.18. Spośród części składowych zespołu tłoczyska wyodrębniono jeden podzespół złożony z tłoka i jego uszczelki (części 6 i 10) i oznaczono go w tabelach jako 6-10. W programie podzespół ten oznaczono identyfikatorem P3_6.

Tabela 6. 18. Zestawienie połączeń i ograniczeń zespołu tłoczyska siłownika

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
1	1←2	--	1←6-10 \vee 1←3	1←3 \wedge 3←5
2	1←3	--	--	--
3	1←4	xx	--	--
4	1←6-10	--	1←3	1←3 \wedge 3←5
5	1←8	--	--	--
6	2←7.1	--	4←2 \vee 1←2	--
7	3←7.2	--	3←5	--
8	3←5	--	1←8	--
9	4←7.1	--	4←2 \vee 1←2	--
10	4←2		1←6-10 \vee 1←3	1←3 \wedge 3←5
11	5←7.2	--	3←5	--
12	5←9	--	1←8	--
13	7.2←5	--	1←8	--
14	9←8	--	--	--

Ocenę poszczególnych połączeń montażowych zestawiono w tabeli 6.19.

Tabela 6. 19. Ocena połączeń zespołu tłoczyska siłownika

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika:								f_p	h_p	q_a
	$f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$										
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1←3	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0
1←4	2,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	1,0	2,5
1←6-10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1←8	1,0	1,0	2,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,5	3,3	1,0	3,3

Tabela 6. 20. Ocena połączeń zespołu tłoczyska siłownika c.d.

2←7.1	2,5	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	4,5	1,0	4,5
3←7.2	2,5	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	4,5	1,0	4,5
3←5	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
4←7.1	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
4←2	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,32	1,0	1,32
5←7.2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
5←9	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
7.2←5	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
9←8	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1

Podobnie jak w dwóch poprzednich rozwiązaniach cząstkowych, na rysunku 6.51 przedstawiono kolejne kroki wyznaczania sekwencji montażowych dla podzespołu 3. W wyniku działania algorytmu uzyskano 8 sekwencji montażu widocznych w oknie dialogowym oznaczonym nr 4.

The figure consists of four screenshots of the EasyAssemble software interface, labeled 1 through 4, showing the steps in determining assembly sequences for a sub-assembly.

Screenshot 1: Structure Matrix
 The 'Structure Matrix' dialog is shown with a grid of 10x10 cells. The columns are numbered 1 to 10, and the rows are labeled P3.1 to P3.9. The matrix contains numerical values representing dependencies between parts.

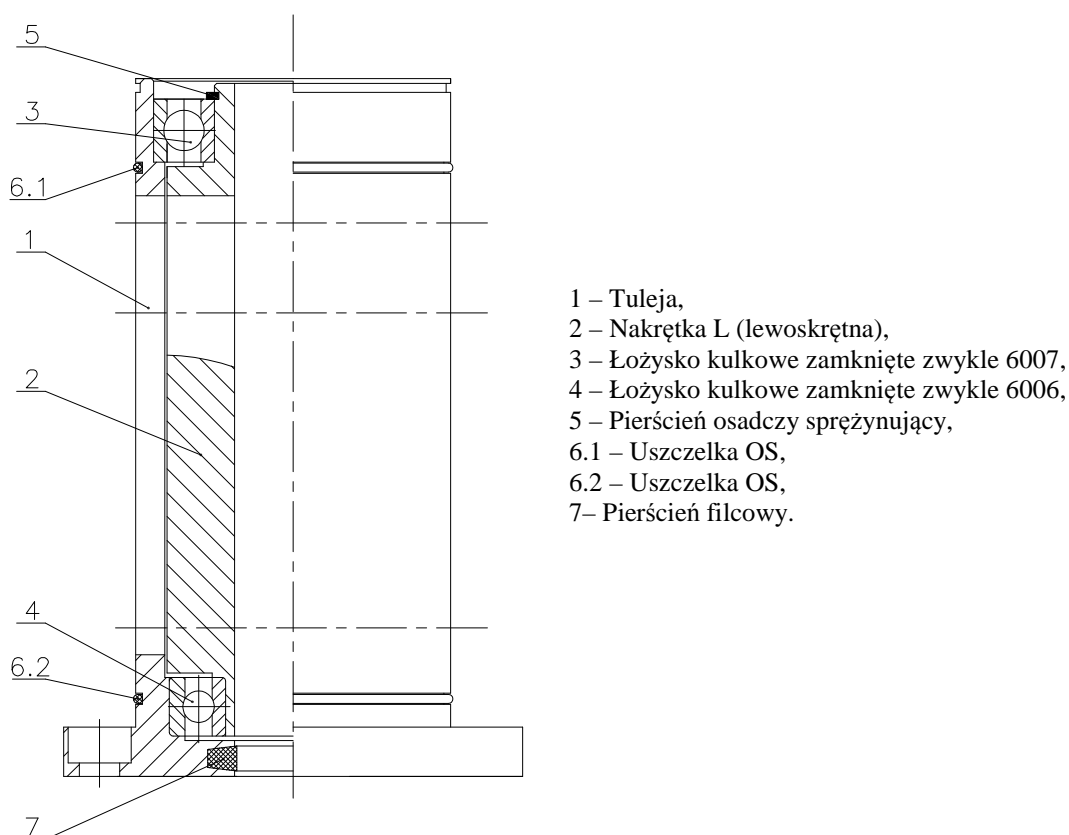
Screenshot 2: Start Sequences
 The 'Start Sequences' dialog shows a table of generated sequences. The columns are 'Sequence', 'ga', 'Start', 'Forbidden', and 'Description'. The table lists 14 sequences, with the first one being '1<->2'.

Screenshot 3: Blocking Sequences
 The 'Blocking Sequences' dialog shows a table of blocking sequences. The columns are 'Sequence', 'Description', 'OR', and 'AND'. The table lists 14 blocking sequences, with the first one being '1<->3,1<->6'.

Screenshot 4: Run Process
 The 'Run Process' dialog shows the results of the algorithm. The 'Run process' button is highlighted. Below it, a table shows the 'Max number of the best results: 10' and 'All results: 8'. The table lists 8 sequences with their 'ga', 'Sequence', 'D', and 'Index' values.

Rys. 6. 51. Wynikowe okna dialogowe zespołu tłoczyska siłownika

Podzespół 4 stanowi mechanizm śrubowy przedstawiony na rysunku 6.52. Złożony jest z 8 części składowych wyspecyfikowanych po prawej stronie rysunku.



Rys. 6. 52. Mechanizm śrubowy i jego specyfikacja

W tabelach 6.21 oraz 6.22 zestawiono informacje niezbędne do wyznaczenia zbioru sekwencji montażu dla podzespołu 4. Jako połączenie startowe wybrano 1←4 (montaż łożyska 4 w korpusie 1).

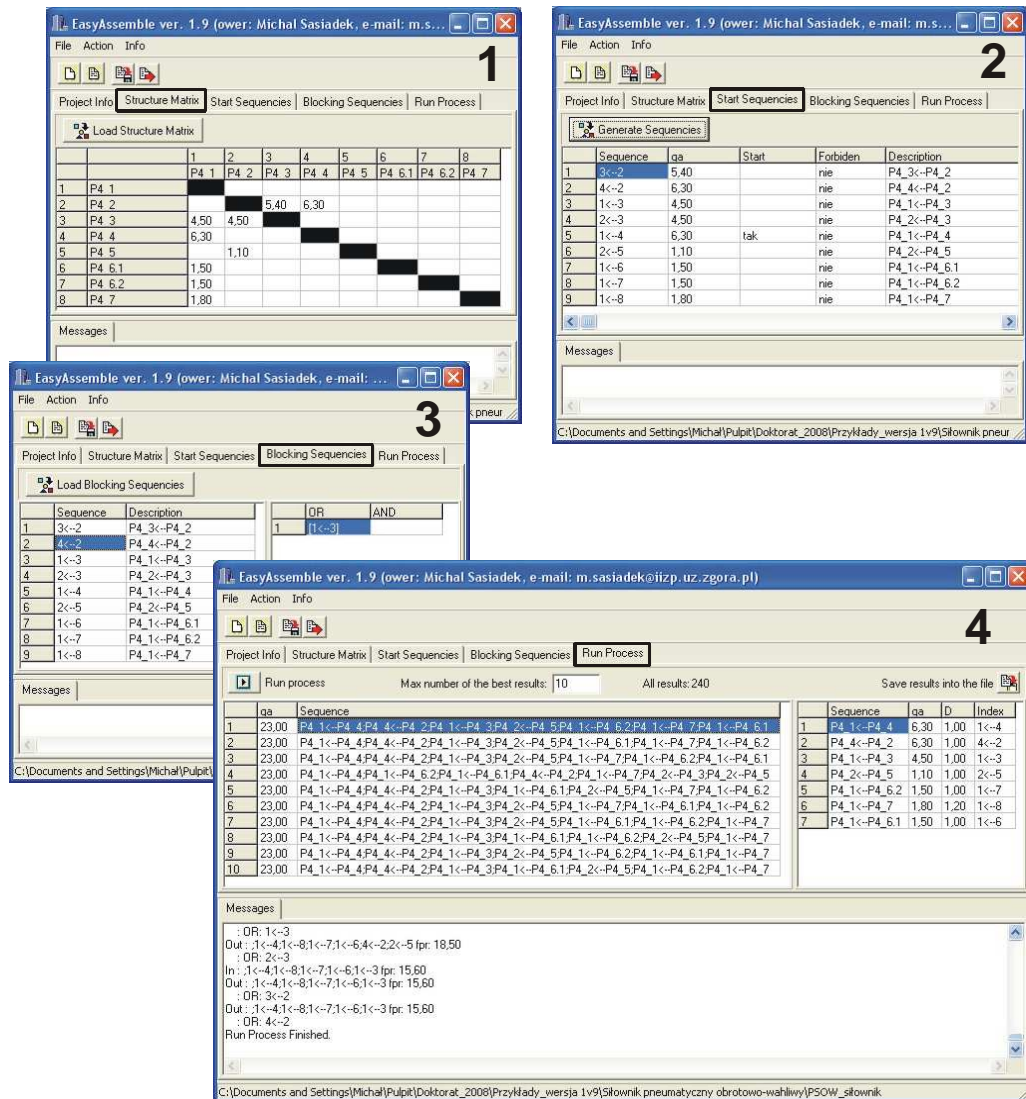
Tabela 6. 21. Zestawienie połączeń i ograniczeń mechanizmu śrubowego silownika

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; ∨	„AND” ; ∧
1	1←3	--	--	--
2	1←4	xx	--	--
3	1←6.1	--	--	--
4	1←6.2	--	--	--
5	1←7	--	--	--
6	2←3	--	2←5	--
7	2←5	--	--	--
8	3←2	--	1←3	--
9	4←2	--	1←3	--

Tabela 6. 22. Ocena połączeń mechanizmu śrubowego siłownika

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←3	1,0	2,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	4,5	1,0	4,5
1←4	1,0	2,5	1,2	1,0	1,0	1,4	1,0	1,5	6,3	1,0	6,3
1←6.1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5
1←6.2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5
1←7	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
2←3	1,0	2,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	4,5	1,0	4,5
2←5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
3←2	1,0	2,5	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	5,4	1,0	5,4
4←2	1,0	2,5	1,2	1,0	1,0	1,4	1,0	1,5	6,3	1,0	6,3

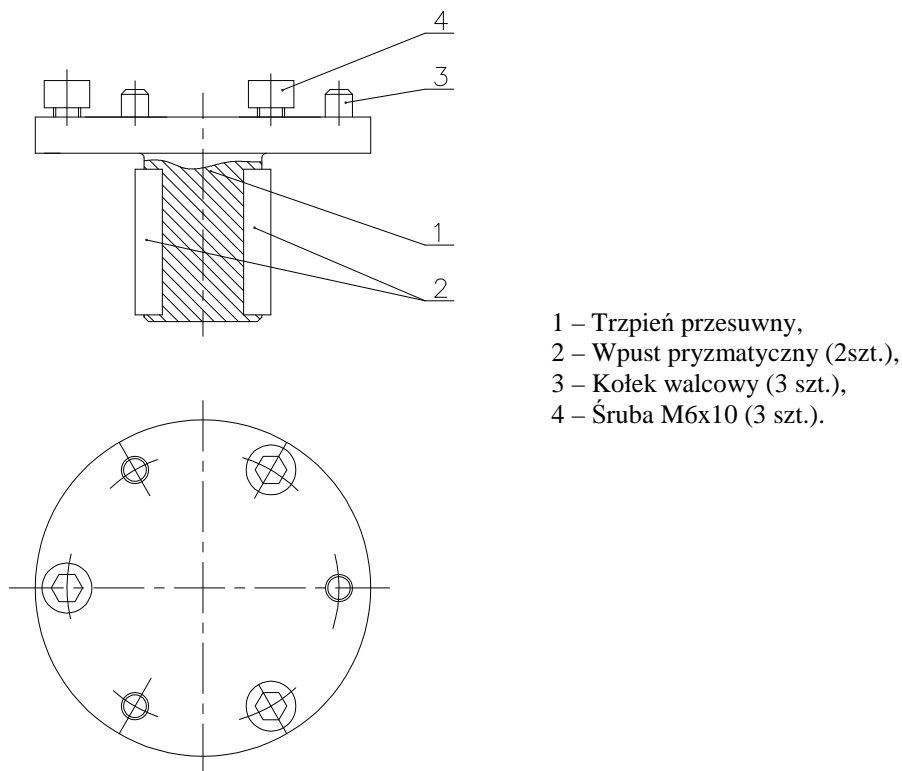
Poniżej (rysunek 6.53) przedstawiono, w oknach dialogowych programu (oznaczonych od 1 do 4), poszczególne kroki generowania dopuszczalnych sekwencji montażu podzespołu 4.



Rys. 6. 53. Wynikowe okna dialogowe mechanizmu śrubowego siłownika

Uzyskano zbiór 240 dopuszczalnych sekwencji montażu (całościowo przedstawiony w załączniku nr 5) Spośród wszystkich wyników, w oknie dialogowym nr 4 na rysunku 6.53 widocznych jest 10 najlepszych sekwencji charakteryzujących się równoważną oceną wskaźnikiem $q_a=23,00$.

Podzespół 5 stanowi trzpień przesuwny przedstawiony na rysunku 6.54. Złożony jest z czterech części składowych wyspecyfikowanych po prawej stronie rysunku. Ze względu na prostotę konstrukcji podzespół ten pominięto w analizie zbioru dopuszczalnych sekwencji. Do całościowej analizy przyjęty zostanie jako podzespół złożony z czterech części składowych.



Rys. 6. 54. Trzpień przesuwny i jego specyfikacja

Celem wyznaczenia zbioru sekwencji montażu dla całego zespołu siłownika przeprowadzona zostanie analiza uwzględniająca podzespoły i ich rozwiązania częściowe oraz części niezależne. W analizie pominięto 4 szpilki łączące pokrywę przednią z tylną, ze względu na to, że nie mają one wpływu na kolejność montażu całego zespołu i są jedynie łącznikami. Poniżej w tabeli 6.23 i 6.24 zestawiono, dla odpowiednich połączeń wymagane informacje wykorzystywane w poszczególnych krokach algorytmu generowania sekwencji montażu (połączenia startowe, połączenia blokujące typu „AND” i „OR”).

Tabela 6. 23. Zestawienie relacji i ograniczeń dla siłownika obrotowo-wahliwego

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
1	P1←P3	--	P3←6	$(10\leftarrow P1 \wedge 10\leftarrow P2)$ \vee $(10\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow 10)$
2	P1←P4	--	$P4\leftarrow P3 \vee P3\leftarrow P4 \vee$ P3←6	--
3	P1←10	--	--	$(P3\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow P3)$ \vee $(P3\leftarrow P1 \wedge P3\leftarrow P2)$
4	P2←P3	xx	--	$(10\leftarrow P1 \wedge 10\leftarrow P2)$ \vee $(10\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow 10)$ \vee $(10\leftarrow P2 \wedge P1\leftarrow 10)$
5	P2←10	xx	--	$(P3\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow P3)$ \vee $(P3\leftarrow P1 \wedge P3\leftarrow P2)$
6	P3 ← P1	--	$P4\leftarrow P3 \vee P3\leftarrow P4 \vee$ P3←6	--
7	P3 ← P2	--	--	--
8	P3 ← P4	--	P3←6	$(10\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow 10)$
9	P3 ← 6	--	$P4\leftarrow 7 \vee P3\leftarrow 8$	--
10	P3 ← 8	--	$P5\leftarrow P4 \vee P4\leftarrow P5$	--
11	P3 ← 10	--	--	$(10\leftarrow P1 \wedge 10\leftarrow P2)$ \vee $(10\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow 10)$ \vee $(10\leftarrow P2 \wedge P1\leftarrow 10)$ \vee $(P3\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow P3)$ \vee $(P3\leftarrow P1 \wedge P3\leftarrow P2)$
12	P4 ← P1	--	$P4\leftarrow P3 \vee P3\leftarrow P4 \vee$ P3←6	--
13	P4 ← P3	--	P3←6	$(10\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow 10)$
14	P4 ← P5	--	--	--
15	P4 ← 7	--	$P5\leftarrow P4 \vee P4\leftarrow P5 \vee$ P4←9	--
16	P4 ← 9	--	$P5\leftarrow P4 \vee P4\leftarrow P5$	--
17	P5 ← P4	--	--	--
18	6 ← 8	--	$P5\leftarrow P4 \vee P4\leftarrow P5$	--
19	10 ← P1	--	$P4\leftarrow P3 \vee P3\leftarrow P4$	$(P3\leftarrow P4 \wedge P2\leftarrow P3)$
20	10 ← P2	--	--	--
21	10 ← P3	--	--	$(10\leftarrow P1 \wedge 10\leftarrow P2)$ \vee $(10\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow 10)$ \vee $(10\leftarrow P2 \wedge P1\leftarrow 10)$ \vee $(P3\leftarrow P1 \wedge P2\leftarrow P3)$ \vee $(P3\leftarrow P1 \wedge P3\leftarrow P2)$

Tabela 6. 24. Ocena połączeń w siłowniku obrotowo-wahliwym

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
P1←P3	2,5	2,5	2,2	1,2	1,1	1,4	1,4	1,5	53,36	1,0	53,36
P1←P4	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
P1←10	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
P2←P3	1,0	2,5	2,2	1,0	1,0	1,4	1,0	1,5	11,55	1,0	11,55
P2←10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5
P3 ← P1	2,5	2,5	2,2	1,0	1,1	1,0	1,4	1,5	31,76	1,0	31,76
P3 ← P2	1,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	4,5	1,0	4,5
P3 ← P4	2,5	1,0	2,2	1,0	1,1	1,4	1,0	1,5	12,7	1,0	12,7
P3 ← 6	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1	1,4	1,0	1,5	2,77	1,0	2,77
P3 ← 8	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0
P3 ← 10	1,0	1,0	2,2	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5	5,61	1,0	5,61
P4 ← P1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,32	1,0	1,32
P4 ← P3	1,0	2,5	2,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,5	10,89	1,0	10,89
P4 ← P5	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,4	1,0	1,0	1,54	1,0	1,54
P4 ← 7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,7	1,5	2,81	1,0	2,81
P4 ← 9	1,0	1,0	1,0	1,7	1,0	1,0	1,4	1,5	3,57	1,0	5,57
P5 ← P4	1,0	1,0	1,1	1,2	1,9	1,4	1,4	1,5	7,37	1,0	7,37
10 ← P1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5
10 ← P2	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
10 ← P3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5	2,55	1,0	2,55

Na podstawie powyższych tabel (tabela 6.23 i 6.24) zdefiniowano kolejno:

- 1 – Relacje pomiędzy częściami (podzespołami) - połączenia, oceniając jednocześnie każde z nich według składowych wskaźnika q_a . Przedstawiono to w oknie dialogowym programu EASYASSEMBLE, oznaczonym na rysunku 6.55 numerem 1 (w górnym prawym narożniku zakładki *Structure Matrix*),
- 2 – Połączenie startowe - P2←P3. (zakładka *Start Sequencies* – okno dialogowe nr 2 na rysunku 6.55),
- 3 – Relacje kolejnościowe (połączenia blokujące) wg tabeli 6.23 (zakładka *Blocking Sequencies* – okno dialogowe nr 3 na rysunku 6.55).

W oknie dialogowym programu oznaczonym nr 4 na rysunku 6.55 przedstawiono uzyskane wyniki. Program wygenerował 21 dopuszczalnych sekwencji montażu siłownika, przy założeniu, że połączeniem startowym jest P2←P3.

The figure consists of four screenshots of the EasyAssemble software interface, labeled 1 through 4, showing the process of generating and running assembly sequences for a gear assembly.

Screenshot 1: Shows the 'Structure Matrix' tab. It displays a 10x10 matrix with numerical values representing dependencies between parts (P1 to P10). The matrix is lower triangular, indicating that parts are assembled sequentially.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	P1									
2		P2								
3			P3							
4				P4						
5					P5					
6						P6				
7							P7			
8								P8		
9									P9	
10										P10

Screenshot 2: Shows the 'Start Sequences' tab. It displays a table of generated sequences with their start times, forbidden parts, and descriptions.

Sequence	qa	Start	Forbidden	Description
1	3<-1	31,76	nie	P3<-P1
2	4<-1	1,32	nie	P4<-P1
3	10<-1	1,50	nie	10<-P1
4	3<-2	4,50	nie	P3<-P2
5	10<-2	1,80	nie	10<-P2
6	1<-3	53,36	nie	P1<-P3
7	2<-3	11,55	tak	P2<-P3
8	4<-3	10,89	nie	P4<-P3
9	10<-3	2,55	nie	10<-P3
10	1<-4	1,10	nie	P1<-P4
11	3<-4	12,70	nie	P3<-P4
12	5<-4	7,37	nie	P5<-P4
13	4<-5	1,54	nie	P4<-P5
14	3<-6	2,77	nie	P3<-6
15	4<-7	2,81	nie	P4<-7
16	3<-8	2,00	nie	P3<-8
17	4<-9	3,57	nie	P4<-9
18	1<-10	1,80	nie	P1<-10
19	2<-10	1,50	nie	P2<-10
20	3<-10	5,61	nie	P3<-10

Screenshot 3: Shows the 'Blocking Sequences' tab. It displays a list of blocking sequences and their descriptions.

Sequence	Description
1	3<-1 P3<-P1
2	4<-1 P4<-P1
3	10<-1 10<-P1
4	3<-2 P3<-P2
5	10<-2 10<-P2
6	1<-3 P1<-P3
7	2<-3 P2<-P3
8	4<-3 P4<-P3
9	10<-3 10<-P3
10	1<-4 P1<-P4
11	3<-4 P3<-P4
12	5<-4 P5<-P4
13	4<-5 P4<-P5
14	3<-6 P3<-6
15	4<-7 P4<-7
16	3<-8 P3<-8
17	4<-9 P4<-9
18	1<-10 P1<-10
19	2<-10 P2<-10
20	3<-10 P3<-10

Screenshot 4: Shows the 'Run Process' tab. It displays the results of the assembly process, including a table of sequences and their execution times, and a message window showing the output of the process.

qa	Sequence	Sequence	qa	D	Index
1	28,34	P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5	1	P2<-P3	11,55 1,00 2<-3
2	28,34	P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5	2	P2<-10	1,50 1,00 2<-10
3	28,34	P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5	3	10<-P1	1,50 1,00 10<-1
4	32,45	P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5	4	P1<-P4	1,10 1,00 1<-4
5	32,45	P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5	5	P3<-6	2,77 1,20 3<-6
6	32,45	P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5	6	P3<-8	2,00 1,00 3<-8
7	44,05	P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5	7	P4<-7	2,81 1,00 4<-7
8	44,05	P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5	8	P4<-9	3,57 1,70 4<-9
9	44,05	P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5	9	P4<-P5	1,54 1,00 4<-5
10	58,60	P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5			
11	58,60	P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5			
12	58,60	P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5			
13	62,71	P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5			
14	62,71	P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5			
15	62,71	P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5			
16	70,20	P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P3<-4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5			
17	70,20	P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P3<-4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5			
18	70,20	P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P3<-4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5			
19	74,31	P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P3<-4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5			
20	74,31	P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P3<-4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5			
21	74,31	P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P3<-4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5			

The message window shows the following output:

```

Out : 2<-3,3<-10,3<-8,3<-4 fpr: 31,86
: OR: 3<-1
Out : 2<-3,3<-10,3<-8,3<-4 fpr: 31,86
: OR: 4<-1
Out : 2<-3,3<-10,3<-8,3<-4 fpr: 31,86
: OR: 10<-1
Out : 2<-3,3<-10,3<-8 fpr: 19,16
: OR: 3<-6
Run Process Finished.
  
```

Rys. 6.55. Wynikowe okno dialogowe 1 siłownika obrotowo-wahliwego

W przypadku zmiany wartości współczynnika ukierunkowania oceny d z $1,0$ na $2,0$ otrzymano wyniki zestawione w wynikowym oknie dialogowym programu (Zakładka *Run Process*) na rysunku 6.56. Wyniki kompletne uzyskane dla siłownika obrotowo-wahliwego zamieszczono w załączniku 6.

EasyAssemble ver. 1.9 (owner: Michał Sasiadek, e-mail: m.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl)

File Action Info

Project Info | Structure Matrix | Start Sequences | Blocking Sequences | Run Process

Run process Max number of the best results: 21 All results: 21 Save results into the file

qa	Sequence
1	38,22 P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
2	39,02 P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
3	39,48 P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
4	42,33 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
5	43,13 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
6	43,59 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
7	53,93 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
8	54,74 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
9	55,20 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
10	68,48 P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
11	69,29 P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
12	69,75 P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
13	72,59 P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
14	73,40 P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
15	73,86 P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
16	80,09 P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P3<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
17	80,89 P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P3<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
18	81,35 P2<-P3,P2<-10,P3<-P1,P3<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
19	84,20 P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P3<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
20	85,00 P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P3<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
21	85,46 P2<-P3,P3<-10,P3<-P1,P3<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5

Sequence	qa	D	Index	
1	P2<-P3	11,55	1,00	2<-3
2	P2<-10	1,50	1,00	2<-10
3	10<-P1	1,50	1,00	10<-1
4	P1<-P4	1,10	1,00	1<-4
5	P3<-6	2,77	1,20	3<-6
6	P3<-8	2,00	1,00	3<-8
7	P4<-7	2,81	1,00	4<-7
8	P4<-9	3,57	1,70	4<-9
9	P4<-P5	1,54	1,00	4<-5

Messages

Out : 2<-3,3<-10,3<-8,3<-4 fpr: 31,86
: OR: 3<-1

Out : 2<-3,3<-10,3<-8,3<-4 fpr: 31,86
: OR: 4<-1

Out : 2<-3,3<-10,3<-8,3<-4 fpr: 31,86
: OR: 10<-1

Out : 2<-3,3<-10,3<-8 fpr: 19,16
: OR: 3<-6

Run Process Finished.

C:\Documents and Settings\Michał\Pulpit\Doktorat_2008\Przykłady_wersja 1v9\Siłownik pneumatyczny obrotowo-wahliwy\PSOW_siłownik

Rys. 6. 56. Wynikowe okno dialogowe 2 siłownika obrotowo-wahliwego

W przypadku zdefiniowania kolejnego połączenia startowego $P2 \leftarrow 10$ i dla współczynnika $d=2$ uzyskano 36 rozwiązań – rysunek 6.57.

EasyAssemble ver. 1.13 (owner: Michał Sasiadek, e-mail: m.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl)

File Action Info

Project Info | Structure Matrix | Start Sequences | Blocking Sequences | Run Process

Run process Max number of the best results: 36 All results: 36 Save results into the file

qa	Sequence
1	38,22 P2<-10,P2<-3,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
2	38,22 P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
3	39,02 P2<-10,P2<-3,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
4	39,02 P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
5	39,48 P2<-P3,P2<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
6	39,48 P2<-10,P2<-3,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
7	42,33 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5
8	43,13 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P3<-8,P4<-9,P4<-P5
9	43,59 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P1<-P4,P3<-6,P4<-7,P4<-9,P3<-8,P4<-P5
10	53,93 P2<-P3,P3<-10,10<-P1,P3<-P4,P3<-6,P3<-8,P4<-7,P4<-9,P4<-P5

Sequence	qa	D	Index	
1	P2<-P3	11,55	1,00	2<-3
2	P2<-10	1,50	1,00	2<-10
3	10<-P1	1,50	1,00	10<-1
4	P1<-P4	1,10	1,00	1<-4
5	P3<-6	2,77	1,20	3<-6
6	P3<-8	2,00	1,00	3<-8
7	P4<-7	2,81	1,00	4<-7
8	P4<-9	3,57	1,70	4<-9
9	P4<-P5	1,54	1,00	4<-5

Messages

Curr_1 sequence: 2<-10 fpr: 1,50
AllRelationList: 3<-1,4<-1,10<-1,3<-2,10<-2,1<-3,2<-3,4<-3,10<-3,1<-4,3<-4,5<-4,4<-5,3<-6,4<-7,3<-8,4<-9,1<-10,3<-10

Run Process Finished.

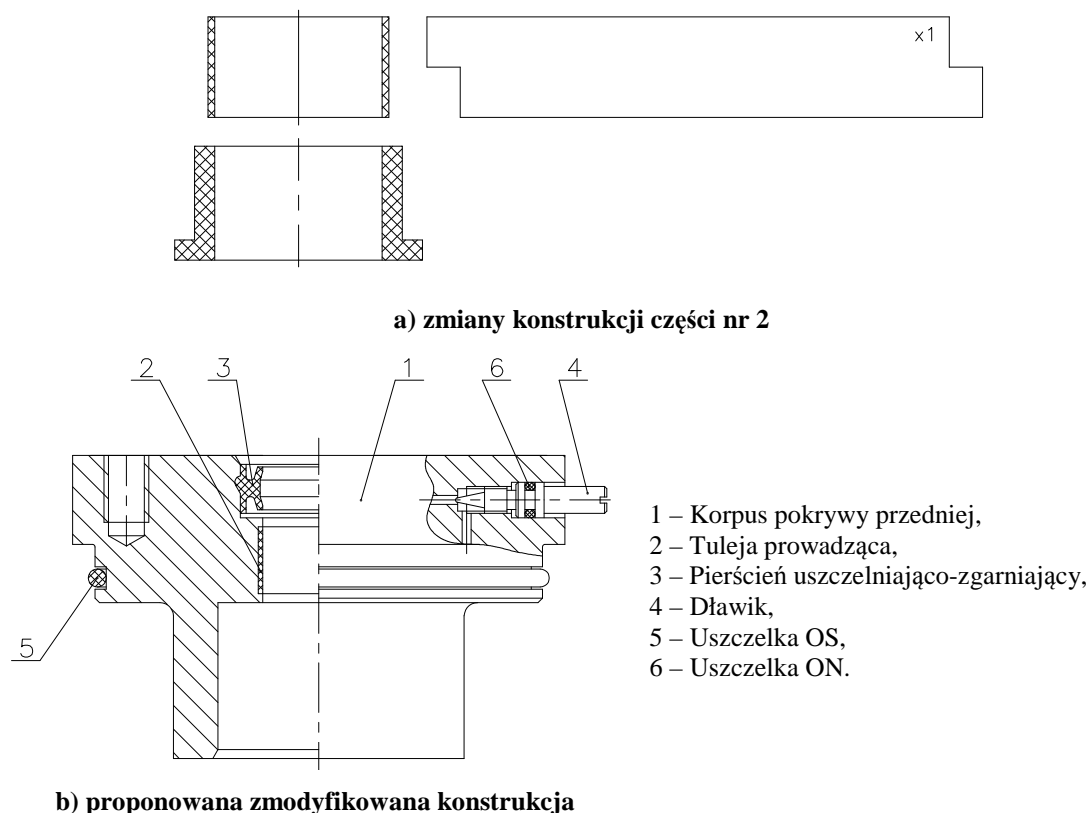
D:\Pulpit_2008\Doktorat_2008\Przykłady_wersja 1v9\Siłownik pneumatyczny obrotowo-wahliwy\PSOW_siłownik\psow_1_ver_1_9_asp

Rys. 6. 57. Wynikowe okno dialogowe 3 siłownika obrotowo-wahliwego

6.3.1. Przeprojektowanie konstrukcji siłownika

W wyniku analizy otrzymanych rozwiązań poszczególnych podzespołów siłownika, zaproponowano zmiany konstrukcyjne części składowych dla dwóch z nich. Zmiany te przyczyniają się do uproszczenia konstrukcji, ze względu na wymogi procesu montażu, a tym samym do zwiększenia jego efektywności. Zmiany zaproponowano w podzespole pokrywy przedniej (podzespół 1) oraz w zespole tłoczyska (podzespół 3) i omówiono je poniżej.

W podzespole pokrywy przedniej zaproponowano zmiany konstrukcyjne w tulei prowadzącej (2) oraz wynikającą z tych zmian modyfikację korpusu pokrywy przedniej (1). Na rysunku 6.58a) przedstawiono tuleję prowadzącą i proponowaną jej modyfikację.



Rys. 6. 58. Pokrywa przednia siłownika po zmianach

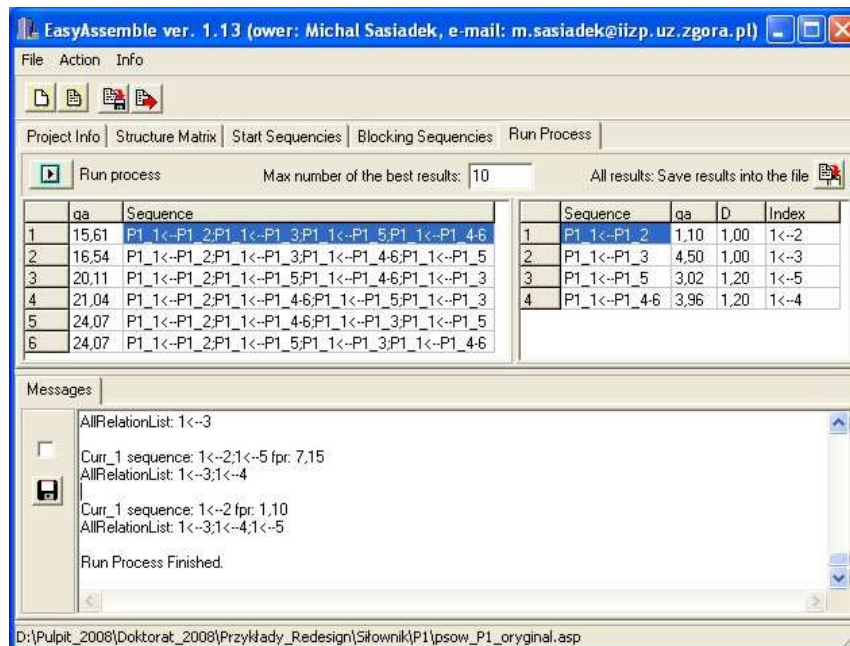
Pierwotna, jak i proponowana tuleja spełnia rolę łożyska ślizgowego dla zespołu tłoczyska i wykonana jest z tworzywa polimerowego (teflonu) PTFE. Proponowana tuleja jest wykonana z paska o grubości 1 mm i po rozwinięciu przedstawiono ją w widoku z prawej strony. Zmiana ta, przyczynia się do uproszczenia montażu tulei w korpusie, a także

do zmniejszenia kosztów wykonania tulei. Zmiana tulei wymusiła również przeprojektowanie jej gniazda w korpusie. Na rysunku 6.5b) przedstawiono konstrukcję zmodyfikowanej pokrywy przedniej. Podobnie jak przy wcześniejszym wyznaczaniu zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu dla tego podzespołu nie zdefiniowano żadnych relacji kolejnościowych, a jako połączenie startowe zdefiniowano $1 \leftarrow 2$. Zmianie uległa ocena połączenia startowego, co przedstawiono pogrubionymi wartościami zmienionych składowych wskaźnika f_p . Ocenę poszczególnych połączeń zmodyfikowanej konstrukcji zamieszczono w tabeli 6.25.

Tabela 6. 25. Ocena połączeń montażowych zmodyfikowanej pokrywy przedniej siłownika

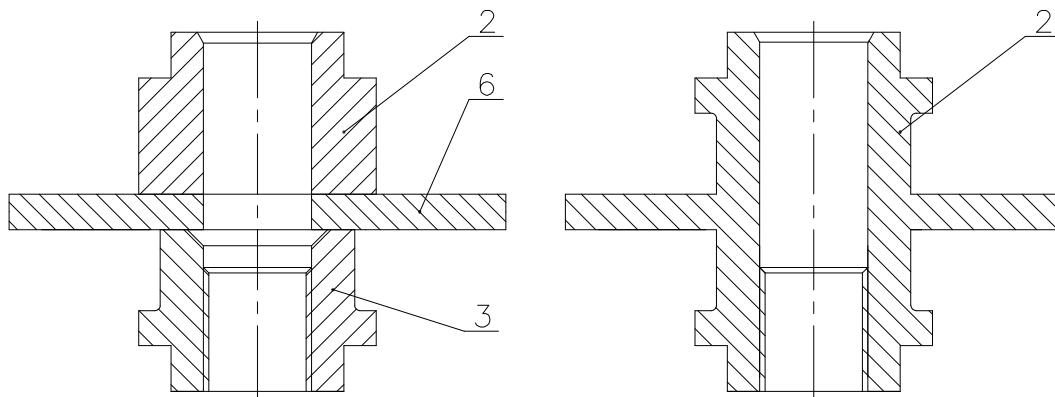
Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
1←3	2,5	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	4,5	1,0	4,5
1←4-6	1,0	1,0	2,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,5	3,96	1,0	3,96
1←5	1,0	1,0	2,2	1,2	1,0	1,0	1,4	1,5	3,02	1,0	3,02

W wyniku działania algorytmu, przy zdefiniowanym współczynniku przekierowania $d=2$, uzyskano 6 dopuszczalnych rozwiązań. Wynikowe okno dialogowe przedstawiono na rysunku 6.59. Sekwencja najkorzystniejsza jest identyczna jak przed wprowadzonymi zmianami, natomiast wskaźnik jej oceny wynosi $q_a=15,61$, co wskazuje na poprawę konstrukcji.



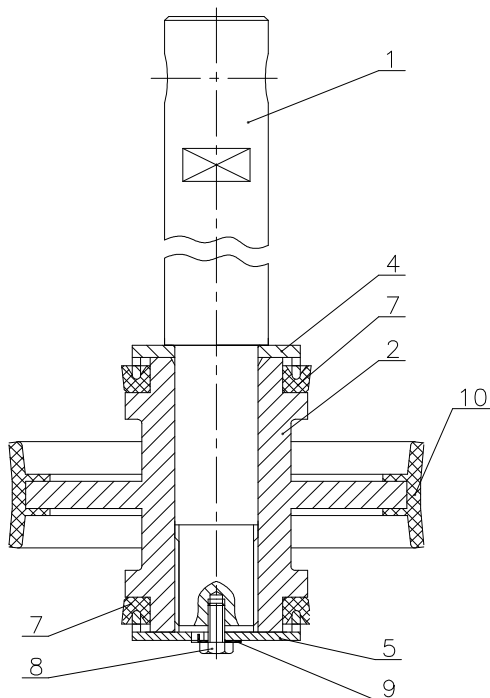
Rys. 6. 59. Wynikowe okno dialogowe przeprojektowanej pokrywy przedniej

Z kolei, w zespole tłoczyska zasugerowano redukcję części. W miejsce części oznaczonych nr 2, 6 i 3 zaproponowano rozwiązanie agregujące wymienione części w jedną. Na poniższym rysunku (rys. 6.60) po lewej stronie przedstawiono rozwiązanie z trzema częściami, natomiast z prawej strony, z jedną częścią spełniającą rolę tłoka w analizowanym podzespole.



Rys. 6. 60. Zmiana konstrukcji części 2, 3 i 6 zespołu tłoczyska

Zmodyfikowaną konstrukcję zespołu tłoczyska, w której zmniejszono liczbę części składowych z 11 do 9, przedstawiono na rysunku 6.61.



- 1 – Tłoczysko,
- 2 – Tłok
- 4 – Pierścień dociskowy przedni,
- 5 – Pierścień dociskowy tylny,
- 7.1 – Uszczelka U1,
- 7.2 – Uszczelka U1,
- 8 – Śruba M4x10,
- 9 – Podkładka odginana,
- 10 – Uszczelka tłoka.

Rys. 6. 61. Zespół tłoczyska po zmianach konstrukcyjnych

Na skutek wprowadzonych zmian w konstrukcji zespołu tłoczyska (podzespół 4) przeprowadzono powtórnie wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu.

W tabeli 6.26 zestawiono połączenia i ograniczenia w przeprojektowanym podzespolu 4, natomiast w tabeli 6.27 zestawiono ocenę tych połączeń. Ze względu na to, że składowa D wskaźnika f_p , dla wszystkich połączeń ma wartość 1 – wyznaczenie rozwiązań przeprowadzono dla współczynnika przekierowania $d=1$.

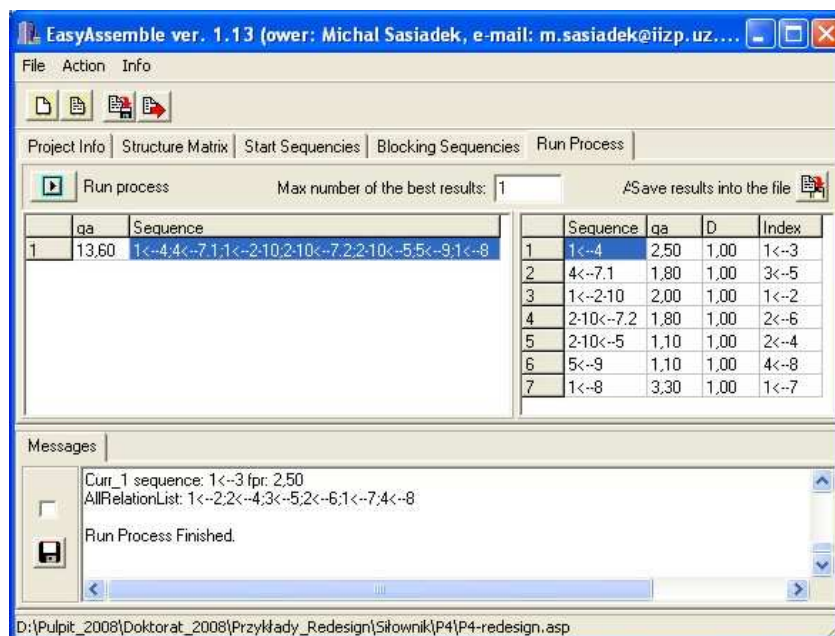
Tabela 6. 26. Zestawienie połączeń i ograniczeń przeprojektowanego zespołu tłoczyska

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR” ; \vee	„AND” ; \wedge
1	1←2-10	--	--	--
2	1←4	xx	--	--
3	1←8	--	--	--
4	2-10←7.2	--	2-10←5	--
5	2-10←5	--	1←8	--
6	4←7.1	--	4←2-10 \vee 1←2-10	--
7	5←9	--	1←8	--

Tabela 6. 27. Ocena połączeń przeprojektowanego zespołu tłoczyska

Połączenie montażowe	Składowe wskaźnika: $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1←2-10	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0
1←4	2,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	1,0	2,5
1←8	1,0	1,0	2,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,5	3,3	1,0	3,3
2-10←7.2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
2-10←5	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
4←7.1	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,8	1,0	1,8
5←9	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1

Wynikowe okno dialogowe dla przeprojektowanego zespołu tłoczyska przedstawiono na rysunku 6.62. Uzyskano jedną sekwencję.



Rys. 6. 62. Wynikowe okno dialogowe przeprojektowanego zespołu tłoczyska

7. Omówienie uzyskanych wyników

W poprzednim rozdziale, na trzech przykładach, przedstawiono praktyczne zastosowanie opracowanego programu komputerowego. Przeprowadzone analizy wyznaczania i oceny najkorzystniejszych sekwencji montażu ukierunkowane były na przedstawienie praktycznych możliwości opracowanej metody. Każda wygenerowana sekwencja montażu była wartościowana według wskaźnika q_a , celem wyboru najkorzystniejszego rozwiązania. Dla dwóch przykładów (planik gazowy i siłownik pneumatyczny) wykonano również dodatkowe analizy, ukierunkowane na zmiany w konstrukcji, przyczyniające się do poprawy wskaźników procesu montażu.

Pierwszym przykładem zastosowania metody było wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu dla podzespołu koła zębatego, złożonego z ośmiu części składowych. Przykład ten rozwiązany został według kilku scenariuszy charakteryzujących się zdefiniowaniem różnych połączeń startowych oraz przy założeniu różnych podzespołów montażowych. W scenariuszu 1, zakładającym część bazową – korpus, uzyskano 6 dopuszczalnych sekwencji. Sekwencje te zestawione są w wynikowym oknie dialogowym programu przedstawionym na rysunku 6.5. Pierwsze trzy sekwencje, scharakteryzowane są wartością wskaźnika $q_a=50,23$, zaś pozostałe trzy wygenerowane sekwencje oceniono wartością 58,48. Najkorzystniejsze sekwencje scenariusza 1 zestawiono poniżej:

- $[2\leftarrow 3\leftarrow 1\leftarrow 5\leftarrow 4\leftarrow 8\leftarrow 7\leftarrow 6]$,
- $[2\leftarrow 3\leftarrow 1\leftarrow 5\leftarrow 4\leftarrow 7\leftarrow 8\leftarrow 6]$,
- $[2\leftarrow 3\leftarrow 1\leftarrow 5\leftarrow 4\leftarrow 7\leftarrow 6\leftarrow 8]$.

Zauważyć można, że w powyższych rozwiązaniach, występuje stała podsekwencja $(2\leftarrow 3\leftarrow 1\leftarrow 5\leftarrow 4)$, a różnią się jedynie kolejnością dołączania części oznaczonych nr 6, 7 i 8. Te rozwiązania można uznać za najkorzystniejsze.

W kolejnej analizie wykonanej na tym samym przykładzie (scenariusz 2) założono teoretycznie, że montaż podzespołu można rozpoczynać od części nr 1, 2 i 3. Są to kolejno: koło zębate, korpus i łożysko. Założenia te miały na celu sprawdzenie algorytmu generowania sekwencji montażu, pod kątem poprawności rozwiązań. W scenariuszu 2 uzyskano 62 dopuszczalne (poprawnych) rozwiązania, przy czym najkorzystniejszymi,

podobnie jak w przypadku scenariusza 1 są trzy omówione powyżej sekwencje. Dla zdefiniowanych połączeń startowych, określających koło zębate i łożysko jako części bazowe wyniki należy uznać jedynie jako teoretyczne, gdyż montaż w rzeczywistych warunkach byłby możliwy, aczkolwiek znacznie utrudniony i nie technologiczny.

W ostatniej analizie podzespołu koła przyjęto dwa różne warianty jego montażu, przy założeniu wcześniej zdefiniowanych podzespołów. W pierwszym wariacie założono, że podzespół stanowić będą części: 1, 3, 4, 5, 8. Dla tego podzespołu uzyskano dwa rozwiązania: $(1 \leftarrow 3 \leftarrow 5 \leftarrow 4 \leftarrow 8)$, $(3 \leftarrow 1 \leftarrow 5 \leftarrow 4 \leftarrow 8)$ z wartością wskaźnika q_a odpowiednio 32,28 i 33,92. W rozwiązaniu całościowym wariantu pierwszego uzyskano jedno poprawne rozwiązanie ocenione wartością 24,14. Jest nim sekwencja: $[2 \leftarrow (\text{sub}_1) \leftarrow 7 \leftarrow 6]$, gdzie (sub_1) oznacza wcześniej rozwiązany podzespół. Uwzględniając, że podzespół ten (1, 3, 4, 5, 8) można zmontować na dwa różne sposoby, uzyskujemy ostatecznie również dwie możliwości montażu podzespołu koła zębatego:

- $[2 \leftarrow (1 \leftarrow 3 \leftarrow 5 \leftarrow 4 \leftarrow 8) \leftarrow 7 \leftarrow 6]$, wartość $q_a = 32,28 + 11,19 = 43,47$,
- $[2 \leftarrow (3 \leftarrow 1 \leftarrow 5 \leftarrow 4 \leftarrow 8) \leftarrow 7 \leftarrow 6]$, wartość $q_a = 33,92 + 11,19 = 45,11$.

W wariacie drugim scenariusza 3 zdefiniowano dwa podzespoły: pierwszy złożony z części: 2, 4, 6, 7 i drugi z części: 1, 3, 5. Dla obu podzespołów uzyskano jedno rozwiązanie: dla podzespołu 1 - $(2 \leftarrow 4 \leftarrow 7 \leftarrow 6)$, przy $q_a = 31,18$, dla podzespołu 2 - $(1 \leftarrow 3 \leftarrow 5)$, przy $q_a = 9,65$. Ostatecznie dla wariantu 2 scenariusza 3 uzyskano rozwiązanie: $(\text{sub}_1 \leftarrow \text{sub}_2 \leftarrow 8)$. Po uwzględnieniu rozwiązań częściowych dla zdefiniowanych w tym wariacie podzespołów sekwencję końcową można zapisać: $[(2 \leftarrow 4 \leftarrow 7 \leftarrow 6) \leftarrow (1 \leftarrow 3 \leftarrow 5) \leftarrow 8]$. Wartość q_a dla tej sekwencji wynosi $q_a = 31,18 + 9,65 + 13,20 = 54,03$

Przeprowadzone analizy dla trzech różnych scenariuszy potwierdziły poprawność uzyskanych wyników, przy czym niektóre założenia poczyniono wyłącznie teoretycznie - celem uzyskania zróżnicowanych rozwiązań. Należy podkreślić również, że analiza wyników uzyskanych w każdym z rozwiązanych scenariuszy, dla tego przykładu jest utrudnione, ze względu na jego bardziej pokazowy charakter.

Poniżej, w tabeli 7.1, zestawiono najkorzystniejsze rozwiązania dla rozpatrywanych trzech scenariuszy.

Tabela 7. 1. Zestawienie wyników dla podzespołu koła zębatego

Nr scenariusza	Liczba uzyskanych sekwencji	Najkorzystniejsze rozwiązania	Wartość wskaźnika q_a	
1	6	[2←3←1←5←4←8←7←6] [2←3←1←5←4←7←8←6] [2←3←1←5←4←7←6←8]	50,23	
2	66	[2←3←1←5←4←8←7←6] [2←3←1←5←4←7←8←6] [2←3←1←5←4←7←6←8]	50,23	
3	Wariant 1	2	[2←(1←3←5←4←8)←7←6]	43,47
	Wariant 2	1	[(2←4←7←6)←(1←3←5)←8]	54,03

Najkorzystniejszym rozwiązaniem w przykładzie pierwszym jest montaż rozważanego podzespołu koła zębatego, z uwzględnieniem podzespołu złożonego z części: 1, 3, 4, 5, 8. Montaż powinien odbywać się w następujący sposób: do korpusu (2) zamontowany powinien być podzespół (1←3←5←4←8) uprzednio zmontowany. Montaż podzespołu powinien być realizowany w kolejności: na koło zębate nacięte na wałku (1) montowane będą następujące po sobie części: łożysko (3), tuleja dystansowa (5), łożysko 2 (4) oraz nakrętka (8). Po osadzeniu podzespołu w korpusie, należy zamontować pierścień zabezpieczający (7) oraz pokrywę boczną (6). Taki wariant montażu, zgodnie z przyjętą oceną zdefiniowanych połączeń montażowych i ograniczeń wydaje się najkorzystniejszy.

Drugim przykładem zastosowania programu komputerowego było wyznaczenie dopuszczalnych sekwencji dla rzeczywistego wyrobu - palnika gazowego złożonego z 13 części składowych. Korpus (nr 1) zdefiniowano jako część bazową. Ze względu na złożoność kombinatoryczną wyznaczenie zbioru sekwencji montażu przeprowadzono oddzielnie, dla każdego z trzech zdefiniowanych połączeń startowych (1←3, 1←4, 1←8). Ponadto w rozwiązywanym przykładzie wykorzystano proponowany współczynnik przekierowania (opisany w podrozdziale 4.3), celem selekcji najkorzystniejszych rozwiązań. Uzyskane rozwiązania, dla współczynnika przekierowania $d=1$, nie dawały możliwości jednoznacznego wyboru najkorzystniejszego rozwiązania, dlatego w powtórnych analizach przyjęto jego wartość $d=2$. Szczegółowo przykład ten omówiono w pkt. 6.2, dlatego w tym rozdziale zestawiono jedynie uzyskane wyniki (tabela 7.2).

Tabela 7. 2. Zestawienie wyników dla palnika gazowego

Połączenie startowe	Liczba uzyskanych sekwencji	Najkorzystniejsze rozwiązania	Wartość wskaźnika q_a	
			$d = 1$	$d = 2$
1←3	9 240	(1-3-2-8-10-9-13-4-7-11-5-6-12) (1-3-2-4-7-11-5-6-12-8-10-9-13)	52,44	62,78
1←4	27 720	(1-4-7-11-5-6-12-8-10-9-13-3-2) (1-4-7-11-5-6-12-3-2-8-10-9-13)	52,44	60,74
1←8	9 240	(1-8-10-9-13-4-7-11-5-6-12-3-2) (1-8-10-9-13-3-2-4-7-11-5-6-12)	52,44	57,88

Przyjmując korpus jako część bazową i agregując rozwiązania częściowe (dla każdego połączenia startowego) uzyskano zbiór 46 200 rozwiązań, z których najkorzystniej ocenionymi są sekwencje rozpoczynające się od połączenia startowego 1←8. W rzeczywistości przedsiębiorstwo montuje wyrób ten w takiej właśnie kolejności. Najkorzystniejsze sekwencje dla pozostałych dwóch połączeń startowych są również dopuszczalne w rzeczywistych warunkach, w zależności od dostępności odpowiednich części składowych analizowanego palnika gazowego.

Na podstawie wyników przeprowadzono analizę możliwości modyfikacji konstrukcji części składowych palnika celem polepszenia wartości wskaźnika oceny poszczególnych połączeń montażowych. Zaproponowano zmiany w konstrukcji pięciu części składowych: zaworu (4), pierścienia (7), łącznika (8), końcówki łącznika (9) oraz rękonożki (10). Po uwzględnieniu zmian zmodyfikowano ocenę poszczególnych połączeń montażowych i wyznaczono zbiór dopuszczalnych sekwencji montaż. Zaproponowano zmiany konstrukcyjne, w wyniku czego, zredukowano liczbę części składowych o jedną oraz zmniejszono wskaźnik oceny q_a , dla dwóch połączeń montażowych. Dzięki wprowadzonym zmianom zredukowano zbiór dopuszczalnych sekwencji do 10 800. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 7.3. Zauważyć można, że zmniejszono, a więc polepszone, wartości wskaźnika oceny poszczególnych sekwencji. Najkorzystniejsza sekwencja wygenerowana została dla połączenia startowego 1←4 i wartość wskaźnika oceny tej sekwencji wynosi $q_a=35,83$.

W porównaniu do wyników otrzymanych dla palnika gazowego przed zmianami konstrukcyjnymi zauważyć należy, że korzystniejszym rozwiązaniem jest rozpoczęcie montażu od strony zaworu (4), który dodatkowo po zmianach montowany jest jako podzespół z oringiem (11).

Tabela 7. 3. Zestawienie wyników dla przeprojektowanego palnika gazowego

Połączenie startowe	Liczba uzyskanych sekwencji	Najkorzystniejsze rozwiązania	Wartość wskaźnika q_a
			$d = 2$
1←3	10 080	(1-3-2-(4-11)-5-6-12-8-10-9-13) (1-3-2-8-10-9-13-(4-11)-5-6-12)	37,87
1←4		(1-(4-11)-5-6-12-8-10-9-13-3-2) (1-(4-11)-5-6-12-3-2-8-10-9-13)	35,83
1←8		(1-8-10-9-13-(4-11)-5-6-12-3-2) (1-8-10-9-13-3-2-(4-11)-5-6-12)	36,93

Nieznaczne różnice w zestawionych w tabeli 7.3 najkorzystniejszych sekwencjach dla zdefiniowanych połączeń startowych, wynikają z przyjętej wartości współczynnika przekierowania ($d=2$) oraz z faktu, że wyszczególnione sekwencje są uporządkowane według kierunku montażu poszczególnych części składowych palnika.

Trzecim przykładem zastosowania opracowanego programu komputerowego było wyznaczenie sekwencji montażu dla siłownika pneumatycznego obrotowo-wahliwego, złożonego z 38 części składowych. W pierwszej kolejności, na podstawie dokumentacji wyodrębniono podzespoły, dla których kolejno wyznaczono i oceniono dopuszczalne sekwencje montażu. W tabeli 7.4. zestawiono otrzymane wyniki.

Tabela 7. 4. Zestawienie wyników dla siłownika obrotowo-wahliwego

Analiza	Połączenie startowe	Liczba uzyskanych sekwencji	Najkorzystniejsze rozwiązania	Wartość wskaźnika q_a	
				$d = 1$	$d = 2$
Podzespół 1	1←2	6	(1-2-3-5-(4-6))	19,73	22,76
Podzespół 2	1←2.4	2	(1-2.4-3)	5,07	--
	1←3		(1-3-2.4)		
Podzespół 3	1←4	8	(1-4-7.1-2-6-3-7.2-5-9-8)	16,10	--
Podzespół 4	1←4	360	(1-4-2-3-5-6.2-7-6.1)	23,00	--
Podzespół 5	--	1	(1-3-4-2)	--	--
Siłownik	P2←P3	21	P2-P3-10-P1-P4-6-8-7-9-P5	28,34	38,22
	P2←P3	36	P2-10-P3-P1-P4-6-8-7-9-P5	28,34	38,22
	P2←10		P2-P3-10 -P1-P4-6-8-7-9-P5		

W przypadku podzespołów 2, 3 i 4 wygenerowano zbiór dopuszczalnych sekwencji montażu dla współczynnika przekierowania $d=1$. W podzespołach tych składowa D wskaźnika f_p nie ma wpływu na kolejność montażu poszczególnych części składowych, ze względu na ograniczenia kolejnościowe. W podzespole 4 uzyskano 240 dopuszczalnych sekwencji. Najkorzystniejsze sekwencje, ocenione wskaźnikiem $q_a=23,00$, wyróżnia początkowa kolejność montażu najważniejszych części (podkreślonych w tabeli 7.4), tj. tulei (1), łożyska (4), nakrętki (2) i drugiego łożyska (3). Pozostałe części to uszczelki, pierścienie i ich montaż może nastąpić po zmontowaniu części 1, 2, 3 i 4. W podzespole 5, ze względu na jego budowę, przyjęto kolejność montażu: zamontowanie na trzpieniu (1) kołków walcowych (3) i śrub (4) a następnie wpustów (2). Montaż całego siłownika, z uwzględnieniem podzespołów montażowych, w zależności od zdefiniowanych połączeń startowych, może odbywać się na wiele sposobów. Najkorzystniejszymi rozwiązaniami są dwie równoważne sekwencje rozpoczynająca się od połączenia startowego $P2 \leftarrow 10$ lub $P2 \leftarrow P3$, których ocena wynosi $q_a=38,22$, przy uwzględnieniu współczynnika przekierowania $d=2$.

Po wyznaczeniu dopuszczalnych kolejności montażu całego siłownika pneumatycznego, przeprowadzono analizę ukierunkowaną na modyfikacje konstrukcji w celu poprawy wskaźnika efektywności jego montażu. Zaproponowano zmiany w budowie dwóch podzespołów (pokrywa przednia i zespół tłoczyska).

W przypadku pokrywy przedniej zmodyfikowano kształt tulei prowadzącej (2) i jej gniazda w korpusie (1), w wyniku czego zmniejszono wartość oceny najlepszej sekwencji z 22,76 do 15,61, co wskazuje na polepszenie konstrukcji.

W wyniku analizy przeprowadzonej dla zespołu tłoczyska (podzespół 3) zaproponowano zredukowanie liczby części składowych, poprzez zastąpienie trzech (oznaczonych nr 2, 3 i 6) jedną częścią. Rezultatem tego było zmniejszenie liczby wygenerowanych sekwencji z 8 do 1 i poprawa wartości oceny sekwencji z 16,1 do 13,6.

8. Podsumowanie i wnioski końcowe

W pracy opisano nową, wspomaganą komputerowo metodę wyznaczania najkorzystniejszej sekwencji montażu części składowych projektowanego wyrobu pod kątem kryteriów tego procesu. Przedstawiono i zastosowano na przykładach program komputerowy.

Przykłady zastosowania metody i programu komputerowego potwierdzają tezę, że istnieje możliwość opracowania metody, wspomaganą komputerowo przeznaczonej do generowania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu i ich wartościowania oraz umożliwienia analizy zmian konstrukcji przyczyniających się do zwiększenia efektywności łączenia jej części składowych.

Proponowana metoda może być skutecznie stosowana do wyznaczenia najkorzystniejszej sekwencji montażu elementów składowych zespołu lub maszyny. Może być również stosowana do modyfikacji konstrukcji celem zwiększenia efektywności jej montażu.

Opracowany program komputerowy można stosować do wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu różnego rodzaju wyrobów. W przypadku wyrobów złożonych, z więcej niż 40 elementów, w celu zmniejszenia złożoności zadania korzystna jest wstępna dekompozycja wyrobu i zdefiniowanie podzespołów stanowiących podzadania - tak jak to przedstawiono przy rozwiązaniu siłownika obrotowo-wahliwego w podrozdziale 6.3. W takim przypadku rozwiązanie całościowe uzyskuje się poprzez agregację rozwiązań częściowych.

Sformułowany w rozdziale 2 cel pracy został osiągnięty przez zrealizowanie następujących zadań:

- opracowanie koncepcji nowej metody i jej założeń (rozdział 4),
- opracowanie sposobu definiowania ograniczeń (podrozdział 4.4),
- zaadaptowanie i uzupełnienie wskaźnika q_a oceny połączeń montażowych (podrozdział 4.3),

- opracowanie autorskiego algorytmu generowania dopuszczalnych sekwencji montażu (podrozdział 4.5),
- opracowanie programu komputerowego (rozdział 5, załącznik 1),
- praktyczne zastosowanie programu komputerowego (rozdział 6).

Przeprowadzone analizy potwierdziły, że wariantowanie sekwencji montażu z jednoczesną oceną i wyborem najkorzystniejszych rozwiązań jest zagadnieniem złożonym i trudno rozwiązywalnym kombinatorycznie. Problem „eksplozji kombinatorycznej” [51, 52] częściowo rozwiązany został przez włączenie wiedzy inżynierskiej użytkownika oraz bazę wiedzy (opartą na praktycznych doświadczeniach) do procesu generowania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu.

Na podstawie analiz opisanych w rozdziałach 6 i 7 stwierdzono:

- opracowana metoda stanowi uzupełnienie repertuaru metod projektowania współbieżnego, ponieważ umożliwia uwzględnienie wymogów procesu montażu przy opracowywaniu konstrukcji projektowanego wyrobu ze szczególnym uwzględnieniem najkorzystniejszej kolejności łączenia jego części składowych,
- prototypowy program komputerowy EASYASSEMBLE skutecznie rozwiązuje zadania wariantowania sekwencji montażu. Opracowane narzędzie powinno stanowić pomoc dla projektanta, konstruktora, technologa i planisty, tak aby zapewnić im możliwość jak najwcześniejszej identyfikacji struktury konstrukcyjnej wyrobu celem:
 - wyznaczenia najkorzystniejszej sekwencji montażu jego części składowych,
 - uproszczenia procesu łączenia części składowych poprzez ewentualne modyfikacje ich konstrukcji.

9. Kierunki dalszych prac

Zakłada się, że dalsze prace autora ukierunkowane zostaną na:

- zwiększenie efektywności stosowania programu komputerowego dla złożonych przykładów poprzez:
 - możliwość definiowania struktury podzespołów montażowych w jednym pliku ujmującym cały wyrób,
 - zaimplementowanie w algorytmie programu dodatkowego modułu obliczeniowego opartego na sztucznej inteligencji (algorytm genetyczny lub ewolucyjny),
- opracowanie bazy wiedzy zawierającej wskazówki dotyczące poprawnych rozwiązań konstrukcyjnych dwóch łączonych części składowych wyrobu i sprzężenie jej z modułem wnioskującym, zadaniem którego będzie zestawienie informacji (porad) dotyczących poprawy konstrukcji poszczególnych części składowych celem zwiększenia efektywności procesu ich łączenia,
- zastosowanie programu komputerowego na skomplikowanych wyrobach, w których nie ma możliwości wydzielenia podzespołów montażowych,
- zintegrowanie opracowanej metody z systemem CAD, celem automatycznego generowania relacji styku i możliwych połączeń między elementami projektowanej konstrukcji.

**Rozprawa doktorska zrealizowana została w ramach
grantu promotorskiego N N502 358935**

Spis rysunków

RYS. 1. 1. STRUKTURA PRACY	4
RYS.2. 1. MONTAŻ JAKO SKŁADNIK PROCESU PRODUKCYJNEGO [45]	16
RYS.2. 2. UWZGLĘDNIENIE WYMOGÓW MONTAŻU W ROZWOJU PRODUKTU	28
RYS. 4. 1. KONCEPCJA OPRACOWANEJ METODY NA TLE PROJEKTOWANIA WYROBU	32
RYS. 4. 2. PODZESPÓŁ_1	34
RYS. 4. 3. PODZESPÓŁ_2	34
RYS. 4. 4. MODUŁY METODY	36
RYS. 4. 5. SKŁADOWA A WSKAŹNIKA F_p	40
RYS. 4. 6. SKŁADOWA B WSKAŹNIKA F_p	40
RYS. 4. 7. SKŁADOWA C WSKAŹNIKA F_p	41
RYS. 4. 8. SKŁADOWA D WSKAŹNIKA F_p	42
RYS. 4. 9. SKŁADOWA E WSKAŹNIKA F_p	43
RYS. 4. 10. SKŁADOWA F WSKAŹNIKA F_p	43
RYS. 4. 11. SKŁADOWA G WSKAŹNIKA F_p	44
RYS. 4. 12. SKŁADOWA H WSKAŹNIKA F_p	44
RYS. 4. 13. KONSTRUKCJA ŁĄCZNIKA ORAZ JEGO SPECYFIKACJA	46
RYS. 4. 14. ALGORYTM GENEROWANIA DOPUSZCZALNYCH SEKWENCJI MONTAŻU	51
RYS. 4. 15. DZIAŁANIE ALGORYTMU NA PRZYKŁADZIE PODZESPOŁU_1	52
RYS. 4. 16. DZIAŁANIE ALGORYTMU NA PRZYKŁADZIE PODZESPOŁU_2	53
RYS. 5. 1. ALGORYTM WYKONAWCZY PROGRAMU [OPRACOWANIE WŁASNE]	56
RYS. 5. 2. MENU GŁÓWNE PROGRAMU EASYASSEMBLE	61
RYS. 5. 3. ZAKŁADKI PROGRAMU EASYASSEMBLE	61
RYS. 5. 4. OKNA DIALOGOWE PROGRAMU EASYASSEMBLE	62
RYS. 5. 5. WYZNACZANIE I OCENA SEKWENCJI MONTAŻU: PROGRAM – UŻYTKOWNIK	63
RYS. 5. 6. PRZYKŁADOWY PLIK *.ASP PROGRAMU	64
RYS. 6. 1. PODZESPÓŁ KOŁA ZĘBATEGO	66
RYS. 6. 2. MACIERZ STRUKTURY KONSTRUKCYJNEJ PODZESPOŁU DLA SCENARIUSZA 1	69
RYS. 6. 3. ZAKŁADKA START SEQUENCIES-SCEN. 1	70

RYS. 6. 4. ZAKŁADKA BLOCKING SEQUENCIES- SCEN.1.....	70
RYS. 6. 5. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE - SCENARIUSZ 1	70
RYS. 6. 6. OKNO DIALOGOWE <i>STRUCTURE MATRIX</i> - SCENARIUSZ 2.....	72
RYS. 6. 7. OKNO DIALOGOWE <i>START SEQUENCIES</i> - SCENARIUSZ 2	72
RYS. 6. 8. OKNO DIALOGOWE <i>BLOCKING SEQUENCIES</i> - SCENARIUSZ 2	72
RYS. 6. 9. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE - SCENARIUSZ 2	73
RYS. 6. 10. ZAKŁADKA <i>STRUCTURE MATRIX</i> - WARIANT 1 SCENARIUSZA 3.....	74
RYS. 6. 11. ZAKŁADKA <i>START SEQUENCIES</i> - WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3.....	74
RYS. 6. 12. ZAKŁADKA <i>BLOCKING SEQUENCIES</i> - WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3.....	75
RYS. 6. 13. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE - WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3	75
RYS. 6. 14. OKNO DIALOGOWE <i>STRUCTURE MATRIX</i> - WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3	76
RYS. 6. 15. OKNO DIALOGOWE <i>START SEQUENCIES</i> - WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3.....	76
RYS. 6. 16. OKNO DIALOGOWE <i>BLOCKING SEQUENCIES</i> - WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3	76
RYS. 6. 17. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3	77
RYS. 6. 18. OKNA DIALOGOWE – WARIANT 2 - SCENARIUSZ 3	78
RYS. 6. 19. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE – PODZESPÓŁ 1 WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3.....	78
RYS. 6. 20. OKNA DIALOGOWE DLA PODZESPOŁU 2 - WARIANT 2 - SCENARIUSZ 3	79
RYS. 6. 21. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE - PODZESPOŁU 2 WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3	79
RYS. 6. 22. OKNA DIALOGOWE –WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3	80
RYS. 6. 23. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE - WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3	80
RYS. 6. 24 BUDOWA PALNIKA GAZOWEGO.....	81
RYS. 6. 25. RELACJE CZĘŚCI SKŁADOWYCH PALNIKA GAZOWEGO	81
RYS. 6. 26. MACIERZ ZALEŻNOŚCI CZĘŚCI SKŁADOWYCH PALNIKA GAZOWEGO	82
RYS. 6. 27. OKNA DIALOGOWE PROGRAMU – PALNIK GAZOWY.....	83
RYS. 6. 28. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 1 DLA PALNIKA GAZOWEGO	84
RYS. 6. 29. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 2 DLA PALNIKA GAZOWEGO	85
RYS. 6. 30. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 3 DLA PALNIKA GAZOWEGO	86
RYS. 6. 31. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 4 DLA PALNIKA GAZOWEGO	87
RYS. 6. 32. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE (5) DLA PALNIKA GAZOWEGO.....	87
RYS. 6. 33. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 6 DLA PALNIKA GAZOWEGO	88

RYS. 6. 34. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 7 DLA PALNIKA GAZOWEGO	89
RYS. 6. 35. PROPOZYCJA ZMIANY KONSTRUKCJI CZĘŚCI NR 4 I 7.....	90
RYS. 6. 36. PROPOZYCJA ZMIANY KONSTRUKCJI CZĘŚCI NR 8	91
RYS. 6. 37. PROPOZYCJA ZMIANY KONSTRUKCJI KOŃCÓWKI ŁĄCZNIKA	91
RYS. 6. 38. PROPOZYCJA ZMIANY KONSTRUKCJI CZĘŚCI NR 10	92
RYS. 6. 39. PRZEPROJEKTOWANA KONSTRUKCJA PALNIKA GAZOWEGO.....	92
RYS. 6. 40. OKNA DIALOGOWE PROGRAMU DLA PRZEPROJEKTOWANEGO PALNIKA GAZOWEGO	94
RYS. 6. 41. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE DLA PRZEPROJEKTOWANEGO PALNIKA GAZOWEGO.....	95
RYS. 6. 42. SIŁOWNIK PNEUMATYCZNY OBROTOWO-WAHLIWY	96
RYS. 6. 43. RELACJE CZĘŚCI SKŁADOWYCH SIŁOWNIKA Z UWZGLĘDNIENIEM PODZESPOŁÓW.....	97
RYS. 6. 44. MACIERZ ZALEŻNOŚCI SIŁOWNIKA PNEUMATYCZNEGO	98
RYS. 6. 45. POKRYWA PRZEDNIA SIŁOWNIKA I JEJ SPECYFIKACJA.....	99
RYS. 6. 46. OKNA DIALOGOWE PROGRAMU Z ROZWIĄZANIEM DLA POKRYWY PRZEDNIEJ.....	100
RYS. 6. 47. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 2 DLA POKRYWY PRZEDNIEJ SIŁOWNIKA	101
RYS. 6. 48. POKRYWA TYLNA I JEJ SPECYFIKACJA.....	102
RYS. 6. 49. WYNIKOWE OKNA DIALOGOWE POKRYWY TYLNEJ SIŁOWNIKA	102
RYS. 6. 50. ZESPÓŁ TŁOCZYSKA I JEJ SPECYFIKACJA	103
RYS. 6. 51. WYNIKOWE OKNA DIALOGOWE ZESPOŁU TŁOCZYSKA SIŁOWNIKA	105
RYS. 6. 52. MECHANIZM ŚRUBOWY I JEJ SPECYFIKACJA	106
RYS. 6. 53. WYNIKOWE OKNA DIALOGOWE MECHANIZMU ŚRUBOWEGO SIŁOWNIKA	107
RYS. 6. 54. TRZPIEŃ PRZESUWNY I JEJ SPECYFIKACJA.....	108
RYS. 6. 55. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 1 SIŁOWNIKA OBROTOWO-WAHLIWEGO	111
RYS. 6. 56. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 2 SIŁOWNIKA OBROTOWO-WAHLIWEGO	112
RYS. 6. 57. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE 3 SIŁOWNIKA OBROTOWO-WAHLIWEGO	112
RYS. 6. 58. POKRYWA PRZEDNIA SIŁOWNIKA PO ZMIANACH.....	113
RYS. 6. 59. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE PRZEPROJEKTOWANEJ POKRYWY PRZEDNIEJ	114
RYS. 6. 60. ZMIANA KONSTRUKCJI CZĘŚCI 2, 3 I 6 ZESPOŁU TŁOCZYSKA.....	115
RYS. 6. 61. ZESPÓŁ TŁOCZYSKA PO ZMIANACH KONSTRUKCYJNYCH	115
RYS. 6. 62. WYNIKOWE OKNO DIALOGOWE PRZEPROJEKTOWANEGO ZESPOŁU TŁOCZYSKA	116

Spis tabel

TABELA 2. 1. ZESTAWIENIE MODELI PROCESU PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNEGO	11
TABELA 2. 2. KLASYFIKACJA WYBRANYCH METOD WARIANTOWANIA SEKWENCJI MONTAŻU	19
TABELA 4. 1. ZESTAWIENIE MOŻLIWOŚCI MONTAŻU PODZESPOŁÓW Z RYSUNKU 4.2 I 4.3	35
TABELA 4. 2. FORMY MACIERZOWEGO ZAPISU RELACJI POMIĘDZY CZĘŚCIAMI.....	37
TABELA 4. 3. GRAF SKIEROWANY I MACIERZ ZALEŻNOŚCI ANALIZOWANYCH PODZESPOŁÓW	38
TABELA 4. 4. ZREDUKOWANY MACIERZOWY ZAPIS POŁĄCZEŃ W ANALIZOWANYCH PODZESPOŁACH	38
TABELA 4. 5. WARTOŚCI WSKAŹNIKA H_p [OPRACOWANO NA PODSTAWIE 9].....	45
TABELA 4. 6. OCENA POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH ŁĄCZNIKA Z RYSUNKU 4.13	47
TABELA 4. 7. OCENA WYBRANYCH DWÓCH SEKWENCJI ŁĄCZNIKA.....	47
TABELA 4. 8. ZESTAWIENIE ZDEFINIOWANYCH OGRANICZEŃ DLA PODZESPOŁÓW Z RYSUNKU 4.2 I 4.3.....	49
TABELA 5. 1. ZESTAWIENIE REGUŁ DOTYCZĄCYCH BUDOWANIA SEKWENCJI	57
TABELA 5. 2. KODY DZIAŁANIA ALGORYTMU DLA PODZESPOŁÓW Z RYSUNKU 4.2 I 4.3	59
TABELA 6. 1. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ DLA PODZESPOŁU KOŁA ZĘBATEGO	67
TABELA 6. 2. ZESTAWIENIE INFORMACJI DO ROZWIĄZANIA SCENARIUSZA 1	68
TABELA 6. 3. OCENA POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH DLA SCENARIUSZA 1.....	69
TABELA 6. 4. ZESTAWIENIE INFORMACJI DO ROZWIĄZANIA SCENARIUSZA 2.....	71
TABELA 6. 5. ZESTAWIENIE INFORMACJI DO ROZWIĄZANIA WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3	74
TABELA 6. 6. ZESTAWIENIE INFORMACJI DO ROZWIĄZANIA WARIANTU 1 SCENARIUSZA 3	76
TABELA 6. 7. ZESTAWIENIE INFORMACJI DO ROZWIĄZANIA 1 WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3.....	77
TABELA 6. 8. ZESTAWIENIE INFORMACJI DLA ROZWIĄZANIA 2 WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3	78
TABELA 6. 9. ZESTAWIENIE INFORMACJI DO ROZWIĄZANIA CAŁOŚCIOWEGO WARIANTU 2 SCENARIUSZA 3....	79
TABELA 6. 10. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH I OGRANICZEŃ DLA PALNIKA GAZOWEGO	82
TABELA 6. 11. OCENA POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH W PALNIKU GAZOWYM.....	83
TABELA 6. 12. POŁĄCZENIA I OGRANICZENIA DLA PRZEPROJEKTOWANEGO PALNIKA GAZOWEGO	93
TABELA 6. 13. OCENA POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH W PRZEPROJEKTOWANYM PALNIKU GAZOWYM	93
TABELA 6. 14. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ I OGRANICZEŃ DLA POKRYWY PRZEDNIEJ SIŁOWNIKA	100
TABELA 6. 15. OCENA POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH POKRYWY PRZEDNIEJ SIŁOWNIKA.....	100
TABELA 6. 16. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ I OGRANICZEŃ POKRYWY TYLNEJ SIŁOWNIKA.....	103

TABELA 6. 17. OCENA POŁĄCZEŃ POKRYWY TYLNEJ SIŁOWNIKA	103
TABELA 6. 18. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ I OGRANICZEŃ ZESPOŁU TŁOCZYSKA SIŁOWNIKA.....	104
TABELA 6. 19. OCENA POŁĄCZEŃ ZESPOŁU TŁOCZYSKA SIŁOWNIKA	104
TABELA 6. 20. OCENA POŁĄCZEŃ ZESPOŁU TŁOCZYSKA SIŁOWNIKA C.D.....	105
TABELA 6. 21. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ I OGRANICZEŃ MECHANIZMU ŚRUBOWEGO SIŁOWNIKA	106
TABELA 6. 22. OCENA POŁĄCZEŃ MECHANIZMU ŚRUBOWEGO SIŁOWNIKA	107
TABELA 6. 23. ZESTAWIENIE RELACJI I OGRANICZEŃ DLA SIŁOWNIKA OBROTOWO-WAHLIWEGO	109
TABELA 6. 24. OCENA POŁĄCZEŃ W SIŁOWNIKU OBROTOWO-WAHLIWYM	110
TABELA 6. 25. OCENA POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH ZMODYFIKOWANEJ POKRYWY PRZEDNIEJ SIŁOWNIKA	114
TABELA 6. 26. ZESTAWIENIE POŁĄCZEŃ I OGRANICZEŃ PRZEPROJEKTOWANEGO ZESPOŁU TŁOCZYSKA.....	116
TABELA 6. 27. OCENA POŁĄCZEŃ PRZEPROJEKTOWANEGO ZESPOŁU TŁOCZYSKA	116
TABELA 7. 1. ZESTAWIENIE WYNIKÓW DLA PODZESPOŁU KOŁA ZĘBATEGO	119
TABELA 7. 2. ZESTAWIENIE WYNIKÓW DLA PALNIKA GAZOWEGO	120
TABELA 7. 3. ZESTAWIENIE WYNIKÓW DLA PRZEPROJEKTOWANEGO PALNIKA GAZOWEGO.....	121
TABELA 7. 4. ZESTAWIENIE WYNIKÓW DLA SIŁOWNIKA OBROTOWO-WAHLIWEGO.....	121

Literatura

1. Archer L. B., *Systematic method for designers*, w: *Developments in design methodology*, (ed. Cross N.), John Wiley, London 1984.
2. Asimow M., *Wprowadzenie do projektowania w technice*, WNT, Warszawa, 1967.
3. B. Prasad, *Concurrent Engineering Fundamentals*, Vol. II: Integrated Product Development, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey 1991.
4. Babirecki W., Kielec R., Szaśiadek M., *Optymalne planowanie sekwencji montażu*, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej - (Konferencje ; 41) - 2003, nr 84, s. 249—256.
5. Baldwin D.F., Abell T.E., Lui M-Ch.M., De Fazio T.L., Whitney D.E., *An Integrated Computer Aid for Generating and Evaluating Assembly Sequences for Mechanical Products*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, No 1, 1991, s. 78-94.
6. Barnes C.J., Dalglish G.F., Jared G.E.M., Swift K.G., Tate S.J., *Assembly Sequence Structures In Design for Assembly*, Assembly and Task Planning ISATP 97, 1997, s.164-169.
7. Bautista J., Lusa A., Suarez R., Mateo M., Pastor R., Corominas A., *Application of genetic algorithms to assembly sequence planning with limited resources*, Assembly and Task Planning, ISATP'99, 1999, s. 411-416.
8. Biliński W., Seraficki J., Nowakowski A., *Analiza wartości*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1972.
9. Booker J.D., Raines M., Swift K.G., *Designing Capable and Reliable Products*, Butterworth-Heinemann, 2001.
10. Booker J.D., Swift K.G., Brown N.J., *Designing for assembly quality: strategies, guidelines and techniques*, Journal of Engineering design, Vol. 16, No. 3, June 2005, s. 279-295.
11. Boothroyd G., Dewhurst P., *Design for Assembly*, Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, RI, 1991.
12. Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W., *Product Design for Manufacture and Assembly*, Marcel Dekker, 1994.

13. Branowski B., *Integracja metod inżynierii współbieżnej i inżynierii jakości w rozwoju wyrobów. Cz.1 Sformułowanie problemu, metodologia*, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Tendencje rozwojowe w procesach produkcyjnych, Sekcja II Projektowanie współbieżne, Zielona Góra 1997, s. 7-12.
14. Branowski B., *Metody twórczego rozwiązywania problemów inżynierskich*, Wydawnictwo Wielkopolska Korporacja Techniczna NOT, Poznań 1999.
15. Branowski B., *Wprowadzenie do projektowania*, PWN, Warszawa 1998.
16. Brown D. C., Chandrasekaran B., *Design problem solving: knowledge structures and control strategies*, Los Altos, CA: Morgan Kaufman 1989.
17. Byungwoo Lee, Kazuhiro Saitou, *Assembly synthesis Dor optima In-progress dimensional adjustability based on a joint library*, International Conference on engineering Design, ICED 03 Stockholm, August 19-21, 2003.
18. Chlebus E., *Inżynieria współbieżna jako integrator procesu produkcji*, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Tendencje rozwojowe w procesach produkcyjnych, Sekcja II Projektowanie współbieżne, Zielona Góra 1997, s. 19-24.
19. Cichocki P., Pokojński J., *Metodyka przechowywania wiedzy projektowej w budowie maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
20. Ciszak O., Żurek J., *An attempt to select an assembly process variant considering the Pareto principles*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 2004, Vol. 24, nr 2, s. 159-165.
21. Clark K.B., Fujimoto T., *Product Development Performance*, Harvard, Boston 1991.
22. Cross N., *Engineering Design Methods*, Second ed., John Wiley & Sons, New York 1994.
23. Crum L.W., *Analiza wartości*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1973.
24. Daabub A.M., Abdalla H.S., *A Computer-based Intelligent System for design for Assembly*, Computers&Industrial Engineering, Vol. 37, No. 1-2, 1999, s. 111-115.
25. De Fazio T.L., Whitney D.E., *Correction of "Simplified generation of all mechanical assembly sequences"*, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 4, 1988, s. 705-708.

26. De Fazio T.L., Whitney D.E., *Simplified generation of all mechanical assembly sequences*, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, no. 6, 1987, s. 640-658.
27. Dietrich J., *Projektowanie i konstruowanie*, Warszawa, WNT, 1978.
28. Dietrich M. red., praca zbiorowa, *Podstawy Konstrukcji Maszyn*, WNT, Warszawa 1995.
29. Dziama A., *Metodyka konstruowania maszyn*, PWN, Warszawa 1985.
30. Fagnoli Mario, Pighini Umberto, Elisa di Litta, *Design for Assembly and design for disassembly: two ways for the development of sustainable products*, International Conference on Engineering Design - ICED 03, Stockholm 2003, s. 1773-1781.
31. Feld M., *Technologia budowy maszyn*, PWN, Warszawa 2000.
32. Gao J.X., Bowland N.W., *A product data management integrated product configuration and assembly process planning environment*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part B – Engineering Manufacture, Vol. 216, No. 3, 2002, s. 407-418.
33. Gasparski W., *Projektoznawstwo*, WNT, Warszawa 1988.
34. Gottipolu R.B., Ghosh K., *A simplified and efficient representation for evaluation and selection of assembly sequences*, Computers in Industry, Vol. 50, 2003, s. 251-264.
35. Gottipolu R.B., Ghosh K., *Representation and selection of assembly sequences in computer-aided assembly process planning*, International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 12, 1997, s. 3447-3465.
36. Gu P., Yan X., *CAD-directed Automatic Assembly Sequences Planning*, International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 11, 1995, s. 3069-3100.
37. Gupta S., Krishnan V., *Product family-based assembly sequence design methodology*, IIE Transactions, Vol. 30 i3, 1998, s. 933-945.
38. Gupta S., Paredis Ch., Sinha R., *Intelligent assembly modeling and simulation*, Assembly Automation, Vol. 21, No. 3, 2001, s.215-235.
39. Homem de Mello L.S., Sanderson A., *Automatic generation of mechanical assembly sequences*, CMU-RI-TR-88-19, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, December 1998.

40. Hong D.S., Cho H.S., *A genetic-algorithm-based approach to the generation of robotic assembly sequences*, Control Engineering Practice, Vol. 7, 1999, s. 151-159.
41. Hsu W., Fuh J., Zhang Y., *Synthesis of design concepts from a design for assembly perspective*, Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol.11, No. 1-2, 1998, s. 1-13.
42. Hubka V., *Design for quality and design methodology*, Journal of Engineering Design, nr 1, 1992.
43. Hybs I. and Gero J. S., *An evolutionary process model of design*, Design Study, nr 3, 1992.
44. Izdebski K., *Modelowanie i symulacja procesów technologicznych montażu*, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2002.
45. Koch T., *Systemy zrobotyzowanego montażu*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
46. Kowalski T., Lis G., Szenajch W., *Technologia i automatyzacja montażu maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
47. Krick E. V., *Wprowadzenie do techniki i projektowania technicznego*, WNT, Warszawa 1975.
48. Kroll E., *Modelling and Reasoning for Computer-Based Assembly Planning, Concurrent Engineering, Automation, Tools, and Techniques*, John Wiley&Sons, INC., 1993.
49. Kusiak A., *Concurrent Engineering. Automation, Tools, and Techniques*, John Wiley&Sons, INC., 1993.
50. Laperriere L., EIMaraghy H.A., *GAPP: A Generative Assembly Process Planner*, Journal of Manufacturing Systems, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 15, No. 4, 1996, s.282-293.
51. Łebkowski P., *Metody komputerowego wspomaganie montażu mechanicznego w elastycznych systemach produkcyjnych*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2000.
52. Łebkowski P., *Planowanie montażu mechanicznego w elastycznych systemach produkcyjnych. Wybrane metody i zagadnieni.*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2002.
53. Łunarski J., *O konieczności rozwoju technik i technologii montażu*, Technologia i Automatyzacja Montażu, 2008, nr 2, s. 3-4.

54. March H., *The logic of design*, w: *Developments in design methodology*, (ed. Cross, N.), J. Wiley, London 1984.
55. Marian R.M., Luong L.H.S., Abhary K., *Assembly sequence planning and optimisation using genetic algorithms, Part I. Automatic generation of feasible assembly sequences*, *Applied Soft Computing*, Vol. 2, No. 3, 2003, s. 223-253.
56. Matchett E. i Brigg A. H., *Practical design based on method*, w: *The design method* (ed. Gregory S. A.), Butterworth, London 1966.
57. Niu X., Ding H., Xiong Y., *A hierarchical approach to generating precedence graphs for assembly planning*, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, 2003, s. 1473-1486.
58. Nowikow M. P., *Podstawy technologii montażu maszyn i mechanizmów*, WNT, Warszawa 1972.
59. Pahl G., Beitz W., *Nauka konstruowania*, WNT, Warszawa 1984.
60. Pokojski J., *Systemy doradcze w projektowaniu maszyn*, WNT, Warszawa 2005.
61. Puff T., Sołtys W., *Podstawy technologii montażu maszyn i urządzeń*, WNT, Warszawa 1980.
62. Pugh S., *Total design. Integrated methods for successful product engineering*, Addison-Wesley, 1990.
63. Qiang S., *Computer Aided geometric feasible assembly sequence planning and optimizing*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 33, No. 1-2, s. 48-57.
64. Rampersad H., *Integrated and Simultaneous Design for Robotic Assembly*, John Willey & Sons, Chichester 1994.
65. Rampersad H.K., *Integrated and assembly oriented product design*, *Integrated Manufacturing Systems*, Vol.7, No. 6, 1996.s. 5-15.
66. Richter E., Schilling W., Weis M., *Montaż w budowie maszyn*, WNT, Warszawa 1980.
67. Rohatyński R. i zespół, *Projektowanie współbieżne w budowie maszyn. Część I i II*, Projekt badawczy nr 7 T07C 0029.

68. Rohatyński R., *A new approach to modeling of the design processes*, 14th International Conference on Engineering Design - ICED 03, Stockholm 2003, s. 1904-1912.
69. Rohatyński R., *Concurrent Engineering and Features: New Challenge for Engineering Design*, Proceedings of TMCE'96, Budapest 1996.
70. Rohatyński R., Kielec R., Sasiadek M., *A computer assisted assembly sequence planning in mechanical design*, Methods of Artificial Intelligence-AI-METH 2003, Silesian University of Technology, 2003, s. 255—258.
71. Rohatyński R., Kielec R., Sasiadek M., *Implementation of the dependency matrix in the assembly process planning*, Computer integrated manufacturing: advanced design and management, red. B. Skołod , D. Krenczyk - Warszawa: Wydaw. Naukowo-Techniczne, 2003, s. 460—467.
72. Rohatyński R., *Projektowanie i konstruowanie w inżynierii współbieżnej*, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Tendencje rozwojowe w procesach produkcyjnych, Sekcja II Projektowanie współbieżne, Zielona Góra 1997, s. 107-114.
73. Rohatyński R., *Przegląd modeli procesu projektowania*, XXI Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn. Ustroń, Polska, Warszawa, WNT, 2003. T. 1, s. 23-44.
74. Rohatyński R., Sasiadek M., *Komputerowo wspomagane wyznaczanie sekwencji montażu*, Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo: XV Konferencja: zbiór referatów. Kazimierz Dolny, Polska, 2005 - Warszawa: Politechnika Warszawska, 2005, s. 317—324.
75. Rohatyński R., Sasiadek M., *Nowa metoda wariantowania sekwencji montażu dla projektowania współbieżnego*, Komputerowo zintegrowane zarządzanie. T. 2, red. R. Knosala .- Warszawa: Wydaw. Naukowo-Techniczne, 2005, s. 320—327.
76. Rohatyński R., Sasiadek M., *Planning and selection of optimal assembly sequence*, Design methods for practice, ed. R. Rohatyński, P. Poślednik - Zielona Góra: Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2006, s. 221—226.
77. Rohatyński R., Sasiadek M., *Wariantowanie sekwencji montażu wspomagane komputerowo*, Komputerowo zintegrowane zarządzanie. T. 2: zbiór prac, red. R. Knosala - Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2006, s. 435—443.

78. Rohatyński R., Szaśiadek M., *Wariantowanie sekwencji montażu wspomagane komputerowo*, Technologia i Automatyzacja Montażu .- 2006, nr 1, s. 4-9.
79. Rohatyński R., *Struktura procesu projektowania technicznego*, Materiały VI. Szkoły Metodologii Projektowania Maszyn, Wyd. Centrum Postępu Technicznego SIMP-NOT, Rydzyna 1986.
80. Romeo M. Marian, Lee H.S. Luong, Kazem Abhary, *Assembly sequence planning and optimisation using genetic algorithm. Part I. Automatic generation of feasible assembly sequences*, Applied Soft Computing 2/3F, 2003, s.223-253.
81. Sanderson C.A., Homem de Mello L.S., Zhang H., *Assembly Sequence Planning*, AI Magazine, 1990, s. 62-81.
82. Szaśiadek M, *Optimal mechanical assembly sequence planning*, Modelování a optimalizace podnikových procesů - MOPP 2008, 11. ročník mezinárodního semináře. Plzeň, Czechy, 2008, Plzeň, 2008, s. 153-158.
83. Szaśiadek M, *Planowanie i wybór sekwencji montażu w projektowaniu współbieżnym*, Technologia i Automatyzacja Montażu, 2008, nr 2, s. 19-23.
84. Szaśiadek M, Rohatyński R., *A method of computer aided design for assembly*, Design methods for industrial practice, Zielona Góra : Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2008, s. 119-126.
85. Szaśiadek M, Rohatyński R., *Metoda planowania sekwencji montażu do współbieżnego projektowania zespołów maszyn*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 2008, Vol. 28, nr 2, s. 149-158.
86. Szaśiadek M., *Planowanie i wybór sekwencji montażu we współbieżnym projektowaniu elementów i zespołów maszyn*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego - (Mechanika ; 22) - 2006, nr 132, s. 61—64.
87. Senin N., Groppetti R., Wallace D.R., *Concurrent assembly planning with genetic algorithm*, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 16, No. 1, 2000, s. 65-72.
88. Sielicki A., Jeleniewski T., *Elementy metodologii projektowania technicznego*, WNT, Warszawa 1980.
89. Sinanoglu C., Borklu H.R., *An assembly sequence-planning system for mechanical parts Using neural network*, Assembly automation, Vol.25, No.1, 2005, s. 38-52.

90. Skarbiński M., Skarbiński J., *Technologiczność koonstrukcji maszyn*, WNT, Warszawa 1987.
91. Świć A., Taranienko W., *Projektowanie technologiczne elastycznych systemów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003.
92. Tarnowski W., *Metody koncyrowania. Heurystyczne metody poszukiwania rozwiązań projektowych.*, Skrypty uczelniane nr 1277, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986.
93. Vielhaber M., Burr H., Deubel T., Weber C., Haasis S., *Assembly-Oriented Design in Automotive Engineering*, International Design Conference - Design 2004, Dubrovnik, 2004, s. 539-546.
94. Whitney D.E., *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, Oxford University Press, 2004.
95. Wolniak R., Skotnicka B., *Metody i narzędzia zarządzania jakością. Teoria i praktyka.*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
96. Zhao J., Masood S., *An Intelligent Computer-Aided Assembly Process Planning System*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, 1999, s. 332-337.
97. Żurek J., Ciszak O., *Computer assisted selection of assembly sequence of machine parts and assemblies*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 2005, Vol. 25, nr 2, s. 183—190.
98. Żurek J., Ciszak O., *Modelowanie oraz symulacja kolejności montażu części i zespołów maszyn za pomocą teorii grafów*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
99. Żurek J., Knast P., *Modelowanie procesów technologicznych montażu za pomocą sieci Petriego*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
100. Żurek J., Ciszak O., Cieślak R., Suszyński M., *Metody badania czasu pracy w procesach montażu*, IV Międzynarodowa Konferencja: Modułowe Technologie i Konstrukcje w budowie maszyn , Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 3, 2006, s. 43-46.

Załącznik nr 1 - Instrukcja obsługi programu EASYASSEMBLE

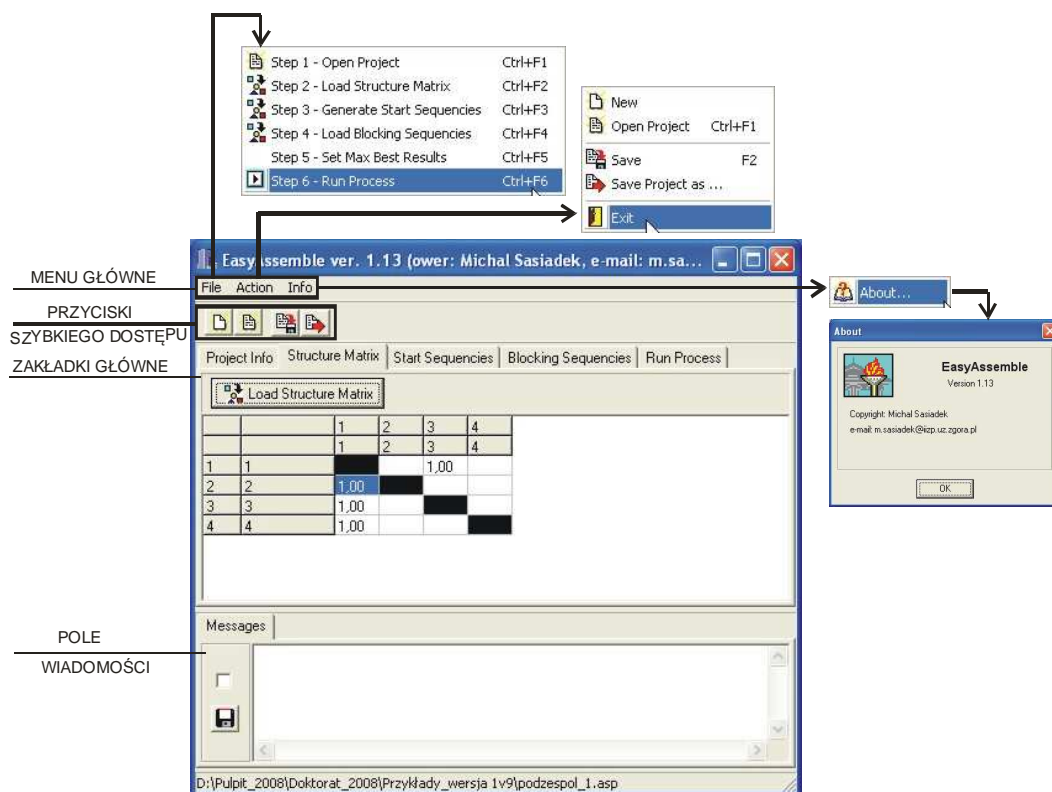
Instrukcję obsługi programu EASYASSEMBLE podzielono na dwie części. W pierwszej opisano krok po kroku, kolejne etapy definiowania nowego projektu. Na prostym przykładzie przeprowadzono instruktażowo generowanie zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu z objaśnieniami wykonawczymi poszczególnych czynności. W drugiej części opisano pracę z wcześniej zdefiniowanym projektem i możliwości wprowadzania zmian.

1. Struktura programu

Program złożony jest z:

- menu głównego rozwijalnego pogrupowanego w trzy grupy (*File, Action, Info*),
- czterech przycisków „szybkiego dostępu”,
- pięciu zakładek głównych (*Project Info, Structure Matrix, Start Sequencies, Blocking Sequencies, Run Process*),
- pola wiadomości (*Messages*).

Menu główne wraz z rozwijalnymi poleceniami przedstawiono na rysunku 1z.1.

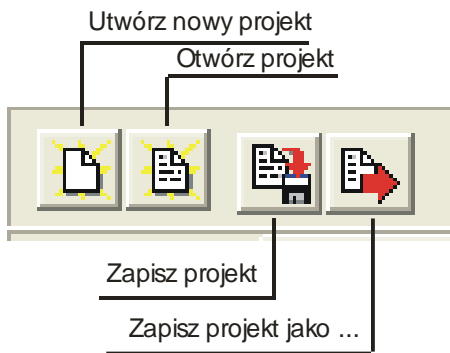


Rys. 1z. 1. Struktura programu Easyassemble

Z menu głównego wywoływać można polecenia związane z:

- definiowaniem nowego projektu, otwieraniem istniejącego projektu, zapisywaniem projektu i zakończeniem programu – menu *FILE*,
- poszczególnymi, ważniejszymi krokami generowania sekwencji montażu (wyróżniono 6 kroków) – menu *ACTION*,
- wyświetleniem informacji dotyczących wersji i autora programu – menu *INFO*.

Przyciski „szybkiego dostępu” umożliwiają definiowanie nowego projektu, otwieranie istniejącego projektu oraz dwie standardowe opcje zapisywania: zapisz i zapisz jako.



Rys. 1z. 2. Przyciski „szybkiego dostępu”

Przedstawiono je na rysunku 1z.2, gdzie przypisano im odpowiednie okna dialogowe.

Wyszczególnione w programie zakładki główne odwzorowują kolejne etapy rozwiązywania zagadnienia wariantowania, oceny i wyboru najkorzystniejszej sekwencji montażu. Zakładki te szczegółowo o mówiono w dalszej części instrukcji. W polu wiadomości wyświetlany jest aktualny kod działania algorytmu. Taki kod, dla prezentowanego w instrukcji przykładu przedstawiono w jej dalszej części.

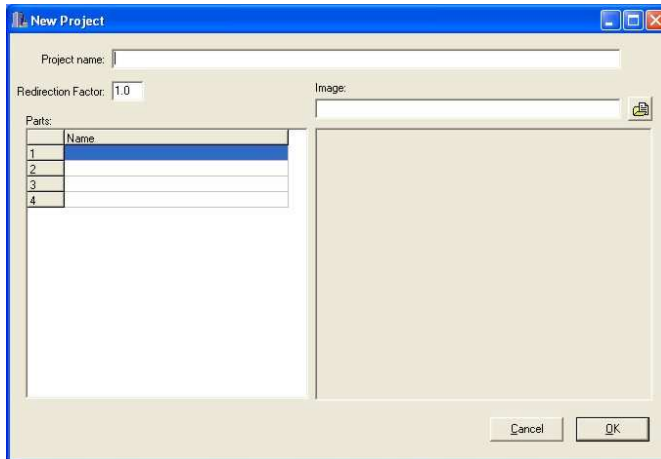
2. Tworzenie nowego projektu

Nowy projekt rozpoczynamy od zdefiniowania jego nazwy oraz wyspecyfikowania wszystkich części składowych analizowanego wyrobu z jednoczesnym przypisaniem im nazw lub skrótów. Zaleca się, aby identyfikator części składowych był możliwie krótki. W późniejszej fazie związane jest to z czytelnością wyników (wygenerowanych sekwencji montażu części składowych).

Istnieją dwie możliwości definiowania nowego projektu:

- menu główne → *FILE* → *New*,
- przycisk „szybkiego dostępu” – *Create New Project*.

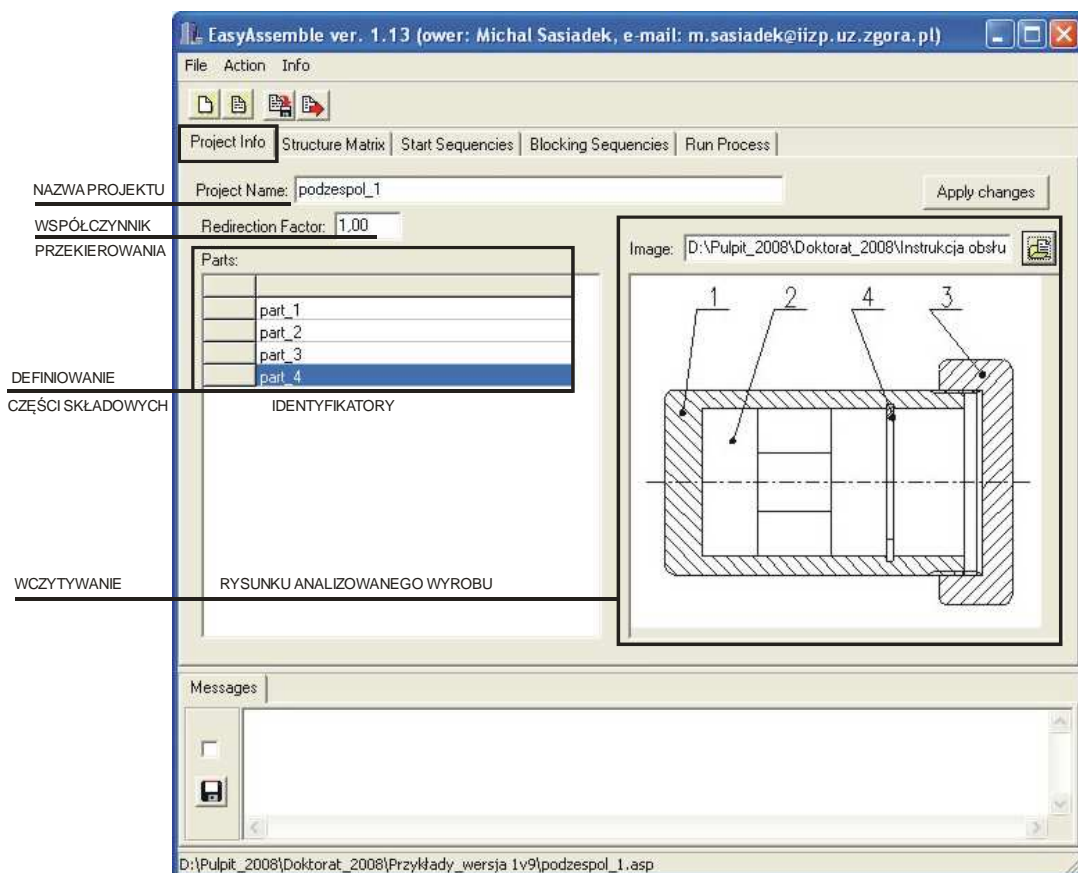
Pojawia się okno dialogowe definiowania nowego projektu - rysunek 1z.3. W polu *Project name* wpisujemy nazwę projektu. W polu *Redirection factor* wpisać należy wartość współczynnika przekierowania dla bieżącej analizy (dla pierwszej analizy zaleca się przyjąć wartość tego współczynnika – 1,0).



Rys. 1z. 3. Okno dialogowe *New Project*

W polu *Parts* definiujemy kolejno części składowe wyrobu przypisując im nazwy - identyfikator. Identyfikator ten wyświetlany będzie między innymi w kodach działania algorytmu oraz w wyświetlanych wynikowych sekwencjach. Pole *Image* służy do wskazania ścieżki dostępu do rysunku analizowanego wyrobu –

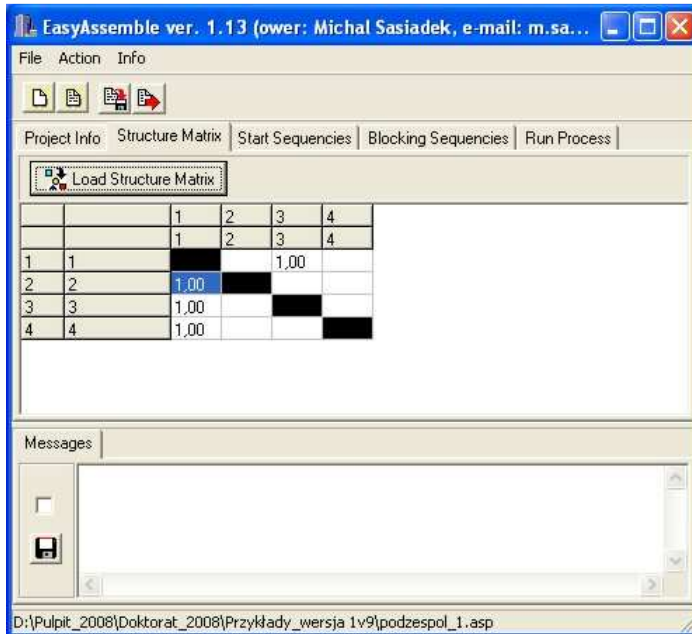
celem zamieszczenia go poniżej tego pola. Po zatwierdzeniu wprowadzonych danych przyciskiem OK. przechodzimy do zakładki głównej *Project Info* programu. Zakładka ta dla rozważanego w instrukcji przykładu przedstawiona jest na rysunku 1z.4.



Rys. 1z. 4. Zakładka główna *Project Info*

Kolejnym krokiem jest zdefiniowanie relacji między częściami składowymi wyrobu i zapisanie ich w formie macierzy zależności. Jednocześnie każdej relacji odwzorowującej możliwość połączenia dwóch części przypisywana jest wartość oceny wg wskaźnika q_d .

Zakładkę *Structure Matrix* przedstawiono na rysunku 1z.5. Przyciskiem *Load Structure Matrix* wczytujemy macierz kwadratową rozmiaru $n \times n$, gdzie n jest liczbą wcześniej zdefiniowanych części składowych wyrobu.

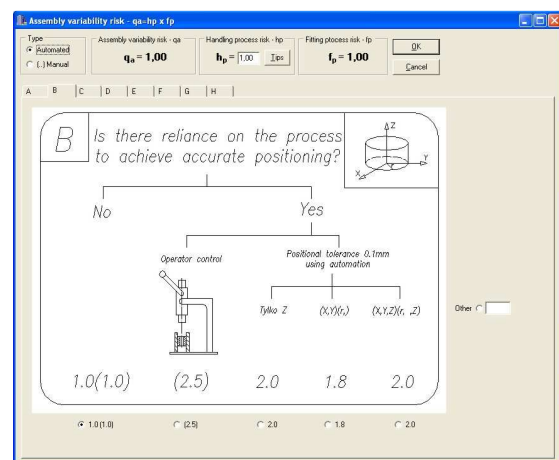
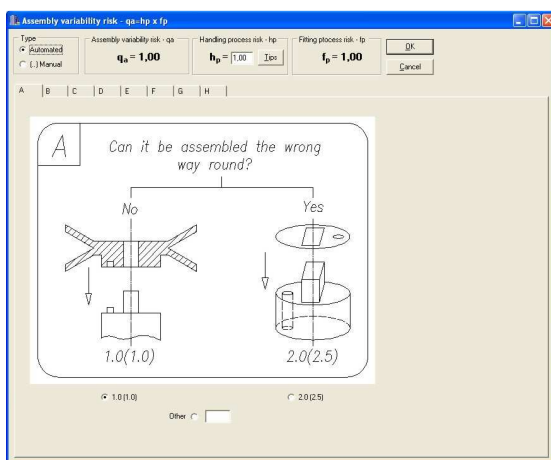


Rys. 1z. 5. Zakładka *Structure Matrix*

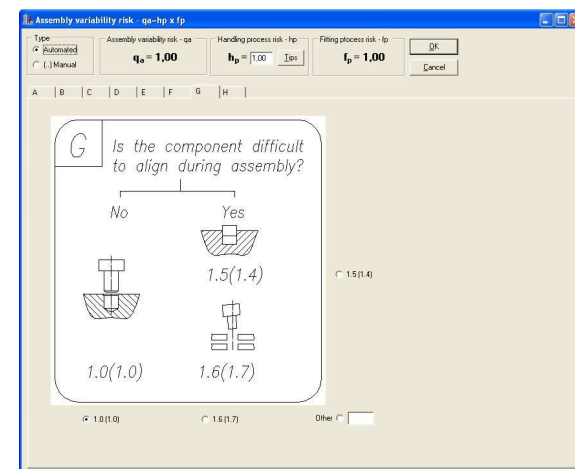
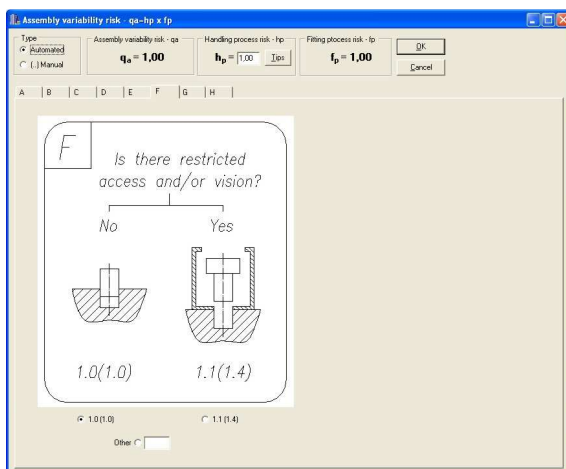
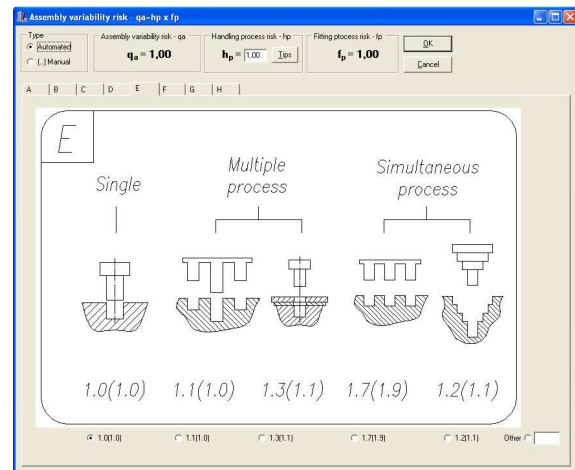
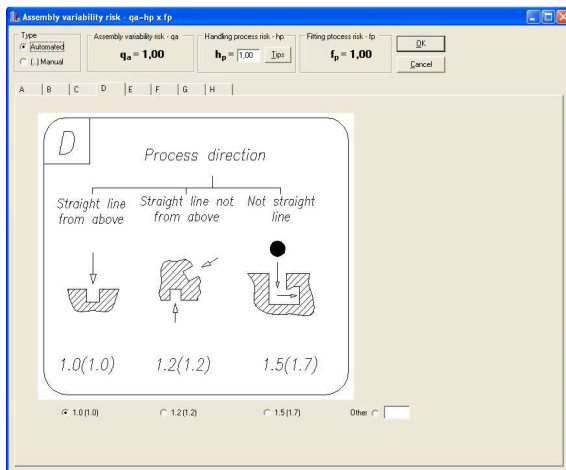
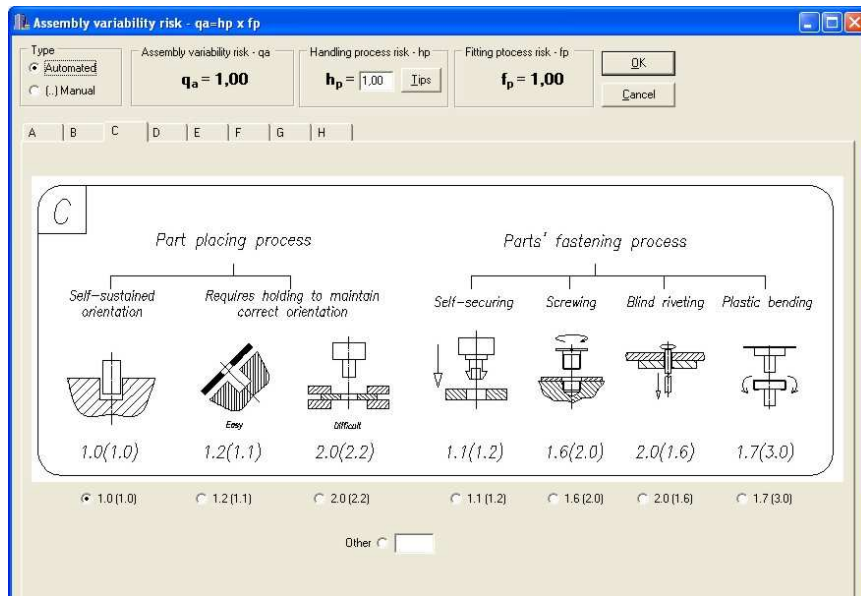
Każdą relację definiujemy poprzez dwukrotne kliknięcie na przecięciu wiersza i kolumny opisujących dwie części składowe. Po kliknięciu bezpośrednio dostajemy się do okna dialogowego *Assembly variability risk - q_a* , w którym wg odpowiednich składowych wskaźnika f_p (od A do H) oraz wskaźnika h_p ustalana jest wartość wskaźnika q_a oceniająca

potencjalne połączenie dwóch części. Poszczególne okna dialogowe odpowiadające składowym wskaźnika f_p i h_p przedstawiono na rysunkach 1z.6 i 1z.7.

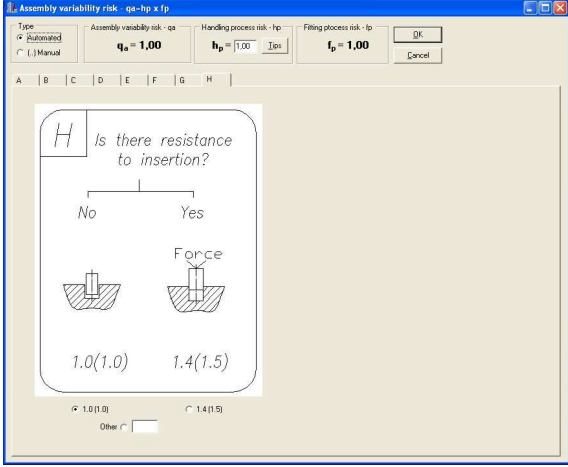
Wartość wskaźnika q_a wyświetlana jest w odpowiednim polu macierzy w zakładce *Structure Matrix*. Widok tej zakładki dla analizowanego przykładu przedstawiono na rysunku 1z.5, gdzie każdej relacji zapisanej w macierzy zależności przypisano wartość wskaźnika $q_a = 1,0$.



Rys. 1z. 6. Okna dialogowe wskaźnika q_a



Rys. 1z. 7. Okna dialogowe wskaźnika q_a c.d.



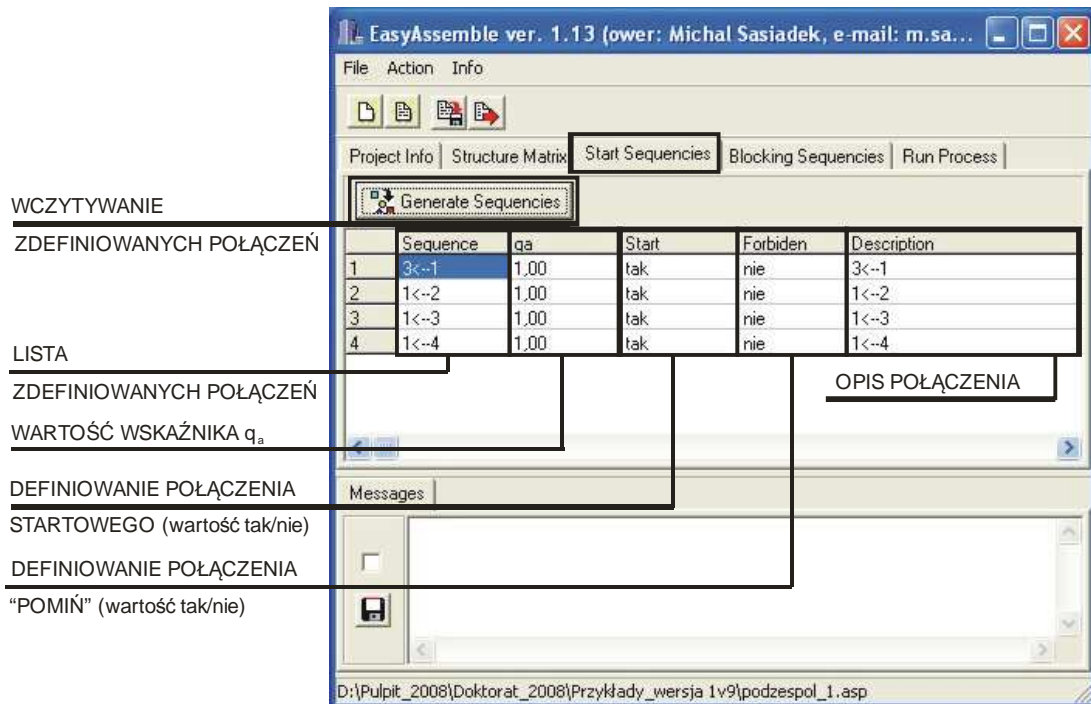
The dialog box 'Assembly variability risk - qa-hp x fp' contains a decision tree for the question 'Is there resistance to insertion?'. The 'No' branch has a risk of 1.0 (1.0), and the 'Yes' branch has a risk of 1.4 (1.5). The 'Yes' branch also includes a diagram of a part being inserted with 'Force' applied.

The 'hp - tips' table provides risk factors for different handling technologies and component sensitivities.

h_b	Component sensitivity	Delicate ⁽¹⁾	Sensitive to temperature change	Sensitive to contamination		Not applicable ⁽³⁾		
				Chemical ⁽²⁾	Mechanical			
Manual handling & gripping	Not thin/small ⁽⁴⁾	1.3	1.2	1.5	1.1	1.0		
	Thin/small	1.7	1.3	2.0	1.2	1.0		
Magazine processes	No gripping		1.2	1.1	1.2	1.1	1.0	
	Gripping	Mechanical clamping	Not thin	1.4	1.1	1.2	1.3	1.0
		Thin	1.9	1.3	1.2	1.4	1.0	
	Vacuum/Magnetic contact		1.2	1.3	1.2	1.3	1.0	
Automated processes	Not gripping		1.5	1.1	1.2	1.5	1.0	
	Parts feeder	Gripping	Not thin	1.9	1.2	1.3	1.7	1.0
		Thin	2.2	1.3	1.3	1.8	1.0	
	Vacuum/Magnetic contact		1.6	1.3	1.3	1.8	1.0	
	Conveyor ⁽⁵⁾	Not gripping		1.2	1.1	1.2	1.2	1.0
Gripping		Mechanical clamping	Not thin	1.5	1.2	1.5	1.7	1.0
		Thin	2.2	1.3	1.5	1.8	1.0	
Vacuum/Magnetic contact		1.3	1.3	1.5	1.8	1.0		

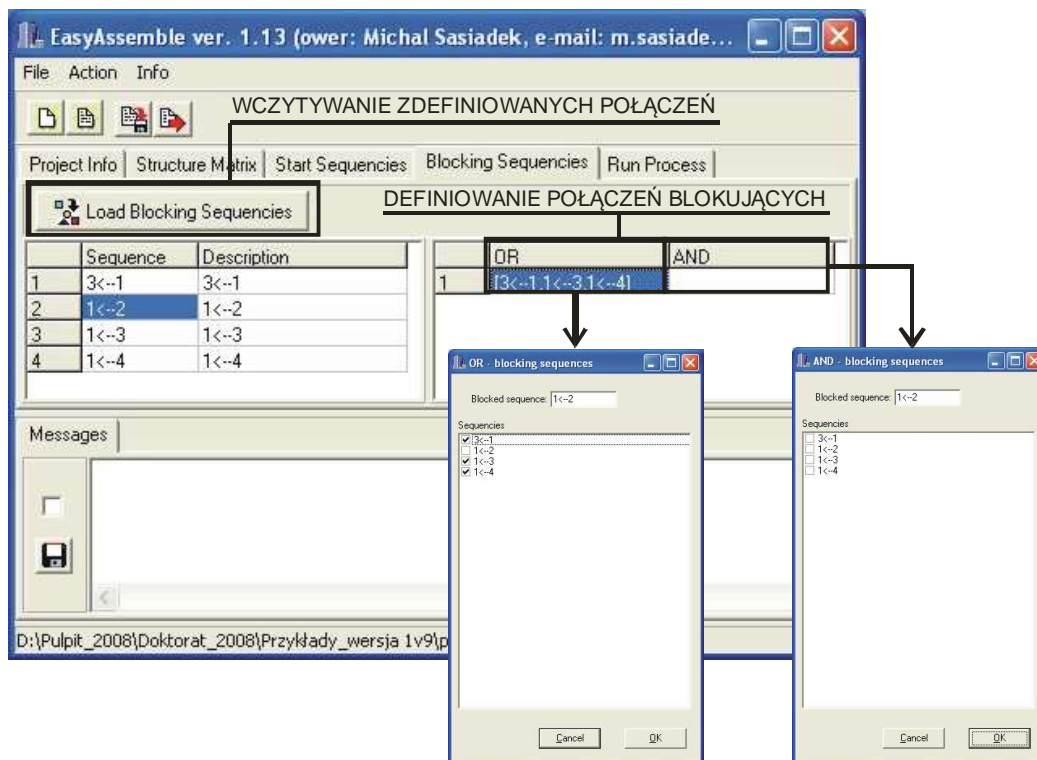
Rys. 1z. 8. Okna dialogowe wskaźnika q_a

Kolejnym krokiem jest przejście do zakładki *Start Sequences*, gdzie istnieje możliwość definiowania połączeń typu „start” (*Start*) i „pomiń” (*Forbidden*). W tym celu, w odpowiednim wierszu (odzworowującym opisane w nim połączenie) klikamy prawym przyciskiem myszy i wybieramy opcje: *tak* lub *nie* w polach *Start* lub *Forbidden*. Jeżeli w polu *Start* wpisujemy opcję *tak* wówczas połączenie to traktowane jest jako startowe. Analogicznie jak opcja *tak* zdefiniowana jest w polu *Forbidden* wówczas połączenie to jest pomijane w generowaniu sekwencji montażu. Zakładka ta dla analizowanego przykładu przedstawiona jest na rysunku 1z.8.



Rys. 1z. 9. Zakładka Start Sequencies

W kolejnym kroku, w zakładce *Blocking Sequencies*, należy zdefiniować ograniczenia, tj. połączenia blokujące. Istnieje możliwość wyboru dwóch typów połączeń blokujących: „OR” lub „AND”. Okno dialogowe przedstawiające omawianą zakładkę zamieszczono na rysunku 1z.9.

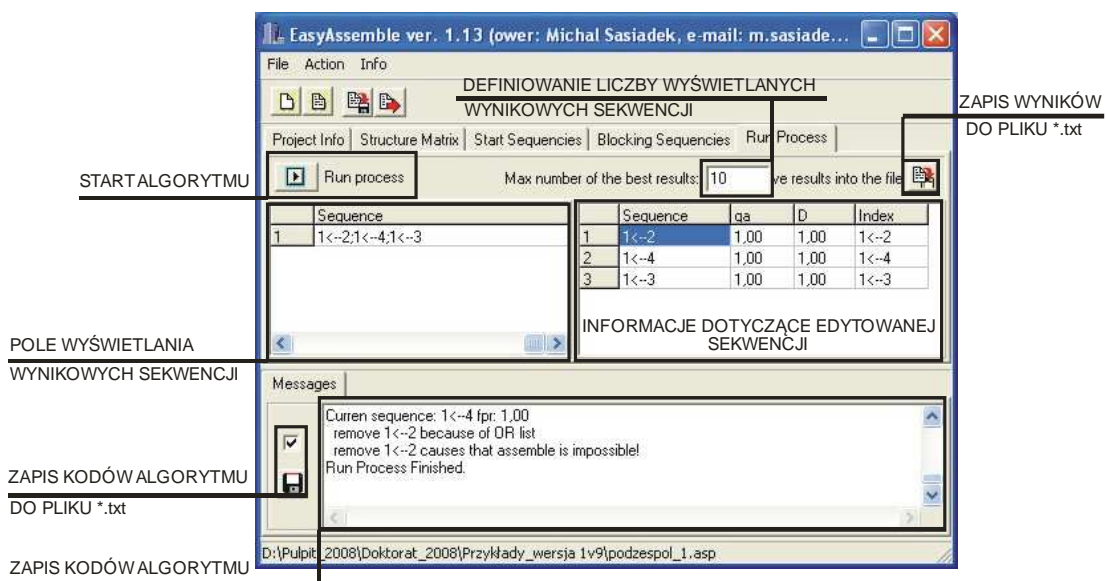


Rys. 1z. 10. Zakładka Blocking Sequencies

Pierwszym krokiem jest za pomocą przycisku *Load Blocking Sequencies* wczytanie wszystkich możliwych połączeń dla analizowanego wyrobu, zdefiniowanych według wcześniejszych kroków. Połączenia blokujące definiujemy po wcześniejszym odznaczeniu wiersza reprezentującego to połączenie, dla którego definiować zamierzamy ograniczenia (tj. połączenia blokujące typu „OR” lub „AND”). Dla odznaczonego wiersza definiujemy połączenia blokujące poprzez podwójne kliknięcie pola po prawej stronie pod odpowiednim typem połączenia. Po dwukrotnym kliknięciu pojawia się okno dialogowe, w którym należy odznaczyć połączenie lub kilka połączeń blokujących. Okna dialogowe do odznaczania połączeń przedstawiono na rysunku 1z.9.

Ostatnim krokiem generowania sekwencji montażu jest wykonanie odpowiedniej konfiguracji dotyczącej wyników w zakładce *Run Process*. Przed uruchomieniem przycisku *Run process*, który inicjalizuje algorytm generowania sekwencji montażu, ustawić można: zapis sekwencji wynikowych do pliku tekstowego, zapis kodu wykonawczego do pliku tekstowego (standardowo kod wykonawczy zapisywany jest automatycznie w polu *Messages*), zdefiniować liczbę wyświetlanych, w polu *Sequence*, najlepszych wyników.

Ponadto w wynikowym oknie dialogowym programu przeglądać można odznaczone sekwencje, pod kątem ich poszczególnych składowych połączeń i wartości wskaźnika q_a oraz współczynnika przekierowania – d . Zakładka *Run Process* przedstawiona jest na rysunku 1z.10, gdzie odpowiednimi numerami oznaczono wymienione powyżej możliwości ustawień.



Rys. 1z. 11 Zakładka *Run Process*

Kod wykonawczy programu, widoczny i dostępny do przeglądu w polu *Messages*, dla przykładowej analizy przedstawiono poniżej:

```

Run Process Starts.

List of all relations:
3<--1
1<--2 OR:[OR_0=[3<--1,1<--3,1<--4]] AND:[]
1<--3
1<--4 OR:[OR_0=[3<--1,1<--3]] AND:[]

Curren sequence: 3<--1 fpr: 1,00
  remove 1<--2 because of OR list
  remove 1<--2 causes that assemble is impossible!
Curren sequence: 1<--2 fpr: 1,00
AllRelationList: 3<--1;1<--3;1<--4
Curren sequence: 1<--2;1<--3 fpr: 2,00
  remove 1<--4 because of OR list
  remove 1<--4 causes that assemble is impossible!
Curr_1 sequence: 1<--2 fpr: 1,00
AllRelationList: 3<--1;1<--3;1<--4

Curren sequence: 1<--2;1<--4 fpr: 2,00
AllRelationList: 3<--1;1<--3
Curren sequence: 1<--2;1<--4;1<--3 fpr: 3,00
Result 1 : 1<--2;1<--4;1<--3 fpr: 3,00
Curr_1 sequence: 1<--2;1<--4 fpr: 2,00
AllRelationList: 3<--1;1<--3

Curr_1 sequence: 1<--2 fpr: 1,00
AllRelationList: 3<--1;1<--3;1<--4

Curren sequence: 1<--3 fpr: 1,00
  remove 1<--2 because of OR list
  remove 1<--2 causes that assemble is impossible!
Curren sequence: 1<--4 fpr: 1,00
  remove 1<--2 because of OR list
  remove 1<--2 causes that assemble is impossible!
Run Process Finished.

```

Projekt, w którym uzyskano wyniki końcowe (zbiór dopuszczalnych sekwencji montażowych), należy zapisać w określonym przez użytkownika miejscu. Każdy zapisany projekt można powtórnie analizować i dokonywać ewentualnych zmian w zakresie definiowania relacji, ograniczeń itp. Pracę ze zdefiniowanym już projektem opisano w kolejnym podrozdziale.

3. Praca z istniejącym projektem

W przypadku konieczności powtórnej analizy, w pierwszej kolejności należy wczytać istniejący projekt. Wykonać to można na dwa sposoby:

- menu główne → *FILE* → *Open Project*,
- przycisk „szybkiego dostępu” – *Open Project*.

Wczytany projekt umożliwia przeprowadzenie kolejnych kroków generowania sekwencji montażu, zgodnie z uprzednio zdefiniowanymi parametrami lub przeprowadzenie nowej analizy, poprzedzonej wprowadzonymi zmianami do projektu. Takimi mogą być:

- zdefiniowanie nowej wartości współczynnika przekierowania,
- zmiany definiowania relacji między częściami składowymi,
- zmiany wartości wskaźnika połączeń montażowych,
- zmiany połączeń typu „start” i „pomiń”,
- zmiany ograniczeń (połączenia blokujące),
- zmiany parametrów dotyczących wyników.

3.1 Zdefiniowanie nowej wartości współczynnika przekierowania.

W przypadku, kiedy jest potrzeba wykonania powtórnej analizy wyznaczania dopuszczalnych sekwencji montażu, ze zmienioną wartością (różną od standardowej = 1,0) współczynnika przekierowania, w pierwszej kolejności należy otworzyć istniejący plik. Następnie w zakładce głównej *Project Info*, zmieniamy wartość współczynnika przekierowania w polu *Redirection factor*. Aby zmiany dotyczyły bieżącej analizy należy dodatkowo potwierdzić je przyciskiem *Apply changes*.

Po tych zmianach przystąpić można bezpośrednio do okno wynikowego znajdującego się w zakładce *Run Process* i wygenerować wyniki.

3.2 Zmiany definiowania relacji w macierzy zależności

W przypadku konieczności zmian definicji relacji między częściami, po wczytaniu istniejącego projektu, przejść należy do zakładki *Structure Matrix*. Aby dodać relację, należy dwukrotnie kliknąć komórkę na przecięciu wiersza i kolumny odwzorowujących części składowe tworzące możliwe połączenie. Jeżeli jest potrzeba usunięcia już istniejącej relacji, wówczas klikamy podwójnie pole z zapisaną relacją i w pojawiającym się oknie dialogowym *Assembly variability risk*, w polu charakteryzującym wskaźnik h_p , wpisujemy wartość 0. Po zatwierdzeniu przyciskiem OK. powracamy do macierzy zależności.

3.3 Zmiany wartości wskaźnika oceniającego zdefiniowane połączenia montażowe

Jeżeli istnieje potrzeba wprowadzenia zmian wskaźnika oceny połączenia wówczas, po otworzeniu już istniejącego pliku, w zakładce *Structure Matrix*, wybieramy poprzez podwójne kliknięcie tę relację (połączenie), której ocenę należy zmienić. Po pojawieniu

się okna dialogowego *Assembly variability risk*, wybieramy odpowiednie składowe i przypisujemy im nową wartość. Po zatwierdzeniu przyciskiem OK. powracamy do macierzy zależności.

3.4 Zmiany dotyczące połączeń „start” i „pomiń”

Zmiany w definiowaniu połączeń typu „start” i „pomiń” wykonywane są w zakładce *Start Sequencies*, po otwarciu istniejącego pliku. Wybieramy odpowiednie pole do zmiany i dokonujemy ją poprzez wywołanie menu prawym przyciskiem myszy i wyborze jednej z dwóch dostępnych opcji (tak/nie). Po odpowiednim wyborze zmiany są zapisywane do bieżącej analizy.

3.5 Zmiany dotyczące ograniczeń

Zmiany definiowania ograniczeń dokonywane są, po wczytaniu projektu, w zakładce *Blocking Sequencies*. Aby dokonać zmiany wybieramy odpowiednie połączenie i uzupełniamy ograniczenia lub je redukujemy poprzez wybór odpowiedniego typu ograniczenia („AND” lub „OR”) i zaznaczeniu lub odznaczeniu odpowiedniego połączenia blokującego.

3.6 Zmiany parametrów dotyczących wyników

Jeżeli istnieje potrzeba dokonania zmian dotyczących generowania wyników – realizowane jest to w zakładce *Run Process*. Zdefiniować można:

- zapis sekwencji wynikowych do pliku tekstowego,
- zapis kodu wykonawczego do pliku tekstowego. Standardowo kod wykonawczy zapisywany jest automatycznie w polu *Messages*,
- zdefiniować liczbę wyświetlanych, w polu *Sequence*, najlepszych wyników.

1<--8;1<--4;1<--3;1<--2;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--10;8<--9;9<--13	54,61
1<--8;1<--4;1<--3;3<--2;1<--10;8<--9;9<--13;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12	54,46
1<--8;1<--4;1<--3;3<--2;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--10;8<--9;9<--13	54,46
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2;4<--6;4<--12	54,61
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2;4<--6;4<--12	54,46
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--10;8<--9;9<--13;4<--6;4<--12;1<--3;1<--2	54,61
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--10;8<--9;9<--13;4<--6;4<--12;1<--3;3<--2	54,46
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--3;1<--2;1<--10;8<--9;9<--13;4<--6;4<--12	54,61
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--3;1<--2;4<--6;4<--12;1<--10;8<--9;9<--13	54,61
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--3;3<--2;1<--10;8<--9;9<--13;4<--6;4<--12	54,46
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;1<--3;3<--2;4<--6;4<--12;1<--10;8<--9;9<--13	54,46
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2	52,56
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2	52,40
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--3;1<--10;8<--9;9<--13;1<--2	54,98
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--3;1<--10;8<--9;9<--13;3<--2	54,66
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--3;1<--2;1<--10;8<--9;9<--13	52,56
1<--8;1<--4;4<--7;4<--11;1<--5;4<--6;4<--12;1<--3;3<--2;1<--10;8<--9;9<--13	52,40

Załącznik nr 4 - Wyniki uzyskane dla palnika gazowego (2)

(100 najkorzystniejszych sekwencji dla połączeń startowych 1 ← 3, 1 ← 4, 1 ← 8)

1<-3;1<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	38,43
1<-3;1<-2;1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12	40,08
1<-3;1<-2;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	38,43
1<-3;1<-2;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	38,02
1<-3;1<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	38,02
1<-3;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;3<-2	40,13
1<-3;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;3<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	40,13
1<-3;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;3<-2	40,13
1<-3;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;3<-2;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	40,13
1<-3;3<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	38,28
1<-3;3<-2;1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12	39,92
1<-3;3<-2;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	38,28
1<-3;3<-2;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	37,87
1<-3;3<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	37,87
1<-4-11;1<-3;1<-2;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	40,10
1<-4-11;1<-3;1<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	40,10
1<-4-11;1<-3;3<-2;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	39,94
1<-4-11;1<-3;3<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-5;4-11<-6;4-11<-12	39,94
1<-4-11;1<-5;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-3;1<-2;4-11<-6;4-11<-12	38,45
1<-4-11;1<-5;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2;4-11<-6;4-11<-12	38,29
1<-4-11;1<-5;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-2	38,45
1<-4-11;1<-5;1<-3;1<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12	38,29
1<-4-11;1<-5;1<-3;1<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12	38,45
1<-4-11;1<-5;1<-3;1<-2;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	38,45
1<-4-11;1<-5;1<-3;1<-2;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	38,04
1<-4-11;1<-5;1<-3;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12;3<-2	40,15
1<-4-11;1<-5;1<-3;3<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12	38,29
1<-4-11;1<-5;1<-3;3<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12	37,88
1<-4-11;1<-5;1<-3;3<-2;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	38,29
1<-4-11;1<-5;1<-3;3<-2;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	37,88
1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;1<-2;4-11<-6;4-11<-12	38,04
1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2;4-11<-6;4-11<-12	37,88
1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;4-11<-6;4-11<-12;3<-2	40,15
1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-2	38,04
1<-4-11;1<-5;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;3<-2	37,88
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2;4-11<-12	40,13
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2;4-11<-12	39,98
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-12;1<-3;1<-2	40,13
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-12;1<-3;3<-2	39,98
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;1<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-12	40,13
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;1<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-12	39,72
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;1<-2;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	40,13
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;1<-2;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	39,72
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;3<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;4-11<-12	39,98
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;3<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-12	39,57
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;3<-2;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	39,98
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-3;3<-2;4-11<-12;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	39,57
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;1<-2;4-11<-12	39,72
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2;4-11<-12	39,57
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-12;1<-3;1<-2	39,72
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;4-11<-12;1<-3;3<-2	39,57
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-3;1<-2;1<-8;8<-9;9<-13	39,03
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-3;3<-2;1<-8;8<-9;9<-13	38,88
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;1<-3;1<-2;8<-9;9<-13	39,03
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;1<-3;3<-2;8<-9;9<-13	38,88
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-3;1<-2	36,39
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-3;3<-2	36,24
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;1<-2	38,81
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13;3<-2	38,50
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	36,39
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-2;1<-8;8<-9;9<-13	35,98
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;1<-2	38,40
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13;3<-2	38,09
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;3<-2;1<-10;1<-8;8<-9;9<-13	36,24
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-3;3<-2;1<-8;1<-10;8<-9;9<-13	35,83
1<-4-11;1<-5;4-11<-6;4-11<-12;1<-8;1<-10;1<-3;1<-2;8<-9;9<-13	38,62

1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--8;1<--10;1<--3;3<--2;8<--9;9<--13 38,47
1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2 35,98
1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2 35,83
1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--8;1<--3;1<--2;1<--10;8<--9;9<--13 39,03
1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--8;1<--3;3<--2;1<--10;8<--9;9<--13 38,88
1<--4-11;1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 40,10
1<--4-11;1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 39,94
1<--4-11;1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;1<--2 40,10
1<--4-11;1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;3<--2 39,94
1<--8;1<--10;1<--3;1<--2;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;8<--9;9<--13 39,72
1<--8;1<--10;1<--3;1<--2;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 39,72
1<--8;1<--10;1<--3;3<--2;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;8<--9;9<--13 39,57
1<--8;1<--10;1<--3;3<--2;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 39,57
1<--8;1<--10;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;1<--2;8<--9;9<--13 39,72
1<--8;1<--10;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;3<--2;8<--9;9<--13 39,57
1<--8;1<--10;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2 39,72
1<--8;1<--10;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2 39,57
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 37,08
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--2 39,50
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;3<--2 39,19
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 36,93
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;1<--3;1<--2;4-11<--6;4-11<--12 39,14
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;1<--3;3<--2;4-11<--6;4-11<--12 38,98
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;1<--2 37,08
1<--8;1<--10;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;3<--2 36,93
1<--8;1<--3;1<--2;1<--10;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 40,13
1<--8;1<--3;1<--2;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--10;8<--9;9<--13 40,13
1<--8;1<--3;3<--2;1<--10;8<--9;9<--13;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12 39,98
1<--8;1<--3;3<--2;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--10;8<--9;9<--13 39,98
1<--8;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;1<--2 40,13
1<--8;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--10;8<--9;9<--13;1<--3;3<--2 39,98
1<--8;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;1<--2;1<--10;8<--9;9<--13 40,13
1<--8;1<--4-11;1<--5;4-11<--6;4-11<--12;1<--3;3<--2;1<--10;8<--9;9<--13 39,98

P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.1;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_7	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.1;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_7;P4_2<--P4_5	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_6.1;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_7	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.1;P4_2<--P4_5	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_7;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.2;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_7	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_6.2;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.1	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_6.2;P4_2<--P4_5	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_6.1;P4_2<--P4_5	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_6.2	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_6.1;P4_2<--P4_5	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_1<--P4_7;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_6.2	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.1	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.1	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.1;P4_1<--P4_6.2	23,00
P4_1<--P4_4;P4_4<--P4_2;P4_2<--P4_3;P4_2<--P4_5;P4_1<--P4_7;P4_1<--P4_6.2;P4_1<--P4_6.1	23,00

