

ZINTEGROWANY PROCES TRANSPORTU I MONTAŻU ELEMENTÓW OBIEKTU MOSTOWEGO

Wojciech BOŻEJKO, Zdzisław HEJDUCKI, Mariusz UCHROŃSKI,
Mieczysław WODECKI

Streszczenie: Optymalne planowanie realizacji przedsięwzięć budowlanych stanowi ważne i aktualne zagadnienie w systemach zarządzania, mające decydujący wpływ na efektywność działania firm wykonawczych. Praca zawiera koncepcję modelowego zintegrowanego procesu transportu i montażu elementów obiektu mostowego wykonanych z kompozytów polimerowych. Przedstawiamy system wspomagający harmonogramowanie prac budowlanych oraz transportu elementów konstrukcyjnych, także w warunkach niepewności parametrów. Do rozwiązywania *NP-trudnych* problemów optymalizacyjnych zastosowano algorytmy oparte na metodzie przeszukiwania z tabu (ang. *tabu search*).

Słowa kluczowe: przedsięwzięcie budowlane, dokładnie na czas, harmonogramowanie, niepewne dane, przeszukiwanie z tabu.

1. Wprowadzenie

Dynamika przemian gospodarczych, społecznych i politycznych generuje nowe zjawiska w obszarze działalności inwestycyjnej. Jednym z wielu czynników mających bezpośredni wpływ na efektywność przedsięwzięć budowlanych jest czas. Jest on bardzo ważnym czynnikiem konkurencyjności, którego atuty mogą być wykorzystywane poprzez:

- skrócenie przebiegu procesów budowlanych,
- dotrzymanie umówionych terminów robót,
- synchronizację planowanych procesów,
- eliminowanie kolizji czasowych w realizowanych procesach.

Od zawsze zwracano szczególną uwagę na znaczenie czasu w procesach produkcyjnych, jednak obecnie nabiera on szczególnego znaczenia z uwagi na zarządzania firmami w warunkach ogromnej konkurencyjności. W praktyce realizacyjnej stosowane są różne metody zarządzania procesami inwestycyjnymi, których celem jest minimalizacja czasu i kosztu. Należy zaznaczyć, że decyzje w fazie projektowania i realizacji budów zapadają na podstawie analizy opracowywanych harmonogramów, analizy kosztów oraz z uwzględnieniem konieczności częstych zmian rozwiązań projektowych.

Podstawową metodą organizacji realizacji obiektów budowlanych, powszechnie stosowaną do lat 50-tych XX wieku, było natychmiastowe rozpoczynanie robót, na każdym wolnym froncie roboczym, z ewentualnym uwzględnieniem dostępności środków realizacji. Główną zaletą tej metody zapewniającą szerokie zastosowanie w praktyce, również obecnie, jest gwarancja osiągnięcia najkrótszego czasu realizacji kompleksu robót (nie zawsze przy minimalnych kosztach). W tradycyjnych sposobach organizacji robót charakterystycznym czynnikiem są przestoje środków realizacji lub frontów robót. Pojawiło się zatem zapotrzebowanie na nowe metody organizacji robót eliminujących te przestoje.

Nowe metodologie charakteryzują się między innymi podejściem etapowym, tzn. kolejny etap planu realizacji jest konsekwencją poprzedniego, z możliwością uwzględnienia korekt wynikających z uszczegółowienia i uściślenia danych. Fakt ten wynika między innymi z konieczności wprowadzania, w kolejnych fazach realizacji, wielu podwykonawców o swoistych cechach (np. indywidualna sprawność organizacyjna, system zarządzania firmą, potencjał techniczny, sprawność i kompetencje kadry technicznej, kapitał i inne), a także uwzględniania wielu nieprzewidywalnych czynników, tj. zmian materiałowych, szczegółowych rozwiązań projektowych, technologicznych, warunków atmosferycznych, gruntowo-wodnych i innych. Pojawia się zatem potrzeba podejścia proaktywnego, z uwzględnieniem komputerowo wspomaganego podejmowania decyzji w procesie wielokryterialnego, etapowego zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi.

Procesy logistyczne odgrywają ważną rolę na każdym etapie realizacji obiektów budowlanych. Obejmują one, między innymi, zagadnienia transportu, magazynowania elementów konstrukcyjnych oraz materiałów budowlanych. Jest to niewątpliwie ważny element procesu inwestycyjnego szczególnie, gdy jest on realizowany w systemie „dokładnie na czas” (ang. *Just-In-Time*, w skrócie JIT, [8, 11]). Główna idea tej metody polega na maksymalnym zsynchronizowaniu momentów dostawy z zapotrzebowaniem na poszczególne elementy i materiały. Jest to szczególnie ważne, gdy budowy są prowadzone na terenach silnie zurbanizowanych. W przypadku budownictwa mostowego (wiadukty) taki system wykonawstwa jest często wymuszany przez ograniczenia wynikające z konieczności ochrony środowiska, braku odpowiednich dróg dojazdowych, itp. Rosnące koszty transportu oraz coraz ostrzejsze wymogi dotyczące ruchu pojazdów, powodują ograniczenia terenowe – brak miejsc składowania. W konsekwencji wymusza to znaczne ograniczenia w wielkości placów budowy.

Realizacja przedsięwzięć budowlanych wymaga koordynacji wielu procesów realizowanych zazwyczaj przez wyspecjalizowane firmy wykonawcze. Krótkie terminy wykonania, konkurencja, ograniczenia w sferze transportu oraz magazynowania materiałów, wymuszają perfekcyjne planowanie i harmonogramowanie zarówno w sferze bezpośrednio związanej z realizacją budowy, jak i z jej otoczeniem: transport, zapewnienie ciągłości prac brygad i sprzętu, składowanie materiałów i prefabrykatów, drogi dojazdowe, itd. Są one wzajemnie powiązane oraz bezpośrednio zależne. Rozwiązanie każdego z wymienionych zagadnień prowadzi do bardzo skomplikowanych modeli i trudnych zagadnień optymalizacyjnych. Tym bardziej, że w praktyce są to zagadnienia wielokryterialne i niestety zazwyczaj przeciwstawne, jak np. koszt i czas (skręcanie czasu realizacji powoduje zwykle zwiększenie kosztów). Ponadto, dynamicznie zmieniające się otoczenie wymusza dużą elastyczność metod wspierających zarządzanie oraz pracę w czasie rzeczywistym. Proces planowania i harmonogramowania robót związanych z budową mostu jest przykładem takiego zagadnienia.

Przenosząc problemy harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych w dziedzinę klasycznej teorii szeregowania zadań napotyka się na wiele trudności związanych z doбором właściwego modelu (typu zagadnienia) oraz odpowiedniego algorytmu. Są to bowiem w większości zupełnie nowe, z wieloma niestandardowymi ograniczeniami, *silnie NP-trudne* problemy optymalizacji kombinatorycznej. W praktyce, do ich rozwiązywania stosuje się zaawansowane metaheurystyki - najbardziej obecnie efektywne konstrukcje algorytmów przybliżonych. Głównie, są to metody: symulowanego wyżarzania, ewolucyjne, przeszukiwania z tabu, sieci neuronowych oraz ich hybrydy. Na podstawie wielu prowadzonych badań teoretycznych, eksperymentów obliczeniowych oraz zamieszczonych w literaturze wyników (w tym twierdzenia „no free lunch”) można

stwierdzić, że żadna z wymienionych metod nie jest generalnie lepsza od pozostałych. Efektywne rozwiązywanie problemów *NP-trudnych* wymaga zarówno właściwego wyboru metody konstrukcji algorytmu, jak i wykorzystania specyficznych własności problemu.

Intensywny, szczególnie w ostatnich latach, rozwój technologii, nowe materiały i krótkie terminy realizacji wymuszają bardzo efektywne planowania i śledzenia realizacji przedsięwzięć budowlanych. Dlatego też istnieje duże zapotrzebowanie praktyków na skuteczne wspomaganie nowoczesnych metod planowania, które odpowiadają obecnej rzeczywistości w budownictwie (zobacz [1, 12]).

Praca dotyczy nowych zagadnień związanych ze stosowaniem prefabrykowanych elementów mostowych dla przebudowy sieci transportowej (kolejowej i drogowej) w celu zapewnienia bezkolizyjności ciągów komunikacyjnych. Przedstawiamy główne założenia dotyczące „Zintegrowanego systemu transportu i montażu kompozytowych elementów obiektu mostowego” (zobacz prace [4, 5, 6]). Opisujemy podstawowe moduły systemu komputerowego wspomagajnia harmonogramowania transportu i montażu elementów konstrukcyjnych mostu budowanego w systemie JIT.

2. Konstrukcja mostu kompozytowego

W ostatnich latach zostały opracowane nowe rozwiązania technologiczne dotyczące elementów konstrukcji mostowych, w których zastosowano kompozyty polimerowe (ang. *Fibre Reinforced Polymers*, w skrócie FRP). Terminem tym określa się materiały kompozytowe z tworzyw sztucznych zbrojone różnego rodzaju włóknami. Najczęściej są to włókna węglowe, szklane lub aramidowe. Ze względu na szereg korzystnych właściwości znajdują one coraz szersze praktyczne zastosowanie, w tym także i w budownictwie mostowym.

Ustanowienie normy europejskiej EN 13706 dotyczącej wytwarzania kompozytów polimerowych metodą pultruzji umożliwiło opracowanie zupełnie nowych rozwiązań technologicznych, metod projektowania i montażu elementów nośnych konstrukcji mostowych. Proponowane rozwiązania technologiczne zapewniają między innymi:

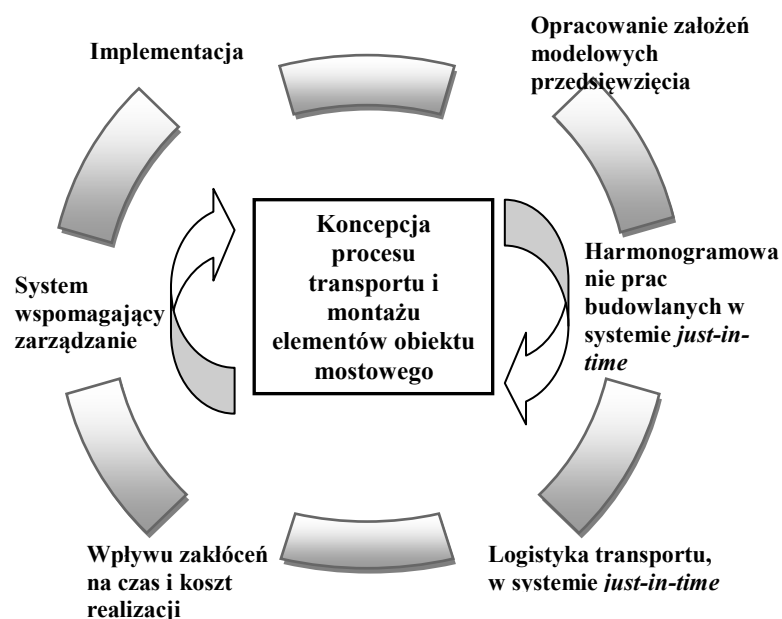
- niższe koszty budowy związane z prefabrykacją (poza placem budowy) oraz małym ciężarem elementów,
- niższe koszty utrzymania i konserwacji obiektów w czasie eksploatacji (powierzchnie elementów nie korodują i dlatego nie wymagają dodatkowych, kosztownych zabezpieczeń),
- dzięki skróceniu czasu montażu, mniejsze zakłócenia w ruchu transportowym.

Pierwszy most, w którym zastosowano belki nośne wykonane z materiałów kompozytowych, zbudowano w Hiszpanii w 2004 roku (rysunek 1). Do roku 2008 zbudowano tam 111 takich mostów.

Niniejsza praca powstała w wyniku realizacji zadania badawczego, w ramach projektu Trans-IND, 7 programu UE, „*New Industrialised Construction Process*” NMP-2008-3.4-2, koordynator: ACCIONA, Mostostal SA Warszawa. Zasadniczym celem zadania było przygotowanie założeń związanych z ograniczeniami technologiczno- organizacyjnymi, budowa modeli optymalizacyjnych i konstrukcja algorytmów ich rozwiązywania, do harmonogramowania zintegrowanego procesu transportu i montażu kompozytowych elementów prefabrykowanych konstrukcji mostu. Ogólną ideę budowy zintegrowanego systemu harmonogramowania transportu oraz prac montażowo- budowlanych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Koncepcja mostu kompozytowego (oprac. BSiR Mostostal SA)



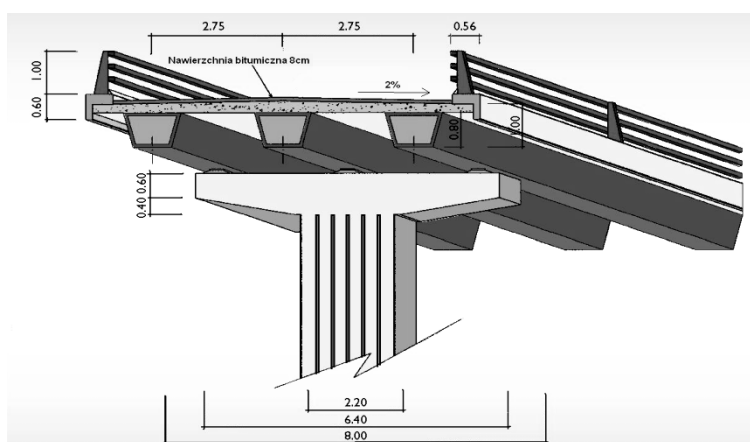
Rys. 2. Koncepcja modelowego zintegrowanego procesu transportu i montażu elementów obiektu budowlanego - metodologia pracy

W opracowanym systemie technologiczno- konstrukcyjnym Trans-IND przyjmuje się, że montaż elementów kompozytowych odbywa się na wykonanych podporach żelbetowych (rys. 3). W systemie tym struktura podziału prac obejmuje:

1. Transport belek z wytwórni na miejsce montażu.
2. Montaż belek.

3. Transport łączników mechanicznych i żywicy przeznaczonej do połączeń na miejsce wbudowania.
4. Transport modułowych pomostów kompozytowych na miejsce wbudowania.
5. Wypoziomowanie i połączenie pomostów.
6. Połączenie pomostów i belek.
7. Wykonanie wylewki betonowej na powierzchni pomostów.
8. Wykonanie nawierzchni z asfaltu twardo lanego.
9. Montaż wyposażenia mostu (bariery).

Realizacja każdego z powyższych punktów wymaga wykonania wielu prac transportowych i budowlanych, odpowiedniego sprzętu, materiałów oraz elementów konstrukcyjnych. Prace te należy dokładnie zaplanować oraz koordynować w czasie z uwzględnieniem odpowiedniego miejsca dostawy (nie przewiduje się magazynowania elementów na placu budowy).



Rys. 3. Ogólne założenie konstrukcyjne mostu kompozytowego (oprac. BSiR Mostostal SA)

Elementy kompozytowe

Elementy konstrukcyjne mostu kompozytowego są wykonane z materiałów FRP, w których skład wchodzi: włókna szklane, włókna węglowe oraz żywice epoksydowe:

1. Belki wykonane metodą infuzji. Przyjęta w realizacji projektu Trans-IND rozpiętość belek wynosi od 9 do 45 metrów. W zależności od rozpiętości stosowane są odpowiednie elementy usztywniające belkę (membrany, żebra) mające różny przekrój w zależności od wymaganej wytrzymałości i sztywności belki.
2. Pomosty - są elementami modułowymi wykonywanymi metodą pultruzji, które połączone zostają dopiero podczas montażu na placu budowy. Można wykonać elementy o różnych szerokościach w zależności od założeń projektowych. W przeciwieństwie do belek pomosty z założenia mają ciągły przekrój.

Transport i montaż elementów

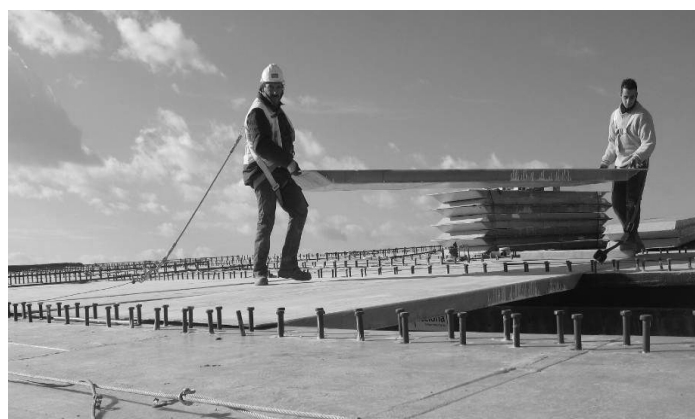
Po wykonaniu, belki transportowane są na miejsce wbudowania. Nie planuje się organizacji magazynu. Elementy powinny dotrzeć na plac budowy w odpowiedniej

kolejności, we właściwym momencie, bezpośrednio przed wbudowaniem, tak by pojazd transportujący nie musiał czekać na montaż. Ma to na celu oszczędności związane z wynajmowaniem maszyn roboczych. Należy także wziąć pod uwagę fakt, że w obrębie budowy może nie być wystarczającej ilości miejsca na postój pojazdów. Najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest montaż i transport za pomocą lekkich dźwigów z platformą ładunkową (rys. 4).



Rys. 4. Montaż belek kompozytowych (oprac. BSiR Mostostal SA)

Prefabrykowane pomosty umieszczane są bezpośrednio na belkach nośnych. W zależności od technologii wykonania są one układane w sposób ciągły lub nieciągły. Pomosty są transportowane na miejsce wbudowania za pomocą lekkiego dźwigu. W obrębie konstrukcji są one tradycyjnie rozkładane przez robotników (rys. 5). Dopuszcza się także wstępny montaż w sąsiedztwie konstrukcji i wbudowywanie większych elementów za pomocą dźwigu. Pomosty są układane od jednego przyczółka w kierunku drugiego.



Rys. 5. Układanie płyt pomostowych przez robotników (oprac. BSiR Mostostal SA)

Organizacja pracy w systemie JIT umożliwia zsynchronizowanie dostaw (transportu prefabrykatów) z montażem, co pozwala na uniknięcie konieczności ich magazynowania. Wymaga przy tym rozwiązywania wielu bardzo trudnych (*silnie NP-trudnych*) problemów optymalizacyjnych.

Realizacja obiektów budowlanych związana jest często z pojawiającymi się, w toku robót, przerwami technologicznymi, organizacyjnymi, itp. Czynniki zewnętrzne i zakłócenia wewnętrzne występujące w procesie budowy, przewidywalne i nieprzewidywalne, są przyczyną dezaktualizacji harmonogramów i występowania odchyłeń od ustalonych w umowach terminów realizacji zakontraktowanych robót. Dlatego, poszukuje się sposobów określania danych, niezbędnych w procesie decyzyjnym, do wyznaczenia realnych terminów wykonania zadań inwestycyjnych. Konsekwencją błędów są w praktyce wysokie kary umowne (straty finansowe przedsiębiorstw) i osłabienie wiarygodności firm budowlanych, a nawet wykluczenie z procesów przetargowych. Niepewne parametry procesu są w opisywanym systemie reprezentowane przez liczby rozmyte. Istnieje możliwość harmonogramowania transportu elementów oraz robót budowlanych z niepewnymi parametrami. Do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych (z niepewnymi parametrami) zastosowano algorytmy oparte na metodzie przeszukiwania z tabu. Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe wykazały, że wyznaczone przez te algorytmy rozwiązania są stabilne, tj. niewielkie zakłócenia parametrów powodują jedynie niewielkie zmiany w optymalnym (zazwyczaj prawie optymalnym) harmonogramie.

3. System harmonogramowania transportu i montażu elementów konstrukcyjnych

Aplikacja wspomagająca harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych dostarcza graficznego interfejsu użytkownika, który został wykonany z wykorzystaniem zintegrowanego środowiska programistycznego „Qt Creator”. Funkcjonalności związane z harmonogramowaniem zostały zaimplementowane w języku C++. Aplikacja została wykonana dla platformy Windows. Zastosowanie przenośnych bibliotek „Qt” dla języka C++, do tworzenia graficznego interfejsu użytkownika, daje możliwość przeniesienia aplikacji także na inne platformy. Całość aplikacji wykonano w czterech etapach obejmujących główne elementy zadania:

1. Projekt systemu.
2. Implementację.
3. Testowanie i symulacje poszczególnych modułów.
4. Wykonanie dokumentacji.

System składa się z wielu wzajemnie powiązanych elementów. Do głównych należą moduły harmonogramowania:

- A) prac budowlanych,
- B) transportu,
- C) prac budowlanych i transportu w warunkach niepewności.

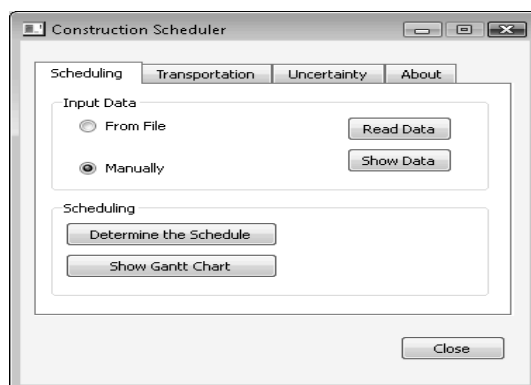
3. 1. Moduł harmonogramowania prac budowlanych

Moduł ten dostarcza następujących funkcjonalności:

- pobieranie danych wejściowych z pliku tekstowego,
- ręczne wprowadzanie danych,
- wyznaczanie harmonogramu dla prac budowlanych,

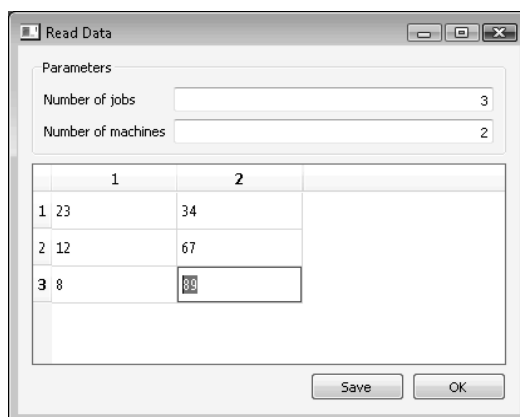
- graficzną reprezentację harmonogramu w formie wykresu Gantt-a,
- zapis do pliku terminów rozpoczęcia/zakończenia wykonywania poszczególnych prac budowlanych.

Aby wczytać dane wejściowe z pliku należy w zakładce „SCHEDULING” (główne okno systemu, rys. 6) wybrać opcję „FROM FILE”, a po wciśnięciu przycisku „READ DATA” wskazać lokalizację pliku wejściowego na dysku.



Rys. 6. Okno główne systemu

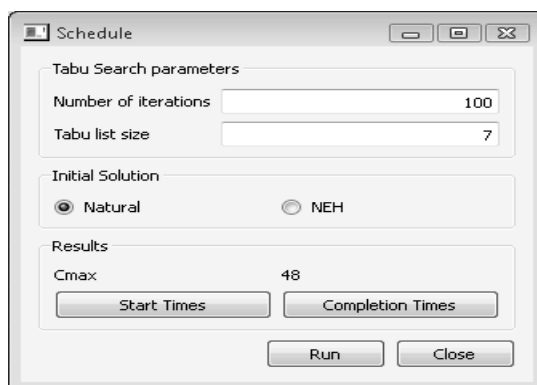
Ręczne wprowadzanie danych wejściowych sprowadza się do wpisania czasów wykonania poszczególnych robót budowlanych w komórkach tabeli tak, jak to zostało przedstawione na rysunku 7. Wprowadzone dane można zapisać do pliku tekstowego po wciśnięciu przycisku „SAVE”.



Rys. 7. Okno ręcznego wprowadzania danych wejściowych

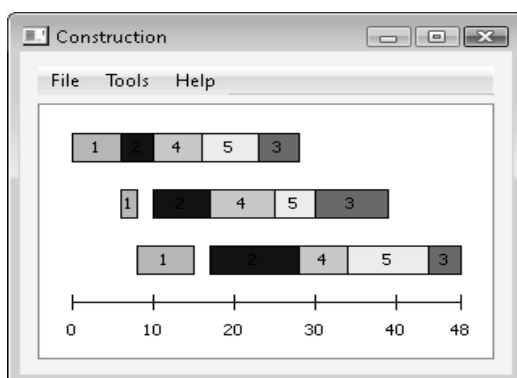
Po wprowadzeniu danych wejściowych aplikacja pozwala na wyznaczenie harmonogramu robót budowlanych za pomocą algorytmu poszukiwania z tabu. Okno przedstawione na rysunku 8 umożliwia zdefiniowanie parametrów algorytmu wyznaczającego harmonogram – liczba iteracji algorytmu, długość listy tabu oraz rozwiązanie startowe (może nim być permutacja naturalna lub permutacja wyznaczona

przez algorytm konstrukcyjny NEH [9] (zobacz także [14]). Uruchomienie algorytmu wyznaczającego harmonogram prac budowlanych następuje po wciśnięciu przycisku „RUN”. Po zakończeniu działania algorytmu w oknie zostanie wyświetlona wartość funkcji celu dla wyznaczonego rozwiązania.



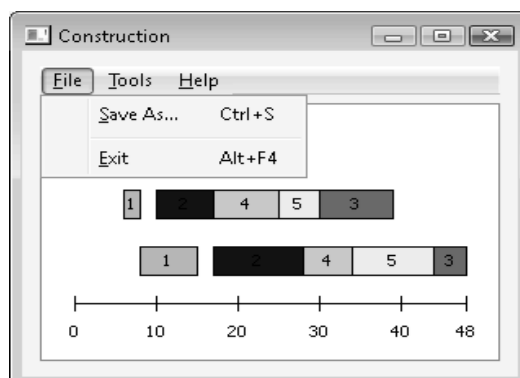
Rys. 8. Okno umożliwiające zdefiniowanie parametrów algorytmu przeszukiwania z tabu

Harmonogram w postaci wykresu Gantt-a można uzyskać po wciśnięciu przycisku „SHOW GANTT CHART”. Okno, w którym wyświetlany jest wykres Gantt-a zostało przedstawiony na rysunku 9.

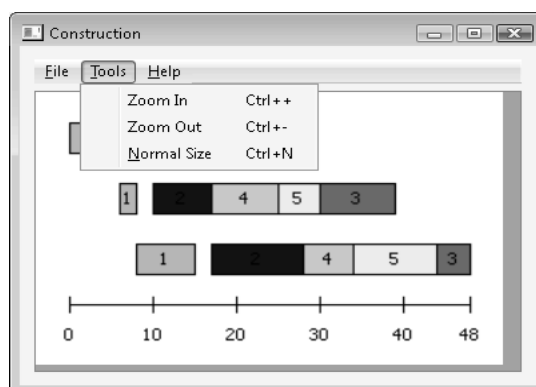


Rys. 9. Okno graficznej reprezentacji harmonogramu w formie wykresu Gantt-a

Pasek narzędzi okna (rys. 10), w którym wyświetlany jest wykres Gantt-a, dostarcza funkcjonalności pozwalających na zapis wykresu Gantt-a w formacie PNG, zmianę rozmiaru wykresu (rys. 11) oraz zamknięcie okna.



Rys. 10. Menu „FILE” okna graficznej reprezentacji harmonogramu



Rys. 11. Menu „TOOLS” okna graficznej reprezentacji harmonogramu

Wyniki działania algorytmu wyznaczającego harmonogram dla przedsięwzięcia budowlanego mogą również zostać przedstawione w formie tabeli zawierającej czasy rozpoczęcia/zakończenia wykonywania poszczególnych robót budowlanych (rysunki 12, 13).

	1	2	3
1	0	6	8
2	6	10	17
3	10	17	28
4	16	25	34
5	23	30	44

Rys. 12. Okno wyświetlające terminy rozpoczęcia poszczególnych robót budowlanych

Harmonogram prowadzenia prac budowlanych wyznaczany jest przez algorytm poszukiwania z tabu. Algorytm ten w każdej iteracji przeszukuje sąsiedztwo rozwiązania bazowego, wybiera z sąsiedztwa najlepsze rozwiązania ze względu na określone kryterium, a następnie proces poszukiwania jest powtarzany. W celu zapobieżenia cyklicznego powtarzania się rozwiązań pamiętana jest historia poszukiwań w postaci listy tabu. Metoda rozwiązania oraz algorytm zostały dokładnie opisane w pracach [6], [7], [8] i [13].

	1	2	3
1	6	8	15
2	10	17	28
3	16	25	34
4	23	30	44
5	28	39	48

Rys. 13. Okno wyświetlające terminy zakończenia wykonywania poszczególnych robót

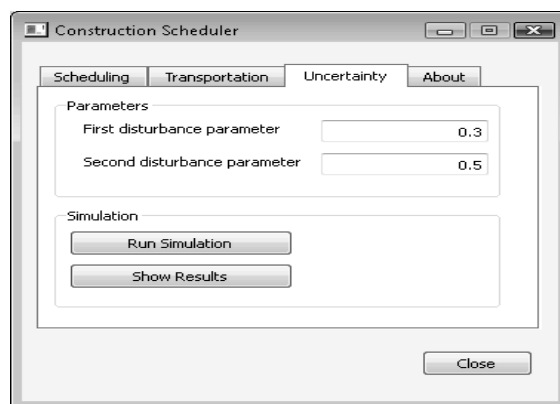
3. 2. Moduł harmonogramowania transportu

Moduł harmonogramowania transportu belek pozwala na wyznaczenie terminów dostawy belek na plac budowy realizowanej w systemie JIT. Transport może się odbywać jednym lub wieloma różnymi pojazdami. Terminy załadunku oraz dostawy elementów konstrukcyjnych są wyznaczane na podstawie wcześniej ustalonego harmonogramu prac budowlanych (moduł harmonogramowania prac budowlanych). Dodatkowe parametry wymagane do wyznaczenia terminów dostawy mogą być wprowadzone ręcznie lub wczytane z pliku tekstowego. Model zagadnienia, opis metody rozwiązania oraz konstrukcję algorytmu zamieszczono w pracach [4], [5] i [6]. Natomiast, sam moduł harmonogramowania transportu został dokładnie przedstawiony w pracy [3].

3. 3. Harmonogramowanie w warunkach niepewności

Moduł harmonogramowania w warunkach niepewności (zobacz np. [2]) pozwala na wyznaczenie harmonogramów prowadzenia prac budowlanych oraz transportu w sytuacji, gdy nie ma możliwości precyzyjnego (deterministycznego) określenia pewnych parametrów (np. czasów wykonania robót, czasów przejazdu, rozładunku, itp.). W tym przypadku parametry te są reprezentowane przez liczby rozmyte w trzypunktowej reprezentacji (zobacz np. [10]). Na rysunku 14 zostało przedstawione okno modułu harmonogramowania w warunkach niepewności. Umożliwia ono na wprowadzenie parametrów związanych z reprezentacją liczb rozmytych. W celu przeprowadzenia obliczeń należy wcisnąć przycisk „RUN SIMULATION”. Po zakończeniu obliczeń dostęp do wyników można uzyskać przez wciśnięcie przycisku „SHOW RESULTS”.

Moduły systemu były testowane na wielu przykładach generowanych losowo oraz pochodzących literatury dotyczącej zarządzania procesami w budownictwie mostowym.



Rys. 14. Okno harmonogramowania w warunkach niepewności

4. Podsumowanie

Aplikacja wspomagająca harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych dostarcza prostego w obsłudze graficznego interfejsu użytkownika, z wieloma opisami stanowiącymi samokomentującą się dokumentację programu w postaci opisów i podpowiedzi. Dane niezbędne do wyznaczenia harmonogramów mogą zostać wprowadzone ręcznie lub z pliku tekstowego. Umożliwia to szybkie uzyskanie wyników dla problemów o niewielkich rozmiarach. Wyznaczony harmonogram wykonania robót budowlanych może zostać przedstawiony w formie graficznej – wykres Gantt-a lub w postaci tekstowej – terminy rozpoczęcia/zakończenia wykonywania poszczególnych robót budowlanych. Uzyskane wyniki mogą być także zapisane na dysk w formie pliku PNG (wykres Gantt-a) lub pliku tekstowego (terminy rozpoczęcia/zakończenia prac). Zastosowanie szybkich algorytmów heurystycznych do harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych pozwala na uzyskanie rozwiązań o wysokiej jakości (w sensie wartości funkcji celu) w krótkim czasie.

Tekst dokumentacji oraz program komputerowy systemu wspomagania transportu i montażu elementów kompozytowych obiektu mostowego jest zamieszczony na stronie internetowej:

http://wojciech.bozejko.staff.iia.pwr.wroc.pl/constr_sched.zip

Literatura

1. Bożejko W., Hejducki Z., Wodecki M.: Applying metaheuristic strategies in construction projects management, *Journal of Civil Engineering and Management*. Taylor & Francis, 18(5), 2012, 621-630.
2. Bożejko W., Wodecki M.: Liczby rozmyte w problemach szeregowania zadań, *Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie*. WNT, ISBN 83-204-2632-4, Warszawa, 2002, 135-142.
3. Bożejko W., Hejducki Z., Uchroński M., Wodecki M.: System wspomagania harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* (red. R. Knosala). Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012, 263-273.

4. Hejducki Z., Bożejko W. M., Wodecki M.: Koncepcja modelowego zintegrowanego procesu transportu i montażu elementów obiektu mostowego. Opracowanie założeń modelowych przedsięwzięcia, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR, Nr 1/2011, 2011.
5. Hejducki Z., Bożejko W., Wodecki M.: Koncepcja modelowego zintegrowanego procesu transportu i montażu elementów obiektu mostowego. Harmonogramowanie prac wykonawczych związanych bezpośrednio z realizacją budowy, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR, Nr 2/2011, 2011.
6. Hejducki Z., Bożejko W., Wodecki M.: Koncepcja modelowego zintegrowanego procesu transportu i montażu elementów obiektu mostowego. Logistyka transportu pod kątem realizacji budowy w systemie just-in-time. Harmonogramowanie prac wykonawczych związanych bezpośrednio z realizacją budowy, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR, Nr 4/2011, 2011.
7. Hejducki Z., Bożejko W., Wodecki M.: Metody realizacji przedsięwzięć budowlanych w systemie potokowym, seria: Monografii, 2013 (w redakcji).
8. Józefowska J.: Just-in-time scheduling. Models and Algorithms for Computer and Manufacturing Systems, Springer, 2007.
9. Nawaz M., Enscore E.E., Ham I.: A heuristic algorithm for the m -machine, n -job flow-shop sequencing problem, OMEGA, 11/1, 1983, 91-95.
10. Prade H.: Using fuzzy set theory in a scheduling problem, Fuzzy Sets and Systems, 2, 1979, 153-165.
11. Rios-Mercado R.Z., Rios-Solis (eds.): Just-in-Time, Optimization and Its Applications. Springer, 60, 2012.
12. Rogalska M., Bożejko W., Z. Hejducki, Wodecki M.: Harmonogramowanie robót budowlanych z zastosowaniem algorytmu tabu search z rozmytymi czasami wykonywania zadań. Przegląd Budowlany Nr 7-8, 2009, 76-80.
13. Wodecki M.: Metody agregacji w problemach optymalizacji dyskretnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009.
14. Wodecki M.: A block approach to earliness-tardiness scheduling problems. International Journal on Advanced Manufacturing Technology, 40, 2009, 797-807.

Dr hab. Wojciech BOŻEJKO
 Mgr inż. Mariusz UCHROŃSKI
 Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej
 ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
 e-mail: wojciech.bozejko@iiar.pwr.wroc.pl

Dr hab. inż. Zdzisław HAJDUCKI
 Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej
 Pl. Grunwaldzki 11
 e-mail: zdzislaw.hejducki@ict.pwr.wroc.pl

Dr hab. Mieczysław WODECKI
 Instytut Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego
 ul. Joliot-Curie 50-383 Wrocław
 e-mail: pawel.rajba@ii.uni.wroc.pl
 mwd@ii.uni.wroc.pl