

Mieczysław JAGODZIŃSKI, Jolanta KRYSTEK
Politechnika Śląska

WYBRANE ASPEKTY PLANOWANIA Z WYKORZYSTANIEM IFS PSO ORAZ IFS CBS

Streszczenie. Referat dotyczy wybranych aspektów planowania IFS PSO (*IFS Planning and Scheduling Optimizations*) oraz IFS CBS (*IFS Constraint Based Scheduling*). IFS PSO jest narzędziem informatycznym umożliwiającym planowanie i optymalizację harmonogramowania zadań roboczych serwisu w terenie. IFS CBS (Constraint Based Scheduling) z kolei służy do planowania zleceń produkcyjnych z uwzględnieniem różnych ograniczeń. IFS PSO wykorzystuje elementy sztucznej inteligencji. Sztuczna inteligencja (*AI – artificial intelligence*) jest to technologia, dzięki której można nauczyć rozwiązywania i wykonywania określonych zadań przez komputery i maszyny, których rozwiązanie wymagało wykorzystania ludzkiego umysłu. Generatywna sztuczna inteligencja (Gen AI) to podzbiór sztucznej inteligencji, w którym maszyny tworzą nowe treści w postaci tekstu, kodu, głosu, obrazów, filmów oraz procesów. W skład GEN AI wchodzi: duże zbiory danych (obraz, tekst), uczenie głębokie, przetwarzanie języka naturalnego i transformerów, algorytmy, matematyka i statystyka. Artykuł ma charakter poglądowy.

SELECTED ASPECTS OF SCHEDULING USING IFS PSO AND IFS CBS

Summary. The paper describes selected aspects of planning IFS PSO (*IFS Planning and Scheduling Optimizations*) and IFS CBS (*IFS Constraint Based Scheduling*). IFS Planning and Scheduling Optimizations is an IT tool used for planning and optimizing the scheduling of field service work tasks. IFS Constraint Based Scheduling, on the other hand, is used for planning the production orders, taking into account various constraints. IFS PSO uses elements of artificial intelligence. Artificial intelligence (AI) is a technology which is used to teach computers and machines to solve and perform specific tasks, the solution of which required the use of the human mind. Generative artificial intelligence (Gen AI) is a subset of artificial intelligence in which machines create new content in the form of text, code, voice, images, videos and processes. GEN AI includes: large data sets (image, text), deep learning, natural language and transformer processing, algorithms, mathematics and statistics. This article is for illustrative purposes only.

1. Wprowadzenie

Planowanie i harmonogramowanie zadań serwisowych stanowią obecnie istotny element oferty wielu firm współpracujących z klientami końcowymi, którzy zwracają uwagę już nie tylko na jakość zamówionego produktu, ale również na szybką reakcję i skuteczność serwisu. Świadczenie usług serwisowych w terenie wiąże się ze znacznymi kosztami, niezależnie od tego, czy firma korzysta z własnego personelu, czy z pomocy podwykonawców. Korzyści z automatyzacji i optymalizacji harmonogramowania zadań serwisowych są wymierne. Przekładają się na redukcję kosztów dojazdu oraz nadgodzin, poprawę wydajności pracy serwisantów, a także utrzymywanie wysokiego poziomu i terminowości usług.

Pierwsze programy z dziedziny harmonogramowania pozwalały jedynie ułożyć statyczny plan na dany dzień. Ich działanie polegało na tworzeniu harmonogramów w oparciu o oczekujące zadania i dostępne zasoby z uwzględnieniem podstawowych reguł biznesowych i algorytmów optymalizacji trasy w celu redukcji czasu dojazdu oraz odległości między miejscami realizacji kolejnych zleceń. Jednak w coraz bardziej dynamicznych warunkach rynkowych takie podejście przestało się sprawdzać. Obecnie wymagania są dużo większe niż tylko uwzględnianie podstawowych parametrów wydajności, takich jak liczba zgłoszeń, które dany serwisant może zrealizować w ciągu dnia.

Stosowanie w przedsiębiorstwach produkcyjnych systemów wspomaganie zarządzania klasy ERP, którego przedstawicielem jest system IFS Applications stało się obecnie standardem. Systemy te pozwoliły na uporządkowanie struktury informacyjnej przedsiębiorstwa, na zwiększenie efektywności i szybkości przetwarzania danych i obniżenie kosztów tego przetwarzania. Zaawansowane systemy informatyczne mają wdrożone techniki matematyczne elastycznie przystosowane do dynamicznie zmieniającego się w czasie rzeczywistym, środowiska, zwłaszcza gdy tworzony harmonogram ma uwzględniać setki zadań serwisowych. Pozwalają wygenerować harmonogramy w niewiarygodnie krótkim czasie, nawet w przypadku bardzo skomplikowanych problemów planistycznych a duża część tych działań wykonywana jest automatycznie bez ingerencji użytkownika. Istotnym elementem jest tworzenie tych harmonogramów możliwie najpóźniej, czyli zgodnie ze stosowaną w produkcji zasadą JIT (*ang. Just In Time*). Decyzje takie mają dużo większą wartość, ponieważ opierają się na bieżących informacjach i najbardziej aktualnej ocenie sytuacji. Planowanie i harmonogramowanie zadań serwisowych jest w wielu aspektach zbliżone do wielokryterialnego modelowania procesu transportowego [6] i jako takie może być rozwiązywane tymi samymi metodami [5]. Harmonogram zwykle zawiera ograniczenia, od których zależy możliwość osiągnięcia celów. Ograniczenia dotyczą zasobów i operacji przeprowadzanych na zasobach. Może więc chodzić na przykład o dostępność zasobu, o grupę zasobów, które można przydzielić do konkretnej operacji, czy też o zależności pomiędzy operacjami dotyczące kolejności ich wykonywania. Wszystkie te ograniczenia muszą być wzięte pod uwagę przy tworzeniu harmonogramu.

W problemach decyzyjnych właściwa identyfikacja i opis problemu jest podstawą do dalszych analiz i określenia kolejnych etapów związanych z oceną możliwych rozwiązań. Cele harmonogramu często powodują konflikty i nie zawsze można je łatwo ująć ilościowo. Wynika z tego, że zadaniem przy tworzeniu harmonogramu jest

znalezienie pewnej równowagi pomiędzy różnymi celami oraz że niektóre cele trzeba będzie określić ilościowo za pomocą przybliżeń szacunkowych. W wielu przypadkach niewystarczająca jest jednokryterialna analiza, w której każdy potencjalny wariant harmonogramu oceniany jest względem jednego, wybranego a priori, kryterium, np. wielkości kosztów, zysku, liczby wykonanych zleceń przez serwisanta, rentowności zlecenia. Postępowanie takie jest uzasadnione jedynie w pewnych prostych przypadkach. Rozwiązanie problemu z zastosowaniem pojedynczego kryterium może nie być w pełni wiarygodne, akceptowalne i wyczerpywalne [10]. Planowanie pracy serwisantów jest przedsięwzięciem skomplikowanym i wskazane jest tu wielokryterialne podejmowanie decyzji które spełniałoby własność spójności rodziny kryteriów.

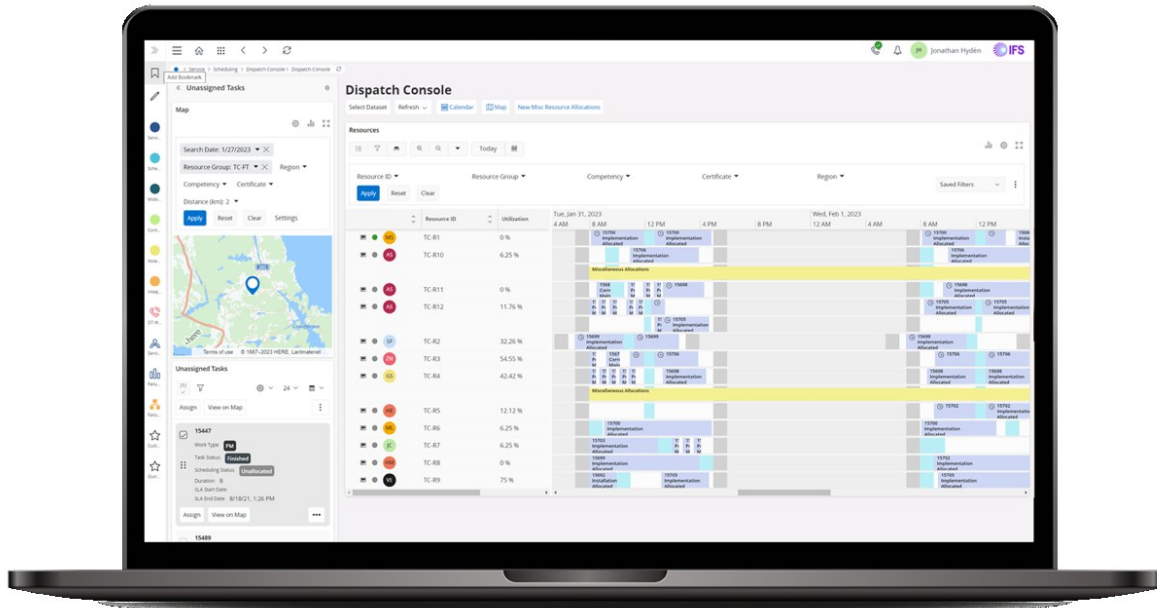
Analiza wszystkich wariantów oraz kryteriów je opisujących, przy pomocy prostych obliczeń oraz porównań, może być niewystarczająca oraz kłopotliwa. Z tego właśnie względu pomocnym narzędziem w wyborze optymalnego lub najlepszego rozwiązania może być dziedzina wiedzy nazwana wielokryterialnym wspomaganie decyzji lub analizą wielokryterialną [1, 9]. Analiza wielokryterialna (*ang. Multiple Criteria Analysis – MCA*) lub wielokryterialne wspomaganie decyzji (*ang. Multiple Criteria Decision Aiding – MCDA*) daje planistom szereg odpowiednich procedur, narzędzi oraz metod matematyczno–informatycznych, dzięki którym są w stanie podjąć właściwą decyzję. Rozwiązanie wielokryterialnego problemu decyzyjnego zawsze wiąże się z kompromisem pomiędzy różnymi celami/kryteriami. Powszechnie zaakceptowanym i wykorzystywanym narzędziem do podejmowania złożonych decyzji w oparciu o znaczną liczbę kryteriów jest wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemu (*ang. Analytic Hierarchy Process – AHP*) [11]. W AHP decydent ma wpływ na cały proces, ocenia możliwe warianty wyboru pod względem określonych kryteriów na możliwość oceny wartości tych kryteriów pod kątem celu według swojej wiedzy i uznania opartego na doświadczeniu. Metoda AHP jest wszechstronnym narzędziem, służącym do rozwiązywania różnorodnych problemów decyzyjnych.

O ile planowanie dotyczy tworzenia scenariusza, który organizacja ma wcielić w życie, aby osiągnąć cel, o tyle harmonogramowanie dotyczy sposobu zarządzania wykonywaniem tego scenariusza w najlepszy możliwy sposób. Harmonogramowanie operacyjne rozumiane jest jako harmonogramowanie w warunkach ograniczeń – CBS (*ang. Constraint-Based Scheduling*) [7, 8]. Umożliwia ono tworzenie harmonogramów uwzględniając takie zasoby krytyczne jak: maszyny, narzędzia i zasoby ludzkie. Wynik zaawansowanego algorytmu harmonogramowania jest prezentowany w postaci interaktywnego wykresu Gantta dla zleceń, pozwalającego między innymi na korektę on-line harmonogramu.

2. Aplikacja do planowania pracy serwisantów

Aplikacja IFS PSO (*ang. Planning and Scheduling Optimization*) jest dedykowanym narzędziem wykorzystywanym przy planowaniu i harmonogramowaniu pracy serwisantów w terenie [3]. Jako rozwiązanie funkcjonalne jest narzędziem bardzo elastycznym i konfigurowalnym. Ze względu na możliwą wariantowość założeń i reguł planowania, które mogą podlegać zmianom nie powinno się traktować tego jako rozwiązania zamkniętego, które nie może podlegać zmianom w trakcie eksploatacji.

Idea narzędzia PSO opiera się na poszukiwaniu optymalnych reguł planistycznych dla zasobów jakimi dysponujemy wraz z zadaniami jakie będą obowiązywały w danym horyzoncie planistycznym. PSO działa w systemie ciągłym, czyli nie ma przerw i na bieżąco prowadzi analizę posiadanych danych. Zadaniem PSO jest powiązanie zadań jakie zostały określone (wraz z określonymi terminami) z dostępnymi zasobami oraz ograniczeniami jakie te zasoby posiadają. Zwykle mamy do czynienia z sytuacją gdzie serwisanci mają stałe trasy ustalone na poszczególne dni tygodnia i pod tym kątem weryfikowane są ich możliwości co do przyjęcia kolejnej lokalizacji do serwisu. Optymalizacja planowania i uczenie maszynowe to wbudowana funkcja IFS Cloud umożliwiająca interakcję z IFS Planning and Scheduling Optimization (PSO). IFS PSO zarządza procesem przydzielania czynności (prac, zadań itp.) do zasobów (ludzi, maszyn itp.) w możliwie najbardziej efektywny sposób, zgodnie ze zdefiniowanym zestawem ograniczeń. Najważniejszym elementem IFS PSO jest mechanizm planowania dynamicznego DSE (*ang. Dynamic Scheduling Engine*), który znajduje najlepsze rozwiązanie postawionego mu problemu, przy uwzględnieniu zdefiniowanych ograniczeń. Mechanizm DSE można wykorzystać do optymalizacji tras geograficznych pracowników terenowych, produkcji, rozkładów jazdy i planowania lotów samolotów. Oprócz podstawowych funkcji planowania, IFS PSO obsługuje także szereg dodatkowych funkcji np. funkcje płynnego włączania umówionych terminów do ciągu innych zadań (takich jak naprawy usterek, przerwy w pracy, działania profilaktyczne) przy jednoczesnym zachowaniu maksymalnej elastyczności i efektywności wykorzystania zasobów. Propozycje terminów realizacji są obliczane pod kątem bieżącego obciążenia i obowiązujących w danym przedsiębiorstwie zasad, co gwarantuje skuteczne i efektywne kosztowo harmonogramowanie. Oprogramowanie może zasugerować, które przedziały czasu najlepiej pasują do istniejącego harmonogramu i które są bardziej preferowane ze względu na priorytetowanie zadań. Zarządzanie danymi harmonogramu to miejsce, w którym można skonfigurować dane specyficzne dla harmonogramowania i odwoływać się do nich, a zatem mogą być łatwo dostępne w IFS Cloud. Obejmuje to takie dane jak rodzaje działań, typy umów, regiony, umiejętności, części, szablony spotkań itp. Planowanie zasobów to proces planowania, kiedy zasoby będą działać, tworzenia w ten sposób harmonogramu. Możliwe jest automatyczne utworzenie grafiku w oparciu o zestaw wymagań określających, jakiego rodzaju zasoby są potrzebne i kiedy, a także zasady zapobiegające nadmiernemu wykorzystaniu zasobów. DSE może również automatycznie utworzyć grafik harmonogramu. Planowanie scenariuszy pozwala klientom zobaczyć, jak zmiany w ich działaniach i/lub zasobach wpłyną na ich zdolność do osiągnięcia celów w zakresie wydajności. Ponadto oprogramowanie może sugerować, jakie zmiany można wprowadzić w obecnym zatrudnieniu, aby osiągnąć te cele. Optymalizacja harmonogramu ma na celu osiągnięcie takich KPI jak maksymalizacja wydajności (przy minimalizacji czasu), minimalizacja kosztów, efektywność planowania zasobów ludzkich oraz zapewnienie terminowej realizacji usługi serwisowej.



Rys. 1. Zrzut ekranu prezentujący przykładowe działanie IFS PSO [3]

Konsola dyspozytorska iSWB (*ang. Scheduling Workbench*) (rys. 1) daje użytkownikowi do dyspozycji szereg ekranów roboczych pozwalających na uruchomienie określonych funkcji i zadań. Elastyczność rozwiązania jest widoczna w jego modułowej budowie, umożliwiającej zarówno samodzielną implementację, jak i integrację z istniejącymi systemami w celu utworzenia kompleksowego narzędzia optymalizacyjnego. Elastyczność ta idzie w parze z zaawansowanym mechanizmem planowania dynamicznego IFS Dynamic Scheduling Engine (DSE), który wykorzystuje techniki matematyczne i algorytmy optymalizacji. Ponadto IFS PSO zawiera zaawansowane narzędzie do planowania, „*What If Scenario Explorer*” (WISE), które wspiera podejmowanie strategicznych decyzji, umożliwiając symulację i ocenę potencjalnych zmian operacyjnych przed ich wdrożeniem.

3. Charakterystyka modułu harmonogramowania

Danymi wejściowymi są:

- zasoby (grafiki pracy, dostępność, umiejętności, nieobecności, lokalizacja oraz wymagane części/wyposażenie),
- zadania do realizacji (zlecenia robocze),
- wymagane umiejętności do realizacji zlecenia, priorytety/terminy/umowa),
- reguły (ograniczenia, dostępna sieć drogowa, aktualny ruch uliczny, KPI, dodatkowe potrzebne założenia),

Na podstawie wprowadzanych danych wejściowych i ograniczeń, za pomocą mechanizmu planowania dynamicznego DSE (*ang. Dynamic Scheduling Engine*), znajdowane jest najlepsze rozwiązanie postawionego problemu, przy uwzględnieniu zdefiniowanych ograniczeń (rys. 3). Mechanizm DSE wykorzystuje jeden z 35 zaimplementowanych algorytmów optymalizacji (na przykład symulowane wyżarzanie, algorytm genetyczny, algorytm mrówkowy, algorytm komiwojażera), ale także zastrzeżone algorytmy opracowane przez IFS i przechowywane jako ściśle strzeżone

tajemnice handlowe. W oparciu o wprowadzone informacje mechanizm DSE automatycznie decyduje, który algorytm (algorytmy) jest (są) najbardziej odpowiedni (odpowiednie). Zakłada się, że kombinacja od dwóch do sześciu algorytmów rozwiąże większość problemów. Po wybraniu algorytmów, DSE wykorzystuje meta-heurystykę do dynamicznego dostosowywania parametrów każdego algorytmu do określonych celów biznesowych.

Na wyjściu otrzymujemy: harmonogram wraz z możliwymi wyjątkami.



Rys. 2. Schemat blokowy modułu harmonogramowania [3]

Ewidencja wyjątków (*ang. Exceptions Board*) jest przeznaczona dla planisty lub dyspozytora i zawiera aktualne informacje o potencjalnych problemach ze świadczeniem usług bądź o niespodziewanych sytuacjach. Koncentracja na zdarzeniach wyjątkowych pozwala na podjęcie, z odpowiednim wyprzedzeniem, działań zmierzających do eliminacji problemów na jak najwcześniejszym etapie, zanim spowodują one niezadowolenie klienta.

4. Wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemu

Wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemu (*ang. Analytic Hierarchy Process – AHP*) została opracowana przez Thomasa L. Saaty z Uniwersytetu w Pittsburgu w latach 70. XX wieku [11]. Podstawą AHP jest hierarchiczna dekompozycja kryteriów oceny. Hierarchia ważności w metodzie AHP ma z góry określoną strukturę. Najpierw określa się cel procesu decyzyjnego, następnie ustala się kryteria oceny oraz warianty rozwiązania.

Metoda ta daje możliwość rozbicia złożonego problemu decyzyjnego na poszczególne składowe w których skład wchodzi skończony zbiór wariantów decyzyjnych oraz kryteriów. Działanie to pozwala następnie na przeprowadzenie serii porównań pomiędzy poszczególnymi kryteriami oraz wariantami,

Metoda AHP składa się z kilku zasadniczych etapów. W pierwszym etapie następuje ogólne zdefiniowanie problemu, sprecyzowanie celu nadrzędnego oraz

czynników głównych i cząstkowych, mających wpływ na sposób jego rozwiązania. W drugim etapie następuje skonstruowanie wielopoziomowej struktury hierarchicznej na którą składają się: cel nadrzędny, kryteria główne, kryteria cząstkowe (atrybuty) oraz analizowane warianty. W etapie trzecim obliczane są znormalizowane oceny ważności/jakości poszczególnych elementów hierarchii. Wyznaczane są wagi poszczególnych kryteriów głównych i cząstkowych. Końcowym elementem procesu jest synteza ocen, przedstawiająca wyniki końcowe w postaci priorytetów policzonych dla wariantów decyzyjnych. Wartości priorytetów stanowią podstawę uporządkowania zbioru wariantów i przy czym jako wariant najlepszy uznaje się ten który uzyskał najwyższą wartość priorytetu.

5. Poglądowy przykład z wykorzystaniem IFS PSO

Przykład planowania pracy serwisantów można zilustrować w trzech fazach:

Faza 1. Ogólne zdefiniowanie problemu (dane wejściowe i ograniczenia)

- Obiekty remontowe: każde urządzenie będzie jednocześnie obiektem remontowym dla którego istnieje możliwość wystawienia Zlecenia i Zadania roboczego.
- Rodzaj pracy: określone jest zadanie jakie będzie do wykonania.
- Zasób: jednostka do której przypisywane będą zadania serwisowe, wraz z powiązanymi dodatkowymi informacjami: Atrybuty (attributes), Umiejętności (skills), Harmonogramy pracy.
- Priorytety zadań serwisowych.
- Wyposażenie: narzędzia, urządzenia, środki.
- Regiony, jeżeli konieczne jest przypisanie obszaru działania dla zasobu.
- Precyzyjne współrzędne geolokalizacyjne każdego obiektu serwisowania.
- Lokalizacje, dokładne dane adresowe lokalizacji oddziałów, punktów startowych dla rozpoczęcia i zakończenia serwisu.
- Zmiany, godziny pracy, umowa (konfiguracja na poziomie Zarządzania Zasobami Ludzkimi).
- Stawki kosztowe niezbędne do kalkulacji, koszt jednego kilometra przejazdu.
- Dodatkowe informacje i ograniczenia

Nr zadania	Planow. rozp.	Najwcz. rozp.	>Id_lokalizacji	ID
2078249	25.04.2024 08:00:00	24.04.2024 00:00:00	31379	*
2277117	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	75716	*
2459636	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	1857	*
2461292	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	67672	*
2485847	25.04.2024 08:00:00	26.04.2024 00:00:00	85513	*
2485852	25.04.2024 08:00:00	26.04.2024 00:00:00	85521	*
2463060	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	52691	0:
2462683	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	79473	0:
2462439	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	78645	0:
2442692	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	81747	0:
2460995	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	60384	0:
2460473	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	45361	0:
2459824	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	1857	0:
2461460	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	71110	0:
2460844	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	52229	0:
2462545	25.04.2024 08:00:00	25.04.2024 00:00:00	77736	0:

Rys. 3. Zrzut ekranowy danych wejściowych do IFS PSO [3]

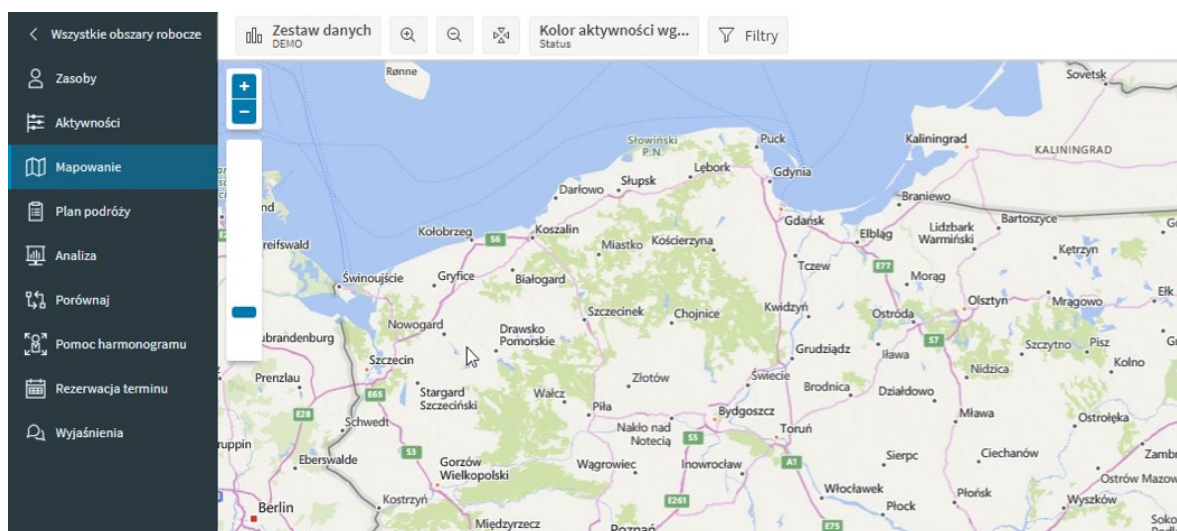
Faza 2. Stworzenie (online) harmonogramu pracy dla serwisanta



Rys. 3. Fragment harmonogramu zadań serwisowych (4 serwisantów) w IFS PSO [3]

Moduł zaawansowanego planowania zasobów (*ang. Advanced Resource Planner – ARP*) będący elementem aplikacji IFS PSO zawiera narzędzia umożliwiające planowanie zadań dla pracowników w sposób automatyczny z możliwością graficznej prezentacji wydajności personelu w czasie. Funkcje planowania mogą działać w oparciu o przewidywane obciążenia, pracę w określonych projektach, albo po prostu służyć do planowania pracy w trybie zmianowym. Podczas opracowywania planów brane są pod uwagę zasady zarządzania zasobami oraz ograniczenia wynikające z przepisów prawa (np. w zakresie dopuszczalnego czasu pracy), a także harmonogramy zmianowe, przerwy w pracy oraz uprawnienia i umiejętności pracowników. Dokonywana jest optymalizacja czasu i trasy dojazdu do miejsca realizacji zlecenia serwisowego.

Faza 3. Dane wyjściowe są prezentowane w formie mapy z naniesioną trasą serwisanta



Rys. 3. Zrzut ekranowy trasy serwisanta [3]

6. Podsumowanie

Problem harmonogramowania pracy serwisantów w terenie jest skomplikowanym problemem optymalizacyjnym. W artykule przedstawiono dedykowane narzędzie IFS PSO (*ang. Planning and Scheduling Optimization*) do planowania i harmonogramowania pracy serwisantów w terenie, które można zintegrować z IFS Cloud. Narzędzie wykorzystuje wielowariantowe podejście do problemu decyzyjnego jakim jest planowanie i harmonogramowanie pracy serwisantów uwzględniając różnego rodzaju ograniczenia i umożliwiając optymalizację decyzji.

Powszechnie zaakceptowanym i wykorzystywanym narzędziem do podejmowania złożonych decyzji w oparciu o znaczną liczbę kryteriów jest wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemu (*ang. Analytic Hierarchy Process*).

Praca została zrealizowana przy wsparciu finansowym Politechniki Śląskiej w ramach dotacji na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego w roku 2024 02/040/BK_24/1056

LITERATURA

1. Aruldoss M., Lakshmi T.M., Venkatesan, V.P.: A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications. American Journal of Information Systems, Vol. 1, No.1, 2013, pp. 31-43.
2. Browne J., Harhen J., Shirnan J. Production Mangement System An Integrated Perspective. Addison Wesley, 1996.
3. Dokumentacja zintegrowanego systemu informatycznego IFS Applications.
4. Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji, PWN 1997.
5. Jacyna M., Turkowski D.: Wybrane aspekty wielokryterialnej oceny doboru środków transportowych w systemach dystrybucji pojazdów, Logistyka 4/2014.

6. Krystek J., Grabalski T.: Modelowanie procesu transportowego, XVI Konferencja Logistyki Stosowanej: Total Logistic Management, Zakopane, 2012 r. [Dokument elektroniczny].
7. Krystek J., Jagodziński M., Rochowiak T.: Harmonogramowanie operacyjne z ograniczeniami w IFS Applications. Polska Akademia Nauk, Instytut Badań Systemowych, Seria: Badania Systemowe, Tom 49, str. 161-173. Warszawa 2006.
8. Krystek J., Jagodziński M.: Planowanie produkcji w złożonym systemie z ograniczonymi zasobami, Logistyka, 2/2010.
9. Mousseau V., Roy B.2005.: Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, Springer Science +Business Media, Inc.
10. Roy B.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji, WNT, Warszawa 1990.
11. Saaty T.L.: The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1998.