

## ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW SZEREGOWANIA ZADAŃ DO AUTOMATYCZNEGO GENEROWANIA PLANU ZAJĘĆ DYDAKTYCZNYCH

### USE OF SCHEDULING ALGORITHMS FOR AUTOMATIC GENERATION OF A TEACHING PLAN

**Elżbieta Milewska**

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28

e-mail: Elzbieta.Milewska@polsl.pl

**Abstract:** Planning of teaching in higher education becomes a big logistical challenge because of the increase in the number of students and academics, as well as expansion of the range of courses. In most cases, lesson plans are based on the teachers working time, classrooms load capabilities and the organization of hours of student's groups. There are not commonly used solutions that include the individual preferences of the student. Individual study path often leads to collisions in teaching plans for students who are simultaneously studying various specialities. This situation results in the formation of additional hours of consulting teachers for students with an individual plan of study. It should be noted that the creation of the teaching plan is the repeated every semester. In large educational institutions planning is carried out with the involvement of a group of people and runs for several weeks. Human is involved in the decision making process of planning, despite the use of supporting tools, because software solutions do not fully meet the requirements. It is desirable to create a tool designed to automate the construction plan. The basis of the system functionality are task scheduling algorithms. The paper presents a mathematical model of the classes scheduling problem to the limited availability of resources and deadlines for the limit of the work.

**Keywords:** Mathematical models, scheduling algorithms, plan of teaching, university.

#### **Wprowadzenie**

Planowanie zajęć dydaktycznych na uczelniach wyższych staje się coraz większym wyzwaniem logistycznym, nie tylko z uwagi na dużą liczbę studentów i wykładowców oraz bogatą ofertę kierunków studiów i szeroki wachlarz przedmiotów wybieralnych, ale przede wszystkim ze względu na rosnącą liczbę studentów uczestniczących w zajęciach w trybie indywidualnym. W zdecydowanej większości przypadków plany zajęć opierane są na perspektywie wykorzystania czasu pracy wykładowcy, możliwościach obciążenia sal dydaktycznych oraz organizacji godzin nauki grup dziekańskich. Powszechnie nie stosuje się

rozwiązań uwzględniających preferencje pojedynczego studenta. Udzielenie zgody na indywidualny tok nauczania, bez uprzedniej weryfikacji kolizyjności zajęć studenta równoległe podejmującego różne kierunki studiów, powoduje konieczność zwolnienia w całości lub częściowo z obowiązku uczestniczenia studenta w zorganizowanych zajęciach grupowych. Niewątpliwie niniejsza sytuacja skutkuje powstawaniem dodatkowych obciążeń wykładowcy w postaci godzin konsultacyjnych przeznaczonych dla studentów z indywidualnym programem studiów.

Należy nadmienić, że budowa planu zajęć dydaktycznych jest zadaniem cyklicznym, powtarzanym semestralnie. W dużych

jednostkach edukacyjnych planowanie odbywa się z zaangażowaniem grupy osób i przebiega nawet przez kilka tygodni. Intensywność zaangażowania człowieka w proces podejmowania decyzji planistycznych, pomimo wykorzystania narzędzi wspomagających, wynika z faktu otrzymywania rozwiązań nie w pełni spełniających postawione wymagania [1, 2]. Z uwagi na praktyczność zastosowania oraz pracochłonność procesu układania zajęć, pożądane jest stworzenie narzędzia informatycznego, automatyzującego budowę planu. Podstawą funkcjonalności owego systemu, wspomagającego harmonogramowanie zajęć dydaktycznych, są algorytmy szeregowania zadań. Poniżej prezentowany jest model matematyczny problemu harmonogramowania zajęć dydaktycznych z ograniczoną dostępnością zasobów i określonymi terminami granicznymi realizacji prac. Schemat poszukiwania rozwiązań charakteryzują etapy prowadzenia obliczeń zgodnie z przedstawianą problematyką.

### Pojęcia podstawowe

Problem szeregowania odwołuje się do dwóch, elementarnych pojęć: zadań oraz zasobów [6]. Zadanie polega na wykonaniu czynności wymagającej zaangażowania określonych zasobów. W podejmowanym przykładzie zadaniami są:

- zajęcia dydaktyczne organizowane dla grup dziekańskich z przedmiotów obowiązkowych wynikających z planu studiów,
  - zajęcia dydaktyczne organizowane dla grup dziekańskich z przedmiotów wybieralnych,
  - zajęcia prowadzone ze studentami posiadającymi indywidualny tok studiów,
  - egzaminy dyplomowe i komisyjne dedykowane wybranym studentom i realizowane przez komisję egzaminacyjną.
- Zasobami wykorzystywanymi przy realizacji powyższych zadań są natomiast:
- wykładowcy,
  - komisje egzaminacyjne stanowiące grupę wykładowców,
  - studenci,
  - grupy dziekańskie,
  - pomieszczenia dydaktyczne.

Wszystkie wyróżnione zasoby należą do kategorii odnawialnych i posiadają ograniczenie strumienia dostępności. Posiadają również cechy charakterystyczne opisane poniżej, które

jako zadeklarowane ograniczenia muszą zostać uwzględnione w otrzymywanym rozwiązaniu.

Przez  $w$  oznaczony zostanie wykładowca należący do zbioru pracowników uczelni posiadających uprawnienia do prowadzenia zajęć dydaktycznych  $W = \{1, 2, \dots, w\}$ . Przez  $s$  oznaczono studenta, którego obowiązuje aktywny udział we wszystkich formach przydzielonych zadań, czyli zajęciach dydaktycznych z przedmiotów obowiązkowych i fakultatywnych, oraz egzaminach zawartych w planie zajęć generowanym personalnie. Przyporządkowanie studenta do grupy dziekańskiej  $g$  zapisano w postaci macierzy:

$$B = [\beta_{s,g}], \quad (1)$$

gdzie:

$$\beta_{s,g} \in \{0,1\},$$

$$\forall \left( \sum_{s=1}^G \beta_{s,g} \geq 1 \right).$$

Istotnym elementem wyznaczania rozwiązań końcowych, stanowiących spersonalizowane plany zajęć, są preferencje uczestników. W związku z powyższym zdefiniowana została:

-macierz priorytetowych terminów wykładowcy mająca postać:

$$\Gamma = [\varphi_{w,t}], \quad (2)$$

gdzie:

$$\varphi_{w,t} \in \{0,1,2\},$$

-macierz indywidualnych preferencji studenta o postaci:

$$\Psi = [\psi_{s,t}], \quad (3)$$

gdzie:

$$\psi_{s,t} \in \{0,1\},$$

- macierz preferencji czasowych grupy dziekańskiej jako zależność:

$$Y = [\nu_{g,t}], \quad (4)$$

gdzie:

$$\nu_{g,t} = \sum_{s=1}^S (\beta_{s,g} \cdot \psi_{s,t}).$$

W niniejszym opracowaniu miejsce realizacji zajęć dydaktycznych oznaczone zostało symbolem  $m$  i w dalszej części artykułu określane będą mianem sali. Każda z sal zlokalizowanych w budynkach uczelni posiada określony limit miejsc  $K = [k_m]$ , który związany jest z maksymalną ilością studentów równocześnie uczestniczących w zorganizowanej formie zajęć.

Ze względu na końcową użyteczność projektowanego narzędzia informatycznego, automatyzującego budowę planu, zdecydowano się na dyskretyzację czasu i ustalono stały interwał czasowy realizacji zadań. Niniejsze założenie umożliwiło ustalenie liczby możliwych terminów rozpoczęcia zadań w ciągu dnia. Symbolem  $d_t$  oznaczono numer bloku dydaktycznego (momentu czasowego w ciągu dnia) realizowanego w wyznaczonym terminie  $t$ . Przyjęto również dodatkowe ograniczenie związane z brakiem możliwości podziału bloków dydaktycznych (pełne przywłaszczenie).

Poniżej przedstawione zostaną modele harmonogramu zadań budowane dla:

- grup dziekańskich uczestniczących w zorganizowanych zajęciach dydaktycznych:
  - z przedmiotów obowiązkowych wynikających z planu studiów,
  - z przedmiotów wybieralnych,
- indywidualnego studenta:
  - posiadającego udzieloną zgodę na indywidualny tok studiów,
  - podejmującego egzamin dyplomowy lub komisyjny przed komisją egzaminacyjną.

### Model planu zajęć dydaktycznych z przedmiotów obowiązkowych

Symbolem  $p$  oznaczony został przedmiot nauczania, który stanowiąc zagadnienie podstawowe w podejmowanej problematyce, posiada przypisany układ treści merytorycznych, zdefiniowaną liczbę godzin przeznaczonych na szkolenie oraz określoną formę przekazywania wiedzy, do której zalicza się wykład, seminarium, laboratorium lub ćwiczenia. Jest on pomocny w sformułowaniu modelu planu zajęć dydaktycznych. Uporządkowany ciąg wartości zmiennych reprezentujących: przedmiot nauczania, wykładowcę realizującego działania dydaktyczne, grupę dziekańską, której dedykowana jest zorganizowana forma zajęć, oraz moment czasu i miejsce przekazywania wiedzy, przyjął następującą postać:

$$X_e = \langle p_e, w_e, g_e, d_{t_e}, m_e \rangle. \quad (5)$$

Zauważmy, że zmiana kolejności występowania zmiennych nie ma wpływu na rozwiązanie problemu.

Liczba zajęć przeznaczonych w semestrze na przedmiot oraz interwał czasowy pojedynczego

bloku dydaktycznego wymusiły zdefiniowanie przyporządkowania przedmiotu nauczania do grupy dziekańskiej oraz wykładowcy w postaci:

$$\Omega = [\omega_{p,g}], \quad (6)$$

gdzie:

$$\omega_{p,g} = \begin{cases} 0; & \text{gdy brak zlecenia na wykonanie} \\ w; & \text{gdy wykonawcą jest wykładowca} \end{cases}$$

Weryfikacja liczby zajęć dydaktycznych organizowanych dla grup dziekańskich z przedmiotów obowiązkowych, odbywających się w wybranym okresie planistycznym, oparta została na zależności:

$$E = \sum_{g=1}^G \sum_{p=1}^P \left( b_{p,g} = \begin{cases} 1; & \text{gdy } \omega_{p,g} > 0 \\ 0; & \text{gdy } \omega_{p,g} = 0 \end{cases} \right). \quad (7)$$

Model powinien uwzględniać również czasową dostępność wykładowcy zapisaną w postaci:

$$\forall_e (\varphi_{w_e, t_e} > 0). \quad (8)$$

Innymi ograniczeniami warunkującymi sposób wykonania zadań są:

- brak możliwości równoczesnego obciążenia wykładowcy w jednym bloku dydaktycznym zadaniami realizowanymi dla różnych grup dziekańskich:

$$\forall_{e_1} \forall_{e_2} (e_2 > e_1) (w_{e_1} = w_{e_2}) \Rightarrow (d_{t_{e_1}} \neq d_{t_{e_2}}), \quad (9)$$

- brak możliwości przypisania grupie dziekańskiej dwóch zajęć dydaktycznych trwających jednocześnie (równolegle):

$$\forall_{e_1} \forall_{e_2} (e_2 > e_1) (g_{e_1} = g_{e_2}) \Rightarrow (d_{t_{e_1}} \neq d_{t_{e_2}}), \quad (10)$$

- brak możliwości przypisania grupie dziekańskiej dwóch zajęć dydaktycznych z jednego przedmiotu w ciągu jednego dnia:

$$\forall_{e_1} \forall_{e_2} (e_2 > e_1) (\omega_{p, g_{e_1}} = \omega_{p, g_{e_2}}) \Rightarrow (t_{e_1} \neq t_{e_2}), \quad (11)$$

- brak możliwości przypisania jednej sali do dwóch zajęć dydaktycznych trwających jednocześnie:

$$\forall_{e_1} \forall_{e_2} (e_2 > e_1) (d_{t_{e_1}} = d_{t_{e_2}}) \Rightarrow (m_{e_1} \neq m_{e_2}). \quad (12)$$

Odrębną grupę problemową ograniczeń stanowią zagadnienia związane z miejscem realizacji zajęć dydaktycznych. Biorąc pod uwagę limit stanowisk nauczania w sali, czyli maksymalną liczbę studentów równocześnie uczestniczących w zorganizowanej formie zajęć dydaktycznych w wytypowanym obszarze uczelni, oraz liczebność grupy dziekańskiej podejmującej nauczanie, konieczne stało się sformułowanie następującego warunku:

$$\forall_e \left( \sum_{s=1}^S \beta_{s,g_e} \leq k_{m_e} \right). \quad (13)$$

Należy również zauważyć, że forma przekazywania wiedzy, do której zalicza się wykład, seminarium, laboratorium lub ćwiczenia, może wymuszać wykorzystanie podczas zajęć dydaktycznych specjalistycznego sprzętu. Oczywiście jest, że nie każde wyposażenie posiada cechy umożliwiające jego przenoszenie. Niejednokrotnie z uwagi na instalację lub zabezpieczenie, dostęp do niniejszego sprzętu jest ograniczony poprzez lokalizację użytkownika. W związku z powyższym konieczne stało się zbudowanie macierzy dopuszczeń realizacji przedmiotu nauczania w sali:

$$\Xi = \left[ \xi_{p,m} \right], \quad \xi_{p,m} \in \{0,1\}. \quad (14)$$

Przyjęto, że zajęcia dydaktyczne będą realizowane w wybrany miejscu po spełnieniu następującego warunku:

$$\forall_e \left( \xi_{p_e, m_e} = 1 \right). \quad (15)$$

Funkcja celu wyznaczanego planu zajęć dydaktycznych z przedmiotów obowiązkowych zbudowana została w oparciu o sumę iloczynu priorytetowych terminów wykładowcy i preferencji czasowych grup dziekańskich, i przyjęła postać:

$$F_1 = \sum_{e=1}^E \left( \varphi_{w_e, t_e} \cdot \nu_{g_e, t_e} \right) \rightarrow \max. \quad (16)$$

### Model planu zajęć dydaktycznych z przedmiotów wybieralnych

Planowanie zajęć dydaktycznych z przedmiotów fakultatywnych poprzedza deklaracja wyboru składana przez grupę dziekańską. Wybór dokonywany jest z pośród przedłożonego zbioru przedmiotów dodatkowych, prowadzonych przez ściśle określonych wykładowców. Decyzja zapisywana jest w postaci:

$$H = \left[ \gamma_{p,g} \right], \quad (17)$$

gdzie:

$$\gamma_{p,g} = \begin{cases} 0; & \text{gdy brak zlecenia na wykonanie} \\ w; & \text{gdy wykonawcą jest wykładowca} \end{cases}$$

Podstawowym kryterium wyboru przedmiotu jest liczba punktów przyznawanych studentowi po uzyskaniu zaliczenia, zdefiniowana na podstawie ceny trudności przekazywanych

treści nauczania. Każdy przedmiot posiada dedykowaną liczbę punktów:

$$\Lambda = \left[ \lambda_p \right], \quad (18)$$

gdzie:

$$\lambda_p \in \{1, \dots, \kappa\}.$$

Warunkiem zatwierdzenia deklaracji grupy dziekańskiej jest uzyskanie w okresie planistycznym ilości punktów mieszczącej się w przedziale  $\langle n_{\min}, n_{\max} \rangle$ . Wzwiązku z powyższym zależność warunkująca opcjonalność realizacji zajęć zapisywana zostaje w postaci:

$$\forall_g \left( \sum_{p=1}^P \left( n_p = \begin{cases} \lambda_p, & \text{gdy } \gamma_{p,g} \neq 0 \vee \omega_{p,g} \neq 0 \\ 0, & \text{gdy } \gamma_{p,g} = 0 \wedge \omega_{p,g} = 0 \end{cases} \right) \in \langle n_{\min}, n_{\max} \rangle \right) \quad (19)$$

Weryfikacja liczby zajęć dydaktycznych organizowanych dla grup dziekańskich z przedmiotów fakultatywnych, odbywających się w wybranym okresie planistycznym, oparta została na zależności:

$$E = \sum_{g=1}^G \sum_{p=1}^P \left( h_{p,g} = \begin{cases} 1; & \text{gdy } \gamma_{p,g} \neq 0 \\ 0; & \text{gdy } \gamma_{p,g} = 0 \end{cases} \right). \quad (20)$$

Ponadto model matematyczny problemu harmonogramowania zajęć dydaktycznych z przedmiotów wybieralnych powinien spełniać ograniczenia (8) - (15), funkcją celu jest analogicznie (16).

### Model planu zajęć indywidualnego studenta

Indywidualny tok nauczania oraz ponowne uczestniczenie studenta w zajęciach dydaktycznych z przedmiotu, spowodowane brakiem uzyskania zaliczenia w semestrach wcześniejszych, są głównymi przyczynami tworzenia planu zajęć z uwzględnieniem preferencji personalnych studenta. Biorąc pod uwagę ograniczoną dostępność zasobów kadrowych uczelni, założono, że indywidualna organizacja nauczania studenta oparta zostanie na planach zajęć dydaktycznych istniejących już grup dziekańskich. W tym celu wykorzystane zostaną grupy o liczebności nieprzekraczającej wartości dopuszczalnej, ustalonej zarządzeniem Rektora. Model planu zajęć dydaktycznych studenta zapisywany został poprzez następujące zmienne decyzyjne:

$$X_e = \left\langle p_e, w_e, s_e, d_{t_e}, m_e \right\rangle. \quad (21)$$

Zmiana kolejności występowania zmiennych nie ma wpływu na rozwiązanie problemu.

Akceptacja deklaracji studenta w zakresie wykazu realizowanych przez niego przedmiotów stanowi podstawę dopuszczenia wnioskującego do uczestnictwa w zajęciach dydaktycznych. W związku z potrzebą potwierdzenia wykonalności niniejszych decyzji zbudowano następującą zależność:

$$\Phi = \lfloor \phi_{p,s} \rfloor, \quad (22)$$

gdzie:

$$\phi_{p,s} = \begin{cases} 0 & ; \text{gdystudentnie realizuje przedmiotu} \\ 1 & ; \text{student uczeszcza na zajęcia przedmiotu} \end{cases}$$

Weryfikacja liczby zajęć dydaktycznych organizowanych dla grup dziekańskich, odbywających się w wybranym okresie planistycznym, w których analizowany student uczestniczy, jako dodatkowy uczestnik szkolenia, oparta została na zależności:

$$E = \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \left( \eta_{p,s} = \begin{cases} 1 & ; \text{gdystudentnie realizuje przedmiotu} \\ 0 & ; \text{gdystudentnie uczeszcza na zajęcia przedmiotu} \end{cases} \right). \quad (23)$$

Innymi ograniczeniami warunkującymi sposób wykonania zadań są:

- brak możliwości przypisania studenta do dwóch zajęć dydaktycznych trwających jednocześnie (równolegle):

$$\forall_{e_1, e_2 > e_1} (s_{e_1} = s_{e_2}) \Rightarrow (d_{t_{e_1}} \neq d_{t_{e_2}}), \quad (24)$$

- brak możliwości przypisania studenta do zajęć organizowanych dla grup dziekańskich o liczebności równej wartości dopuszczalnej, zgodnie z zarządzeniem władz uczelni:

$$\forall_g \left( \sum_{s=1}^S \beta_{s,g} \leq \delta_g \right), \quad (25)$$

gdzie:

$$\Delta = \lfloor \delta_g \rfloor - \text{macierz dopuszczalnej}$$

liczebności studentów w grupie dziekańskiej

- uzyskanie przez studenta liczby punktów, definiowanych na podstawie ceny trudności merytorycznej treści przedmiotu, mieszczącej się w akceptowalnym przedziale wartości:

$$\forall_s \left( \sum_{p=1}^P \left( n_p = \begin{cases} \lambda_p & , \text{gdystudentnie realizuje przedmiotu} \\ 0 & , \text{gdystudentnie uczeszcza na zajęcia przedmiotu} \end{cases} \right) \in \langle n_{\min}, n_{\max} \rangle \right). \quad (26)$$

Ponadto model matematyczny problemu harmonogramowania zajęć dydaktycznych indywidualnego studenta powinien spełniać

ograniczenia (8) - (15), natomiast funkcja celu przyjmuje w tym układzie następującą postać:

$$F_2 = \sum_{e=1}^E (\varphi_{w_e, t_e} \cdot \psi_{s_e, t_e}) \rightarrow \max. \quad (27)$$

## Model planu egzaminów dyplomowych i komisyjnych

Na potrzeby niniejszych rozważań, egzamin komisyjny lub dyplomowy zdefiniowany został, jako zdarzenie odbywające się w czasie  $d_t$  umożliwiające sprawdzenie wiedzy i umiejętności studenta  $s$  z przedmiotu  $p$ , w którym uczestniczy trójosobowa komisja. Matematyczny opis modelowanego zagadnienia przedstawia się, jako uporządkowany ciąg wartości:

$$X_e = \langle p_e, w_{1,e}, w_{2,e}, w_{3,e}, s_e, d_{t_e}, m_e \rangle. \quad (28)$$

W skład komisji wchodzi: przewodniczący, wykładowca przedmiotu oraz specjalista obszaru wiedzy objętego egzaminem. Zakłada się również, że:

$$w_{1,s} \neq w_{2,s} \neq w_{3,s}. \quad (29)$$

Funkcją celu niniejszego zagadnienia, uwzględniającą jedynie preferencje wykładowców, jest:

$$F_3 = \sum_{s=1}^S H_s \rightarrow \max, \quad (30)$$

gdzie:

$$H_s = \varphi_{w_{1,s}, t_s} + \varphi_{w_{2,s}, t_s} + \varphi_{w_{3,s}, t_s}.$$

## Podsumowanie

Harmonogramowanie cyklicznych zajęć dydaktycznych oraz semestralnych egzaminów dyplomowych wiąże się z poszukiwaniem rozwiązań uwzględniających rozstrzygnięcie konfliktów zasobowych poprzez poszukiwanie struktur, które przy zadanych regułach gwarantują uzyskanie ilościowych i jakościowych parametrów wielokryterialnej funkcji celu. Ograniczenie liczby generowanych rozwiązań może przebiegać poprzez wprowadzenie dodatkowych ograniczeń modelu lub poprzez wykorzystanie heurystyk eliminacji stanów nieperspektywicznych [3, 4, 5]. Dodatkowymi ograniczeniami modelu mogą być między innymi: dzienna kompensacja zajęć wykładowcy lub grupy dziekańskiej, określona kolejność realizacji przedmiotów, itp.

Matematyczny opis modelowanego zagadnienia, obejmującego harmonogramowanie zajęć dydaktycznych organizowanych dla grup dziekańskich z przedmiotów obligatoryjnych i fakultatywnych jak również uwzględniającego preferencje indywidualnego studenta, posłużył do stworzenia implementacji automatyzującej budowę planu. Wykorzystano w tym celu środowisko programistyczne C++. Weryfikacja

użyteczności rozwiązania wykazała znaczne odciążenie zaangażowania człowieka w proces podejmowania decyzji planistycznych. Z uwagi jednak na fakt dysponowania rozwiązaniem nie w pełni opisującym występujące w procesie ograniczenia, wykorzystanie niniejszego narzędzia informatycznego zostało przeznaczone obecnie do działań wspomagających, a nie zastępujących pracę człowieka.

### Bibliografia

1. Banaszak Z., Bocewicz G., Wójcik R., *Zastosowanie technik programowania z ograniczeniami do rozstrzygnięcia konfliktów zasobowych w ESP*. Inżynieria Maszyn, t.1, 2006, s. 87-99.
2. Banaszak Z., Kłós S., Młeczko J., *Zintegrowane systemy zarządzania*, PWE, Warszawa 2011.
3. Janiak A., *Wybrane problemy i algorytmy szeregowania zadań i rozdziału zasobów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1999.
4. Józefczyk J., *Wybrane problemy podejmowania decyzji w kompleksach operacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
5. Marecki F., *Modele matematyczne i algorytmy alokacji operacji i zasobów na linii montażowej*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986.
6. Smutnicki Cz., *Algorytmy szeregowania zadań*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.

*Praca wykonana w ramach pracy statutowej BK-223/ROZ3/2015 realizowanej w Instytucie Inżynierii Produkcji Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.*