

ZARZĄDZANIE KOMPETENCJAMI W PLANOWANIU OBSADY ZAJĘĆ DYDAKTYCZNYCH NA UCZELNI WYŻSZEJ

Eryk SZWARC, Grzegorz BOCEWICZ

Streszczenie: Przy doborze nauczycieli do przedmiotów dąży się do racjonalnego wykorzystania kompetencji, które w ramach wyznaczonej obsady zajęć zapewni pożądaną jakość kształcenia przy założonych kosztach związanych z jej wyborem. Celem pracy jest przegląd stanu badań w obszarze problemu zarządzania kompetencjami, a w szczególności planowania obsady zajęć dydaktycznych (ang. Teacher Assignment Problem - TAP). Przedstawione rozważania koncentrują się wokół: sposobów modelowania problemu obsady zajęć dydaktycznych, doboru kryterium oceny kompetencji w modelach problemu obsady zajęć, modeli kompetencji, zmiennego w czasie poziomu kompetencji.

Słowa kluczowe: obsada zajęć, kompetencje, zarządzanie kompetencjami, TAP

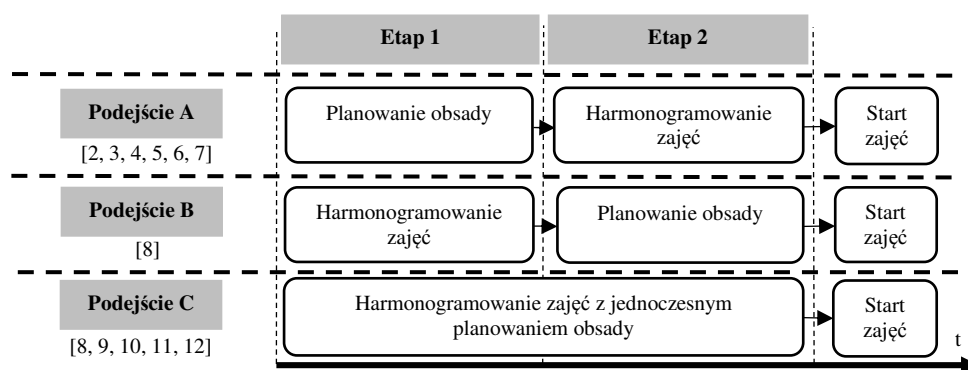
1. Wstęp

Z praktyki dnia codziennego oraz dostępnej literatury przedmiotu [1, 2, 3] wynika, że coroczny proces organizacji i planowania zajęć dydaktycznych w uczelniach wyższych wiąże się z problemami: obsady zajęć (mówiąc zamiennie przydziałem nauczycieli do kursów, ang. teacher assignment) oraz harmonogramowania tych zajęć (ang. timetabling/scheduling). Wyznaczenie obsady determinuje to jaki nauczyciel, który kurs będzie prowadził, przy uwzględnieniu takich czynników jak: kompetencje i preferencje nauczycieli, wymiar czasu pracy „przy tablicy”, itp. Z kolei w harmonogramowaniu zajęć (utożsamianym z określeniem: układania planu zajęć) istotny jest sposób ułożenia spotkań zajęciowych w tzw. oknach czasowych (najczęściej w tygodniowym horyzoncie czasu). Poszukiwany harmonogram powinien być pozbawiony konfliktów/nakładek takich jak: nauczyciel nie może prowadzić dwóch spotkań równocześnie, sala nie może być zajęta przez więcej niż jedno spotkanie, jedna grupa studencka w danym oknie czasowym może odbywać tylko jedno spotkanie zajęciowe, itp. [2].

Obydwa problemy są rozwiązywane w różnej kolejności. Najczęściej pierwszym etapem jest planowanie obsady, po czym następuje etap harmonogramowania [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Nieliczne prace [8] sygnalizują możliwość podejścia odwrotnego sprowadzającego się w pierwszym kroku do ułożenia spotkań zajęciowych w oknach czasowych, a następnie do obsadzenia spotkań dostępnymi nauczycielami. W tym przypadku, główną trudnością jest uwzględnienie preferencji (względem prowadzenia poszczególnych kursów, czasu prowadzenia zajęć, itp.) i kompetencji nauczycieli (względem posiadanej wiedzy do prowadzenia określonych zajęć) i zaadaptowanie ich do istniejącego już harmonogramu. Nie brakuje również podejść, w których równocześnie uwzględnia się obsadę zajęć oraz ich rozkład w czasie [8, 9, 10, 11, 12]. Idee przedstawionych podejść zilustrowano na rys. 1.

Warto zauważyć, że oddzielne stawianie i rozwiązywanie omawianych problemów (podejścia A i B z rys. 1) służy zredukowaniu złożoności obliczeniowej [1, 3]. Dekompozycja procesu decyzyjnego na kilka sekwencyjnie analizowanych etapów pozwala na ograniczenie przestrzeni przeszukiwań (zmniejszenie złożoności obliczeniowej

rozważanych problemów), jednak jednocześnie może skutkować utratą ogólności i tym samym wykluczeniem z przestrzeni przeszukiwań pewnej części rozwiązań dopuszczalnych. W praktyce oznacza to możliwość pominięcia lepszych rozwiązań niż te uzyskane w wyniku podejścia równoległego (podejście C z rys. 1).



Rys. 1. Różne podejścia do organizacji zajęć dydaktycznych
 Źródło: opracowanie własne

Niniejsza praca koncentruje się na zagadnieniach planowania obsady zajęć skojarzonych z etapem 1 podejścia A (wg. rys. 1). Oznacza to, że wyznaczenie harmonogramu (w etapie 2) spełniającego zadane oczekiwania (np. brak „okienek” między zajęciami, równomierne obciążenie sal, itp.) staje się uzależnione od przyjętego przydziału nauczycieli do prowadzonych przez nich zajęć.

Jednym z kluczowych kryteriów obsady zajęć są posiadane przez nauczycieli kompetencje. Kompetencje rozumiane są jako zbiór wiedzy, doświadczenia, umiejętności; elementów umożliwiających prowadzenie zajęć dydaktycznych związane obszarem tematycznym określonego przedmiotu. Indywidualne kompetencje poszczególnych nauczycieli składają się na **strukturę kompetencji** pozostającego w dyspozycji zespołu kadry akademickiej. Kompetencje zespołu w sposób naturalny determinują jego możliwości w zakresie prowadzenia określonej grupy zajęć oraz kosztów z nią związanych.

W tym kontekście, dostępne opracowania, uwzględniające w swoich modelach struktury kompetencji zespołów, pozwalają odpowiadać na typowe pytania związane z oceną potencjału kadrowego danej jednostki organizacyjnej (Instytutu/Wydziału/Uczelni) i szacowaniem kosztów obsady zajęć, tzn. zagadnieniami z obszaru **analizy struktur kompetencji**, jak np.:

Czy dany zespół nauczycieli, o określonych kompetencjach, gwarantuje obsadę zajęć spełniając przyjęte ograniczenia? Jeśli tak to, jaki jest koszt takiej obsady zajęć?

a także na pytania związane z możliwością **wzmocnienia potencjału** posiadanej kadry tzn. zagadnieniami z obszaru **syntezy struktur kompetencji** (w literaturze spotyka się nieliczne prace z tego zakresu), np.:

Czy planowane doszkolenie nauczycieli zagwarantuje obsadę zajęć spełniającą przyjęte ograniczenia? Jeśli tak to, których nauczycieli, w jakich kompetencjach należy doszkolić?

Nabywanie kompetencji wymaga czasu i może generować koszty. Oznacza to, że pytania związane ze wzmocnieniem potencjału struktury kompetencji dostępnej kadry mogą przyjmować postać:

Jak długo będzie trwało doksztalcenie i/lub ile będzie ono kosztowało? Których pracowników doksztalcić, aby w jak najkrótszym czasie i/lub jak najmniejszym kosztem zapewnić pożądaną obsadę zajęć?

Przyjmuje się, że każdy pracownik nabywa kompetencje z różną efektywnością/szybkością. Jest to podyktowane tym, że każdy człowiek posiada różny temperament, typ osobowości, itp. Poza tym, na tempo uczenia się wpływa stan posiadanych kompetencji. Inaczej mówiąc, pracownicy posiadający kompetencje w danym obszarze łatwiej/szybciej nabywają nowe kompetencje z tego obszaru niż pracownicy nie posiadający w danym obszarze żadnych kompetencji. Zjawisko to było dotychczas uwzględniane w pracach dotyczących nabywania kompetencji pracowników w obszarze produkcji [13] i w organizacjach zorientowanych na projekt [14]. Rozważania tego rodzaju stanowią istotną lukę w obszarze problemu obsady zajęć dydaktycznych.

W tym kontekście, celem przeglądu wybranych modeli i metod wykorzystywanych w rozwiązywaniu problemów obsady zajęć dydaktycznych jest analiza sposobów modelowania i planowania rozwoju kompetencji zawodowych pracowników akademickich. Z kolei, liczne odwołania do określeń anglojęzycznych mają na celu usystematyzowanie stosowanych pojęć i terminów, wykorzystywanych w omawianym obszarze.

Kolejny rozdział wprowadza sformułowanie problemu planowania obsady zajęć dydaktycznych. Główną część pracy zawarta jest w rozdziale 3 przedstawiającym stan badań z zakresu literatury przedmiotu. Ostatnia część (rozdział 4) zawiera wnioski i wskazanie kierunku dalszych prac.

2. Sformułowanie problemu obsady zajęć dydaktycznych

W ogólnym przypadku, problem obsady zajęć dydaktycznych sprowadza się do przydziału zasobów (nauczycieli) do czynności (grup zajęciowych). Opracowany przydział musi gwarantować spełnienie ograniczeń wynikających z: określonych limitów pracy dydaktycznej nauczycieli, minimum kadrowego dla prowadzonych kierunków, prowadzenia zajęć przez nauczycieli z odpowiednim stopniem/tytułem naukowym, itp. W dalszych rozważaniach przyjmuje się poniższą, formalną definicję **Problemu Obsady Zajęć (POZ)** akcentującą rolę struktury kompetencji dostępnej kadry nauczycielskiej.

Dany jest zbiór przedmiotów do zrealizowania w danym roku akademickim. Odbywają się one w semestrze zimowym lub letnim. Każdy przedmiot ma określoną formę zajęć (wykład, ćwiczenia, laboratorium, projekt, seminarium). Każdy przedmiot (o określonej formie) ma zadaną liczbę grup zajęciowych (ang. course sections, class). Każda grupa zajęciowa ma do zrealizowania przyjętą liczbę spotkań zajęciowych (potocznie zajęć). Każde spotkanie zajęciowe ma przypisaną liczbę godzin do zrealizowania (ang. teaching credits).

Dany jest zbiór nauczycieli. Każdy nauczyciel posiada zbiór kompetencji (ang. competency, skills, qualifications) do prowadzenia określonych przedmiotów/spotkań zajęciowych. Zbiór opisany jest binarnie (może/nie może prowadzić określony przedmiot). Kompetencje poszczególnych nauczycieli składają się na **strukturę kompetencji** całego zespołu (zbioru nauczycieli).

Kompetencje członków zespołu mogą się zmieniać. Wynikająca z tego **zmiana w strukturze** rozumiana jest jako uzyskanie przez co najmniej jednego pracownika nowych kompetencji umożliwiających prowadzenie określonego przedmiotu (grupy przedmiotów). Ponadto każdy nauczyciel posiada stopień/tytuł zawodowy (profesor, doktor, magister, inżynier) oraz ma przypisany określony wymiar (przedział od-do, zwany potocznie pensum

dydaktycznym, ang. teaching load, teaching credits, work limit) godzin spotkań zajęciowych do zrealizowania w ciągu roku akademickiego.

Przez **dopuszczalną obsadę zajęć** rozumie się taki przydział nauczycieli do poszczególnych spotkań zajęciowych, dla którego spełnione są następujące **ograniczenia**:

- każde spotkanie zajęciowe może prowadzić tylko jeden kompetentny nauczyciel,
- zbiór wszystkich spotkań zajęciowych określonej grupy może prowadzić nie więcej niż trzech nauczycieli,
- wykłady i seminaria mogą prowadzić tylko profesorowie i doktorzy,
- pensum dydaktyczne każdego nauczyciela powinno być zagwarantowane,
- wszystkie spotkania zajęciowe muszą zostać przydzielone do nauczycieli,
- inne (wynikające z indywidualnych potrzeb uczelni/podstawowych jednostek organizacyjnych).

Wymienione wyżej ograniczenia nie obejmują oczywiście wszystkich możliwych, jak np. ograniczeń dotyczących dziennego/tygodniowego/miesięcznego wymiaru czasu pracy (istotne w problemie harmonogramowania, etap 2 podejście A z rys. 1).

W kontekście tak przedstawionego modelu można formułować następujące **pytania**:

- 1) Czy istnieje dopuszczalna obsada zajęć?
- 2) Czy istnieje struktura kompetencji gwarantująca dopuszczalną obsadę zajęć?
- 3) Czy zadana liczba zmian w strukturze kompetencji gwarantuje dopuszczalną obsadę zajęć?
- 4) Jaka minimalna liczba zmian w strukturze kompetencji gwarantuje dopuszczalną obsadę zajęć?

POZ formułowany dla tych założeń może mieć charakter decyzyjny (pytania 1-3) lub optymalizacyjny (pytanie 4). Należy zwrócić uwagę, że pytania 2-4 sprowadzają się do syntezy struktury kompetencji.

Kolejny rozdział ma na celu porównanie istniejących modeli problemu obsady zajęć dydaktycznych oraz wskazanie podobieństw i różnic między nimi a modelem POZ. Szczególna uwaga skupiona jest na sposobach modelowania kompetencji kadry akademickiej.

3. Stan wiedzy

POZ zdefiniowany w poprzednim rozdziale klasyfikuje go w etapie 1 podejścia A (rys. 1). Różne odmiany tak rozumianego problemu są przedmiotem intensywnych badań zarówno w obszarze zarządzania [15, 16] jak i informatyki [2, 4, 5, 8, 10, 17]. POZ znany jest w literaturze także pod nazwą Problem Przydziału Nauczycieli (ang. Teacher Assignment Problem – TAP) [2, 5, 8, 6, 18] lub rzadziej, nazwą problemu Dystrybucji Usług Nauczania (ang. Teaching Service Distribution – TSD) [4]. Spotyka się również opracowania, w których obsada zajęć traktowana jest jako synonim konstruowania/układania planów zajęć (ang. timetabling) lub harmonogramowania zajęć (ang. scheduling). Ponadto istnieje wiele prac umiejscawiających problem obsady zajęć w klasie problemów harmonogramowania. W związku z tym konieczne jest usystematyzowanie pojęć i wskazanie gdzie na tle ww. klasyfikacji lokuje się POZ.

Jednym z przykładów jest praca [19], w której problem harmonogramowania zajęć (tak uniwersyteckiego jak i szkół niższego szczebla) wyróżnia pięć podproblemów:

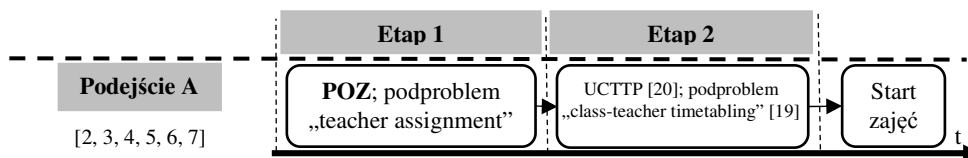
- 1) Przydział nauczycieli (ang. teacher assignment) – dotyczy tylko przydziału nauczycieli do przedmiotów, bez uwzględnienia tego kiedy (w jakim dniu, o jakiej

godzinie) i gdzie (w jakiej sali) będą odbywać się zajęcia. Celem jest maksymalne spełnienie preferencji kadry dydaktycznej.

- 2) Class-teacher timetabling – dotyczy głównie szkół niższego szczebla i obejmuje układanie planów zajęć (spotkań zajęciowych w czasie) zapewniające brak kolizji tak nauczycieli jak i/lub sal/laboratoriów, dla wcześniej ustalonej obsady zajęć.
- 3) Course timetabling – obejmuje harmonogramowanie kursów w czasie oraz zbiorze sal umożliwiających ich prowadzenie, uwzględniające ograniczenia wynikające z dostępności pracowników, sal/laboratoriów.
- 4) Student scheduling – ten typ planowania zakłada, że w pierwszej kolejności to studenci wybierają kursy, którymi są zainteresowani, a w drugiej kolejności dokonywane jest harmonogramowanie grup zajęciowych, uwzględniające ograniczenia wynikające z pojemności sal/laboratoriów oraz ograniczenia wynikające z kolizji typu: tylko jedna grupa zajęciowa może mieć prowadzone zajęcia przez tego samego prowadzącego, w tej samej sali i/lub w tym samym czasie.
- 5) Classroom assignment – po ułożeniu spotkań zajęciowych w oknach czasowych, następuje ich przydzielenie do pomieszczeń, w których będą się mogły odbywać (uwzględniając potrzeby takie jak wyposażenie, pojemność, itp.).

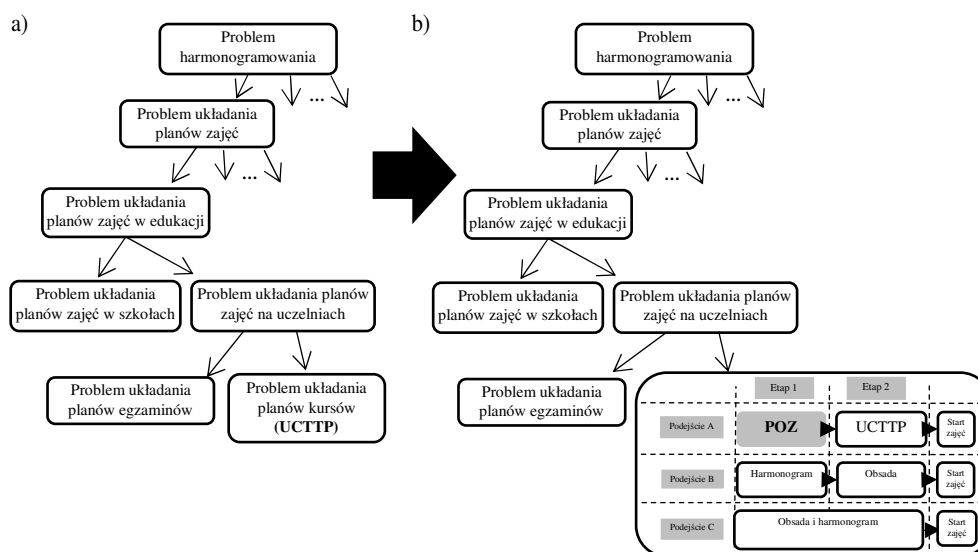
W porównaniu do dwóch wcześniej wymienionych tzn. obsady zajęć i ich harmonogramowania, widać wyraźnie, że problem 1) należy do wcześniej zdefiniowanej klasy POZ, tzn. sprowadza się do przydzielenia nauczycieli do przedmiotów, bez wskazania miejsca i czasu spotkań. Natomiast problemy 2) - 5), są problemami harmonogramowania. W przedstawionej klasyfikacji brakuje wskazania kolejności rozwiązywania podproblemów. Biorąc pod uwagę, że znany jest przydział nauczycieli do zajęć można jedynie uznać, że rozwiązanie problemu 2) jest warunkowane rozwiązaniem problemu 1). Pozostałe problemy (3 - 5) mogą być rozwiązywane niezależnie.

Jeszcze inny sposób taksonomii problemów obsady zajęć zaproponowano w pracy [20] przedstawiającej przegląd podejść do uniwersyteckiego problemu układania planów zajęć (ang. University Course Timetabling Problem – UCTTP). Ogólny problem UCTTP zdefiniowano jako problem alokacji spotkań zajęciowych (**uwzględniających dane o nauczycielach**, studentach, kursach) do zadanych okien czasowych (dnia i/lub tygodnia) i pomieszczeń (uwzględniając wyposażenie, liczbę miejsc, itp.), przyjmując że **obsada zajęć jest już znana** (planista układając harmonogram posiada już przydział nauczycieli do zajęć). Oznacza to, że POZ rozwiązywany jest przed UCTTP (rys. 2).



Rys. 2. POZ i UCTTP na tle podejść do organizacji zajęć dydaktycznych z rys. 1
Źródło: opracowanie własne

Klasyfikację UCTTP przedstawia rysunek 3a). Łatwo zauważyć, że nie występuje w niej POZ. Nawiązując do klasyfikacji z pracy [19], gdzie POZ zaliczany jest do klasy problemów harmonogramowania, można zaproponować rozszerzenie klasyfikacji przedstawionej na rysunku 3a), uwzględniającej klasyfikację z rysunku 2 (patrz rys. 3b).



Rys. 3. Rozszerzony diagram klasyfikacji UCTTP
Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

W konsekwencji oznacza to, że rozważany POZ jest zaliczany do klasy problemów harmonogramowania zajęć na uczelni wyższej, jednak w odróżnieniu od spotykanych w literaturze problemów akcentuje on możliwość zarówno analizy jak i syntezy struktur kompetencji kadry nauczycieli. Możliwości te opisane zostały szerzej w kolejnych podrozdziałach 3.1 i 3.2.

3.1. Modele problemu planowania obsady zajęć dydaktycznych

Problem POZ akcentuje rolę struktury kompetencji dostępnej kadry nauczycielskiej, tzn. spełnianą przez nie rolę ograniczeń warunkujących dobór nauczycieli do zajęć. Jak pokazuje literatura przedmiotu, istnieją modele TAP/TSD które nie uwzględniają kompetencji nauczycieli [2, 3, 6, 10, 21], jak również takie, które podobnie jak w POZ, kompetencje traktują jako kluczowy warunek obsady [4, 5, 8, 18]. Zauważyć należy, że najczęściej wybierany sposób modelowania sprowadza się do binarnych struktur kompetencji, w których przyjmuje się że nauczyciel posiada kompetencje do prowadzenia danych zajęć (wartość logiczna „1”) lub nie (wartość logiczna „0”). Przedstawione podejście widoczne jest również w modelach, gdzie kompetencje nauczycieli deklarowane są: dany nauczyciel może/nie może prowadzić określonej grupy przedmiotów. Tak modelowane kompetencje określają przydatność danego pracownika pod kątem możliwości prowadzenia zajęć w zakresie danego przedmiotu. Przykładowo Jan Kowalski może prowadzić przedmiot „Analiza matematyczna” (w domyśle posiada kompetencje, wartość logiczna „1”), ale nie może „Funkcje zmiennej zespolonej” (brak kompetencji, wartość logiczna „0”).

Część modeli [2, 3, 4, 8, 10, 18, 22, 23, 24], z kolei uwzględnia tzw. preferencje nauczycieli deklarujących chęć prowadzenia określonych przedmiotów (Kowalski chce prowadzić „Analizę matematyczną”, nie chce natomiast „Funkcji zmiennej zespolonej”), liczby godzin do zrealizowania (Kowalski chce łącznie zrealizować nie więcej niż 300

godzin w roku akademickim). Intuicyjnie wiadomo, że spełnienie preferencji wpływa na poziom satysfakcji nauczycieli. Stąd też najczęściej spotykany cel badań naukowych dotyczy modeli i metod umożliwiających maksymalizację preferencji [2, 3, 4, 8, 10, 18, 23, 24]. W tym kontekście warto zauważyć, że modele problemów TAP/TSD są dedykowane, na ogół, wielu różnym celom: minimalizacji liczby przedmiotów przypisanych nauczycielowi [6], zrównoważenia godzin przypisywanych nauczycielom [5, 8, 18, 21], itp.

W ogólnym przypadku modele TAP/TSD obejmują dane dotyczące:

- struktury przedmiotów:
 - rodzaj/forma przedmiotu: wykład, seminarium, konwersatorium, ćwiczenia, laboratorium,
 - liczba grup zajęciowych przedmiotu,
 - liczba godzin zajęć określonej grupy zajęciowej,
 - projekty poza dydaktyczne (jako dodatkowy wymiar czasu dydaktycznego),
- nauczycieli:
 - stopień/tytuł naukowy: profesor, adiunkt, doktor, asystent, praktykant, itp.,
 - współczynnik „ważności” nauczyciela na podstawie zajmowanego stanowiska,
 - wymiar pracy dydaktycznej – przedział liczby godzin do zrealizowania w ciągu roku; liczba grup do przydzielenia,
 - dane historyczne: jaki nauczyciel prowadził jakie zajęcia w jakim okresie czasu (semestry),
- struktury kompetencji i preferencji poszczególnych nauczycieli:
 - binarnie zadane kompetencje/kwalifikacje poszczególnych przedmiotów (nauczyciel posiada lub nie posiada stosownych kwalifikacji/kompetencji do prowadzenia danego przedmiotu i rodzaju zajęć),
 - binarnie przypisane nauczycielom obszary naukowe związane z zadaną z góry grupą przedmiotów (nauczyciel posiada kwalifikacje do prowadzenia grupy przedmiotów)
 - preferowana łączna liczba godzin dydaktycznych w całym roku akademickim,
 - preferowana liczba godzin do prowadzenia danej formy zajęć,
 - preferowany/niepreferowany przedmiot (tzw. lista życzeń).

Ograniczenia stosowane w modelach uwzględniają różne wymagania, często wynikające ze specyfiki danej uczelni bądź norm legislacyjnych obowiązujących w danym kraju. Dlatego część ograniczeń jest wspólnych dla wszystkich modeli, a część występuje w nich opcjonalnie. Do pierwszej grupy ograniczeń zalicza się m.in.:

- wszystkie zajęcia muszą mieć przypisanego co najmniej jednego nauczyciela,
- pensum każdego nauczyciela powinno być zagwarantowane.

Do drugiej grupy zalicza się m.in. takie ograniczenia jak:

- zajęcia mogą prowadzić tylko kompetentni nauczyciele,
- dany rodzaj zajęć może prowadzić tylko pracownik posiadający określony stopień naukowy (np. seminarium może prowadzić tylko profesor, wykład może prowadzić profesor i adiunkt, itp.),
- dana jest maksymalna liczba nauczycieli, którzy mogą prowadzić zajęcia określonej grupy zajęciowej (np. w praktyce często dopuszcza się, że zajęcia danej grupy zajęciowej może prowadzić kilku nauczycieli),
- nauczyciel nie może prowadzić tego samego przedmiotu jeśli prowadził go już poprzednio przez kolejnych X semestrów,

- obsada zajęć powinna gwarantować zrównoważone obciążenie pracowników (przy planowaniu zajęć często dąży się aby wszyscy pracownicy uzyskali zbliżoną liczbę godzin zajęć),
- w celu zredukowania czasu potrzebnego na przygotowanie do zajęć ograniczona jest liczba przedmiotów przydzielanych do poszczególnych nauczycieli.

Dla tak przyjętych danych i ograniczeń zwykle formułowane pytania mają postać:

- Jaka obsada maksymalizuje preferencje nauczycieli? [2, 4, 8, 10, 18, 22, 23, 24].
- Jaka obsada minimalizuje odstępstwa od ich preferowanego wymiaru zajęć? [4].
- Jaka obsada minimalizuje różnicę między najbardziej a najmniej obciążonym pracownikiem? [5, 10, 23, 21, 24].
- Jaka obsada minimalizuje liczbę różnych przedmiotów przypisanych do każdego nauczyciela? [5, 6].

Tab. 1. Porównanie modeli TAP/TSD

Praca	Podejście A/B/C	Kompetencje (TAK/NIE)	Zmienne kompetencje	Metoda
[10] Hmer, Mouhoub 2010	C	NIE	NIE	Metoda przeszukiwania z nawrotami
[2] Wang 2002	A	NIE	NIE	Algorytmy genetyczne
[5] Gunawan i in. 2008	A	TAK	NIE	Algorytmy genetyczne
[8] Domenech, Lusa 2016	C	TAK	NIE	Model MILP, nie wskazano metody rozwiązywania, programowanie matematyczne
[4] Ferreira 2015	A	TAK	NIE	Metody sztucznej inteligencji: wspinaczka górską and poszukiwanie tabu
[6] Hultberg, Cardoso 1997	A	NIE	NIE	Metoda podziału i ograniczeń
[21] Uney-Yuksektepe, Karabulut 2011	A/B	NIE	NIE	Model MILP, metody programowania matematycznego
[24] Tillet 1975	A	NIE	NIE	Model programowania liniowego, zero-jedynkowe programowanie całkowitoliczbowe
[23] Schiederjans, Kim 1987	A	Częściowo poprzez preferencje	NIE	Zero-jedynkowe programowanie celowe
[18] Moreira, Reis 2013	A	TAK	NIE	Modelowanie symulacyjne, metoda agentowa
[3] Zibran 2007	A	NIE	NIE	ILP, metoda podziału i ograniczeń

Źródło: opracowanie własne

Łatwo zauważyć, że powyższe pytania sprowadzają się do analizy przyjętej struktury kompetencji tzn. oceny jaki efekt (plan zajęć) może zostać zapewniony przez zespół nauczycieli charakteryzujących się określoną strukturą kompetencji. Odmienne podejście wiąże się z pytaniami 2-4 rozważanymi w rozdziale 2, istota których sprowadza się do pytania: przy jakiej strukturze kompetencji zostanie uzyskany zakładany efekt?

W tym kontekście, badania prowadzone w pracach [25, 26, 27] stanowią rozwinięcie problematyki obsady zajęć w, alternatywnym do analizy, kierunku syntezy struktur kompetencji. Przedstawiany w nich **model POZ**, pozwala poszukiwać struktur kompetencji (zmian w strukturze), które gwarantują obsadę zajęć spełniającą przyjęte ograniczenia, a tym samym na poszukiwanie odpowiedzi na pytania takie jak:

- Czy istnieje struktura kompetencji zespołu nauczycieli gwarantująca dopuszczalną obsadę zajęć?
- Czy zadana liczba zmian w strukturze kompetencji zespołu nauczycieli gwarantuje dopuszczalną obsadę zajęć?
- Jaka minimalna liczba zmian w strukturze kompetencji zespołu nauczycieli gwarantuje dopuszczalną obsadę zajęć?
- Którego nauczyciela, z jakich kompetencji doszkolić aby zagwarantować dopuszczalną obsadę zajęć?
- itd.

Z odpowiedzi na powyższe pytania nie wynika jaki jest czas zmian kompetencji

poszczególnych nauczycieli. Znajomość czasu wymaganego na dokonanie się stosownych zmian (przekwalifikowania, doszkolenia, itp.) oznacza możliwość formułowania nowej kategorii pytań: Jak długo będzie trwało doksztalcenie (zmiana struktury kompetencji) określonych pracowników? Których pracowników, z jakich kompetencji doksztalcic, aby w jak najkrótszym czasie zapewnić obsadę zajęć? Kiedy rozpocząć zmiany w strukturze kompetencji zespołu aby zapewnić obsadę zajęć, której realizacja rozpoczyna się w danym terminie? W tym kontekście, kolejny podrozdział stanowi przegląd istniejących modeli kompetencji.

3.2. Modele kompetencji

W literaturze przedmiotu kompetencje definiowane są w różny sposób. W pracy [28] przez kompetencje rozumiane są ogólne zdolności (możliwości) oparte na wiedzy, doświadczeniu, wartościach oraz skłonnościach, nabyte w wyniku oddziaływań edukacyjnych. Kompetencje definiowane są również jako zbiór wiedzy teoretycznej, umiejętności praktycznych oraz zachowań umożliwiających skuteczną i odpowiadającą oczekiwanym jakościom realizację postawionych zadań [29]. Jeszcze w inny sposób opisywane są w pracy [30] gdzie traktowane są jako zbiór wzorców zachowań potrzebnych do prawidłowego wykonania zadań lub funkcji.

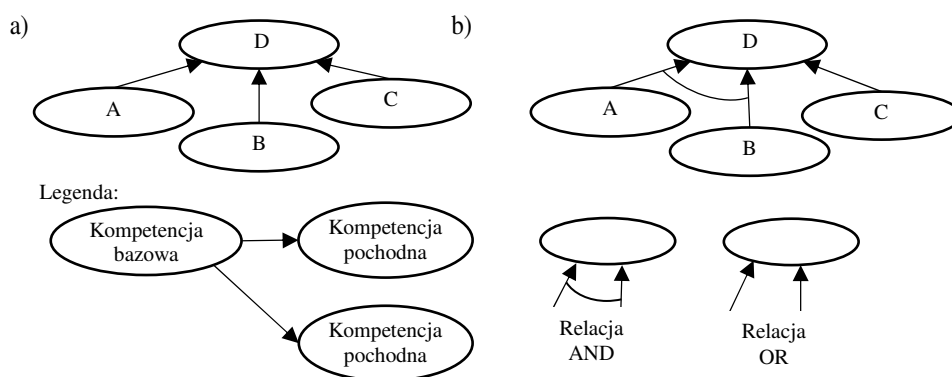
Na potrzeby niniejszej pracy przez kompetencje rozumie się dalej zbiór wiedzy i umiejętności, który pozwala zrealizować zajęcia dydaktyczne z określonych przedmiotów. W tym kontekście, zakładając, że przysłowiowy Kowalski posiada kompetencje z zakresu przedmiotu „Analiza matematyczna” natomiast nie posiada kompetencji w przedmiocie „Funkcje zmiennej zespolonej”, dla planisty istotna jest odpowiedź na pytanie: Czy Kowalski jest w stanie zdobyć kompetencje z przedmiotu „Funkcje zmiennej zespolonej”, a jeśli tak to w jakim czasie i/lub jakim kosztem? Czy Kowalski zdobędzie kompetencje do prowadzenia przedmiotu „Funkcje zmiennej zespolonej” w czasie nie krótszym niż N dni/tygodni? Odpowiedzi na tego typu pytania, tzn. operowanie na kompetencjach, takie jak ich porównywanie, szacowanie czasu potrzebnego na zmianę kompetencji, wymaga znajomości sposobów ich modelowania (formalnego matematycznego podejścia do analizowania kompetencji).

Pierwsze próby budowy matematycznych modeli kompetencji znajdują się w pracach [31, 32]. Przedstawiany tam zbiór kompetencji obejmuje indywidualne, pracownicze kompetencje z określonego obszaru. Wyróżnione kompetencje są ze sobą powiązane. Oznacza to, że dzięki jednej kompetencji możliwe jest uzyskanie innej, wzajemnie powiązanej. Kompetencję, bez której nie jest możliwe zdobycie nowej kompetencji nazywa się kompetencją bazową [33]. Relacje wiążące określone kompetencje bazowe mogą być reprezentowane jako graf AND-OR. Intuicję takich relacji przedstawia digraf na rysunku 4:

- a) kompetencja D może zostać uzyskana z dowolnej kompetencji bazowej A , B lub C (relacja $(A \text{ OR } B \text{ OR } C)$),
- b) kompetencja D może być uzyskana tylko wtedy gdy kompetencje bazowe A i B są posiadane lub posiadana jest kompetencja bazowa B (relacja $(A \text{ AND } B) \text{ OR } C$).

Ponieważ wiedza i umiejętności potrzebne do zdobycia nowej kompetencji pochodząc z wielu różnych źródeł mogą się kumulować, oznacza, że pracownik, który posiada wiele różnych kompetencji bazowych, szybciej będzie w stanie zdobyć kolejne kompetencje. Spowodowane to jest synergetycznym efektem połączonych kompetencji bazowych, który jest zawsze silniejszy niż oddziaływanie pojedynczych. Niektóre modele kompetencji uwzględniają to zjawisko i wprowadzają tzw. kompetencje złożone, aby uwzględnić

silniejszą relację bazową kilku kompetencji rozpatrywanych razem w porównaniu do sił relacji rozpatrywanych osobno [34]. Dla przykładu z rysunku 4a) pracownik posiadający kompetencje A, B i C szybciej zdobędzie kompetencję D niż pracownik z kompetencjami A i B.



Rys. 4. Relacje między kompetencjami
Źródło: opracowanie własne

W sytuacjach gdy binarny sposób reprezentacji kompetencji staje się nie wystarczający, np. w przypadkach gdy stopień opanowania kompetencji może zostać określony w przybliżeniu, wykorzystywane są również modele wykorzystujące formalizm teorii zbiorów rozmytych [35]. Wykorzystując różne "kształty" funkcji przynależności [36], reprezentującej siłę każdej kompetencji w zbiorze, możliwe jest nie tylko ilościowe określenie stopnia opanowania kompetencji, ale również jakościowe ich stwierdzenie z wykorzystaniem wartości lingwistycznych (źle, dobrze, średnio, dostatecznie, itp.) [35, 37]. Jest to istotne wówczas gdy do rozwiązania określonego problemu dana kompetencja może być wymagana w pewnym zakresie – niekoniecznie tylko w pełni w 100% [34].

W pracach [13, 38] zwrócono uwagę, że mimo posiadania takiego samego zestawu kompetencji przez kilku pracowników, efektywność ich pracy bywa różna. Opracowany w tych pracach model uwzględnia fakt, że wśród dwóch pracowników o takich samych kompetencjach, jeden z nich, powtarzający wielokrotnie, bez przerwy, określoną czynność potrafi być bardziej efektywny, od tego który tą czynność wykonywał z przerwami. Takie podejście wykorzystuje tzw. krzywe uczenia i zapominania w celu określenia wydajności pracownika w obszarze produkcji. Modele takie mogłyby być zaadaptowane również w obszarze kształcenia. Przykładem tego typu jest sytuacja gdy nauczyciele akademicki chętniej/efektywniej realizują zajęcia z przedmiotów, które prowadzili przez kilka lat z rzędu. W przypadku przerwy konieczne jest czasochłonne powtarzanie materiału wymaganego do poprowadzenia zajęć.

Większość prac dotyczących formalnych modeli kompetencji skupiona jest na procesie optymalnego (pod względem czasu lub kosztu) rozszerzenia posiadanego zbioru kompetencji. Najczęściej celem tych modeli jest zminimalizowanie kosztu rozszerzenia kompetencji w celu zapewnienia stawianych wymagań. Oznacza to, że mogą one zostać zaadaptowane w problemie POZ. W szczególności mogą zostać wykorzystane do poszukiwania odpowiedzi na pytania o charakterze syntezy struktur kompetencji kadry akademickiej.

4. Podsumowanie

Przytoczone liczne przykłady literaturowe pokazują, że problem obsady zajęć dydaktycznych stanowi aktualny obszar badań naukowych. Przede wszystkim należy zauważyć, że stosunkowo niewiele prac rozważa modele uwzględniające strukturę kompetencji dostępnej kadry akademickiej. Z kolei wśród modeli uwzględniających element kompetencji większość zakłada, że dostępni pracownicy spełniają wymagania wynikające z oczekiwanej obsady zajęć (jakość zajęć, brak przeciążeń, itp.). W praktyce może dojść jednak do sytuacji gdy posiadane kompetencje kadry akademickiej są niewystarczające (zbyt mało pracowników, pracownicy nie posiadają wymaganych kompetencji, za niski stopień posiadanych kompetencji, itp.). W konsekwencji konieczne jest poszukiwanie takich struktur kompetencji, które zagwarantują spełnienie oczekiwań w ramach planowanej obsady zajęć. Inaczej mówiąc kluczowe staje się zarządzanie kompetencjami, którego celem jest zapewnienie odpowiedniego rozwoju kadry akademickiej (np. kształcenie kadry w określonym tempie i przy zadanych kosztach). Właściwe zarządzanie kompetencjami warunkowane jest uwzględnieniem, występujących między nimi relacji takich jak: wpływ posiadanych kompetencji na czas pozyskania nowej, utraty kompetencji na rzecz innych, uczenie się/zapominanie, itp. Ukazany w pracy stan badań w obszarze modelowania kompetencji pozwala stwierdzić, że istniejące podejścia częściowo zapewniają tego typu zarządzanie tzn. pozwalają poszukiwać odpowiedzi na pytania: któremu pracownikowi, jakie kompetencje podnieść, w jakim czasie, przy jakim koszcie, aby zagwarantować spełnienie stawianych wymagań. Jak wynika z przedstawionego w pracy stanu badań brakuje jednak podejść umożliwiających poszukiwanie odpowiedzi na te pytania z perspektywy zapewniania potrzeb wynikających z planowanej obsady zajęć dydaktycznych.

W związku z tym kolejny etap badań będzie poświęcony rozwinięciu autorskiego modelu POZ [25, 26, 27] o ograniczenia związane z kolejnością nabywania nowych kompetencji i czasem/kosztom z tym związanym. Wykorzystanie opracowanego modelu warunkowane będzie zastosowaniem stosownej metody poszukiwania struktur kompetencji. Przyszłe badania będą więc koncentrowały się na przeglądzie metod wykorzystywanych obecnie w różnych ujęciach problemu planowania obsady zajęć (Tab. 1), wśród których znajdują się metody heurystyczne (algorytmy zachłanne, górską wspinaczka, itp.), meta-heurystyczne (symulowane wyżarzanie, poszukiwanie tabu, algorytmy genetyczne, itp.) i podejścia hybrydowe.

Ponadto w badaniach nad problemem obsady zajęć dydaktycznych bardzo rzadko wspomina się o wykonywaniu obsady zajęć odpornej na przyjęty zbiór zakłóceń np. absencję pracownika, zmniejszenie/zwiększenie liczby grup zajęciowych i związanych z tym dodatkowymi potrzebami kadrowymi (kompetencyjnymi), itp. W związku z tym planowane jest wykorzystanie modelu POZ również w tym obszarze.

Literatura

1. Gunawan A., Ng K.M., Poh K.L.: A Mathematical Programming Model for A Timetabling Problem. World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing, 2006, s. 42-47.
2. Wang Y.-Z.: An application of genetic algorithm methods for teacher assignment problems, Expert Systems with Applications Volume 22, Issue 4, 2002, s. 295-302.

3. Zibran M.: A multi-phase approach to university course timetabling, M.Sc. Thesis, 2007.
4. Ferreira P.: Application of scheduling techniques to Teacher-Class Assignments, Dissertation submitted to obtain the Master Degree, Lisboa 2015.
5. Gunawan A., Ng K.M., Ong H.L.: A genetic algorithm for the teacher assignment problem for a university in Indonesia. *International Journal of Information and Management Sciences*, 19, 2008, s. 1-16.
6. Hultberg T.H., Cardoso D.M.: The teacher assignment problem: A special case of the fixed charge transportation problem. *European Journal of Operational Research* 121, 1997, 463-473.
7. Thongsanit K.: Solving the Course - Classroom Assignment Problem for a University, *Silpakorn U Science & Tech J*, 8(1), 2014, s. 46-52.
8. Domenech B., Lusa A.: A MILP model for the teacher assignment problem considering teacher's preferences, *European Journal of Operational Research*, Vol. 249, Issue 3, 2016, s. 1153-1160.
9. Gunawan A., Ng K.M., Poh K.L.: Solving the Teacher Assignment-Course Scheduling Problem by a Hybrid Algorithm, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 33, 2007, s. 259-264.
10. Hmer A., Mouhoub M.: Teaching Assignment Problem Solver. In: García-Pedrajas, N., Herrera, F., Fyfe, C., Benítez, J.M., Ali, M. (eds.) *IEA/AIE 2010, Part II. LNCS*, vol. 6097, Springer, Heidelberg, 2010, s. 298-307.
11. Hosny M.: A Heuristic Algorithm for Solving the Faculty Assignment Problem, *Journal of Communication and Computer* Vol. 10, 2013, s. 287-294.
12. Schimmelpfeng K., Helber S.: Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming. *OR Spectr.*, 29, 2007, s. 783-803.
13. Małachowski B., Korytkowski P.: Competences-based performance model of multi-skilled workers, *Computers & Industrial Engineering* 91, 2016, s. 165-177.
14. Małachowski B.: Competence-based management of knowledge workers in project-oriented organizations. In: H. Xiong, W.B. Lee (Eds.), *Knowledge science, engineering and management. Lecture notes in computer science*, Vol. 7091, 2011, s. 281-292.
15. De Werra D.: An Introduction to Timetabling, „*European Journal of Operational Research*”, Vol. 16, No. 1, 1985, s. 67-77.
16. Moszyński M.: Konstruowanie planów zajęć dydaktycznych jako wielokryterialny problem optymalizacyjny – kilka refleksji. *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Oeconomia XLII – Nauki Humanistyczno-Społeczne, Zeszyt 402*, Toruń, 2011, 229-243.
17. Lu Z., Hao J.K.: Adaptive Tabu Search for course timetabling. *Eur. J. Oper. Res.*, 200(1), 2010, s. 235-244.
18. Moreira J.J., Reis L.P.: Multi-Agent System for Teaching Service Distribution with Coalition Formation, *Advances in Information Systems and Technologies*, Álvaro Rocha, Ana Maria Correia, Tom Wilson, Karl A. Stroetmann (Eds.), 2013, s. 599-609.
19. Carter M.W., Laporte G.: Recent Developments in Practical Course Timetabling, In E. Burke and M. Carter (eds.), *Practice and Theory of Automated Timetabling II, Lecture Notes in Computer Science 1408*, Springer-Verlag New York, 1998, s. 3-19.
20. Babaei H., Karimpour J., Hadidi A.: A survey of approaches for university course timetabling problem, *Computers & Industrial Engineering* 86, 2015, s. 43-59.
21. Uney-Yuksektepe F., Karabulut I.: Mathematical programming approach to courseteaching assistant assignment problem. In: *Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 2011, s. 878-883.

22. Hamdi K.: A Mathematical Model and a GRASP Metaheuristic for a Faculty-course Assignment Problem for a University in Saudi Arabia, 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 9-12.12.2014 Malaysia, s. 672-676.
23. Schniederjans M., Kim G.: A goal programming model to optimize departmental preference in course assignments. *Computers & Operations Research* 14, 1987, s.87-96.
24. Tillett P.I.: An operations research approach to the assignment of teachers to courses. *Socio- Economic Planning Sciences* 9, 1975, s. 101-104.
25. Szwarc E., Bach-Dąbrowska I.: Narzędziowo wsparte zarządzanie zmianą w procesie planowania obsady zajęć dydaktycznych, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 2018 (w druku).
26. Szwarc E., Bach-Dąbrowska I., Bocewicz G.: Planowanie obsady zajęć dydaktycznych w warunkach ograniczeń struktury kompetencji, *Zielona Góra* 2017 (w druku).
27. Szwarc E., Bocewicz G.: Kompetencje kadry akademickiej i minima kadrowe w planowaniu obsady zajęć dydaktycznych, *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Łódzka*, Zeszyt 69, 2017, 113-128.
28. Coolahan J.: Kompetencje kluczowe, Komisja Europejska, Eurydyce, Fundacja Rozwoju Systemu Edukacji, Warszawa, 2005.
29. Levy-Leboyer C.: Kierowanie kompetencjami. Bilanse doświadczeń zawodowych, *Poltex*, Warszawa 1997.
30. Woodruffe C.: What is meant by competency? In: R. Boam, P. Sparrow (Eds.), *Designing and achieving competency*, New York, McGraw-Hill, 1992.
31. Yu P.L., Zhang D.: Competence set analysis for effective decision making. *Journal of Control Theory and Advanced Technology*, 5(4), 1989, s. 523-547.
32. Yu P.L., Zhang D.: A foundation for competence set analysis. *Mathematical Social Sciences*, 20, 1990, s. 251-299.
33. Sikora K.: Model systemu informatycznego do oceny użyteczności zdobywanych kompetencji zawodowych, *Rozprawa doktorska*, Szczecin, 2011.
34. Małachowski B.: Zintegrowany model podejmowania decyzji o doborze kompetentnych partnerów do projektu badawczego. *Rozprawa doktorska*, Szczecin 2008.
35. Wang H., Wang C.H.: Modelling of Optimal Expansion of a Fuzzy Competence Set. *International Transactions in Operational Research*, 5(5), 1998, s. 413-424.
36. Zadeh L.A.: Fuzzy sets, *Control* 8, 1965, s. 338-353.
37. Lin, C.-M.: Multiobjective fuzzy competence set expansion problem by multistage decision-based hybrid genetic algorithms. *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), 2006, s. 1402-1416.
38. Korytkowski P.: Competences-based performance model of multi-skilled workers with learning and forgetting, *Expert Systems With Applications* 77, 2017, s. 226-235.

Mgr inż. Eryk SZWARC
 Dr hab. inż. Grzegorz BOCEWICZ
 Wydział Elektroniki i Informatyki
 Politechnika Koszalińska
 75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2
 tel.: (94) 3478743
 e-mail: eryk.szwarc@tu.koszalin.pl
 bocewicz@ie.tu.koszalin.pl