

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

Rozprawa doktorska

mgr inż. Eryk Szwarc

Model struktur kompetencji odpornych na zakłócenia

Promotor

Dr hab. inż. Grzegorz Bocewicz

Promotor

Dr hab. Małgorzata Sidor-Rządkowska

WARSZAWA 2021

Serdecznie dziękuję,
Promotorowi – Panu dr hab. inż. Grzegorzowi Bocewiczowi
za zaangażowanie, dzięki któremu możliwe było napisanie tej pracy.
W szczególności za wsparcie i pomoc w realizacji wytyczonych celów, poświęcony czas,
cenne wskazówki dotyczące treści zawartych w pracy,
pomoc w jej redagowaniu, a także za życzliwą atmosferę sprzyjającą pracy naukowej.

Promotorowi – Pani dr hab. Małgorzacie Sidor-Rządkowskiej
za dyskusje na temat zarządzania kompetencjami, poświęcony czas,
pomoc w realizacji badań, cenne wskazówki
oraz okazaną życzliwość podczas realizacji pracy.

Kolegom z zespołu Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej
za udzielone uwagi i sugestie dotyczące rozprawy,
a w szczególności dziękuję Panu Prof. dr hab. inż. Zbigniewowi Banaszakowi
za naukę planowania i rozwijania kompetencji.

Streszczenie

Osiągnięcie zadanych celów biznesowych organizacji realizującej portfel projektów wiąże się głównie z bilansowaniem zasobów: wymaganych i posiadanych. Obserwowany w ostatnich latach trend wskazuje, że uwagę należy koncentrować na zasobach ludzkich. W szczególności na strukturach kompetencji zespołów projektowych determinujących możliwość realizacji podejmowanych projektów. Literatura przedmiotu jest bogata w opracowania dotyczące wspomaganie decydentów w procesach oceny kompetencji, identyfikacji luk kompetencyjnych, wariantowania zmian kompetencji, planowania przydziału pracowników do operacji itp. Głównym założeniem wypracowanych rozwiązań jest niezmiennosc struktur: portfela projektów (np. stała liczba operacji, niezmienna kolejność wykonywania operacji itp.) i posiadanej kadry pracowniczej (np. stała liczba pracowników itp.).

Realizacja projektów w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu organizacji wymusza przewidywanie zakłóceń takich jak: absencje pracowników (zwolnienia lekarskie, wypadki, urlopy macierzyńskie itp.), utrata kwalifikacji (uprawnienia elektryczne, prawo jazdy, dozór techniczny), zmiany liczby czynności (dodanie nowych zleceń), utrata pracowników (odejścia z pracy) itp. Pominięcie tego rodzaju zdarzeń przy planowaniu portfela projektów, może skutkować przerwaniem lub co najmniej opóźnieniem wykonania planu nominalnego realizowanych projektów (w efekcie stratami finansowymi, wizerunkowymi itp.).

W praktyce decydenci i planiści zazwyczaj nie są w stanie przewidzieć momentu wystąpienia tego typu zakłóceń (np. który pracownik w jakim przedziale czasu będzie nieobecny, w jakim momencie, jaka nowa czynność wystąpi itp.). Przeprowadzone badania literaturowe pokazują, że zagadnienia związane z zabezpieczaniem organizacji przed skutkiem ww. zakłóceń należą do rzadkości. W tym obszarze wyróżnić należy techniki zakładające posiadanie nadmiarowych (redundantnych) zasobów ludzkich (w tym kompetencji pracowników). Takie podejście wpływa na zwiększenie sprawności organizacji rozumianej jako zdolność do realizacji operacji mimo występowania zakłóceń. W tym obszarze wciąż brakuje jednak rozwiązań (metod i implementujących je środowisk IT) wspomagających decydentów w planowaniu tego typu struktur kompetencji tj. struktur kompetencji gwarantujących realizację zaplanowanych portfeli projektów w dynamicznie zmieniających się warunkach ich realizacji.

W rozprawie przedstawiono autorską koncepcję syntezy struktur kompetencji odpornych na zakłócenia. W konsekwencji sformułowano nowy problem planowania struktury kompetencji odpornej na wybrany zbiór zakłóceń w organizacji realizującej portfel projektów. Zbudowano model referencyjny dla problemu planowania struktury kompetencji odpornej na dwa rodzaje zakłóceń: absencje pracownicze i zlecenie dodatkowych operacji. W szczególności zdefiniowano miarę ilościową odporności struktury kompetencji, której wartość określa zdolność zatrudnionego zespołu pracowników do przyjmowania dodatkowych obowiązków (zastępstw) w przypadku absencji określonej liczby pracowników i zlecenia dodatkowych czynności.

Rozważany problem należy do klasy problemów NP-zupełnych, w których nakłady czasowe ponoszone na ich rozwiązanie rosną wykładniczo wraz z ich rozmiarem. Spotykane w praktyce instancje problemów planowania struktury kompetencji odpornej na zakłócenia, zakładają dziesiątki/setki pracowników oraz setki czynności, których rozwiązanie może wymagać znacznej ilości czasu (kilku godzin/dni/tygodni). W wielu przypadkach zbiór rozwiązań dopuszczalnych, tzn. spełniających zadane ograniczenia zasobowe, jest zbiorem pustym. W związku z tym wykorzystano metodykę programowania deklaratywnego tzn. programowanie z ograniczeniami. Modele deklaratywne można łatwo modyfikować i rozbudowywać tzn. uwzględniać specyfikę aktualnie rozważanych problemów (danych, ograniczeń i pytań) m.in. poprzez wyznaczenie nadmiarowych ograniczeń (warunków wystarczających) pozwalających na dedykowane (dla danego problemu), a zatem efektywne/szybkie przeszukiwanie przestrzeni potencjalnych rozwiązań.

Z uwagi na fakt, że rozwiązania dopuszczalne nie zawsze występują w problemach dużej skali i związanym z tym długim czasem oczekiwania na rozwiązanie, opracowano warunek wystarczający (nadmiarowe ograniczenie), którego spełnienie gwarantuje istnienie rozwiązań dopuszczalnych a tym samym uzasadnia ponoszone nakłady czasowe.

Bazując na opracowanym modelu przedstawiono autorską metodę planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia oraz wskazano na możliwość jej wykorzystania w systemach zarządzania zasobami ludzkimi (HRMS/CMS). Efektywność opracowanej metody zweryfikowano w serii eksperymentów wykorzystujących rzeczywiste dane pozyskane z dwóch organizacji: uczelni wyższej (Wydział Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej) i przedsiębiorstwa realizującego projekty IT (Kaliop Poland Sp. z o.o.).

Opracowana metoda stanowi podstawę do opracowania interakcyjnego systemu planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia, wykorzystywanego m.in. w controllingu zasobów ludzkich. Ponadto dzięki przedstawionym w rozprawie badaniom możliwe staje się opracowanie innych pochodnych metod zarządzania zasobami ludzkimi, jak np. metod wspomaganie planowania zespołów projektowych uwzględniających efekt uczenia i zapominania.

Słowa kluczowe

Kompetencje, zarządzanie kompetencjami, struktura kompetencji, zakłócenia, odporność, odporna struktura kompetencji, planowanie, projekt, wspomaganie decyzji, model deklaratywny, programowanie z ograniczeniami.

Summary

To achieve its business goals, an organization which is implementing a project portfolio must carefully balance the resources it already has and those it needs to complete its projects. A trend observed in recent years shows that particular attention should be focused on human resources, especially on project team competency frameworks, which determine whether or not a company is capable of seeing a project through from conception to completion. The literature of the subject abounds in studies on methods of supporting decision-makers in assessing employee competencies, identifying competency gaps, prototyping competency changes, planning the allocation of employees to operations, etc. The main assumption of the solutions proposed in those publications is that an organization's project portfolio and staff of employees have invariant structures (e.g. there is a fixed number of operations, an invariant order in which the operations are executed, a fixed number of employees, etc.).

It should be noted that to implement projects in an organization's dynamically changing environment, decision-makers need to be able to predict disruptions such as employee absences (sick leaves, accidents, maternity leaves, etc.), loss of qualifications (electrician license, driving license, technical supervisor license, etc.), changes in the number of activities (addition of new orders), loss of employees (employee walkouts), etc. Failure to take into consideration events like this when planning a project portfolio may result in delaying or stalling the progress of the baseline plan, ultimately leading to financial loss, image loss, etc.

In practice, decision makers and planners are usually unable to predict when exactly a disruption will occur (e.g. which employee will be absent in what period of time, when a new activity will have to be performed and what activity it will be, etc.). A review of the literature shows that issues related to protecting organizations against the effects of such disruptions are rarely discussed. The techniques used to address these issues assume that an organization should have redundant human resources (including redundant employee competencies). An approach like this allows to increase an organization's efficiency understood as its ability to perform operations despite the occurrence of disruptions. Unfortunately, there are still no solutions (methods and IT environments implementing them) in this area for supporting decision-makers in planning competency frameworks that can guarantee the completion of planned project portfolios in dynamically changing project implementation conditions.

This dissertation presents an original approach to synthesizing competency frameworks robust to disruptions. To illustrate this conception, a new problem of planning a competency framework robust to a selected set of disruptions in an organization implementing a project portfolio was formulated. A reference model was built for the problem of planning a competency framework robust to two types of disruptions: employee absenteeism and arrival of additional operations. In particular, a quantitative measure of robustness of a competency framework was defined, the value of which determines whether an organization's personnel can take on additional duties (replacements) when a specific number of employees are absent and when extra activities are added to the current schedule.

It is worth noting that the problem under consideration belongs to the class of NP-complete problems, for which the time spent in solving a problem grows exponentially with its size. The instances of problems related to planning competency frameworks robust to disruptions encountered in practice involve dozens/hundreds of employees and hundreds of activities, and so require a significant amount of time (several hours/days/weeks) to be solved. It is worth noting that in many cases the set of admissible solutions, i.e. those that meet the given resource constraints, is an empty one. For this reason, declarative programming (constraint programming) methodology was used in this study. Declarative models can be easily modified and extended to take into account the specific nature of the problems (data, constraints and questions) considered, e.g. by determining redundant constraints (sufficient conditions) which allow to run dedicated, and therefore quick/effective, searches of the space of potential solutions.

Given the fact that it takes a long time to find a solution, and large-scale problems do not always have an admissible solution, a sufficient condition (redundant constraint) was developed, the fulfillment of which guarantees the existence of admissible solutions, thus justifying the time spent on searching for them.

Based on the model developed in the study, a method for planning competency frameworks robust to disruptions was presented, and the possible applications of this method in human resource management systems (HRMS/CMS) were suggested. The effectiveness of the method was verified in a series of experiments using real-life data obtained from two organizations: a university (Faculty of Electronics and Computer Science, Koszalin University of Technology) and a company which implements IT projects (Kaliop Poland Sp. z o.o.).

The method proposed in this study provides a basis for developing an interactive system of planning competency frameworks robust to disruptions that can be used, among others, in human resource controlling. Moreover, the research reported in the dissertation lays the groundwork for developing other, derivative human resource management methods, such as methods for supporting the planning of project teams taking into account the learning and forgetting effect.

Key words

Competencies, competency management, competency framework, disruptions, robustness, robust competency framework, planning, project, decision support, declarative model, constraint programming.

SPIS TREŚCI

SPIS SKRÓTÓW	16
SPIS SYMBOLI.....	17
WPROWADZENIE	19
CZĘŚĆ I. PLANOWANIE KOMPETENCJI W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI.....	27
1. Kompetencje – przegląd literatury	27
1.1. Definicje kompetencji	28
1.2. Rodzaje kompetencji	32
1.3. Identyfikacja, stopniowanie i ocena kompetencji	35
1.4. Modelowanie kompetencji	46
1.5. Wnioski z rozdziału.....	52
2. Planowanie struktur kompetencji w warunkach niepewności towarzyszących realizacji projektów.....	53
2.1. Rodzaje organizacji	53
2.2. Zarządzanie projektami	56
2.3. Planowanie zespołów projektowych	62
2.4. Planowanie struktur kompetencji odpornych na zakłócenia	68
2.5. Wnioski z rozdziału.....	77
3. Sformułowanie problemu i celu rozprawy oraz wybór metody badań.....	79
3.1. Problem	79
3.2. Cel pracy.....	80
3.3. Metoda badań	81
CZĘŚĆ II. WSPOMAGANIE PLANOWANIA STRUKTUR KOMPETENCJI ODPORNYCH NA ZAKŁÓCENIA.....	85
4. Model planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia	85
4.1. Planowanie struktur kompetencji	85
4.2. Metody optymalizacji dyskretnej	95
4.2.1. Programowanie matematyczne.....	95
4.2.1.1. Programowanie liniowe/nieliniowe	96
4.2.1.2. Programowanie liniowe całkowitoliczbowe	97
4.2.2. Programowanie deklaratywne	98
4.3. Model referencyjny	100
4.4. Problemy analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia	103
4.5. Wnioski z rozdziału.....	105

5.	Metoda planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia	107
5.1.	Systemy wspomaganie planowania kompetencji zespołów projektowych.....	107
5.2.	Opis metody Planowania Struktur Kompetencji (PSK)	111
5.3.	Warunki wystarczające istnienia odpornych struktur kompetencji.....	113
5.4.	System planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia.....	116
5.5.	Wnioski z rozdziału.....	122
6.	Weryfikacja metody PSK	123
6.1.	Planowanie struktur kompetencji dla Uczelni.....	123
6.1.1.	Objekt badań – uczelnia wyższa	123
6.1.2.	Synteza SK odpornych na absencję określonego pracownika.....	131
6.1.3.	Synteza SK odpornych na jednoczesną absencję w pracowników.....	133
6.1.4.	Synteza SK odpornych na absencję pracowników z grupy ryzyka wiekowego	135
6.1.5.	Badania ilościowe.....	136
6.2.	Planowanie struktur kompetencji dla przedsiębiorstwa branży IT	140
6.2.1.	Objekt badań – przedsiębiorstwo Kaliop Poland Sp. z o.o.	140
6.2.2.	Synteza SK odpornych na jednoczesną absencję w pracowników.....	144
6.2.3.	Synteza SK odpornych na absencję w pracowników i zlecenie dodatkowych λ operacji	146
6.2.4.	Badania ilościowe.....	148
6.3.	Podsumowanie weryfikacji metody	150
6.4.	Wnioski z rozdziału.....	151
7.	Podsumowanie.....	153
7.1	Rezultaty.....	155
7.2.	Kierunki dalszych badań	157
	BIBLIOGRAFIA.....	159
	INDEKS HASEŁ	173
	SPIS TABEL	175
	SPIS RYSUNKÓW	176
	ZAŁĄCZNIK A. KWESTIONARIUSZ SAMOOCENY PRACOWNIKA WEII	179
	ZAŁĄCZNIK B. KWESTIONARIUSZ DLA KIEROWNIKA KATEDRY	183
	ZAŁĄCZNIK C. OCENA KOŃCOWA KOMPETENCJI PRACOWNIKA WEII	187
	ZAŁĄCZNIK D. KWESTIONARIUSZ SAMOOCENY PRACOWNIKA KALIOP.....	191
	ZAŁĄCZNIK E. KWESTIONARIUSZ DLA KIEROWNIKA PROJEKTU KALIOP	193

ZAŁĄCZNIK F. OCENA KOŃCOWA KOMPETENCJI PRACOWNIKA KALIOP	195
ZAŁĄCZNIK G. HARMONOGRAM REALIZACJI PORTFELA PROJEKTÓW Q	197
ZAŁĄCZNIK H. HARMONOGRAM REALIZACJI PORTFELA PROJEKTÓW Q WRAZ ZE ZLECONYM NOWYM PROJEKTEM Q_8	201

SPIS SKRÓTÓW

A&DC	–	Assessment & Development Center
AN	–	Activity-on-Node
CMS	–	Competence Management Systems
COP	–	Constrained Optimization Problem
CP	–	Constraint Programming
DSDM	–	Dynamic System Development Method
DSS	–	Decision Support System
ERP	–	Enterprise Resource Planning
ESTJ	–	Extraverted Sensing Thinking Judging – Ekstrawertyk Percepcjonista Myśliciel Sędzia (jeden z typów osobowości według MBTI)
ESFJ	–	Extraverted Sensing Feeling Judging – Ekstrawertyk Percepcjonista Uczuciowiec Sędzia (jeden z typów osobowości według MBTI)
GERT	–	Graphical Evaluation and Review Technique
GUI	–	Graphical User Interface Gopt – optymalna postać struktury kompetencji
HRIS	–	Human Resources Information System
HRM	–	Human Resources Management
HRMS	–	Human Resources Management System
ILP	–	Integer Linear Programming
MBTI	–	Myers-Briggs Type Indicator
MILP	–	Mixed-Integer Linear Programming
PERT	–	Program Evaluation and Review Technique
PMBok	–	Project Management Body of Knowledge
RCPSp	–	Resource Constrained Project Scheduling Problem
SJP	–	Słownik Języka Polskiego
SK	–	Struktura Kompetencji
TOEIC	–	Test of English for International Communication
PSK	–	Metoda Planowania Struktur Kompetencji
u.j.c.	–	umowna jednostka czasu
WEiI	–	Wydział Elektroniki i Informatyki

SPIS SYMBOLI

$\mu(x)$ – stopień przynależności

m – liczba pracowników zespołu \mathcal{P}

n – liczba operacji realizowanych w portfelu projektów \mathcal{Q}

\mathcal{Q} – portfel projektów

Q_j – j -ty projekt

q_i – liczba czynności operacji Z_i

Z – zbiór operacji realizowanych w ramach portfela projektów \mathcal{Q}

Z_i – i -ta operacja portfela projektów \mathcal{Q}

\mathbb{Z}_j – zbiór czynności projektu Q_j

l_i – czas trwania czynności operacji Z_i

y_i – czas rozpoczęcia czynności operacji Z_i

w_i – zbiór operacji, z którymi wyklucza się operacja Z_i : liczba pracowników wymaganych do realizacji operacji Z_i

H – horyzont czasu

\mathcal{P} – zbiór pracowników

P_k – k -ty pracownik

s_k – minimalny wymiar czasu pracy k -tego pracownika

z_k – maksymalny wymiar czasu pracy k -ego pracownika

G – struktura kompetencji

Θ – pojedynczy wariant absencji ω pracowników

G^Θ – struktura kompetencji uwzględniająca absencje pracowników określonych w zbiorze Θ

G^* – pełna struktura kompetencji (zawierająca tylko wartości 1)

X – przydział czynności operacji Z portfela \mathcal{Q} do pracowników zespołu \mathcal{P}

X^Θ – przydział czynności w sytuacji absencji pracowników określonych w zbiorze Θ

ω – liczba nieobecnych pracowników zespołu \mathcal{P}

λ – liczba operacji dodatkowych

U_ω – zbiór ω -elementowy wariantów absencji pracowników

Z^λ – zbiór operacji dodatkowych (zakłócenie portfela projektów)

R_ω^λ – odporność struktury kompetencji G na zakłócenia określone przez U_ω i Z^λ

R^* – oczekiwana odporność struktury kompetencji

LP_ω – podzbiór zbioru U_ω ($LP_\omega \subseteq U_\omega$) określający przypadki absencji, dla których struktura kompetencji jest odporna na absencję ω pracowników i zlecenie λ dodatkowych czynności.

c^Θ – zmienna określająca czy istnieje przydział X^Θ gwarantujący terminową realizację czynności zbioru $Z \cup Z^\lambda$

\mathcal{V} – zbiór dyskretnych zmiennych decyzyjnych

\mathcal{D} – zbiór dziedzin zmiennych decyzyjnych

\mathcal{C} – zbiór ograniczeń

$F(G)$ – funkcja celu

WPROWADZENIE

W procesie zarządzania organizacją (przedsiębiorstwem produkcyjnym, uczelnią wyższą, szpitalem, bankiem itp.) podstawowym pytaniem jest: czy posiadane zasoby pozwalają zrealizować zadania gwarantujące osiągnięcie planowanych celów? Ograniczając się wyłącznie do zasobów ludzkich stanowiących kapitał organizacji (Rogozińska-Pawelczyk, 2006), pytanie to można uszczegółowić do postaci: czy będący w posiadaniu kapitał ludzki jest wystarczający do realizacji zaplanowanych/zlecanych zadań? Kapitał ludzki może być oceniony pod kątem wielu parametrów: wiedzy, umiejętności, doświadczenia, kwalifikacji, osobowości, warunków fizycznych itp. (Cascio, 2001). Część z nich składa się na tzw. kompetencje, będące kluczowym kapitałem przedsiębiorstw, determinującym ich sukces (Beyer, 2012; Kupczyk i Stor, 2017; Wieczorek-Szymańska, 2012a).

Dodatnią korelację pomiędzy kompetencjami pracowników a wynikami przedsiębiorstw potwierdza wielu autorów (Appelbaum i in., 2000; Becker i Huselid, 2006; Gangani i in., 2006; Kalmi i Kauhanen, 2008; Kupczyk, 2014; Teodorescu, 2006). Powszechnie uznaje się, że przedsiębiorstwa mogą osiągać swoje cele dzięki zarządzaniu kompetencjami (Narojczyk, 2018), które nakładają na organizację konieczność stałego monitorowania poziomu wiedzy i umiejętności pracowników, dostarczając jednocześnie metody przeprowadzania takiej analizy (Sidor-Rządkowska, 2020).

W dostępnej literaturze przedmiotu można spotkać wiele metod z zakresu wspomagania decydentów w procesach oceny kompetencji i identyfikacji luk kompetencyjnych (Antosz, 2018; Furman, 2016; Misiurek, 2015; Wojtas-Klima, 2014). Takie funkcjonalności, wspierające decydentów w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi, posiadają istniejące na rynku narzędzia IT klas CMS (Competency Management System) oraz HRM (Human Resource Management), takie jak: TETA HR, SAGE HR, tomHRM itp.

Zarządzanie kompetencjami realizowane jest w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu organizacji (Bombiak, 2017), implikującym częste zmiany w zakresie i strukturze celów, zadań i zasobów. Analiza przeprowadzona w opracowaniu Jasińskiej (2015) pokazuje, że organizacja doświadcza skutków zmian w trybie ciągłym. Przykładem takich zmian są m.in.: absencje pracowników (zwolnienia lekarskie, wypadki itp.), nowe zlecenia, mobilność kadry (częste zmiany zatrudnienia), pojawienie się na rynku nowych konkurentów, nowe i/lub zaktualizowane akty legislacyjne, nowe technologie itp. Większość z nich ma charakter losowy (np. absencje, nowe zlecenia) i nie może być przewidziana z odpowiednim wyprzedzeniem. Tego

typu zdarzenia, prowadzące do przerwania lub co najmniej opóźnienia wykonania zadań, nazywane są zakłóceniami (Bocewicz i in., 2016; Czop, 2016; Gaschi-Uciecha, 2015; Ingels i Maenhout, 2019; Klimek, 2010; Kramarz, 2013; Szwarc i in., 2019b).

Skutków tak rozumianych zakłóceń doświadcza wiele rodzajów organizacji a przede wszystkim organizacji realizujących projekty (Zhu i in., 2005). Terminowa realizacja przyjętego portfela projektów jest jednym z czynników gwarantującym osiągnięcie przyjętego przez tego typu organizację celu. Istotnym etapem warunkującym poprawną realizację portfela projektów jest proces podejmowania decyzji związanych z przydziałem zleconych czynności do pracowników. Rzadko jednak uwzględnia się w tym procesie oddziaływanie zakłóceń tj. absencji pracowników, zlecenie nowych czynności, zmiany w strukturze projektów itp.

Najczęściej obserwowaną reakcją na zakłócenia, pojawiające się w trakcie realizacji projektu, jest próba poszukiwania takiej modyfikacji realizowanego przydziału czynności do pracowników (dalej w skrócie przydziału czynności), która umożliwi jego kontynuację i/lub zakończenie w założonym horyzoncie czasu. To, czy stosowne zmiany są możliwe do przeprowadzenia zależy od wiedzy, umiejętności, kwalifikacji dostępnych pracowników. Wymienione cechy nazywa się kompetencjami. W szczególnym przypadku, może się okazać, że z powodu niewystarczających kompetencji pozostałych w dyspozycji pracowników nie jest możliwe przeprowadzenie stosownych (umożliwiających kontynuację i/lub terminowe zakończenie projektów) zmian w realizowanym przydziale czynności. Próby tego typu, tzn. a posteriori, reagowania na ad hoc pojawiające się zakłócenia nie zawsze kończą się powodzeniem. Alternatywę dla tak rozumianego podejścia reaktywnego stanowi koncepcja planowania proaktywnego (Dücker i in., 2012; Ionescu i Kliewer, 2011) sprowadzającego się do kompletacji zespołów pracowniczych o nadmiarowych (redundantnych) kompetencjach. Na tyle nadmiarowych, aby w sytuacji zaistnienia przewidywanych absencji pracowniczych gwarantowały dokonanie zmian w realizowanym przydziale czynności. Struktury kompetencji (rozumiane jako kompetencje wielu pracowników, reprezentowane jako binarne matryce kompetencji (Bielińska, 2017)) dające taką gwarancję nazywane są odpornymi na określony zbiór zakłóceń. Inaczej mówiąc, odporna struktura kompetencji to taka, która gwarantuje realizację założonego przydziału czynności mimo wystąpienia określonego rodzaju zakłóceń. W konsekwencji planowanie struktur kompetencji gwarantujących realizację zleconych zadań, sprowadza się do poszukiwania alternatywnych struktur kompetencji odpornych na wybrany (znany a priori) zbiór zakłóceń. Poszukiwania te mogą się wiązać z doszkalaniami/przeszkalaniami i/lub zatrudnianiem dodatkowych pracowników.

W przedstawionym kontekście, rozważany w pracy problem sformułowany jest następująco: Dana jest organizacja projektowa dysponująca kapitałem ludzkim o zadanej strukturze kompetencji zatrudnionej w nim kadry (pracowników). Znany jest portfel realizowanych projektów, przydział czynności oraz zbiór zakłóceń. Poszukiwane są decyzje w zakresie kształtowania zespołów pracowniczych (rozwoju/uzupełnienia/uzyskania kompetencji u pracowników), dla których odpowiadające im struktury kompetencji są odporne na wybrany, znany a priori rodzaj zakłóceń. W szczególności związane jest to z odpowiedzią na pytania polegające na:

- ocenie (analizie) odporności struktury kompetencji na wybrane zakłócenia, tzn.: czy struktura kompetencji gwarantuje odporność na wybrany zbiór zakłóceń?
- poszukiwaniu (syntezie) struktury kompetencji odpornej na wybrane zakłócenia, tzn.: czy istnieje taka jej postać, która gwarantuje zadaną odporność na wybrany zbiór zakłóceń?

Badania podejmujące problematykę planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia należą do rzadkości. Nieliczne publikacje z tego zakresu noszą raczej wstępny, koncepcyjny charakter (Hazir i in., 2010; Ingels i Maenhout, 2015; Krupski, 2012; Malen i Vaaler, 2017). Inaczej mówiąc istnieje luka badawcza w zakresie badań nad metodami pozwalającymi na budowanie zespołów pracowniczych, których struktury kompetencji gwarantują realizację portfela projektów „niewrażliwą” na wybrane rodzaje zakłóceń.

Brak metod wspierających planowanie struktur kompetencji odpornych na zakłócenia wynika m.in. z faktu, że rozważany problem należy do klasy problemów NP-zupełnych (Papadimitriou, 1994; Sysło, 1978). Mając na uwadze spotykane w praktyce skale problemów (dziesiątki pracowników, setki czynności), implikuje to konieczność stosowania efektywnych czasowo metodyk umożliwiających przeszukiwanie dużych struktur danych (jak na przykład programowanie z ograniczeniami), uzupełnionych o nadmiarowe ograniczenia (tzw. warunki wystarczające), których spełnienie gwarantuje istnienie rozwiązań dopuszczalnych a tym samym uzasadnia ponoszone nakłady czasowe.

W tym kontekście głównym celem badań jest:

Opracowanie metody wspomagającej planowanie (analizę i syntezę) struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia powodowane absencją pracowniczą i/lub koniecznością realizacji nieprzewidzianych wcześniej czynności.

Dla realizacji tak sformułowanego celu przyjęto następującą hipotezę:

Wykorzystanie technik obliczeniowych bazujących na paradygmacie programowania deklaratywnego pozwala na syntezę struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń w trybie online¹.

Przyjęto, że implementacja opracowanej metody np. w systemach klasy CMS (Competency Management Systems), HRMS (Human Resource Management Systems), HRIS (Human Resource Information Systems), ERP (Enterprise Resource Planning), umożliwi wczesne wykrywanie potrzeb i szybkie wariantowanie alternatywnych decyzji w zakresie zarządzania kompetencjami posiadanej kadry. W szczególności rozwiązanie takie pozwoli na podejmowanie decyzji personalnych wymuszanych przez absencję i/lub fluktuację personelu, zmiany legislacyjne, zmian zakresu zleceń itp. Umożliwi również opracowanie innych pochodnych metod zarządzania zasobami ludzkimi, jak np. metod wspomagania organizacji i planowania pracy zespołowej w sytuacjach wymuszanych absencją pracowników i koniecznością wypracowywania rozwiązań umożliwiających ich substytucję.

Osiągnięcie postawionego celu badań i weryfikacja przyjętej hipotezy wymagały realizacji procesu badawczego obejmującego:

- analizę literatury przedmiotu z zakresu zarządzania kompetencjami w celu usystematyzowania kwestii terminologicznych i klasyfikacyjnych w obszarze kompetencji oraz identyfikowania i oceniania kompetencji,
- zdefiniowanie terminów umożliwiających sformułowanie problemu planowania struktur kompetencji, takich jak: struktura kompetencji, zakłócenie, odporność struktury kompetencji na zakłócenie,
- przegląd istniejących sposobów planowania struktur kompetencji w warunkach niepewności towarzyszących realizacji projektów,
- identyfikację luki badawczej polegającej na braku metod wspomagających podejmowanie decyzji w zakresie planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia,

¹ Tryb online nazywany jest również trybem interakcyjnym pracy człowieka z komputerem/programem, w którym użytkownik wprowadza dane i otrzymuje wyniki w czasie pracy programu przetwarzającego te dane, dzięki temu użytkownik jest natychmiast informowany o sposobie i wyniku przetwarzania danych. Podstawowym czynnikiem świadczącym o trybie interakcyjnym jest czas odpowiedzi (ang. System Response Time, SRT) tzn. opóźnienie między wprowadzeniem danych a uzyskaniem odpowiedzi. W zakresie systemów wspomagania decyzji w literaturze spotyka się różne akceptowalne wartości SRT np. jest to czas nie dłuższy niż 5 minut (Bach, 2008). W wyniku otrzymanych rezultatów badań wstępnych (Szwarc i in., 2019a, 2019d) oraz konsultacji przeprowadzonych w organizacjach biorących udział w weryfikacji opracowanej metody (Kaliop Poland sp. z o.o., Wydział Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej) w rozprawie przyjęto, że tryb online oznacza czas oczekiwania na odpowiedź nie dłuższy niż 20 minut.

- sformułowanie problemu planowania struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia,
- opracowanie referencyjnego modelu dla problemu planowania struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia,
- wyznaczenie warunków wystarczających, spełnienie których gwarantuje istnienie struktury kompetencji odpornej na wybrane zakłócenia,
- opracowanie metody planowania struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia,
- zweryfikowanie działania metody na danych rzeczywistych pochodzących z dwóch organizacji: uczelni wyższej i przedsiębiorstwa branży IT.

Przyjęty proces badawczy znalazł swoje odbicie w strukturze pracy. Treść rozprawy została zawarta w dwóch częściach. Pierwsza, składająca się z trzech rozdziałów, stanowi teoretyczne wprowadzenie w zagadnienie planowania pracowniczych struktur kompetencji odpornych na zakłócenia. Druga, zawierająca cztery rozdziały, prezentuje model planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia oraz autorską metodę wspomagania planowania takich struktur kompetencji.

W rozdziale pierwszym przeanalizowano wybrane, istniejące w literaturze, definicje terminu *kompetencje*. Na tej podstawie dokonano wyboru jednej z przedstawionych. Dodatkowo wyróżniono kilka rodzajów kompetencji, z których wybrano dwa: wymagane do realizacji zadań i posiadane przez pracowników. Następnie, na podstawie przykładu zilustrowano sposób bilansowania obydwu rodzajów kompetencji. Szczególną uwagę zwrócono na sytuację gdy kompetencje będące w dyspozycji pracowników są niewystarczające do realizacji zadań. Zauważono przy tym, że brakujące kompetencje mogą być uzupełniane w różnym czasie. W celu analizy ilościowej kompetencji wskazano istniejące w literaturze matematyczne modele, uwzględniające naturę kompetencji (kolejność ich uzyskiwania oraz efekt synergii). W końcowej części rozdziału, będącej zarazem wstępem do rozdziału drugiego, zwrócono uwagę na bilansowanie kompetencji w warunkach niepewności.

Rozdział drugi rozprawy dotyczy planowania pracowniczych struktur kompetencji w warunkach niepewności towarzyszących realizacji projektów. Zdefiniowano w nim takie pojęcia jak zakłócenie, odporność struktury kompetencji na zakłócenia, miara odporności. Zaprezentowany przykład pokazuje, że problem poszukiwania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia jest nietrywialny a nieliczne prace podejmujące tą tematykę noszą wstępny, koncepcyjny charakter. Tym samym opierając się na przytoczonych pracach z zakresu planowania

zespołów projektowych, wskazano lukę badawczą w postaci braku metod wspomagających decydentów w planowaniu struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń.

W rozdziale trzecim sformułowano problem badawczy i związaną z nim hipotezę. Na tej podstawie określono cele i zakres pracy doktorskiej. Przedstawiono metodykę prowadzonych badań. Tą część pracy zakończono dyskusją nad osadzeniem spodziewanych rezultatów badań w dyscyplinie: nauki o zarządzaniu i jakości.

Rozdział czwarty, otwiera część badawczą pracy i jest poświęcony wspomaganie planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia. Zawarto w nim referencyjny model planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia. Przyjęty model pozwala na sformułowanie problemu poszukiwania odpornych struktur kompetencji w formalizmie Problemu Spełniania Ograniczeń (PSO). Rozwiązanie problemu sprowadza się do poszukiwania takich wartości zmiennych decyzyjnych, które spełniają wszystkie ograniczenia (szereg indywidualnych potrzeb i specyficznych wymagań składających się na sformułowanie rozważanej wersji problemu). Oznacza to, że opracowany model osadzony w środowiskach programowania deklaratywnego umożliwia opracowanie autorskiej metody, przedstawionej w kolejnym rozdziale.

W rozdziale piątym dokonano analizy możliwości w zakresie planowania kompetencji zespołów projektowych. Na podstawie tego opracowano autorską metodę wspomagającą decydentów w planowaniu kompetencji zespołów pracowniczych odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń. Ponadto przykłady prezentowane we wcześniejszych rozdziałach wskazują, że rozważany w pracy problem należy do klasy problemów NP-zupełnych i może wymagać czasochłonnych obliczeń, przy jednoczesnym braku gwarancji znalezienia jakiegokolwiek rozwiązania dopuszczalnego. W związku z tym opracowano tzw. warunki wystarczające, których spełnienie gwarantuje istnienie takiego rozwiązania. Sprawdzanie spełniania tych warunków pozwala na konstrukcję szybkiego, „zachłannego” algorytmu poszukiwania rozwiązań dopuszczalnych, złożoność którego rośnie liniowo od rozmiaru problemu. Następnie zaprezentowano ideę interakcyjnego programu komputerowego, który w czasie nie dłuższym niż 20 minut podaje odpowiedzi na szereg pytań typu: Czy posiadany zespół pracowników, o zadanej strukturze kompetencji pozwala realizować określone zadania mimo pojawiających się zakłóceń? Czy istnieje taka struktura kompetencji, która gwarantuje jej odporność na wybrany rodzaj zakłóceń? Jeśli tak to jakich zmian w strukturze należy dokonać?

Rozdział szósty zawiera opis eksperymentów weryfikujących poprawność modelu i skuteczne działanie metody. Jako obiekty badań obrano dane pochodzące z uczelni wyższej

(w której Autor jest zatrudniony) oraz z przedsiębiorstwa branży IT. Wyniki obliczeń potwierdziły słusność postawionej hipotezy.

Rozdział siódmy podsumowuje rezultaty badań i zawiera ocenę zebranych w ich toku wyników. Zaakcentowano, że zamiast poszukiwać sposobu (algorytmu) rozwiązania problemu (jak rozwiązać problem?), wystarczy w sposób deklaracyjny opisać ów problem (jaki jest problem?). Wskazuje to na duży potencjał modelowania deklaracyjnego do rozwiązania wielu problemów z zakresu zarządzania. Określono tym samym kierunki dalszych badań.

Rozprawę zamykają bibliografia oraz załączniki.

Prezentowana dysertacja stanowi podsumowanie badań inspirowanych zagadnieniami planowania kompetentnych zespołów pracowniczych, związanych m.in. z pełnioną funkcją administratora/dyspozytora obciążeń dydaktycznych i planisty zajęć w uczelni wyższej. W zakresie podstaw teoretycznych zarządzania kompetencjami jej wkład akcentuje wybrane aspekty odporności na zakłócenia, a w zakresie zastosowań proponuje nowatorskie rozwiązanie metodyczne implementowane w procesach wspomagania podejmowania decyzji, w warunkach niepewności.

Pracę przygotowano w ramach projektu sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer 2019/33/N/HS4/00379, realizowanego w ramach konkursu Preludium 17. Tytuł projektu: „Metoda planowania pracowniczych struktur kompetencji odpornych na zakłócenia otoczenia organizacji”.

CZĘŚĆ I. PLANOWANIE KOMPETENCJI W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

W powyższym wprowadzeniu posłużono się pojęciem „zarządzanie kompetencjami”, które jest powszechnie rozumiane jako oddziaływanie związane z kształtowaniem (projektowaniem, organizowaniem, rozwijaniem i utrzymaniem) takich kompetencji, które pozwalają osiągać założone cele (Bugaj, 2014; Oleksyn, 2017). Zarządzanie kompetencjami obejmuje planowanie i organizowanie stosownych działań, inspirowanie i motywowanie pracowników w kierunku doskonalenia zawodowego i podejmowania się nowych bądź szerszych ról organizacyjnych oraz kontrolę przebiegu związanych z powyższymi procesów (Oleksyn, 2017). Idea zarządzania kompetencjami polega na wyszczególnieniu i opisanu konkretnych cech, które dany pracownik powinien posiadać, aby osiągnąć satysfakcjonujący standard. Opisywanie cech sprowadza się do tworzenia struktur, macierzy, profili oraz pól lub list kompetencji (Rogozińska-Pawelczyk, 2006).

Zazwyczaj identyfikuje się dwa zbiory kompetencji: wymagane i posiadane. Pierwszy zbiór określa się za pomocą stosowanych standardów lub stosując tzw. profile kompetencyjne. Drugi zbiór identyfikuje się istniejącymi metodami oceny i pomiaru kompetencji. Utrzymanie obydwu zbiorów w równowadze nazywane jest bilansowaniem kompetencji. Niebilansowanie może być dwojakiego rodzaju: kompetencje mogą być zbyt niskie lub zbyt wysokie. Pierwszy rodzaj powoduje brak możliwości osiągnięcia zadanego celu co skutkuje koniecznością planowania i organizowania działań mających na celu rozwój kompetencji do wystarczającego poziomu. Drugi rodzaj powoduje z kolei, że nie ma obaw o osiągnięcie celu, ale pojawia się ekonomiczny aspekt przepłacania za nadmiarowo posiadane kompetencje. W dalszej części pracy uwagę skoncentrowano na sytuacji gdy kompetencje są niewystarczające do osiągnięcia zadanego celu. Wiąże się to z potrzebą uzupełnienia kwalifikacji bądź też z koniecznością przekwalifikowania (Oleksyn, 2017). W tym kontekście powstaje szereg pytań: Jak definiuje się kompetencje? W jaki sposób kompetencje są identyfikowane, oceniane i mierzone? Czy każdą brakującą kompetencję można uzyskać w takim samym czasie? W jaki sposób modeluje się kompetencje?

1. Kompetencje – przegląd literatury

Termin *kompetencje* jest powszechnie znany i stosowany w dziedzinach takich jak: socjologia, pedagogika, filozofia, ekonomia, zarządzanie, prawo i innych. W konsekwencji kompetencje są kojarzone i definiowane w niezliczonych kombinacjach, zależnych od dziedziny

i kontekstu. Początkowo (w latach 80-tych XX w.) kompetencje rozumiano jako formalne prawo do zajmowania się w imieniu danej organizacji określonymi sprawami i do podejmowania decyzji w określonym zakresie (Oleksyn, 2017). Natomiast efektywność, skuteczność wykonania prac kojarzona była z kwalifikacjami (Moczyłowska, 2008). Potwierdza to Butkiewicz (1995), w której kompetencje definiowane są jako „zakres wiedzy, umiejętności i odpowiedzialności, pełnomocnictw i uprawnień do działania” a kompetentny człowiek to „uprawniony do działania i decydowania, mający podstawy i kwalifikacje do wydawania opinii i sądów”, natomiast kwalifikacje „to układ wiadomości, umiejętności i postaw warunkujących wykonanie zadań zawodowych”. Podobnie Orczyk (2009) zauważył, że kompetencje dawniej wskazywały zakres uprawnień do podejmowania decyzji, do realizacji określonych zadań, które z kolei wiązały się z procedurami. To właśnie znajomość i przestrzeganie procedur przesądzały o kompetentnym wykonaniu pracy.

1.1. Definicje kompetencji

Za prekursora stosowania terminu *kompetencje* w dziedzinie zarządzania uznaje się Boyatzisa (1982). Zdefiniował on kompetencje jako „charakterystykę osoby, określaną przez takie cechy jak motywacja i umiejętności wyrażającą się w jego wizerunku, roli społecznej lub czynnie wykorzystywanej wiedzy” oraz jako „potencjał istniejący w człowieku, prowadzący do takiego zachowania, które przyczynia się do zaspokojenia wymagań na danym stanowisku pracy w ramach parametrów otoczenia organizacji, co z kolei daje pożądane wyniki” (Boyatzis, 1982). Termin *wiedza* należy rozumieć dalej jako jej zakres np. wiedza w zakresie: norm jakości, metodyki prowadzenia zajęć dydaktycznych, kierowania pojazdami mechanicznymi itp. Stąd też w niniejszej pracy zamiennie stosuje się terminy *wiedza* i *zakres wiedzy*.

Według francuskiego systemu kształcenia zawodowego, termin *kompetencje* (*compétence*) stosowano pierwotnie w celu określenia zdolności do wykonania zadania. Z upływem czasu, kompetencje zaczęły pojawiać się w kształceniu ogólnym określając potencjał/możliwość do efektywnego działania w określonej sytuacji (Romainville, 1996). Podobną definicję kompetencji podaje inny francuski autor Perrenoud (1997), który twierdzi, że kompetencje to „umiejętność efektywnego działania w wielu określonych sytuacjach”, która oparta jest przede wszystkim na wiedzy.

Do najczęściej cytowanych definicji kompetencji, wśród zagranicznych autorów zaliczyć można:

- „zbiór zachowań, które pewne osoby opanowują lepiej niż inne, co sprawia, że w określonej sytuacji działają one sprawniej” (Levy-Leboyer, 1997),
- „zdolność pracownika do działania prowadzącego do osiągnięcia zamierzonego celu w danych warunkach, za pomocą określonych środków” (Thierry i in., 1994),
- motywy (pobudki), cechy charakteru, postawy, wartości, wiedza, umiejętności poznawcze i behawioralne – jakakolwiek charakterystyka indywidualna, która może być rzetelnie zmierzona lub policzona i która umożliwia podejmowanie istotnego rozróżnienia między wykonawcami ponadprzeciętnymi a przeciętnymi albo pomiędzy tymi, którzy są skuteczni i nieskuteczni (L. Spencer i S. Spencer, 1993),
- „zbiór wzorców zachowań potrzebnych do prawidłowego wykonania zadań lub funkcji” (Woodruff, 1992).

Ponadto należy wspomnieć o swego rodzaju międzynarodowej definicji, którą w czasie sympozjum Rady Europy na temat kompetencji zaproponował Coolahan (Council of Europe, 1997). Według niego termin *kompetencje* rozumiany jest jako „ogólne zdolności (możliwości) oparte na wiedzy, doświadczeniu, wartościach oraz skłonnościach nabytych w wyniku oddziaływań edukacyjnych”. Wynioskować z tego można, że kompetencje to efekt nauczania danego człowieka (jednostki).

Podobnie jak w językach angielskim i francuskim, również w języku polskim panuje wieloznaczność terminu *kompetencje*, na co uwagę zwrócił Miłkuła (2001). Stwierdził on, że „w praktyce najczęściej traktuje się kompetencje jako uprawnienia do działania w określonym zakresie łącznie z podejmowaniem decyzji”. Spośród wielu krajowych autorów wyróżnić należy:

- Sajkiewicz (2002), która uważa, że kompetencje to „zbiór wiedzy, uzdolnień, stylów działania, osobowości, wyznawanych zasad, zainteresowań i innych cech, które używane i rozwijane w procesie pracy prowadzą do osiągnięcia rezultatów zgodnych ze strategicznymi zamierzeniami przedsiębiorstwa”,
- Filipowicza (2004) definiującego kompetencje jako „dyspozycje w zakresie wiedzy, umiejętności i postaw, pozwalające realizować zadania zawodowe na odpowiednim poziomie”,
- Lendzion i Stankiewicz-Mróż (2005), które twierdzą, że kompetencje to „suma wiedzy i umiejętności oraz sposób zachowania, niezbędne do optymalnego realizowania określonych ról organizacyjnych”,

- Walkowiaka (2004) podającego definicję: kompetencje to „wiedza, doświadczenie, umiejętności, postawy, cechy osobowościowe oraz zachowanie pracowników, nakierowane na skuteczne i sprawne wykonywanie zadań w ciągle zmieniających się sytuacjach zawodowych”,
- Oleksyna (2016) który uważa kompetencje za „postawy, predyspozycje, wewnętrzną motywację, kondycję, zdrowie oraz inne cechy psychofizyczne ważne z punktu widzenia wykonywanej pracy, a także uprawnienia do działania”,
- Janowską (2001), według której „kompetencje to wiedza, doświadczenie, umiejętności i zaangażowanie pracowników”, które pozwalają realizować zadania.

Spośród wymienionych definicji, na uwagę zasługuje ta podana przez Sajkiewicz (2002), według której kompetencje nie powinny być postrzegane tylko w kontekście używania ich do osiągnięcia zamierzonych rezultatów. Otóż kompetencje również można, a niekiedy nawet należy rozwijać/zmieniać aby te rezultaty osiągnąć. Akcentuje to ważną cechę kompetencji jaką jest zmienność. To oznacza, że kompetencje można zarówno zyskać (np. kończąc kurs uprawniający do wykonywania zawodu/zadań) jak i stracić (np. uprawnienia do wykonywania zawodu/zadań).

Ponadto należy zwrócić uwagę, że w ramach definicji kompetencji podawane są różne składowe (komponenty), takie jak wymienił Armstrong (2005):

- umiejętności – oznaczają co pracownik potrafi robić i czasami określane jako zdolności do działania (np. umiejętności zawodowe, stanowiskowe, techniczne itp.),
- wiedza – określa to czego pracownik nauczył się do tej pory (formalnie w ramach szkoły, studiów itp. i nieformalnie w ramach samokształcenia),
- predyspozycje – czyli wrodzone zdolności pracownika (uwarunkowane przez genetykę, wychowanie, środowisko, cechy osobowościowe itp.) do realizacji zadań,
- doświadczenie,
- postawy – są tendencją pracownika do reagowania negatywnie (destruktywnie) lub pozytywnie (konstruktywnie) na określoną sytuację, koncepcję, opinię, instytucję czy osobę,
- osobowość,
- zdrowie i kondycja – związane z pracą w danym zawodzie i/lub na danym stanowisku (np. sprawność fizyczna, zdolności psychofizyczne itp.).

Spośród wymienionych definicji, na uwagę zasługują te, które akcentują kompetencje określające cechy decydujące o osiągnięciu zamierzonych celów (patrz definicje: Oleksyn, 2016; Sajkiewicz, 2002; L. Spencer i S. Spencer, 2003). Biorąc pod uwagę wcześniej zasygnalizowaną zmienność kompetencji powstaje pytanie: które składowe można zmienić? Czy można zmienić np. osobowość? Przykładowo Bartkowiak (2003) traktuje uwarunkowania osobowościowe jako podstawę kształtowania się kompetencji, ale nie jako jej część składową. Osobowość nie podlega rozwojowi w toku szkoleń (ekstrawertyk nie zmieni się w introwertyka i odwrotnie). Jednak, jak zauważa Moczydłowska (2008), nie należy przekreślać roli osobowości pracowników ponieważ to one w istotnym stopniu determinują np. efektywność nabywania nowych kompetencji oraz doskonalenia tych już posiadanych. Przykładowo, umiejętność wystąpień/prezentacji ekstrawertyk będzie nabywał efektywniej od introwertyka. Widać zatem, że zdania autorów są podzielone w zakresie składowych kompetencji i nie istnieje uniwersalna definicja terminu *kompetencje*. Najistotniejsze wydaje się jednak, że większość przywołanych definicji kojarzona jest w kontekście wykonywania zadań i osiągania zadanych celów. Oznacza to, że kompetencje gwarantują wykonanie zadań na takim poziomie, który pozwala osiągać postawione cele. Natomiast nazwanie pracownika kompetentnym do realizacji zadań w uproszczeniu oznacza, że mamy pewność co do wykonania powierzonych mu obowiązków.

W związku z ukazaniem różnicowaniem definicji, do dalszych rozważań przyjmuje się, że **kompetencje to zbiór cech pracownika, które używane i rozwijane w procesie pracy prowadzą do osiągnięcia rezultatów zgodnych z założonymi celami.**

Takimi kompetencjami (cechami) mogą być podane przez Sidor-Rządkowską (2020) najbardziej popularne: orientacja na pracę zespołową, komunikacja, umiejętności zawodowe/techniczne, kreatywność, zdolności interpersonalne itp. Jak podaje autorka, badania przeprowadzone przez Armstronga (2005) wykazały łącznie 433 nazwane kompetencje. Jest to jeden z większych, o ile nie największy, opracowany zbiór kompetencji. Można również przyjąć, że każdy pracownik posiada (w różnym stopniu: słabym, średnim, dobrym, przeciętnym, niskim, dużym itp.) wszystkie kompetencje. Powstaje pytanie czy wszystkie są one istotne z punktu widzenia każdego zawodu/stanowiska i każdej wykonywanej pracy? Odpowiadając na to pytanie warto zacytować Sidor-Rządkowską (2020), która stwierdza że „nie istnieje nic takiego jak uniwersalny katalog kompetencji potrzebnych zawsze i wszędzie; kompetencje kluczowe w jednej firmie mogą okazać się zupełnie nieprzydatne w innej”.

Zanim podany zostanie przykład określonego stanowiska pracy/zadania i związanych z nim niezbędnych kompetencji warto odnotować, że w literaturze przedmiotu oprócz kompe-

tencji ludzkich wyróżnia się takie rodzaje kompetencji jak: organizacji/przedsiębiorstwa/korporacji, stanowiskowe (kompetencje dla jednego stanowiska, ewentualnie grupy stanowisk tworzących chociażby komórkę organizacyjną np. pion, wydział danego przedsiębiorstwa), itp. (Dudzińska-Głaz, 2012). Ponadto spotyka się opracowania na temat kompetencji: zawodowych, rzeczywiście posiadanych, kluczowych, uniwersalnych, specyficznych, miękkich, twardych itp. W kolejnej części pracy przybliżono niektóre z istniejących sposobów rozróżniania.

1.2. Rodzaje kompetencji

Oleksyn (2017) wyróżnia pięć rodzajów kompetencji:

- organizacji (gdzie kompetencje warunkują wyniki działalności organizacji, stanowią kombinację kompetencji m.in.: zarządczych, pracowników, przyjętych z zewnątrz (patenty, licencje), społecznych),
- zawodowe (odnoszące się do poszczególnych zawodów),
- stanowiskowe (kompetencje związane z wymaganiami poszczególnych stanowisk pracy),
- rzeczywiście posiadane przez poszczególnych ludzi,
- możliwe do uzyskania (leżące w granicach możliwości danego człowieka).

Pocztowski (2016) kompetencje podzielił na dwie grupy: podstawowe (mające zasadnicze znaczenie dla prawidłowego wykonania danej pracy np. wiedza, rozwiązywanie problemów, komunikowanie się, kształtowanie relacji) i wyróżniające (odróżniające pracownika efektywnego od pozostałych np. przywództwo, empatia, gotowość uczenia się, nastawienie na kreatywność, orientacja na przyszłość). Również na dwie grupy kompetencje dzieli Filipowicz (2004) oraz Goleman (1997). Pierwszy z nich wyróżnia kompetencje bazowe (dyspozycje stanowiące podstawę dla innych np. komunikatywność, radzenie sobie ze stresem, wytrwałość) i wykonawcze (związane z realizowanymi w miejscu pracy konkretnymi działaniami np. orientacja w biznesie, otwartość na zmiany, przywództwo, motywowanie). Drugi z nich zaś mówi o kompetencjach psychologicznych (np. świadomość, motywacja) i społecznych (np. empatia, umiejętności społeczne). Wśród innych propozycji podziału kompetencji należy zauważyć podaną przez Sidor-Rządkowską (2020), która wskazała trzy grupy kompetencji stosowane w praktyce organizacyjnej: firmowe (inaczej korporacyjne, wspólne dla pracowników danej organizacji), fachowe (inaczej zawodowe, ściśle związane z rodzajem wykonywanej pracy/za-

dań), społeczne (związane z koniecznością kontaktów z innymi ludźmi). Do ciekawego, a zarazem prostego podziału doprowadziła Kubicka-Daab (2002), wyróżniając tylko dwa rodzaje kompetencji:

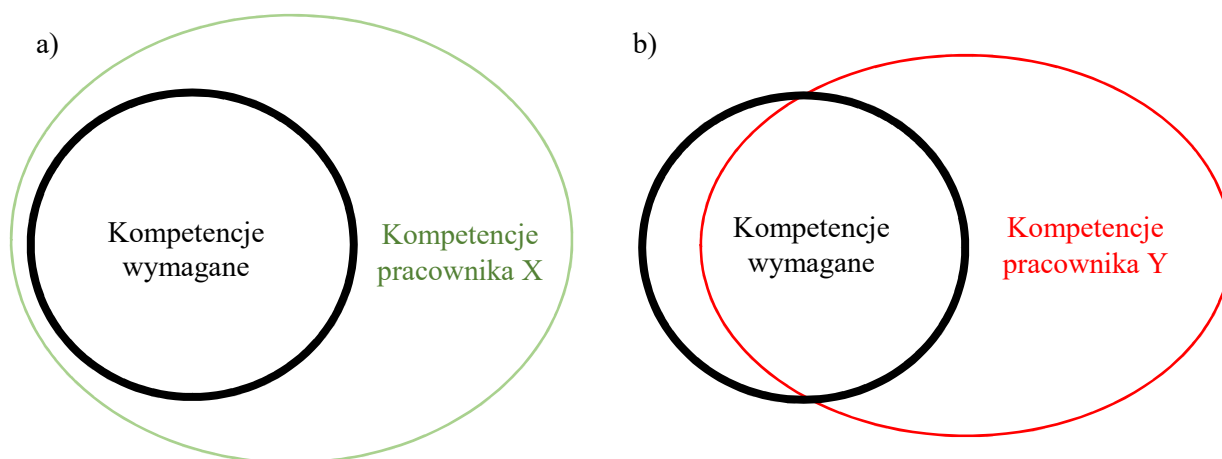
- podstawowe (dotyczą wszystkich osób w danej kategorii zawodowej, np. wszystkich lekarzy, nauczycieli itp.),
- specyficzne (odróżniające konkretne stanowisko pracy czy też konkretną rolę organizacyjną od innych np. chirurg posiada inne kompetencje niż anestezjolog).

Dodatkowo autorka zauważyła, że wśród kompetencji wyróżnić można:

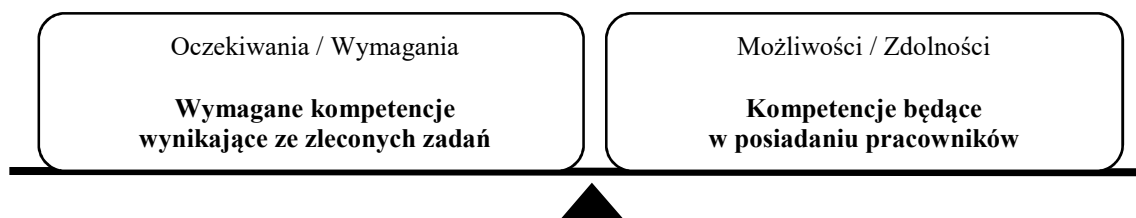
- funkcjonalne, które mają charakter zero-jedynkowy (pracownik kompetencję posiada lub nie), w myśl potocznego powiedzenia, że nie można być „trochę w ciąży”,
- behawioralne, które podlegają stopniowaniu, można je rozwijać (o kolejne stopnie), pracując na danym stanowisku.

Wśród wymienionych rodzajów kompetencji istnieją zarówno takie, które wynikają z bezosobowych wymagań stanowiska pracy/organizacji/zawodu (np. kompetencje lekarza, nauczyciela, kierowcy, inspektora BHP itp.) jak również takie, które wiążą się z kompetencjami osobowymi (posiadanymi przez pracowników). Powstaje pytanie: czy to oznacza, że są to dwa różne zbiory kompetencji? Można uznać, że istnieje jeden zbiór kompetencji (patrz 433 kompetencje według Armstronga), który możemy postrzegać z dwóch perspektyw: kompetencji wymaganych (wzorcowych/oczekiwanych) do realizacji zadań oraz kompetencji będących w posiadaniu pracowników (Czapla, 2010). Oczywiście jest, że obydwie grupy powinny być zharmonizowane tzn. kompetencje posiadane powinny być co najmniej na takim poziomie jak kompetencje wymagane (Rys. 1a). W przeciwnym wypadku, gdy kompetencje posiadane są niewystarczające (Rys. 1b), dąży się do zbilansowania kompetencji posiadanych z wymaganymi (Rys. 2).

W literaturze z zakresu nauk o zarządzaniu przyjęło się by grupę kompetencji wymaganych nazywać modelem kompetencji (Draganidis i Mentzas, 2006; Graber, 2012; Juchnowicz i Sienkiewicz, 2006; Szczęsna i Rostkowski, 2004) lub profilem kompetencji (Jurek, 2012). Przykładowo Draganidis i Mentzas (2006) definiują model jako listę kompetencji, które uznaje się za zadowalające albo nadzwyczajne w danym zawodzie lub zajęciu. Za przykład podawany jest zawód menedżera sprzedaży, dla którego wymagane są takie kompetencje jak: planowanie sprzedaży, umiejętność pracy zespołowej, konkurowanie na rynku, identyfikowanie trendów sektorowych i myślenie strategiczne.



Rys. 1. Kompetencje a) wystarczające, b) niewystarczające do realizacji zadania
(opracowanie własne)



Rys. 2. Bilansowanie kompetencji (opracowanie własne)

Graber (2012) definiuje model jako grupę kompetencji, które są konieczne do właściwego wykonywania pracy bądź też roli. Inni autorzy modelem kompetencji nazywają:

- zbiór wszystkich kompetencji wymaganych od pracowników danej organizacji, pogrupowanych dla poszczególnych stanowisk lub ról organizacyjnych składających się na zestawy zwane profilami kompetencyjnymi (Juchnowicz i Sienkiewicz, 2006),
- opisową charakterystykę kompetencji wymaganych do osiągnięcia wyników pracy na danym stanowisku (Dubois i Rothwell, 2008),
- wzorzec kompetencji, na podstawie którego można dokonać identyfikacji swoistej luki kompetencyjnej oraz podjąć działania ukierunkowane na jej minimalizację w określonym czasie (Pocztowski i Miś, 2000).

Podsumowując, jak zauważa Staniszevska (za: Dubois i Rothwell, 2008) model kompetencji stanowi pisemną charakterystykę kompetencji wymaganych do osiągnięcia zadowalających lub wzorcowych wyników pracy. W niektórych opracowaniach można znaleźć wyraźne rozróżnienie pojęć „model” i „profil” kompetencji. Przykładem jest praca (Sienkiewicz i Trawińska-Konador, 2003), w której model jest definiowany jako zbiór wszystkich kompetencji wymaganych od pracowników danej organizacji, natomiast profil jest określany jako zestaw

kompetencji opisujących określone stanowisko pracy lub rolę organizacyjną. Widać zatem, że w tym przypadku model kompetencji zawiera profile kompetencji.

Jednak w ramach przytoczonych definicji, tak modeli jak i profili kompetencji, nie ujmuje się zagadnień: poziomu opanowania kompetencji, relacji między kompetencjami, które są podstawą do szacowania czasu potrzebnego do zdobycia określonych nowych kompetencji. W tym kontekście, pojęcie „model kompetencji” zarezerwowano dla innego znaczenia, które uwzględnia te braki (patrz rozdział 1.4).

Wracając do zagadnienia kompetencji wymaganych i posiadanych powstają następujące pytania:

- W jaki sposób identyfikuje się kompetencje wymagane do realizacji określonych zadań?
- Jak stopniuje się poziom opanowania kompetencji?
- W jaki sposób dokonuje się oceny poziomu posiadania danej kompetencji u pracownika?

1.3. Identyfikacja, stopniowanie i ocena kompetencji

Identyfikacja kompetencji jest rozumiana jako proces polegający na wykrywaniu kompetencji niezbędnych dla udanego wykonania zadania (Draganidis i Mentzas, 2006). Istnieje wiele metod identyfikacji kompetencji dla określonego zawodu/stanowiska/zadania. Jak podają Szczęsna i Rostkowski (2004) można je podzielić na dwie grupy opierające się na:

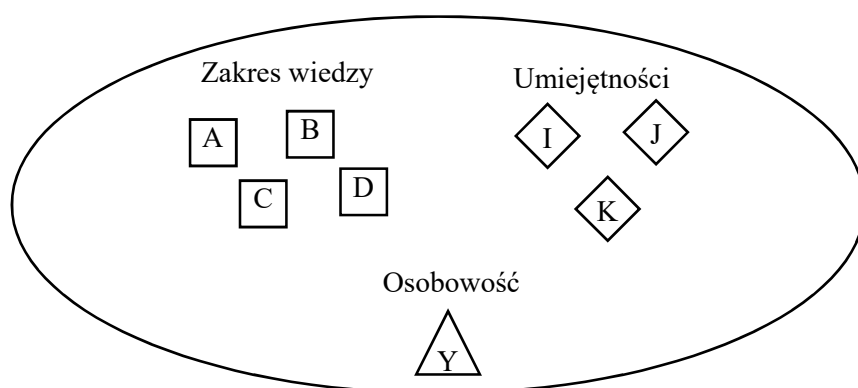
- wcześniejszych doświadczeniach (np. badanie materiałów archiwalnych, wywiady z pracownikami mające na celu ustalenie, jakie kompetencje są szczególnie cenione na danym stanowisku/w firmie, itp.),
- projekcji przyszłości, które polegają na analizie warunków realizacji projektu i opracowaniu prognozy potrzebnych kompetencji.

W wyniku identyfikacji, przykładowo kompetencji dla stanowiska nauczyciela akademickiego, otrzymujemy zbiór kompetencji taki jak: kompetencje przedmiotowe (od nich zależy identyfikacja nauczyciela z przedmiotem i gotowość do aktualizowania wiedzy z zakresu przedmiotu), kompetencje zawodowe (przygotowanie pedagogiczne/psychologiczne/metodyczne/etyczno-kulturowe), komunikacja, współdziałanie, kreatywność (Dziedziczak-Foltyn, 2006). Identyfikacja wymienionych kompetencji sprowadza się do poszukiwania nauczyciela akademickiego posiadającego: wiedzę w zakresie reprezentowanej dyscypliny, wiedzę pedagogiczną/psychologiczną/socjologiczną, praktykę pedagogiczną, osobowość/postawę ideowo-moralną, która

pozwole prowadzić dydaktykę. Zdrowie i kondycja (wspomniane przy wcześniej prowadzonej dyskusji dotyczącej składowych kompetencji) mogą być nieistotne przy kwalifikowaniu pracownika jako kompetentnego nauczyciela akademickiego. W rozprawie przyjmuje się, że zidentyfikowano kompetencje dla określonego zadania. Przykładowo rozważmy, że do realizacji przedmiotu X wymagana jest wiedza w zakresie A, B, C i D. Ponadto konieczne jest posiadanie umiejętności I, J, K oraz osobowości Y. Inaczej mówiąc, wymagane jest posiadanie kompetencji związanych z:

- zakresem wiedzy (A, B, C, D),
- umiejętnościami (I, J, K),
- osobowością (Y).

Pojedynczą kompetencją w tym przypadku jest: posiadanie wiedzy z zakresu A, zakresu B, itd. Dla ułatwienia dalej będzie mowa o kompetencji A, kompetencji B, itd. Zbiór wszystkich kompetencji wymaganych do realizacji przedmiotu X można zilustrować jak na Rys. 3.



Legenda:

□ Kompetencja z zakresu wiedzy

◇ Kompetencja z zakresu umiejętności

△ Kompetencja z zakresu osobowości

Rys. 3. Zbiór kompetencji wymaganych do realizacji przedmiotu X (opracowanie własne)

Naturalną konsekwencją etapu identyfikacji kompetencji jest etap ich stopniowania czyli określenia poziomów opanowania kompetencji. W ramach tego etapu określa się m.in. ile powinno być poziomów opanowania kompetencji. Konkretnie ujął to Jurek (2012), który stwierdził, że im krótsza skala, tym bardziej praktyczna, jednak im dłuższa, tym bardziej precyzyjna. Najistotniejsze aby poszczególne poziomy kompetencji były wyraźnie od siebie różne. W literaturze spotyka się gradację cztero-, pięcio-, sześć-, ośmiopoziomową itp., w których zazwyczaj poziom pierwszy oznacza najniższy poziom posiadania kompetencji, a poziom

ostatni – najwyższy. Najczęściej spotykaną skalą jest pięciostopniowa. Przykładem jest poniższy podział prezentowany przez Staniszewską (2014) i Walkowiaka (2007):

- Poziom I: Brak przyswojenia danej kompetencji;
- Poziom II: Kompetencja przyswojona w stopniu podstawowym (wykorzystywana w sposób nieregularny, wymagająca wsparcia i nadzoru osób bardziej doświadczonych);
- Poziom III: Kompetencja przyswojona w stopniu dobrym (pozwala na jej samodzielne praktyczne wykorzystanie w trakcie realizacji zadań zawodowych);
- Poziom IV: Kompetencja przyswojona w stopniu bardzo dobrym (pozwalającą na bardzo dobrą realizację zadań oraz dzielenie się z innymi własnym doświadczeniem);
- Poziom V: Stopień przyswojenia danej kompetencji może stanowić wzór do naśladowania (twórcze wykorzystanie i rozwijanie wiedzy, umiejętności i postaw właściwych dla danego zakresu działań).

Dla porównania, przykładem sześciostopniowej skali poziomów opanowania kompetencji jest przedstawiona przez Jurka (2012):

- Poziom I: Brak kompetencji – nawet w prostych sytuacjach osoba przejawia trudności w zachowaniu się w oczekiwany sposób. Przejawia niepożądane zachowania, utrudniając wykonanie zadań. Wymaga ciągłego nadzoru i jednoznacznych wytycznych. Nie podejmuje oczekiwanych działań;
- Poziom II: Początkujący – czasami osoba przejawia niepożądane zachowania. Podejmuje próby zachowania się w oczekiwany sposób, ale popełnia w tym obszarze błędy. Potrzebuje wyraźnych wskazówek ze strony innych. Podejmuje proste, podstawowe działania;
- Poziom III: Nieco poniżej przeciętnej – osoba podejmuje próby zachowywania się w oczekiwany sposób i w standardowych sytuacjach robi to skutecznie. W nowych i trudnych zadaniach popełnia błędy. Potrzebuje ukierunkowania ze strony innych. Podejmuje rutynowe (często powtarzające się) działania;
- Poziom IV: Nieco powyżej przeciętnej – w zdecydowanej większości sytuacji, nawet tych o podwyższonym stopniu trudności, osoba prezentuje oczekiwane zachowania. Podejmuje standardowe działania zgodnie z oczekiwaniami, a w sytuacjach dobrze znanych również działania rzadziej obserwowane i o wyższym poziomie trudności;
- Poziom V: Zaawansowany – niemal zawsze osoba prezentuje zachowania zgodnie z oczekiwaniami, nawet w trudnych, niestandardowych sytuacjach. Prezentowane przez

tę osobę zachowania są wzorem do naśladowania dla innych. Podejmuje niestandardowe (rzadko obserwowane i trudne) działania;

- Poziom VI: Wybitny – zawsze, niezależnie od poziomu trudności zadania/sytuacji, osoba prezentuje oczekiwane zachowania. Uznawana jest za eksperta/mistrza w danej dziedzinie. Pomaga innym w rozwiązywaniu problemów wymagających tej kompetencji. Podejmuje kreatywne (bardzo rzadko obserwowane w organizacji) działania, również o bardzo wysokim poziomie trudności i złożoności).

Powyżej zaprezentowane stratyfikacje kompetencji odnoszą się do opisów nieokreślonych kompetencji. W wielu przypadkach stosuje się stopniowanie dla konkretnych kompetencji czego przykładem mogą być opisy poziomów dla kompetencji „Wymiana informacji”:

- Poziom I: Pracownik ogranicza do minimum wymianę informacji z innymi (zatrzymuje dla siebie, nie przekazuje informacji dalej);
- Poziom II: Pracownik chciałby podjąć współpracę w zespole, ale nie wie jak to zrobić.
- Poziom III: Pracownik przekazuje innym członkom i pozyskuje od nich niezbędne informacje do wykonania zadań;
- Poziom IV: Pracownik dba o pełną wymianę informacji wszystkich członków zespołu podczas swojej pracy;
- Poziom V: Pracownik potrafi przekuć wzrost efektywności w zwiększoną motywację i zaangażowanie w kolejne zadania (Przybysz i in., 2014);

oraz przedstawione przez Filipowicza (2019) opisy dotyczące kompetencji „Radzenia sobie z brakiem dostępnych danych”:

- Poziom I: Osoba unika podejmowania decyzji, jeżeli nie dysponuje kompletnymi informacjami;
- Poziom II: Osoba podejmuje decyzje przy niepełnych informacjach, jednak przychodzi mu to z trudnością;
- Poziom III: Osoba określa skutki decyzji i znajduje środki zaradcze;
- Poziom IV: Osoba doskonale rozpoznaje kluczowe informacje i na ich podstawie podejmuje trafne decyzje. Pomaga w tym innym osobom;
- Poziom V: Osoba podejmuje trafne decyzje nawet w wyjątkowo skomplikowanych sytuacjach i na podstawie niewielkiej liczby informacji;

Za przykład sześciopozomowego podziału kompetencji można podać pracę Wójcika (2009), w której kompetencję „Umiejętność współpracy” opisano następująco:

- Poziom I: Pracownik nie współpracuje, jako członek grupy okazuje mało chęci i zainteresowania w obszarze pracy nad wspólnym celem;
- Poziom II: Pracownik jest raczej pasywny, robi tylko to, co absolutnie niezbędne. Dzieli się informacjami tylko wtedy, gdy się go o to prosi. W niewielkim stopniu identyfikuje się z celami grupy. Przejawia wzory zachowań wymagane przez zespół;
- Poziom III: Zwykle pracownik jest stosunkowo aktywny, dzieli się wiedzą, ale sam nie oferuje wsparcia informacyjnego. Jest członkiem grupy i uwzględnia jej cele;
- Poziom IV: Pracownik aktywnie współpracuje i bierze udział w działaniach grupy. Ma pozytywną postawę. Dzieli się wiedzą i sam oferuje wsparcie informacyjne. Docenia pracę innych, kieruje swoje wysiłki na osiągnięcie wspólnego celu;
- Poziom V: Pracownik aktywnie wpływa na atmosferę w grupie i jej potrzeby. Potrafi wziąć odpowiedzialność za rezultaty pracy grupy i znacząco przyczynia się do osiągnięcia celów przez zespół;
- Poziom VI: Pracownik umie pracować jako członek międzynarodowego, wielokulturowego zespołu.

Rzadziej stosowane są większe skale, np. ośmiopoziomowa opisująca przykładowo „Umiejętność przemawiania”:

- Poziom I: Pracownik nie potrafi przemawiać, często stosuje przerwy, brak płynności wypowiedzi, często korzysta z notatek.
- Poziom II: Pracownik stara się prezentować z głowy, jednak czasami zapomina tekstu, jest wyuczony/a na pamięć.
- Poziom III: Pracownik potrafi prezentować z głowy dostatecznie, w jego/jej wypowiedziach brak pewności siebie.
- Poziom IV: Pracownik potrafi prezentować z głowy, jednak nie potrafi kontrolować audytorium.
- Poziom V: Pracownik potrafi poprawnie zaprezentować dany temat, poprawnie wykorzystuje wiedzę z zakresu sztuki prezentacji.
- Poziom VI: Pracownik bardzo dobrze radzi sobie na podium, potrafi kontrolować siebie i audytorium.
- Poziom VII: Pracownik jest urodzonym mówcą, jego/jej prezentacje są wspaniałym widowiskiem.
- Poziom VIII: Pracownik jest ekspertem w zakresie prezentacji, przekazuje wiedzę i umiejętności innym osobom (Branowska i in., 2012).

W jeszcze inny sposób poziomy przyswojenia kompetencji rozróżnia Oleksyn (2017) tzn.:

- minimalny (progowy) poziom kompetencji – którego spełnienie w danych warunkach techniczno-organizacyjnych umożliwia pracownikowi realizowanie celów i zadań przy osiągnięciu dopuszczalnej sprawności działania na danym stanowisku,
- optymalny poziom kompetencji – który umożliwia osiągnięcie najwyższej sprawności realizacji celów i zadań w danych warunkach techniczno-organizacyjnych na danym stanowisku,
- maksymalny poziom kompetencji – ustalany, jako najwyższy spośród optymalnych poziomów danej kompetencji we wszystkich portfelach kompetencyjnych stanowisk w danej organizacji.

W literaturze można również spotkać opracowania dotyczące dwóch poziomów opanowania kompetencji do realizacji czynności. Dla przykładu, w przypadku przydziału nauczycieli akademickich do zajęć dydaktycznych, Moreira i Reis (2013) w sposób binarny rozróżniają zdolność lub brak zdolności pracownika do prowadzenia zajęć z określonego przedmiotu. Ma to swoje odzwierciedlenie w praktyce gdyż zazwyczaj kompetencje nauczycieli nie są oceniane na 5-6 poziomach. Wystarczające jest określenie czy dany pracownik posiada lub nie posiada kompetencje do prowadzenia przedmiotu.

Istnieją też kompetencje, których poziomy opanowania zadane są przez istniejące standardy (systemy oceniania) np. kompetencja „umiejętność posługiwania się językiem angielskim” jest oceniana w ramach powszechnie uznanych poziomów (A1, A2, B1, B2, C1, C2) ustalonych przez Radę Europy. Ponadto niektóre kompetencje mogą być oceniane w skali nominalnej, w której poziomy kompetencji nie są uporządkowane od najniższego do najwyższego. Przykładem jest ocena osobowości według metody MBTI (Myers-Briggs Type Indicator (Cakrt, 2006)), w ramach której ocena osoby jest jednym z szesnastu typów osobowości i nie ma dobrej, najlepszej, średniej/przeciętnej osobowości. Wynika stąd, że w zależności od określonej kompetencji, należy ustalić dedykowane poziomy jej opanowania.

Przedstawione sposoby stopniowania opanowania kompetencji pokazują, że w ogólności może być stosowana dowolna liczba poziomów, jednak w praktyce nie spotyka się wartości mniejszych niż 2 i większych niż 8.

Wracając do przykładu przyjmuje się, że dla kompetencji z zakresu wiedzy (A, B, C, D) i umiejętności (I, J, K), obowiązuje 5-cio stopniowa skala opanowania kompetencji. Natomiast dla kompetencji Y obowiązuje ocena osobowości według MBTI. Konieczne jest jednak

ustalenie granicy, w ramach każdej wymaganej kompetencji, która odróżnia pracownika kompetentnego od niekompetentnego do pracy na określonym stanowisku. Oznacza to, że w praktyce pracodawca oferujący pracę na określonym stanowisku stawia wymagania dotyczące poziomu opanowania określonej kompetencji. Przykładowo przyjmuje się, że do pracy nauczyciela akademickiego realizującego przedmiot X wymagany jest poziom III dla wszystkich kompetencji (A, B, C, D, I, J, K) oraz typ osobowości ESTJ lub ESFJ (według MBTI).

W celu oceny kompetencji u danego pracownika, konieczne jest uzyskanie obserwacji, na podstawie których mogą one być stwierdzone. W tym celu wykorzystuje się różnego rodzaju metody oceny kompetencji (Filipowicz, 2019; Jurek 2012; Kupczyk i Stor, 2017; Wieczorek-Szymańska, 2012b), takie jak:

- samoocena – dokonywana przez osobę poddaną badaniu, najczęściej przy pomocy kwestionariuszy zawierających opisy zachowań składających się na konkretną kompetencję. Osoba badana określa na ile dane stwierdzenie jest zbieżne z jej zachowaniem w trakcie realizacji zadań,
- ocena 180 i 360 stopni – odnosi się do obserwowalnych aspektów funkcjonowania człowieka, które są opisane na wszystkich poziomach wykorzystując język behawioralny. Założeniem jest dokonanie oceny pracownika przez różne osoby: pracownik i jego przełożony w ocenie 180 stopni, co najmniej 6 osób (oceniany pracownik, współpracownicy, podwładni, przełożony, klienci)² w ocenie 360 stopni. Dzięki tej metodzie uzyskuje się ewaluację z różnych punktów widzenia, co pozwala na wypracowanie obiektywnych wyników. Jako narzędzia stosuje się, podobnie jak w przypadku samooceny, kwestionariusze kompetencyjne lub skale obserwacyjne wypełniane przez wszystkie osoby,
- test kompetencyjny – ocenia kompetencje w zakresie wiedzy (jak człowiek powinien się zachować) i postaw (jaka jest postawa osoby względem wymaganego zachowania). Są to najczęściej testy wielokrotnego wyboru. Zadaniem badanego jest wybór konkretnej odpowiedzi tzn. zachowania w sytuacji charakterystycznej dla danego stanowiska lub roli. Uważa się, że deklaracje zachowania w opisywanej sytuacji są wiarygodnym predyktorem rzeczywistego sposobu działania, ponieważ wynikają z wcześniejszych doświadczeń i zachowań.

² W literaturze spotyka się prace (Sidor-Rządkowska, 2020), w których metoda 360 stopni uwzględnia ocenę kompetencji pracownika wykonaną przez 4 osoby.

- wywiad behawioralny – jest to rodzaj rozmowy, w której zadawane są pytania związane z opisem konkretnych kompetencji; odpowiadając na pytania, pracownik musi się odnieść do własnego doświadczenia z przeszłości; zakłada się, że jeżeli ktoś zachował się w określony sposób w przeszłości to zachowa się podobnie w przyszłości,
- Assessment & Development Center (A&DC) – zbiór różnorodnych technik i instrumentów wykorzystywanych do diagnozy kompetencji (assessment) oraz oceny potencjału kompetencyjnego pracowników (development). Mogą obejmować różne rodzaje testów, próbek pracy, zadań, wywiadów itp. W metodzie tej uczestnicy badania wykonują różnorodne zadania/ćwiczenia symulacyjne i obserwowane są zachowania związane z ich wykonywaniem. Przykładem zadania w ramach projektu realizowanego w rzeczywistym środowisku pracy, które umożliwiają pracownikowi zademonstrowanie określonych kompetencji.

Należy również pamiętać o testach dedykowanych dla określonych kompetencji np. sprawdzających poziom znajomości języka angielskiego (np. TOEIC – Test of English for International Communication), kwestionariusz osobowości (np. MBTI) itp. Zestawienie zalet oraz wad poszczególnych metod przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Wady i zalety metod oceny kompetencji (opracowanie na podstawie Jurek 2012; Kupczyk i Stor, 2017; Wieczorek-Szymańska, 2012b)

	Zalety	Wady
Samooceana	<ul style="list-style-type: none"> • jest stosunkowo łatwa do zastosowania, nie wymaga zaangażowania innych osób, niż samych badanych, 	<ul style="list-style-type: none"> • wysoki subiektywizm – zawyżanie samooceny, która jest istotnie wyższa od ocen pochodzących z innych źródeł (np. od przełożonych),
Ocena 180/360 stopni	<ul style="list-style-type: none"> • zapewnia wysoką jakość oceny, przez co staje się ona wartościowa, obarczona małym błędem, • poprawa komunikacji w przedsiębiorstwie i wzrost zaangażowania pracowników dzięki przekonaniu, że ich opinie mają znaczenie, • informacje zwrotne od współpracowników, przełożonych, podwładnych, klientów pozwalają lepiej poznać i zrozumieć mocne i słabe strony pracownika, co z kolei jest istotnym etapem w procesie modyfikacji zachowań (podnoszenia kompetencji). 	<ul style="list-style-type: none"> • wymaga odpowiedniego przeszkolenia uczestników, co wiąże się z określonymi kosztami, zaś znaczna liczba osób oceniających (w ocenie 360 stopni) powoduje wydłużenie procesu, • zaistnienie efektu halo (zbyt pozytywna lub nadmiernie krytyczna ocena ze względu na wcześniej wytworzoną opinię o pracowniku), • poczucie zagrożenia u ocenianych pracowników, • subiektywny dobór osób dokonujących oceny.

Test kompetencyjny	<ul style="list-style-type: none"> • prostota i szybkość użycia (wypełnianie kilku stron pytań bądź zadań, programy komputerowe przeliczają wyniki), • łatwość analizy wyników (najczęściej przez specjalistów, gotowe opracowanie wyników wraz z interpretacją), • wiarygodność (dobrze opracowany test zapewnia obiektywne i porównywalne wyniki), • dobre dostosowanie do specyfiki organizacji (gdy testy tworzone są lub adaptowane na potrzeby konkretnej firmy), • możliwość jednoczesnego badania dużej liczby osób. 	<ul style="list-style-type: none"> • mała ilość badań i informacji wskazujących na wartość predykcyjną testów, • ograniczona ilość możliwych interpretacji wyników, • wysoka cena zakupu testów, • możliwość wykonywania niektórych testów tylko przez dyplomowanych psychologów, • nieporozumienia definicyjne (te same kompetencje mogą być rozmaicie definiowane w poszczególnych testach).
Wywiad behawioralny	<ul style="list-style-type: none"> • dostarcza próbki zachowania pracownika, dzięki czemu można szacować działania i wrażenia, jakie badany będzie wywierał na współpracownikach, klientach, przełożonych i podwładnych w trakcie wykonywania obowiązków zawodowych. 	<ul style="list-style-type: none"> • zawiera jedynie subiektywne wypowiedzi respondentów, nie powinien więc służyć jako jedyne narzędzie do wiarygodnej oceny umiejętności praktycznego rozwiązywania problemów w procesie wykonywania pracy.
A&DC	<ul style="list-style-type: none"> • informacja zwrotna, którą otrzymuje badana osoba, jest klarowna i konstruktywna, co wpływa na wyższą akceptację, tym samym wyższą skuteczność dalszych programów rozwojowych, • potencjał każdego pracownika jest oceniany w ścisłym odniesieniu do stanowiska (kluczowych kompetencji), co sprzyja generowaniu precyzyjnej informacji na temat poziomu poszczególnych kompetencji i ułatwia podejmowanie trafnych decyzji personalnych, • szczególnie użyteczna w pomiarze kompetencji kadry menedżerskiej, • zapewnia wysoki poziom obiektywizmu i wszechstronność oceny. 	<ul style="list-style-type: none"> • brak określenia celów oceny, zaangażowania menedżerów, zarządu i odpowiednio zorganizowanej akcji informacyjnej, • wybór nieadekwatnych do wymogów stanowiska kompetencji poddawanych ocenie, • niewłaściwy dobór technik, ćwiczeń w trakcie oceny, • niewłaściwie przygotowana informacja zwrotna, • czasochłonność oraz wysokie koszty.

W literaturze spotyka się analizy istniejących metod (Kupczyk i Stor, 2017; Sidor-Rządowska, 2020), z których wynika, że wykorzystanie określonej metody oceny kompetencji zależy od przedsiębiorstwa i/lub charakteru wykonywanej pracy.

Z uwagi na realizowany w krótkim czasie i wiarygodny proces oceny kompetencji w dalszej części pracy, wykorzystano metodę 180 stopni. Jak już wcześniej wspomniano, w tej metodzie oceny kompetencji pracownika dokonuje przełożony, a także sam oceniany.

Samoocena wiąże się naturalnie z obawą czy pracownik nie przeceni swoich kompetencji lub ich nie doceni. Wiele lat doświadczeń i badań w zakresie kompetencyjnych systemów ocen pracowników, sprowadzających się do kształtowania kultury organizacyjnej przedsiębiorstw, pozwoliło zrozumieć pracownikom jak istotne jest m.in. wskazanie swoich słabych stron, tym samym odejście od przesadnego subiektywizmu ocen (Sidor-Rządkowska, 2020).

Ocena przełożonego może być postrzegana negatywnie jako jedyny i jedynie słuszny osąd. Jednak podobnie jak w przypadku samooceny na przestrzeni lat stała się ona oceną doradczą, pomagającą pracownikowi wdrożyć w życie plan działań uzupełniających braki kompetencyjne (słabe strony).

W metodzie 180 stopni wykorzystywane są instrumenty takie jak skala obserwacyjna lub kwestionariusz kompetencji. Przykład pierwszego zaprezentowano w Tabeli 2 a drugiego w Tabeli 3.

Tabela 2. Skala obserwacyjna kompetencji (źródło: Filipowicz, 2019)

	A	B	C	D	E
Wykorzystywanie wniosków z analizy dostępnych danych					
Podejmowanie decyzji w odpowiednim czasie					
Prognozowanie następstw, rezultatów decyzji					
Radzenie sobie z brakiem kompletnych danych					
Uwzględnianie różnych perspektyw w procesie decyzyjnym					

Tabela 3. Kwestionariusz kompetencji (źródło: Filipowicz, 2019)

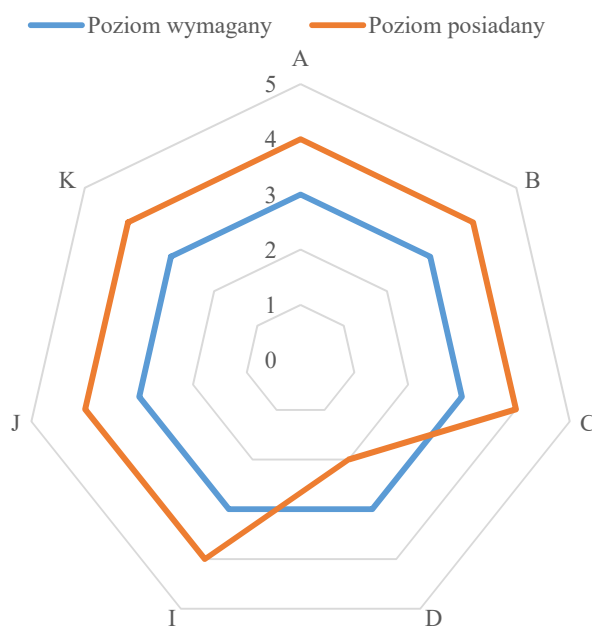
		Całkowicie się nie zgadzam	Raczej się nie zgadzam	Trudno powiedzieć	Raczej się zgadzam	Całkowicie się zgadzam
1	Sprawdza, czy klient ma wszystkie niezbędne informacje					
2	Spełnia standard obsługi klienta					
3	Zapewnia wysoką jakość produktów					
4	Zwraca uwagę na sugestie i uwagi klientów					
5	Dotrzymuje terminów prac wcześniej uzgodnionych z klientem					

Ocena końcowa poziomu kompetencji jest ustalana na dwa sposoby:

- podczas rozmowy/negocjacji (w której uczestniczy przełożony i osoba oceniana),
- bez negocjacji obliczana jest na podstawie (średniej arytmetycznej, ważonej) ocen z obu źródeł bądź na podstawie arbitralnie przyjętej zasady.

W pierwszym przypadku celem jest analiza rozbieżności w ocenie poszczególnych kompetencji (dowodzenie określonego poziomu kompetencji oraz ustalenie ostatecznej, wspólnej oceny kompetencji). W drugim zaś, ocena jest wykonywana znacznie szybciej (np. gdy brakuje czasu na rozmowę wielu pracowników z przełożonym) a zasada obliczania oceny końcowej jest jasna i jednoznaczna (Jurek, 2012).

Wróćmy ponownie do przykładu oceny kompetencji nauczyciela akademickiego i przyjmijmy, że w jej wyniku stwierdzono, że posiada on kompetencje A, B, C, I, J, K na poziomie IV, kompetencję D na poziomie II i osobowość ESFJ. Oznacza to, że oceniany pracownik nie posiada jednej kompetencji (D) na wymaganym/wystarczającym poziomie (Rys. 4). Inaczej mówiąc posiada tzw. lukę kompetencyjną. Oznacza to, że nie jest on kompetentny do realizacji przedmiotu X.



Rys. 4. Przykładowa ocena kompetencji pracownika (opracowanie własne)

Prowadzona ocena kompetencji sprowadza się w ostateczności do binarnej oceny:

- pracownik jest kompetentny i może realizować zadanie jeśli posiada wszystkie wymagane kompetencje na zadanym poziomie,

- pracownik nie jest kompetentny i nie może realizować zadania jeśli nie posiada wszystkich wymaganych kompetencji na zadanym poziomie.

Mimo zero-jedynkowego charakteru oceny, można zaobserwować, że niedostatek tylko jednej kompetencji oznacza niewielką lukę, którą można uzupełnić. Rodzi to kolejne pytania:

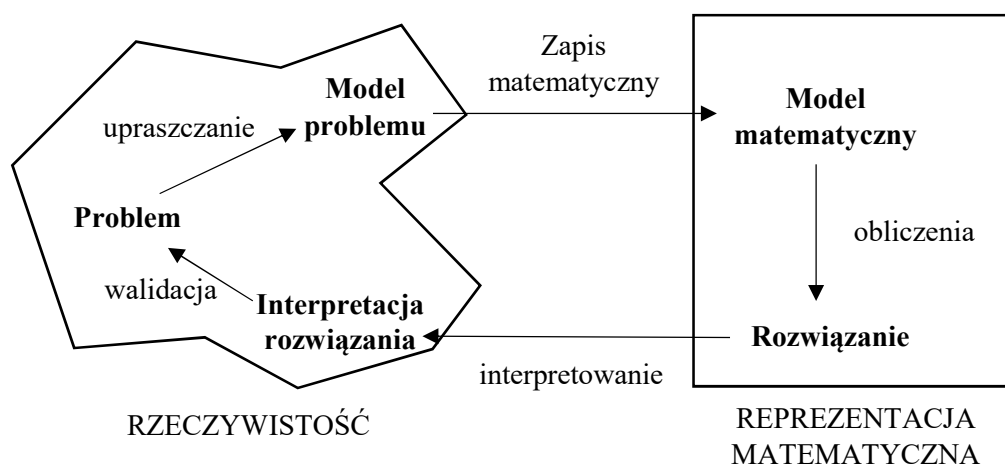
- czy, a jeśli tak to w jakim czasie, pracownik może zdobyć kompetencję D na wymaganym poziomie III?
- czy pracownik posiada inne kompetencje, niewymagane do realizacji przedmiotu X (np. zakres wiedzy z przedmiotu Y, który jest tematycznie zbliżony do zakresu wiedzy przedmiotu X), które będą powodowały, że będzie on mógł zlikwidować istniejącą lukę kompetencyjną? Czy posiadając nadmiarowe kompetencje można uzyskać brakujące kompetencje szybciej niż bez nich?

Przyjmijmy, że pracownik posiada takie niewymagane (nadmiarowe) kompetencje: w zakresie wiedzy E, F, G i w zakresie umiejętności L. Przedstawione do tej pory definicje i rodzaje kompetencji, tylko w sposób werbalny (opisowy) oddają ich intuicję i naturę, tym samym nie pozwalają dokonać oceny czasu potrzebnego na uzyskanie odpowiedniej kompetencji. Odpowiedź na postawione pytania wymaga znajomości sposobów modelowania kompetencji (formalnych podejść do analizowania kompetencji np. wykorzystywanych w obszarze badań operacyjnych). Takim sposobem jest matematyczny model kompetencji, który dostarcza liczbowych (ilościowych) podstaw do analizy kompetencji (Małachowski, 2008).

1.4. Modelowanie kompetencji

Wspomniane wcześniej, odmienne od stosowanego w literaturze, znaczenie pojęcia „model kompetencji” wynika z faktu, że słowo „model” oznacza reprezentację otaczającego świata w umyśle człowieka, która jest przedmiotem badań, które z kolei pozwalają wyznaczać informacje na temat rzeczywistości (Rys. 5).

W związku z tym pojęcie „model kompetencji” będzie dalej używane w kontekście matematycznego modelowania kompetencji, rozumianego jako sposób zapisu kompetencji, który umożliwi określenie przydatności kompetencji będących w posiadaniu pracownika do stawianego przed nim zadania. Inaczej mówiąc, matematyczny model kompetencji pozwoli porównać kompetencje, określić koszt podniesienia kompetencji oraz rozwiązać wiele innych problemów o charakterze ilościowym.

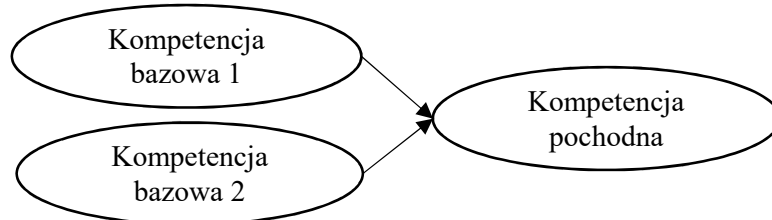


Rys. 5. Proces modelowania (opracowano na podstawie: Maaß, 2006)

Istniejące matematyczne modele kompetencji bazują na koncepcji dziedzin charakterystycznych (Yu 1990, 1991). „Analizując psychologiczne teorie behawioralne i kognitywne można stwierdzić, iż każda osoba posiada charakterystyczne sposoby reagowania na bodźce w postaci tzw. zaprogramowanych schematów behawioralnych (Maruszewski, 2001; Simon, 1958). W trakcie swojego rozwoju jednostka nabywa zestaw typowych sposobów reagowania, rozumowania, decydowania oraz wiedzy i doświadczenia, na których one bazują. Zestaw takich typowych sposobów reagowania, myślenia i postrzegania nazwany został **dziedziną charakterystyczną** (ang. *habitual domain*). Można zatem stwierdzić, iż dziedzina charakterystyczna jednostki determinuje sposób jej funkcjonowania w określonych sytuacjach (Yu 1990, 1991). Koncepcja dziedzin charakterystycznych stała się podstawą do tworzenia matematycznych modeli kompetencji przedstawianych w postaci zbioru, którego elementami są wszystkie porcje wiedzy, umiejętności i zdolności posiadane przez osobę” (Małachowski, 2008).

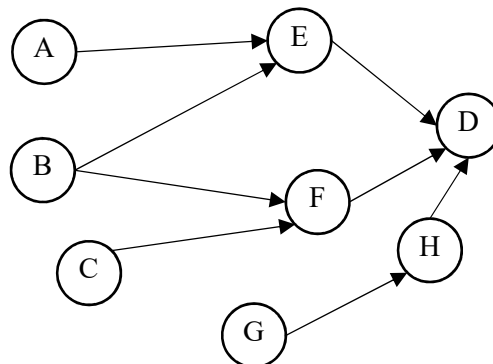
Model kompetencji oparty na klasycznej teorii mnogości (Chen, 2001, 2002; Feng i Yu, 1998; Hu i in., 2003, 2004; Lin, 2006; Shi i Yu, 1999; Yu i Zhang, 1990): dla każdego zadania można zdefiniować zbiór kompetencji składający się z wiedzy i umiejętności koniecznych do realizacji tego zadania (ang. *Truly needed competence set*). Osoba zamierzająca wykonać zadanie posiada określony zbiór kompetencji. Aby ta jednostka mogła zrealizować zadanie jej zbiór kompetencji powinien w możliwie największym stopniu pokrywać zbiór kompetencji wymaganych (Rys. 1a). W przypadku gdy pokrycie jest niedostateczne (Rys. 1b), osoba powinna rozszerzyć swój zbiór kompetencji. Rozszerzanie kompetencji, polegające na pozyskiwaniu nowych, może być efektywniejsze (szybsze) gdy posiadany zbiór kompetencji jest zbieżny z tymi, które chcemy uzyskać (Feng i Yu, 1998; Li i in., 2000; Małachowski, 2008; Yu i Zhang, 1989, 1990). Przyjmuje się zatem, że kompetencje są ze sobą powiązane relacjami,

które można odwzorowywać na grafach (skierowanych) (Rys. 6). Oznacza to, że dzięki określonym kompetencjom możliwe jest uzyskanie innych, wzajemnie powiązanych. Kompetencja, dzięki której możliwe jest zdobycie nowej nazywana jest kompetencją bazową (Li, 1999; Yu i Zhang, 1990).



Rys. 6. Relacja między kompetencjami (opracowanie własne)

Dla wprowadzonego wcześniej przykładu przyjmijmy relacje między kompetencjami przedstawione na Rys. 7. Wynika z niego, że kompetencję D, można uzyskać alternatywnie z kompetencji E, F lub H. Z kolei kompetencję E można uzyskać z kompetencji A lub B, kompetencję F z kompetencji B lub C, a kompetencję H z kompetencji G.

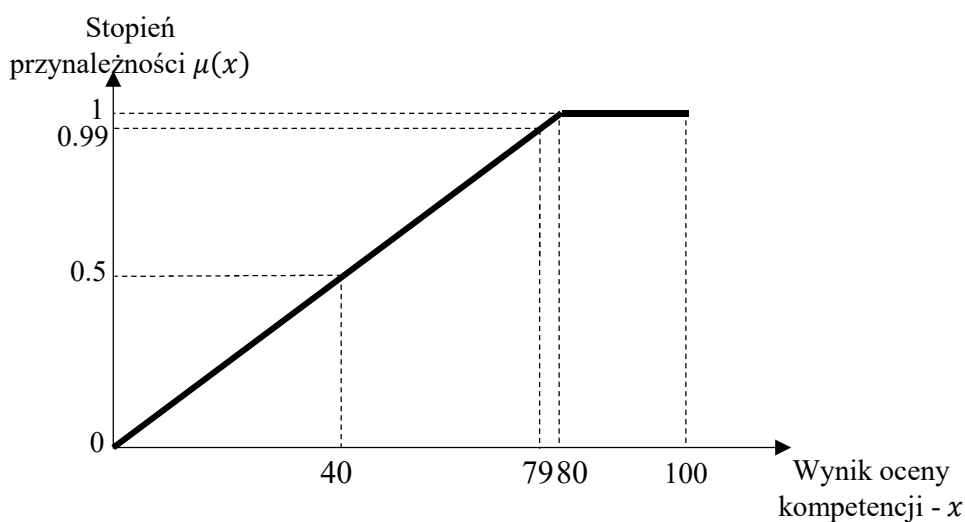


Rys. 7. Relacje między kompetencjami (opracowanie własne)

W związku z tym, że analizowana w przykładzie osoba posiada kompetencje E i F to oznacza, że może uzyskać kompetencję D. Gdyby dana osoba nie posiadała tych dwóch kompetencji konieczne byłoby uzyskanie jednej z nich a następnie kompetencji D.

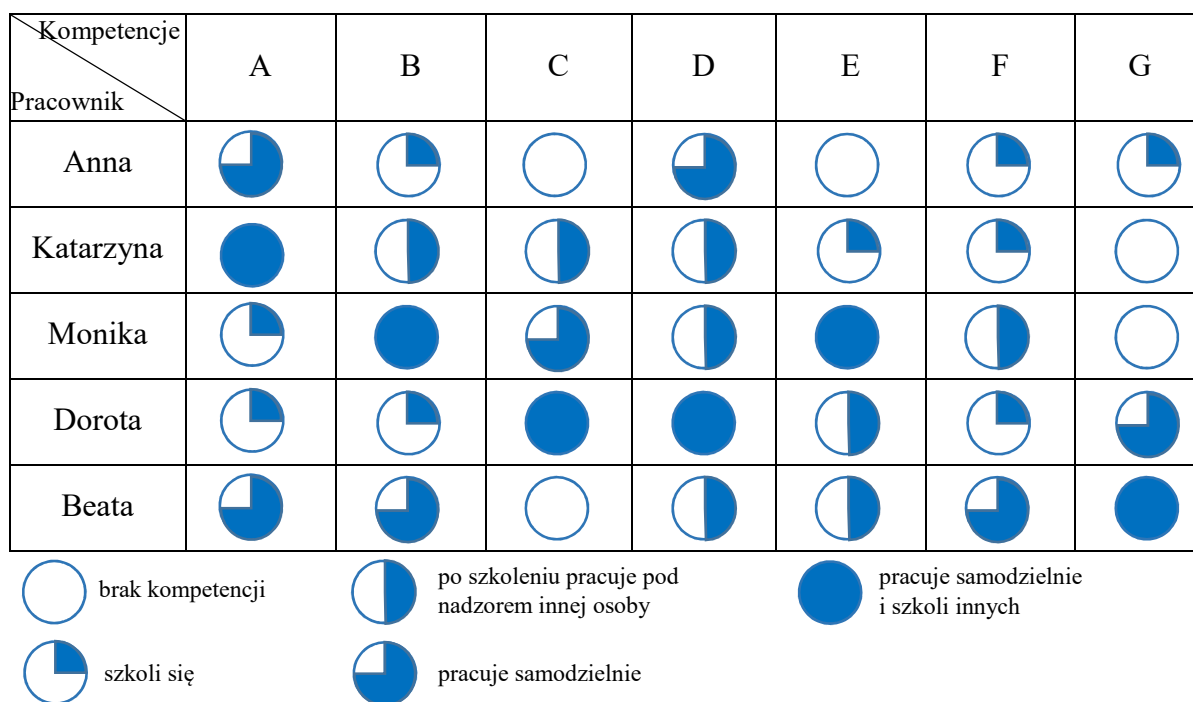
Zwrócić uwagę należy również na modele kompetencji (Feng i Yu, 1998; Hu i in., 2003; Shi i Yu, 1999; Yu i Zhang, 1990), które uwzględniają efekt synergii kompetencji tzn. relacje kilku kompetencji rozpatrywanych razem w porównaniu do relacji rozpatrywanych osobno. Inaczej mówiąc, im więcej ktoś posiada różnych kompetencji tym szybciej będzie zdobywał nowe i/lub rozszerzał istniejące.

Model kompetencji oparty na teorii zbiorów rozmytych (Chen i in., 2002; Huang i in., 2006; Lin, 2006; Wang i Wang, 1998): Model zakładający przydział kompetencji do określonych zbiorów (zbiór kompetencji posiadanych, zbiór kompetencji wymaganych) nie pozwala określać stopnia opanowania danej kompetencji lecz wyłącznie odzwierciedla binarnie fakt istnienia lub braku kompetencji. W związku z tym modele oparte na klasycznej teorii mnogości rozwinięte zostały o możliwość wykorzystywania zbiorów rozmytych. Dzięki koncepcji funkcji przynależności elementów do zbioru możliwe stało się odzwierciedlenie rzeczywistej natury kompetencji. Oznacza to, że oprócz stwierdzenia posiadania danej kompetencji można określić jej stopień opanowania (liczbowo lub z wykorzystaniem wartości lingwistycznych, np. „słabo”, „średnio”, „bardzo dobrze”). Ponadto teoria zbiorów rozmytych może zostać zastosowana gdy kompetencja jest wymagana w pewnym zakresie – np. w 75%. W celu ilustracji przyjmijmy, że analizowana w przykładzie osoba w ramach oceny kompetencji D uzyskała wynik 79 pkt na 100 pkt możliwych (79%). Przyjęto ponadto, że wymagany poziom kompetencji wynosi 80 pkt. W klasycznej teorii mnogości oznacza to, że osoba nie posiada wystarczającego poziomu kompetencji D. Jak widać takie ostre kryterium powoduje, że wynik 79% jest traktowany równoważnie z wynikiem 50% czy też 1%. W rzeczywistości często stosuje się stopień spełnienia określonej kompetencji. W tym celu stosuje się koncepcję funkcji przynależności, której przykład znajduje się na Rys. 8. Według przyjętej funkcji, uzyskany przez osobę wynik skutkuje spełnieniem kompetencji w stopniu 0.99, co może zinterpretować, że osoba jest w takim stopniu zdolna do realizacji zadania (dla decydenta może to być stopień satysfakcjonujący).



Rys. 8. Przykładowa funkcja przynależności (opracowanie własne)

Przywołane formalne sposoby reprezentacji kompetencji są powszechnie znane (Małachowski i Korytkowski, 2016; Shi i Yu, 1999) i stosowane w aspekcie rozwoju kompetencji ludzkich (Sikora, 2011; Wang i Wang, 1998; Yu i Zhang, 1992). Należy jednak zwrócić uwagę, że dotychczasowe rozważania dotyczyły bilansowania kompetencji pojedynczych pracowników z kompetencjami wymaganymi do realizacji jednego zadania. W praktyce często konieczne jest bilansowanie kompetencji wielu pracowników (zespołów/grup pracowniczych) z kompetencjami wymaganymi do realizacji wielu zadań. Jakie są zatem sposoby reprezentacji kompetencji wielu osób? Często stosowanym sposobem takiej reprezentacji jest matryca kompetencji. Wykorzystuje się ją jako narzędzie kontroli kompetencji zespołów pracowniczych i identyfikacji luki kompetencyjnej wśród zatrudnionych pracowników (Bielińska, 2017). Matryca to inaczej tabela, w której zazwyczaj wiersze odpowiadają poszczególnym pracownikom, a kolumny oznaczają posiadane przez nich kompetencje. Tabela wypełniona jest wartościami lub symbolami oznaczającymi posiadany poziom określonej kompetencji przez poszczególnych pracowników. Przykład matrycy kompetencji, w której przyjęto pięciostopniową skalę oceny, przedstawiono na Rys. 9.



Rys. 9. Przykładowa matryca kompetencji (źródło: Szwarc i Wikarek, 2020)

Poziom posiadanych kompetencji przedstawiono w postaci zapełnionych ćwiartek koła. Jedna zapełniona ćwiartka oznacza, że pracownik jest w trakcie szkolenia, dwie ćwiartki wska-

zują, że jest po szkoleniu i wykonuje zadania pod nadzorem drugiej osoby, trzy ćwiartki oznaczają, że wykonuje zadania samodzielnie, w końcu cztery ćwiartki świadczą, że oprócz samodzielnej pracy może szkolić innych. Brak zapełnienia ćwiartek koła oznacza oczywiście brak kompetencji. Dla przykładu, pracownik Anna z matrycy na Rys. 9. nie posiada dwóch kompetencji, trzy kompetencje posiada na poziomie szkolenia, oraz dwie pozwalające wykonywać pracę samodzielnie.

Inne sposoby reprezentacji poziomu kompetencji to: skale cyfrowe (np. od 1 do 5, najczęściej najniższa wartość oznacza najniższy poziom kompetencji), kolory (np. zielony, żółty, czerwony – kojarzone zazwyczaj jako zielony poziom najwyższy, czerwony najniższy). Jak wynika z wcześniejszej dyskusji dotyczącej binarnej oceny posiadania kompetencji na wymaganym poziomie łatwo zauważyć, że dowolną matrycę kompetencji np. tą z Rys. 9 można przedstawić w postaci matrycy binarnej, jak w Tabeli 4 (wartość „1” oznacza posiadanie określonej kompetencji na wymaganym poziomie, wartość „0” posiadanie kompetencji na poziomie niewystarczającym).

Tabela 4. Przykładowa binarna matryca kompetencji (opracowanie własne)

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D	E	F	G
Anna	1	0	0	1	0	0	0
Katarzyna	1	1	1	1	0	0	0
Monika	0	1	1	1	1	1	0
Dorota	0	0	1	1	1	0	1
Beata	1	1	0	1	1	1	1

Elementy, które się znajdują w matrycy składają się na określoną strukturę, która według SJP to „całość zbudowana w pewien sposób z poszczególnych elementów”. Przyjmuje się zatem, że binarne matryce kompetencji będą dalej nazywane **strukturą kompetencji**.

Podsumowując dotychczasowe rozważania, spotykane w literaturze sposoby modelowania kompetencji oraz sposoby oceny kompetencji pozwalają odpowiedzieć na pytanie: czy kompetencje posiadane i wymagane się bilansują? A jeśli nie, to który pracownik jakie kompetencje powinien nabyć/zdobyć aby obie strony się bilansowały?

1.5. Wnioski z rozdziału

1. Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury przyjęto, że kompetencje to zbiór różnych cech pracownika, które używane i rozwijane w procesie pracy prowadzą do osiągnięcia rezultatów zgodnych z założonymi celami. Zaakcentowano aspekt uzyskiwania i rozszerzania kompetencji.
2. Uwzględniając kontekst, w którym używany jest termin *kompetencje* rozróżniono dwa rodzaje kompetencji: wymagane do realizacji zadania i posiadane przez pracowników, którzy są do niego desygnowani. Zarówno kompetencje wymagane jak i posiadane wyznaczone są znanymi metodami, które nie są przedmiotem dyskusji niniejszej dysertacji. Uwagę skupiono natomiast na binarnym charakterze oceny kompetencji tzn. ocenie czy pracownik posiada kompetencje na wystarczającym poziomie. W przypadku stwierdzenia luki kompetencyjnej dąży się do jej uzupełnienia.
3. Mając na uwadze naturę kompetencji (relacje, kolejność ich uzyskiwania oraz efekt synergii) konieczne jest zastosowanie formalnego sposobu ich reprezentowania. Przytoczone, przykładowe modele reprezentacji kompetencji oparte na teoriach mnogości i zbiorów rozmytych pozwalają m.in. uwzględnić czas uzyskania nowych i rozszerzenia istniejących kompetencji, a także dokonać analiz czaso- i kosztocłonności zmian kompetencji.
4. Kompetencje będące w posiadaniu zespołów ludzkich (wielu osób) nazwano strukturą kompetencji, która jest szczególnym (binarnym) rodzajem wykorzystywanej w praktyce matrycy kompetencji.
5. Rozważane dotychczas bilansowanie kompetencji zespołów pracowniczych nie brało pod uwagę zjawisk (zakłóceń) np. absencji, dodatkowych zleceń itp. Kolejny rozdział poświęcony jest analizie istniejących sposobów planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia.

2. Planowanie struktur kompetencji w warunkach niepewności towarzyszących realizacji projektów

Sformułowany we wstępie problem zakłada, że w określonej organizacji, dysponującej pracownikami o zadanej strukturze kompetencji, poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: czy dana struktura kompetencji jest odporna na wybrany zbiór zakłóceń? Jeśli nie to jakich zmian w strukturze należy dokonać aby była ona odporna? W związku z tym, że pojęcia: organizacja, zakłócenie i odporność posiadają wiele znaczeń konieczne jest ich zdefiniowanie.

2.1. Rodzaje organizacji

Podobnie jak w przypadku kompetencji, pojęcie *organizacja* może być postrzegane na kilka sposobów (Adamik i Matejun, 2012; Czermiński i in., 1999; Zieleniewski, 1978):

- rzeczowo (przedmiotowo),
- czynnościowo,
- atrybutowo,
- systemowo,
- sytuacyjnie.

Trudno jednak wskazać na jakieś istotne cechy pozwalające na ich zdecydowaną klasyfikację. Przykładowo w znaczeniu rzeczowym organizację można rozumieć jako „wyodrębniony z otoczenia obiekt (np. poprzez nazwę, logo, umiejscowienie w przestrzeni, czyli lokalizację lub adres, określenie formy organizacyjno-prawnej itp.) o charakterystycznych tylko dla niego cechach” (Adamik i Matejun, 2012). Autorzy dodają, że w takim rozumieniu organizacją jest instytucja typu: przedsiębiorstwo, urząd, zespół opieki zdrowotnej, drużyna sportowa lub proces organizowania, przez który rozumie się taki sposób ułożenia i przydziału pracy członkom organizacji, aby możliwe było sprawne osiągnięcie jej założonych celów” (Adamik i Matejun, 2012 za: Marek i Białasiewicz, 2008). Natomiast organizacja w ujęciu czynnościowym jest opisana jako „pewien zestaw czynności, które należy wykonać, aby powstał zaplanowany obiekt lub całość. Często mówi się, że jest to po prostu proces organizowania danej całości” (Adamik i Matejun, 2012). Łatwo widać, że w obydwu sposobach postrzegania organizacji pojawia się pojęcie *proces organizowania*, zatem trudno jednoznacznie stwierdzić czy zalicza się do organizacji o znaczeniu rzeczowym czy czynnościowym. Z powodu wielu znaczeń pojęcia *organizacja* i braku między nimi ostrych granic, w dalszej części rozprawy pojęcie *organizacja*

rozumiane jest w sposób klasyczny tzn. jako zespół tworzony przez dwoje lub więcej ludzi, którzy pracują razem aby osiągnąć zaplanowane cele (Piotrkowski, 2006; Stoner i in., 2011).

W literaturze przedmiotu istnieje wiele sposobów grupowania organizacji według różnych kryteriów. Do wybranych zaliczyć należy podział według:

- a) celu zewnętrznego funkcjonowania (tzw. funkcji genotypowej): organizacje gospodarcze, użyteczności publicznej, administracyjne, militarne i policyjne, społeczne, religijne (Bielski, 2005),
- b) relacji między ludźmi a organizacją: przymusowe, utylitarne, normatywne (Bielski, 2005 za: Etzioni, 1961). W praktyce gospodarczej występują organizacje, w których uczestnictwo ma charakter mieszany np. w organizacji typu więzienie są ludzie, którzy mają relację przymusową (osadzeni), ale również pracownicy (służba więzienna), którzy nie są przymuszani do pracy,
- c) wielkości np. liczebność zatrudnienia, wysokość przychodów, wartość aktywów firmy, wysokość dochodów i/lub zysków (Safin, 2008),
- d) formy własności: organizacja publiczna, prywatna. W praktyce gospodarczej podmioty posiadają często własność mieszaną (Berliński i in., 2003). Inna typologia własności: państwowe, samorządu terytorialnego, spółdzielcze, prywatne (Lachiewicz, 2007; Sudoł, 2006),
- e) formy organizacyjno-prawnej: organizacje prowadzone przez osoby fizyczne, spółki cywilne, spółki prawa handlowego, inne formy (fundacje, stowarzyszenia, gminy i wiele innych) (Markowski, 2014),
- f) złożoności organizacyjnej: jednozakładowe, wielozakładowe, sieciowe (Sudoł, 2011),
- g) stopnia internacjonalizacji: krajowe, międzynarodowe, wielonarodowe, globalne (Griffin, 2017),
- h) sektora (rodzaju) działalności: handlowe, usługowe, produkcyjne, budowlane,
- i) branży: motoryzacyjne, poligraficzne, muzyczne, informatyczne, turystyczne, transportowe, finansowe itd.

Poza wymienionymi kryteriami Trocki (2012) i Oleksyn (2017) wyróżniają dodatkowo organizacje:

- a) wirtualne – charakteryzujące się brakiem lub atrofią tradycyjnie rozumianej struktury i przestrzeni organizacyjnej (w uproszczeniu składają się z dostawców i usług),
- b) uczące się – rozwijające się, zachęcające pracowników do rozwoju zawodowego, poszerzania i aktualizowania wiedzy (w znacznym stopniu tożsame z organizacjami inteligentnymi),

- c) inteligentne – antycypujące zmiany otoczenia, nieustannie zmieniające siebie i swoje otoczenie, cechujące się wysokim poziomem kreatywności, przedsiębiorczości i innowacyjności,
- d) projektowe – zbiór osób i instytucji współpracujących przy realizacji wspólnego projektu i łączących je więzi współdziałania,
- e) itd.

W kontekście rozważań dotyczących bilansowania kompetencji zespołów pracowniczych trudno wskazać jeden, jedynie słuszny typ organizacji, w którym się tego dokonuje. W związku z tym, że ludzie są nieodłącznym elementem tworu jakim jest organizacja (Adamik i Matejun, 2012; Lelek, 2018; Morawski, 2006; Morawski i in., 2010) bilansowanie kompetencji zespołów pracowniczych prowadzone jest w organizacji każdego rodzaju. Obecnie można jednak zaobserwować przeobrażenia jakie zachodzą w gospodarce i otoczeniu organizacji, takie jak:

- duża konkurencja wymuszająca wprowadzania na rynek nowych produktów,
- wzrost wymagań klientów wymuszający dostarczanie unikalnych (jednostkowych) produktów i usług,
- tempo zmian praktycznie we wszystkich dziedzinach życia,
- otrzymanie funduszy (np. z Unii Europejskiej),

które wymagają realizacji projektów (Mingus, 2009; Oberlander, 2000; Trocki, 2012), czyli przedsięwzięć:

- niepowtarzalnych (zarówno w sferze koncepcji jak i realizacji),
- mających określony początek i koniec (ograniczenie czasowe),
- angażujących zasoby ludzkie, finansowe, rzeczowe,
- realizowanych są zespołowo,
- łączących realizowane czynności zmierzające do osiągnięcia celu.

Rosnące znaczenie realizacji projektów potwierdzone zostało w badaniach, które wskazuje Trocki (2015). W tym kontekście, dalsze rozważania będą dotyczyły organizacji, które realizują projekty. Autor ma na myśli zarówno przedsiębiorstwa prowadzące projekty równoległe do wykonywanych działań rutynowych (np. uczelnia wyższa poza realizowanymi zajęciami dydaktycznymi na prowadzonych kierunkach studiów wykonująca projekt w postaci realizacji zajęć na nowo utworzonym kierunku, przedsiębiorstwo produkcyjne wytwarzające unikatowe

wyroby równoległe do realizowanej produkcji seryjnej itp.) jak i wykonujące wyłącznie projekty (np. firma z branży IT wytwarzająca unikatowe oprogramowanie).

Celem realizacji projektu jest osiągnięcie założonego rezultatu (zaspokojenia potrzeby klienta), poprzez osiągnięcie na założonym poziomie parametrów takich jak: spełnienie wymagań (ang. quality), koszty realizacji (ang. cost), czas realizacji (ang. time) (Trocki i in., 2009). Powszechnie wiadomo, że w realizacji projektu istotne jest zarządzanie, czyli „działania obejmujące planowanie, organizowanie, przewodzenie i kontrolowanie, które skierowane są na zasoby projektu (materialne, ludzkie, finansowe i informacyjne) z zamiarem skutecznego osiągnięcia w wyznaczonym czasie zamierzonych celów projektu” (Walczak, 2010). Mingus (2009) postrzega zarządzanie projektem jako planowanie, tworzenie harmonogramu i kontrola projektu w celu osiągnięcia jego zamierzeń. Zarządzanie projektem wiąże się z nieustannym podejmowaniem decyzji, które wymagają rozpoznania i zdefiniowania ich istoty oraz identyfikacji alternatywnych rozwiązań w celu wyboru „najlepszego” z nich i wprowadzenia jej w życie (Griffin, 2017). Jak zauważa Głodziński (2014) „im lepiej zarządzimy projektem, czyli:

- wykonamy harmonogram,
- przewidzimy możliwe skutki niepożądane,
- wykonamy pracę w terminie i zgodnie z wymaganiami klienta,

tym projekt pochłonie mniej zasobów, jednocześnie podnosząc zysk firmy”.

W celu skutecznego zarządzania (podejmowania decyzji) konieczne jest zastosowanie podejścia metodycznego, czyli uporządkowanego sposobu postępowania, który charakteryzuje się dyscypliną i konsekwencją w działaniu (Trocki i in., 2009). Do tej pory powstało wiele standardów, metod, metodyk oraz narzędzi wspierających zarządzanie projektami. Zostały one szeroko opisane w literaturze zarówno krajowej (Frączkowski, 2003; Pawlak, 2006; Trocki, 2012), jak i światowej (Bolles, 2012; Kerzner, 2017; Rodney i Müller, 2003).

2.2. Zarządzanie projektami

Metodyki zarządzania projektami definiowane są jako najlepsze praktyki pełniące rolę standardów i procedur opisujących działania i procesy, jakie kierownik projektu i inni jego uczestnicy muszą podjąć, aby z sukcesem zrealizować projekt (Wyrozębowski, 2014), lub jako przewodniki niezbędne do wykonania poszczególnych etapów projektu (Bochenek, 2015). Służą głównie kierownikom projektu dostarczając gotowych ram, w których mają zostać wykonane prace projektowe oraz ułatwiają organizacjom ujednoczenie procedur i terminologii (Bochenek, 2015 za: Kerzner, 2005).

Różnorodność metodyk zarządzania projektami pozwala wyróżnić:

- uniwersalne (mogą być stosowane przez organizacje różnego typu, działające w wielu odmiennych gałęziach gospodarki),
- dedykowane określonym sektorom (dostosowane do poszczególnych działów: informatyki, budownictwa, produkcji itp.),
- dedykowane firmom (wypracowane i stosowane w organizacjach, w których projekty są podstawą funkcjonowania np. metodyka zarządzania projektami kosmicznymi Narodowej Agencji Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej – National Aeronautics Space Administration) (Kozioł-Nadolna, 2014; Strojny i Szmigiel, 2015).

W praktyce stosowane są trzy podejścia do zarządzania projektami, będące zarazem grupami metodyk. Zalicza się do nich podejście:

- Tradycyjne (klasyczne) zwane też kaskadowym (ang. waterfall), w którym identyfikuje się sekwencje kroków, jakie muszą zostać wykonane.

Podejście to sprawdza się gdy zleceniodawca ma jasno sprecyzowany cel (jednoznaczne, ścisłe i mierzalne wymagania) oraz istnieje małe prawdopodobieństwo zmiany zakresu w trakcie trwania projektu. Mocne strony takiego podejścia to: określony plan dla całego przedsięwzięcia oraz znane wymagania dotyczące zasobów. Do głównych niedostatków można zaliczyć natomiast: ograniczoną możliwość wprowadzania zmian w trakcie projektu, konieczność tworzenia bardzo szczegółowych planów, ryzyko wysokich kosztów i przedłużania się projektu, nadmierny poziom formalizacji oraz brak koncentracji na rzeczywistych potrzebach klienta i dostarczanej wartości (Bochenek, 2015; Kopczyński, 2014). Stosowanie metodyk klasycznych dyscyplinuje sposób postępowania w trakcie realizacji projektu, jednak nie gwarantuje jego zakończenia sukcesem. Jak określił to Chmielarz (2012) metodyki są tak bardzo „sztywne” i ustrukturyzowane, że przestrzeganie wszystkich kroków, formuł i procedur może spowalniać proces realizacji danego przedsięwzięcia. Przykładem projektu, który mógłby być realizowany przy wykorzystaniu jednej z metodyk klasycznych, jest projekt budowy autostrady (Jaskanis i in., 2015).

Do najczęściej stosowanych metodyk tradycyjnych zalicza się PMBoK oraz PRINCE (lub PRINCE2). PMBoK (wydane przez PMI – Project Management Institute) posiada formę kompendium wiedzy, które dostarcza kierownikowi projektu reguł i metod działania. Metodyka zawiera dziewięć obszarów wiedzy o zarządzaniu projektami – do każ-

dego z obszarów przypisane są procesy, których realizacja jest konieczna, by zarządzanie projektem w tym obszarze było efektywne. Metodyka PRINCE różni się od PMBoK w większym nastawieniu na jakość produktu, co wymaga kontroli poszczególnych etapów projektu. Ważnym elementem PRINCE jest dokumentacja poprojektowa, która stanowi wykaz nabytych doświadczeń. Zarówno PMBoK jak i PRINCE są skalowane, tzn. nadają się do zastosowania zarówno w dużych, jak i w małych projektach (Bochenek, 2015 za: Prywata, 2015; Strojny i Szmigiel, 2015).

- Zwinne (ang. agile) w przeciwieństwie do podejścia tradycyjnego projekt jest widziany jako zbiór stosunkowo małych zadań, których zakres cały czas ma prawo się zmieniać tak, aby jak najlepiej odpowiadać potrzebom klienta.

Realizując cel, nie podąża za wcześniej ustalonym planem, lecz za ciągle zmieniającymi się potrzebami odbiorców projektu. Metodyki zwinne powstały w przeznaczeniu dla realizacji projektów informatycznych, których specyfika i podatność na niekontrolowane zmiany zakresu powodowały niski odsetek ukończenia z powodzeniem (Wyrozębski, 2007). W tym kontekście w pierwszej kolejności powstaje niewielka aplikacja o podstawowych funkcjach (prototyp), która powierzana jest klientom. Następnie przez określony czas klienci testują aplikację i zgłaszają potrzeby, uwagi i opinie. Na ich podstawie programiści dokonują zmian i rozbudowy aplikacji. Jak widać, na etapie planowania tradycyjnego podejścia nie dałoby się przewidzieć zgłaszanych uwag klientów. Metodyki zwinne są zatem próbą dostosowania się do nowych warunków gospodarczych determinowanych przede wszystkim postępem technologicznym, globalizacją rynków i zaostrzającą się konkurencją. Zwinne zarządzanie projektami opiera się na poczynaniach dodających wartość, a także eliminujących niepotrzebne czynności zarówno administracyjne, jak i te, które zapewniają zgodność z formalnymi wymogami. Miejscem, gdzie znajdują one najlepsze zastosowanie, są środowiska, w których występuje duża niepewność odnośnie celów i nie ma możliwości dokładnego zaplanowania całości projektu w odpowiednim czasie (Strojny i Szmigiel, 2015).

Przykładami metodyk zwinnych są Scrum, Agile Software Development, Kanban, DSDM.

- Ekstremalne (ang. extreme) stosowane gdy nie jest precyzyjny ani cel projektu, ani jego plan czyli w projektach o charakterze innowacyjnym, charakteryzujących się wysokim stopniem ryzyka. Przykładem są projekty rozwojowo-badawcze ponieważ naukowcy nie są w stanie nawet przewidzieć jaki będzie efekt badań i analiz (Baran i Kłós, 2013).

Porównanie podejść do zarządzania projektami można przedstawić tabelarycznie (Tabela 5).

Tabela 5. Porównanie podejść do zarządzania projektami (źródło: Ruszlewicz i Kłós, 2014)

	Tradycyjne	Zwinne	Ekstremalne
Czas	znany lub prawie znany	określony termin zakończenia	nieznany
Zasoby	dokładnie znane	częściowo znane	nieznane
Koszty	możliwe do dokładnego określenia	częściowo znane	nieznane
Zakres	dokładnie określony	częściowo określony	nieznany
Cel	sprecyzowany	znany	niesprecyzowany

Bez względu na metodykę, każdy projekt jest realizowany w tzw. cyklu życia, czyli uporządkowanych (w czasie) etapach. Inaczej mówiąc określa on zróżnicowanie sytuacji występujących w trakcie realizacji projektu. Sytuacje te nazywane są fazami lub etapami cyklu życia projektu. Najczęściej wyróżnia się 4 etapy cyklu życia projektu (Wysocki, 2013):

- inicjację – przygotowanie do głównych prac planistycznych czyli zdefiniowanie wstępu (nie celu realizacji) ocena ryzyka, interesariuszy, dokonanie wstępnej analizy ekonomicznej, traktowana jako faza przedprojektowa,
- planowanie – na podstawie celów szczegółowych opracowanie planu bazowego projektu (harmonogram zadań, budżet, plan płynności finansowej), czyli odpowiedzenie na pytania: jak, w jaki sposób zrealizować zamierzone cele, jakimi środkami, kiedy, w jakiej kolejności itp.,
- realizację (monitorowanie i kontrolowanie) – zadania są realizowane, a poziom ich wykonania monitorowany jest przez kierownika zespołu, a także kontrolowany przez odpowiednie służby controllingowe organizacji,
- zamykanie (zakończenie) – weryfikacja, czy projekt zapewnił osiągnięcie zaplanowanych celów, a w szczególności czy uzyskano specyfikację określoną przez zespół oraz klienta.

Nie ulega wątpliwości, że na etapie inicjowania projektu podejmowane są decyzje dotyczące (Walczak, 2010):

- tworzenia ogólnej wizji projektu, która jest wstępnym elementem rozpoczynającym przygotowania do nakreślenia zakresu projektu, budżetu projektu i czasu jego realizacji,

- określania zasobów wiedzy oraz informacji niezbędnych z punktu widzenia podejmowanych dalszych decyzji (wskazanie źródeł ich pozyskania, oszacowanie kosztu ich zdobycia), jak również zasobów finansowych i źródeł ich pozyskania,
- identyfikacji kluczowych ograniczeń projektowych na tle posiadanych i niezbędnych zasobów, umiejętności, kluczowych kompetencji,
- wstępnego szacowanie niezbędnych zasobów, ogólne studium wykonalności projektu,
- wstępnej identyfikacja poziomu ryzyka i czynników, które mogą negatywnie wpłynąć na skuteczność realizacji projektu,
- analizy możliwości powołania i utworzenia odpowiedniego zespołu projektowego,
- przedstawienia kilku wstępnych, możliwych wariantów i koncepcji planu wykonania projektu,
- itp.,

które determinują procesy na dalszych etapach projektu. W praktyce działania w etapach inicjacji i planowania dość często są ze sobą powiązane przykładowo: analizowanie składu zespołu projektowego (etap inicjacji) wymaga znajomości struktury czynności, harmonogramu itp. (etap planowania).

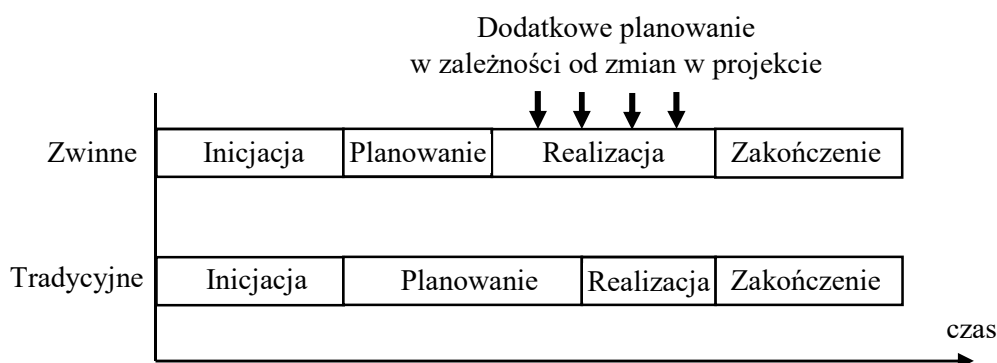
Wśród wielu wyników badań dotyczących czynników decydujących o sukcesach i niepowodzeniach projektów dominuje przekonanie, że najważniejszym etapem jest planowanie. Przykładem tego są badania prowadzone w Niemczech (Engel i in., 2008). Wśród polskich naukowców, Spalek (2006) wskazał, że określenie daty zakończenia projektu na podstawie bardzo dokładnie zaplanowanej pracochłonności zadań jest czynnikiem wpływającym na sukces projektu. Natomiast w literaturze z zakresu zarządzania projektami istnieje w zasadzie jednomyślne stwierdzenie, że czas poświęcony na etap planowania wpływa na skrócenie czasu realizacji projektu, ograniczenie kosztów, zmniejszenie ryzyka konieczności wprowadzania zmian w trakcie trwania projektu itp. W tym kontekście przedmiotem dalszych rozważań w rozprawie będzie zagadnienie planowania projektów.

W zarządzaniu projektami wyróżnia się procesy planowania (Trocki, 2015):

- przebiegu projektu, obejmującym planowanie struktury projektu (przedstawiające zadania projektu i niezbędne do ich realizacji czynności),
- terminów projektu (przedstawiające przebieg projektu w czasie),
- zasobów projektu (przedstawiające rozdział zasobów na poszczególne zadania i czynności projektu oraz ich rozkład w czasie),
- kosztów projektu (czyli budżetowanie).

Procesy te są powiązane ze sobą sprzężeniem zwrotnym tzn. przykładowo czasy trwania czynności i terminy ich realizacji wyznaczają z jednej strony zapotrzebowanie na zasoby, zaś z drugiej strony dysponowane zasoby wpływają na czas realizacji i terminy poszczególnych czynności projektu i, co za tym idzie, projektu jako całości (Trocki, 2015).

W kontekście omówionych wcześniej metodyk zarządzania projektami, w szczególności metodyk zwinnych, odrzucających długookresowe (szczegółowe) planowanie projektów, można zadać pytanie: czy w metodykach zwinnych ma miejsce jakiegokolwiek planowanie? Podejście zwinne, wbrew pozorom kładzie bardzo duży nacisk na przygotowanie i zaplanowanie projektu (Cobb, 2012; Coram i Bohner, 2005; Wyrozębski, 2015). Ponadto istnieją badania (Serrador i Pinto, 2015), które wskazują, że planowanie projektów w metodykach zwinnych zajmuje podobną ilość czasu jak w przypadku metodyk tradycyjnych, z tym, że w zwinnych planowanie jest rozłożone (rozproszone) w całym cyklu życia projektu, a nie tylko na początku (Rys. 10).



Rys. 10. Planowanie w metodykach tradycyjnych i zwinnych (opracowanie własne)

Wielu autorów zauważa, że nie należy planować skrupulatnie przebiegu projektu skoro wymagania klienta a zatem zakres projektu może się zmienić w trakcie jego realizacji. Alternatywnie można powiedzieć, że w trakcie projektu przyrasta nam wiedza, więc decyzje podjęte później (podejście zwinne) mają lepszą jakość niż te wcześniej (podejście tradycyjne). Oznacza to, że plan powinien zawierać element elastyczności umożliwiający jego dostosowanie do nieprzewidzianych zmian w przyszłości. Jak to określił Cobb (2012) „zamiast podejmować próbę wstępnego planowania całego projektu, wstępny plan ograniczony jest tylko do zakresu niezbędnego do rozpoczęcia projektu; dalsze planowanie odłożone jest do czasu, aż stanie się potrzebne”.

Wracając do procesów planowania, wielu autorów (Głodziński, 2014; Marek-Kołodziej i Łapuńka, 2015; Sitek i Ziółkowski, 2014; Walczak, 2010) podkreśla, że w zarządzaniu projektem kluczowe jest planowanie i podejmowanie decyzji dotyczące zasobów (finansowych, rzeczowych, ludzkich). Ponadto jak już wspomniano, do najważniejszych zasobów decydujących o osiągnięciu celu (projektu) zalicza się pracowników (zespół projektowy). „Najważniejszym zasobem organizacji są ludzie, którzy dostarczają swoją pracę, uzdolnienia, twórczość i energię. Do najistotniejszych zadań kierownika należy zatem dobór, szkolenie i doskonalenie ludzi, którzy najlepiej pomogą organizacji w realizacji jej celów. Bez kompetentnych ludzi organizacja albo zdążyć będzie do nieodpowiednich celów, albo napotka trudności w realizacji właściwych celów, jeśli nawet zostaną one ustalone” (Stoner i in., 2011). W tym kontekście dalsza część rozważań będzie dotyczyła tylko zespołów projektowych.

2.3. Planowanie zespołów projektowych

W najprostszy sposób zespół projektowy można zdefiniować jako grupę (zbiór) ludzi (pracowników) współpracujących ze sobą w celu realizacji projektu (Frame, 2001). W skład zespołu mogą wchodzić zarówno pracownicy etatowi określonej organizacji, jak i osoby z firm zewnętrznych lub pracujący na zlecenie (ang. outsourcing) (Armstrong, 2005; Pochtowski, 2016). Inaczej mówiąc zespół może składać się:

- wyłącznie z pracowników zatrudnionych w organizacji,
- wyłącznie z pracowników zewnętrznych,
- z pracowników zatrudnionych w organizacji i pracowników zewnętrznych.

Planowanie zespołu projektowego (nazywane zamiennie kompletowaniem, organizowaniem, budowaniem lub tworzeniem zespołu) obejmuje określenie miejsca i roli zespołu projektowego w strukturze organizacji realizującej projekt, powołanie kierownika i członków projektu, zorganizowanie pracy zespołu (podział obowiązków, plan/przydział prac, wyposażenie, komunikacja, finansowanie itd.), opracowanie instrumentów motywacyjnych itp. (Trocki, 2015).

W literaturze najwięcej uwagi poświęca się zagadnieniu powoływania zespołów rozumianego jako dopasowania do siebie jego członków. Należy przez to rozumieć dobór pracowników pod względem cech takich jak (PMBok, 2017):

- kompetencje kandydatów (kwalifikacje, wiedza merytoryczna itp. wymagane do realizacji zadań projektowych),
- zaangażowanie w realizację projektu,

- posiadanie silnej orientacji na rozwiązywanie problemów i osiągnięcie rezultatów,
- doświadczenie,
- cechy charakterologiczne,
- predyspozycje i umiejętność pracy w zespole,
- itp.

Wśród wielu prac poświęconych zagadnieniu planowania zespołów projektowych pojawiają się głosy, że wiele uwagi powinno poświęcać się predyspozycjom osobowościowym, umożliwiającym pracę w zespole. Zauważa się, iż nawet najlepszy specjalista w danej dziedzinie, który nie potrafi pracować w grupie, nie zastąpi zespołu współpracujących ze sobą osób (Marek-Kołodziej i Łapuńska, 2015). Zdaniem Belbina (2003) poziom realizacji zaplanowanego zadania jedynie do pewnego momentu jest liniową zależnością od merytorycznej wiedzy posiadanej przez członków zespołu. Inaczej mówiąc, w zespole projektowym powinny znajdować się osoby dopasowane do zakresu danego projektu, ale także do osób, z którymi będą współpracować. Oznacza to, że członkowie zespołu projektowego powinni posiadać odpowiednie cechy osobowości i pełnić role, które nie są sprzeczne z ich charakterem. W związku z tym Belbin zaproponował 9 ról zespołowych:

- Praktyczny organizator – osoba, która potrafi realizować zaplanowane cele. Do jego mocnych stron należy zaliczyć: dyscyplinę, solidność oraz skuteczność.
- Naturalny lider – osoba silnie zorientowana na cel, który trzeba zrealizować. Potrafi dobrze komunikować się z resztą zespołu, motywować do działania, ma zadatki na przywódcę.
- Człowiek akcji – osoba, która lubi nowe wyzwania oraz pracę pod presją, ale ma problemy z nawiązywaniem przyjaznych relacji z innymi ludźmi.
- Siewca – osoba potrafiąca rozwiązywać trudne problemy; potrafi tworzyć pomysłowe rozwiązania, kreować nowe strategie, ma jednak problemy z komunikacją z pozostałą częścią zespołu.
- Człowiek kontaktów – osoba, która lubi skupiać się przede wszystkim na szukaniu nowych rozwiązań oraz ich realizacji. Potrafi nawiązywać kontakty, które mogą być korzystne dla całego zespołu. Szybko traci entuzjazm, gdy przestanie się interesować danym tematem.
- Sędzia – obserwator, lubi przyglądać się realizacji projektu z perspektywy widza. Potrafi obiektywnie analizować sytuację i zazwyczaj podejmuje trafne decyzje.

- Człowiek grupy – osoba wspierająca zespół, potrafi słuchać, ma łagodny charakter, unika konfliktów; nie potrafi sobie radzić w sytuacjach kryzysowych.
- Perfekcjonista – osoba, która lubi brać realizację zadań na swoje barki, niechętnie dzieli się pracą.
- Specjalista – doskonale zna się na swojej pracy i dostarcza unikalną wiedzę i umiejętności, ale tylko z wąskiej dziedziny i rozwodzi się nad specjalistycznymi problemami. Potrafi się sam motywować (Twardochleb, 2014).

Dzięki opracowanemu testowi osobowości Belbina można określić, która rola jest dominująca u określonego pracownika. Belbin wysuwa wniosek, że najkorzystniejsze są zespoły „zrównoważone” tzn. takie, w którego skład wchodzi pracownicy o różnych (przynajmniej raz występujących) rolach (jeżeli liczba członków zespołu jest mniejsza od liczby ról to niektóre osoby powinny przejawiać więcej niż jedną rolę).

Istnieje wiele sposobów budowy zespołów projektowych. Przykładowo za dobry zespół uznaje się taki, który:

- nie jest zbyt liczny, co daje mu możliwość osiągnięcia jednolitości preferowanych wartości,
- przyjął i zaakceptował wspólne wartości,
- opracowane zostały reguły funkcjonowania i pracy zespołu projektowego, adekwatnie do jego potencjału,
- przestrzega wspólnych norm,
- zadania są wyznaczane wspólnie,
- członkowie zespołu znają strategię działania zespołu oraz wiedzą, jakie wynikają z niej zadania dla poszczególnych osób,
- podział zadań jest tak przeprowadzony, że poszczególne osoby należące do zespołu projektowego muszą ze sobą współpracować i komunikować się,
- każdy z członków zespołu uczestniczy w pracach zespołu, nie jest odizolowany,
- członkowie zespołu uczą się zaufania do siebie i darzenia szacunkiem,
- osoby z zespołu projektowego są zachęcane do utrzymywania kontaktów towarzyskich poza pracą (Wachowiak i in., 2004).

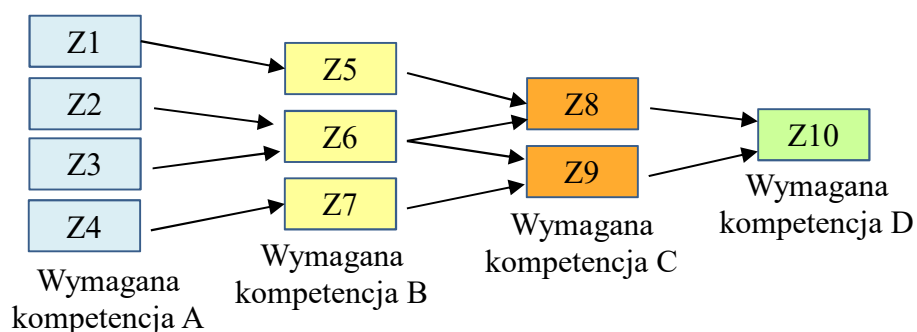
Brakuje jednak doprecyzowania co oznaczają niektóre sformułowania, np. zespół nie może być zbyt liczny. Powstaje pytanie: jaka jest liczbowa granica? Czy np. zespół dwuosobowy realizujący projekt w postaci budowy autostrady oznacza, że nie jest to zespół projektowy? Wydaje się, że liczebność zespołu nie ma w tym kontekście żadnego znaczenia albo przynajmniej

trudno ustalić jej granicę. Innym przykładem nieprecyzyjnego sformułowania cech zespołu projektowego jest stwierdzenie, że „zadania są wyznaczane wspólnie”. Można to interpretować tak, że wszyscy członkowie zespołu dyskutują nad wyznaczeniem zadań (np. napisanie książki współautorskiej wymaga ustaleń odnośnie podziału na rozdziały/fragmenty i biorą w tym udział wszyscy współautorzy), ale może również wskazywać, że część lub wszyscy członkowie są przydzielani do zadań realizowanych wspólnie (np. 5 członków zespołu budowlanego realizuje wspólnie jedno zadanie w postaci układania dachówki). Należy przy tym zauważyć, że projekt może również zawierać zadania, które realizowane są głównie indywidualnie np. projekt w postaci prowadzenia nowego kierunku na uczelni wyższej polega na realizacji poszczególnych jednostek zajęciowych (zadań), przez dwóch/trzech dydaktyków, ale najczęściej indywidualnie. W takim ujęciu widać, że praca zespołu (praca zespołowa) okazuje się jedynie zespołowa z uwagi na dążenie do realizacji wspólnego celu (realizacja zajęć) a nie zawsze wymagana jest wspólna praca nad określonym zadaniem.

Podsumowując, różnorodność i złożoność projektów, a w związku z tym heterogeniczność wymagań względem zespołów projektowych uniemożliwia wypracowanie uniwersalnego, pasującego do każdego przypadku, zbioru cech zespołu projektowego. W związku z tym w dalszej części dysertacji przyjęto, że zespół projektowy występuje zawsze gdy mowa jest o pracownikach realizujących zadania określonego projektu. Można zatem przyjąć, że członek zespołu powinien cechować się kompetencjami zarówno indywidualnymi (tj. samodzielnością w zakresie merytorycznym) oraz zespołowymi (tj. zdolnością do zintegrowania, jeśli to konieczne, swoich wysiłków z innymi członkami zespołu). Zauważa się jednak, że w literaturze dominują badania dotyczące planowania zespołów projektowych pod kątem dopasowania charakterów, ról, osobowości itp. Część z badaczy nazywa je kompetencjami miękkimi. Stosunkowo niewiele badań dotyczy doboru członków zespołu w aspekcie umiejętności, kwalifikacji, wiedzy, które nazywane są kompetencjami twardymi. W dalszych rozważaniach uwaga została skupiona na twardych kompetencjach i podejmowaniu decyzji związanych z powoływaniem zespołów projektowych, sprowadzającym się do bilansowania kompetencji wymaganych i posiadanych przez członków. Oznacza to, że pomijane są aspekty związane z cechami osobowości i rolami zespołowymi wskazywanymi m.in. przez Belbina. W szczególności jest to podyktowane charakterem rozważanych w dysertacji projektów, które w realizacji zadań nie wymagają współpracy członków zespołu projektowego. Ilustracją takiej sytuacji jest następujący przykład:

Przykład 1

Realizowany jest projekt, składający się z 10-ciu czynności, z których każda trwa jedną umowną jednostką czasu (w skrócie u.j.c.). Strukturę projektu zilustrowano na Rys. 11. Czynności Z1-Z4 wymagają kompetencji A, czynności Z5-Z7 wymagają kompetencji B, czynności Z8-Z9 wymagają kompetencji C, czynność Z10 wymaga kompetencji D. Kolejność realizowanych czynności wyznaczana jest przy pomocy strzałek np. czynność Z5 może rozpocząć się po zakończeniu czynności Z1, czynność Z6 może rozpocząć się po zakończeniu czynności Z2 i Z3 itd.



Rys. 11. Struktura projektu (opracowanie własne)

Do realizacji czynności przewidziany jest zespół, składający się z czterech pracowników. Kompetencje poszczególnych pracowników składają się na strukturę kompetencji zespołu przedstawioną w Tabeli 6, w której posiadane kompetencje oznaczono wartością „1” a ich brak wartością „0”.

Tabela 6. Struktura kompetencji (opracowanie własne)

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	0	1	0	1
Pracownik 2	1	1	0	0
Pracownik 3	1	1	1	0
Pracownik 4	1	0	1	1

Określone są następujące zasady (ograniczenia) realizacji czynności:

- czynność może realizować tylko kompetentny pracownik,
- pracownicy 1 i 4 mogą realizować nie więcej niż 3 czynności, a pracownicy 2 i 3 nie więcej niż 4 czynności,

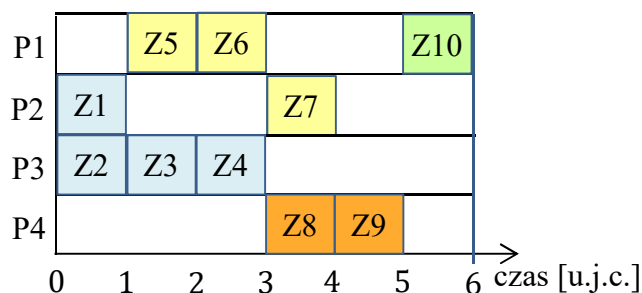
- c) pracownik nie może realizować więcej niż jednej czynności w danej jednostce czasu,
- d) projekt powinien skończyć się w terminie 6 u.j.c.,
- e) wszystkie czynności muszą zostać przydzielone.

Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: czy możliwe jest zakończenie projektu w zadanym terminie przy spełnieniu wszystkich ograniczeń? Odpowiedź na to pytanie sprowadza się do przydziału (alokacji) czynności do pracowników (Król i Ludwiczynski, 2011) oraz rozkładu czynności w czasie czyli harmonogramowania. Najprościej mówiąc celem jest określenie: kiedy, ilu, o jakich kompetencjach, na jaki czas, należy przydzielić wykonawców czynności (Chrościcki, 2001). W dziedzinie zarządzania, takie działanie nazywane jest również organizacją pracy, planowaniem personelu/siły roboczej, a nawet bardzo ogólnym stwierdzeniem: zarządzanie zasobami ludzkimi (Strużyna i in., 2008).

Przedstawiony przykład dotyczy sytuacji deterministycznej tzn. planowania odbywającego się w warunkach pełnej informacji (w warunkach pewności). Inaczej mówiąc dane są kompletne i pewne. Problem opisany jest zatem modelem deterministycznym, który rozwiązywany jest klasycznymi metodami sieciowymi np. metodą ścieżki krytycznej (CPM). Metody te pozwalają wyznaczyć najwcześniejsze i najpóźniejsze terminy rozpoczynania czynności, zapasy czasu na ich wykonanie i określenie najdłuższej (pod względem czasu realizacji) drogi w sieci, która decyduje o czasie wykonania przedsięwzięcia. Niedostatkiem tej metody jest założenie, że dostępność zasobów (w tym przypadku pracowników) jest nieograniczona. Oznacza to, że w przypadku prezentowanego przykładu należy uwzględnić limitowane ilości pracowników ponieważ mogą one wpływać na czas realizacji czynności, przebieg ścieżki krytycznej, a zatem nawet na czas realizacji całego przedsięwzięcia. Przy alokacji zasobów należy wziąć pod uwagę wszystkie jednocześnie realizowane przez przedsiębiorstwo projekty ponieważ do ich realizacji mogą być zaangażowane te same zasoby. Przy ustalaniu terminów rozpoczynania czynności muszą być uwzględniane nie tylko ograniczenia kolejnościowe (konieczność zakończenia wszystkich czynności poprzedzających) ale również ograniczenia dostępności współdzielonych pracowników (Biruk, 2018). W związku z tym, opisywany w pracy problem zaliczany jest do problemów planowania projektów z uwzględnieniem dostępności zasobów (ang. Resource Constrained Project Scheduling Problem, w skrócie RCPSP). Przegląd modeli i algorytmów stosowanych w problemie RCPSP zawiera praca (Hartmann i Briskorn, 2012).

Stosując jedną z metod zaliczanych do RCPSP okazuje się, że odpowiedź na postawione pytanie jest pozytywna tzn. możliwe jest zakończenie projektu w zadanym terminie przy spełnieniu wszystkich ograniczeń. Przykładowym harmonogramem jest diagram Gantta zaprezen-

towany na Rys. 12. Nawiązując do bilansowania kompetencji wymaganych i posiadanych okazuje się, że struktura kompetencji (Tabela 6) pozwala na realizację czynności zgodnie z przyjętymi założeniami.



Legenda:

P1 – pracownik 1; P2 – pracownik 2; P3 – pracownik 3; P4 – pracownik 4

Rys. 12. Harmonogram projektu (opracowanie własne)

Obecnie praktycznie każdy projekt jest realizowany w zmiennym i niepewnym otoczeniu, coraz bardziej dominowanym przez: wprowadzane technologiczne i organizacyjne innowacje, rosnącą konkurencję, fluktuację pracowników, zmiany legislacyjne itp. Sprawia to, że w trakcie realizacji projektów zachodzą zdarzenia nieprzewidziane (niepożądane), będące źródłem niepowodzenia prowadzonych projektów. W konsekwencji, w większości przypadków decyzje kadrowe, powołujące zespoły projektowe, obarczone są niepewnością związaną z czasową niedostępnością zasobów (np. pracowników), opóźnieniami rozpoczęcia czynności, zmianami czasów trwania czynności itp. Inaczej mówiąc w planowaniu zespołów projektowych konieczne jest uwzględnianie nieprzewidzianych zdarzeń zakłócających realizację projektów, w szczególności zagrażających ich terminowej realizacji.

2.4. Planowanie struktur kompetencji odpornych na zakłócenia

Zachodzące w trakcie realizacji projektu nieprzewidziane zdarzenia nazywane są zazwyczaj zakłóceniami (ang. disruptions) (Bocewicz i in., 2016; Ingels i Maenhout, 2019; Zawła-Niedźwiecki, 2013). Mogą one dotyczyć (Klimek, 2010; Zhu i in., 2005):

- sieci czynności projektu, np.:
 - pojawienie się nowych czynności,
 - pojawienie się nowych ograniczeń kolejnościowych,

- czynności, np.:
 - zmiany w czasie trwania czynności w trakcie realizacji harmonogramu (np. skrócenie czasu realizacji określonych czynności),
 - zmiany zapotrzebowania na zasoby poszczególnych czynności,
- zasobów, np.:
 - czasowa niedostępność zasobu (np. awaria maszyny, wypadek, choroba pracownika),
 - stałe zmniejszenie dostępności zasobu (np. fluktuacja pracowników),
- terminów realizacji, np.:
 - zmiana (np. przyspieszenie) terminu realizacji projektu,
 - zmiana terminu realizacji kamieni milowych projektu.

Moment wystąpienia określonych zakłóceń może być znany (prognozowany z odpowiednim wyprzedzeniem) bądź występujący w sposób nagły (niespodziewany). Może też być znane prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia w określonym momencie realizacji przedsięwzięcia. W związku z tym najczęściej mówi się o dwóch elementach planowania projektów: ryzyku i niepewności. Pojęcie *ryzyko* może być rozumiane jako: zagrożenia dla projektu (Czajor, 2006; Kasperek, 2011; Skalik, 2009; Turner, 2009), przedsięwzięcie, którego wynik jest niepewny (wątpliwy) (Staniec i Klimczak, 2015), prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia ocenianego negatywnie (Pszczółowski, 1978). W zagadnieniach zarządzania projektem *ryzyko* definiowane jest jako prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia i konsekwencji z tym związanych lub „skumulowany efekt prawdopodobieństwa niepewnych zdarzeń, które mogą korzystnie lub niekorzystnie wpływać na realizację projektu” (Pritchard, 2001). Z kolei *niepewność* charakteryzuje się nieznanym prawdopodobieństwem wystąpienia poszczególnych zdarzeń (Heilpern, 2001).

W przypadku planowania w warunkach ryzyka, planista ma wiedzę na temat zdarzeń, które mogą wystąpić podczas realizacji projektu. W tej sytuacji musi się liczyć z koniecznością wzięcia pod uwagę kilku wariantów działań powodujących różne skutki, dla których potrafi oszacować – obiektywnie bądź subiektywnie – prawdopodobieństwo wystąpienia tych zdarzeń oraz ich wpływ na projekt. Z kolei w przypadku planowania w warunkach niepewności, możliwe są różne warianty działania i różne ich skutki, ale nie można określić – ani obiektywnie, ani subiektywnie – prawdopodobieństwa ich wystąpienia (Trocki, 2015). Niekiedy mówi się jeszcze o planowaniu w warunkach nieokreśloności tzn. gdy planista nie potrafi określić wszystkich zdarzeń, które mogą nastąpić (Marciniak i Głodziński, 2005).

W sytuacji planowania w warunkach ryzyka stosuje się stochastyczne modele i metody planowania projektu takie jak: PERT, GERT itp. Natomiast przy planowaniu w warunkach niepewności wykorzystywane są sytuacyjne modele i tzw. heurystyczne i adaptacyjne metody takie jak: metoda drzewa istotności, metody zwinne, których przykładem jest wspomniany już SCRUM.

W świetle wspomnianej wcześniej dynamiki zmian otoczenia projektu, decyzji i planów zazwyczaj nie są w stanie przewidzieć prawdopodobnego, a tym bardziej dokładnego, momentu wystąpienia zakłóceń (np. który pracownik w jakim przedziale czasu będzie nieobecny, które materiały z jakim opóźnieniem zostaną dostarczone, w jakim momencie, jaka nowa czynność wystąpi itp.). Przyjmuje się zatem, że w dalszych rozważaniach będzie mowa tylko o takich zakłóceniach, których rodzaj jest znany decydentowi jednak moment ich wystąpienia oraz czas trwania są nieznane. Oznacza to, że prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia nie jest znane. Przykładowo przez zakłócenie można rozumieć sytuację:

- niezapowiedzianej absencji pracownika (zwolnienie lekarskie, zmiana pracy, niezdolność do wykonywania obowiązków itp.),
- zmiany wymagań klienta w trakcie realizacji projektu, skutkujące koniecznością realizacji dodatkowych, nieplanowanych czynności,
- itp.

Zakłócenia związane z absencją mogą:

- dotyczyć każdego członka zespołu,
- wystąpić w dowolnym momencie harmonogramu realizacji projektu,
- trwać dowolną ilość czasu.

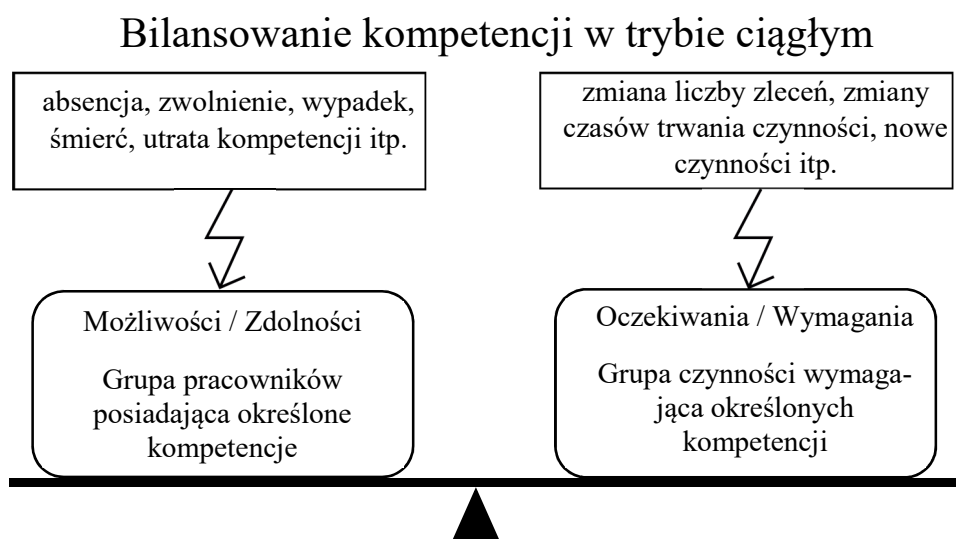
Z kolei zakłócenia wymagające realizacji dodatkowych (nieplanowanych) czynności mogą:

- wymagać dowolnych kompetencji,
- wystąpić w dowolnym momencie harmonogramu realizacji projektu,
- trwać dowolną ilość czasu.

Kluczowe w tym kontekście stają się pytania: Jaki wpływ na projekt mogą mieć zakłócenia oraz czy i co można zrobić aby się im przeciwstawić? Czy można zaplanować projekt uwzględniając zakłócenia?

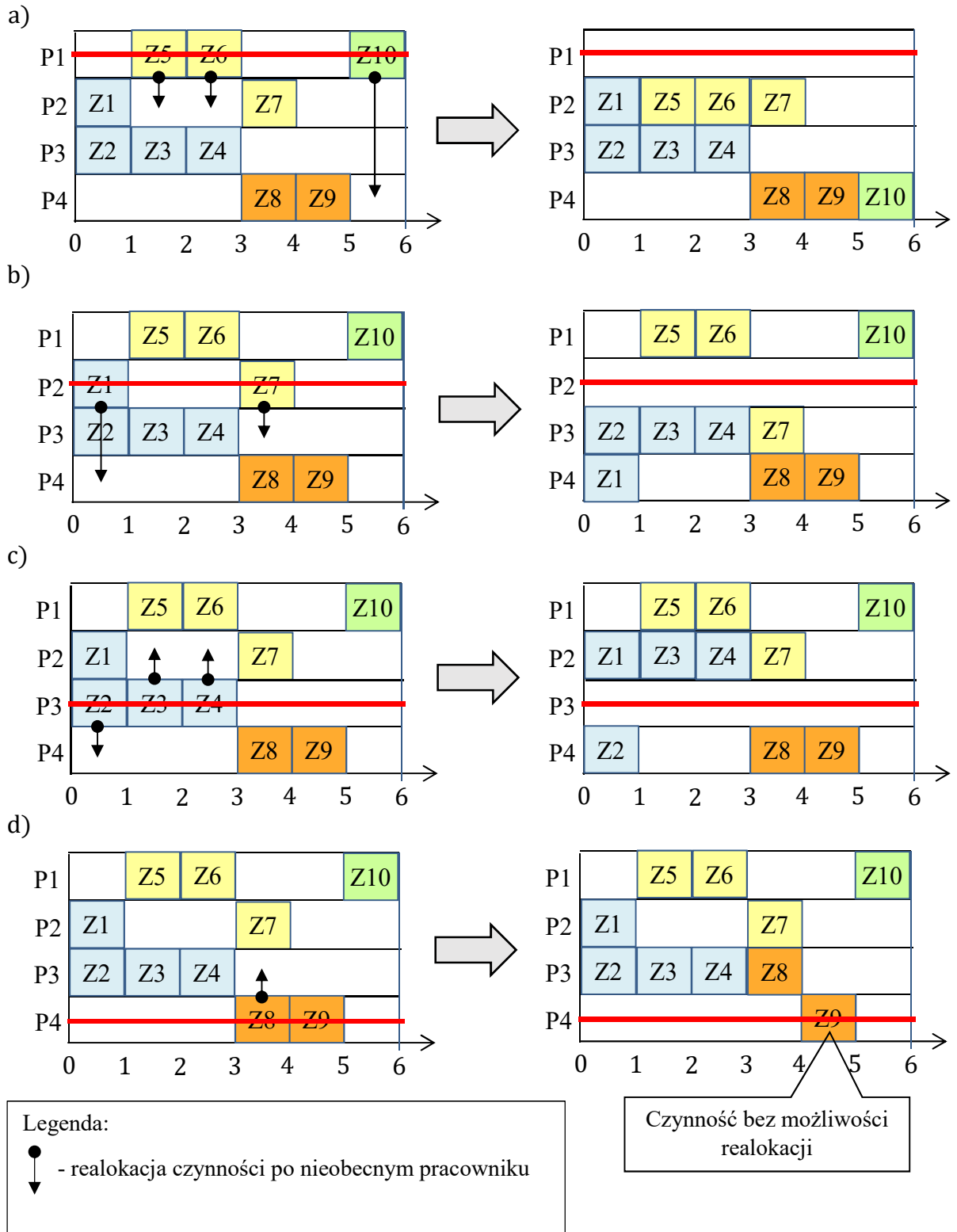
Najczęściej obserwowaną reakcją na pojawienie się zakłócenia, np. powodowanego absencją pracowniczą, jest próba poszukiwania takiej modyfikacji realizowanego harmonogramu projektu (tzw. re-harmonogramowanie), która umożliwi jego dalszą kontynuację (podejście re-

aktywne). Tego rodzaju działanie jest znamienne dla zwinnych metodyk zarządzania projektami. Jednak to czy stosowne zmiany są możliwe do przeprowadzenia zależy m.in. od kompetencji dostępnych pracowników. Nawiązując do bilansowania kompetencji (patrz rozdział 1), w związku z pojawiającymi się zakłóceniami kompetencje bilansowane są w trybie ciągłym tzn. w trakcie całego czasu trwania przedsięwzięcia (Rys. 13).



Rys. 13. Bilansowanie możliwości zasobowych i oczekiwań wynikających z realizowanych czynności w świetle pojawiających się zakłóceń (opracowanie własne)

W szczególnym przypadku, może się okazać, że z powodu niewystarczających kompetencji pozostałych w dyspozycji pracowników nie jest możliwe przeprowadzenie stosownych (umożliwiających kontynuację czynności) zmian w harmonogramie projektu. W celu ilustracji takiej sytuacji rozważmy jeden rodzaj zakłócenia w ramach prezentowanego przykładu 1. Zakłócenie polega na absencji dowolnego jednego pracownika (jednostkowej absencji pracowniczej). Zgodnie z przyjętą definicją zakłócenia oznacza to, że absencja jest losowa tzn. może dotyczyć każdego pracownika i może nastąpić na dowolnym etapie realizacji projektu. Inaczej mówiąc, dowolny pracownik może być nieobecny zarówno na pierwszym jak i ostatnim etapie jego realizacji. Należy zatem przeanalizować każdy z czterech przypadków jednostkowej absencji, w sytuacji gdy członek zespołu jest nieobecny już (w najgorszym przypadku) od samego początku projektu. Jak pokazano na Rys. 14, w przypadku absencji P1, P2 i P3 możliwa jest stosowna modyfikacja realizowanego harmonogramu (Rys. 14 a), b), c)).



Rys. 14. Warianty potencjalnych zastępstw dla poszczególnych przypadków nieobecności pracowników: a) P1, b) P2, c) P3, d) P4 (opracowanie własne)

Innymi słowy, kompetencje pozostających w dyspozycji pracowników oraz nakładane na nich limity liczby czynności pozwalają przejąć obowiązki po nieobecnych pracownikach. W sytuacji absencji P4 pozostali w dyspozycji pracownicy nie są w stanie przejąć jego obowiązków (Rys. 14 d), z powodu bądź to brakujących kompetencji, bądź też limitów liczby czynności. W rozważanym przypadku, w sytuacji absencji P4 istnieją tzw. luki kompetencyjne, na których wypełnienie np. poprzez wprowadzenie odpowiednich zmian w trakcie trwania projektu (np. szkolenie) jest już zwykle za późno. Z kolei zatrudnienie dodatkowych pracowników (np. poprzez outsourcing) może powodować nieakceptowalny wzrost kosztów realizacji projektu.

Łatwo zauważyć, że próby tego typu, tzn. a posteriori, reagowania na ad hoc pojawiające się zakłócenia (nazywane w literaturze podejściem sytuacyjnym (Trocki, 2015)) nie zawsze kończą się powodzeniem. Oznacza to, że praktyka metodyk zwinnych, skupiająca się na planowaniu w momencie zaistnienia zakłóceń i równocześnie polegająca na unikaniu przewidywań (odległych w czasie) zdarzeń (zakłóceń), może okazać się niewystarczająca do zniwelowania skutków wystąpienia zdarzeń nieplanowanych.

Alternatywę dla przedstawionego, reaktywnego (sytuacyjnego) zarządzania zakłóceniami m.in. przypadkami absencji pracowniczej, stanowi koncepcja planowania proaktywnego (Dück i in., 2012; Ionescu i Kliwer, 2011), nazywanego w literaturze zarządzania presytuacyjnym (Trocki, 2015). Sprowadza się ono do opracowania zawczasu (przed rozpoczęciem realizacji projektu) wzorców (wariantów) działania (planów naprawczych) w przypadku zaistnienia określonego zakłócenia. Mogą to być warianty planów projektów, przydziału czynności do pracowników itp. Jak zauważa (Trocki, 2015) „wyrazem tego podejścia jest myśl przytoczona przez twórcę prakseologii T. Kotarbińskiego: „Tym krótsza będzie czynność końcowa, uwieczniona realizacją celu, im dłużej się ślęczy nad ogółem przygotowań”. Związane z podejściem proaktywnym jest również przysłowie: „im więcej potu na ćwiczeniach, tym mniej krwi w boju”.

W kontekście struktur kompetencji, planowanie proaktywne sprowadza się zatem do kompletacji zespołu charakteryzującego się strukturą kompetencji gwarantującą dokonanie zmian w realizowanym harmonogramie projektu mimo pojawiających się zakłóceń (Szwarc, 2020). Reakcja na zakłócenia (adaptacja przyjętego planu) w zwinnych metodykach jest możliwa dopiero wtedy gdy przygotowuje się (na taką ewentualność) odpowiednią strukturę kompetencji. Struktury kompetencji dające taką gwarancję nazywane są dalej **odpornymi** na określony zbiór zakłóceń. Inaczej mówiąc, **odporna struktura kompetencji to taka jej postać, która gwarantuje realizację planu mimo wystąpienia określonego rodzaju zakłóceń.**

Oznacza to, że definicja ta jest sparametryzowana rodzajem zakłócenia, np. w przypadku gdy struktura kompetencji jest odporna na absencję jednego pracownika to niekoniecznie jest odporna na jednoczesną nieobecność dwóch pracowników. W tym ujęciu, przyjmuje się, że odporność struktury kompetencji traktowana jest jako, zależny od rodzaju zakłócenia parametr, do którego oceny mogą być wykorzystywane różne miary. Przykładowo odporność struktury kompetencji można wyrazić jako:

- miarę odporności na absencję pojedynczych pracowników: liczba przypadków absencji, dla których istnieje przydział czynności do pracowników gwarantujący realizację zleceń, względem wszystkich możliwych przypadków absencji,
- miarę odporności na utratę kwalifikacji (kompetencji) pracownika: liczba przypadków utraty kwalifikacji, dla których istnieje przydział czynności do pracowników gwarantujący realizację zleceń, względem wszystkich możliwych przypadków utraty kwalifikacji,
- miarę odporności na zmiany dokonywane w strukturze czynności (zamiana liczby czynności, marszrut technologicznych itp.): liczba przypadków zmiany struktury czynności, dla których istnieje przydział czynności do pracowników gwarantujący realizację zleceń, względem wszystkich możliwych przypadków zmiany struktury czynności,
- itp.

W konsekwencji planowanie struktur kompetencji gwarantujących realizację zleconych czynności, sprowadza się do poszukiwania alternatywnych struktur kompetencji odpornych na wybrany (znany a priori) zbiór zakłóceń (Szwarc, 2018).

Badania podejmujące problematykę przewidywania skutków zakłóceń, jak również planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia noszą wstępny, koncepcyjny charakter. Sprowadzają się one do wprowadzenia buforów czasu lub buforów możliwości (potencjału/zasobów). Bufory czasu (najczęściej rozumiane jako dodatkowe okna czasowe pozwalające na ukończenie opóźnionych czynności) wykorzystywane są w zarządzaniu projektami w sytuacjach związanych z występowaniem zmiennych czasów trwania czynności (Hazir i in., 2010), nieoczekiwanymi opóźnieniami terminów ukończenia czynności (Dück i in., 2012; Ehr Gott i Ryan, 2002; Tam i in., 2011). Z kolei tzw. bufory możliwości (rozumiane jako dodatkowe zasoby), nazywane również rezerwami kadrowymi (rezerwy załogi, zasobów itp.) wykorzystywane są często w usługach, np. transporcie pasażerskim, obsłudze szkół, szpitali itp. gdzie często występującymi zakłóceniami są choroby pracowników (Dillon i Kontogiorgis, 1999; Moudani i Mora-Camino, 2010), awarie techniczne (Ingels i Maenhout, 2015; Potthoff i in., 2010;

Rosenberger i in., 2002; Sohoni i in., 2006; Topaloglu i Selim, 2010). Inaczej mówiąc, w wymienionych pracach zaprezentowano podejścia zakładające konieczność posiadania nadmiarowych zasobów (finansowych, rzeczowych, ludzkich). Ponadto w pracach (Krupski, 2012; Malen i Vaaler, 2017; Marlin i Geiger, 2015) pokazano, że redundancja zasobów wpływa na sprawność organizacji (rozumianą jako zdolność organizacji do realizacji czynności mimo wystąpienia zakłóceń). Autorzy tych prac pomijają jednak ocenę ilościową wpływu kompetencji posiadanej kadry na ciągłość realizowanych procesów w organizacji. Inaczej mówiąc istnieje luka badawcza w zakresie badań nad metodami pozwalającymi na planowanie struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń. Jedną z przyczyn tego stanu rzeczy jest NP-trudny charakter rozważanego problemu poszukiwania struktur kompetencji odpornych na wybrany (znany a priori) zbiór zakłóceń.

Dla przedstawionego przykładu (absencja pracownika P4), poszukiwane są takie zmiany w strukturze kompetencji (zmiany wartości „0” na wartość „1” w Tabeli 6), które zagwarantują realizację projektu (Rys. 11) mimo nieobecności P4. W ogólności wymaga to przeanalizowania 64 wariantów zmian struktur kompetencji pod kątem ich odporności na wybrane zakłócenie (kilka z nich przedstawiono w Tabeli 7).

Tabela 7. Warianty zmienionych struktur kompetencji względem Tab 6 (opracowanie własne)

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	0	1	0	1
Pracownik 2	1	1	0	0
Pracownik 3	1	1	1	0
Pracownik 4	1	0	1	1

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	1	1	0	1
Pracownik 2	1	1	0	0
Pracownik 3	1	1	1	0
Pracownik 4	1	0	1	1

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	0	1	0	1
Pracownik 2	1	1	1	0
Pracownik 3	1	1	1	0
Pracownik 4	1	1	1	1

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	0	1	1	1
Pracownik 2	1	1	1	1
Pracownik 3	1	1	1	0
Pracownik 4	1	0	1	1

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	1	1	1	1
Pracownik 2	1	1	1	1
Pracownik 3	1	1	1	0
Pracownik 4	1	1	1	1

Kompetencje Pracownik	A	B	C	D
Pracownik 1	1	1	1	1
Pracownik 2	1	1	1	1
Pracownik 3	1	1	1	1
Pracownik 4	1	1	1	1

W ogólnym przypadku może się okazać, że żaden wariant nie gwarantuje realizacji przydziału czynności do pracowników w sytuacji rozważanego zakłócenia. Z przeprowadzonych badań (Szwarc i in., 2019d) wynika, że ze względu na wysoką złożoność obliczeniową ($f(n, m) = O(2^{m \cdot n})$, gdzie: m – liczba pracowników, n – liczba czynności) rozwiązanie tego typu problemu, w szczególnych przypadkach wymaga sprawdzenia wszystkich wariantów struktur kompetencji. Wyklucza to zastosowanie metod bazujących na przeglądzie zupełnym (np. podziału i ograniczeń). Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia rozmiarów problemów spotykanych w praktyce. Na przykład, gdy $m = 50$ i $n = 100$, liczba możliwych wariantów struktur kompetencji wynosi 2^{5000} . Biorąc pod uwagę czasochłonne obliczenia, przy jednoczesnym braku gwarancji znalezienia jakiegokolwiek rozwiązania dopuszczalnego, interesujące jest poszukiwanie tzw. warunków wystarczających, których spełnienie gwarantuje istnienie takiego rozwiązania. Inaczej mówiąc, posiadanie takich warunków pozwoli określić czy warto w ogóle przystępować do poszukiwania odpornych struktur kompetencji. W przedstawionym kontekście, konieczne jest zastosowanie technik i metod obliczeniowych, umożliwiających przeszukiwanie dużych, spotykanych w praktyce struktur danych (w tym przypadku struktur kompetencji).

Nieporuszonym dotąd wątkiem jest wykorzystanie narzędzi informatycznych, które wspomagają proces zarządzania projektami. Istnieje wiele narzędzi, programów i systemów komputerowego wspomaganie zarządzania projektami. Można do nich zaliczyć: Microsoft Project, P2ware Project Manager, Jira, Mantis, TFS, GanttProject, Trello, Sllack, Redmine, KanbanTool, Oracle's Primavera, BaseCamp, Pertmaster, itd. W szeregu prac (Sajad i in., 2016; Szydłowski, 2019) dokonano porównań wybranych płatnych oraz darmowych rozwiązań. W kontekście planowania zasobów ludzkich w projektach wyróżnia się funkcjonalności, takie jak:

- planowanie wykorzystania zasobów ludzkich w czasie (budowanie terminarza) z uwzględnieniem indywidualnych cech poszczególnych zasobów lub grup zasobów (np. kalendarze dostępności),
- wspomaganie bilansowania zasobów ludzkich w czasie,
- zarządzanie zadaniami realizowanymi przez poszczególnych pracowników z możliwością uzyskania bieżącej i okresowej informacji o terminowości i jakości wykonywanej pracy,
- wykrywaniem luk kompetencyjnych wśród zatrudnionej kadry,
- itp.

Nie zauważa się jednak funkcjonalności związanych z przewidywaniem zakłóceń, planowaniem struktur kompetencji niewrażliwych na zakłócenia. Wskazuje to potrzebę opracowania metod i związanych z nimi narzędzi lub nakładek programów wspomagania planowania projektów.

Rozważany problem badawczy sprowadza się do poszukiwania efektywnej czasowo metody kompletacji zespołów pracowniczych, których struktury kompetencji nie są wrażliwe na wybrane rodzaje zakłóceń. Wyniki wstępnych badań (Szwarc i in., 2018, 2019a) mających na celu opracowanie metody planowania struktur kompetencji odpornych na wybrany zbiór zakłóceń, potwierdzają atrakcyjność rozwiązań wykorzystujących paradygmat modelowania deklaratywnego. W odróżnieniu od modelowania proceduralnego (imperatywnego) przyjęcie podejścia opartego na modelowaniu deklaratywnym pozwala uwzględnić, w ramach wykorzystanego modelu, szereg indywidualnych potrzeb i specyficznych wymagań składających się na sformułowanie rozważanej wersji problemu, nazywanych dalej ograniczeniami. Inaczej mówiąc deklaracyjny charakter modelu sprowadza się do opisu rozwiązywanego problemu, który jest zarazem programem rozwiązującym ów problem (Niederliński, 2014). Oznacza to, że od użytkownika wymaga się jedynie opisu tego co jest poszukiwane, przy jakich danych i dla jakich ograniczeń, a nie jak należy te obliczenia wykonać (gdyż ta część jest już wbudowana w środowiska programowania deklaratywnego).

2.5. Wnioski z rozdziału

1. Przyjęto, że organizacja to zespół tworzony przez dwoje lub więcej ludzi (współpracowników) planujących osiągnięcie wspólnie zaplanowanych celów. Wśród wielu rodzajów organizacji szczególną uwagę zwrócono na organizacje realizujące projekty. W związku z tym wprowadzone w pierwszym rozdziale zagadnienie dotyczące bilansowania kompetencji zawężono do procesu realizacji projektów.
2. W kontekście realizacji projektów zaakcentowano kluczową rolę prac mających miejsce przed ich rozpoczęciem: inicjację i planowanie. Za jeden z ważniejszych elementów tych prac przyjęto kompletowanie zespołów projektowych. Zauważono, że podejmowane decyzje kadrowe nie uwzględniają niepewności w trakcie realizacji projektów. W związku z tym przedstawiono sposoby radzenia sobie z losowo pojawiającymi się zdarzeniami, tzw. zakłóceniami. Zaliczono do nich podejście reaktywne i proaktywne (odporne). Równocześnie zauważono, że podejście reaktywne jest skuteczne gdy istnieją zapasy (bufory) czasu i/lub nadmiarowe zasoby (maszyny, ludzie). Na przedstawionym przykładzie pokazano,

że w ramach podejścia proaktywnego, przewidując potencjalne zakłócenia, przygotowywane są swoiste zapasowe (nadmiarowe) kompetencje, które w sytuacji wystąpienia zakłócenia pozwolą dalej (bez przerwy i/lub wydłużania terminów) realizować prace projektowe.

3. Rozpatrywane problemy kompletowania struktur kompetencji niewrażliwych na zakłócenia (tzw. struktur odpornych) należą do klasy problemów NP-zupełnych, tzn. problemów których nakłady czasowe ponoszone na ich rozwiązanie rosną wykładniczo wraz z ich rozmiarem. Oznacza to, że bez wsparcia komputerowego decydenci nie są w stanie podejmować racjonalnych decyzji (Szwarc i Bach-Dąbrowska, 2018). Z uwagi na aktualny stan badań dotyczących planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia wskazano potrzebę opracowania metod i związanych z nimi narzędzi wspomagania decyzji. Zasygnalizowano również możliwość wykorzystania modelowania deklaratywnego.

3. Sformułowanie problemu i celu rozprawy oraz wybór metody badań

3.1. Problem

Wprowadzone pojęcia terminów takich jak: struktura kompetencji³ (w skrócie SK), zakłócenie realizacji projektu⁴ (dalej zakłócenie) oraz odporność SK⁵, pozwalają na sformułowanie nowego (nie spotykanego dotychczas w literaturze) **problemu planowania (analizy i syntezy) SK odpornej na zadany zbiór zakłóceń**. W ogólności problem ten definiowany jest następująco: Dana jest organizacja realizująca projekty (patrz rozdział 2.1, str. 63-64), o znanej strukturze organizacyjnej, dostępnej kadrze (zespół pracowników o znanej SK) oraz realizowanych czynnościach. Znany jest przydział czynności do poszczególnych pracowników oraz zidentyfikowany jest zbiór zakłóceń, które w sposób negatywny⁶ mogą oddziaływać na przebieg ich realizacji. Poszukiwana jest odpowiedź na następujące pytanie: *Czy SK gwarantuje odporność na wybrany zbiór zakłóceń? Ja jeśli nie, to czy istnieje taka jej postać, która gwarantuje zadany poziom odporności na wybrany zbiór zakłóceń?*

W kontekście tak zdefiniowanego problemu przedmiotem prowadzonych badań jest poszukiwanie metody umożliwiającej przeprowadzenie: oceny odporności SK (dalej analizy SK) danego zespołu pracowników jak również syntezy takiej SK, która gwarantuje odporność na zadany zbiór zakłóceń.

Związana z tym problemem hipoteza, wynikająca z wstępnych badań literaturowych (Szwarc, 2018; Szwarc i in., 2018, Szwarc i Bach-Dąbrowska, 2018) zakłada, że: ***wykorzystanie technik obliczeniowych bazujących na paradygmacie programowania deklaratywnego pozwala na syntezę struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń w trybie online.***

Wykorzystanie paradygmatu programowania deklaratywnego pozwala opisywać problemy w postaci zbioru warunków (ograniczeń), jakie musi spełniać końcowe rozwiązanie problemu (np. poszukiwana jest SK, która gwarantuje realizację zadań nawet w sytuacji wystąpienia określonego zakłócenia) (Szwarc i in., 2019c). Ściślej każdy warunek/ograniczenie specyfikuje relacje/zależność pomiędzy podzbiorem obiektów, z których każdy może przyjmować wiele dopuszczalnych wartości.

³ Patrz strona 51

⁴ Patrz strona 68

⁵ Patrz strona 73

⁶ Opóźnić zakończenie projektu

Spośród wielu technik, bazujących na modelowaniu deklaratywnym, wyróżnić należy programowanie z ograniczeniami (ang. constraint programming, dalej CP). Zaletą tej techniki są dwa mechanizmy: propagacji ograniczeń i dystrybucji zmiennych, których wykorzystanie pozwala zawęzić (zmniejszyć) przestrzeń potencjalnych rozwiązań. Zdarza się jednak, że mechanizmy CP mogą być niewystarczające do zagwarantowania uzyskania rozwiązań w trybie online. Taka sytuacja może wystąpić, gdy ograniczenia wynikające bezpośrednio z natury problemu (np. ograniczenia dotyczące limitów godzin pracy, blokowania pracowników na czas realizacji czynności itp.) są zbyt „słabe” tzn. wynikająca z nich redukcja przestrzeni potencjalnych rozwiązań jest niewystarczająca do szybkiego otrzymania rozwiązania. W takiej sytuacji przeszukiwanie przestrzeni potencjalnych rozwiązań sprowadza się do przeglądu zupełnego i tym samym nadal czasochłonnego (wykraczającego poza tryb online) procesu wyznaczania rozwiązania. W szczególnych przypadkach może się okazać, że żmudne poszukiwania skutkują brakiem rozwiązań dopuszczalnych. Aby uniknąć takich sytuacji należy wzmocnić mechanizmy CP, tzn. przeszukiwania przestrzeni potencjalnych rozwiązań, poprzez wprowadzenie dodatkowych ograniczeń w postaci tzw. warunków wystarczających. Ich spełnienie gwarantuje, że rozwiązanie dopuszczalne istnieje. Należy przy tym zauważyć, że użycie warunków wystarczających stwarza możliwość zmniejszenia rozmiaru przestrzeni potencjalnych rozwiązań (przekładającą się na oszczędność czasu poszukiwań) jednak kosztem eliminacji (pominięcia) innych podprzestrzeni rozwiązań dopuszczalnych (gwarantowanych przez spełnienie innych warunków). Niewątpliwą jednak zaletą stosowania takich warunków jest fakt, że decydent mając gwarancję istnienia rozwiązania może zdecydować się na, wymagające stosownego nakładu czasu, poszukiwanie rozwiązań dopuszczalnych.

3.2. Cel pracy

Przedstawiony problem badawczy implikuje główny cel badań, który sprowadza się do opracowania metody wspomagającej planowanie (analizę i syntezę) struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia powodowane absencją pracowniczą i/lub koniecznością realizacji nieprzewidzianych wcześniej czynności. Cel ten wymaga osiągnięcia następujących celów szczegółowych:

- 1) Opracowania referencyjnego modelu (bazującego na paradygmacie programowania deklaratywnego) syntezy SK odpornych na wybrane zakłócenia.
- 2) Opracowania warunków wystarczających gwarantujących istnienie SK odpornych na wybrane zakłócenia.

- 3) Opracowania metody pozwalającej dokonać:
 - analizy odporności SK na wybrane zakłócenia,
 - syntezy SK odpornej na wybrane zakłócenia.
- 4) Empirycznego zweryfikowania działania metody na danych rzeczywistych.

3.3. Metoda badań

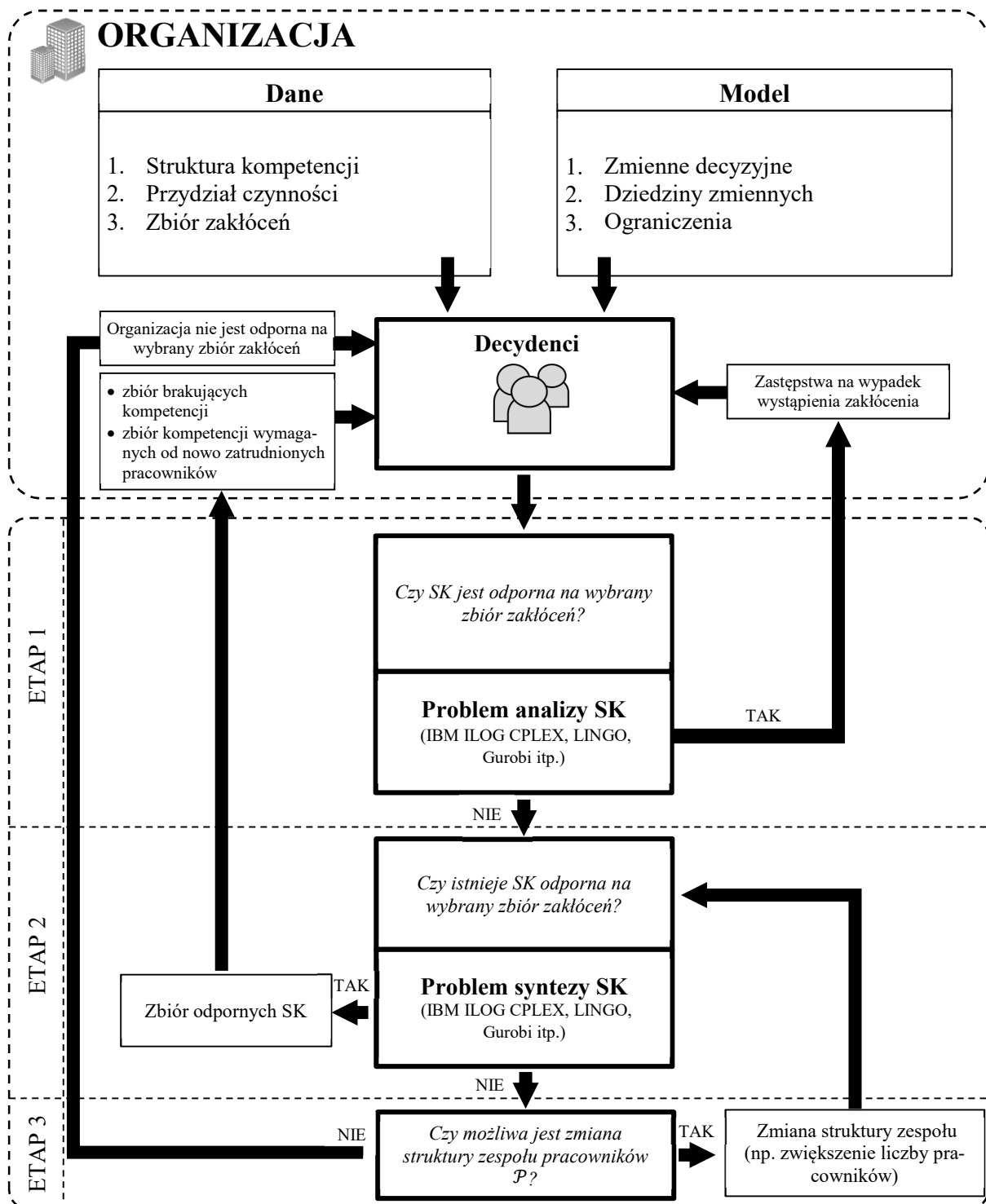
Przyjęta metoda badań obejmuje następujące etapy:

- I. Opracowanie referencyjnego modelu dla problemu planowania SK odpornych na zakłócenia.

Etap polega na opracowaniu referencyjnego modelu dla problemu planowania SK odpornych na różne rodzaje zakłóceń takie jak: absencje pracownicze, utraty kwalifikacji (kompetencji) pracowników, wprowadzanie nowych czynności itp. Obejmuje on zbiór zmiennych decyzyjnych (opisujących SK, zbiór czynności zleconych do realizacji, przydział czynności do pracowników (obsadę)), dziedzinę dyskretnych zmiennych decyzyjnych, a także zbiór ograniczeń (łączyjących zmienne decyzyjne) charakteryzujących wymagania w zakresie SK i realizacji czynności.

- II. Opracowanie metody analizy odporności i syntezy odpornych SK.

Koncepcja opracowanej metody zilustrowana została na Rys. 15. Przyjmuje się, że decydenci posiadają informacje o pracownikach (SK) i realizowanych czynnościach oraz ustalone są ograniczenia opisujące wiążące je relacje. Decydenci mają świadomość możliwości wystąpienia określonego rodzaju zakłóceń. Zaproponowana metoda wspierająca decydentów w podejmowaniu decyzji pozwala w pierwszej kolejności odpowiadać na pytanie dotyczące analizy SK. W przypadku pozytywnej odpowiedzi (gdy SK jest odporna na zakłócenia) zlecone czynności mogą być realizowane bez obawy, że wybrany zbiór zakłóceń uniemożliwi ich realizację. W przypadku negatywnej odpowiedzi (gdy SK nie jest odporna na zakłócenia) decydent ma możliwość wykorzystania opracowanej metody do odpowiedzi na pytanie dotyczące syntezy SK. W tym kontekście akcentowana jest możliwość przeszukiwania dostępnych danych (w tym przypadku dotyczących SK) w celu zagwarantowania istnienia przydziału czynności do pracowników spełniającego określone oczekiwania (np. odporność SK na wybrany zbiór zakłóceń). W przypadku pozytywnej odpowiedzi syntezy SK, decydent otrzymuje zbiór alternatywnych wariantów postaci SK, które gwarantują jej odporność na wybrane rodzaje zakłóceń.



Rys. 15. Koncepcja metody planowania SK odpornych na zakłócenia
(opracowanie własne)

Na podstawie wyznaczonego zbioru dopuszczalnych (alternatywnych) struktur, możliwe jest podjęcie kolejnych decyzji między innymi w zakresie dalszego rozwoju kadry

pracowniczej. W gestii decydenta pozostaje wybór najkorzystniejszego (wg wybranego przez siebie kryterium) wariantu. W przypadku negatywnej odpowiedzi syntezy SK, decydent ma świadomość, że w dla danego zespołu nie jest możliwa budowa SK odpornej na wybrane rodzaje zakłóceń. W związku z tym może rozważyć zmianę (zwiększenie) limitów godzin, zatrudnienie nowych pracowników, poszukiwanie tymczasowych pracowników poprzez outsourcing itp.

III. Opracowanie warunków wystarczających.

Trzeci etap zakłada wyznaczenie warunków wystarczających, spełnienie których gwarantuje istnienie SK odpornej na wybrany zbiór zakłóceń. Badania wstępne wykazują skuteczność dwóch dotychczas opracowanych warunków (Szwarc i in., 2020a). Pierwszy z nich sprowadza się do analizy odporności tzw. pełnej SK (w której każdy pracownik posiada każdą kompetencję) względem jednego rodzaju zakłócenia jakim jest jednostkowa absencja pracownika. Jeśli wynik jest pozytywny to oznacza, że istnieje rozwiązanie dopuszczalne rozwiązywanego problemu (w tym przypadku takim rozwiązaniem jest pełna SK). Istota drugiego warunku sprowadza się do szybkiego (zachłannego) przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Dzięki temu, rozwiązanie rozpatrywanego problemu planowania SK odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń uzyskiwane jest w trybie online.

Oszacowanie efektywności warunków wystarczających realizowane jest poprzez porównanie maksymalnej liczby kroków koniecznych do uzyskania rozwiązania przy uwzględnieniu opracowanych warunków w stosunku do liczby kroków koniecznych do uzyskania rozwiązania przy zastosowaniu przeglądu zupełnego.

IV. Weryfikacja metody.

Ostatni etap badań polega na zaimplementowaniu metody w wybranym środowisku programowania matematycznego (np. IBM ILOG CPLEX, LINGO, Gurobi itp.) oraz empirycznej jej weryfikacji na danych rzeczywistych pochodzących z uczelni wyższej oraz przedsiębiorstwa branży IT. W pierwszej z nich typowym projektem jest realizacja zajęć dydaktycznych, z kolei w drugiej wytwarzane jest unikatowe oprogramowanie na zlecenie klienta. Scenariusze badań obejmują przypadki zakładające:

- pozytywny wynik analizy odporności SK na wybrane rodzaje zakłóceń – w ramach tego scenariusza dokonywana jest obserwacja postępów projektów i weryfikacja odporności SK,

- negatywny wynik analizy odporności SK na wybrane rodzaje zakłóceń – użycie opracowanej metody do syntezy SK odpornych na wybrany zbiór zakłóceń oraz obserwacja postępów projektów i weryfikacja odporności wyznaczonych struktur.

Planowanie SK odpornych na zakłócenia wpisuje się w zakres dyscypliny: nauki o zarządzaniu i jakości (Cyfert i in., 2014), w ramach subdyscyplin takich jak: wspomaganie decyzji menadżerskich i zarządzanie zasobami ludzkimi. Celem tych subdyscyplin jest opracowanie modeli, metod i narzędzi podnoszących efektywność organizacyjną przedsiębiorstw w obszarze zarządzania na poziomie operacyjnym (wspomaganie decyzji menadżerskich) i funkcjonalnym (zarządzanie zasobami ludzkimi). W tym kontekście, rezultaty badań stanowią wkład do nauk o zarządzaniu i jakości, w zakresie teorii planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia, zarządzania kompetencjami, controllingu personalnego, planowania rozwoju kadry, równowagi organizacyjnej itp.

CZĘŚĆ II. WSPOMAGANIE PLANOWANIA STRUKTUR KOMPETENCJI ODPORNYCH NA ZAKŁÓCENIA

Przyjęty w rozdziale 3.2 cel badań związany z opracowaniem metody wspomagającej syntezę SK odpornych na wybrane zakłócenia, wymaga zbudowania modelu referencyjnego dla problemu planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia powodowane absencją pracowniczą i/lub koniecznością realizacji nieprzewidzianych wcześniej czynności. Pojęcie modelu referencyjnego wiąże się z przyjęciem określonych uproszczeń i/lub idealizacji dotyczących modelowanego obiektu (organizacji) oraz zakresu rozwiązywanego problemu. Taki model stanowi punkt odniesienia dla sformułowanego w rozdziale 3 problemu planowania SK odpornych na różne rodzaje zakłóceń takie jak: absencje pracownicze, utraty kwalifikacji (kompetencji) pracowników, wprowadzanie nowych (nieplanowanych) czynności, zmiany kolejności wykonywania czynności itp.

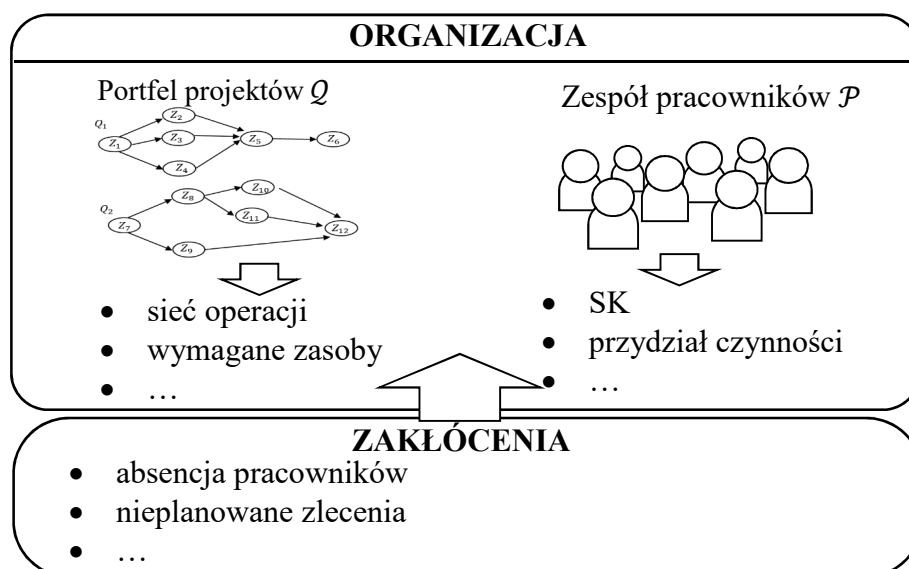
4. Model planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia

Sformułowany w rozdziale 3 problem planowania SK odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń wymaga wprowadzenia swojej formalnej reprezentacji. W pierwszej kolejności wprowadzono formalne definicje stosowanych pojęć takich jak: portfel projektów, zbiór operacji i czynności, zbiór pracowników, struktura kompetencji (SK), przydział czynności itp. W dalszej części rozdziału dokonano przeglądu dostępnych sposobów modelowania rozważanego problemu. W kolejnej części zaprezentowano model referencyjny dla problemu planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia, obejmujący zbiór zmiennych decyzyjnych, dziedziny dyskretnych zmiennych decyzyjnych, a także zbiór ograniczeń. Kończąca rozdział część stanowi sformułowanie problemu jako Problemu Spełniania Ograniczeń (PSO).

4.1. Planowanie struktur kompetencji

Z rozdziałów 1, 2 i 3 wynika, że podejmowany w pracy obszar wspomagania decyzji przy planowaniu SK w organizacji realizującej projekty (dalej zwaną organizacją) koncentruje się wokół zagadnień związanych z rozstrzygnięciem kwestii bilansowania kompetencji posiadanych (możliwości organizacji) z kompetencjami niezbędnymi do realizacji projektów (wymagania związane z realizacją zamówień). Możliwości organizacji i wymagania stawiane przez

zlecane przedsięwzięcia (projekty), mogą być reprezentowane w ramach modelu, na który składają się: portfel projektów realizowanych w organizacji oraz zespół pracowników będących w dyspozycji organizacji charakteryzowany poprzez SK i przydział czynności (Rys. 16).



Rys. 16. Podstawowe elementy struktury modelu planowania SK (opracowanie własne)

Portfel projektów. Dany jest zbiór projektów Q nazywany dalej portfelem projektów. Przyjmuje się, że obejmuje on projekty, które są realizowane na zamówienie klienta lub są przedsięwzięciami własnymi organizacji (związanymi np. z modernizacją, realizacją procesu dydaktycznego, itp.). Przyjmuje się zapis, w którym $Q = \{Q_1, \dots, Q_j, \dots, Q_{lq}\}$ oznacza portfel projektów, Q_j oznacza j -ty projekt, do ukończenia którego wymagane jest wykonanie zbioru operacji $Z_j \subseteq Z = \{Z_1, \dots, Z_i, \dots, Z_n\}$, gdzie Z jest zbiorem operacji Z_i , wykonanie których leży w gestii organizacji. Operacja Z_i definiowana jest następująco:

$$Z_i = (q_i, y_i, l_i, w_i, \varphi_i), \quad (1)$$

gdzie:

- q_i : liczba czynności operacji Z_i (wartość q_i określa liczbę odwołań do operacji Z_i związanych z wykonaniem składających się na nią czynności),
- y_i : sekwencja momentów rozpoczęcia czynności operacji Z_i : $y_i = (y_{i,1}, \dots, y_{i,q_i})$, gdzie: $y_{i,j}$ określa moment rozpoczęcia j -tej czynności operacji Z_i ,
- l_i : czas trwania każdej czynności operacji Z_i ,
- w_i : zbiór operacji, wykonanie których wyklucza wykonanie operacji Z_i , $w_i \subseteq Z$. Przez wykluczanie się operacji Z_i z operacją $Z_a \in w_i$ rozumie się sytuację, w której nie mogą być one wykonywane przez tego samego pracownika,

φ_i : liczba pracowników wymaganych do realizacji każdej czynności operacji Z_i .

Przyjmuje się, że projekt Q_j charakteryzuje sieć operacji w reprezentacji zwanej *operacja-w-węźle*, gdzie operacje Z_i są przyporządkowane węzłom, a ograniczenia kolejnościowe mają postać łuków (Rys. 17).

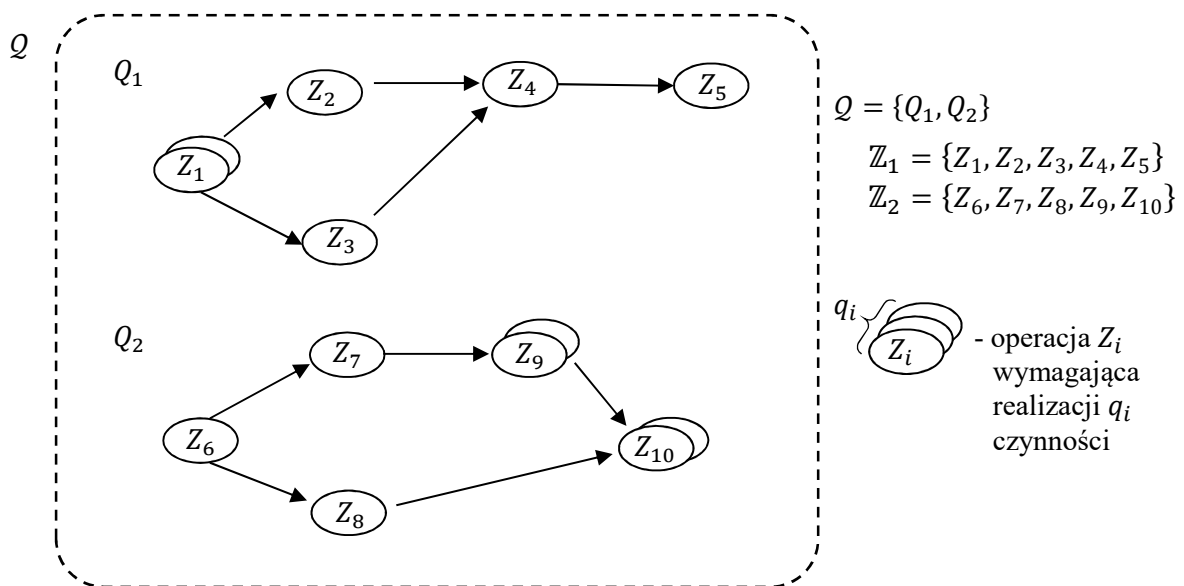
Modelem sieci operacji jest digraf DG_j , w którym dwa węzły są połączone łukiem, gdy odpowiadające im operacje są w relacji kolejnościowej. Oznacza to, że każdy projekt można przedstawić jako $DG_j = (\mathbb{Z}_j, E_j)$, gdzie: \mathbb{Z}_j - zbiór operacji projektu Q_j , $E_j \subseteq \mathbb{Z}_j \times \mathbb{Z}_j$ - zbiór łuków.

Ponadto zakłada się że:

- portfel projektów Q jest zrealizowany (tzn. ukończona ma zostać każda operacja portfela Q) w znanym horyzoncie czasu: $H = \{0, 1, \dots, h\}$,
- operacje są niepodzielne w czasie, tzn. raz rozpoczęta operacja nie może być przerwana do momentu swojego zakończenia.

Przykład 2

Celem ilustracji problemu planowania struktur kompetencji, rozważmy przykład, portfela projektów $Q = \{Q_1, Q_2\}$ z Rys. 17.



Rys. 17. Przykład sieci operacji dla portfela projektów $Q = \{Q_1, Q_2\}$ (opracowanie własne)

Każdy z projektów wymaga realizacji 5 operacji $\mathbb{Z}_1 = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5\}$, $\mathbb{Z}_2 = \{Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}\}$. Liczba czynności q_i dla operacji $Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8$ wynosi 1 a dla operacji Z_1, Z_9, Z_{10} wynosi 2. Dany jest horyzont czasowy $H = \{0, 1, 2, \dots, 16\}$. Znane są momenty rozpoczęcia czynności:

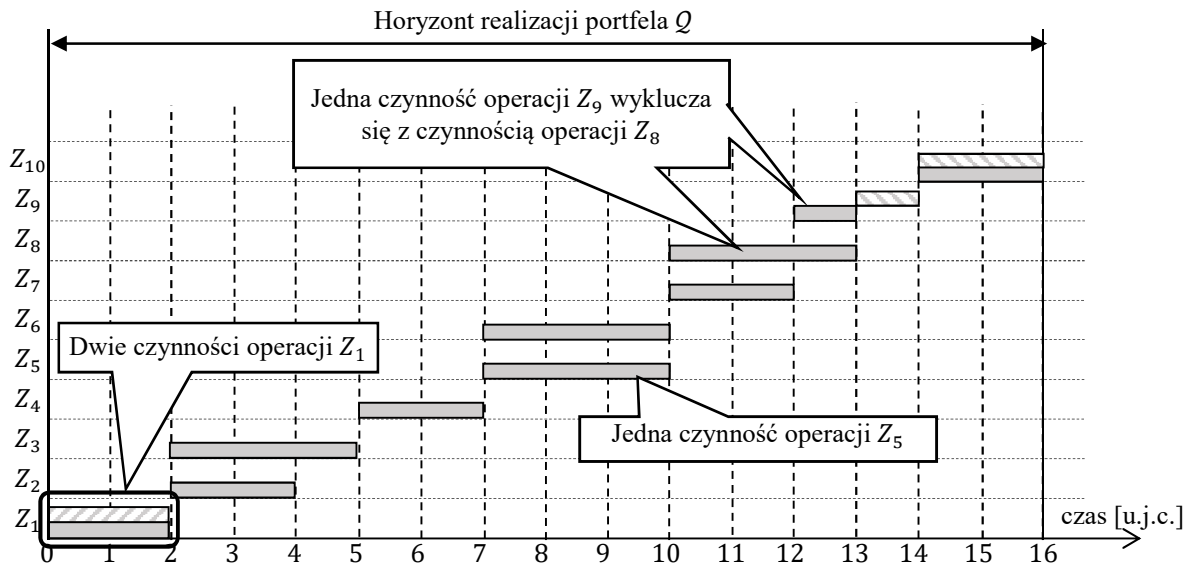
$$y_{1,1} = y_{1,2} = 0, y_{2,1} = 2, y_{3,1} = 2, y_{4,1} = 5, y_{5,1} = 7, y_{6,1} = 7, y_{7,1} = 10, y_{8,1} = 10, y_{9,1} = 12, y_{9,2} = 13, y_{10,1} = y_{10,2} = 14.$$

Znane są czasy trwania czynności operacji Z_i :

$$l_1 = 2, l_2 = 2, l_3 = 3, l_4 = 2, l_5 = 3, l_6 = 3, l_7 = 2, l_8 = 3, l_9 = 1, l_{10} = 2.$$

Do realizacji każdej czynności wymagany jest tylko jeden pracownik: $\varphi_1, \dots, \varphi_{10} = 1$.

Harmonogram realizacji portfela projektów przedstawia Rys. 18. W przyjętym harmonogramie, każdej operacji Z_i przypisano zbiór operacji w_i , z którymi się ona wyklucza: $w_1 = \emptyset$, $w_2 = \{Z_3\}$, $w_3 = \{Z_2\}$, $w_4 = \emptyset$, $w_5 = \{Z_6\}$, $w_6 = \{Z_5\}$, $w_7 = \{Z_8\}$, $w_8 = \{Z_7, Z_9\}$, $w_9 = \{Z_8\}$, $w_{10} = \emptyset$. Wykluczanie operacji jest konsekwencją przyjętego harmonogramu. Przykładowo $w_8 = \{Z_7, Z_9\}$ wynika z tego, że czynność operacji Z_8 jest realizowana w tym samym przedziale czasu co czynności operacji Z_7 i Z_9 . Oznacza to, że czynność operacji w_8 nie może być one wykonywana jednocześnie przez tego samego pracownika co czynności operacji Z_7 i Z_9 .



Rys. 18. Harmonogram realizacji portfela projektów Q (opracowanie własne)

Zespół pracowników. Do wykonania planowanych operacji przewidziany jest zespół pracowników \mathcal{P} zatrudnionych w organizacji. Zbiór $\mathcal{P} = \{P_1, \dots, P_k, \dots, P_m\}$ definiuje zespół pracowników, gdzie każdemu pracownikowi P_k przypisana jest para Γ_k określająca dopuszczalny wymiar czasu pracy w rozważanym horyzoncie czasu H :

$$\Gamma_k = (s_k, z_k), \quad (2)$$

gdzie:

s_k : minimalny wymiar czasu pracy k -tego pracownika ($s_k \in \mathbb{N}$),

z_k : maksymalny wymiar czasu pracy k -ego pracownika ($z_k \in \mathbb{N}$).

Zespołowi pracowników \mathcal{P} odpowiada SK definiowana jako macierz G , której elementy $g_{k,i}$ przyjmują wartość 0 gdy pracownik P_k nie posiada kompetencji do wykonania operacji Z_i , a wartość 1 gdy pracownik P_k posiada kompetencje do wykonania operacji Z_i :

$$G = [g_{k,i}]_{k=1\dots m; i=1\dots n} \quad , \quad (3)$$

gdzie: $g_{k,i} \in \{0,1\}$,

$$g_{k,i} = \begin{cases} 1 & \text{gdy pracownik } P_k \text{ posiada kompetencje do wykonania operacji } Z_i \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases} .$$

Jeżeli pracownik P_k posiada kompetencje do wykonywania operacji Z_i ($g_{k,i} = 1$) to tym samym posiada kompetencje do wykonywania wszystkich czynności na nią składających się. Konsekwencją tego faktu jest przydział X określający sposób alokacji czynności operacji Z do każdego z pracowników zespołu \mathcal{P} w procesie realizacji portfela projektów \mathcal{Q} . Przydział ten jest definiowany jako macierz X , której elementy $x_{k,i}$ przyjmują wartości $\{0,1, \dots, q_i\}$:

$$X = [x_{k,i}]_{k=1\dots m; i=1\dots n} \quad , \quad (4)$$

gdzie: $x_{k,i} \in \{0,1, \dots, q_i\}$ określa liczbę czynności operacji Z_i , wykonywanej w toku jej realizacji przez pracownika P_k . Przykładowo, operacja składająca się z trzech czynności ($q_i = 3$), trwających $l_i = 1$ u.j.c., może być wykonywana przez jednego pracownika ($x_{k,i} = 3$ – czynności operacji są wykonywane sekwencyjnie, a czas trwania operacji wynosi 3 u.j.c.) lub przez 3 pracowników (dla każdego z nich $x_{k,i} = 1$ – czynności operacji realizowane są współbieżnie a operacja trwa 1 u.j.c.).

Przyjmuje się ponadto, że:

- czynności operacji Z mogą realizować tylko kompetentni pracownicy,
- w każdym momencie czasu pracownik P_k może realizować maksymalnie jedną czynność danej operacji,
- wykorzystywane zasoby są niewywłaszczalne, tzn. że pracownik realizujący daną czynność nie może jej przerwać w celu podjęcia innej,
- limity czasu pracy pracowników nie mogą być przekroczone.

Przykład 3

Kontynuując wcześniej podjęty przykład ilustrujący problem planowania SK, w której zespół pracowników $\mathcal{P} = \{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ o zadanej strukturze kompetencji G oraz przydziale X

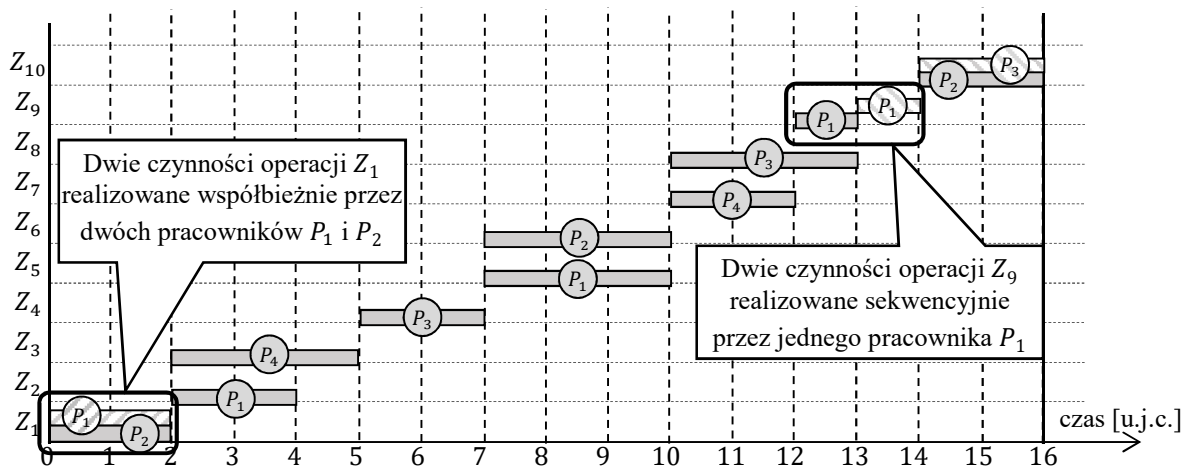
podaje się realizacji przyjętego portfela projektów Q z Rys. 17 przyjmijmy, że wszyscy pracownicy posiadają jednakowy wymiar czasu pracy: $s_k = 5$ (minimalny wymiar czasu pracy), $z_k = 16$ (maksymalny wymiar czasu pracy), czyli: $\Gamma_1 = (5,16)$, $\Gamma_2 = (5,16)$, $\Gamma_3 = (5,16)$, $\Gamma_4 = (5,16)$. SK zespołu pracowników \mathcal{P} przedstawia macierz G :

$$G = \begin{matrix} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & Z_5 & Z_6 & Z_7 & Z_8 & Z_9 & Z_{10} \\ P_1 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ P_2 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_3 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_4 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Odpowiadający tym założeniom przydział X , przedstawia poniższa macierz:

$$X = \begin{matrix} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & Z_5 & Z_6 & Z_7 & Z_8 & Z_9 & Z_{10} \\ P_1 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \\ P_2 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_3 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_4 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Przykładowo $x_{1,1} = 1$ oznacza, że pracownik P_1 wykonuje jedną czynność operacji Z_1 (druga czynność tej operacji jest wykonywana przez pracownika P_2 : $x_{2,1} = 1$). Z kolei $x_{1,9} = 2$ oznacza, że pracownik P_1 wykonuje dwie czynności operacji Z_9 . Graficzną ilustrację przyjętego przydziału X przedstawia diagram z Rys. 19. Linią niebieską oznaczono przypadki realizacji dwóch czynności operacji: współbieżnie przez dwóch pracowników (Z_1) oraz sekwencyjnie przez jednego pracownika (Z_9).



Rys. 19. Przydział czynności portfela projektów Q do zespołu pracowników \mathcal{P}
(opracowanie własne)

Zakłócenia i miara odporności struktury kompetencji. Wyróżnia się dwa rodzaje zakłóceń mogących wystąpić w trakcie realizacji projektów portfela Q przy udziale zespołu pracowników \mathcal{P} :

- limitujące możliwości organizacji (wyrażane przez zmianę SK) absencje pracowników,
- wymuszające zmianę portfela projektów (wyrażane przez zmianę sieci operacji) zlecenia dodatkowych operacji.

Zakłócenie powodowane absencją pracowników charakteryzowane jest przez zbiór ω -elementowych kombinacji zbioru $\{1, \dots, m\}$: $U_\omega = \{\{u_1, \dots, u_i, \dots, u_\omega\} \mid u_i \in \{1, \dots, m\}\}$. U_ω określa więc ω -elementowe warianty nieobecności pracowników. Przykładowo w przypadku absencji 2 pracowników ($\omega = 2$) w zespole $\mathcal{P} = \{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ zbiór U_2 ma postać: $U_2 = \{\{1,2\}, \{1,3\}, \{1,4\}, \{2,3\}, \{2,4\}, \{3,4\}\}$.

Zakłócenie dotyczące zlecenia dodatkowych operacji charakteryzowane jest przez zbiór $Z^\lambda = \{Z_{n+1}, \dots, Z_{n+\lambda}\}$ zawierający λ dodatkowych (nieprzewidzianych w ramach portfela Q) operacji. Przyjmuje się, że dla każdej operacji $Z_i \in Z^\lambda$ znany jest czas jej trwania l_i oraz zakłada się, że może ona wystąpić w dowolnym momencie horyzontu H ($y_i \in H$). Dodatkowa operacja $Z_i \in Z^\lambda$ może dotyczyć jednego z już zaplanowanych projektów jak również nowego projektu, dołączanego do portfela.

Występowanie zakłóceń ww. typu wymusza poszukiwanie takiego przydziału X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień. Oznacza to przykładowo, że w przypadku jednostkowej absencji pracowniczej możliwe powinno być przeniesienie obowiązków z pracownika nieobecnego na innego aktualnie będącego w dyspozycji organizacji. Z kolei, w sytuacji zlecenia dodatkowej operacji powinna istnieć możliwość jej przydzielenia do pracownika będącego aktualnie w dyspozycji organizacji, ale nie wykonującego w czasie jej trwania żadnej innej czynności. Realizacja takiego przydziału X nie zawsze jest jednak możliwa. Dla oceny związanych z tym szans wprowadza się pojęcie odporności struktury kompetencji G na zakłócenia zadane przez U_ω i Z^λ . Miarę odporności struktury kompetencji G na absencję ω pracowników i występowanie λ dodatkowych operacji definiuje funkcja $R(U_\omega, Z^\lambda) = R_\omega^\lambda \in [0,1]$, gdzie:

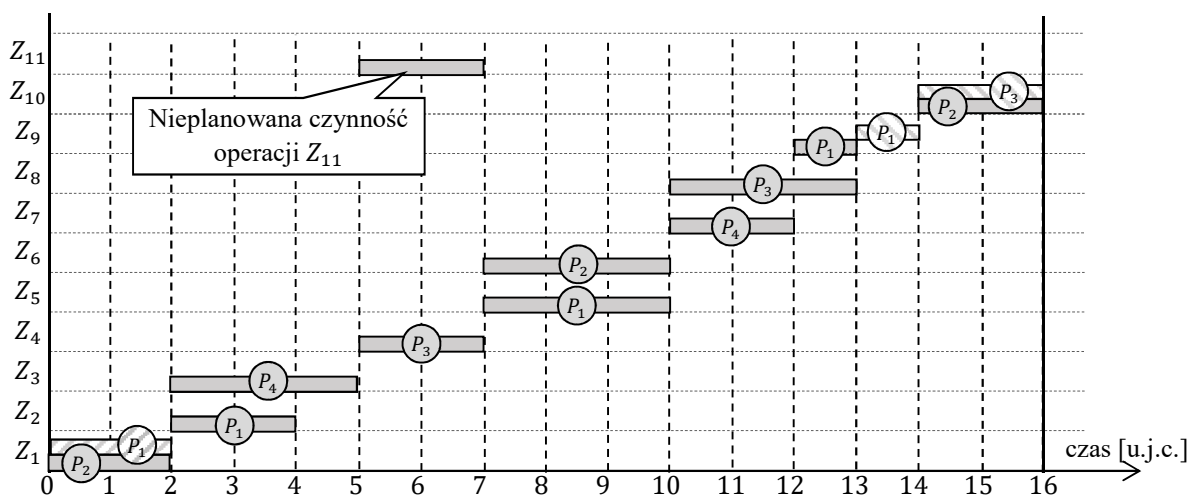
- $R_\omega^\lambda = 0$ – oznacza brak odporności, tzn. dla każdego przypadku absencji (ω -elementowego zespołu pracowników) oraz zlecenia wymuszającego realizację dodatkowych operacji (λ - dodatkowych operacji) nie istnieje przydział X gwarantujący terminową realizację portfela projektów Q ;

- $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ – oznacza pełną odporność, tzn. dla każdego przypadku absencji (ω -elementowego zespołu pracowników) oraz zlecenia dodatkowych operacji (λ - dodatkowych operacji) istnieje przydział X gwarantujący terminową realizację portfela projektów Q .

W ogólności może być ona zdefiniowana na wiele różnych sposobów. W opisywanym modelu przyjmuje się, że wartość funkcji R_{ω}^{λ} wyznaczana jest jako stosunek liczby wariantów wystąpienia zakłócenia, dla których struktura kompetencji jest odporna, do wszystkich możliwych wariantów wystąpienia zakłóceń.

Przykład 4

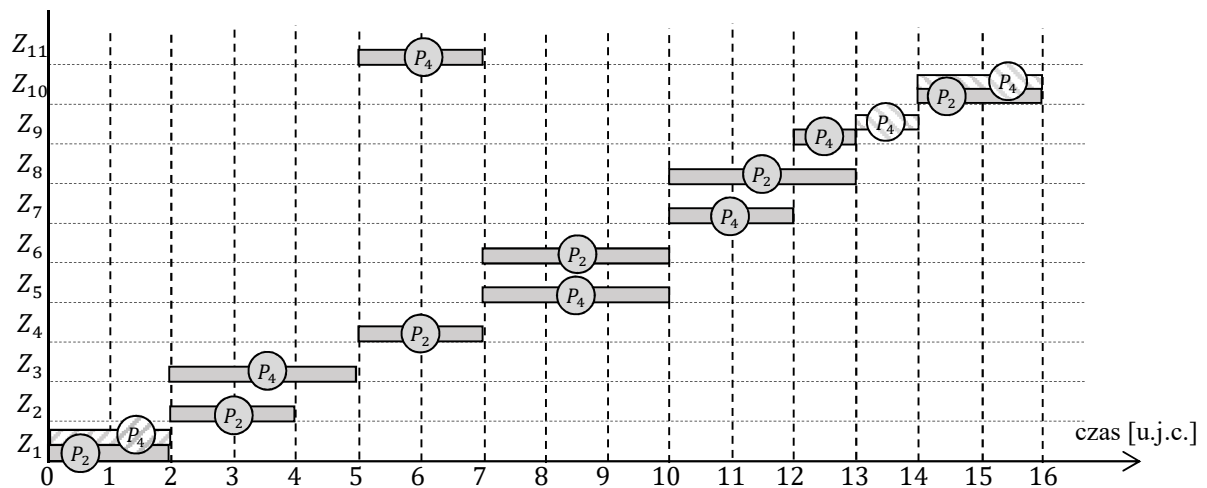
Celem ilustracji możliwości praktycznego wykorzystania wprowadzonej miary oceny odporności SK, przyjmując założenia z wcześniej przedstawionych przykładów, rozważmy sytuację, w której w trakcie realizacji portfela projektów Q (Rys. 17) występuje zakłócenie polegające na absencji dwóch pracowników ($\omega = 2$): $U_2 = \{\{1,2\}, \{1,3\}, \{1,4\}, \{2,3\}, \{2,4\}, \{3,4\}\}$ (pracownicy są nieobecni w trakcie trwania całego projektu) oraz następuje zlecenie jednej dodatkowej (nieprzewidzianej w ramach portfela Q) operacji $Z^1 = \{Z_{11}\}$. Dodatkowa operacja, w rozważanym horyzoncie czasu, jest wykonywana jednorazowo (zawiera jedną czynność: $q_{11} = 1$). Dla uproszczenia przykładu przyjęto, że rozpoczyna się w piątej jednostce czasu ($y_{11,1} = 5$), trwa dwie jednostki czasu ($l_{11} = 2$) (w ogólności zakłada się, że moment rozpoczęcia dodatkowej operacji może przyjmować wartość: $y_i \in H$) i wyklucza się czynnością Z_3 : $w_{11} = \{Z_3\}$ – patrz Rys. 20. Przyjęto, że kompetencje do wykonywania tej operacji posiadają pracownicy P_1 oraz P_4 .



Rys. 20. Harmonogram realizacji portfela projektów Q uwzględniający występowanie nieplanowanej czynności operacji Z_{11} (opracowanie własne)

W rozważanej sytuacji występuje 6 wariantów absencji pracowniczych (patrz U_2):

- a) absencja P_1 i P_2 – nie jest możliwe przeniesienie obowiązku realizacji wszystkich operacji po nieobecnych pracownikach na pozostałych w dyspozycji pracowników (P_3 i P_4), np. kompetencje do operacji Z_1 posiada tylko P_4 , który nie może realizować jednocześnie dwóch czynności tej operacji. W związku z tym, dla tego wariantu zakłócenia nie istnieje przydział X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień.
- b) absencja P_1 i P_3 – jest możliwe przeniesienie obowiązku realizacji wszystkich operacji po nieobecnych pracownikach na pozostałych w dyspozycji (P_2 i P_4), co ilustruje Rys. 21. Ponadto czynność operacji Z_{11} (nieplanowana w portfolio Q) została przydzielona do dostępnego, kompetentnego pracownika P_4 . W związku z tym, dla tego wariantu zakłócenia istnieje przydział X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień.



Rys. 21. Harmonogram realizacji portfela projektów Q w sytuacji absencji P_1 i P_3 oraz nieplanowanej, dodatkowo przydzielonej, czynności operacji Z_{11} (opracowanie własne)

- c) absencja P_1 i P_4 – nie jest możliwe przeniesienie obowiązku realizacji wszystkich operacji po nieobecnych pracownikach na pozostałych w dyspozycji pracowników (P_2 i P_3), np. kompetencje do nieplanowanej operacji Z_{11} posiadają nieobecni w tym wariantcie P_1 i P_4 . W związku z tym, dla tego wariantu zakłócenia nie istnieje przydział X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień.
- d) absencja P_2 i P_3 – nie jest możliwe przeniesienie obowiązku realizacji wszystkich operacji po nieobecnych pracownikach na pozostałych w dyspozycji pracowników (P_1 i P_4) np. kompetencje do operacji Z_{10} posiada P_4 , jednak nie może on realizować jednocześnie

- dwóch czynności tej operacji. W związku z tym, dla tego wariantu zakłócenia nie istnieje przydział X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień.
- e) absencja P_2 i P_4 – nie jest możliwe przeniesienie obowiązku realizacji operacji po nieobecnych pracownikach na pozostałych w dyspozycji pracowników (P_1 i P_3), np. kompetencje do operacji Z_1 posiada P_1 , jednak nie może on realizować jednocześnie dwóch czynności tej operacji. W związku z tym, dla tego wariantu zakłócenia nie istnieje przydział X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień.
- f) absencja P_3 i P_4 – nie jest możliwe przeniesienie obowiązku realizacji wszystkich operacji po nieobecnych pracownikach na pozostałych w dyspozycji pracowników (P_1 i P_2), np. kompetencje do operacji Z_{10} posiada P_2 , jednak nie może on realizować jednocześnie dwóch czynności tej operacji. W związku z tym, dla tego wariantu zakłócenia nie istnieje przydział X , który umożliwi realizację portfela projektów Q bez przerw i/lub opóźnień.

Oznacza to, że tylko 1 z 6 przedstawionych wariantów absencji pozwoli ukończyć projekt w zadanym horyzoncie czasu. Odporność struktury kompetencji na taki rodzaj zakłóceń wynosi: $R_2^1 = \frac{1}{6} = 0.16$. Tak wyznaczona wartość odporności odnosi się do sytuacji, w której znany jest moment rozpoczęcia dodatkowej operacji. W ogólności, gdy moment ten jest nieznan, tzn. $y_i \in H$, otrzymana wartość odporności byłaby znacznie mniejsza. ■

W kontekście przedstawionych przykładów problem planowania SK odpornych na wybrane zakłócenia (określone zbiorami U_ω i Z^λ) sprowadza się, odpowiednio do sekwencyjnie formułowanych i rozwiązywanych problemów analizy i syntezy SK:

1. Problem analizy SK:

Dane są:

- *portfel projektów Q ,*
- *zespół pracowników \mathcal{P} ,*
- *struktura kompetencji G ,*
- *zakłócenia określone zbiorami U_ω i Z^λ .*

Pytanie: Jaką odpornością R_ω^λ na zadane zakłócenia charakteryzuje się struktura kompetencji G , zespołu pracowników \mathcal{P} realizujących portfel projektów Q ?

2. Problem syntezy SK:

Dane są:

- portfel projektów Q ,
- zespół pracowników \mathcal{P} ,
- zakłócenia określone zbiorami U_ω i Z^λ .

Pytanie: Czy istnieje struktura kompetencji G (a jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) zespołu pracowników \mathcal{P} realizujących portfel projektów Q , która gwarantuje zadaną wartość odporności R_ω^λ ($R_\omega^\lambda \geq R^$) na występowanie zadanych zakłóceń?*

Poszukiwanie struktury kompetencji gwarantującej zadaną odporność zwykle związane jest z wyznaczeniem takiej jej postaci, która wymaga najmniejszej liczby zmian względem aktualnej struktury kompetencji zespołu pracowników. Tego typu struktura kompetencji jest nazywana dalej minimalną strukturą kompetencji. Problem syntezy SK traktowany jest dalej jako problem optymalizacyjny, sprowadzający się do wyznaczania tego typu struktur.

Przedstawione problemy nawiązują do zagadnień decyzyjnych (problem analizy) i optymalizacyjnych (problem syntezy) (Banaszak, 2009; Wierzbicki, 2018) związanych z:

1. Oceną odporności R_ω^λ struktury kompetencji G zespołu pracowników \mathcal{P} realizujących zadany portfel projektów Q na zakłócenia powodowane przez U_ω i Z^λ .
2. Wyznaczeniem (minimalnej) struktury kompetencji G zespołu pracowników \mathcal{P} realizujących portfel projektów Q , gwarantującej zadaną odporność R_ω^λ ($R_\omega^\lambda \geq R^*$) na zakłócenia powodowane przez U_ω i Z^λ .

4.2. Metody optymalizacji dyskretnej

4.2.1. Programowanie matematyczne

Rozważane problemy analizy i syntezy SK należą dla klasy optymalizacyjnych/decyzyjnych problemów dyskretnych. Dla problemów tej klasy, opisywanych modelami deterministycznymi o dyskretnych zmiennych decyzyjnych, stosowane są metody numeryczne zaliczane do grupy programowania matematycznego, takie jak: programowanie liniowe całkowitoliczbowe (ang. Integer Linear Programming, w skrócie ILP), mieszane programowanie liniowe całkowitoliczbowe (ang. Mixed-Integer Linear Programming, w skrócie MILP) czy programowanie sieciowe. Ograniczeniami tych metod jest przede wszystkim deterministyczny charakter zmiennych decyzyjnych oraz wysoka złożoność obliczeniowa (Bach, 2008).

4.2.1.1. Programowanie liniowe/nieliniowe

Programowanie liniowe (dalej LP) jest metodą rozwiązywania problemów, które mogą być wyrażone w postaci, spełniającego pewne warunki, zbioru ograniczeń oraz funkcji celu ekstremalizującej zadane kryterium. Ograniczenia te muszą mieć postać układu równań lub nierówności liniowych.

W problemie programowania liniowego dane jest n zmiennych decyzyjnych x_1, x_2, \dots, x_n oraz m ograniczeń przyjmujących postać jednego z poniższych wyrażen:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = b, \quad (5)$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b, \quad (6)$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b, \quad (7)$$

gdzie: $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = \sum_{j=1}^n a_jx_j$.

Poszukiwane są takie wartości zmiennych decyzyjnych (x_1, x_2, \dots, x_n) , które ekstremalizują funkcję celu $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ wyrażoną w postaci:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_jx_j. \quad (8)$$

Powyższy zapis można przekształcić do postaci standardowej (Gnatowski, 2019):

maksymalizuj/minimalizuj

$$\sum_{j=1}^n c_jx_j, \quad (9)$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_j \quad \text{dla: } i = 1, 2, \dots, m, \quad (10)$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{dla: } j = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

gdzie: a_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, b_1, b_2, \dots, b_m i c_1, c_2, \dots, c_n to pewne ustalone liczby rzeczywiste.

Problemy klasy LP są często spotykane w życiu codziennym, przykładowo w zakresie:

- wyboru asortymentu produkcji – jakie wyroby i w jakich ilościach powinno produkować przedsiębiorstwo w celu zmaksymalizowania zysku ze sprzedaży?
- optymalnego doboru składu mieszanin – jakie ilości produktów żywnościowych należy zakupić, aby przy racjonalnym zaspokojeniu potrzeb organizmu obniżyć do minimum koszty wyżywienia?
- itp.

Do rozwiązania problemów tej klasy najczęściej wykorzystywaną metodą jest metoda simpleks, bazująca na algorytmie polegającym na „inteligentnym” przeszukiwaniu poszczególnych punktów wierzchołkowych, tzw. dopuszczalnych rozwiązań bazowych, obszaru rozwiązań dopuszczalnych. Jest to metoda iteracyjna i wymaga, aby punkt startowy był dopuszczalnym rozwiązaniem bazowym. W każdej kolejnej iteracji znajdowane jest kolejne, lepsze dopuszczalne rozwiązanie bazowe poprzez wprowadzenie jednej zmiennej do bazy i wyprowadzenie jednej zmiennej z bazy (Kostrzewska, 2019). Wadą metody simpleks jest wysoka złożoność obliczeniowa. Dla większości problemów spotykanych w praktyce metoda ta pozwala znaleźć rozwiązanie problemów klasy LP w stosunkowo krótkim czasie, dzięki czemu jest zastosowana w większości komercyjnie wykorzystywanych narzędzi optymalizacyjnych (tzw. solverów) takich jak IBM ILOG CPLEX czy Gurobi Optimizer (Józefowska, 2012).

Często zdarza się, że zależności zachodzących między zmiennymi decyzyjnymi nie można wyrazić za pomocą modeli liniowych. W sytuacjach takich wykorzystywane są metody **programowania nieliniowego** (ang. Nonlinear Programming, dalej NLP) wchodzące w zakres programowania matematycznego. W sformułowaniach problemów programowania nieliniowego funkcja celu bądź ograniczenia są funkcjami nieliniowymi (szczególnymi przypadkami NLP są tutaj programowanie ilorazowe i celowe).

Nie istnieje ogólna metoda rozwiązywania problemów klasy NLP. Istniejące metody rozwiązywania tych problemów, takie jak: gradientowe, bezgradientowe, dynamiczne, podziału i ograniczeń itp. (Bożejko i Pempera, 2012) zostały opracowane dla ściśle określonych postaci funkcji (np. kwadratowej). Ponadto niektóre szczególne przypadki problemów klasy NLP można rozwiązać wspomnianą wcześniej metodą simpleks. Jest możliwe wówczas jeżeli istnieje możliwość przekształcenia rozważanego problemu do klasy LP (tzw. programowanie ilorazowe, metoda Charnesa-Coopera).

4.2.1.2. Programowanie liniowe całkowitoliczbowe

Programowanie całkowitoliczbowe (ang. Integer Linear Programming, dalej ILP) to szczególny przypadek programowania liniowego, w którym na zmienne decyzyjne (niektóre lub wszystkie) nałożono dodatkowe ograniczenia wymuszające dziedziny w postaci zbiorów liczb naturalnych. Ze względu na swoją uniwersalność, metody ILP często wykorzystywane są w sytuacjach związanych z brakiem dedykowanych algorytmów rozwiązywania konkretnego problemu (Gnatowski, 2019). Problemy klasy ILP, podobnie jak klasy LP, mogą być rozwią-

zywane za pomocą szeregu pakietów oprogramowania, takich jak CPLEX czy Gurobi Optimizer. Ze względu na co najmniej wykładniczą złożoność obliczeniową większości spotykanych w praktyce problemów, rozmiar rozwiązywalnych instancji jest ograniczony do przypadków o niewielkiej skali.

Niedostatkami modeli programowania matematycznego jest konieczność stosowania ograniczeń liniowych i całkowitoliczbowych. Brakuje możliwości modelowania ograniczeń algebraiczno-logicznych (tzw. predykatów), konstrukcji warunkowych „Jeżeli... To...”, itd. Przykładowo predykatem jest zdanie logiczne „czynność A może zostać przydzielona do pracownika P jeżeli pracownik P nie realizuje czynności T”, itp. Ponadto modele programowania matematycznego posiadają zazwyczaj jednokryterialną funkcję celu. Oznacza to, że dla każdego pytania (funkcji celu) należy zbudować osobny model problemu. Wielu tych wad pozbawione są środowiska deklaratywne, które umożliwiają m.in. modelowanie dowolnych rodzajów ograniczeń w postaci predykatów (Sitek i Wikarek, 2018).

4.2.2. Programowanie deklaratywne

Programowanie deklaratywne jest podejściem do budowania struktury i elementów programów, które wyraża logikę obliczeń bez potrzeby opisu sposobu jej wykonania. W przeciwieństwie do programów formułowanych w reprezentacji imperatywnej, w których podawana jest sekwencja kroków (instrukcji, rozkazów) prowadząca do rozwiązania (tzn. definiująca „co” oraz „jak” ma być zrobione), w reprezentacjach deklaratywnych opisuje się warunki, jakie musi spełniać rozwiązanie (charakteryzujące to co chcemy osiągnąć). Przykładowo, cel jakim jest zrobienie określonej potrawy, w reprezentacji imperatywnej opisuje się:

- idź do kuchni,
- przygotuj naczynia,
- wyjmij produkty z lodówki,
- ...
- połóż potrawę na stole.

Z kolei w reprezentacji deklaratywnej wystarczy wskazać cel (potrzebę):

- chcę obiad.

W literaturze spotyka się stwierdzenia orzekające (Niederliński, 2004), że podejście deklaratywne jest łatwiejsze od imperatywnego, a programy deklaratywne są bardziej intuicyjne i łatwiejsze w opracowaniu lub modyfikacji niż ich imperatywne odpowiedniki. Wydaje się,

że prawdziwość tego stwierdzenia zależy ostatecznie od doświadczenia programisty i umiejętnego opisu trudnych obliczeniowo problemów kombinatorycznych.

Jedną z metodyk programowania deklaratywnego jest **programowanie z ograniczeniami** (ang. Constraint Programming, w skrócie CP). Metodyka ta określana jest jako obszar badań, który można ulokować pomiędzy sztuczną inteligencją, badaniami operacyjnymi oraz językami programowania. Stosowana jest do modelowania, programowania i rozwiązywania problemów, które można opisać przy pomocy zbioru ograniczeń sformułowanych jako zdania logiczne (predykaty). Predykaty odzwierciedlają zależności pomiędzy zmiennymi problemu (Apt i Wallace, 2006; Rossi i in., 2006; Sitek i Wikarek, 2018). CP jest użyteczne między innymi do rozwiązywania zadań alokacji, np. w problemach przydziału grup zajęciowych do nauczycieli, przydziału miejsc parkingowych itp. Sprawdza się również w problemach harmonogramowania zadań np. układania planów zajęć, planowania produkcji, planowanie dyżurów itp., a w szczególności w modelowaniu i rozwiązywaniu problemów analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia.

Środowiska CP wykorzystywane są do rozwiązywania PSO stanowiącego uporządkowana trójkę (Apt i Wallace, 2006; Rossi i in., 2006):

$$PS = ((V, D), C) \quad (12)$$

gdzie:

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ – skończony zbiór dyskretnych zmiennych decyzyjnych,

$D = \{D_i | D_i = \{d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,j}, \dots, d_{i,m}\}, i = 1 \dots n\}$ – zbiór dziedzin zmiennych określających wartości jakie mogą przyjmować elementy zbioru V ,

$C = \{C_i | i = 1 \dots Lc\}$ – zbiór ograniczeń wiążących wartości zmiennych decyzyjnych (C jest pewnym predykatem zdefiniowanym na podzbiorze zbioru V).

Poszukiwane jest rozwiązanie bądź to dopuszczalne, tzn. rozwiązanie odpowiadające tym wartościom, które spełniają wszystkie ograniczenia, bądź też rozwiązanie optymalne ekstremalizujące funkcję celu określoną na wybranym podzbiorze zmiennych decyzyjnych (tzw. optymalizacyjny problem spełnienia ograniczeń OPSO).

Zastosowanie środowisk CP pozwala pomijać strefę algorytmiczną tak zdefiniowanego problemu, a tym samym konieczność stosowania dedykowanych algorytmów rozwiązywania problemów przydziału czynności oraz harmonogramowania. Łatwość modelowania problemów posiadających w swojej naturze ograniczenia oraz efektywne metody poszukiwania rozwiązań, czynią proponowany model referencyjny oraz środowisko CP atrakcyjnym do budowy

metody wspomagającej podejmowanie decyzji w zakresie analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia (Bach, 2008).

Główną zaletą CP są mechanizmy propagacji ograniczeń i dystrybucji zmiennych (strategie selekcji rozwiązań dopuszczalnych), które pozwalają zmniejszyć przestrzeń potencjalnych rozwiązań. Propagacja ograniczeń polega na analizie ograniczeń występujących w modelu matematycznym problemu. W efekcie, z dziedzin poszczególnych zmiennych decyzyjnych odrzucane są te wartości, które nie spełniają co najmniej jednego z ograniczeń. W niektórych przypadkach, zależnych od wykorzystywanego narzędzia, propagacja jest częściowa, tzn. odrzucane są tylko skrajne wartości. W przypadkach tego typu, o skuteczności metod CP, decyduje przyjęta strategia podstawiania. Usunięcie z dziedzin zmiennych wartości nie spełniających ograniczeń rzadko prowadzi do wyznaczenia rozwiązania. W sytuacji gdy propagacja ograniczeń jest niewystarczająca, to znaczy w wyniku procesu usuwania elementów dziedzin istnieją nadal wieloelementowe dziedziny, to w kolejnym kroku realizowany jest proces dystrybucji zmiennych polegający na nadawaniu kolejnym zmiennym decyzyjnym wartości z ich dziedzin (Bach, 2008; Niederliński, 2014).

Większa liczba ograniczeń wpływa na zwiększenie efektywności poszukiwania rozwiązania. W szczególnych przypadkach dobór odpowiednich (nadmiarowych) ograniczeń umożliwia rozwiązanie problemów NP-trudnych w trybie online. Budowa tego typu ograniczeń (warunków) staje się więc głównym wyzwaniem przy wykorzystywaniu tego typu technik (Sitek i Wikarek, 2018). W tym kontekście rozważany model powinien być uzupełniony o warunki, których spełnienie gwarantować będzie istnienie niepustej przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych, której przeszukiwanie będzie możliwe w trybie online. Charakterystyka tego rodzaju warunków jest przedmiotem kolejnego rozdziału.

4.3. Model referencyjny

Ze względu na dyskretny charakter stosowanych zmiennych decyzyjnych (struktura kompetencji G , przydział X , itd.) oraz nieliniowy charakter relacji zachodzących między nimi (relacje związane m.in. z przyjętymi założeniami wykluczania i niepodzielności operacji, niewyłączalności zasobów, itp.), przyjęto że do formalnego opisu rozważanych problemów analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia wykorzystany zostanie paradygmat modelowania deklaratywnego. W tym celu wprowadza się następujący model referencyjny:

Zbiory:

Z : zbiór operacji realizowanych w ramach portfela projektów Q : $Z = \{Z_1, \dots, Z_n\}$,

- Z^λ : zbiór operacji dodatkowych: $Z^\lambda = \{Z_{n+1}, \dots, Z_{n+\lambda}\}$ (zakłócenie portfela projektów),
- \mathcal{P} : zbiór pracowników, $\mathcal{P} = \{P_1, \dots, P_m\}$,
- U_ω : zbiór ω -elementowych wariantów absencji pracowników: $U_\omega = \{\{u_1, \dots, u_i, \dots, u_\omega\} \mid u_i \in \{1, \dots, m\}\}$,
- LP_ω : podzbiór zbioru U_ω ($LP_\omega \subseteq U_\omega$) określający przypadki absencji, dla których struktura kompetencji jest odporna na absencję ω pracowników i zlecenie λ dodatkowych czynności.
- Θ : pojedynczy wariant absencji ω pracowników, $\Theta \in U_\omega$.

Parametry:

- n : liczba operacji realizowanych w portfelu projektów Q ($n \in \mathbb{N}$),
- q_i : liczba czynności operacji Z_i ,
- m : liczba pracowników zespołu \mathcal{P} ($m \in \mathbb{N}$),
- ω : liczba nieobecnych pracowników zespołu \mathcal{P} ($\omega \in \mathbb{N}$), $\omega < m$,
- λ : liczba operacji dodatkowych ($\lambda \in \mathbb{N}$), określony w zbiorze Z^λ ,
- l_i : czas trwania czynności operacji Z_i ,
- y_i : moment rozpoczęcia czynności operacji Z_i ,
- φ_i : liczba pracowników wymaganych do realizacji operacji Z_i ,
- s_k : minimalny wymiar czasu pracy k -tego pracownika ($s_k \in \mathbb{N}$),
- z_k : maksymalny wymiar czasu pracy k -ego pracownika ($z_k \in \mathbb{N}$),
- w_i : zbiór operacji, z którymi wyklucza się operacja Z_i , $w_i \subseteq Z$,
- R^* : oczekiwana odporność struktury kompetencji, $R^* \in [0,1]$.

Zmienne decyzyjne:

G : struktura kompetencji zadana macierzą $G = [g_{k,i}]_{k=1\dots m; i=1\dots n+\lambda}$, gdzie: $g_{k,i} \in \{0,1\}$:

$$g_{k,i} = \begin{cases} 1 & \text{gdy pracownik } P_k \text{ posiada kompetencje do wykonania operacji } Z_i \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases},$$

R_ω^λ : miara odporności struktury kompetencji G na zakłócenia określone przez U_ω i Z^λ .

G^Θ : struktura kompetencji uwzględniająca absencje pracowników określonych w zbiorze Θ :

$G^\Theta = [g_{k,i}^\Theta]_{k=1\dots m; i=1\dots n+\lambda}$, gdzie: $g_{k,i}^\Theta \in \{0,1\}$,

$$g_{k,i}^\Theta = \begin{cases} 1 & \text{gdy } k \notin \Theta \text{ i } P_k \text{ posiada kompetencje do wykonania operacji } Z_i \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases},$$

- X : przydział czynności operacji Z portfela Q do pracowników zespołu \mathcal{P} ,
 $X = [x_{k,i}]_{k=1\dots m; i=1\dots n+\lambda}$, gdzie: $x_{k,i} \in \{0,1, \dots, q_i\}$ określa liczbę czynności operacji Z_i , która jest wykonywana przez pracownika P_k
- X^θ : przydział w sytuacji absencji pracowników określonych w zbiorze θ :
 $X^\theta = [x_{k,i}^\theta]_{k=1\dots m; i=1\dots n+\lambda}$, gdzie: $x_{k,i}^\theta \in \{0,1, \dots, q_i\}$ określa liczbę czynności operacji Z_i , która jest wykonywana przez pracownika P_k w sytuacji absencji pracowników określonych w zbiorze θ .
- c^θ : zmienna określająca czy istnieje przydział X^θ gwarantujący terminową realizację operacji zbioru $Z \cup Z^\lambda$. Wartość zmiennej $c^\theta \in \{0,1\}$ zależy od cząstkowych zmiennych pomocniczych: $c_{1,i}^\theta, c_{2,k}^\theta, c_{3,k}^\theta$ określających czy spełnione są ograniczenia (13)-(24).

Ograniczenia:

1. Elementy $g_{k,i}^\theta$ macierzy G^θ , które charakteryzują absencję pracowników P_k ($k \in \Theta$) przyjmują wartości 0:

$$g_{k,i}^\theta = \begin{cases} g_{k,i} & \text{gdy } k \notin \Theta \\ 0 & \text{gdy } k \in \Theta \end{cases} \quad (13)$$

2. Czynności operacji Z wykonywane są wyłącznie przez pracowników posiadających odpowiednie kompetencje:

$$x_{k,i}^\theta \leq q_i \cdot g_{k,i}^\theta, \text{ dla } k = 1 \dots m; i = 1 \dots n + \lambda; \forall \theta \in U_\omega. \quad (14)$$

3. W danym momencie pracownik wykonuje co najwyżej jedną czynność:

$$\neg \left((y_{\alpha,a} + l_\alpha \leq y_{\beta,b}) \vee (y_{\beta,b} + l_\beta \leq y_{\alpha,a}) \right) \Rightarrow (x_{k,\alpha}^\theta \cdot x_{k,\beta}^\theta = 0),$$

$$\alpha, \beta = 1 \dots n; k = 1 \dots m; a = 1 \dots q_\alpha; b = 1 \dots q_\beta \forall \theta \in U_\omega \quad (15)$$

4. Operacje Z są wykonywane przez zespoły φ_i kompetentnych pracowników:

$$\left(\sum_{k=1}^m x_{k,i}^\theta = q_i \cdot \varphi_i \right) \Leftrightarrow (c_{1,i}^\theta = 1), \text{ dla } i = 1 \dots n; \forall \theta \in U_\omega, \quad (16)$$

$$\left(\sum_{k=1}^m x_{k,i}^\theta \geq q_i \cdot \varphi_i \right) \Leftrightarrow (c_{1,i}^\theta = 1), \text{ dla } i = n \dots n + \lambda; \forall \theta \in U_\omega, \quad (17)$$

$$\forall \alpha \in H \exists_{k \in \{1 \dots m\}}^{! \varphi_i} (x_{k,i}^\theta = q_i) \wedge \left[\neg \left((\alpha + l_i \leq y_{\beta,b}) \vee (y_{\beta,b} + l_\beta \leq \alpha) \right) \Rightarrow (x_{k,\beta}^\theta = 0) \right],$$

$$\text{dla } \beta = 1 \dots n; i = n \dots n + \lambda; b = 1 \dots q_b; \forall \theta \in U_\omega, \quad (18)$$

gdzie: $\exists^{!a}$ – kwantyfikator egzystencjalny: „istnieje dokładnie a elementów”.

5. Obciążenie k -tego pracownika jest równe lub większe od minimalnego wymiar czasu pracy s_k :

$$\left(\sum_{i=1}^{n+\lambda} x_{k,i}^\theta \cdot l_i \geq s_k \right) \Leftrightarrow (c_{2,k}^\theta = 1), \text{ dla } k = \{1 \dots m\} \setminus \Theta; \forall \theta \in U_\omega. \quad (19)$$

6. Obciążenie k -tego pracownika nie jest większe niż maksimum czasu pracy z_k :

$$\left(\sum_{i=1}^{n+\lambda} x_{k,i}^\theta \cdot l_i \leq z_k\right) \Leftrightarrow (c_{3,k}^\theta = 1), \text{ dla } k = \{1 \dots m\} \setminus \theta; \forall \theta \in U_\omega. \quad (20)$$

7. Realizacja czynności wzajemnie się wykluczających:

$$(Z_b \in w_i) \Rightarrow (x_{k,i}^\theta \cdot x_{k,b}^\theta = 1), \text{ dla } i = 1 \dots n + \lambda, k = 1 \dots m; \forall \theta \in U_\omega. \quad (21)$$

8. Odporność R_ω^λ liczona jest jako stosunek liczby wariantów $|LP_\omega|$, dla których struktura kompetencji jest odporna na absencję ω pracowników i zlecenie λ dodatkowych czynności do wszystkich możliwych wariantów zakłóceń ($|U_\omega|$).

$$R_\omega^\lambda = \frac{|LP_\omega|}{|U_\omega|} \geq R^*, \quad (22)$$

$$LP = \sum_{\theta \in U_\omega} c^\theta, \quad (23)$$

$$c^\theta = \prod_{i=1}^{n+\lambda} c_{1,i}^\theta \prod_{k=1}^m c_{2,k}^\theta \prod_{k=1}^m c_{3,k}^\theta. \quad (24)$$

Proponowany wyżej model obejmuje zatem zbiór zmiennych decyzyjnych (opisujących: SK, miarę jej odporności, przydział czynności do pracowników), dyskretne dziedziny zmiennych decyzyjnych, a także zbiór ograniczeń (relacji łączących zmienne decyzyjne) charakteryzujących wymagania w zakresie SK i realizacji planowanych czynności.

Koncepcje SK zespołu pracowników \mathcal{P} jak i przydziału X , w proponowanym modelu reprezentowane są przy pomocy zmiennych decyzyjnych G , G^θ oraz X^θ . Przydział X^θ w sytuacjach absencji pracowniczych określonych zbiorem θ i zleceń dodatkowych czynności Z^λ , spełniających ograniczenia (13)-(24), jest nazywany dalej przydziałem dopuszczalnym.

Z uwagi na sposób specyfikacji modelu, ograniczający się w zasadzie do określenia: zmiennych decyzyjnych, dziedzin zmiennych oraz ograniczeń narzucanych na podzbiory zmiennych, rozważane problemy analizy i syntezy należą do klasy Problemów Spełnienia Ograniczeń (PSO).

4.4. Problemy analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia

Struktura przyjętego modelu, w sposób naturalny pozwala formułować rozważane problemy analizy i syntezy struktury kompetencji G w kategoriach problemu spełniania ograniczeń (PSO) i tym samym implementować je w środowiskach CP.

Problem analizy SK. Problem analizy sformułowany w kategoriach problemu spełniania ograniczeń przyjmuje postać:

$$PS_A = \left((\mathcal{V}_A, \mathcal{D}_A), \mathcal{C}_A \right), \quad (25)$$

gdzie:

$\mathcal{V}_A = \{X^{\Theta \in U_\omega}, R_\omega^\lambda\}$ – zbiór zmiennych decyzyjnych obejmujący przydziały $X^{\Theta \in U_\omega}$ odpowiadające sytuacji jednoczesnej absencji ω pracowników oraz odporność R_ω^λ zdanej struktury kompetencji G ,

\mathcal{D}_A – skończony zbiór dziedzin zmiennych decyzyjnych $\{X^{\Theta \in U_\omega}, R_\omega^\lambda\}$: $x_{k,i}^\Theta \in \{0,1, \dots, q_i\}$, $R_\omega^\lambda \in [0,1]$,

\mathcal{C}_A – zbiór ograniczeń specyfikujących relacje między strukturą kompetencji G zbiorem zleconych operacji $Z \cup Z^\lambda$ i odpornością R_ω^λ (ograniczenia (13)-(24)).

Rozwiązanie problemu PS_A (25) sprowadza się do wyznaczenia takich wartości (determinowanych przez dziedziny \mathcal{D}_A) zmiennych decyzyjnych X^Θ (przydziału) oraz R_ω^λ (odporności na absencje ω pracowników), dla których spełnione są wszystkie ograniczenia zadane w zbiorze \mathcal{C}_A . Innymi słowy w ramach rozwiązania PS_A dokonywana jest ocena odporności R_ω^λ zadanej struktury kompetencji G na wybrany rodzaj zakłóceń.

Problem syntezy SK. Problem syntezy sformułowany w kategoriach problemu spełniania ograniczeń przyjmuje postać:

$$PS_S = \left((\mathcal{V}_S, \mathcal{D}_S), \mathcal{C}_S \right), \quad (26)$$

gdzie:

$\mathcal{V}_S = \{G, G^{\Theta \in U_\omega}, X^{\Theta \in U_\omega}, R_\omega^\lambda\}$ - zbiór zmiennych decyzyjnych obejmujący: strukturę kompetencji G , podstruktury kompetencji $G^{\Theta \in U_\omega}$ odpowiadające sytuacji jednoczesnej absencji ω pracowników, przydziały $X^{\Theta \in U_\omega}$ oraz odporność R_ω^λ ,

\mathcal{D}_S – skończony zbiór dziedzin zmiennych decyzyjnych $\{G, G^{\Theta \in U_\omega}, X^{\Theta \in U_\omega}, R_\omega^\lambda\}$: $g_{k,i} \in \{0,1\}$, $g_{k,i}^\Theta \in \{0,1\}$, $x_{k,i}^\Theta \in \{0,1, \dots, q_i\}$, $R_\omega^\lambda \in [0,1]$,

\mathcal{C}_S – zbiór ograniczeń specyfikujących relacje między strukturą kompetencji G a zbiorem zleconych operacji $Z \cup Z^\lambda$ i odpornością R_ω^λ (ograniczenia (13)-(24)).

Analogicznie jak w przypadku problemu analizy rozwiązanie problemu PS_S (26) sprowadza się do wyznaczenia takich wartości (determinowanych przez dziedziny \mathcal{D}_S) zmiennych decyzyjnych G (struktury kompetencji zespołu), X^Θ (przydziału) oraz R_ω^λ (odporności na absencje ω pracowników), dla których spełnione są wszystkie ograniczenia zadane w zbiorze \mathcal{C}_S (m.in. ograniczenie $R_\omega^\lambda \geq R^*$). Innymi słowy w ramach rozwiązania PS_S też poszukiwana jest taka postać, struktury kompetencji która gwarantuje odporność R_ω^λ w zadanym stopniu R^* .

W ogólnym przypadku, tak zdefiniowany PS_S można rozważać w kategoriach problemów optymalizacyjnych koncentrujących się na wyznaczeniu minimalnej struktury kompetencji G_{OPT} (np. wymagającej najmniejszej liczby zmian wejściowej (początkowej) struktury kompetencji). Rozszerzenie PSO na problem optymalizacyjny (Constrained Optimization Problem) (Sitek i Wikarek, 2016) przedstawia formuła:

$$CO_S = \left((\mathcal{V}_S, \mathcal{D}_S), \mathcal{C}_S, F_S \right), \quad (27)$$

gdzie: $\mathcal{V}_S, \mathcal{D}_S, \mathcal{C}_S$ definiowane jak w (26), F_S – funkcja celu:

$$F_S(G) = \sum_{k=1}^{i=1\dots n+\lambda} g_{k,i} \quad (28)$$

Rozwiązanie problemu CO_S (27) sprowadza się do wyznaczenia takich wartości zmiennych decyzyjnych G_{OPT} , dla których spełnione są wszystkie ograniczenia zadane w zbiorze \mathcal{C} a funkcja F_S osiąga wartość minimalną (wymuszającą minimalną liczbę zmian w początkowej strukturze kompetencji G - inaczej mówiąc, zwracającą minimalną strukturę kompetencji). W ogólności problem spełniania ograniczeń CO_S (27) umożliwia syntezę minimalnych SK odpornych na jednoczesne absencje ω pracowników i wystąpienie λ dodatkowych czynności.

Przyjęcie tak sformułowanych problemów analizy i syntezy PS_A (25) i CO_S (27), implementowanych w środowiskach CP, umożliwia budowę metody wspierającej planowanie struktur kompetencji w zakresie poszukiwania takich ich postaci, które zapewnią ciągłość realizacji zaplanowanego portfela projektów w sytuacjach występowania zadanego zbioru zakłóceń (absencji pracowniczej, niezaplanowanych operacji).

4.5. Wnioski z rozdziału

1. Opracowany model referencyjny dla problemu planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia umożliwia udzielanie odpowiedzi na dwa rodzaje pytań związanych z problemem analizy odporności SK na wybrane rodzaje zakłóceń i problemem syntezy SK odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń.
2. Przyjęty paradygmat modelowania deklaratywnego, w odróżnieniu od aktualnie dostępnych metod programowania matematycznego, umożliwia bezpośrednią komputerową implementację opracowanego modelu i tym samym efektywne rozwiązywanie problemów analizy/syntezy SK.

3. Spośród istniejących technik, bazujących na paradygmacie programowania deklaratywnego i umożliwiających rozwiązywanie tego typu problemów, wybrano techniki programowania z ograniczeniami (CP), których zaletą jest możliwość uwzględniania nieliniowego charakteru problemu (ograniczeń w postaci predykatów).
4. Modele deklaratywne można łatwo modyfikować i rozbudowywać tzn. uwzględniać specyfikę aktualnie rozważanych problemów (danych, ograniczeń i pytań), m.in. poprzez wyznaczenie nadmiarowych ograniczeń (warunków wystarczających) pozwalających na dedykowane (dla danego problemu), a zatem efektywne/szybkie przeszukiwanie przestrzeni potencjalnych rozwiązań.
5. Modele deklaratywne są wspierane/implementowane w istniejących solverach jak np. IBM ILOG CPLEX, LINGO, Mozart, Gurobi, ECLiPS^e itp., i w sposób naturalny znajdują swoje implementacje w systemach klasy DSS (Decision Support System).

5. Metoda planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia

Bazując na opracowanym modelu i wybranym środowisku programowania z ograniczeniami, efektem utylitarnym dysertacji jest narzędzie (samodzielny moduł systemu wspomagania decyzji), które stanowi uzupełnienie istniejących na rynku środowisk IT wspomagających decydentów w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi. Inaczej mówiąc dostępne funkcjonalności wsparcia decyzji w zakresie zarządzania pracownikami rozszerzone zostaną o niespotykane do tej pory funkcjonalności analizy i syntezy SK odpornych na wybrany zbiór zakłóceń. Rozdział zawiera, ukierunkowany na planowanie kompetencji, przegląd stosowanego na rynku oprogramowania zarządzania zasobami ludzkimi. Ponadto zdefiniowano metodę planowania struktur kompetencji (PSK) odpornych na zakłócenia oraz opisano jej komputerową implementację.

5.1. Systemy wspomagania planowania kompetencji zespołów projektowych

Omawiany problem planowania SK odpornych na zakłócenia w sposób oczywisty wpisuje się w zagadnienie zarządzania zasobami ludzkimi. Do zadań decydentów odpowiedzialnych za zasoby ludzkie będących w dyspozycji przedsiębiorstw należy:

- kontrolowanie frekwencji pracownika, obliczanie różnych odliczeń i podatków, generowanie okresowych kontroli płac i sprawozdań podatkowych,
- rozdzielanie obowiązków pracowniczych, harmonogramowanie pracy,
- kierowanie i śledzenie uczestnictwa pracowników w programach oferujących różne świadczenia np. ubezpieczenia, odszkodowania, renty, emerytury,
- planowanie rekrutacji, adaptacji, szkoleń i rozwoju pracowników,
- itp.

Przedsiębiorstwa, aby zmniejszyć nakład pracy wynikający z manualnego przetwarzania danych, wprowadzają systemy informatyczne zarządzania kadrami, które pozwalają zautomatyzować wiele z tych czynności, m.in. umożliwiają:

- prowadzenie rejestracji oraz analizowanie zdarzeń takich jak: absencje, przesunięcia, aktywność pracowników itp.,
- uproszczenie i ograniczenie kosztów prowadzenia ocen pracowniczych,
- śledzenie zmian w zakresie kultury organizacyjnej, wielkości kapitału intelektualnego, poziomu motywacji pracowników itp.,

- identyfikowanie poziomu kompetencji w różnych obszarach funkcjonowania przedsiębiorstw,
- itp.

Do wsparcia zarządzania zasobami ludzkimi (ang. Human Resources Management, w skrócie HRM) dedykowane są systemy dwóch klas: Human Resources Management System (w skrócie HRMS) i/lub Human Resources Information System (w skrócie HRIS). Systemy tych klas wspierają decydentów w szeroko pojętym analizowaniu i planowaniu zasobów ludzkich (Nawaz, 2013). W szczególności obejmują wymagania dotyczące sporządzania listy płac, planowania rekrutacji, analizy kompetencji (np. wykrywania luk kompetencyjnych), monitorowania nieobecności, planowania staży, wykorzystania siły roboczej, planowania szkoleń (np. w zakresie bezpieczeństwa), prowadzenia rejestrów wypadków itp. Widać zatem, że zagadnienie związane z zarządzaniem kompetencjami (np. planowanie SK) jest tylko jednym z wielu obszarów systemów HRMS/HRIS. Funkcje wspierające zarządzanie kompetencjami, są domeną systemów klasy Competence Management Systems (CMS).

Literatura pokazuje, że CMS to wielowymiarowe i kompleksowe narzędzia obejmujące funkcjonalności takie jak ocena kompetencji, analiza luk kompetencyjnych, planowanie awansów itp. (Draganidis i Mentzas, 2006). Inaczej mówiąc, CMS pomagają osobom odpowiedzialnym za zasoby ludzkie kontrolować i rozwijać kompetencje pracowników, wspierając podejmowanie decyzji w procesach identyfikacji potrzeb kompetencyjnych, planowania i wdrażania szkoleń oraz oceniania ich efektów. Wyniki badań (Kupczyk i Stor, 2017) pokazują, że do najważniejszych zadań CMS należy:

- archiwizacja profili kompetencyjnych zatrudnionych pracowników,
- ocena/bilansowanie kompetencji z potrzebami przedsiębiorstwa,
- planowanie kariery zawodowej zatrudnionych pracowników.

Wśród nielicznych rozwiązań systemów klasy CMS opisanych w literaturze przedmiotu wyróżnić można: TENCompetence Personal Competence Manager (Vogten i in., 2008), DeCom (Barbosa i in., 2015), KnoMe (Niemi i Laine, 2016), IMPAKT (Tinelli i in., 2016). W każdym z wymienionych systemów można znaleźć funkcjonalności wspólne, odpowiedzialne za:

- zarządzanie profilami kompetencji, na przykład opis i poziom posiadania,
- wyszukiwanie odpowiednich pracowników do określonych zadań i projektów,
- porównywanie (ocenę) pracowników.

W ogólności, ww. wspólne funkcjonalności systemów CMS dotyczą przechowywania informacji o kompetencjach wymaganych na określonym stanowisku/zadaniu. Tego rodzaju informacje mogą wspierać procesy: doboru odpowiedniego kandydata na stanowisko, rozwoju kompetencji pracownika itp.

Oprócz cech wspólnych, omawiane systemy CMS posiadają również funkcje unikatowe (dla pojedynczych rozwiązań), takie jak:

- okresowy przegląd poziomu kompetencji pracownika,
- śledzenie rozwoju osobistego pracownika,
- zarządzanie projektami w organizacji (dodawanie, edycja, usuwanie, powiązanie z kompetencjami),
- identyfikowanie luk kompetencyjnych (tzn. identyfikowanie kompetencji koniecznych do zdobycia przez zatrudnionych pracowników),
- szkolenia online, które zapewniają dostęp do materiałów edukacyjnych (książek, czasopism internetowych, plików audio, kursów wideo, seminariów internetowych, profesjonalnych porad itp.) oraz testów online,
- przydział personelu do zadań (rozumiany jako przydział czynności do pracowników prezentowany w rozdziale 4), stworzenie zespołu ad hoc,
- długoterminowe planowanie struktury personelu, które pozwala decydentom określić liczbę pracowników i wymagany poziom kompetencji w przyszłości,
- modelowanie zachowań personelu – określenie wpływu różnych czynników zewnętrznych na efektywność pracy. Czynniki mogą być mierzone w różnych skalach jako monotonia, różnorodność zadań, zmęczenie, stres itp.,
- określenie podstawowych kompetencji i asortymentu przez klastry wiedzy (baza wiedzy, wykorzystywana w obszarach CMS).

Zbiorcze zestawienie cech wspólnych wymienionych systemów klasy CMS oraz różnic pomiędzy nimi przedstawia Tabela 8.

Funkcje zarządzania kompetencjami można spotkać nie tylko w dedykowanych systemach klasy CMS. Mowa tutaj o systemach klas HR/HRMS/ERP, w których istnieją moduły/podsystemy wspierają decydentów w zakresie kompetencji pracowniczych. Do takich systemów zaliczyć można: Oracle Taleo (www.softwareadvice.com/hr/taleo-enterprise-edition-profile), moduł „Kompetencje” systemu TelkomBud (www.progppl.com/home/kompetencje), SAGE HR (www.sage.com/pl-pl/produkty/sage-hrcloud), TETA HR/ (<https://teta.unit4.com>),

tomHRM (<https://tomhrm.com>). Dane porównawcze, zebrane ze stron producentów oprogramowania, przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 8. Cechy wspólne oraz różnice CMS (opracowanie własne)

Funkcjonalność	TEN Competence	DeCom	KnoMe	IMPAKT
Gromadzenie informacji o kompetencjach posiadanych przez pracowników	+	+	+	+
Zarządzanie profilami kompetencji	+	+	+	+
Wyszukiwanie odpowiednich pracowników do określonych zadań i projektów	+	+	+	+
Planowanie szkoleń / rozwoju pracownika	+	+	+	+
Identyfikowanie luk kompetencyjnych	+	+	-	-
Poszukiwanie pracowników do zatrudnienia	-	-	+	-
Planowanie nadmiarowej struktury personelu względem potrzeb w przyszłości	-	-	-	-
Planowanie struktur kompetencji odpornych na zakłócenia	-	-	-	-

Tabela 9. Funkcjonalności w systemach klas innych niż CMS (opracowanie własne)

Funkcjonalność	Oracle Taleo	Telkom-Bud („kompetencje”)	SAGE HR	TETA HR	tomHRM
Gromadzenie informacji o kompetencjach posiadanych przez pracowników	+	+	+	+	+
Zarządzanie profilami kompetencji	-	+	-	-	+
Wyszukiwanie odpowiednich pracowników do określonych zadań i projektów	+	-	-	-	+
Planowanie szkoleń / rozwoju pracownika	-	+	+	+	+
Identyfikowanie luk kompetencyjnych	-	+	+	+	+
Poszukiwanie pracowników do zatrudnienia	+	+	+	-	+
Planowanie nadmiarowej struktury personelu względem potrzeb w przyszłości	-	+	-	-	-
Planowanie struktur kompetencji odpornych na zakłócenia	-	-	-	-	-

W każdym z wymienionych systemów klasy CMS, jak również w systemach innych klas (Tabela 9), przy planowaniu kompetencji nie uwzględnia się zakłóceń (np. nieobecność pracowników, zmiany liczby zadań itp.). Pokazuje to jednoznacznie, że przy wykorzystaniu

aktualnych systemów zarządzania kompetencjami nie jest możliwe wsparcie decydentów w zakresie analizy i syntezy struktur kompetencji odpornych na zakłócenia. Próbę uzupełnienia tych niedostatków stanowi autorska metoda opisana w kolejnym podrozdziale.

Wdrożenie (np. w systemach klasy CMS/ERP/HRMS/HRIS) opracowanej metody planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia pozwoli na wczesną identyfikację potrzeb i szybkie wskazywanie alternatywnych decyzji w obszarze zarządzania kompetencjami pracowników. Takie rozwiązanie pozwoli menedżerom podejmować decyzje kadrowe w odpowiedzi na absencję pracowniczą, fluktuacje kadrowe, zmiany legislacyjne, zmiany w zakresie zamówień itp. Umożliwi również opracowanie innych pochodnych metod zarządzania zasobami ludzkimi, takich jak metody wspierania organizacji i planowania pracy zespołowej w sytuacjach, w których dostępni pracownicy muszą zastąpić nieobecnych kolegów.

5.2. Opis metody Planowania Struktur Kompetencji (PSK)

Idea metody Planowania Struktur Kompetencji (PSK) została już pokrótce zaprezentowana w rozdziale 3.3. (Rys. 15). W niniejszym rozdziale rozszerzono jej opis o elementy wprowadzonego modelu – Rys. 22.

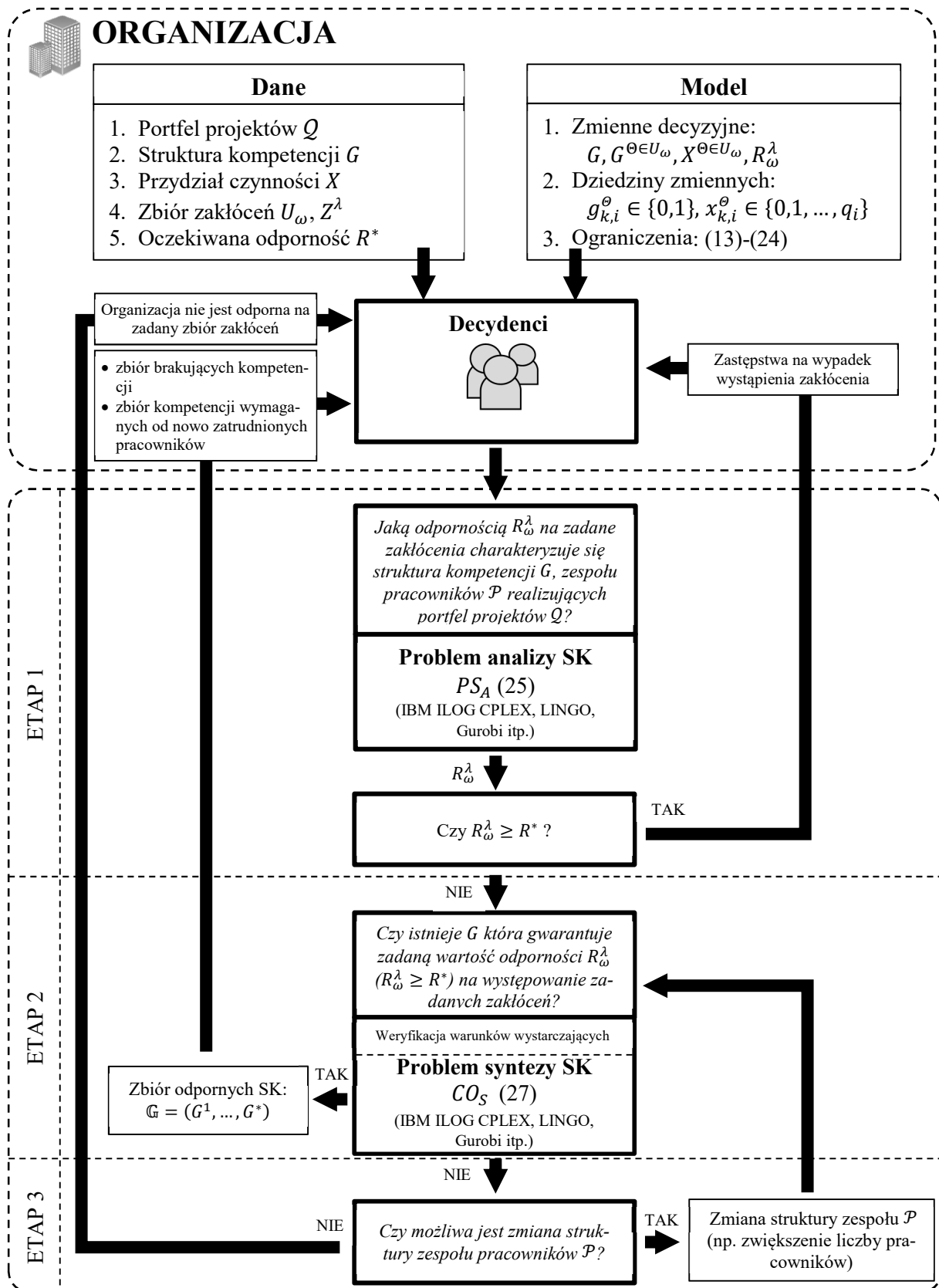
Działanie metody PSK zakłada, że w organizacji dostępne są informacje o pracownikach (dany jest zespół pracowników \mathcal{P} jak i charakteryzująca go struktura kompetencji G) i realizowanym portfelu projektów Q (w tym przydział czynności X) oraz ustalone są ograniczenia opisujące wiążące je relacje (13)-(24). Przyjmuje się, że decydent korzystający z tej metody ma świadomość o możliwości wystąpienia określonego zbioru zakłóceń (absencje pracowników U_ω i/lub zlecenia dodatkowych operacji Z^λ) w trakcie realizacji portfela Q . Wykorzystanie opracowanej metody sprowadza się do realizacji trzech etapów:

1. Oceny odporności R_ω^λ aktualnie zatrudnionej kadry sprowadzająca się do rozwiązania problemu analizy PS_A (25).

Jeśli uzyskany wynik jest pozytywny (tzn. wartość odporności R_ω^λ osiąga co najmniej wartość R^*) decydent otrzymuje informację (przydział X) o tym jak w sytuacji wystąpienia zakłócenia typu U_ω i/lub Z^λ , organizować zastępstwa, tzn. jakie dodatkowe czynności któremu z pracowników należy przydzielić.

Jeśli uzyskany wynik jest niesatysfakcjonujący dla decydenta (tzn. wartość odporności R_ω^λ jest mniejsza niż oczekiwana wartość R^*) ma on możliwość wykorzystania metody PSK

do poszukiwania takich zmian kompetencji G u zatrudnionych pracowników, które będą gwarantowały oczekiwaną wartość odporności (patrz etap 2).



Rys. 22. Metoda PSK (opracowanie własne)

2. Syntezy minimalnej struktury kompetencji (problem CO_S (27)), gwarantującej osiągnięcie odporności R_ω^λ na oczekiwanym poziomie $R_\omega^\lambda \geq R^*$.

W przypadku pozytywnej odpowiedzi decydent otrzymuje zbiór alternatywnych postaci SK (G), na podstawie którego ma możliwość podjęcia decyzji o ewentualnym dalszym rozwoju zatrudnionych pracowników. Odpowiednio wczesne uzupełnienie brakujących kompetencji (przeprowadzenie szkoleń, zdobycie uprawnień itp.) pozwala na terminową realizację portfela Q .

W przypadku odpowiedzi negatywnej, decydent uzyskuje informację, że dany zespół pracowników, nie jest w stanie rozwinąć posiadanych kompetencji do takiej postaci aby zagwarantować realizację portfela projektów w sytuacji wystąpienia rozważanego rodzaju zakłóceń. Oznacza to, że decydent ma możliwość podjęcia decyzji (etap 3) o zmianie struktury zespołu pracowników (np. w trybie zatrudnienia i/lub outsourcingu nowych pracowników).

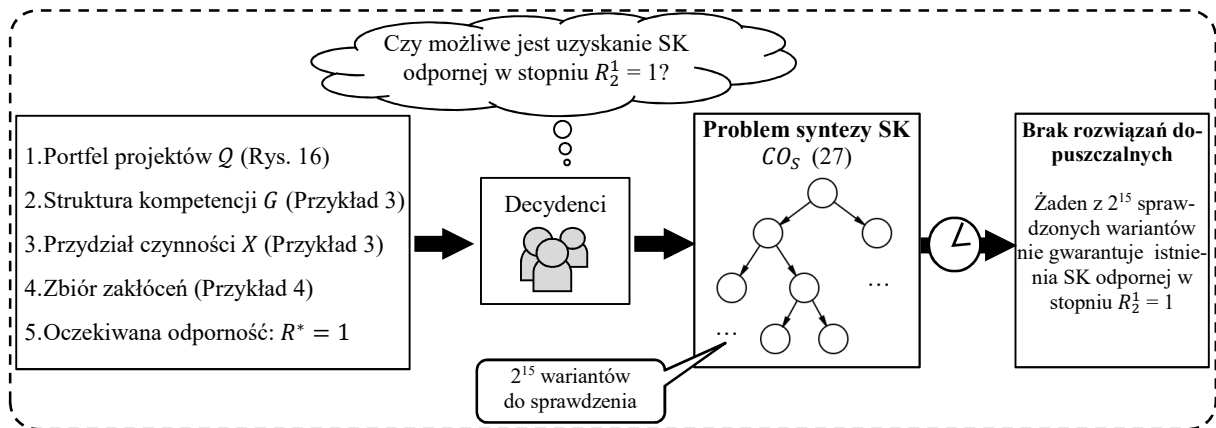
3. Zmiany struktury zespołu pracowników \mathcal{P} . Synteza nowej struktury kompetencji (problem CO_S (27)) zespołu, uwzględniająca predyspozycje nowo zatrudnionych pracowników, umożliwia określenie niezbędnych kompetencji jakimi powinni się legitymować kandydaci do pracy. Wynikiem realizacji tego etapu jest zbiór kompetencji oczekiwanych od nowo zatrudnionych pracowników, który pozwala uzyskać odporność R_ω^λ na oczekiwanym poziomie $R_\omega^\lambda \geq R^*$.

5.3. Warunki wystarczające istnienia odpornych struktur kompetencji

Jak już wspomniano w rozdziale 3.1, rozmiary spotykanych w praktyce instancji problemów analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia, zakładających dziesiątki/setki pracowników oraz setki czynności, mogą powodować, że ich rozwiązanie może wymagać znacznej ilości czasu (kilku godzin/dni/tygodni). Ponadto charakter rozwiązywanego problemu nie daje gwarancji istnienia jakiegokolwiek rozwiązania dopuszczalnego tzn. spełniającego stawiane wymagania (m.in. $R_\omega^\lambda \geq R^*$ - odporność otrzymanej struktury jest co najmniej równa R^*). Decydenci natomiast oczekują szybkiej odpowiedzi na proste pytanie: czy istnieje jakiegokolwiek rozwiązanie dopuszczalne?, a dopiero w następnej kolejności odpowiedzi na pytanie: czy otrzymane rozwiązanie jest optymalne (struktura jest minimalna)? W pracy przyjęto, że dąży się do uzyskania odpowiedzi w trybie online (patrz str. 28) tzn. czas oczekiwania na rozwiązanie nie może być dłuższy niż 20 minut). Środowiska programowania z ograniczeniami (rozdział 4.3),

mimo swoich niewątpliwych zalet, nie zawsze to gwarantują. W związku z tym konieczne staje się opracowanie dodatkowych warunków (nadmiarowych ograniczeń), których spełnienie zagwarantuje istnienie rozwiązań problemów analizy i syntezy SK odpornych na zakłócenia.

W przykładzie 4 z rozdziału 4.1, dotyczącym analizy odporności SK w przyjętym portfelu projektów, pokazano, że tylko 1 z 6 przedstawionych wariantów absencji (dowolnych dwóch pracowników) pozwoli ukończyć projekt w zadanym horyzoncie czasu. Odporność struktury kompetencji na taki rodzaj zakłóceń wynosi: $R_2^1 = \frac{1}{6} = 0.16$. W związku z tym, że decydenci mogą oczekiwać odporności o większej wartości np. odporności $R_2^1 = 1$, poszukiwane są takie zmiany w SK, które to zapewnią.



Rys. 23. Proces poszukiwania rozwiązania dopuszczalnego

W skrajnym przypadku synteza takiej struktury sprowadza się do przeglądu zupełnego zbioru \mathcal{G} wszystkich (2^{15}) możliwych wariantów struktur kompetencji (Rys. 23). Jak się okazuje ocena istnienia rozwiązania dopuszczalnego (struktury G gwarantującej zadaną wartość odporności: $R_\omega^\lambda \geq R^*$) jest możliwa bez konieczności czasochłonnego przeszukiwania całego zbioru \mathcal{G} . Wystarczy określić odporność tzw. pełnej struktury kompetencji: $GP = [g_{k,i}]_{k=1\dots m; i=1\dots n+\lambda}$ gdzie: $g_{k,i} = 1$ (macierz wypełniona wartościami 1). Pomimo, że jest to rzadko spotykana w praktyce postać, w której każdy z pracowników posiada wszystkie (niezbędne do realizacji planowanego portfela Q) kompetencje, można ją jednak wykorzystać do określenia maksymalnej odporności osiągalnej w danej organizacji. W tym celu wykorzystuje się własność:

Własność 1. Niech \mathcal{G} oznacza zbiór wszystkich wariantów struktur kompetencji danego zespołu pracowników \mathcal{P} a $R_\omega^\lambda(G)$ określa odporność struktury $G \in \mathcal{G}$. Odporności $R_\omega^\lambda(G)$ struktur zbioru \mathcal{G} są ograniczone wartością odporności struktury pełnej $GP \in \mathcal{G}$:

$$\forall_{G \in \mathcal{G}} (R_\omega^\lambda(G) \leq R_\omega^\lambda(GP)), \quad (29)$$

■

Dowód. Niech $F_S(G) = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n+\lambda} g_{k,i}$ określa liczbę niezerowych kompetencji struktury G . Załóżmy, że istnieje taka struktura $G \in \mathcal{G}$, której odporność $R_\omega^\lambda(G)$ jest większa od odporności struktury pełnej $R_\omega^\lambda(GP)$. Struktura taka charakteryzowałaby się więc większą liczbą niezerowych kompetencji (pracownicy \mathcal{P} posiadaliby więcej umiejętności) niż struktura pełna: $F_S(G) > F_S(GP)$. Nie jest to możliwe (w GP wszystkie elementy $g_{k,i}$ są równe 1 czyli: $F_S(GP) = m \cdot (n + \lambda)$) a zatem nie jest możliwe również by istniała struktura G , której odporność $R_\omega^\lambda(G)$ jest większa od odporności struktury pełnej $R_\omega^\lambda(GP)$.

c.k.d.

Powyzsza własność może być wykorzystana do oceny istnienia rozwiązań dopuszczalnych (struktur G o odporności $R_\omega^\lambda(G) \geq R^*$).

Twierdzenie 1. Dany jest zbiór kompetencji \mathcal{G} , dana jest oczekiwana wartość odporności R^* . Jeżeli odporność $R_\omega^\lambda(GP)$ struktury pełnej $GP \in \mathcal{G}$ jest mniejsza od wartości R^* : $R_\omega^\lambda(GP) < R^*$ to zbiór \mathcal{G} nie zawiera struktur dopuszczalnych (spełniających warunek $R_\omega^\lambda(G) \geq R^*$).

■

Dowód. Dowód wynika bezpośrednio z Własności 1. Zgodnie z tą własnością dla każdej struktury $G \in \mathcal{G}$ spełniony jest warunek $R_\omega^\lambda(G) \leq R_\omega^\lambda(GP)$. Jeśli więc $R_\omega^\lambda(GP) \leq R^*$ to $R_\omega^\lambda(G) \leq R_\omega^\lambda(GP) < R^*$ czyli $\forall_{G \in \mathcal{G}} (R_\omega^\lambda(G) < R^*)$. Oznacza to, że w zbiorze \mathcal{G} nie istnieje struktura dopuszczalna (spełniająca warunek $R_\omega^\lambda(G) \geq R^*$).

c.k.d.

Weryfikacja tak określonego warunku sprowadza się do rozwiązania odpowiedniego problemu analizy PS_A (25) (ocena odporności struktury pełnej GP) – etap 1 proponowanej metody. W efekcie zamiast przeglądu zupełnego wszystkich elementów zbioru \mathcal{G} dokonuje się oceny tylko jednego z nich (GP).

Dla rozważanego przykładu (Rys. 23), odporność struktury pełnej wynosi $R_2^1(GP) = 4/6 = 0.66$. Oznacza to, że nie jest możliwa synteza struktury G zapewniającej odporność $R_2^1(G) = 1$.

Opracowany warunek jest wykorzystywany w proponowanej metodzie jako warunek, spełnienie którego inicjuje rozpoczęcie etapu 2: syntezy struktury G gwarantującej zadaną wartość odporności $R_\omega^\lambda(G) \geq R^*$.

5.4. System planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia

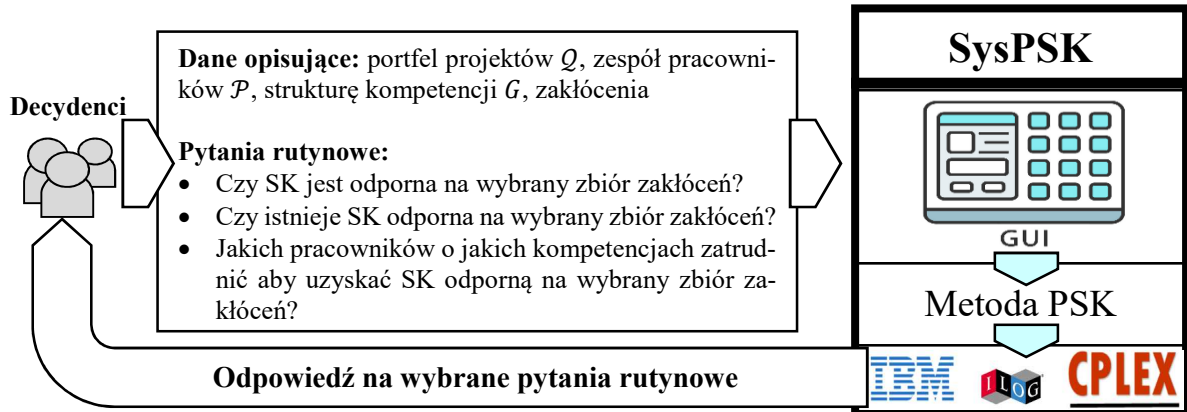
Opisane w rozdziale 5.1 niedostatki systemów HRMS/CMS, wskazują na potrzebę opracowania programów komputerowych (modułów systemów HRMS/CMS), które będą mogły stanowić bazę do nakładek programowych komercyjnie dostępnych środowisk IT wspomagających decydentów w zakresie planowania SK, w szczególności SK odpornych na zakłócenia. W tym kontekście celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie prototypu interakcyjnego systemu planowania struktur kompetencji (SysPSK), systemu wspierającego decydenta w zadaniach alokacji zasobów ludzkich, m.in. w poszukiwaniu odpowiedzi na pytania typu: Czy SK jest odporna na wybrany zbiór zakłóceń? Czy istnieje SK odporna na wybrany zbiór zakłóceń? Jakich pracowników o jakich kompetencjach należy zatrudnić aby uzyskać SK odporną na wybrany zbiór zakłóceń? Itp.

Ze względu na specyfikę rozważanego obiektu (organizacja projektowa) oraz rodzaj rozważanych zakłóceń (absencje pracownicze oraz obsługa nieplanowanych zleceń) zakłada się, że decyzje mają być podejmowane w trybie interakcyjnym. Przez interakcyjność jest tutaj rozumiana zdolność systemu wspomagania decyzji, do przetwarzania danych niezbędnych do udzielania odpowiedzi na zadawane pytania w akceptowalnym przez decydenta czasie (zwykle w trybie online, który w rozprawie przyjęto jako nie dłuższy niż 20 minut).

Podstawową funkcją SysPSK jest udzielanie użytkownikowi odpowiedzi na pytania dotyczące oceny odporności SK (problem analizy) a także poszukiwanie zmian w SK (problem syntezy) gwarantujących odporność na zadane zakłócenia. W ogólności użytkownik może formułować wiele różnych pytań. Oczywiście jest jednak, że budowa tak uniwersalnych systemów nie jest możliwa. Systemy wspomagania decyzji są systemami zorientowanymi zadaniowo (dedykowanymi), czyli budowanymi pod kątem określonych cech, właściwości i parametrów decydujących o specyfice rozważanej klasy obiektów, a przez to dedykowane do obszaru arbitralnie zadanej grupy pytań rutynowych. Istotne jest, aby system gwarantował istnienie odpowiedzi typu TAK lub NIE w trybie online.

Koncepcja działania prototypu systemu została zilustrowana na Rys. 24. Punktem wyjścia jest wprowadzenie (poprzez graficzny interfejs użytkownika, w skrócie GUI, ang. Graphical User Interface) danych dotyczących: portfela projektów Q , posiadanej kadry (\mathcal{P} oraz G) i zakłóceń zachodzących w trakcie realizacji projektów. Dane o portfelu projektów uwzględniają informacje specyfikujące sieci operacji DG_j , przydział operacji do pracowników X , czasy trwania operacji l_i , itp. Dane w zakresie posiadanej kadry obejmują liczbę zatrudnionych pracowników m , strukturę kompetencji G , limity czasu pracy Γ_k , itp. Z racji przyjętych ograniczeń

dopuszczających występowanie dwóch rodzajów zakłóceń (absencji pracowników U_ω i zlecenia dodatkowych operacji Z^λ), wymagane jest również określenie ich kombinacji determinujących zakres poszukiwań, w szczególności do odpowiedzi na pytania rutynowe związane z analizą odporności SK oraz syntezą odpornych SK.



Rys. 24. Koncepcja działania SysPSK (opracowanie własne)

Przyjęto trójpoziomową architekturę systemu obejmującą: interfejs użytkownika, moduł implementujący metodę PSK oraz silnik obliczeniowy wykorzystujący wybrane środowisko programowania deklaratywnego (w rozważanym przypadku środowisko IBM ILOG CPLEX).

Interfejs użytkownika (GUI) umożliwia wprowadzanie danych, modyfikowanie wartości arbitralnie wybranych parametrów instancji problemu. Ponadto służy wyświetlaniu odpowiedzi i rozwiązań dotyczących sformułowanych pytań rutynowych.

Moduł implementujący metodę PSK odpowiada za sformułowanie problemów: PS_A (w przypadku problemu analizy), CO_S (w przypadku problemu syntezy) oraz uruchomienie silnika obliczeniowego.

Silnik obliczeniowy jest zadaniowo zorientowanym zestawem procedur (środowiska IBM ILOG CPLEX) wykorzystywanych podczas wyznaczania rozwiązań rozważanych instancji problemów planowania przydziału operacji (PS_A i CO_S).

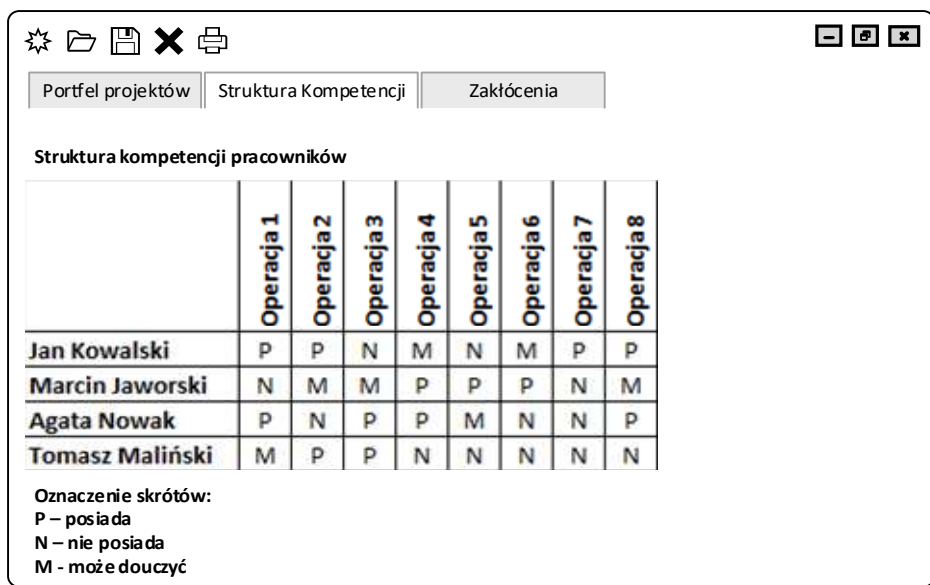
Do systemu SysPSK wprowadzane są specyfikacje:

- nowego portfela projektów: nazwa portfela przedsięwzięć, opis portfela (informacje istotne dla użytkownika), moment rozpoczęcia i zakończenia realizacji portfela (przykładowe okno specyfikacji portfela projektów przedstawiono na Rys. 25)
- nowego projektu: przypisanie projektu do portfela projektów, nazwa projektu, opis projektu, termin rozpoczęcia i zakończenia realizacji projektu,

- nowej operacji: przypisanie operacji do projektu, nazwa operacji, opis operacji, operacje wykluczające (realizowane w tym samym czasie), termin rozpoczęcia realizacji operacji, czas trwania operacji, liczba pracowników wymaganych do realizacji operacji,
- zespołu pracowników: imię i nazwisko pracownika, posiadane kompetencje, limity czasu pracy, kalendarz dostępności pracownika, operacje rezerwujące pracownika (przykładowe okno specyfikacji pracownika umieszczono na Rys. 26, a sposób przedstawienia struktury kompetencji zilustrowano na Rys. 27).

Rys. 25. Przykładowe okno specyfikacji portfela projektów (opracowanie własne)

Rys. 26. Przykładowe okno specyfikacji danych nowego pracownika i określania posiadanych kompetencji (opracowanie własne)



Struktura kompetencji pracowników

	Operacja 1	Operacja 2	Operacja 3	Operacja 4	Operacja 5	Operacja 6	Operacja 7	Operacja 8
Jan Kowalski	P	P	N	M	N	M	P	P
Marcin Jaworski	N	M	M	P	P	P	N	M
Agata Nowak	P	N	P	P	M	N	N	P
Tomasz Maliński	M	P	P	N	N	N	N	N

Oznaczenie skrótów:
P – posiada
N – nie posiada
M - może nauczyć

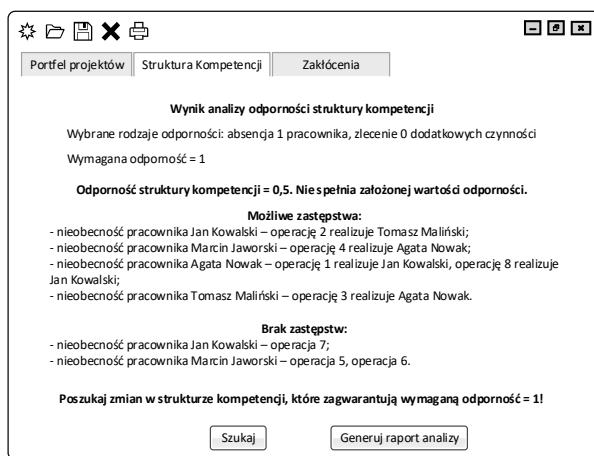
Rys. 27. Przykładowy widok struktury kompetencji (opracowanie własne)

SysPSK udostępnia dwie opcje:

1. Analiza odporności SK.

Użytkownik weryfikuje możliwość wykonania przygotowanego przez siebie harmonogramu realizacji portfela projektów Q w sytuacji wystąpienia określonych zakłóceń (np. absencji ω pracowników). Dla zadanej wartości R^* struktury kompetencji G poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy odporność R_ω^λ struktury kompetencji G jest nie mniejsza niż R^* ?

- TAK – odporność R_ω^λ struktury kompetencji jest nie mniejsza niż R^* . Dostępna jest informacja o sposobie organizacji zastępstwa w przypadku absencji (zakłócenie typu U_ω) i/lub sposobie przydziału dodatkowych operacji w przypadku zlecenia obsługi dodatkowych zleceń (zakłócenie typu Z^λ). Przykładową odpowiedź ilustruje Rys. 28.



Wynik analizy odporności struktury kompetencji

Wybrane rodzaje odporności: absencja 1 pracownika, zlecenie 0 dodatkowych czynności
Wymagana odporność = 1

Odporność struktury kompetencji = 0,5. Nie spełnia założonej wartości odporności.

Możliwe zastępstwa:

- nieobecność pracownika Jan Kowalski – operację 2 realizuje Tomasz Maliński;
- nieobecność pracownika Marcin Jaworski – operację 4 realizuje Agata Nowak;
- nieobecność pracownika Agata Nowak – operację 1 realizuje Jan Kowalski, operację 8 realizuje Jan Kowalski;
- nieobecność pracownika Tomasz Maliński – operację 3 realizuje Agata Nowak.

Brak zastępstw:

- nieobecność pracownika Jan Kowalski – operacja 7;
- nieobecność pracownika Marcin Jaworski – operacja 5, operacja 6.

Poszukaj zmian w strukturze kompetencji, które zagwarantują wymaganą odporność = 1!

Szukaj Generuj raport analizy

Rys. 28. Przykładowa odpowiedź dotycząca analizy odporności SK (opracowanie własne)

- NIE – odporność R_{ω}^{λ} struktury kompetencji nie osiąga wartości R^* . Sugerowany jest sposób poszukiwania zmian kompetencji w strukturze G gwarantujących oczekiwaną odporność (opcja 2).

2. Synteza odpornej SK.

Użytkownik poszukuje zmian kompetencji w strukturze G gwarantujących oczekiwaną odporność R^* . Z opcji tej może skorzystać w dwóch przypadkach: gdy uzyskano niesatysfakcjonujący wynik z powyższej opcji 1 (tzn. gdy wartość odporności R_{ω}^{λ} jest mniejsza niż oczekiwana wartość R^*) lub bez wykorzystania opcji 1 gdy chce dokonać syntezy odpornej SK. Użytkownik oczekuje odpowiedzi na pytanie: Czy istnieje struktura kompetencji G o odporności nie mniejszej niż R^* ?

Możliwe są dwie odpowiedzi:

- TAK – istnieje struktura kompetencji G o nie mniejszej odporności niż R^* . Ponadto SysPSK generuje (w formie raportu) zbiór alternatywnych postaci odpornej struktury kompetencji G . Decydent dokonuje wyboru dotyczącego uzupełnienia brakujących kompetencji. Podobnie jak w przypadku opcji 1 dostępna jest informacja o sposobie organizacji zastępstwa nieobecnych pracowników i/lub sposobie przydziału dodatkowych operacji. Przykład takiej odpowiedzi zilustrowano na Rys. 29.

Portfel projektów | Struktura Kompetencji | Zakłócenia

Wynik syntezy struktury kompetencji odpornej na zakłócenia

Wybrane rodzaje odporności: absencja 1 pracownika, zlecenie 0 dodatkowych czynności

Wymagana odporność = 1

Maksymalna odporność struktury kompetencji = 0,75. Nie spełnia założonej wartości odporności.

Aby uzyskać taką odporność konieczne są zmiany kompetencji:

- w zakresie operacji 5 kompetencje powinni zdobyć: Agata Nowak
- w zakresie operacji 6 kompetencje powinni zdobyć: Jan Kowalski

Możliwe zastępstwa po uzupełnieniu kompetencji:

- nieobecność pracownika Jan Kowalski – operację 2 realizuje Tomasz Maliński;
- nieobecność pracownika Marcin Jaworski – operację 4 realizuje Agata Nowak; operację 5 realizacje Agata Nowak; operację 6 realizuje Jan Kowalski;
- nieobecność pracownika Agata Nowak – operację 1 realizuje Jan Kowalski, operację 8 realizuje Jan Kowalski;
- nieobecność pracownika Tomasz Maliński – operację 3 realizuje Agata Nowak.

Brak zastępstw:

- nieobecność pracownika Jan Kowalski – operacja 7.

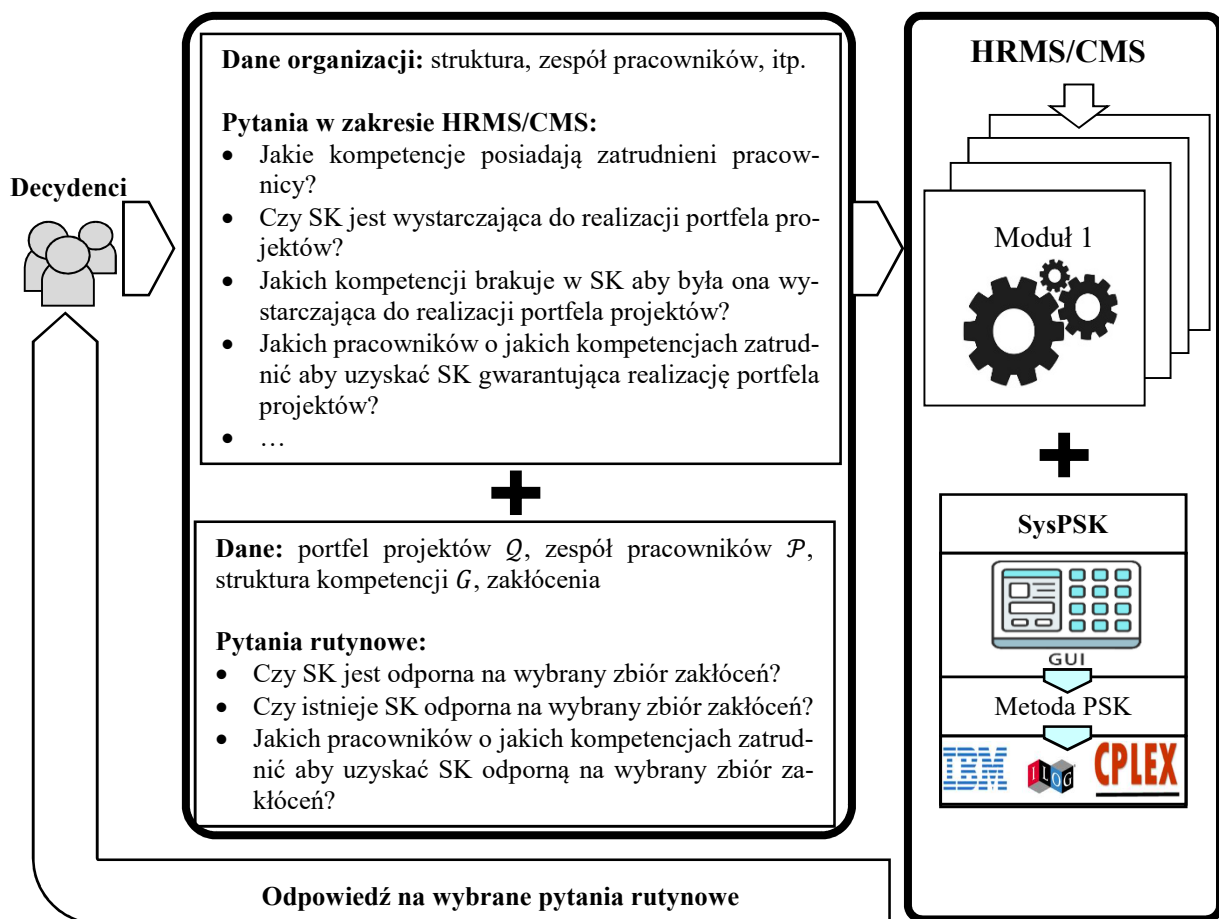
Poszukaj w zakresie jakich kompetencji poszukiwać nowych pracowników, aby zagwarantować wymaganą odporność = 1!

Szukaj | Generuj raport syntezy

Rys. 29. Przykładowa odpowiedź dotycząca syntezy SK odpornej na zakłócenia (opracowanie własne)

- NIE – nie istnieje struktura kompetencji G o odporności co najmniej R^* . W przypadku gdy użytkownik dopuszcza zmiany kadrowe np. zatrudnienie nowych pracowników i/lub na umowę zlecenie, system SysPSK wspomaga decydenta w określeniu niezbędnych kompetencji jakimi powinni się legitymować kandydaci do pracy, aby odporność nowo utworzonej struktury kompetencji G była co najmniej R^* .

SysPSK może stanowić nakładkę programową do istniejących systemów HRMS/CMS (Rys. 30), rozszerzającą ich funkcjonalność w zakresie planowania kompetencji zespołów projektowych w sytuacji pojawiających się zagrożeń związanych absencjami i/lub obsługą dodatkowo wprowadzanych zleceń.



Rys. 30. Sposób wykorzystania SysPSK jako modułu HRMS/CMS (opracowanie własne)

5.5. Wnioski z rozdziału

1. Przeprowadzono przegląd możliwości w zakresie planowania kompetencji zespołów projektowych, w rezultacie którego wykazano brak narzędzi (programów komputerowych, systemów wspomagania decyzji) wspomagających podejmowanie decyzji w zakresie planowania struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń. Niedostatek ten zaspokojono poprzez opracowanie metody PSK bazującej na modelu referencyjnym (przedstawionym w rozdziale 4).
2. W związku z czasochłonnością rozwiązywania problemu analizy odporności SK i syntezy SK odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń, wynikającą z NP-trudniej złożoności rozwiązywanego problemu, i brakiem gwarancji znalezienia rozwiązania dopuszczalnego zaproponowano warunki wystarczające. Ich spełnienie gwarantuje istnienia rozwiązań dopuszczalnych.
3. Zaprezentowano koncepcję implementacji modelu i opracowanej metody (wraz z warunkami wystarczającymi) w ramach interakcyjnego programu komputerowego, który w czasie nie dłuższym niż 20 minut podaje odpowiedzi na szereg pytań typu: Czy posiadany zespół pracowników, o zadanej strukturze kompetencji pozwala realizować określone zadania mimo pojawiających się zakłóceń? Czy istnieje taka struktura kompetencji, która gwarantuje jej odporność na wybrany rodzaj zakłóceń? Jeśli tak to jakich zmian w strukturze należy dokonać? To sprawia, że przygotowany prototyp systemu planowania struktur kompetencji (SysPSK) może stanowić uzupełnienie istniejących systemów wspomagających decydentów w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi.

6. Weryfikacja metody PSK

W celu weryfikacji poprawności działania metody przeprowadzono serię eksperymentów opartych na danych pozyskanych z rzeczywistych organizacji. Celem tych eksperymentów było oszacowanie skali organizacji, dla której możliwe jest wsparcie decyzji w trybie online. Plan eksperymentów zakładał, wykorzystanie danych historycznych pozyskanych z uczelni wyższej, oraz przedsiębiorstwa branży IT, które specjalizuje się w realizacji projektów. Przeprowadzona weryfikacja polegała na próbie syntezy SK, które zapewniłyby odporność na zaistniałe w historii zakłócenia.

6.1. Planowanie struktur kompetencji dla Uczelni

6.1.1. Obiekt badań – uczelnia wyższa

Opracowana metoda została zweryfikowana na rzeczywistych danych zebranych w Politechnice Koszalińskiej, zwanej dalej Uczelnią. W okresie swojego istnienia (52 lata) Uczelnia realizowała wiele ważnych funkcji społecznych, przy czym jej główne dwie role to – kreowanie gospodarki województwa zachodniopomorskiego (region Koszaliński) poprzez działalność naukowo-badawczą oraz przygotowanie absolwentów do udziału na rynku pracy. Osiągnięcie tych celów odbywa się głównie poprzez realizację wielu przedsięwzięć o charakterze projektowym (Pączek i Wyrozębski, 2018). Są to projekty:

- dydaktyczne np. kształcenie studentów na otwartych kierunkach, uruchamianie nowych kierunków itp.,
- naukowo-badawcze (podstawowe, stosowane, rozwojowe),
- infrastrukturalne np. polegające na zapewnieniu odpowiednich warunków do pracy, takich jak sale wykładowe, laboratoria, centra badań,
- promocyjne, które związane są z zachęcaniem kandydatów do podjęcia studiów na Uczelni,
- informatyczne np. wdrażanie systemów informatycznych m.in. platform do prowadzenia zajęć w formie e-learningu, platform typu USOS, a także innych systemów dedykowanych określonym działom administracji Uczelni,
- związane z transferem wiedzy do gospodarki, polegające np. na prezentowaniu wyników badań w ramach konferencji naukowych, w czasopiśmie i monografiach.

Na potrzeby prowadzonych badań wykorzystano dane z dotychczas realizowanych projektów dydaktycznych, w szczególności związanych z corocznym procesem planowania zajęć dydaktycznych wynikających z przyjętych programów kształcenia.

Kształcenie w rozważanej Uczelni odbywa się w ramach studiów stacjonarnych i niestacjonarnych pierwszego stopnia (inżynierskich, licencjackich) i II stopnia (magisterskich) na 24 kierunkach. Największą grupę stanowią kierunki techniczne w łącznej liczbie 13 (m.in. Informatyka, Budownictwo, Inżynieria Biomedyczna, Mechatronika). Ponadto studenci kształcą się na 4 kierunkach humanistycznych (m.in. Pedagogika, Filologia Angielska/Germańska), 5 kierunkach ekonomicznych (m.in. Ekonomia, Finanse i Rachunkowość) i 2 kierunkach artystycznych (Architektura Wnętrz, Wzornictwo). W ramach wszystkich kierunków oferowanych jest ponad 120 specjalności inżynierskich, licencjackich, magisterskich.

Ponadto Uczelnia prowadzi kształcenie w Szkole Doktorskiej. Szkoła umożliwia zdobycie kompetencji i umiejętności w określonych dyscyplinach naukowych i przygotowanie do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Kształcenie doktorantów odbywa się w 3 dyscyplinach: inżynieria mechaniczna; inżynieria lądowa i transport; automatyka, elektronika i elektrotechnika.

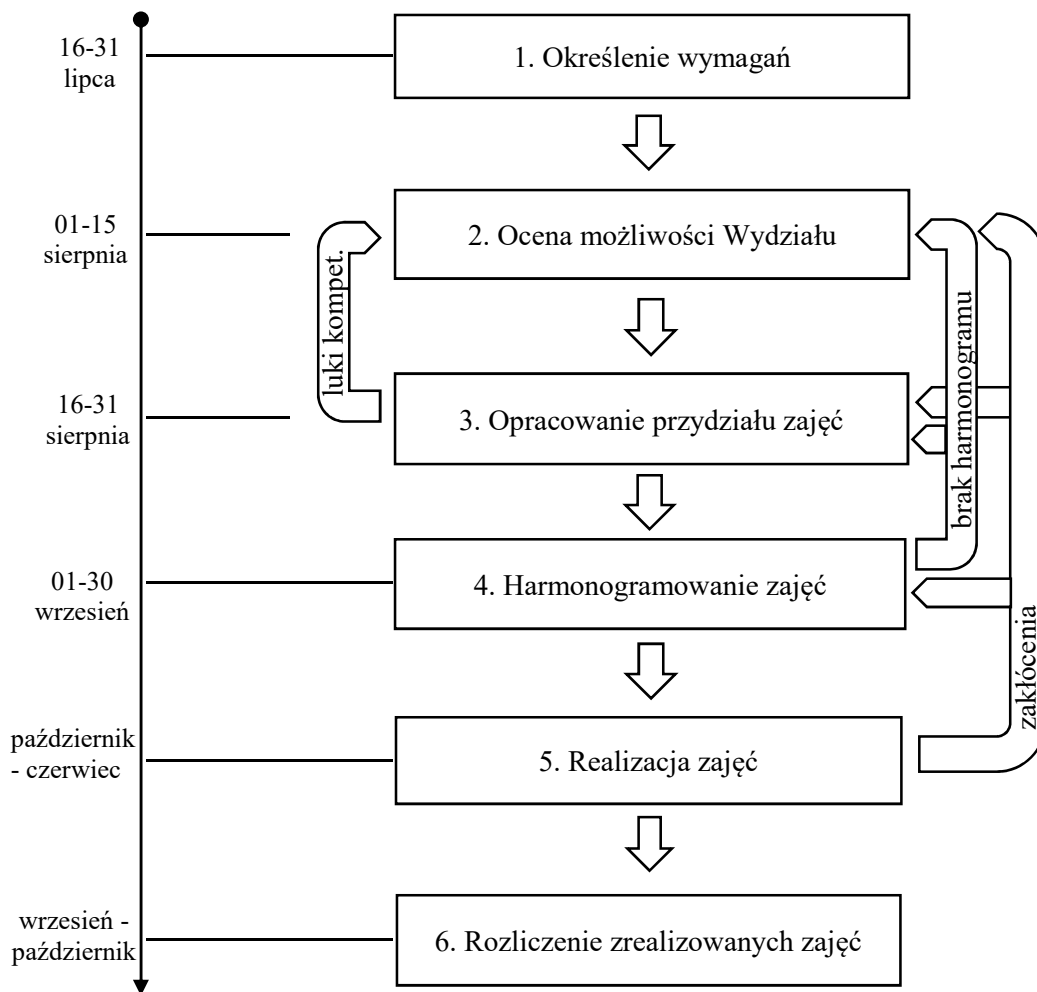
W ogólności kształcenie studentów odbywa się na 6 Wydziałach: Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji; Elektroniki i Informatyki; Mechanicznym; Nauk Ekonomicznych; Humanistycznym; Architektury i Wzornictwa.

Na każdym Wydziale, corocznie realizowany jest projekt związany z realizacją zajęć dydaktycznych określonych kierunków studiów. Dane wykorzystane do realizacji przeprowadzonych eksperymentów pochodzą z Wydziału Elektroniki i Informatyki (w skrócie WEiI), w którym autor pracy jest zatrudniony.

Przyjęty na Wydziale proces organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych składa się z sześciu etapów, których przebieg ilustruje Rys. 31.

1. Określenie wymagań. Pierwszym etapem omawianego procesu jest ustalenie wymagań wynikających z programów kształcenia i liczby studentów przyjętych na dany rok akademicki. Etap realizowany jest po pierwszej turze rekrutacji na studia, tzn. w drugiej połowie lipca. Przedstawione poniżej dane faktograficzne przybliżają stan wymagań w roku akademickim 2019/2020.

Zajęcia dydaktyczne na kierunkach WEiI realizowane są na dwóch poziomach: inżynierskim (pierwszego stopnia) i magisterskim (drugiego stopnia), w dwóch trybach: stacjonarnym i niestacjonarnym. Program kształcenia kierunku Informatyka obejmuje 68 przedmiotów, natomiast na kierunku Elektronika i Telekomunikacja 63 przedmioty.



Rys. 31. Proces organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych obowiązujący na WEiI
(opracowanie własne)

Ponadto w ramach:

- pierwszego stopnia kierunku Informatyka realizowanych jest 5 specjalności (38 przedmiotów),
- drugiego stopnia kierunku Informatyka realizowane są 3 specjalności (22 przedmioty),
- pierwszego stopnia kierunku Elektronika i Telekomunikacja realizowana jest 1 specjalność (9 przedmiotów),
- drugiego stopnia kierunku Elektronika i Telekomunikacja realizowana jest 1 specjalność (7 przedmiotów).

W ramach Szkoły Doktorskiej prowadzone są przedmioty z dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika, w ramach której WEiI realizuje 7 przedmiotów.

Łącznie cały program studiów obydwu kierunków (wraz z programami wszystkich specjalności) oraz zajęć realizowanych w Szkole Doktorskiej, w roku akademickim 2019/2020 wymaga przeprowadzenia 214 zajęć (operacji): $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_{214}\}$ (wykłady, ćwiczenia, laboratoria, projekty, seminaria). Dla każdego z nich określona jest: liczba grup zajęciowych q_i , liczba godzin l_i przypadająca na jedną grupę, wymagane kompetencje względem prowadzącego itp. Dane dotyczące zbioru prowadzonych na WEiI zajęć Z zostały zilustrowane w Tabeli 10 (ze względu na brak z góry określonej sieci operacji, w eksperymentach nie uwzględnia się momentów rozpoczęcia operacji y_i oraz zbiorów wykluczania w_i).

Tabela 10. Zbiór zajęć dydaktycznych Z dla WEiI w roku akademickim 2019/2020
(opracowanie własne)

Z_i	q_i	l_i	φ_i
Z_1 : Historia techniki 1	16	5	1
Z_2 : Historia techniki 2	5	5	1
Z_3 : Inwentyka	12	5	1
Z_4 : Nauki ekonomiczne	9	5	1
Z_5 : Podstawy analizy matematycznej	20	5	1
...
Z_{74} : Programowanie w środowisku .NET	21	5	1
...
Z_{213} : Rozproszone systemy informacyjne	6	5	1
Z_{214} : Metody sztucznej inteligencji	6	5	1

2. Ocena możliwości Wydziału. W trakcie tego etapu (1-15 sierpnia) identyfikowane/uaktualniane są kompetencje oraz dopuszczalny wymiar godzin zatrudnionych pracowników dydaktycznych i badawczo-dydaktycznych. Na tym etapie podejmowane są również decyzje o rozszerzeniu kompetencji bądź o zatrudnieniu dodatkowych pracowników.

W roku akademickim 2019/2020, na WEiI zatrudnionych było łącznie 49 pracowników: 15 pracowników dydaktycznych (pensum 360 godzin); 28 pracowników badawczo-dydaktycznych (pensum 180 lub 240 godzin, w szczególnych przypadkach pensum 120 godzin) oraz 6 pracowników zatrudnionych na umowę zlecenie (480 zleconych godzin). Zgodnie z wprowadzoną notacją zespół pracowników opisany jest zbiorem $\mathcal{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_{49}\}$. Dla każdego z pracowników tego zbioru znane są kompetencje (wykształcenie, dorobek naukowy, wiedza z danego przedmiotu itp.) określające zajęcia jakie może on prowadzić. W Tabeli 11 przedstawiona została struktura kompetencji G zespołu pracowników \mathcal{P} .

Tabela 11. Struktura kompetencji G pracowników WEiI w roku akademickim 2019/2020 (plik "G_bazowa.xlsx" na stronie: <https://github.com/erykszw/WEiI>) (opracowanie własne)

X	Z_1 : Historia techniki 1	Z_2 : Historia techniki 2	Z_3 : Inwentyka	Z_4 : Nauki ekonomiczne	Z_5 : Podstawy analizy matematycznej	Z_6 : Analiza matematyczna i algebra liniowa	...	Z_{35} : Podstawy programowania	Z_{36} : Języki i paradygmaty programowania	...	...	Z_{212} : Wybrane działy fi-zyki	Z_{213} : Rozproszone sys-temy informacyjne	Z_{214} : Metody sztucznej inteligencji
P_1 : Perz	1	1	0	0	0	0	...	0	0	...	...	1	0	0
P_2 : Lejman	0	0	0	0	0	0	...	1	1	...	...	0	0	0
P_3 : Matuszek	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_4 : Rzepka	0	0	0	0	0	0	...	1	1	...	...	0	0	0
P_5 : Dunajski	0	0	0	0	0	0	...	{0,1}	1	...	...	0	0	0
P_6 : Polański	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	{0,1}
...
P_{24} : Schulz	1	1	0	0	0	0	...	0	0	...	...	1	0	0
P_{25} : Olesiński	1	1	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
...
P_{47} : Wingert	0	0	0	1	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_{48} : Tkacz	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_{49} : Klima	0	0	0	0	0	0	...	{0,1}	0	...	...	0	0	0

Została ona sporządzona na podstawie przeprowadzonej (lipiec/sierpień 2019 roku) samooceny kompetencji poszczególnych pracowników (w kontekście możliwości realizacji poszczególnych przedmiotów) i zweryfikowane zostały przez ich przełożonych, kierowników jednostek organizacyjnych WEiI. W tym celu posłużono się, omówioną w rozdziale 1.3, metodą 180 stopni. Kwestionariusze oceny stanowią załączniki A i B. Kończącą ocenę kompetencji pracowników wyznaczono na podstawie arbitralnie przyjętej zasady prezentowanej w załączniku C. W związku z wymaganiami ochrony danych osobowych, przetwarzane dane zostały poddane pseudonimizacji. Wartości komórek Tabeli 11 określają wartości zmiennych $g_{k,i}$ struktury G i oznaczają:

- 1 – pracownik P_k posiada kompetencje do prowadzenia zajęć z przedmiotu Z_i ($g_{k,i} = 1$),
- {0,1} – pracownik P_k nie posiada kompetencji do prowadzenia zajęć z przedmiotu Z_i ale może je zdobyć ($g_{k,i} \in \{0,1\}$),
- 0 – pracownik P_k nie posiada kompetencji do prowadzenia zajęć z przedmiotu Z_i i nie może ich zdobyć ($g_{k,i} = 0$).

Znane są dolne (s_k) i górne (z_k) wymiary godzin zajęć przeznaczonych do realizacji przez poszczególnych pracowników \mathcal{P} (Tabela 12). W większości przypadków dolny limit określony jest przez tzw. ustawowe pensum pracownika akademickiego (np. profesor 180 godzin, adiunkt i profesor uczelni 240 godzin, wykładowca 360 godzin), a górny limit stanowi dwukrotną wartość tego pensum. Przykładowo, P_1 : Perz posiada minimalny wymiar czasu pracy $s_k = 180$ godzin oraz maksymalny $z_k = 360$ godzin, P_2 : Lejman posiada $s_k = 360$ godzin oraz $z_k = 600$ godzin, itd. Przyjmuje się, że wymiary godzin zajęć poszczególnych pracowników nie zmieniają się w czasie.

Tabela 12. Limity czasu pracy pracowników WEiI w roku akademicki 2019/2020
(opracowanie własne)

	s_k	z_k		s_k	z_k		s_k	z_k		s_k	z_k
P_1 : Perz	180	360	P_{14} : Bajer	240	480	P_{27} : Ledwoń	240	500	P_{40} : Firlej	240	480
P_2 : Lejman	360	600	P_{15} : Wasiński	360	600	P_{28} : Kowal	360	600	P_{41} : Tobolski	180	360
P_3 : Matuszek	180	360	P_{16} : Jaros	180	360	P_{29} : Kaniowski	190	480	P_{42} : Rojewska	340	600
P_4 : Rzepka	180	360	P_{17} : Zalewski	360	600	P_{30} : Baczewski	240	480	P_{43} : Kawalec	240	480
P_5 : Dunajski	360	600	P_{18} : Bugajski	180	360	P_{31} : Warchoł	240	480	P_{44} : Miler	20	120
P_6 : Polański	120	240	P_{19} : Knopik	240	480	P_{32} : Ferens	180	400	P_{45} : Korzeń	50	120
P_7 : Pieczara	128	360	P_{20} : Zarzycki	240	480	P_{33} : Mann	345	600	P_{46} : Błaszczak	20	120
P_8 : Zaorski	240	480	P_{21} : Polus	120	240	P_{34} : Marczak	240	480	P_{47} : Wingert	30	120
P_9 : Rek	240	480	P_{22} : Krygier	360	600	P_{35} : Łakoma	180	360	P_{48} : Tkacz	150	300
P_{10} : Zajkowski	360	600	P_{23} : Pakuła	120	240	P_{36} : Ciecierski	240	480	P_{49} : Klima	50	100
P_{11} : Góralski	330	600	P_{24} : Schulz	160	360	P_{37} : Cisowski	240	480			
P_{12} : Szumski	360	600	P_{25} : Olesiński	180	360	P_{38} : Borkowski	240	480			
P_{13} : Ploch	240	480	P_{26} : Świtała	240	480	P_{39} : Banaś	180	360			

3. Opracowanie przydziału zajęć. W trakcie tego etapu (16-31 sierpnia), dokonuje się przydziału zajęć (operacji) \mathcal{Z} do pracowników zbioru \mathcal{P} . Przydział zajęć X realizowany w roku akademickim 2019/2020 ilustruje Tabela 13. Spełnia on następujące wymagania:

- zajęcia Z_i realizują tylko kompetentni pracownicy,
- limity czasu pracy (s_k, z_k) nie mogą być przekroczone.

Inaczej mówiąc, możliwości WEiI są wystarczające do realizacji przedmiotów przewidzianych w ramach stawianych wymagań (w programie kształcenia WEiI).

W przypadku gdy nie jest możliwe wyznaczenie przydziału X spełniającego zadane wymagania znaczy to, że kompetencje pracowników są niewystarczające do realizacji przewidzianych zajęć (tzn. istnieje tzw. luka kompetencyjna), należy wrócić do etapu 2. W etapie 2 podejmowane są decyzje o rozszerzeniu kompetencji (zdobyciu dodatkowej wiedzy przez

określonego pracownika) bądź o zatrudnieniu dodatkowych osób (na etat lub w postaci zleceń dla tzw. pracowników zewnętrznych), którzy swoimi kompetencjami wypełnią zidentyfikowaną lukę.

Tabela 13. Przyjęty przydział zajęć X dla pracowników WEiI w roku 2019/2020 (plik "X_bazowa.xlsx" na stronie: <https://github.com/erykszw/WEiI>) (opracowanie własne)

X	Z_1 : Historia techniki 1	Z_2 : Historia techniki 2	Z_3 : Inwentyka	Z_4 : Nauki ekonomiczne	Z_5 : Podstawy analizy matematycznej	Z_6 : Analiza matematyczna i algebra liniowa	...	Z_{35} : Podstawy programowania	Z_{36} : Języki i paradygmaty programowania	...	...	Z_{212} : Wybrane działy fizyki	Z_{213} : Rozproszone systemy informacyjne	Z_{214} : Metody sztucznej inteligencji
P_1 : Perz	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	15	0	0
P_2 : Lejman	0	0	0	0	0	0	...	90	90	...	...	0	0	0
P_3 : Matuszek	0	0	0	0	0	0	...	60	0	...	...	0	0	0
P_4 : Rzepka	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_5 : Dunajski	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_6 : Polański	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
...
P_{24} : Schulz	15	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	15	0	0
P_{25} : Olesiński	20	15	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
...
P_{47} : Wingert	0	0	0	45	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_{48} : Tkacz	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0
P_{49} : Klima	0	0	0	0	0	0	...	0	0	...	...	0	0	0

4. Harmonogramowanie zajęć. W czwartym etapie (wrzesień), następuje harmonogramowanie zajęć (na podstawie opracowanego przydziału). Działanie to sprowadza się do określenia: która grupa zajęciowa, z którym prowadzącym, w jakiej sali, w jakim terminie, realizuje zajęcia. Utworzony plan zajęć umieszczany jest w systemie USOSweb, do którego dostęp posiadają wszyscy studenci oraz pracownicy. W sytuacji gdy opracowanie takiego planu jest niemożliwe konieczny jest powrót do etapów 2 lub 3 (zmiana przydziału zajęć – etap 3 lub rozszerzenie kompetencji/zatrudnienie nowego pracownika – etap 2).

5. Realizacja zajęć. Kolejnym, piątym etapem omawianego procesu jest realizacja zajęć, która jak w każdej Uczelni rozpoczyna się z początkiem października a kończy w okolicach końca czerwca kolejnego roku kalendarzowego, następującego po roku rozpoczęcia realizacji.

Jak już wspomniano w rozdziale 2.4, w trakcie tego etapu może zwykle dochodzić do nieprzewidzianych zdarzeń zakłócających realizację operacji (w rozważanym przypadku zajęć dydaktycznych). Stosownym przykładem jest tutaj zdarzenie, które miało miejsce w roku akademickim 2019/2020, polegające na trwałej absencji jednego z pracowników WEiI. Absencja ta doprowadziła do sytuacji, w której żaden z pozostałych w dyspozycji pracowników nie posiadał kompetencji wymaganych do realizacji zajęć przydzielonych do nieobecnego pracownika. Konieczny okazał się powrót do etapu 2, w ramach którego podjęto decyzję o zatrudnieniu nowego pracownika (na umowę zlecenie – etap 2) co w dalszej konsekwencji wymagało korekty przydziału zajęć X (etap 3) oraz ich harmonogramu (etap 4).

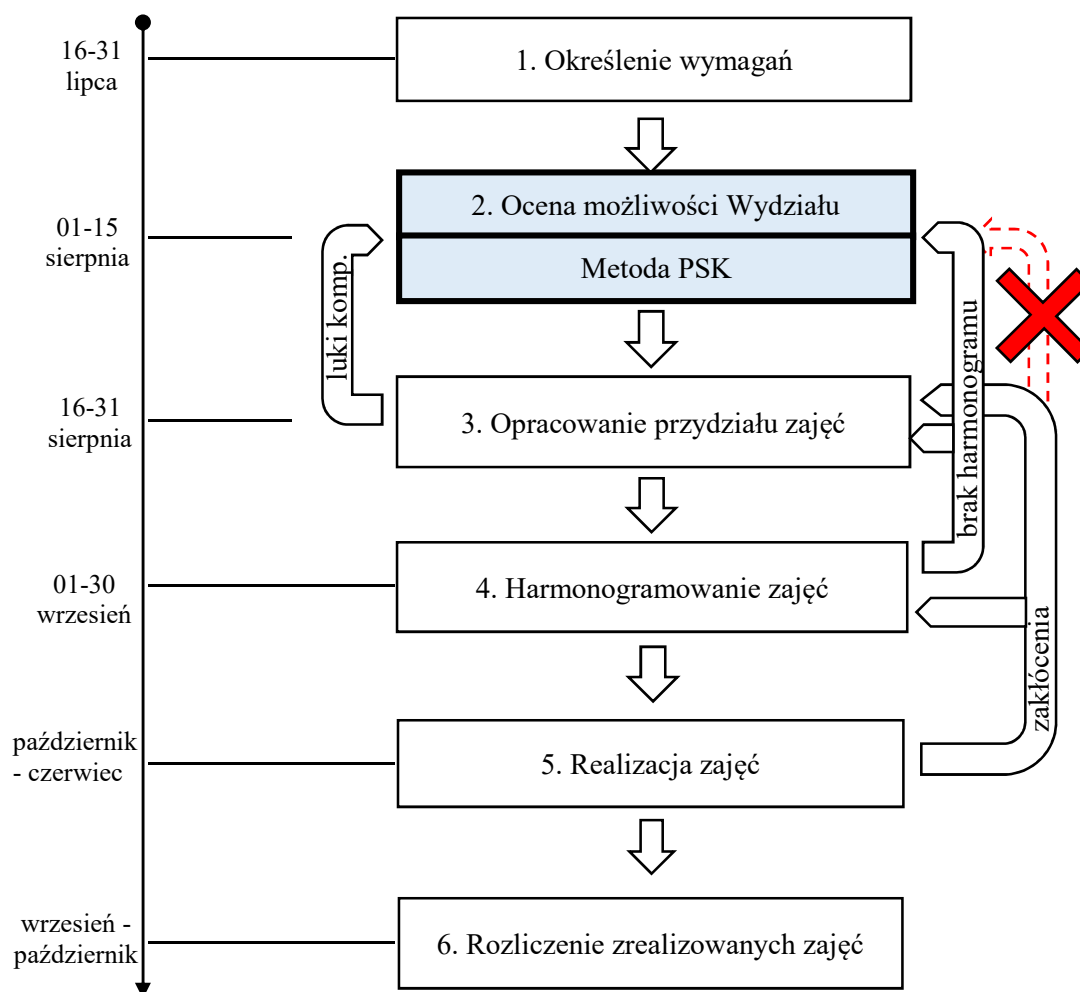
6. Rozliczenie zrealizowanych zajęć. Ostatnim etapem jest rozliczenie realizacji zajęć dydaktycznych, w ramach którego weryfikowana jest zgodność przeprowadzonych zajęć z przyjętym harmonogramem ich realizacji oraz przeprowadzana jest kontrola przekroczenia planowanych limitów czasu pracy.

Z przytoczonych przykładów łatwo widać, że kluczowym elementem prezentowanej procedury (Rys. 31) jest właściwa ocena struktury kompetencji zatrudnionych pracowników (etap 2). Decydującym najbardziej zależy na zatrudnieniu takiego zespołu pracowników, którego kompetencje pozwalają uniknąć konieczności zmian zatrudnienia w trakcie realizacji zajęć dydaktycznych tzn. powrotu do etapu 2 (z etapu 5) spowodowanego wystąpieniem określonego zakłócenia – patrz Rys. 31. Ponowna realizacja etapu 2 w okresie realizacji zajęć dydaktycznych wiąże się zagrożeniem wstrzymania procesu kształcenia (zmiana przydziału / planu zajęć, opóźnienia w prowadzeniu zajęć itp.).

W tym celu wykorzystana została opracowana metoda PSK (etap 2 – Rys. 32).

Weryfikacja metody PSK polegała na wykorzystaniu dostępnych danych historycznych WEiI (rok akademicki 2019/2020) w celu oceny: czy możliwa jest synteza takiej struktury kompetencji G , która zabezpiecza Wydział (odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$) przed następstwem zaistniałego zakłócenia (absencja pracownika P_{18} : Bugajski). W dalszym etapie zaplanowano jej użycie do syntezy struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń, takie jak:

- absencja $\omega = 1, \dots, 3$ pracowników,
- absencja pracowników należących do grupy ryzyka wiekowego (pracownicy z prawem emerytalnym).



Rys. 32. Proces organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych uwzględniający wykorzystanie metody PSK (opracowanie własne)

6.1.2. Synteza SK odpornych na absencję określonego pracownika

Celem eksperymentów była weryfikacja metody PSK w oparciu o dane historyczne opisujące proces organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych na WEiI w roku akademickim 2019/2020.

W trzecim miesiącu (grudzień) semestru zimowego (październik-luty), pracownik P_{18} (Bugajski) nieoczekiwanie zakończył pracę (choroba, hospitalizacja i w konsekwencji rezygnacja z pracy). W celu zachowania ciągłości realizacji zajęć, podjęto decyzję (etap 2 metody PSK) o zatrudnieniu dodatkowego pracownika posiadającego kompetencje do zajęć realizowanych dotąd przez P_{18} , tzn.: $Z_{47}, Z_{48}, Z_{74}, Z_{106}, Z_{121}, Z_{125}, Z_{211}$. Wynikające z tego zmiany organizacyjne (opracowanie nowego przydziału – etap 3, reorganizacja planu zajęć – etap 4, wdrożenie

nowego pracownika itp.) spowodowały tymczasowe zawieszenie ich realizacji (opóźnienie o 2 tygodnie).

W takiej sytuacji powstaje pytanie: czy można było tego uniknąć? Inaczej mówiąc: czy możliwe byłoby wcześniejsze uzupełnienie kompetencji przez innych pracowników kadry WEiI tak aby można było zastąpić nieobecnego pracownika P_{18} ?

Metoda PSK umożliwia wsparcie w zakresie odpowiedzi na tego typu pytania. W celu ilustracji możliwości jej użycia, przyjmijmy dane zebrane w Tabelach 10, 11, 12, które określają: zbiór zajęć dydaktycznych Z , strukturę kompetencji G zatrudnionych pracowników \mathcal{P} , limity czasów pracy oraz przyjęty przydział zajęć X . Rozważany problem sprowadza się do problemu syntezy SK, w ramach którego poszukiwana jest odpowiedź na następujące pytanie: *Czy istnieje struktura kompetencji (jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) G_{OPT} zespołu pracowników zatrudnionych na WEiI, która gwarantuje odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ w sytuacji absencji pracownika P_{18} ?*

Metoda PSK została zaimplementowana w środowisku IBM ILOG CPLEX (implementacja problemu CO_5 (27)), a obliczeń dokonano na komputerze wyposażonym w procesor Intel i7-4770 oraz pamięć operacyjną 8GB RAM. Rozwiązanie optymalne G_{OPT} (plik “Gopt_absencjaP18.xlsx” na stronie: <https://github.com/erykszw/WEiI>) zostało uzyskane w czasie $t < 1$ s.

Dla otrzymanej struktury kompetencji G_{OPT} istnieje dopuszczalny przydział X (plik “X_absencjaP18.xlsx” na stronie: <https://github.com/erykszw/WEiI>), w którym zajęcia realizowane wcześniej przez pracownika P_{18} : $Z_{47}, Z_{48}, Z_{74}, Z_{106}, Z_{121}, Z_{211}, Z_{125}$, są przydzielone do pracowników: $P_{29}, P_{41}, P_{44}, P_7$. Szczegóły zastępstw przedstawiono poniżej:

- pracownik P_{29} (Kaniowski) przejmuje zajęcia:
 - Z_{47} (50 godzin, 10 grup),
 - Z_{48} (75 godzin, 15 grup),
 - Z_{74} (80 godzin, 16 grup),
- pracownik P_{41} (Tobolski) przejmuje zajęcia:
 - Z_{106} (15 godzin, 3 grup),
 - Z_{211} (20 godzin, 4 grupy),
- pracownik P_{44} (Miler) przejmuje zajęcia:
 - Z_{121} (30 godzin, 6 grup),
- pracownik P_7 (Pieczara) przejmuje zajęcia:
 - Z_{125} (75 godzin, 15 grup).

Zgodnie z otrzymaną strukturą G_{OPT} wymagane jest uzupełnienie tylko jednej kompetencji przez pracownika P_7 (dla zajęć Z_{125}). Inaczej mówiąc odpowiednio wczesne przeszkolenie tego pracownika w zakresie realizacji zajęć Z_{125} pozwoliłoby uniknąć negatywnych konsekwencji absencji pracownika P_{18} (zawieszenie/opóźnienie zajęć, zatrudnienie dodatkowej kadry).

Przedstawiony wariant uzupełnienia kompetencji (dla przedmiotu Z_{125} przez pracownika P_7) jest jednym z wielu możliwych rozwiązań – minimalnych struktur kompetencji. Przykładami innych są SK, w których:

- pracownik P_{22} (Krygier) uzyskuje kompetencje do realizacji zajęć Z_{125} ,
- pracownik P_{43} (Kawalec) uzyskuje kompetencje do realizacji zajęć Z_{125} ,
- itd.

Rozwiązania przedstawione powyżej pokazują przypadki, w których konieczne jest uzyskanie kompetencji tylko z jednego przedmiotu (w różnych wariantach przez różnych pracowników).

Przeprowadzony eksperyment pokazuje, że odpowiednio wczesna (etap 2 metody PSK) synteza struktury kompetencji pozwoli zabezpieczyć WEiI przed następstwem skutków zaistniałych zakłóceń (w rozważanym przypadku rezygnacji z pracy pracownika P_{18}). W ogólności jednak, absencje pracownicze są nieoczekiwane (nieplanowane), nie wiadomo więc wcześniej, tzn. na etapie planowania, którzy pracownicy będą nieobecni. Synteza odpornej SK wymaga więc uwzględnienia wielu różnych przypadków jednoczesnej absencji pracowników. Przykłady syntezy struktur kompetencji gwarantujących odporność na tego rodzaju równoczesne zakłócenia przedstawiono w kolejnym podrozdziale.

6.1.3. Synteza SK odpornych na jednoczesną absencję ω pracowników

Struktura kompetencji G_{OPT} , wyznaczona w poprzednim eksperymencie, zabezpiecza realizację zajęć WEiI przed skutkami absencji jednego konkretnego pracownika (P_{18} : Bugajski). W kolejnym etapie eksperymentów podjęto się próby syntezy struktury kompetencji G_{OPT} , gwarantującej odporność ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) na absencję:

- a) dowolnego pojedynczego pracownika ($\omega = 1$),
- b) dowolnych dwóch pracowników ($\omega = 2$),
- c) dowolnych trzech pracowników ($\omega = 3$).

Ponownie wykorzystano dane WEiI (Tabele 10, 11, 12). Rozważany problem syntezy sprowadza się do poszukiwania odpowiedzi na następujące pytanie:

Czy istnieje struktura kompetencji (jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) G_{OPT} zespołu pracowników zatrudnionych na WEiI, która gwarantuje odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników ($\omega = 1, 2, 3$; $\lambda = 0$)?

Tak jak w poprzednim eksperymencie, w celu odpowiedzi na powyższe pytanie wykorzystano implementację metody PSK w środowisku IBM ILOG CPLEX (obliczeń dokonano na komputerze wyposażonym w procesor Intel i7-4770 oraz pamięć operacyjną 8 GB RAM). Wyniki uzyskano w czasie $t = 14,2$ s (przypadek $\omega = 1$), $t = 49,4$ s (przypadek $\omega = 2$), $t = 1185$ s (przypadek $\omega = 3$). Odpowiedź na postawione pytanie jest negatywna tzn. nie istnieje taka postać struktury kompetencji, która gwarantuje odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$. Maksymalna wartość odporności dla poszczególnych przypadków rozważanych zakłóceń $\omega = 1, 2, 3$ wynosi: $R_1^0 = 0,77$, $R_2^0 = 0,58$, $R_3^0 = 0,43$. Struktury kompetencji G_{OPT}^1 , G_{OPT}^2 , G_{OPT}^3 (indeks górny oznacza wariant absencji $\omega = 1, 2, 3$) gwarantujące wyżej wymienione wartości odporności R_{ω}^{λ} zostały przedstawione w pliku "Gopt1_Gopt2_Gopt3.xlsx" znajdującym się na stronie: <https://github.com/erykszw/WEiI>.

Otrzymane wyniki określają możliwości WEiI w zakresie zastępstwa nieobecnych pracowników. Przykładowo uzupełnienie kompetencji zgodnie z wyznaczoną strukturą G_{OPT}^1 (138 nowych kompetencji) pozwoli zabezpieczyć Wydział przed skutkami 77% możliwych scenariuszy absencji dowolnego pojedynczego pracownika. Uzyskanie większej odporności nie jest możliwe. Dokonywanie dalszych zmian w strukturze kompetencji nie przynosi poprawy jej odporności (uzyskana wartość $R_1^0 = 0,77$ jest odpornością struktury pełnej GP). Powodem tego są ograniczenia związane z limitami czasu pracy pracowników. W takiej sytuacji należy rozważyć zatrudnienie dodatkowych pracowników, a tym samym odpowiedź na pytanie:

Pracownicy o jakich kompetencjach powinni zostać zatrudnieni aby struktura kompetencji G , gwarantowała odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników ($\omega = 1, 2, 3$; $\lambda = 0$)?

W rozważanym przypadku odpowiedź na to pytanie uzyskano w czasie $t = 14,4$ s ($\omega = 1$), $t = 51,5$ s ($\omega = 2$), $t = 1131$ s ($\omega = 3$) - Gopt1_Gopt2_Gopt3_R=1.xlsx, <https://github.com/erykszw/WEiI>). Odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ ($\omega = 1, 2, 3$) warunkowana jest koniecznością zatrudnienia pracowników posiadających:

- a) 21 kompetencji umożliwiającej realizację zajęć: $Z_4, Z_7, Z_{23}, Z_{24}, Z_{25}, Z_{45}, Z_{93}, Z_{103}, Z_{114}, Z_{131}, Z_{132}, Z_{134}, Z_{135}, Z_{157}, Z_{158}, Z_{159}, Z_{160}, Z_{166}, Z_{168}, Z_{169}, Z_{170}$ (przypadek $\omega = 1$),

- b) 71 kompetencji umożliwiające realizację zajęć: $Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_9, Z_{10}, Z_{19}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}, Z_{24}, Z_{25}, Z_{26}, Z_{27}, Z_{28}, Z_{29}, Z_{30}, Z_{34}, Z_{45}, Z_{51}, Z_{55}, Z_{56}, Z_{58}, Z_{77}, Z_{78}, Z_{79}, Z_{84}, Z_{86}, Z_{93}, Z_{99}, Z_{101}, Z_{102}, Z_{103}, Z_{104}, Z_{107}, Z_{111}, Z_{114}, Z_{115}, Z_{117}, Z_{120}, Z_{130}, Z_{131}, Z_{132}, Z_{133}, Z_{134}, Z_{135}, Z_{136}, Z_{137}, Z_{149}, Z_{153}, Z_{156}, Z_{157}, Z_{158}, Z_{159}, Z_{160}, Z_{161}, Z_{162}, Z_{164}, Z_{165}, Z_{166}, Z_{168}, Z_{169}, Z_{170}, Z_{179}, Z_{191}, Z_{196}, Z_{201}, Z_{203}, Z_{204}, Z_{208}, Z_{212}$ (przypadek $\omega = 2$),
- c) 129 kompetencji (przypadek $\omega = 3$) – patrz G_{OPT}^3 .

Otrzymane wyniki eksperymentów pokazują, jakie kompetencje powinni posiadać nowo zatrudnieni aby zabezpieczyć Wydział przed skutkami wszystkich możliwych scenariuszy absencji pracowników ($\omega = 1, 2, 3$). Nie znana jest jednak liczba pracowników, których należy zatrudnić. Jest to zależne od dostępnych kandydatów i posiadanych przez nich kompetencji. Wybór pracowników, posiadających określone zestaw kompetencji, leży w gestii decydenta. Wsparcie jego decyzji w zakresie syntezy zespołów zatrudnianych pracowników jest celem przyszłych badań rozszerzających opracowany model referencyjny o elementy struktury kompetencji puli dostępnych kandydatów.

6.1.4. Synteza SK odpornych na absencję pracowników z grupy ryzyka wiekowego

W przeprowadzonej serii eksperymentów dokonano jeszcze jednego, związanego z syntezą struktury kompetencji WEiI odpornej na absencję wybranych pracowników. Przykładem są pracownicy w wieku przedemerytalnym oraz emerytalnym P_1 (Mills), P_3 (Ray), P_7 (Pieczara), P_{16} (Jaros), P_{18} (Bugajski), P_{21} (Polus), P_{24} (Schulz), P_{39} (Banaś), P_{41} (Tobolski), którzy ze względu na wiek mogą zakończyć pracę w dowolnym momencie. Dla tak określonego zbioru $EM = \{P_1, P_3, P_7, P_{16}, P_{18}, P_{21}, P_{24}, P_{39}, P_{41}\}$ poszukiwana jest odpowiedź na następujące pytanie:

Czy istnieje struktura kompetencji (jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) G_{OPT} zespołu pracowników zatrudnionych na WEiI, która gwarantuje odporność $R_\omega^\lambda = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników ze zbioru EM ($\omega = 1, \dots, 9; \lambda = 0$)?

Analogicznie jak w poprzednim eksperymencie, w celu odpowiedzi na powyższe pytanie wykorzystano implementację metody PSK w środowisku IBM ILOG CPLEX. Pozytywną odpowiedź (czas obliczeń $t = 2,2$ s) uzyskano jedynie dla wariantu absencji pojedynczego pracownika ($\omega = 1$). Na podstawie uzyskanej struktury G_{OPT}^1 (plik “Gopt9.xlsx”, <https://github.com/erykszw/WEiI>) wyznaczono zbiór pracowników $\{P_3, P_8, P_{22}, P_{31}, P_{33}, P_{36}, P_{38}, P_{41}, P_{42}, P_{43}, P_{46}\}$, którzy muszą uzupełnić swoje kompetencje (28 nowych kompetencji – patrz

G_{OPT}^1), aby możliwe było zabezpieczenie Wydziału przed skutkami absencji jednego dowolnego pracownika ze zbioru EM . Dla pozostałych wariantów absencji ($\omega = 2, \dots, 9$), nie jest możliwe uzyskanie struktury kompetencji G_{OPT} , gwarantującej odporność $R_p^Z(\omega) = 1$. Inaczej mówiąc, posiadany zespół pracowników nie jest w stanie zabezpieczyć realizacji zajęć dydaktycznych WEiI w sytuacji absencji więcej niż jednego pracownika ze zbioru EM .

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły określić maksymalne wartości odporności posiadanej struktury kompetencji dla $\omega = 2, \dots, 9$, które są następujące: $R_2^0 = 0,92$; $R_3^0 = 0,76$; $R_4^0 = 0,55$; $R_5^0 = 0,31$; $R_6^0 = 0,11$; $R_7^0 = 0$; $R_8^0 = 0$, $R_9^0 = 0$.

Należy zauważyć, że maksymalna odporność dla $\omega = 7, \dots, 9$ jest równa 0. Oznacza to, że w tak ekstremalnych (rzadko spotykanych) sytuacjach jak jednoczesna absencja 7 (lub więcej) pracowników z określonej grupy ryzyka wiekowego kontynuacja zajęć nie jest możliwa bez konieczności zatrudnienia dodatkowych pracowników.

W związku z tym dokonano próby syntezy stosownej SK (przy założeniu zatrudnienia nowych pracowników), odpornej ($R_p^Z(\omega) = 1$) w przypadku absencji $\omega = 2, \dots, 9$ pracowników ze zbioru EM . W tym kontekście, oznacza to poszukiwanie odpowiedzi na pytanie:

Pracownicy o jakich kompetencjach powinni zostać zatrudnieni aby struktura kompetencji G , gwarantowała odporność $R_\omega^\lambda = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników ($\omega = 2, \dots, 9$; $\lambda = 0$)?

Wyniki obliczeń (uzyskane w czasie $t = 39$ s) pokazują, że uzyskanie odporności $R_\omega^\lambda = 1$ dla $\omega = 2$, jest uwarunkowane zatrudnieniem pracowników posiadających kompetencje dla 7 przedmiotów: $Z_9, Z_{10}, Z_{136}, Z_{137}, Z_{179}, Z_{208}, Z_{212}$, natomiast dla $\omega = 3, \dots, 9$ uzależnione jest zatrudnieniem pracowników posiadających kompetencje dla 9 przedmiotów: $Z_9, Z_{10}, Z_{130}, Z_{136}, Z_{137}, Z_{146}, Z_{179}, Z_{208}, Z_{212}$.

6.1.5. Badania ilościowe

Poza eksperymentami o charakterze jakościowym (podrozdziały 6.1.2. – 6.1.4), ukierunkowanymi na zilustrowanie przypadków użycia metody PSK, przeprowadzono również eksperymenty ilościowe, które pozwalają ocenić skalę rozwiązywalnych problemów. W tym celu przeprowadzono ocenę czasu rozwiązywania problemów analizy i syntezy odpornych struktur kompetencji dla różnej liczby: pracowników, zleczanych zajęć, jednoczesnych absencji nieobecnych pracowników.

Dla danych z Tabel 10, 11, 12, poszukiwane były rozwiązania gwarantujące odporność $R_{\omega}^{\lambda} \geq 0,2; 0,4; \dots 1$ w przypadku absencji $\omega = 1, \dots, 7$ pracowników. Eksperymenty przeprowadzono w środowisku IBM ILOG CPLEX. Rezultaty obliczeń przedstawiono w Tabelach 14, 15, 16.

Tabela 14. Czasy rozwiązania problemu analizy odporności R_{ω}^{λ} struktury kompetencji WEiI z Tabeli 11 (opracowanie własne)

Liczba nieobecnych pracowników ω	Odporność R_{ω}^{λ}	Czas obliczeń t [s]
1	0,35	< 1
2	0,1	1,1
3	0,03	1,4
4	0,01	2,2
5	0	4,5
6	0	6,8
7	0	9,2

Tabela 15. Czasy rozwiązania problemu syntezy struktury kompetencji G_{OPT} gwarantującej odporność $R_{\omega}^{\lambda} \geq {}^*R_{\omega}^{\lambda}$ dla absencji ω pracowników (opracowanie własne)

Liczba nieobecnych pracowników ω	Oczekiwana wartość odporności ${}^*R_{\omega}^{\lambda}$	Uzyskana wartość odporności R_{ω}^{λ}	Liczba zmian w strukturze kompetencji G	Czas obliczeń t [s]
1	0,2	0,39	9	13,1
	0,4	0,49	62	13,5
	0,6	0,77	138	14,2
	0,8	¹⁾ ✗	✗	14,5
	1	✗	✗	14,9
2	0,2	0,29	121	47,7
	0,4	0,58	415	49,4
	0,6	✗	✗	51,6
	0,8	✗	✗	52,8
	1	✗	✗	54,4
3	0,2	0,27	170	1068
	0,4	0,43	660	1185
	0,6	✗	✗	>1200
	0,8	✗	✗	>1200
	1	✗	✗	>1200
4	0,2	0,31	752	>1200
	0,4	✗	✗	>1200
	0,6	✗	✗	>1200
	0,8	✗	✗	>1200
	1	✗	✗	>1200
5	0,2	0,22	779	>1200
	0,4	✗	✗	>1200

	0,6	×	×	>1200
	0,8	×	×	>1200
	1	×	×	>1200
6	0,2	0	785	>1200
	0,4	×	×	>1200
	0,6	×	×	>1200
	0,8	×	×	>1200
	1	×	×	>1200

¹⁾ × – brak rozwiązań dopuszczalnych, tzn. nie istnieje struktura kompetencji G gwarantująca oczekiwany stopień odporności: $R_{\omega}^{\lambda} \geq *R_{\omega}^{\lambda}$

Łatwo zauważyć, że w przypadku rozwiązywania problemu analizy (Tabela 14) odpowiedź jest uzyskiwana w trybie online (poniżej 1200 s). W przypadku problemu syntezy (Tabele 15 i 16) wspomaganie decyzji w trybie online jest ograniczone tylko do sytuacji, w których absencja nie przekracza 3 pracowników (gdy $\omega > 3$ czas obliczeń przekracza przyjętą wartość: 1200 sekund).

Tabela 16. Czasy rozwiązania problemu syntezy odpornej struktury kompetencji ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) przy założeniu zatrudnienia dodatkowej kadry (opracowanie własne)

Liczba nieobecnych pracowników ω	Uzyskany stopień odporności R_{ω}^{λ}	Liczba kompetencji u nowo zatrudnionych pracowników	Czas obliczeń [s]
1	1	21	14,4
2	1	71	51,5
3	1	129	1131
4	1	155	>1200
5	1	184	>1200
6	1	197	>1200
7	1	204	>1200

Przeprowadzone eksperymenty pozwalają ocenić możliwości WEiI w zakresie zastępstwa nieobecnych pracowników. Otrzymane rezultaty (Tabela 15) pokazują, że w przypadku jednoczesnej absencji 6 (lub więcej) pracowników pozostali w dyspozycji pracownicy nie są w stanie przejąć ich obowiązków (odporność SK wynosi 0 bez względu na liczbę zdobytych kompetencji). Uzyskanie odporności $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ jest możliwe dopiero gdy pracownicy WEiI zdobędą 785 kompetencji (Tabela 15) oraz zatrudnieni zostaną nowi pracownicy, posiadający 197 dodatkowych kompetencji (Tabela 16).

Rezultaty eksperymentów przeprowadzonych dla obiektów większej skali (Tabela 17) pokazują, że metoda PSK może być wykorzystana do wspomagania decyzji przy syntezie struktur kompetencji odpornych na zakłócenia absencji pracowniczej dla skali nie większej niż 150 pracowników i 500 zajęć dydaktycznych.

Tabela 17. Czasy rozwiązania problemu syntezy struktury kompetencji G_{OPT} gwarantującej pełną odporność ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) dla różnej liczby pracowników i przedmiotów (opracowanie własne)

Liczba pracowników m	Liczba prowadzonych zajęć n	Liczba nieobecnych pracowników ω	Czas obliczeń [s]
50	300	1	25
50	300	2	53
50	300	3	1 005
100	400	1	134
100	400	2	345
100	400	3	6200
150	500	1	234
150	500	2	865
150	500	3	11240
200	600	1	1540
200	600	2	5980
200	600	3	>18000

Przydatność metody PSK, jest widoczna w procesach organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych, w szczególności w zakresie analizy odporności SK i syntezy odpornych SK (etap 2 – rys. 32). Skala rozwiązywalnych problemów ogranicza się do instancji, w których liczba pracowników nie przekracza 150 a liczba zajęć 500.

Eksperymenty ograniczono tylko dla jednego rodzaju zakłócenia (jednoczesnej absencji pracowniczej). Jak już wspomniano w podrozdziale 2.4 w projektach mogą występować jednocześnie różne zakłócenia np. absencja pracowników oraz zlecenie dodatkowych operacji. W kolejnym podrozdziale przedstawiono próbę syntezy odpornych SK na wymienione dwa rodzaje zakłóceń zachodzące w projektach realizowanych w przedsiębiorstwie branży IT.

6.2. Planowanie struktur kompetencji dla przedsiębiorstwa branży IT

6.2.1. Obiekt badań – przedsiębiorstwo Kaliop Poland Sp. z o.o.

Metodę PSK wykorzystano również w procesie planowania SK zespołu pracowników zatrudnionych w przedsiębiorstwie Kaliop Poland Sp. z o.o. (w skrócie Kaliop). Kaliop jest uznanym na rynku wytwórcą internetowych aplikacji opartych na środowiskach open source. Wśród dotychczasowych klientów przedsiębiorstwa można wskazać na firmy różnych branż m.in. WSiP, PWN, Poczta Polska, Credit Agricole, Taranko, Dior, Euro-Car, UNICEF.

Kaliop realizuje projekty IT, których celem jest wytworzenie systemów/programów informatycznych, aplikacji internetowych takich jak:

- internetowe projekty wydawnicze,
- systemy do uruchamiania wielu serwisów internetowych,
- portale intranetowe,
- aplikacje przeglądarkowe i mobilne,
- dedykowane systemy internetowe,
- itp.

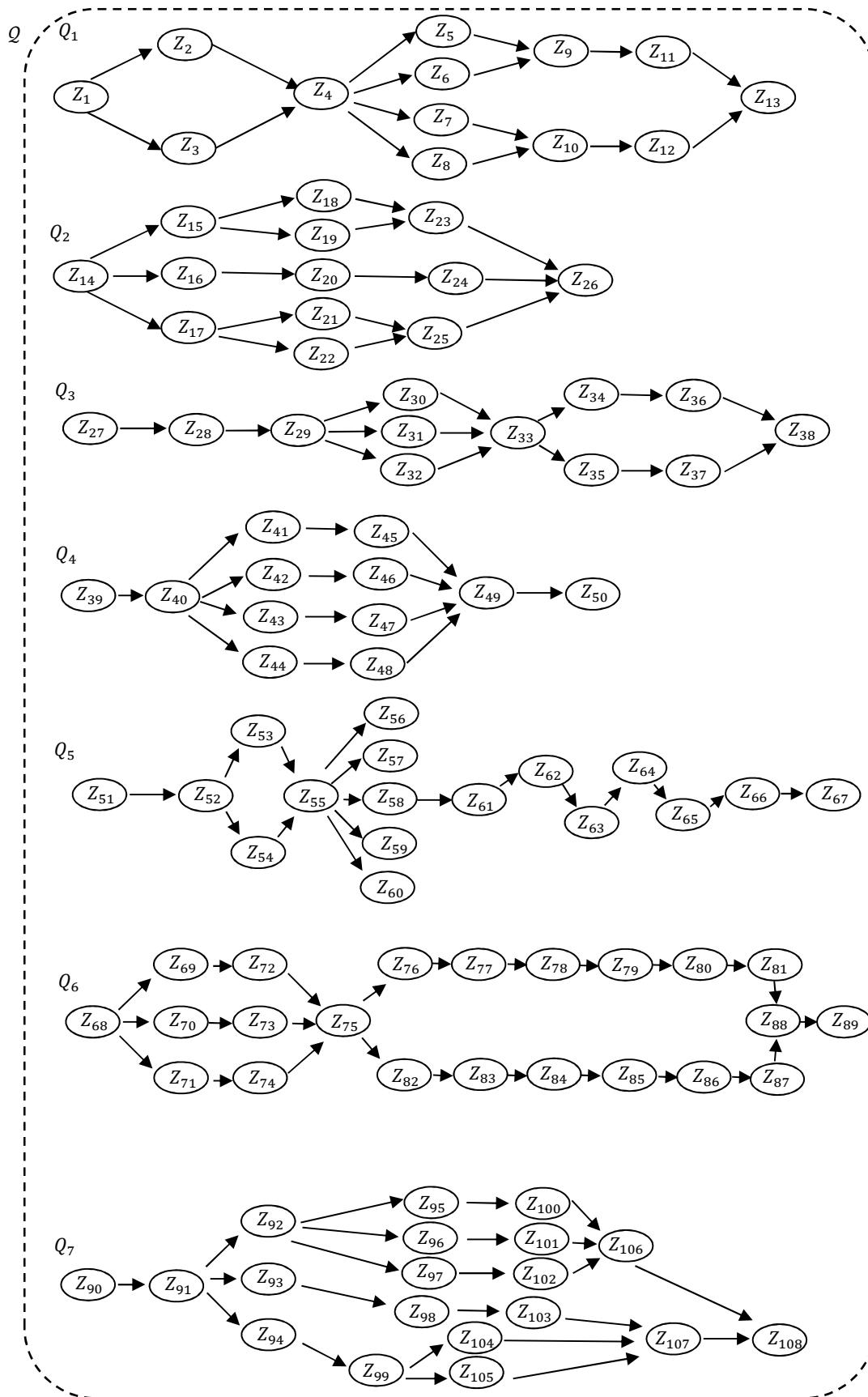
Na potrzeby prowadzonych eksperymentów wykorzystano dane portfela Q składającego się z 7 projektów (realizowanych w okresie styczeń/luty 2020 roku): $Q = \{Q_1, \dots, Q_7\}$. Zbiór Z obejmuje łącznie 108 operacji: $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_{108}\}$. Operacje przydzielono do projektów w następujący sposób: $Z_1 = \{Z_1, \dots, Z_{13}\}$, $Z_2 = \{Z_{14}, \dots, Z_{26}\}$, $Z_3 = \{Z_{27}, \dots, Z_{38}\}$, $Z_4 = \{Z_{39}, \dots, Z_{50}\}$, $Z_5 = \{Z_{51}, \dots, Z_{67}\}$, $Z_6 = \{Z_{68}, \dots, Z_{89}\}$, $Z_7 = \{Z_{90}, \dots, Z_{108}\}$.

Dla każdej operacji Z_i określono: liczbę czynności q_i koniecznych do zrealizowania w ramach operacji Z_i , czas trwania l_i każdej czynności (liczony w dniach), liczbę pracowników φ_i wymaganą do realizacji każdej czynności, momenty rozpoczęcia y_i oraz zbiory wykluczania w_i (Tabela 18).

Tabela 18. Zbiór operacji Z portfela projektów Q (opracowanie własne)

Z_i	q_i	y_i	l_i [dni]	w_i	φ_i
Z_1	1	0	4	\emptyset	2
Z_2	1	4	2	$\{Z_3, Z_{39}\}$	2
Z_3	1	4	2	$\{Z_2, Z_{39}\}$	2
Z_4	1	6	4	$\{Z_{39}, Z_{40}\}$	3
Z_5	1	10	4	$\{Z_6, Z_7, Z_8, Z_{14}, Z_{40}, Z_{41}, Z_{42}, Z_{43}, Z_{44}\}$	2
...
Z_{50}	1	21	2	$\{Z_{18}, Z_{19}, Z_{20}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{51}, Z_{52}\}$	1
...
Z_{107}	1	37	3	$Z_{29}, Z_{62}, Z_{63}, Z_{77}, Z_{82}, Z_{83}, Z_{106}\}$	2
Z_{108}	1	40	3	$\{Z_{30}, Z_{31}, Z_{32}, Z_{63}, Z_{64}, Z_{78}, Z_{84}, Z_{85}\}$	1

Sieci operacji $DG_1 - DG_7$ projektów portfela Q przedstawiono na Rys. 33.



Rys. 33. Sieć operacji dla portfela projektów $Q = \{Q_1, \dots, Q_7\}$ (opracowanie własne)

Do realizacji portfela projektów Q zatrudniono łącznie 36 pracowników (programistów, specjalistów baz danych, projektantów, grafików, testerów oprogramowania). Zgodnie z wprowadzoną notacją zespół pracowników opisano zbiorem $\mathcal{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_{36}\}$, którego strukturę kompetencji przedstawiono w Tabeli 19. Sporządzono ją na podstawie przeprowadzonej (styczeń 2020 roku) oceny kompetencji, której kwestionariusze stanowią załączniki D i E. Podobnie jak w przypadku oceny kompetencji pracowników WEiI, posłużono się metodą 180 stopni tzn. dokonano samooceny kompetencji poszczególnych pracowników (w kontekście możliwości realizacji poszczególnych operacji) i zweryfikowane zostały przez ich przełożonych, kierowników projektów. Ewentualne rozbieżności pomiędzy wynikami reguluje arbitralnie przyjęta zasady prezentowana w załączniku F. W związku z wymaganiami ochrony danych osobowych, przetwarzane dane poddano pseudonimizacji.

Tabela 19. Struktura kompetencji G pracowników Kaliop (plik “G_bazowa.xlsx” na stronie: <https://github.com/erykszw/Kaliop>) (opracowanie własne)

G	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	...	...	Z_{50}	...	...	Z_{107}	Z_{108}
P_1 : Krajewski	0	0	0	1	1	...	...	0	...	...	1	0
P_2 : Świerk	0	1	1	1	0	...	...	1	...	...	{0,1}	1
P_3 : Seroczyński	1	1	1	0	{0,1}	...	...	{0,1}	...	...	0	{0,1}
P_4 : Figurska	{0,1}	1	1	0	1	...	...	{0,1}	...	...	1	{0,1}
P_5 : Zaniewska	1	0	0	1	0	...	...	{0,1}	...	...	1	{0,1}
P_6 : Hoffmann	{0,1}	1	1	0	{0,1}	...	...	1	...	...	0	1
...
P_{20} : Malarz	1	1	1	{0,1}	0	...	...	1	...	...	0	1
...
P_{34} : Żyliński	1	1	1	0	0	...	...	1	...	...	1	1
P_{35} : Radzik	0	{0,1}	{0,1}	1	1	...	...	1	...	...	0	1
P_{36} : Stenka	0	0	0	1	1	...	...	0	...	...	1	0

Wartości komórek Tabeli 19 określają wartości zmiennych $g_{k,i}$ struktury G i oznaczają:

- 1 – pracownik P_k posiada kompetencje do realizacji operacji Z_i ($g_{k,i} = 1$),
- {0,1} – pracownik P_k nie posiada kompetencji do realizacji operacji Z_i ale może je zdobyć ($g_{k,i} \in \{0,1\}$),
- 0 – pracownik P_k nie posiada kompetencji do realizacji operacji Z_i i nie może ich zdobyć ($g_{k,i} = 0$).

Ponadto dla każdego pracownika zbioru \mathcal{P} znany jest dolny (s_k) i górny (z_k) wymiar czasu pracy przeznaczony na rzecz realizowanych projektów (Tabela 20). Przykładowo, okres zaangażowania pracownika P_1 (Krajewski) wynosi od 10 do 53 dni. Przyjmuje się również, że wymiary godzin zajęć poszczególnych pracowników nie zmieniają się w czasie.

Tabela 20. Limity czasu pracy pracowników Kaliop (opracowanie własne)

	s_k	z_k		s_k	z_k		s_k	z_k		s_k	z_k
P_1 : Krajewski	10	53	P_{11} : Fatyga	10	25	P_{21} : Wątor	20	53	P_{31} : Karwan	20	53
P_2 : Świerk	20	53	P_{12} : Sawczuk	20	53	P_{22} : Maliński	20	53	P_{32} : Frączyk	20	53
P_3 : Seroczyński	20	53	P_{13} : Fojcik	20	53	P_{23} : Kostecka	20	53	P_{33} : Mucha	20	53
P_4 : Figurska	20	53	P_{14} : Środa	20	53	P_{24} : Szot	20	53	P_{34} : Żyliński	20	53
P_5 : Zaniewska	20	53	P_{15} : Kupis	10	25	P_{25} : Śliwa	10	25	P_{35} : Radzik	10	25
P_6 : Hoffmann	20	53	P_{16} : Bielawa	20	53	P_{26} : Kida	20	53	P_{36} : Stenka	20	53
P_7 : Drelich	10	25	P_{17} : Szal	20	53	P_{27} : Kopacz	10	25		10	25
P_8 : Sroga	10	25	P_{18} : Ozimek	20	53	P_{28} : Poliński	20	53		20	53
P_9 : Lisiecka	20	53	P_{19} : Kulpa	10	25	P_{29} : Uszyńska	20	53		20	53
P_{10} : Bednarski	10	25	P_{20} : Malarz	20	53	P_{30} : Filar	20	53		20	53

Odpowiadający tym założeniom przydział X , ilustruje Tabela 21.

Tabela 21. Przydział czynności X dla pracowników Kaliop w ramach realizacji portfela Q (plik "X_bazowa.xlsx" na stronie: <https://github.com/erykszw/Kaliop>) (opracowanie własne)

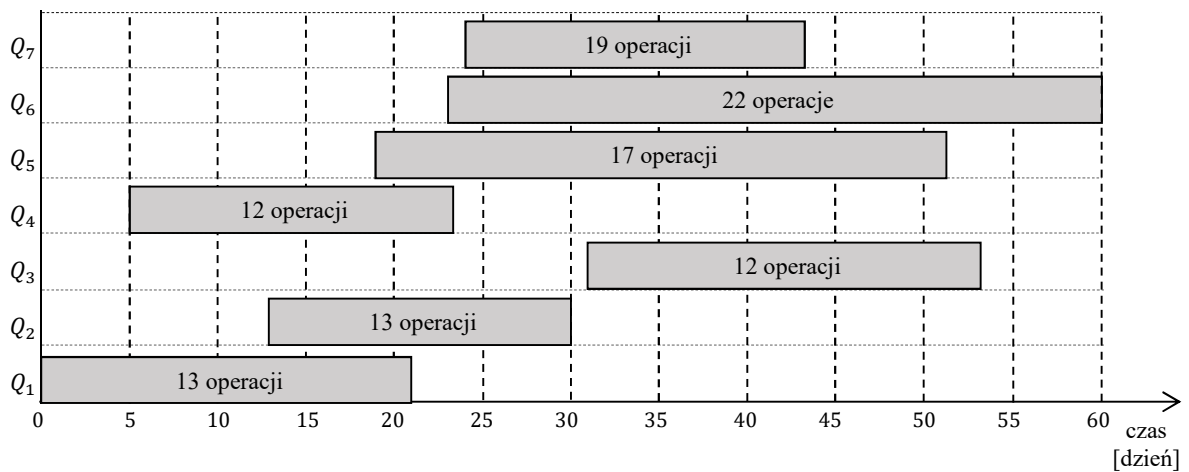
G	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	...	...	Z_{50}	...	...	Z_{107}	Z_{108}
P_1 : Krajewski	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_2 : Świerk	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_3 : Seroczyński	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_4 : Figurska	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_5 : Zaniewska	4	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_6 : Hoffmann	0	2	0	0	0	...	...	0	...	...	0	3
...
P_{20} : Malarz	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
...
P_{34} : Żyliński	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_{35} : Radzik	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_{36} : Stenka	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0

Przydział spełnia następujące wymagania:

- czynności operacji Z_i realizują tylko kompetentni pracownicy,
- limity czasu pracy (s_k, z_k) nie mogą być przekroczone,

- w każdym momencie czasu pracownik P_k może realizować maksymalnie jedną czynność danej operacji,
- wykorzystywane zasoby są niewywłaszczalne, tzn. że pracownik realizujący daną czynność nie może jej przerwać w celu podjęcia innej.

Harmonogram realizacji portfela projektów przedstawia Rys. 34, jego szczegółową ilustrację zamieszczono w załączniku G. Z harmonogramu widać, że portfel projektów Q powinien zostać ukończony w ciągu 60 dni. Realizacja projektów Q_1, \dots, Q_7 w tym okresie odbywa się równoległe. Okresy realizacji poszczególnych projektów są następujące: $Q_1: 0 - 21$; $Q_2: 13 - 30$; $Q_3: 31 - 53$; $Q_4: 5 - 23$; $Q_5: 19 - 51$; $Q_6: 23 - 60$; $Q_7: 24 - 43$.



Rys. 34. Harmonogram realizacji portfela projektów Q (opracowanie własne)

W trakcie realizacji rozważanego portfela projektów Q może dochodzić do zakłóceń związanych z absencjami pracowników i/lub zleceniami dodatkowych czynności, nieplanowanych w ramach portfela Q . W przeprowadzonych eksperymentach podjęto próbę syntezy struktury kompetencji G , zabezpieczającą Kaliop (odporność $R_\omega^\lambda = 1$) przed następstwem jednoczesnej absencji dowolnych $\omega = 1, \dots, 3$ pracowników oraz dodatkowo wprowadzanych zleceń $\lambda = 10$.

6.2.2. Synteza SK odpornych na jednoczesną absencję ω pracowników

Celem eksperymentów jest wykorzystanie metody PSK do syntezy struktury kompetencji G , zabezpieczającej Kaliop (odporność $R_\omega^\lambda = 1$) przed następstwem jednoczesnej absencji

$\omega = 1, \dots, 3$ pracowników. Rozważany problem sprowadza się do poszukiwania odpowiedzi na pytanie:

Czy istnieje struktura kompetencji (jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) G_{OPT} zespołu pracowników zatrudnionych w Kaliop, która gwarantuje odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników ($\omega = 1, 2, 3$; $\lambda = 0$)?

Wyniki uzyskano w czasie $t = 8,1$ s (przypadek $\omega = 1$), $t = 29,4$ s (przypadek $\omega = 2$), $t = 658$ s (przypadek $\omega = 3$). Odpowiedź jest pozytywna tylko gdy $\omega = 1$. Struktura kompetencji G_{OPT}^1 (indeks górny oznacza wariant absencji $\omega = 1$) gwarantująca odporność R_{ω}^{λ} została przedstawiona w pliku "Gopt1.xlsx" znajdującym się na stronie: <https://github.com/erykszw/Kaliop>.

W przypadku jednoczesnej absencji większej liczby pracowników ($\omega = 2, 3$) odpowiedź na powyższe pytanie jest negatywna tzn. nie jest możliwe uzyskanie odporności $R_{\omega}^{\lambda} = 1$. Maksymalna wartość odporności dla poszczególnych przypadków zakłóceń $\omega = 2, 3$ wynosi: $R_2^0 = 0,99$, $R_3^0 = 0,76$. Struktury kompetencji G_{OPT}^2 , G_{OPT}^3 (indeks górny oznacza wariant absencji $\omega = 2, 3$) odpowiadające ww. wartościom odporności R_{ω}^{λ} zostały przedstawione w Gopt2_Gopt3.xlsx (<https://github.com/erykszw/Kaliop>).

Uzupełnienie kompetencji wskazanych w strukturze G_{OPT}^1 (17 nowych kompetencji) pozwoli zabezpieczyć firmę przed skutkami wszystkich możliwych scenariuszy jednostkowych absencji pracowniczych. Zmiany kompetencji wskazane w strukturze G_{OPT}^2 (39 nowych kompetencji) pozwolą zabezpieczyć Kaliop przed skutkami 99% możliwych scenariuszy jednoczesnych absencji dowolnych dwóch pracowników. Uzyskana wartość $R_2^0 = 0,99$ jest odpornością struktury pełnej GP . Oznacza to, że dalsze działania, mające na celu uzyskanie $R_2^0 = 1$, wiążą się z koniecznością zatrudnienia dodatkowych pracowników, a w szczególności z odpowiedzią na pytanie:

Pracownicy o jakich kompetencjach powinni zostać zatrudnieni aby struktura kompetencji G , gwarantowała odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników ($\omega = 2, 3$; $\lambda = 0$)?

W rozważanym przypadku odpowiedź na to pytanie uzyskano w czasie $t = 33,8$ s ($\omega = 2$), $t = 694$ s ($\omega = 3$) - Gopt2_Gopt3_R=1.xlsx (<https://github.com/erykszw/Kaliop>). Odporność $R_{\omega}^{\lambda} = 1$ ($\omega = 2, 3$) warunkowana jest koniecznością zatrudnienia pracowników posiadających:

- a) 1 kompetencję umożliwiającą realizację operacji: Z_{27} (przypadek $\omega = 2$),
- b) 17 kompetencji umożliwiających realizację operacji: $Z_{27}, Z_{56}, Z_{57}, Z_{58}, Z_{59}, Z_{60}, Z_{76}, Z_{77}, Z_{78}, Z_{79}, Z_{80}, Z_{81}, Z_{95}, Z_{96}, Z_{97}, Z_{98}, Z_{99}$ (przypadek $\omega = 3$).

Zatrudnienie pracowników legitymujących się powyższymi kompetencjami pozwoli zabezpieczyć Kaliop przed skutkami wszystkich możliwych scenariuszy absencji pracowników ($\omega = 2, 3$).

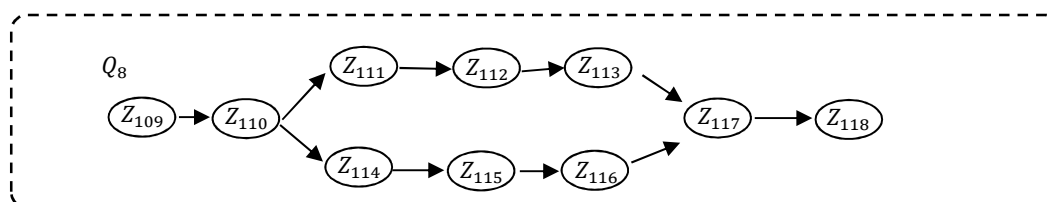
6.2.3. Synteza SK odpornych na absencję ω pracowników i zlecenie dodatkowych λ operacji

Wykorzystując dane firmy Kaliop przeprowadzono jeszcze jeden eksperyment związany z syntezą SK odpornej na wypadek dodatkowo pojawiających się zleceń (firma doświadcza tego typu zakłóceń kilka razy w roku). Nowy projekt Q_8 (zlecenie rutynowych prac w zakresie przygotowania aplikacji mobilnej dla klienta) rozpoczyna się 42 dnia i składa się z 10 operacji $Z_8 = \{Z_{109}, \dots, Z_{118}\}$. Dane dotyczące nowego projektu zostały zebrane w Tabeli 22.

Tabela 22. Zbiór dodatkowych λ operacji Z (opracowanie własne)

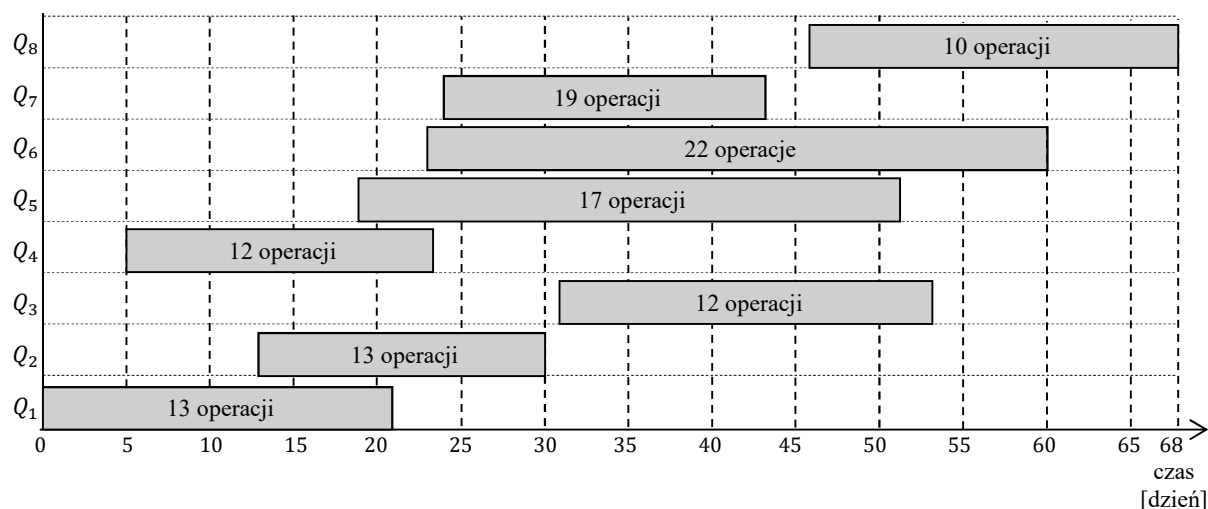
Z_i	q_i	y_i	l_i [dni]	w_i	φ_i
Z_{109}	1	46	3	$\{Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{37}, Z_{67}, Z_{80}, Z_{87}\}$	1
Z_{110}	1	49	2	$\{Z_{36}, Z_{37}, Z_{67}, Z_{80}\}$	1
Z_{111}	1	51	4	$\{Z_{38}, Z_{80}, Z_{81}, Z_{114}, Z_{115}\}$	2
Z_{112}	1	55	4	$\{Z_{81}, Z_{88}, Z_{89}, Z_{116}\}$	2
Z_{113}	1	59	4	$\{Z_{89}\}$	2
Z_{114}	1	51	2	$\{Z_{38}, Z_{80}, Z_{81}, Z_{111}\}$	2
Z_{115}	1	53	2	$\{Z_{81}, Z_{111}\}$	2
Z_{116}	1	55	2	$\{Z_{81}, Z_{88}, Z_{112}\}$	2
Z_{117}	1	63	3	\emptyset	1
Z_{118}	1	65	2	\emptyset	1

Sieć operacji projektu Q_8 przedstawiono na Rys. 35.



Rys. 35. Sieć operacji projektu Q_8 (opracowanie własne)

Harmonogram realizacji portfela projektów Q uzupełniony o nowy projekt przedstawia Rys. 36, a jego szczegółową ilustrację zamieszczono w załączniku H.



Rys. 36. Harmonogram realizacji portfela projektów Q z dodatkowo zleconym projektem Q_8 (opracowanie własne)

Struktura kompetencji, zawierająca informacje o posiadanych kompetencjach do realizacji nowo zleconych operacji przedstawiono w pliku `G_dodatkowe.xlsx` (<https://github.com/erykszw/Kaliop>).

Wykorzystując metodę PSK poszukiwano odpowiedzi na następujące pytanie:

Czy istnieje struktura kompetencji (jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) G_{OPT} zespołu pracowników zatrudnionych w Kaliop, która gwarantuje odporność $R_\omega^\lambda = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników i zlecenia dodatkowych λ operacji ($\omega = 1, 2, 3; \lambda = 10$)?

Wyniki uzyskano w czasie $t = 9,3$ s (przypadek $\omega = 1$), $t = 32,1$ s (przypadek $\omega = 2$), $t = 675$ s (przypadek $\omega = 3$). Pozytywną odpowiedź otrzymano tylko w sytuacji gdy $\omega = 1$. Struktura kompetencji G_{OPT}^1 (indeks górny oznacza wariant absencji $\omega = 1$) gwarantująca odporność R_ω^λ została przedstawiona w pliku “`Gopt1_dodatkowe.xlsx`”, <https://github.com/erykszw/Kaliop>.

W przypadku jednoczesnej absencji większej liczby pracowników ($\omega = 2, 3$) odpowiedź na powyższe pytanie jest negatywna tzn. nie jest możliwe uzyskanie odporności $R_\omega^\lambda = 1$. Maksymalna wartość odporności dla poszczególnych przypadków rozważanych zakłóceń $\omega = 2, 3$ wynosi: $R_2^{10} = 0,95$, $R_3^{10} = 0,70$. Struktury kompetencji G_{OPT}^2, G_{OPT}^3 (indeks górny oznacza wariant absencji $\omega = 2, 3$) odpowiadające ww. wartościom odporności R_ω^λ zostały przedstawione w `Gopt2_Gopt3_dodatkowe.xlsx` (<https://github.com/erykszw/Kaliop>).

Uzupełnienie kompetencji zgodnie z wyznaczoną strukturą G_{OPT}^1 (19 nowych kompetencji) pozwoli zabezpieczyć firmę przed skutkami jednostkowej absencji pracowniczej przy

założeniu realizacji dodatkowego projektu Q_8 . Z kolei uzupełnienie kompetencji zgodnie z G_{OPT}^2 (43 nowych kompetencji) pozwoli zabezpieczyć Kaliop przed skutkami 95% możliwych scenariuszy jednoczesnych absencji dowolnych dwóch pracowników. Dalsze zmiany w strukturze kompetencji nie przyniosą poprawy jej odporności. Uzyskanie wartości $R_2^0 = 1$ wiąże się z koniecznością zatrudnienia dodatkowych pracowników, a w szczególności z odpowiedzią na pytanie:

Pracownicy o jakich kompetencjach powinni zostać zatrudnieni aby struktura kompetencji G , gwarantowała odporność $R_\omega^\lambda = 1$ w sytuacji absencji ω pracowników i zlecenia dodatkowych λ operacji ($\omega = 2, 3$; $\lambda = 10$)?

W rozważanym przypadku odpowiedź uzyskano w czasie $t = 36,9$ s (przypadek $\omega = 2$; $\lambda = 10$), $t = 707$ s (przypadek $\omega = 3$; $\lambda = 10$) - plik "Gopt2_Gopt3_R=1_dodatkowe.xlsx", <https://github.com/erykszw/Kaliop>. Odporność $R_\omega^{10} = 1$ ($\omega = 2, 3$) warunkowana jest koniecznością zatrudnienia pracowników posiadających:

- a) 3 kompetencje do realizacji operacji: Z_{27}, Z_{62}, Z_{90} (przypadek $\omega = 2$; $\lambda = 10$),
- b) 21 kompetencji do realizacji operacji: $Z_{27}, Z_{56}, Z_{57}, Z_{58}, Z_{59}, Z_{60}, Z_{62}, Z_{68}, Z_{76}, Z_{77}, Z_{78}, Z_{79}, Z_{80}, Z_{81}, Z_{90}, Z_{95}, Z_{96}, Z_{97}, Z_{98}, Z_{99}, Z_{113}$ (przypadek $\omega = 3$; $\lambda = 10$).

Uwzględnienie zakłócenia powodowanego nieprzewidzianym wprowadzeniem dodatkowego projektu Q_8 sprawia, że uzyskanie odporności $R_\omega^{10} = 1$ ($\omega = 2, 3$) wymaga zatrudnienia pracowników posiadających odpowiednio o 2 (dla $\omega = 2$; $\lambda = 10$), i 5 kompetencji więcej (przypadek $\omega = 2$; $\lambda = 10$) niż miało to miejsce w sytuacji opisanej w punkcie 6.2.2 (uwzględniającej tylko zakłócenie absencji pracowniczej).

6.2.4. Badania ilościowe

Poza eksperymentami o charakterze jakościowym, przeprowadzono również eksperymenty ilościowe, które pozwalają ocenić skalę rozwiązywalnych problemów. W tym celu przeprowadzono ocenę czasu rozwiązywania problemów planowania struktur kompetencji dla różnej liczby: pracowników, zleczanych operacji, jednoczesnych absencji pracowniczych.

Dla danych z Tabel 18-21, poszukiwane były rozwiązania gwarantujące odporności $R_\omega^\lambda \geq 0,2; 0,4; \dots, 1$ w przypadku występowania dwóch rodzajów zakłóceń: absencji $\omega = 1, \dots, 5$ pracowników i zlecenia dodatkowych operacji $\lambda = 10$. Eksperymenty przeprowadzono w środowisku IBM ILOG CPLEX. Rezultaty obliczeń przedstawiono w Tabelach 23, 24, 25.

Tabela 23. Czasy rozwiązania problemu analizy odporności R_ω^λ struktury kompetencji Kaliop z Tabeli 19 (opracowanie własne)

Liczba nieobecnych pracowników ω	Odporność R_ω^λ		Czas obliczeń t [s]	
	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$
1	0,33	0,31	< 1	< 1
2	0,08	0,06	< 1	< 1
3	0,01	0,01	1,2	1,2
4	0,003	0,002	1,6	1,6
5	0	0	2,1	2,2

Tabela 24. Czasy rozwiązania problemu syntezy struktury kompetencji G_{OPT} gwarantującej odporność $R_\omega^\lambda \geq {}^*R_\omega^\lambda$ dla absencji ω pracowników (opracowanie własne)

Liczba nieobecnych pracowników ω	Oczekiwana wartość odporności ${}^*R_\omega^\lambda$	Uzyskana wartość odporności R_ω^λ		Liczba zmian w strukturze kompetencji G		Czas obliczeń t [s]	
		$\lambda = 0$	$\lambda = 10$	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$
1	0,2	0,22	0,21	2	3	7,1	7,3
	0,4	0,43	0,41	5	6	7,3	7,6
	0,6	0,63	0,62	10	12	7,6	7,9
	0,8	0,84	0,83	14	16	7,9	8,3
	1	1	1	17	17	8,1	8,7
2	0,2	0,24	0,23	14	16	24,2	24,5
	0,4	0,45	0,42	22	25	24,9	25,6
	0,6	0,64	0,62	26	40	26,0	26,9
	0,8	0,83	0,82	31	35	27,1	27,8
	1	0,99	0,95	39	43	29,4	31,1
3	0,2	0,23	0,21	19	20	358	368
	0,4	0,45	0,41	35	38	480	491
	0,6	0,65	0,62	44	46	561	575
	0,8	0,76	0,70	51	54	658	678
	1	¹⁾ ✘	✘	✘	✘	743	766
4	0,2	0,23	0,22	24	25	>1200	>1200
	0,4	0,42	0,41	48	50	>1200	>1200
	0,6	0,61	0,61	63	66	>1200	>1200
	0,8	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
	1	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
5	0,2	0,21	0,21	29	30	>1200	>1200
	0,4	0,41	0,40	62	64	>1200	>1200
	0,6	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
	0,8	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
	1	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
6	0,2	0,21	0,20	55	57	>1200	>1200
	0,4	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
	0,6	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
	0,8	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200
	1	✘	✘	✘	✘	>1200	>1200

¹⁾ ✘ – brak rozwiązań dopuszczalnych, tzn. nie istnieje struktura kompetencji G gwarantująca oczekiwany stopień odporności: $R_\omega^\lambda \geq {}^*R_\omega^\lambda$

Tabela 25. Czasy rozwiązywania problemu syntezy odpornej struktury kompetencji ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) przy założeniu zatrudnienia dodatkowej kadry (opracowanie własne)

Liczba nieobecnych pracowników ω	Uzyskany stopień odporności R_{ω}^{λ}		Liczba kompetencji u nowo zatrudnionych pracowników		Czas obliczeń [s]	
	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$	$\lambda = 0$	$\lambda = 10$
1	1	1	0	0	8,1	8,7
2	1	1	1	3	33,8	24,5
3	1	1	3	22	694	7,2
4	1	1	13	31	1095	1108
5	1	1	19	38	>1200	>1200

W przypadku rozwiązywania problemu analizy (Tabela 23) odpowiedź uzyskano w trybie online (poniżej 1200 s). Z kolei w przypadku problemu syntezy (Tabele 24 i 25) wspomaganie decyzji w trybie online jest jednak ograniczone tylko do zakłóceń obejmujących maksymalnie 3 pracowników ($\omega = 3$). Natomiast gdy uwzględniane jest zakłócenie związane z realizacją dodatkowego projektu Q_8 ($\lambda = 10$), uzyskano niższe wartości odporności R_{ω}^{λ} (Tabela 23 i Tabela 24) niż w przypadku wyłącznie zakłóceń absencji pracowniczej ($\lambda = 0$).

Warto zauważyć, że czas rozwiązywania problemu syntezy (Tabele 24 i 25) jest dłuższy w sytuacjach gdy uwzględniane są zakłócenia związane z koniecznością realizacji nieplanowanego dodatkowego projektu Q_8 ($\lambda = 10$).

6.3. Podsumowanie weryfikacji metody

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów demonstrują możliwość wykorzystania metody w planowaniu kompetencji pracowników, rozwoju zawodowego posiadanej kadry, a przede wszystkim planowania kadr w warunkach ciągłych zmian, biorącym pod uwagę nieplanowane zdarzenia (absencje, zlecenie dodatkowych czynności itp.). Zaprezentowane przykłady projektów realizowanych w uczelni wyższej i przedsiębiorstwie branży IT mogą służyć jako punkt wyjścia do dalszych badań opracowanego rozwiązania w innych branżach.

W tym kontekście przyszłe prace będą koncentrować się na opracowaniu modułu obliczeniowego, który może być używany jako nakładka programowa dla dostępnych na rynku komercyjnych Systemów Wspomagania Decyzji (SWD) wykorzystywanych w zarządzaniu zasobami ludzkimi.

6.4. Wnioski z rozdziału

1. Dla danych pozyskanych z dwóch organizacji (uczelnia wyższa i przedsiębiorstwo branży IT), pokazano możliwość zastosowania metody PSK w zakresie analizy odporności struktur kompetencji oraz syntezy struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia (absencje i zlecenie dodatkowych operacji).
2. Zakres wsparcia podejmowania decyzji obejmuje:
 - ocenę odporności zadanej struktury kompetencji,
 - syntezę struktury kompetencji gwarantującej zadaną odporność,
 - syntezę struktury kompetencji nowo zatrudnionych pracowników.
3. Wsparcie decyzji w trybie online (poniżej 1200 s) jest możliwe dla organizacji, w których liczba pracowników nie przekracza 150 a liczba operacji portfela projektów nie przekracza 500.
4. Uzupełnienie kompetencji pracowników zgodnie z wyznaczonymi strukturami kompetencji pozwala uniknąć konsekwencji (związanych np. z utratą ciągłości realizacji projektów) powodowanych przez wystąpienia zakłóceń absencji pracowniczych oraz konieczności realizacji nieplanowanych, dodatkowych zleceń. Inaczej mówiąc, zgodnie z założoną hipotezą, metoda PSK, bazująca na paradygmacie programowania deklaratywnego pozwala na syntezę struktur kompetencji (w trybie online) odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń.

7. Podsumowanie

Część I rozprawy, dotyczy problemu planowania struktur kompetencji w organizacji realizującej projekty. W tym celu przyjęto następujące definicje elementów składowych tej klasy problemów:

- kompetencje – zbiór cech pracownika, które używane i rozwijane w procesie pracy prowadzą do osiągnięcia rezultatów zgodnych z założonymi celami⁷,
- struktura kompetencji – kompetencje będące w posiadaniu zespołów ludzkich (wielu osób) przedstawione w postaci binarnej maczy kompetencji⁸,
- zakłócenie – nieprzewidziane zdarzenie zachodzące w trakcie realizacji projektu⁹,
- odporność struktury kompetencji – miara określająca w jakim stopniu struktura kompetencji gwarantuje realizację przyjętego planu mimo wystąpienia określonego rodzaju zakłóceń¹⁰,

W ogólności problem planowania struktur kompetencji sprowadza się do poszukiwania takiej ich postaci, które gwarantują realizację zadanych celów (np. ukończenie portfela projektów w zadanym horyzoncie czasu). Zauważono, że istniejące w literaturze przedmiotu rozwiązania tego problemu obejmują przypadki, w których nie uwzględnia się występowania zakłóceń, takich jak jednoczesne absencje pracowników, realizacja nieplanowanych, dodatkowo zlecanych czynności itp. Wprowadzone w tym kontekście pojęcie odpornej struktury kompetencji pozwoliło sformułować nowy problem planowania struktury kompetencji odpornej na wybrany zbiór zakłóceń.

Nowe sformułowanie problemu pozwoliło w szczególności wyróżnić 4 pod problemy zakładające (Rys. 37):

- brak występowania zakłóceń: problem przydziału czynności do pracowników,
- brak występowania zakłóceń: problem harmonogramowania czynności,
- występowanie zakłóceń: problem przydziału czynności do pracowników,
- występowanie zakłóceń: problem harmonogramowania czynności.

Wsparcie decyzji w zakresie wyżej wymienionych pod problemów planowania przydziału jest możliwe w dwóch aspektach: analizy aktualnych możliwości organizacji (np. oceny

⁷ Strona 31

⁸ Strona 51

⁹ Strona 68

¹⁰ Strona 73

realizowalności portfela projektów dla zadanego przydziału czynności) i syntezy struktury wybranych elementów organizacji gwarantujących oczekiwaną realizację zleceń (np. syntezy struktury kompetencji gwarantującej odporność na wybrany zbiór zakłóceń).

		Planowanie struktur kompetencji	
		Przydział czynności do pracowników	Harmonogramowanie czynności
Występowanie zakłóceń	Brak zakłóceń	Problem przydziału bez zakłóceń problem analizy: Czy struktura kompetencji gwarantuje przydział czynności do pracowników? problem syntezy: Jakie zmiany w strukturze kompetencji gwarantują dopuszczalny przydział czynności do pracowników?	Problem harmonogramowania czynności bez zakłóceń problem analizy: Czy struktura kompetencji gwarantuje dopuszczalny harmonogram czynności spełniający zadane ograniczenia? problem syntezy: Jakie zmiany w strukturze kompetencji gwarantują dopuszczalny harmonogram czynności spełniający zadane ograniczenia?
	Zakłócenia np. absencje, zmiany w zakresie realizowanych czynności	Problem przydziału z zakłóceniami problem analizy: Czy struktura kompetencji gwarantuje przydział czynności do pracowników w przypadku wystąpienia wybranych zakłóceń? problem syntezy: Jakie zmiany w strukturze kompetencji gwarantują dopuszczalny przydział czynności do pracowników w przypadku wystąpienia wybranych zakłóceń?	Problem harmonogramowania z zakłóceniami problem analizy: Czy struktura kompetencji gwarantuje dopuszczalny harmonogram czynności spełniający zadane ograniczenia w przypadku wystąpienia wybranych zakłóceń? problem syntezy: Jakie zmiany w strukturze kompetencji gwarantują dopuszczalny harmonogram czynności spełniający zadane ograniczenia w przypadku wystąpienia wybranych zakłóceń?

Rys. 37. Taksonomia problemów planowania struktur kompetencji (opracowanie własne)

O ile w literaturze szeroko opisywane są rozwiązania dedykowane problemom przydziału i harmonogramowania czynności w środowiskach bez występujących zakłóceń o tyle brakuje rozwiązań dla problemów zakładających możliwość ich występowania. W szczególności brakuje metod wspierających decydentów w zakresie planowania przydziału, a w szczególności rozwiązywania problemów analizy i syntezy problemu przydziału z zakłóceniami (wyodróżnione na Rys. 37) tj. odpowiedzi na pytania:

- *Jaką odpornością R_{ω}^{λ} na zadane zakłócenia charakteryzuje się struktura kompetencji G , zespołu pracowników \mathcal{P} realizujących portfel projektów Q ?*

- *Czy istnieje struktura kompetencji G (a jeśli tak to jaka jest jej minimalna postać) zespołu pracowników \mathcal{P} realizujących portfel projektów \mathcal{Q} , która gwarantuje zadaną wartość odporności R_ω^λ ($R_\omega^\lambda \geq R^*$) na występowanie zadanych zakłóceń?*

Zgodnie z przyjętymi ustaleniami, głównym celem rozprawy było opracowanie metody wspomagającej planowanie (analizę i syntezę) struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia powodowane absencją pracowniczą i/lub koniecznością realizacji nieprzewidzianych wcześniej czynności.

W części II przedstawiono przebieg i wyniki badań własnych. Opracowano model referencyjny dla problemu planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia będący podstawą dalszych prac. W szczególności zdefiniowano miarę ilościową odporności struktury kompetencji R_ω^λ , której wartość określa zdolność zatrudnionego zespołu pracowników do przyjmowania dodatkowych obowiązków (zastępstw) w przypadku absencji ω pracowników i występowania λ dodatkowych czynności.

Przeprowadzono dyskusję na temat funkcjonalności oferowanych przez komercyjnie dostępne systemy wspomagania (systemy klasy HRMS/CMS) i wskazano na fakt braku rozwiązań wspierających decydenta w zakresie planowania struktur kompetencji zespołów projektowych w warunkach występowania zakłóceń. Opracowano autorską metodę PSK umożliwiającą analizę odporności oraz syntezę struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń, oraz wskazano na możliwość jej wykorzystania w systemach klas HRMS/CMS. Przeprowadzono dyskusję dostępnych metod obliczeniowych uzasadniającą wybór metody programowania deklaratywnego i jej implementację w metodzie PSK.

Efektywność metody PSK, implementowanej w wybranym środowisku programowania deklaratywnego, zweryfikowano eksperymentalnie na danych pochodzących z dwóch organizacji: uczelni wyższej (Wydział Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej) i przedsiębiorstwa branży IT (firma Kaliop Poland Sp. z o.o.).

7.1 Rezultaty

W wyniku prowadzonych badań osiągnięto cel pracy, a w szczególności:

- a) sformułowano nowy problem planowania struktur kompetencji (problem przydziału z zakłóceniami) uwzględniający wprowadzoną definicję odporności struktury kompetencji (Rys. 37),

- b) opracowano referencyjny model (bazujący na paradygmacie programowania deklarytywnego) dla problemu planowania SK odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń,
- c) opracowano warunek wystarczający, którego spełnienie gwarantuje istnienie niepustej przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych (tzn. istnienie struktury kompetencji odpornej na wybrane rodzaje zakłóceń),
- d) opracowano autorską metodę PSK pozwalającą dokonywać analizy odporności oraz syntezy struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń,
- e) opracowano prototyp systemu wspomagającego decydenta w zakresie predyktywno-reaktywnego planowania struktur kompetencji, a w szczególności analizy i syntezy odpornych struktur kompetencji,
- f) przeprowadzono badania (na danych rzeczywistych) weryfikujące przydatność metody PSK do rozwiązywania (w trybie online) problemów tak analizy odporności struktur kompetencji, jak i syntezy struktur kompetencji odpornych na wybrane zakłócenia.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że możliwa jest synteza odpornych struktur kompetencji dla portfeli projektów nie przekraczających 500 czynności, realizowanych przez maksymalnie 150 pracowników. Dla takich instancji problemów wyznaczenie odpowiedzi na stawiane pytania odbywa się w czasie poniżej 20 minut (w trybie online).

Z powyższych konkluzji wynika, że hipoteza postawiona w rozdziale 3, przyjmująca, że wykorzystanie technik obliczeniowych bazujących na paradygmacie programowania deklarytywnego pozwala na syntezę struktur kompetencji odpornych na wybrane rodzaje zakłóceń w trybie online, została zweryfikowana pozytywnie (wykazana).

Osiągnięte rezultaty stanowią autorski wkład w rozwój nauk o zarządzaniu i jakości w obszarze teorii odpornego planowania przydziału czynności pracowników do zadań, zarządzania kompetencjami, planowania rozwoju kadry, controllingu personalnego itp. Praktycznym wynikiem pracy jest prototyp systemu (SysPSK), bazujący na opracowanej metodzie PSK, wspierający planistów w zakresie:

- proaktywnego wariantowania zmian struktury kompetencji gwarantujących jej odporność na zadane zakłócenia,
- reaktywnego wariantowania zmian przydziału czynności powodowanych przyjętymi rodzajami zakłóceniami.

Przedstawione wyniki mogą być punktem wyjścia do opracowania innych pochodnych metod zarządzania kompetencjami, jak np. metod wspomagania planowania zespołów projektowych uwzględniających efekt uczenia się i zapominania.

7.2. Kierunki dalszych badań

Opracowana metoda PSK jest dedykowana dla organizacji realizujących projekty, w których występują dwa rodzaje zakłóceń: absencje pracowników i/lub obsługa dodatkowych, wcześniej nie planowanych zleceń. Spotykane w rzeczywistości zakłócenia mogą być również innego rodzaju i dotyczyć np.: zmian czasu trwania czynności, występowania opóźnień w rozpoczęciu/zakończeniu czynności, występowania wymuszeń zmian kolejność realizowanych czynności itp. W tym kontekście, kierunki przyszłych badań winny być ukierunkowane na odpowiednie rozszerzenia modelu referencyjnego o inne, wybrane rodzaje zakłóceń spotykane w praktyce.

Istotnym ograniczeniem przyjętego modelu referencyjnego jest jego dyskretny charakter. Spotykane w rzeczywistości dane mają niepewny, stochastyczny lub rozmyty charakter (np. czas trwania czynności około 5 dni) co implikuje konieczność uwzględnienia stosownej, stochastycznej lub rozmytej reprezentacji.

W przyjętym modelu założono, że organizacja posiada stałą kadrę pracowników. W rzeczywistości wiele organizacji projektowych rekrutuje pracowników/wykonawców o wymaganych kompetencjach tylko na czas trwania konkretnego projektu. Wiąże się to z koniecznością poszukiwania/doboru członków zespołu spośród dostępnej puli kandydatów. W kontekście tak rozumianego outsourcingu pracowników, realnym staje się proaktywne planowanie struktury kompetencji, nie limitowane brakiem dostępu do rynku pracowników. Dalsze prace ukierunkowano na rozszerzenie opracowanego modelu referencyjnego w zakresie kompletowania zespołów projektowych, których struktury kompetencji są odporne na wybrane rodzaje zakłóceń.

Wątkiem wartym podjęcia w zakresie przyszłej modyfikacji modelu jest ocena kosztów i czasochłonności zmian w strukturze kompetencji. Przedstawiany w rozprawie model zakłada, że koszt/czas każdej nabytej kompetencji jest taki sam. Wprowadzając odpowiednie parametry kosztu i czasu możliwym stanie się poszukiwanie takich wariantów struktur kompetencji, które będą mogły znaleźć również swoje ekonomiczne uzasadnienie.

Odrębnym kierunkiem badań jest poszukiwanie metod rozwiązywania w trybie online problemów większej skali niż te wcześniej zaprezentowane przypadki. Perspektywicznym zagadnieniem w tym zakresie jest dekompozycja problemów (programowanie dynamiczne) obejmująca techniki zapewniające rozwiązania przybliżone (wyszukiwanie Tabu, algorytmy populacyjne). W celu czasowo efektywnego poszukiwania rozwiązań, równoległe prowadzonym wątkiem badań jest wykorzystanie różnych wariantów podejścia hybrydowego (Sitek i Wikarek, 2018) do implementacji już opracowanego modelu.

Dalsze prace skoncentrowane zostaną na budowie systemu interakcyjnego planowania struktur kompetencji odpornych na zakłócenia, wykorzystywanego m.in. w controllingu zasobów ludzkich. Wdrożenie tego typu funkcjonalności w systemach klasy HRMS/CMS umożliwi wczesne wykrywanie potrzeb i szybkie wariantowanie alternatywnych decyzji w zakresie zarządzania kompetencjami zatrudnianej kadry. Rozwiązanie takie pozwoli na podejmowanie decyzji personalnych w trybie online wymuszanych przez absencję i/lub fluktuację personelu, zmiany legislacyjne, modyfikacje zakresu zleceń, zmiany wymagań klientów itp.

BIBLIOGRAFIA

1. Adamik A., Matejun M. (2012) Organizacja i jej miejsce w otoczeniu. Organizacja i jej miejsce w otoczeniu, [w:] Zakrzewska-Bielawska A. (red.), Podstawy zarządzania, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa 2012, s. 41-84.
2. Antczak A., Sypniewska B.A. (2017) The Notion of Competence. In: Cross-Cultural Personal Selling. Palgrave Macmillan, Cham
3. Antosz K. (2018), Utrzymanie ruchu – identyfikacja i analiza luki kompetencyjnej, Eksploatacja i Niezawodność 20 (3).
4. Appelbaum E., Bailey T., Berg P., Kalleberg A.L. (2000) Manufacturing advantage: Why high-performance work systems pay off. Cornell University Press
5. Apt K., Wallace M. (2006) Constraint Logic Programming using Eclipse, Cambridge University Press, Cambridge.
6. Armstrong M. (2005) Zarządzanie zasobami ludzkimi, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2002.
7. Bach I. (2008) Zastosowanie programowania z ograniczeniami i logiki rozmytej do budowy zadaniowo zorientowanych systemów interakcyjnego wspomaganie inwestycji. Rozprawa doktorska, PJWSTK, Warszawa.
8. Banaszak Z. (2009) Modele i algorytmy sztucznej inteligencji. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
9. Baran M., Kłos M. (2013) Metody zarządzania projektami unijnymi realizowanymi przez uczelnie wyższe. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Tom XIV, Zeszyt 11, Część II, 7-17.
10. Barbosa J.L.V., Kicha M.R., Barbosa D.N.F., Kleina A.Z., Rigo S.J. (2015) DeCom: A mod-el for context-aware competence management. Computers in Industry, vol. 72, 27–35.
11. Bartkowiak G. (2003) Skuteczny kierownik – model i jego empiryczna weryfikacja, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2003.
12. Becker B., Huselid M. (2006) Strategic Human Resources Management: Where Do We Go From Here? Journal of Management Volume 32, Issue 6, 898-925.
13. Belbin M. (2003) Twoja rola w zespole. GWP, Gdańsk.
14. Berliński L., Gralak H., Sitkiewicz F. (2003) Przedsiębiorstwo. Zarządzanie zasobami, Oficyna Wydawnicza AJG, Bydgoszcz 2003.
15. Beyer K. (2012). Kapitał intelektualny jako podstawa przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, 25, 241–254.
16. Bielińska N. (2017) Matryce kompetencji jako narzędzie wspomagające zarządzanie zasobami ludzkimi w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Tom XVIII, Zeszyt 3, Część II, 155–169.
17. Bielski M. (2005) Podstawy teorii organizacji i zarządzania. Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
18. Biruk S. (2018) Metodyka planowania realizacji zbioru zleceń przedsiębiorstwa budowlanego. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin.

19. Bocewicz G., Bach-Dąbrowska I., Banaszak Z. (2009) Deklaratywne projektowanie systemów komputerowego wspomaganie planowania przedsięwzięć. Wydawnictwo EXIT, Warszawa.
20. Bocewicz G, Bzdyra K, Banaszak Z. (2016) Robust Scheduling Subject to Multi-project Environment Constraints. In: Szewczyk R., Zieliński C., Kaliczyńska M. (eds.) Challenges in Automation, Robotics and Measurement Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 440. Springer, 115–126.
21. Bochenek M. (2015) Personalne aspekty sukcesu projektu edukacyjnego realizowanego z zastosowaniem metodyk zwinnych. Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Nr 244, 7-16.
22. Bolles D. (2012) Building Project Management Centers of Excellence. Amacom, New York 2012;
23. Bombiak E. (2017) Human resources risk as an aspect of human resources management in turbulent environments. In: Pînzaru F., Zbucnea A., Brătianu C., Vătămănescu E.M., Mitan A. (eds.) Shift! Major challenges of today's economy. Bucharest: Tritonic Publishing House, 121-132.
24. Boyatzis R.E. (1982) The competent manager: a model for effective performance. New York: Wiley.
25. Bożejko W., Pempera J. (2012) Optymalizacja dyskretna w informatyce, automatyce i robotyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
26. Branowska A., Siemieniak P., Spychała M. (2012) Zarządzanie kompetencjami w tradycyjnych i nowoczesnych organizacjach. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
27. Bugaj J. (2014) Bilansowanie kompetencji nauczycieli akademickich – rekomendacja dla procesu. Zarządzanie kapitałem ludzkim w warunkach niestabilności otoczenia (Red.) J. Kardas, Wydawnictwo Studio Emkas. 197-206.
28. Butkiewicz M. (1995) Struktura modelu polskich standardów kwalifikacyjnych, „Edukacja i praca” – projekt badawczy KBN nr 1 P113 001 06, Warszawa, s. 29-30.
29. Cakrt M. (2006) Kto jest kim. Typy osobowości dla menadżerów. Wydawnictwo ONE Press, Warszawa.
30. Cardy R.L., T.T. Selvarajan (2006) Competencies: Alternative frameworks for competitive advantage, Business Horizons 49.
31. Cascio, W. (2001). Kalkulacja kosztów zasobów ludzkich. Kraków: Oficyna Ekonomiczna, Dom Wydawniczy ABC.
32. Chen T.-Y. (2001) Using competence sets to analyze the consumer decision problem, European Journal of Operational Research 128, 98-118.
33. Chen T.-Y. (2002) Expanding competence sets for the consumer decision problem, European Journal of Operational Research 138, 622–648.
34. Cheng M.I., Dainty A.R.J., Moore D.R. (2003) The differing faces of managerial competency in Britain and America, (w:) “Journal of Management Development”, Vol. 22 Iss 6.
35. Chmielarz W. (2012) Kryteria wyboru metod zarządzania projektami informatycznymi. Problemy Zarządzania, vol. 10, nr 3, (38), 25-40.

36. Chrościcki Z. (2001) Zarządzanie projektem-zespołami zadaniami, C.H Beck, Warszawa.
37. Cobb Ch. (2012) Zrozumieć Agile Project Management. Równowaga kontroli i elastyczności, APN Promise, Warszawa.
38. Coram M., Bohner S. (2005) The impact of agile methods on software project management. Proceedings of the 12th IEEE International Conference and Workshops on Engineering of Computer-Based Systems, IEEE Computer Society, Washington.
39. Council of Europe (1997), Key competencies for Europe, Report of the Symposium in Berne 27-30 March 1996, Council of Europe, Strasbourg.
40. Cyfert S., Dyduch W., Latusek-Jurczak D., Niemczyk J., Sopińska A. (2014), Subdyscypliny w naukach o zarządzaniu – logika wyodrębnienia, identyfikacja modelu koncepcyjnego oraz zawartość tematyczna. Organizacja i Kierowanie, nr 1 (161).
41. Czajor P. (2006) Ryzyko w realizacji usług budowlanych i remontowych, [w:] Sobańska I. (red.), Rachunkowość w przedsiębiorstwie budowlanym, Difin, Warszawa 2006.
42. Czapla T. (2010) Zintegrowany model kompetencji. Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica 234, 199-211.
43. Czermiński A., Grzybowski M., Ficoń K. (1999) Podstawy organizacji i zarządzania. Wyższa Szkoła Administracji i Biznesu w Gdyni 1999.
44. Czop K. (2016), Zdolność organizacji do zmian i jej wpływ na proces zarządzania zmianą. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie Nr 24 t. 2, 69–81.
45. Dillon J., Kontogiorgis S. (1999) US Airways optimizes the scheduling of reserve flight crews. Interfaces 1999; 29(5): 95–122.
46. Dinsmore P.C., Cabanis-Brewin J. (2006) The AMA handbook of project management, Amacom, New York 2006.
47. Draganidis F., Mentzas G. (2006) Competency based management: a review of systems and approaches. (w:) "Information Management & Computer Security", Vol. 14, No. 1.
48. Dubois D.D., Rothwell W.J. (2008) Zarządzanie zasobami ludzkimi oparte na kompetencjach. Wydawnictwo Helion, Gliwice.
49. Dudzińska-Głaz J. (2012) Zarządzanie kompetencjami pracowników jako jeden z elementów strategicznego zarządzania zasobami ludzkimi. Zarządzanie kapitałem intelektualnym w organizacji inteligentnej, (Red.) W. Harasim, Wyższa Szkoła Promocji, Warszawa 2012.
50. Dück V., Ionescu L., Kliewer N., Suhl L. (2012) Increasing stability of crew and aircraft schedules. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 2012; 20(1): 47–61.
51. Dziedziczak-Foltyn A. (2006) Nauczyciele akademicki jako prekursorzy i moderatorzy społeczeństwa wiedzy. Nauka i Szkolnictwo Wyższe, nr 2/28/2006, 65-77.
52. Ehrgott M., Ryan D.M. (2002) Constructing robust crew schedules with bi-criteria optimization. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 2002; 11(3): 139–150.
53. Engel C., Tamljidi A., Quadejacob N. (2008) Erfolge und Scheitern im Projektmanagement, GPA/PA Consulting Group 2008.
54. Etzioni A. (1961) Comparative analysis of complex organizations, Free Press, New York 1961.

55. Feng J.W., Yu P.L. (1998) Minimum Spanning Table and Optimal Expansion of Competence Set, *Journal of Optimizations Theory and Applications*, vol. 99, No. 3, 655-679.
56. Filipowicz G. (2004) Zarządzanie kompetencjami zawodowymi, PWE, Warszawa.
57. Filipowicz G. (2019) Zarządzanie kompetencjami. Perspektywa formowa i osobista. Wolters Kluwer, Warszawa.
58. Frame J.D. (2001) Zarządzanie projektami w organizacjach. WIG-Press, Warszawa.
59. Frączkowski K. (2003) Zarządzanie projektem informatycznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
60. Furman J. (2016) Poprawa skuteczności utrzymania maszyn w przedsiębiorstwie produkcyjnym – studium przypadku. *Komputerowe zintegrowane zarządzanie*, 2016: 548-557.
61. Gangani N., McLean G., Braden R. (2006) A competency-based human resources development strategy. *Performance Improvement Quarterly*, 19 (1), 127–139.
62. Gaschi-Uciecha A. (2015), Zakłócenia w procesach logistycznych przedsiębiorstw produkcyjnych – badania literaturowe, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 78., 131-141.
63. Głodziński E. (2014) Zarządzanie projektami w warunkach niepewności — zakres i metodyka. *Przegląd Organizacji* 7/2014, 34-40.
64. Gnatowski A. (2019) Właściwości i algorytmy dla systemów wytwarzania z maszynami równoległymi. Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska.
65. Goleman D. (1997) Inteligencja emocjonalna w praktyce, Media Rodzina, Poznań.
66. Graber J. (2012) Core competency identification. Dostęp na stronie internetowej w dniu 1.04.2020 https://cdn.shopify.com/s/files/1/0123/4072/files/Core_Competency_Identification_Whitepaper.pdf
67. Griffin R.W. (2017) Podstawy zarządzania organizacjami, WN PWN, Warszawa.
68. Hartmann S., Briskorn D. (2012) A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 1–14.
69. Hazir O, Haouari M, Erel E (2010) Robust scheduling and robustness measures for the discrete time/cost trade-off problem. *European Journal of Operational Research* 2010; 207(1): 633–643.
70. Heilpern S. (2001) Podejmowanie decyzji w warunkach ryzyka i niepewności, Wydawnictwo AE, Wrocław.
71. Heywood L., Goncz A., Hager P. (1992) A guide to development of competency standards for professions. Canberra, Australian Government Publishing Service.
72. Hu Y.-Ch., Tzeng G.-H., Chen C.-M. (2004) Deriving two-stage learning sequences from knowledge in fuzzy sequential pattern mining, *Information Sciences* 159, 69–86.
73. Hu Y.-Ch., Chen R.-S., Tzeng G.-H., Chiu Y.-J. (2003) Acquisition of Compound Skills and Learning Costs for Expanding Competence Sets, *Computers and Mathematics with Applications* 46, 831-848.

74. Huang J.-J., Tzeng G.-H., Ong C.-S. (2006) Optimal fuzzy multi-criteria expansion of competence sets using multi-objectives evolutionary algorithms, *Expert Systems with Applications* 30, 739–745.
75. Ingels J, Maenhout B. (2015) The impact of reserve duties on the robustness of a personnel shift roster: an empirical investigation. *Computers & Operations Research* 2015; 61: 153–169. doi: 10.1016/j.cor.2015.03.010.
76. Ingels J, Maenhout B. (2019) Optimised buffer allocation to construct stable personnel shift rosters. *Omega* 2019; 82: 102–117. doi: 10.1016/j.omega.2017.12.006
77. Ionescu L, Kliewer N. (2011) Increasing flexibility of airline crew schedules. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2011; 20: 1019–1028.
78. Janowska Z. (2001) Zarządzanie zasobami ludzkimi. Wyzwanie XXI wieku. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
79. Jasińska J. (2015) Zmiany w organizacjach. Sprawne zarządzanie, sytuacje kryzysowe i warunki osiągnięcia sukcesu. Wydanie I, Wydawnictwo FREL, Nowy Dwór Mazowiecki.
80. Jaskanis A., Marczevska M., Darecki M. (2015) Zarządzanie projektami w administracji publicznej, Wrocław.
81. Józefowska J. (2012) Badania operacyjne i teoria optymalizacji, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
82. Juchnowicz M., Sienkiewicz Ł. (2006) Jak oceniać pracę? Wartość stanowisk i kompetencji, Difin, Warszawa 2006.
83. Jurek P. (2012) Metody pomiaru kompetencji zawodowych. Zeszyt informacyjno-metodyczny doradcy zawodowego Nr 54, Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej, Warszawa.
84. Kalmi P., Kauhanen A. (2008) Workplace Innovations and Employee Outcomes: Evidence from Finland. *Industrial Relations*, Vol. 47, No. 3, 430-459.
85. Kasperek M. (2011) Zarządzanie projektem, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2011.
86. Kerzner H. (2005) *Advanced Project Management*, Helion, Gliwice.
87. Kerzner H. (2017) *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. Wiley.
88. Klett F. (2010) The Design of a Sustainable Competency-Based Human Resources Management: A Holistic Approach. *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, No 3.2010, Vol 2.
89. Klimek M. (2010) Predyktyno-reaktywne harmonogramowanie produkcji z ograniczoną dostępnością zasobów. Rozprawa doktorska. Kraków 2010.
90. Kopczyński T. (2014) Rola i kompetencje kierownika projektu w zwinnym zarządzaniu projektami na tle tradycyjnego podejścia do zarządzania projektami. *Studia Oeconomica Posnaniensia*, 2(9), 101-114.
91. Kostrzewska M. (2019) Metoda simpleks na przykładzie problemu decyzyjnego przedsiębiorstwa produkującego panele solarne. *Zeszyty Naukowe ZPSB FIRMA i RYNEK* 2019/2 (56), s. 73-83.

92. Koziół-Nadolna K. (2014) *Metodyki zarządzania projektami*, [w:] *Zarządzanie projektami w organizacji*, red. K. Janasz i J. Wiśniewska, Wyd. Difin, Warszawa.
93. Kramarz W. (2013) *Modelowanie przepływów materiałowych w sieciowych łańcuchach dostaw. Odporność sieciowego łańcucha dostaw wyrobów hutniczych*. Difin, Warszawa.
94. Król H., Ludwicyński A. (2011) *Zarządzanie zasobami ludzkimi. Tworzenie kapitału intelektualnego organizacji*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
95. Krupski R. (2012) Redundancje zasobów i procedur jako panaceum na niepewność otoczenia. *Organizacja i Zarządzanie*, Nr 2/2012 (151), 11-21.
96. Kubicka-Daab J. (2002) *Budowa modeli kompetencji*, [w:] *Najlepsze praktyki zarządzania kapitałem ludzkim*, (pod red. A. Ludwicyńskiego), Polska Fundacja Promocji Kadr, Warszawa 2002.
97. Kupczyk T. (2014) *Competencies of management staff in the knowledge-based economy*, Wyższa Szkoła Handlowa we Wrocławiu, Wrocław.
98. Kupczyk T., Stor M. (2017) *Zarządzanie kompetencjami: teoria, badania i praktyka biznesowa*, Wrocław: Wyższa Szkoła Handlowa we Wrocławiu.
99. Lachiewicz S. (2007) *Menedżerowie w strukturach władzy organizacji gospodarczych*, PWE, Warszawa 2007.
100. Lelek K. (2018) Zarządzanie wiedzą i potencjał społeczny organizacji w kontekście jej rozwoju. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, nr 54 (2/2018), 356-364.
101. Lendzion J., Stankiewicz-Mróż A. (2005) *Wprowadzenie do organizacji i zarządzania*. Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2005.
102. Levy-Leboyer C. (1997) *Kierowanie kompetencjami. Bilans doświadczeń zawodowych*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 1997.
103. Li H.-L. (1999) Incorporating competence sets of decision makers by deduction graphs, *Operations Research*, Mar/Apr 47(2), 209-220.
104. Li J.-M., Chiang Ch.-I., Yu P.-L. (2000) Optimal multiple stage expansion of competence set, *European Journal of Operational Research* 120, 511-524.
105. Lin Ch.-Ch. (2006) Competence set expansion using an efficient 0-1 programming model, *European Journal of Operational Research* 170, 950–956.
106. Maaß K. (2006) What are modelling competencies? *ZDM 2006 Vol. 38 (2)*, 113-142.
107. Malen J., Vaaler P.M. (2017), *Organizational Slack, National Institutions and Innovation Effort around the World*, “*Journal of World Business*”, Vol. 52, 782-797.
108. Małachowski B. (2008) *Zintegrowany model podejmowania decyzji o doborze kompetentnych partnerów do projektu badawczego*. Rozprawa doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2008.
109. Małachowski B., Korytkowski P. (2016) Competences-based performance model of multi-skilled workers. *Computers & Industrial Engineering*, 91, 165–177.
110. Marciniak S., Głodziński E. (2005) *Controlling jako instrument redukujący poziom niepewności decyzji gospodarczych*, [w:] Pyka J. (red.), *Nowoczesność przemysłu i usług. Współczesne koncepcje i metody zarządzania przedsiębiorstwami*, Wyd. TNOiK, Katowice 2005.

111. Marek S., Białasiewicz M. (2008) Podstawy nauki o organizacji, PWE, Warszawa 2008.
112. Marek-Kołodziej K., Łapuńska I. (2015) Badanie efektywności zespołów projektowych według modelu Belbina na przykładzie dużych projektów budowlano-montażowych. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, Tom XVI, Zeszyt 5, Część II, 113-126.
113. Marek-Kołodziej K., Łapuńska I. (2015) Podejmowanie decyzji dotyczących zaopatrzenia materiałowego inwestycji z uwzględnieniem warunków ryzyka. *Logistyka* 4/2015, 4754-4763.
114. Markowski W. (2014) ABC small businessu, Wydawnictwo Marcus, Łódź.
115. Marlin D., Geiger S.W. (2015) A Reexamination of the Organizational Slack and Innovation Relationship, "Journal of Business Research", Vol. 68, 2683-2690.
116. Maruszewski T. (2001) Psychologia poznania, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Sopot.
117. Mikuła B. (2001) Elementy nowoczesnego zarządzania. W kierunku organizacji inteligentnych. Wydawnictwo Antykwa, Kraków.
118. Mingus N. (2009) Zarządzanie projektami, Wydanie II, Helion, Gliwice.
119. Misiurek B. (2015) Metodyka standaryzacji autonomicznych działań eksploatacyjnych zorientowana na poprawę efektywności maszyn zautomatyzowanych. Praca doktorska, Uniwersytet Technologiczny we Wrocławiu.
120. Moczydłowska J.M. (2008) Zarządzanie kompetencjami zawodowymi a motywowanie pracowników. Difin, Warszawa.
121. Morawski M. (2006) Zarządzanie wiedzą. Organizacja – system – pracownik, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
122. Morawski M., Niemczyk J., Perechuda K., Stańczyk-Hugiet E. (2010) Zarządzanie. Kanony i trendy. C.H. Beck.
123. Moreira J., Reis, L. (2013) Multi-Agent System for Teaching Service Distribution with Coalition Formation. In: Rocha, Á., Correia, A.M., Wilson, T., Stroetmann, K.A. (eds.) *Advances in Information Systems and Technologies*, 599 – 609.
124. Moudani W., Mora-Camino F. (2010) Solving crew reserve in airlines using dynamic programming approach. *International Journal of Optimization: Theory, Methods and Applications* 2010; 2(4): 302–329.
125. Narojczyk S. (2018) Zarządzanie kompetencjami przedsiębiorstw w procesie kształtowania ich konkurencyjności. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
126. Niederliński A. (2014) Programowanie w logice z ograniczeniami. Łagodne wprowadzenie do platformy ECL'PS^e. Gliwice 2014.
127. Niemi E., Laine S. (2016) Competence Management as a Dynamic Capability: A Strategic Enterprise System for a Knowledge-Intensive Project Organization, Conference: Hawaii International Conference on System Sciences, At Kauai, Hawaii, USA.
128. Nogalski B., Szpitter A (2007) Dylemat niepewność versus planowanie strategiczne w rozwoju przedsiębiorstwa. [w:] Krupski R. (Red.) *Planowanie strategiczne w warunkach niepewności*, Wałbrzyska Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości, Wałbrzych 2007.

129. Oberlander G.D. (2000) *Project Management for Engineering and Construction*. McGraw-Hill, Boston 2000.
130. Oleksyn T. (2017) *Zarządzanie kompetencjami. Teoria i praktyka*, Wydanie III, Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
131. Oleksyn T. (2016) *Zarządzanie zasobami ludzkimi w organizacji*, Wydanie IV, Wolters Kluwer, Warszawa.
132. Orczyk (2009) Wokół pojęć kwalifikacji i kompetencji. *Zarządzanie Zasobami Ludzkimi* nr 3-4, s. 19-32.
133. Papadimitriou C.H (1994) *Computational complexity*. Addison Wesley Longman. Reading, MA, USA.
134. Pawlak M. (2006) *Zarządzanie projektami*. PWN, Warszawa.
135. Pączek E., Wyrozębski P. (2018) Typologia projektów zarządzanych przez uczelnie wyższe w Polsce, [w:] *Determinanty i modele procesów gospodarczych*, pr. zb. pod red. G. Poniatowskiego. Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, 285–296.
136. Perrenoud P. (1997) *Construire des compétences dès l'école, Pratiques et enjeux pédagogiques*, ESF éditeur, Paris.
137. Perrett M. (1991) Using constraint logic programming techniques in container port planning. *ICL Technical Journal*, 537–545.
138. Piotrkowski K. (2006) *Organizacja i zarządzanie*. AlmaMer, Warszawa 2006.
139. PMBoK (2017) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Sixth Edition*, PMI, USA, 2017.
140. Poczowski A. (2016) *Zarządzanie zasobami ludzkimi*. PWE, Warszawa.
141. Poczowski A., Miś A. (2000) Modelowanie kompetencji kierowniczych w aspekcie kreowania kapitału ludzkiego w organizacji. [W:] *Kształtowanie kapitału ludzkiego firmy* (Red.) Kożuch B., Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
142. Potthoff D., Huisman D., Desaulniers G. (2010) Column generation with dynamic duty selection for railway crew rescheduling. *Transportation Science* 2010; 44(4): 493–505.
143. Pritchard C.L. (2001) *Zarządzanie ryzykiem w projektach. Teoria i praktyka*, WIG-Press, Warszawa.
144. Przybysz M., Kowalska E., Michałowska M., Ciosek D., Kaszubowska K., Skowron-Mielnik B., Wołyńska A., Borkowska-Bierć M., Dybek P., Grzesik M., Sawicka B., Tomicka J. (2014) *Przewodnik do zarządzania kompetencjami wraz z narzędziami*. Praca zbiorowa wydana przez Agencję Rozwoju Pomorza S.A., Gdańsk.
145. Pszczołowski T. (1978) *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*, Ossolineum, Warszawa 1978.
146. Rodney T.J., Müller R. (2003) On the nature of the project as a temporary organization. *International Journal of Project Management*, 21/1, 1-8.
147. Rogozińska-Pawelczyk A. (2006) Kompetencje w organizacji. *ACTA UNIVERSITATIS LODZIENSIS, Folia Oeconomica* 199, 99-120.

148. Romainville M. (1996) L'irrésistible ascension du terme compétence en éducation, *Enjeux*, no. 37/38.
149. Rosenberger J., Schaefer A., Goldsman D., Johnson E., Kleywegt. A, Nemhauser G. (2002) A stochastic model of airline operations. *Transportation Science* 2002; 36(4): 357–377.
150. Rossi F. (2000), *Constraint (Logic) programming: A survey on research and applications*. K.R. Apt et al. (Eds.), *New Trends in Constraints*, LNAI 1865, Springer-Verlag, Berlin, 40-74.
151. Rossi F., Van Beek P., Walsh T. (2006) *Handbook of Constraint Programming (Foundations of Artificial Intelligence)*. In: Elsevier Science Inc., New York, NY.
152. Rowe C. (1995) Clarifying the use of competence and competency models in recruitment, assessment and staff development, (w:) "Industrial and Commercial Training", Vol. 27 Iss 11.
153. Ruzhewicz M., Kłos S. (2014) *Zarządzanie projektami badawczo-rozwojowymi*. Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją Uniwersytetu Zielonogórskiego.
154. Safin K. (2008) *Przedsiębiorczość, przedsiębiorca, mała firma – zagadnienia podstawowe*, [w:] *Zarządzanie małym i średnim przedsiębiorstwem*, red. K. Safin, Wydawnictwo AE im. O. Langego we Wrocławiu, Wrocław 2008.
155. Sajad M., Sadiq M., Naveed K., Iqbal M. (2016) Software Project Management: Tools assessment, Comparison and suggestions for future development. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 16(1), 31-42.
156. Sajkiewicz, A. (2002) *Zarządzanie zasobami pracy i konkurencyjność firmy*. W: A. Sajkiewicz (red.), *Jakość zasobów pracy. Kultura, kompetencje, konkurencyjność*. Poltext, Warszawa.
157. Serrador P., Pinto J.K. (2015) Does Agile Work? – A Quantitative Analysis of Agile Project Success. *International Journal of Project Management* 33(5), 1040-1051.
158. Shi D.S., Yu P.L. (1999) Optimal Expansion of Competence Sets with Intermediate Skills and Compound Nodes, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 102, No. 3, 643-657.
159. Siciński M. (2003) Kwalifikacje czy kompetencje?, *Edukacja i Dialog*, nr 9 (152), Zarząd Główny Społecznego Towarzystwa Oświatowego.
160. Sidor-Rządkowska M. (2020) *Kompetencyjne systemy ocen pracowników – przygotowanie, wdrażanie i integrowanie z innymi systemami ZZL*. Wolters Kluwer, Wydanie III, Warszawa.
161. Sienkiewicz L., Trawińska-Konador K. (2003) *Koncepcja zarządzania zasobami ludzkimi w oparciu o kompetencje*, [w:] Sienkiewicz Ł. (red.) *Zarządzanie zasobami ludzkimi w oparciu o kompetencje. Perspektywa uczenia się przez całe życie*, Instytut Badań Edukacyjnych, Warszawa.
162. Sikora K. (2011) *Model systemu informatycznego do oceny użyteczności zdobywanych kompetencji zawodowych*. Rozprawa doktorska, Szczecin 2011.
163. Simon H.A. (1958) *Administrative behavior*, Macmillan, New York.

164. Sitek P., Wikarek J. (2018) A multi-level approach to ubiquitous modeling and solving constraints in combinatorial optimization problems in production and distribution, *Applied Intelligence* 48, s. 1344–1367.
165. Sitek P., Wikarek J. (2016) A Hybrid Programming Framework for Modeling and Solving Constraint Satisfaction and Optimization Problems. *Scientific Programming* 2016.
166. Sitek T., Ziółkowski A. (2014) Project-factor-decision – decisive factors in it projects and their impact on its success. *Information Systems in Management* Vol. 3 (2) 145–155.
167. Skalik J. (2009) Ryzyko w zarządzaniu projektami, [w:] Skalik J. (red.), *Zarządzanie projektami*, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
168. Sohoni M., Johnson E., Bailey T. (2006) Operational airline reserve crew planning. *Journal of Scheduling* 2006; 9(3): 203–221.
169. Spalek S. (2006) Rekomendacje dla skutecznego zarządzania projektami w przedsiębiorstwie. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 36, Politechnika Śląska, Gliwice.
170. Spencer L.M., Spencer, S.M. (1993) *Competence at Work: Models for Superior Performance*. John Wiley & Sons, New York.
171. Staniec I., Klimczak K. (2015) Panorama ryzyka, *Ryzyko operacyjne w naukach o zarządzaniu* (Red.) Staniec I., Zawila-Niedźwiecki J., Wydawnictwo C.H.Beck, Warszawa 2015.
172. Staniszewska A. (2014) Model kompetencji i kwalifikacji specjalistów do spraw zamówień publicznych w administracji. *Rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska*.
173. Stoner J.A.F., Freeman R.E., Gilbert D.R. (2011) *Kierowanie*, Wydanie II, PWE, Warszawa.
174. Stor M. (2014a) Managerial capital as a source of company's competitive advantage, (w:) *Success in human resources management. Diversity in human capital management – approaches, methods, tools. Economic and managerial issues. Research papers of Wrocław University of Economics* No 349. (ed). M. Stor, T. Listwan, Wrocław University of Economics, Wrocław.
175. Stor M. (2014b) Reconceptualizing Strategic International Human Resources Management in Pursuing Sustainable Competitive Advantage of MNCs (w:) "Human Resource Management". No 6 (10).
176. Strojny J., Szmigiel K. (2015) Analiza porównawcza podejść w zakresie zarządzania projektami. *Modern Management Review*, vol. XX, 22 (3.2015), 249-265.
177. Strużyna J., Bratnicki M., Majowska M., Ingram T. (2008). *Rozwój zarządzania zasobami ludzkimi*. Akademia Ekonomiczna, Katowice 2008.
178. Sudoł S. (2006) *Przedsiębiorstwo. Podstawy nauki o przedsiębiorstwie. Zarządzanie przedsiębiorstwem*. PWE, Warszawa 2006.
179. Sudoł S. (2011) *Formy, rodzaje i typy przedsiębiorstw*, [w:] B. Godziszewski, M. Haffer, M.J. Stankiewicz, S. Sudoł, *Przedsiębiorstwo. Teoria i praktyka zarządzania*, PWE, Warszawa 2011.

180. Sysło M. (1978) O złożoności obliczeniowej problemów kombinatoryki i teorii grafów. *Roczniki Polskiego Towarzystwa Matematycznego. Seria III: Matematyka Stosowana XVI*, 53-98.
181. Szczęsna A., Rostkowski T. (2004) Zarządzanie kompetencjami, w: *Nowoczesne metody zarządzania zasobami ludzkimi*, red. T. Rostkowski, Difin, Warszawa 2004.
182. Szwarc E. (2018) Ocena odporności planu obsady zajęć dydaktycznych na zakłócenie zmiany liczby grup zajęciowych. *Research on Enterprise in Modern Economy – theory and practice*, 3/2018 (25), 2018, 135–145.
183. Szwarc E. (2020) Proaktywne planowanie struktur kompetencji członków zespołu projektowego. W: *Knosala R. (red.) Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze 2. PWE 2020*, 789–799.
184. Szwarc E., Bach-Dąbrowska I. (2018) Narzędziowo wsparte zarządzanie zmianą w procesie planowania obsady zajęć dydaktycznych. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Tom XIX, Zeszyt 10, część II*, 419–437.
185. Szwarc E., Bach-Dąbrowska I., Bocewicz G. (2018) Competence Management in Teacher Assignment Planning, w: *Information and Software Technologies. ICIST 2018. Series: Communications in Computer and Information Science, vol. 920*, red. Damaševičius R., Vasiljeviene G., Springer, 449-460.
186. Szwarc E., Bocewicz G., Bach-Dąbrowska I. (2019a) Planning of teacher staff competence structure robust to unexpected personnel absence. *IFAC-PaperOnLine 52(13)*, 2740-2745.
187. Szwarc E., Bach-Dąbrowska I., Bocewicz G. (2019b) Planowanie obsady zajęć dydaktycznych w warunkach ograniczeń struktury kompetencji. *Controlling w małych i średnich przedsiębiorstwach. Teoria i praktyka*, red. P. Kuźdowicz, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2019, 213–225.
188. Szwarc E., Bocewicz G., Bach-Dąbrowska I., Banaszak Z. (2019c) Declarative Model of Competences Assessment Robust to Personnel Absence. In: *Damaševičius R., Vasiljeviene G. (eds) Information and Software Technologies. ICIST 2019. Series: Communications in Computer and Information Science, vol. 1078*. Springer, Cham, 12–23.
189. Szwarc E., Bocewicz G., Banaszak Z., Wikarek J. (2019d) Competence allocation planning robust to unexpected staff absenteeism. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2019; 21(3)*, 440-450. DOI: 10.17531/ein.2019.3.10
190. Szwarc E., Bocewicz G., Sitek P., Wikarek J. (2020a) Competence-oriented recruitment of a project team robust to disruptions. In: *Intelligent Information and Database Systems. Series: Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 12034*, Springer, pp 13-25.
191. Szwarc E., Wikarek J. (2020) Proactive planning of project team members' competences. *Foundations of Management*, 12(1), 71-84.
192. Szwarc E., Wikarek J., Gola A., Bocewicz G., Banaszak Z. (2020b) Interactive Planning of Competency-Driven University Teaching Staff Allocation. *Applied Sciences* 10(14).
193. Szydłowski G. (2019) Rozwiązania do zarządzania projektami informatycznymi w chmurze. *Journal of Computer Science Institute* 13, 288-292.

194. Tam B., Ehrgott M., Ryan D.M., Zakeri G. (2011) A comparison of stochastic programming and bi-objective optimisation approaches to robust airline crew scheduling. *OR Spectrum* 2011; 33(1): 49–75.
195. Teodorescu, T. (2006). Competence versus competency. What is the difference? *Performance Improvement*, 45 (10), 27–30.
196. Thierry D., Sauret Ch., Monod N. (1994) *Zatrudnienie i kompetencje w przedsiębiorstwach w procesach zmian*, Poltext, Warszawa 1994.
197. Tinelli E., Colucci S., Donini F.M., Di Sciascio E., Giannini S. (2016) Embedding semantics in human resources management automation via SQL. *Applied Intelligence*, 1–31.
198. Topaloglu S., Selim H. (2010) Nurse scheduling using fuzzy modelling approach. *Fuzzy Sets and Systems* 2010; 161(11): 1543–1563. doi: 10.1016/j.fss.2009.10.003
199. Trocki M. (2012) *Nowoczesne zarządzanie projektami*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
200. Trocki M. (2015) *Podstawy planowania przebiegu projektów*, [w:] *Planowanie przebiegu projektów*, (red.) Trocki M., Wyrozębski P., Oficyna Wydawnicza SGH w Warszawie, Warszawa.
201. Trocki M., Grucza B., Ogonek K. (2009) *Zarządzanie projektami*, PWE, Warszawa.
202. Turner J.R. (2009) *The Handbook of Project-Based Management, Leading Strategic Change in Organizations*, McGraw-Hill.
203. Turner D., Crawford M. (1994) *Managing current and future competitive performers: The role of competency*, w: Hamel G., Heene A. (Eds.), *Competency-based competition: Strategic management series*, Wiley, Chichester.
204. Twardochleb M. (2014) Dobór zespołów projektowych z wykorzystaniem metod stochastycznych. *Informatyka Ekonomiczna* 1(31), 223-236.
205. Wachowiak P., Gregorczyk S., Grucza B., Ogonek K. (2004) *Kierowanie zespołem projektowym*, Difin, Warszawa.
206. Walczak W. (2010) Znaczenie i rola projektów w zarządzaniu współczesnymi organizacjami. *Współczesna ekonomia* nr 1/2010(13).
207. Walkowiak R. (2004) *Model kompetencji menedżerów organizacji samorządowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn.
208. Walkowiak R. (2007) *Zarządzanie zasobami ludzkimi. Kompetencje, nowe trendy, efektywność*. Dom Organizatora, Toruń.
209. Wang H.-F., Wang C.-H. (1998) Modelling of Optimal Expansion of a Fuzzy Competence Set, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 5, No. 5, 413-424.
210. Wieczorek-Szymańska A. (2012a) Kluczowe kompetencje organizacji w budowaniu przewagi konkurencyjnej na przykładzie wybranych placówek uniwersalnych banków komercyjnych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, 25, 407–422.
211. Wieczorek-Szymańska A. (2012b) Metody pomiaru kompetencji pracowników w organizacji. *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, 30, 105–115.

212. Wierzbicki A.P. (2018) Teoria i praktyka wspomagania decyzji. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
213. Wojtas-Klima M. (2014) Istota tworzenia modeli kompetencji w przeprowadzeniu efektywnej rekrutacji i selekcji pracowników, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 72, Nr kol. 1918, 197-207.
214. Wójcik A. (2009) Kompetencje pod mikroskopem. *Personel i Zarządzanie*, 2009, nr 4, 72–75.
215. Woodruffe C. (1992) What is meant by competency?, w: R. Boam, P. Sparrow (Eds.), *Designing and achieving competency*, New York, McGraw-Hill.
216. Wyrozębski P. (2007) Elastyczne podejście do zarządzania projektami [w:] *Problemy współczesnej praktyki zarządzania*, red. S. Lachiewicz i M. Matejun, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
217. Wyrozębski P. (2014) *Zarządzanie wiedzą projektową*, Difin, Warszawa.
218. Wyrozębski P. (2015) Zwinne koncepcje i modele planowania przebiegu projektów, [w:] *Planowanie przebiegu projektów*, (red.) Trocki M., Wyrozębski P., Oficyna Wydawnicza SGH w Warszawie, Warszawa.
219. Wysocki R.K. (2013) *Efektywne zarządzanie projektami. Tradycyjne, zwinne, ekstremalne*, Wydanie VI, Wydawnictwo Helion, Gliwice.
220. Vogten H., Koper R., Martens H., van Bruggen J. (2008) Using the Personal Competence Manager as a complementary approach to IMS Learning Design authoring. *Interactive Learning Environments*, vol. 16, No. 1, 83–100.
221. Yu P.L. (1990) *Forming winning strategies: An integrated theory of habitual domains*, Springer-Verlag, New York.
222. Yu P.L. (1991) Habitual Domains, *Operations Research*, Nov/Dec 1991; 39(6), p. 869-876.
223. Yu P.L., Zhang D. (1990) A Foundation for competence set analysis, *Mathematical Social Sciences* 20, p. 251-299.
224. Yu P.L., Zhang D. (1989) Competence set analysis for effective decision making, *J. Control Theory Adv. Technol.*, 5(4), p. 523-547.
225. Yu P.L., Zhang D. (1992) Optimal expansion of competence sets and decision support. *Information Systems and Operational Research* 30(2), 68–85.
226. Zadeh L.A. (1965) Fuzzy sets, *Control* 8, p. 338-353.
227. Zawila-Niedźwiecki J. (2013) *Zarządzanie ryzykiem operacyjnym w zarządzaniu ciągłością działania organizacji*, Wydawnictwo edu-Libri, Kraków 2013.
228. Zhu G., Bard J.F., Yu G. (2005) Disruption management for resource-constrained project scheduling, *Journal of Operational Research Society*, 56, 365-381.
229. Zieleniewski J. (1978) *Organizacja zespołów ludzkich. Wstęp do teorii organizacji i kierowania*. PWN, Warszawa 1978.
230. Ziębecki B. (2011) Istota i funkcje zarządzania kompetencjami. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, Nr 854, 23-32.

231. <https://www.softwareadvice.com/hr/taleo-enterprise-edition-profile/>
232. www.progpol.com/home/kompetencje/
233. <https://www.sage.com/pl-pl/produkty/sage-hrcloud/>
234. <https://teta.unit4.com/>
235. <https://tomhrm.com/>

INDEKS HASEŁ

- A**
analiza, 21
analiza odporności struktury kompetencji, 21, 79, 94, 100, 103, 119, 139
Assessment & Development Center, 42, 43
- C**
czynność, 60, 65, 73, 86, 88, 140
 czas trwania, 86, 101, 140
 moment rozpoczęcia, 86, 101
- D**
decydent, 19, 70, 81, 108, 130
dystrybucja zmiennych, 80, 100
- E**
eksperyment, 24, 123, 124, 131, 140
- H**
harmonogram, 67, 71, 88, 144
- K**
kompetencje, 19, 20, 27
 identyfikacja, 35
 luka, 19, 34, 45, 50, 73, 108
 matryca, 20, 50, 51, 153
 ocena, 35, 41, 42, 44, 45, 49
 posiadane, 23, 27, 33, 49, 50, 85
 test kompetencyjny, 41, 43
 wymagane, 23, 27, 33, 41, 126
kwalifikacje, 19, 28, 65
kwestionariusz, 41, 42, 127, 142
- M**
metoda, 21, 79, 82, 107, 111, 123
metodyki zarządzania projektami, 56, 57, 61
 ekstremalne, 58
 Kanban, 58
 PMBok, 57
 PRINCE, 57
 SCRUM, 58
 tradycyjne, 57, 61
 zwinne (agile), 58, 61
model referencyjny, 80, 85, 100
modelowanie deklaratywne, 77, 80, 100
Myers-Briggs Type Indicator, 40
- N**
niepewność, 53, 58, 68, 69
 planowanie w warunkach niepewności, 53, 69
- O**
ocena 180 i 360 stopni, 41, 42
odporność struktury kompetencji na zakłócenia, 20, 53, 73, 79, 85, 95, 103, 116
 miara odporności, 91, 101, 153
ograniczenie, 21, 77, 79, 85, 102
operacja, 85, 86, 88, 128, 140
organizacja, 19, 28, 34, 53, 54, 55, 57, 75, 79, 85
osobowość, 19, 30, 40, 63
- P**
planowanie, 27, 56, 59
 kompetencji, 107
 proaktywne, 73
 projektu, 59, 60, 61
 struktur kompetencji, 20, 68, 85
 struktury kompetencji dla przedsiębiorstwa branży IT, 140
 struktury kompetencji dla uczelni wyższej, 123
 zespołu projektowego, 62
podejmowanie decyzji, 20, 56, 59, 65, 108, 151
portfel projektów, 85, 86, 114
predykat, 98, 99
proaktywność, 20, 73, 156
problem, 21, 23, 76, 87, 132
 analizy, 94, 103, 116

planowania struktur kompetencji
odpornych na zakłócenia, 79, 89, 94,
107, 153
syntezy, 95, 104, 116
programowanie z ograniczeniami, 21, 80,
99, 107
projekt, 21, 55
propagacja ograniczeń, 80, 100
przedsiębiorstwo, 19, 53, 55, 140
przedsięwzięcie, 55, 67, 86, 123
przydział czynności, 20, 73, 76, 79, 89,
102
pseudonimizacja, 127, 142

R

redundantne kompetencje, 20
role zespołowe, 63
Belbin, 63
rozwiązanie dopuszczalne, 21, 76, 80, 99,
113, 114
rozwiązanie optymalne, 99, 113, 132

S

samoocena, 41, 42, 127, 142
struktura kompetencji, 20, 51, 53, 66, 73,
79, 85, 89, 95, 101, 111, 126, 142
synteza, 21
synteza struktur kompetencji odpornych na
zakłócenia, 21, 79, 94, 100, 103, 120,
131, 139

T

teoria zbiorów rozmytych, 49
tryb online, 22, 80, 113, 138, 150

U

uczelnia wyższa, 55, 123
umiejętności, 19, 28, 31

W

warunek wystarczający, 21, 24, 76, 83,
113, 156
weryfikacja, 22, 83, 123, 130, 155
wspomaganie decyzji, 19, 80, 84, 85, 107,
138
wywiad behawioralny, 42, 43

Z

zajęcia dydaktyczne, 124, 130
harmonogramowanie, 129
przydział, 128
realizacja, 129
rozliczanie, 130
zakłócenie, 20, 68, 69, 70
absencja, 19, 70, 80, 91, 101, 111
zlecenie dodatkowych operacji, 20, 91,
101, 111
zarządzanie kompetencjami, 19, 25, 27,
108, 109
zasoby ludzkie, 19, 55, 56, 67, 76, 107
zespół projektowy, 5, 24, 60, 62
złożoność obliczeniowa, 76, 95, 98

SPIS TABEL

Tabela 1. Wady i zalety metod ocen	42
Tabela 2. Skala obserwacyjna kompetencji	44
Tabela 3. Kwestionariusz kompetencji	44
Tabela 4. Przykładowa binarna maczyca kompetencji	51
Tabela 5. Porównanie podejść do zarządzania projektami	59
Tabela 6. Struktura kompetencji	66
Tabela 7. Warianty zmienionych struktur kompetencji względem Tab 6.....	75
Tabela 8. Cechy wspólne oraz różnice CMS	110
Tabela 9. Funkcjonalności w systemach klas innych niż CMS	110
Tabela 10. Zbiór zajęć dydaktycznych Z dla WEiI w roku akademickim 2019/2020	126
Tabela 11. Struktura kompetencji G pracowników WEiI w roku akademickim 2019/2020 .	127
Tabela 12. Limity czasu pracy pracowników WEiI w roku akademicki 2019/2020	128
Tabela 13. Przyjęty przydział zajęć X dla pracowników WEiI w roku 2019/2020	129
Tabela 14. Czasy rozwiązania problemu analizy odporności R_{ω}^{λ} struktury kompetencji WEiI z Tabeli 11	137
Tabela 15. Czasy rozwiązania problemu syntezy struktury kompetencji $GOPT$ gwarantującej odporność $R_{\omega}^{\lambda} \geq *R_{\omega}^{\lambda}$ dla absencji ω pracowników	137
Tabela 16. Czasy rozwiązania problemu syntezy odpornej struktury kompetencji ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) przy założeniu zatrudnienia dodatkowej kadry	138
Tabela 17. Czasy rozwiązania problemu syntezy struktury kompetencji $GOPT$ gwarantującej pełną odporność ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) dla różnej liczby pracowników i przedmiotów	139
Tabela 18. Zbiór operacji Z portfela projektów Q	140
Tabela 19. Struktura kompetencji G pracowników Kaliop	142
Tabela 20. Limity czasu pracy pracowników Kaliop.....	143
Tabela 21. Przydział czynności X dla pracowników Kaliop w ramach realizacji portfela Q	143
Tabela 23. Czasy rozwiązania problemu analizy odporności R_{ω}^{λ} struktury kompetencji Kaliop z Tabeli 19	149
Tabela 24. Czasy rozwiązania problemu syntezy struktury kompetencji $GOPT$ gwarantującej odporność $R_{\omega}^{\lambda} \geq *R_{\omega}^{\lambda}$ dla absencji ω pracowników	149
Tabela 25. Czasy rozwiązania problemu syntezy odpornej struktury kompetencji ($R_{\omega}^{\lambda} = 1$) przy założeniu zatrudnienia dodatkowej kadry	150

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1. Kompetencje a) wystarczające, b) niewystarczające do realizacji zadania	34
Rys. 2. Bilansowanie kompetencji	34
Rys. 3. Zbiór kompetencji wymaganych do realizacji przedmiotu X	36
Rys. 4. Przykładowa ocena kompetencji pracownika	45
Rys. 5. Proces modelowania	47
Rys. 6. Relacja między kompetencjami	48
Rys. 7. Relacje między kompetencjami	48
Rys. 8. Przykładowa funkcja przynależności	49
Rys. 9. Przykładowa matryca kompetencji	50
Rys. 10. Planowanie w metodyk	61
Rys. 11. Struktura projektu	66
Rys. 12. Harmonogram projektu	68
Rys. 13. Bilansowanie możliwości zasobowych i oczekiwań wynikających z realizowanych czynności w świetle pojawiających się zakłóceń	71
Rys. 14. Warianty potencjalnych zastępstw dla poszczególnych przypadków nieobecności pracowników: a) P1, b) P2, c) P3, d) P4	72
Rys. 15. Koncepcja metody planowania SK odpornych na zakłócenia	82
Rys. 16. Podstawowe elementy struktury modelu planowania SK	86
Rys. 17. Przykład sieci operacji dla portfela projektów $Q = \{Q_1, Q_2\}$	87
Rys. 18. Harmonogram realizacji portfela projektów Q	88
Rys. 19. Przydział czynności portfela projektów Q do zespołu pracowników \mathcal{P}	90
Rys. 20. Harmonogram realizacji portfela projektów Q uwzględniający występowanie nieplanowanej czynności operacji Z_{11}	92
Rys. 21. Harmonogram realizacji portfela projektów Q w sytuacji absencji P_1 i P_3 oraz nieplanowanej, dodatkowo przydzielonej, czynności operacji Z_{11}	93
Rys. 22. Metoda PSK	112
Rys. 23. Proces poszukiwania rozwiązania dopuszczalnego	114
Rys. 24. Koncepcja działania SysPSK	117
Rys. 25. Przykładowe okno specyfikacji portfela projektów	118
Rys. 26. Przykładowe okno specyfikacji danych nowego pracownika i określania posiadanych kompetencji	118
Rys. 27. Przykładowy widok struktury kompetencji	119

Rys. 28. Przykładowa odpowiedź dotycząca analizy odporności SK.....	119
Rys. 29. Przykładowa odpowiedź dotycząca syntezy SK odpornej na zakłócenia.....	120
Rys. 30. Sposób wykorzystania SysPSK jako modułu HRMS/CMS	121
Rys. 31. Proces organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych obowiązujący na WEiI	125
Rys. 32. Proces organizacji i kontroli zajęć dydaktycznych uwzględniający wykorzystanie metody PSK	131
Rys. 33. Sieć operacji dla portfela projektów $Q = \{Q_1, \dots, Q_7\}$	141
Rys. 34. Harmonogram realizacji portfela projektów Q	144
Rys. 36. Harmonogram realizacji portfela projektów Q z dodatkowo zleconym projektem Q_8	147
Rys. 37. Taksonomia problemów planowania struktur kompetencji	154

ZAŁĄCZNIK A. KWESTIONARIUSZ SAMOOCENY PRACOWNIKA WEII

Samoocena kompetencji do prowadzenia zajęć dydaktycznych

Imię i Nazwisko:

Stopień/tytuł naukowy:

Stanowisko:

Przy każdym przedmiocie wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiadasz kompetencje do prowadzenia zajęć - wpisz „1”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do prowadzenia zajęć, ale możesz je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do prowadzenia zajęć i nie możesz ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa przedmiotu	Ocena kompetencji
Przedmiot Z_1	
Przedmiot Z_2	
Przedmiot Z_3	
....	
Przedmiot Z_n	

PRZYKŁAD WYPEŁNIONEGO KWESTIONARIUSZA SAMOOCENY PRACOWNIKA WEII¹¹

Samoocena kompetencji do prowadzenia zajęć dydaktycznych

Imię i Nazwisko: Jolanta Bajer

Stopień/tytuł naukowy: dr inż.

Stanowisko: adiunkt

Przy każdym przedmiocie wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiadasz kompetencje do prowadzenia zajęć - wpisz „1”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do prowadzenia zajęć, ale możesz je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do prowadzenia zajęć i nie możesz ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa przedmiotu	Ocena kompetencji
Podstawy elektroniki i elektrotechniki	0
Laboratorium podstaw elektroniki	0
Podstawy miernictwa	0
Laboratorium podstaw miernictwa	0
Przedmiot obieralny z elektroniki lub telekomunikacji	0
Elementy elektroniczne	1
Układy elektroniczne	1
Laboratorium układów elektronicznych	1
Optoelektronika	x
Podstawy metrologii	0
Laboratorium podstaw metrologii	0
Miernictwo elektroniczne / telekomunikacyjne	0
Pracownia projektowania i dokumentowania	0
Projekt zespołowy	1
Teoria obwodów i sygnałów	1
Podstawy telekomunikacji	1
Systemy i sieci telekomunikacyjne	1
Techniki bezprzewodowe	1

¹¹ Dane pochodzą z oceny jednego z pracowników i zostały poddane pseudonimizacji

Laboratorium urządzeń komunikacyjnych	1
Przedmiot obieralny 3 (Telekomunikacja – urządzenia mobilne)	1
Teoria informacji i kodowania	1
Zarządzanie sieciami i usługami telekomunikacyjnymi	1
Elektroniczne systemy przetwarzania energii	x
Niezawodność i diagnostyka	0
Laboratorium techniki światłowodowej	x
Inżynieria materiałowa i konstrukcja urządzeń	x
Podstawy energoelektroniki	x
Laboratorium podstaw energoelektroniki	x

ZAŁĄCZNIK B. KWESTIONARIUSZ DLA KIEROWNIKA KATEDRY

Ocena kompetencji pracownika do prowadzenia zajęć dydaktycznych

Katedra:

Imię i Nazwisko kierownika:

Stopień/tytuł naukowy:

Imię i Nazwisko ocenianego pracownika:

Stopień/tytuł naukowy:

Stanowisko:

Przy każdym przedmiocie wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiada kompetencje do prowadzenia zajęć - wpisz „1”
- Jeśli nie posiada kompetencji do prowadzenia zajęć, ale może je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiada kompetencji do prowadzenia zajęć i nie może ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa przedmiotu	Ocena kompetencji
Przedmiot Z_1	
Przedmiot Z_2	
Przedmiot Z_3	
....	
Przedmiot Z_n	

PRZYKŁAD WYPEŁNIONEGO KWESTIONARIUSZA PRZEZ KIEROWNIKA KATEDRY¹²

Ocena kompetencji pracownika do prowadzenia zajęć dydaktycznych

Katedra: Katedra Elektroniki

Imię i Nazwisko kierownika: Tomasz Kruk

Stopień/tytuł naukowy: prof. dr hab. inż.

Imię i Nazwisko ocenianego pracownika: Jolanta Bajer

Stopień/tytuł naukowy: dr inż.

Stanowisko: adiunkt

Przy każdym przedmiocie wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiada kompetencje do prowadzenia zajęć - wpisz „1”
- Jeśli nie posiada kompetencji do prowadzenia zajęć, ale może je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiada kompetencji do prowadzenia zajęć i nie może ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa przedmiotu	Ocena kompetencji
Podstawy elektroniki i elektrotechniki	0
Laboratorium podstaw elektroniki	0
Podstawy miernictwa	x
Laboratorium podstaw miernictwa	x
Przedmiot obieralny z elektroniki lub telekomunikacji	0
Elementy elektroniczne	1
Układy elektroniczne	1
Laboratorium układów elektronicznych	1
Optoelektronika	x
Podstawy metrologii	0
Laboratorium podstaw metrologii	0
Miernictwo elektroniczne / telekomunikacyjne	0

¹² Dane pochodzą z oceny jednego z pracowników i zostały poddane pseudonimizacji

Pracownia projektowania i dokumentowania	0
Projekt zespołowy	1
Teoria obwodów i sygnałów	1
Podstawy telekomunikacji	1
Systemy i sieci telekomunikacyjne	1
Techniki bezprzewodowe	1
Laboratorium urządzeń komunikacyjnych	1
Przedmiot obieralny 3 (Telekomunikacja – urządzenia mobilne)	1
Teoria informacji i kodowania	1
Zarządzanie sieciami i usługami telekomunikacyjnymi	1
Elektroniczne systemy przetwarzania energii	x
Niezawodność i diagnostyka	x
Laboratorium techniki światłowodowej	x
Inżynieria materiałowa i konstrukcja urządzeń	x
Podstawy energoelektroniki	x
Laboratorium podstaw energoelektroniki	x

ZAŁĄCZNIK C. OCENA KOŃCOWA KOMPETENCJI PRACOWNIKA WEHI

Ocena końcowa posiadanych kompetencji do prowadzenia zajęć dydaktycznych

Imię i Nazwisko:

Stopień/tytuł naukowy:

Stanowisko:

Tabela wyznaczania oceny końcowej $O_i(A_i, B_i)$ posiadanych kompetencji dla przedmiotu Z_i , na podstawie samooceny (A_i) pracownika i oceny Kierownika (B_i)

$O_i(A_i, B_i)$		Ocena Kierownika (B_i)		
		1	0	x
Samoocena pracownika (A_i)	1	1	1	0
	0	1	0	x
	x	0	x	x

Tabela oceny końcowej

Nazwa przedmiotu	Ocena pracownika (A_i)	Ocena Kierownika (B_i)	Ocena Końcowa (O_i)
Przedmiot Z_1	A_1	B_1	$O_1(A_1, B_1)$
Przedmiot Z_2	A_2	B_2	$O_2(A_2, B_2)$
Przedmiot Z_3	A_3	B_3	$O_3(A_3, B_3)$
....
Przedmiot Z_n	A_n	B_n	$O_n(A_n, B_n)$

PRZYKŁAD OCENY KOŃCOWEJ KOMPETENCJI PRACOWNIKA WEII¹³

Ocena końcowa kompetencji do prowadzenia zajęć dydaktycznych

Imię i Nazwisko: Jolanta Bajer

Stopień/tytuł naukowy: dr inż.

Stanowisko: adiunkt

Tabela wyznaczania oceny końcowej $O_i(A_i, B_i)$ posiadanych kompetencji dla przedmiotu Z_i , na podstawie samooceny (A_i) pracownika i oceny Kierownika (B_i)

$O_i(A_i, B_i)$		Ocena Kierownika (B_i)		
		1	0	x
Samoocena pracownika (A_i)	1	1	1	0
	0	1	0	x
	x	0	x	x

Tabela oceny końcowej

Nazwa przedmiotu	Ocena pracownika (A_i)	Ocena Kierownika (B_i)	Ocena końcowa (O_i)
Podstawy elektroniki i elektrotechniki	0	0	0
Laboratorium podstaw elektroniki	0	0	0
Podstawy miernictwa	0	x	x
Laboratorium podstaw miernictwa	0	x	x
Przedmiot obieralny z elektroniki lub telekomunikacji	0	0	0
Elementy elektroniczne	1	1	1
Układy elektroniczne	1	1	1
Laboratorium układów elektronicznych	1	1	1
Optoelektronika	x	x	x
Podstawy metrologii	0	0	0
Laboratorium podstaw metrologii	0	0	0

¹³ Dane pochodzą z oceny jednego z pracowników i zostały poddane pseudonimizacji

Miernictwo elektroniczne / telekomunikacyjne	0	0	0
Pracownia projektowania i dokumentowania	0	0	0
Projekt zespołowy	1	1	1
Teoria obwodów i sygnałów	1	1	1
Podstawy telekomunikacji	1	1	1
Systemy i sieci telekomunikacyjne	1	1	1
Techniki bezprzewodowe	1	1	1
Laboratorium urządzeń komunikacyjnych	1	1	1
Przedmiot obieralny 3 (Telekomunikacja – urządzenia mobilne)	1	1	1
Teoria informacji i kodowania	1	1	1
Zarządzanie sieciami i usługami telekomunikacyjnymi	1	1	1
Elektroniczne systemy przetwarzania energii	x	x	x
Niezawodność i diagnostyka	0	x	x
Laboratorium techniki światłowodowej	x	x	x
Inżynieria materiałowa i konstrukcja urządzeń	x	x	x
Podstawy energoelektroniki	x	x	x
Laboratorium podstaw energoelektroniki	x	x	x

ZAŁĄCZNIK D. KWESTINARIUSZ SAMOOCENY PRACOWNIKA KALIOP

Samooceńa kompetencji do realizacji operacji

Imię i Nazwisko:

Przy każdej operacji wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiadasz kompetencje do realizacji operacji - wpisz „1”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do realizacji operacji, ale możesz je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do realizacji operacji i nie możesz ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa operacji	Oceńa kompetencji
Operacja Z_1	
Operacja Z_2	
Operacja Z_3	
....	
Operacja Z_n	

PRZYKŁAD WYPEŁNIONEGO KWESTIONARIUSZA SAMOOCENY PRACOWNIKA KALIOP¹⁴

Samoocena kompetencji do realizacji operacji

Imię i Nazwisko: Karol Bednarski

Przy każdej operacji wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiadasz kompetencje do realizacji operacji - wpisz „1”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do realizacji operacji, ale możesz je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiadasz kompetencji do realizacji operacji i nie możesz ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa operacji	Ocena kompetencji
Określenie wymagań	1
Przygotowanie struktury pracy (WBS)	x
Prototypowanie	x
Testy użyteczności	1
Wykonanie projektu graficznego	0
Kodowanie	1
Testowanie	1
Przygotowanie dokumentacji	x
Instalacja na serwerze	x
Szkolenie klienta	1

¹⁴ Dane pochodzą z oceny jednego z pracowników i zostały poddane pseudonimizacji

ZAŁĄCZNIK E. KWESTIONARIUSZ DLA KIEROWNIKA PROJEKTU KALIOP

Ocena kompetencji pracownika do realizacji operacji

Imię i Nazwisko Kierownika:

Imię i Nazwisko ocenianego pracownika:

Przy każdej operacji wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiada kompetencje do realizacji operacji - wpisz „1”
- Jeśli nie posiada kompetencji do realizacji operacji, ale może je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiada kompetencji do realizacji operacji i nie może ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa operacji	Ocena kompetencji
Operacja Z_1	
Operacja Z_2	
Operacja Z_3	
....	
Operacja Z_n	

PRZYKŁAD WYPEŁNIONEGO KWESTIONARIUSZA PRZEZ KIEROWNIKA PROJEKTU¹⁵

Ocena kompetencji pracownika do realizacji operacji

Imię i Nazwisko Kierownika: Marcin Dunajski

Imię i Nazwisko ocenianego pracownika: Karol Bednarski

Przy każdej operacji wpisz właściwą opcję:

- Jeśli posiada kompetencje do realizacji operacji - wpisz „1”
- Jeśli nie posiada kompetencji do realizacji operacji, ale może je zdobyć - wpisz „0”
- Jeśli nie posiada kompetencji do realizacji operacji i nie może ich zdobyć - wpisz „x”

Nazwa operacji	Ocena kompetencji
Określenie wymagań	1
Przygotowanie struktury pracy (WBS)	0
Prototypowanie	x
Testy użyteczności	1
Wykonanie projektu graficznego	0
Kodowanie	1
Testowanie	1
Przygotowanie dokumentacji	0
Instalacja na serwerze	x
Szkolenie klienta	0

¹⁵ Dane pochodzą z oceny jednego z pracowników i zostały poddane pseudonimizacji

ZAŁĄCZNIK F. OCENA KOŃCOWA KOMPETENCJI PRACOWNIKA KALIOP

Ocena końcowa posiadanych kompetencji do realizacji operacji

Imię i Nazwisko:

Tabela wyznaczania oceny końcowej $O_i(A_i, B_i)$ posiadanych kompetencji dla operacji Z_i , na podstawie samooceny (A_i) pracownika i oceny Kierownika (B_i)

$O_i(A_i, B_i)$		Ocena Kierownika (B_i)		
		1	0	x
Samoocena pracownika (A_i)	1	1	1	0
	0	1	0	x
	x	0	x	x

Tabela oceny końcowej

Nazwa operacji	Ocena pracownika (A_i)	Ocena Kierownika (B_i)	Ocena końcowa (O_i)
Operacja Z_1	A_1	B_1	$O_1(A_1, B_1)$
Operacja Z_2	A_2	B_2	$O_2(A_2, B_2)$
Operacja Z_3	A_3	B_3	$O_3(A_3, B_3)$
....
Operacja Z_n	A_n	B_n	$O_n(A_n, B_n)$

PRZYKŁAD OCENY KOŃCOWEJ KOMPETENCJI PRACOWNIKA KALIOP¹⁶

Ocena końcowa kompetencji do realizacji operacji

Imię i Nazwisko: Karol Bednarski

Tabela wyznaczania oceny końcowej $O_i(A_i, B_i)$ posiadanych kompetencji dla operacji Z_i , na podstawie samooceny (A_i) pracownika i oceny Kierownika (B_i)

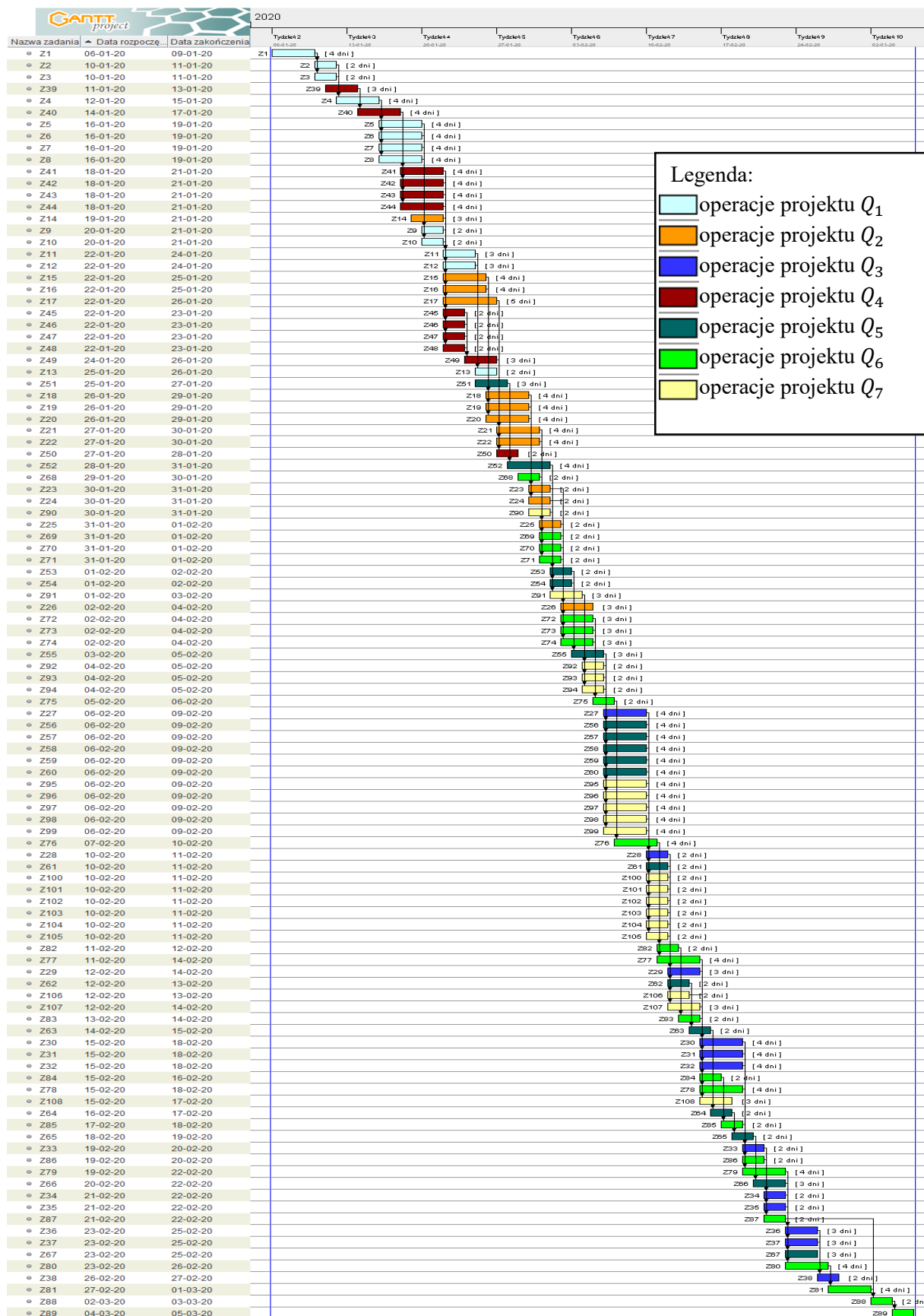
$O_i(A_i, B_i)$		Ocena Kierownika (B_i)		
		1	0	x
Samoocena pracownika (A_i)	1	1	1	0
	0	1	0	x
	x	0	x	x

Tabela oceny końcowej

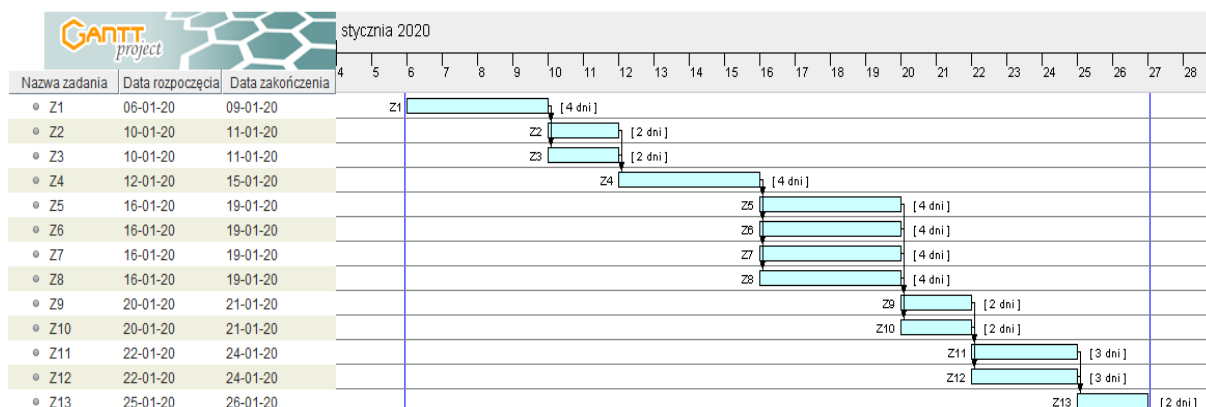
Nazwa operacji	Ocena pracownika (A_i)	Ocena Kierownika (B_i)	Ocena końcowa (O_i)
Określenie wymagań	1	1	1
Przygotowanie struktury pracy (WBS)	x	0	x
Prototypowanie	x	x	x
Testy użyteczności	1	1	1
Wykonanie projektu graficznego	0	0	0
Kodowanie	1	1	1
Testowanie	1	1	1
Przygotowanie dokumentacji	x	0	x
Instalacja na serwerze	x	x	x
Szkolenie klienta	1	0	1

¹⁶ Dane pochodzą z oceny jednego z pracowników i zostały poddane pseudonimizacji

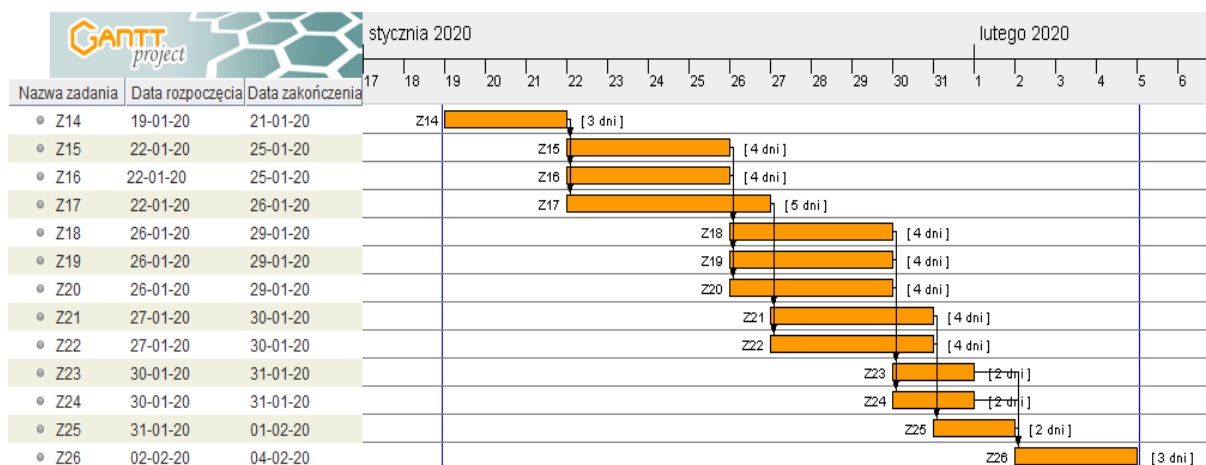
ZAŁĄCZNIK G. HARMONOGRAM REALIZACJI PORTFELA PROJEKTÓW Q



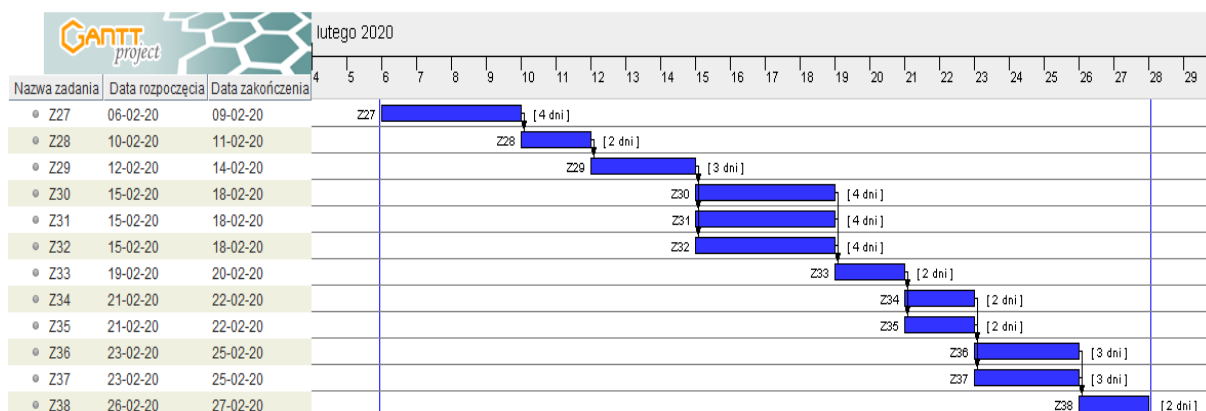
Rys. G1. Zbiorczy harmonogram portfela projektów Q



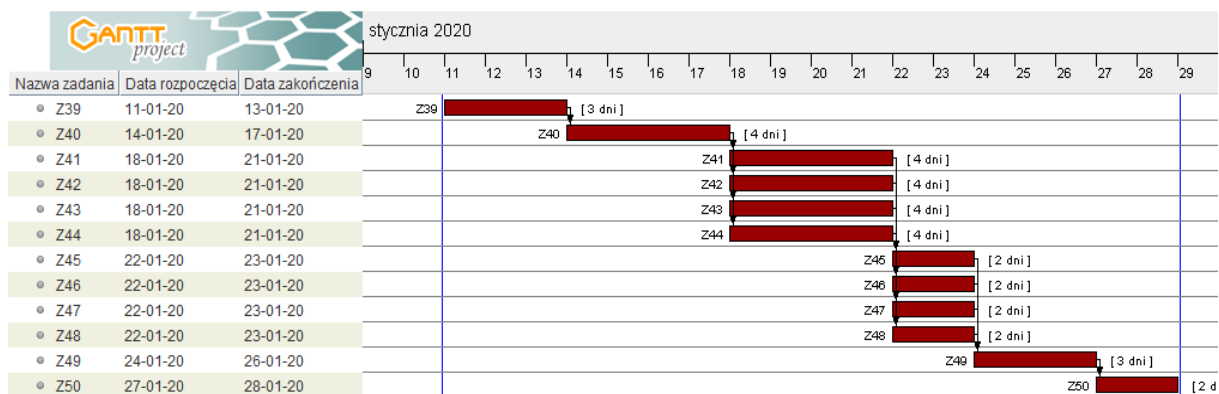
Rys. G2. Harmonogram projektu Q_1



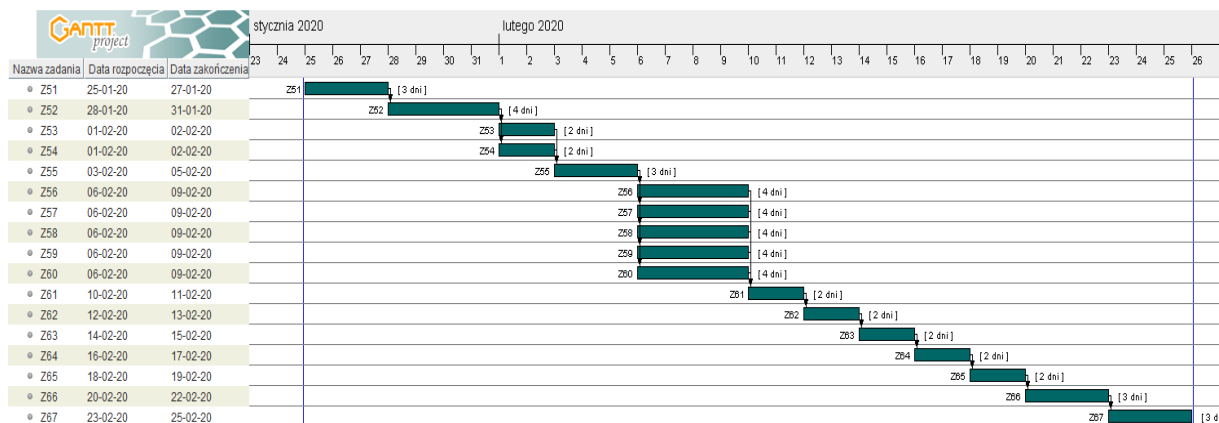
Rys. G3. Harmonogram projektu Q_2



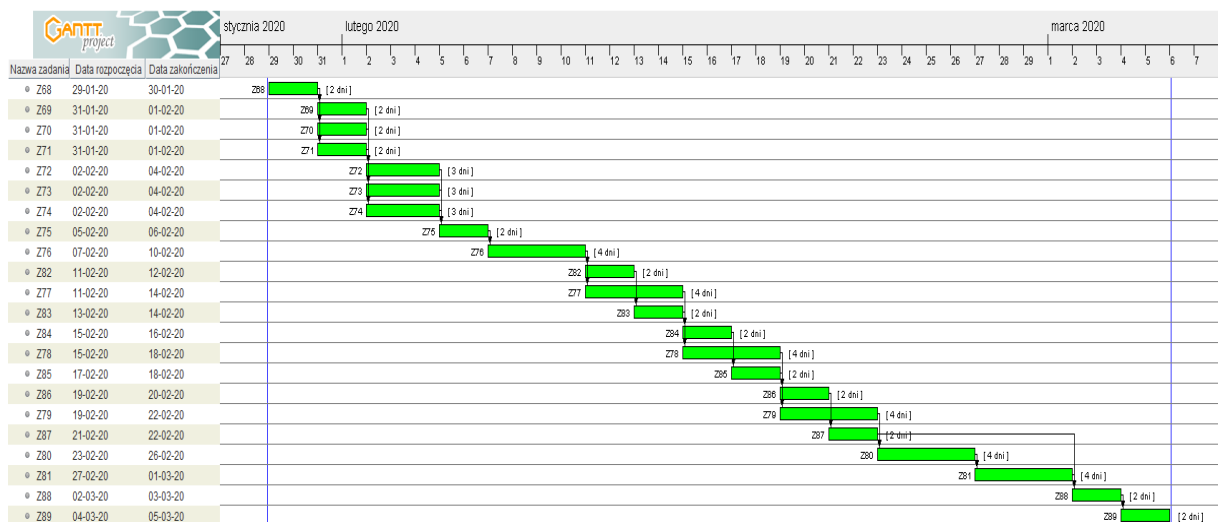
Rys. G4. Harmonogram projektu Q_3



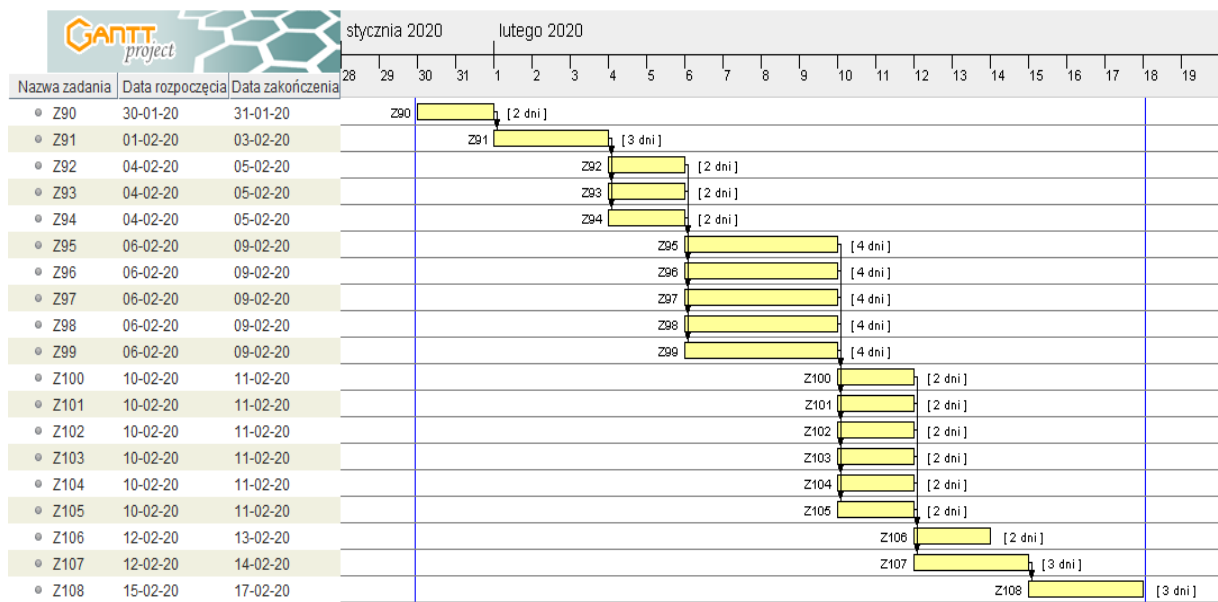
Rys. G5. Harmonogram projektu Q_4



Rys. G6. Harmonogram projektu Q_5

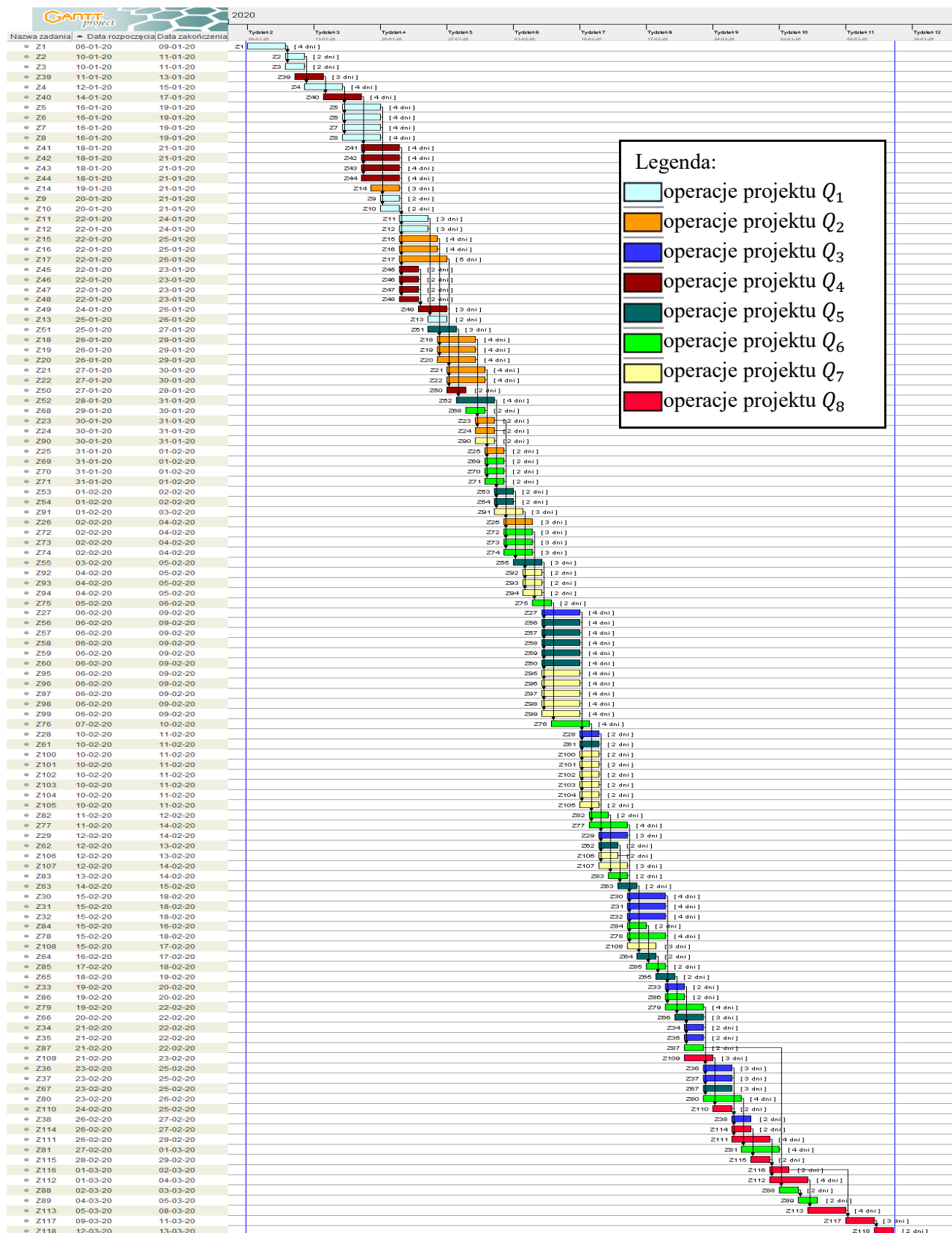


Rys. G7. Harmonogram projektu Q_6

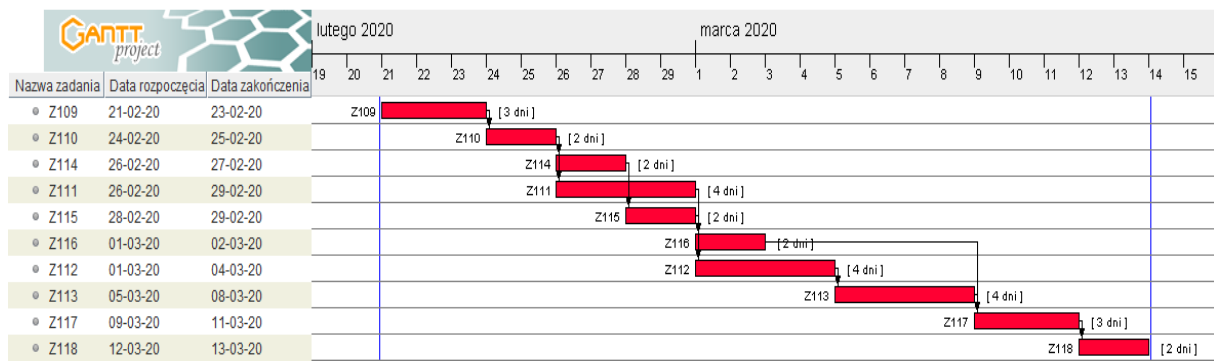


Rys. G8. Harmonogram projektu Q₇

ZAŁĄCZNIK H. HARMONOGRAM REALIZACJI PORTFELA PROJEKTÓW Q WRAZ ZE ZLECONYM NOWYM PROJEKTEM Q₈



Rys. H1. Zbiorczy harmonogram portfela projektów Q
wraz ze zleconym nowym projektem Q₈



Rys. H2. Harmonogram projektu Q_8