

Wykorzystanie optymalizacji wielokryterialnej i metod przeszukiwania lokalnego do automatycznego układania planów zajęć

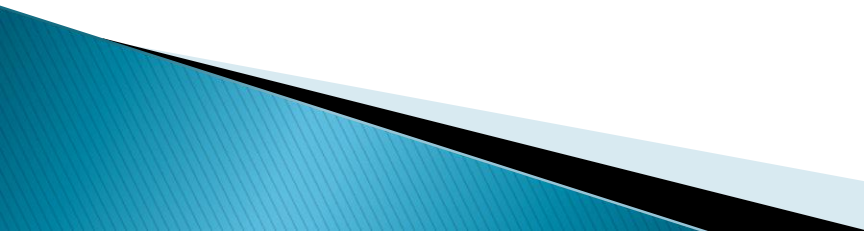
mgr Piotr Czerpak

Wydział Matematyki i Informatyki

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

piotrczerpak@matman.uwm.edu.pl

Plan prezentacji

- ▶ Definicja i klasyfikacja problemów planowania zajęć
 - ▶ Metody automatycznego układania planów
 - ▶ Opis rozpatrywanego problemu rzeczywistego
 - ▶ Planowanie zajęć jako zadania optymalizacji wielokryterialnej
 - ▶ Opis własnych algorytmów
 - ▶ Wszechstronne porównanie algorytmów
- 

Ogólna definicja planowania

„*Timetabling* is the allocation, subject to constraints, of given resources to objects being placed in space time, in such a way as to satisfy as nearly as possible a set of desirable objectives”

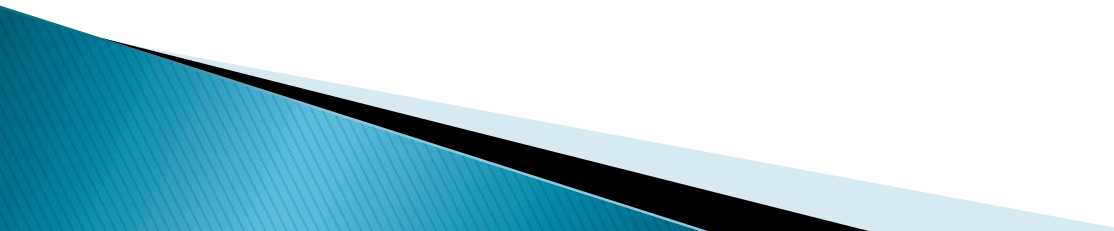
Wren, A., Scheduling, Timetabling and Rostering – A Special Relationship?, 1996



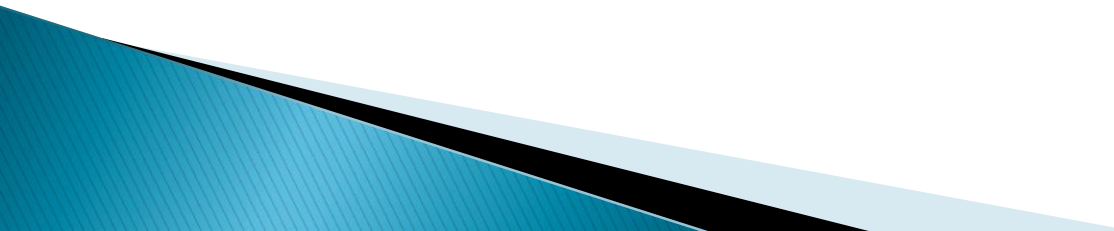
Złożoność problemu

- ▶ Problem planowania zajęć należy do grupy problemów NP- zupełnych o złożoności obliczeniowej $O(2^n)$
- ▶ Układanie planów jest trudne, czasochłonne i bywa frustrujące dla planisty
- ▶ Różnorodność problemów układania planów i ich złożoność sprawia, że stworzenie uniwersalnego systemu wydaje się praktycznie niemożliwe

Klasyfikacja problemów układania planów

- ▶ problem układania planów zajęć dla szkół (School Timetabling Problem)
 - ▶ problem układania planów zajęć dla uczelni wyższych (Course Timetabling Problem)
 - ▶ problem planowania egzaminów (Examination Timetabling Problem)
- 

Problem układania planów zajęć na uczelni wyższej

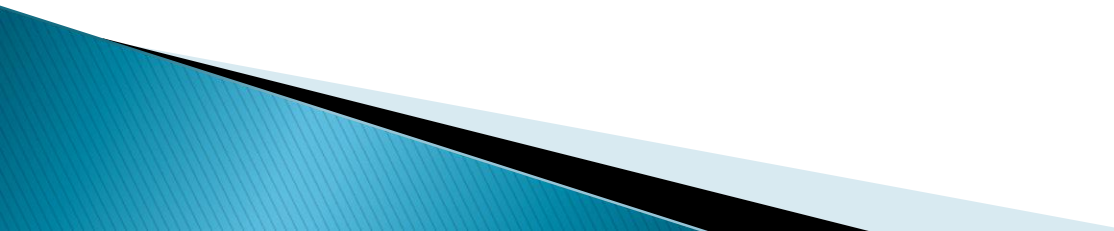
- ▶ Problem układania planów na podstawie kursów, na które zapisali się studenci (**post-enrolment timetabling problem**)
 - ▶ Problem układania planów na podstawie programu studiów (**curriculum based timetabling problem**)
- 

Ogólna klasyfikacja metod automatycznego układania planów

- ▶ metody sekwencyjne (**sequential methods**)
- ▶ metody klastrowe (**cluster methods**)
- ▶ metody oparte na ograniczeniach (**constraint based approaches**)
- ▶ metaheurystyki (**meta-heuristic methods**)

Heurystyka

Heurystyka (gr. *heuresis* – odnaleźć, odkryć, *heureka* – znalazłem) – w informatyce metoda znajdowania rozwiązań, dla której nie ma gwarancji znalezienia rozwiązania optymalnego, a często nawet prawidłowego. Rozwiązań tych używa się np. wtedy, gdy pełny algorytm jest z przyczyn technicznych zbyt kosztowny lub gdy jest nieznan.

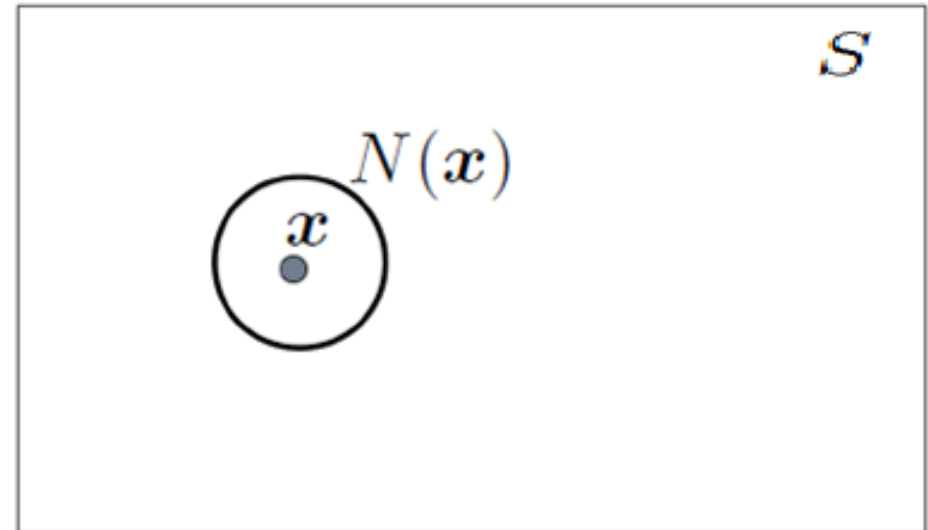


Heurystyki

- ▶ heurystyki samotnego poszukiwacza
- ▶ heurystyki populacyjne

Metody przeszukiwania lokalnego

Pojęcie sąsiedztwa



Mając dany zestaw transformacji

$$\Phi = \{\phi_i : S \rightarrow S, i \in I\}$$

definiujemy sąsiedztwo elementu $x \in S$ jako

$$N(x) = \{\phi_i(x), i \in I\}$$

Metaheurystyki

I ETAP

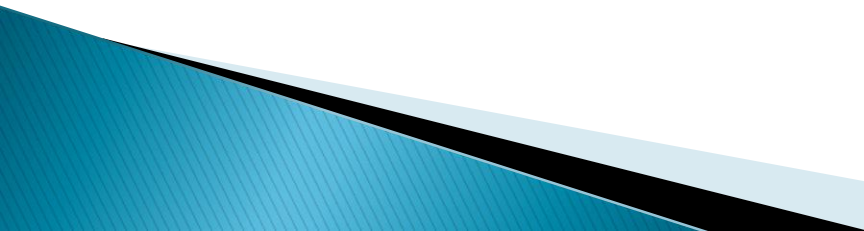
Uzyskanie rozwiązania początkowego (w sposób losowy lub za pomocą innej heurystyki)

II ETAP

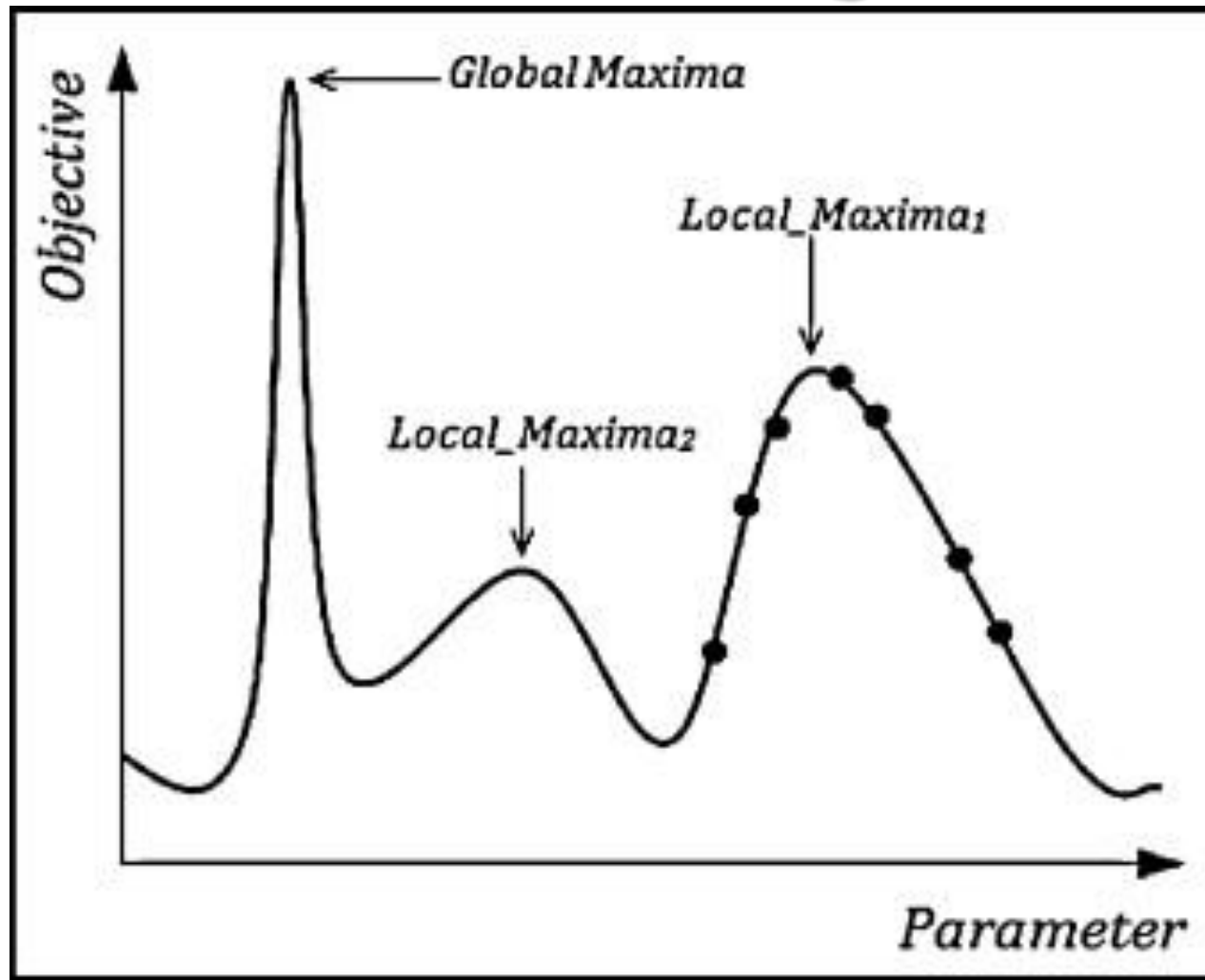
Poszukiwanie kolejnych rozwiązań w oparciu o określoną strategię przeszukiwania

II ETAP

Metody przeszukiwania lokalnego

- ▶ Algorytm losowego próbkowania
 - ▶ Algorytm błędzenia przypadkowego
 - ▶ Algorytm wspinaczkowy
 - ▶ Algorytm przeszukiwania tabu
 - ▶ Algorytm symulowanego wyżarzania
- 

Optimum lokalne i globalne



Zadanie optymalizacji wielokryterialnej

$$(Q, F, \mathcal{M}(P)),$$

gdzie:

Q – zbiór rozwiązań dopuszczalnych,

F – funkcja przekształcająca przestrzeń decyzji X w przestrzeń ocen Y ,

$\mathcal{M}(P)$ – model preferencji,

$Q \subset X$.

$F: X \rightarrow Y \subset R^N$,

X – przestrzeń decyzji (rozwiązań),

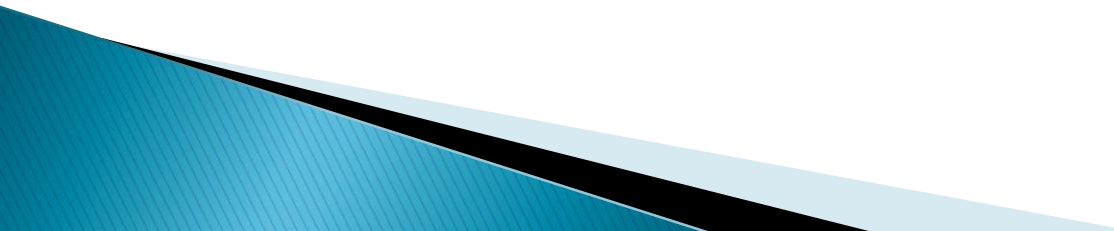
Y – przestrzeń ocen,

$F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_n(x), \dots, F_N(x)) = y \in Y, x \in X$

$F_n(x)$ – n – ty wskaźnik jakości (n – ta ocena) rozwiązania x ,

$n \in N, N = \{1, \dots, N\}$,

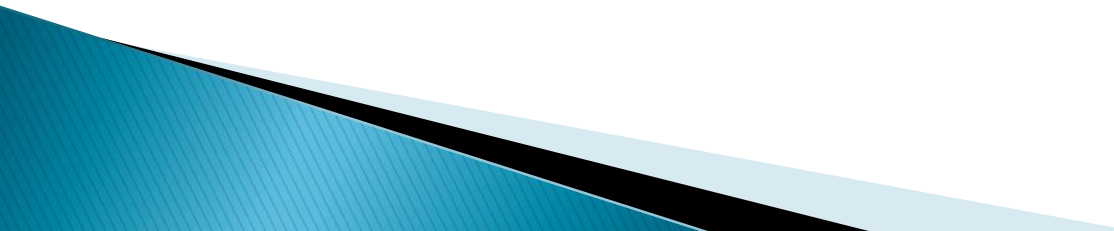
Relacje preferencji

- ▶ relacja leksykograficzna
 - ▶ relacja PARETO
 - ▶ relacja optymisty
 - ▶ relacja pesymisty
- 

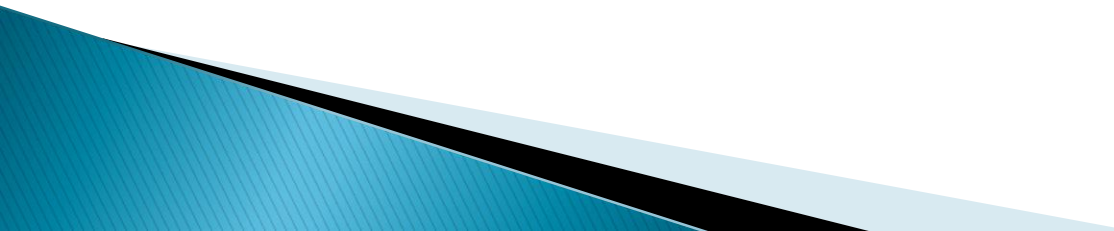
Opis rozpatrywanego problemu planowania zajęć

- ▶ plany są układane w wymiarze tygodniowym (*)
- ▶ dzień jest podzielony na 15-minutowe jednostki czasu
- ▶ program studiów definiuje przedmioty nauczane w danym semestrze
- ▶ studenci są podzieleni na grupy ćwiczeniowe, laboratoryjne, seminaryjne
- ▶ zajęcia są z góry określone (przedmiot, nauczyciel, grupa)
- ▶ wspólne zajęcia dla dwóch lub większej liczby grup (np. wspólne wykłady dla dwóch specjalności)

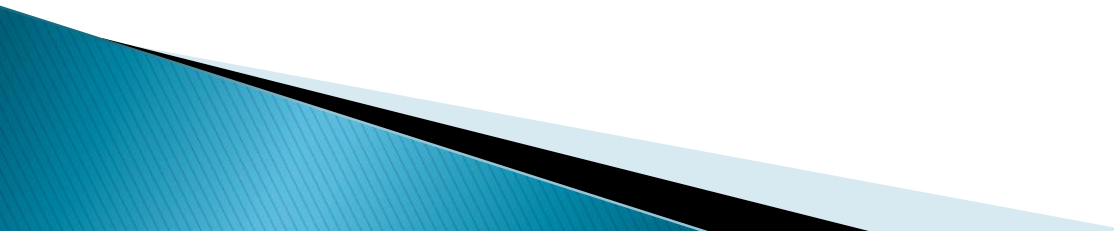
Opis rozpatrywanego problemu planowania zajęć

- ▶ zajęcia mogą się odbywać w określonych salach
 - ▶ nauczyciele określają czas, w którym są niedostępni, dostępni lub warunkowo dostępni
 - ▶ grupy mają zarezerwowany czas na bloki językowe, bloki humanistyczne, zajęcia z wychowania fizycznego itp.
- 


Plan wykonalny

- ▶ w danej sali w danym czasie nie może się odbywać więcej niż jedno zajęcia
 - ▶ sala do której są przypisane zajęcia musi być wystarczająco duża by pomieścić wszystkich studentów
 - ▶ studenci mogą mieć zaplanowane tylko jedno zajęcia w danym czasie
 - ▶ nauczyciele nie mogą mieć zaplanowanych więcej niż jedno zajęcia w danym czasie
- 


Plan akceptowalny

- ▶ wszystkie zajęcia muszą być zaplanowane
 - ▶ liczba i długość zajęć musi być odpowiednia (zgodna z programem studiów)
 - ▶ zajęcia nauczyciela nie mogą się odbywać w czasie, który określił jako niedostępny (*)
 - ▶ zajęcia muszą się odbywać w odpowiednich salach (odpowiednie wyposażenie, niezbędne do przeprowadzenia danych zajęć)
- 

Podójście do wielokryterialnego problemu planowania zajęć w literaturze

- ▶ ograniczenia silne i słabe
 - ▶ suma ważona (modyfikacja wag w trakcie działania algorytmu)
 - ▶ wielofazowe algorytmy przeszukiwania lokalnego
 - ▶ odległość od punktu idealnego (optymalizacja w sensie Pareto)
- 

Moje podejście do automatycznego układania planów

1. Dwa etapy poszukiwania rozwiązania optymalnego:
 - Etap I: poszukiwanie rozwiązania dopuszczalnego
 - Etap II: poszukiwanie rozwiązania optymalnego
 2. Rozwiązania dopuszczalne spełniają ograniczenia silne
 3. Sąsiedztwo jest wyznaczone względem danych zajęć – wszystkie możliwe przydziały (termin + sala) dla danych zajęć
 4. Trzy zadania optymalizacji z rozbudowanymi modelami preferencji
 5. Elastyczne algorytmy – niezależne od zdefiniowanych zadań optymalizacji
- 

Zadania optymalizacji wykorzystane w algorytmach

- ▶ Zadania optymalizacji wyboru najlepszego planu
- ▶ Zadanie optymalizacji wyboru zajęć do ułożenia
- ▶ Zadanie optymalizacji wyboru przydziału dla zajęć

Uwaga: Dla zajęć rozpatrywane są tylko dostępne przydziały (takie, które nie powodują konfliktów). Wybór dowolnego z dostępnych przedmiotów nie spowoduje złamania ograniczeń silnych - plany będą wykonalne i akceptowalne.

Zadania optymalizacji wyboru najlepszego planu

Kryteria oceny

- ▶ S_1 – suma jednostek przerw pomiędzy zajęciami nauczycieli
- ▶ S_2 – ważona suma jednostek przerw pomiędzy zajęciami grup
- ▶ S_3 – średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela (w ciągu 2 tygodni)
- ▶ S_4 – średnia liczba dni zajęć dla grup (w ciągu 2 tygodni)
- ▶ S_5 – suma jednostek zajęć po godzinie 16 w całym planie

Zadania optymalizacji wyboru najlepszego planu

Model preferencji

- ▶ **PPM I** –preferuje plany, w których średnia liczba dni zajęć dla nauczycieli jest najmniejsza, następnie pod uwagę brane są przerwy w zajęciach nauczycieli i grup, a dopiero później uwzględniana jest średnia liczba dni zajęć dla grup i liczba zajęć po godzinie 16.
- ▶ **PPM II** –preferuje plany o najmniejszej liczbie przerw pomiędzy zajęciami nauczycieli i grup, następnie kolejno minimalizowane są: średnia liczba dni zajęć nauczycieli, średnia liczba dni zajęć dla grup i liczba zajęć po godzinie 16.
- ▶ **PPM III** – preferuje plany o najmniejszej, średniej liczbie dni zajęć nauczycieli, a następnie o minimalnej średniej liczbie dni zajęć dla grup. W dalszej kolejności minimalizowane są przerwy dla nauczycieli i grup, a na samym końcu o wyborze planu decyduje liczba zajęć po godzinie 16.

Zadania optymalizacji wyboru najlepszego planu

Model PPM I

$$F: X \rightarrow Y, Y \in \mathbb{R}^5, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5), F(x_2) = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5);$$

$$y_1 = S_3(x_1), y_2 = S_1(x_1), y_3 = S_2(x_1), y_4 = S_4(x_1), y_5 = S_5(x_1);$$

$$z_1 = S_3(x_2), z_2 = S_1(x_2), z_3 = S_2(x_2), z_4 = S_4(x_2), z_5 = S_5(x_2);$$

$$R = \left\{ (y, z) \in Y \times Y; \left[\begin{array}{l} (y_1 < z_1) \vee \\ \left(\begin{array}{l} y_1 = z_1 \\ n * y_2 + m * y_3 < n * z_2 + m * z_3 \end{array} \right) \vee \\ \left(\begin{array}{l} y_1 = z_1 \\ n * y_2 + m * y_3 = n * z_2 + m * z_3 \end{array} \right) \vee \\ y_4 < z_4 \\ \left(\begin{array}{l} y_1 = z_1 \\ n * y_2 + m * y_3 = n * z_2 + m * z_3 \end{array} \right) \\ y_4 = z_4 \\ y_5 < z_5 \end{array} \right. \right\},$$

Zadania optymalizacji wyboru najlepszego planu

Model PPM II

$$F: X \rightarrow Y, Y \in \mathbb{R}^5, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5), F(x_2) = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5);$$

$$y_1 = S_1(x_1), y_2 = S_2(x_1), y_3 = S_3(x_1), y_4 = S_4(x_1), y_5 = S_5(x_1);$$

$$z_1 = S_1(x_2), z_2 = S_2(x_2), z_3 = S_3(x_2), z_4 = S_4(x_2), z_5 = S_5(x_2);$$

$$R = \left\{ (y, z) \in Y \times Y; \left[\begin{array}{l} (n * y_1 + m * y_2 < n * z_1 + m * z_2) \vee \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \vee \\ y_3 < z_3 \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \vee \\ y_3 = z_3 \wedge y_4 < z_4 \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \\ y_3 = z_3 \wedge y_4 = z_4 \wedge y_5 < z_5 \end{array} \right] \right\},$$

- S_1 – suma jednostek przerw pomiędzy zajęciami nauczycieli
- S_2 – ważona suma jednostek przerw pomiędzy zajęciami grup
- S_3 – średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela (w ciągu 2 tygodni)
- S_4 – średnia liczba dni zajęć dla grup (w ciągu 2 tygodni)
- S_5 – suma jednostek zajęć po godzinie 16 w całym planie

Zadania optymalizacji wyboru najlepszego planu

Model PPM III

$$F: X \rightarrow Y, Y \in \mathbb{R}^5, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5), F(x_2) = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5);$$

$$y_1 = S_3(x_1), y_2 = S_4(x_1), y_3 = S_1(x_1), y_4 = S_2(x_1), y_5 = S_5(x_1);$$

$$z_1 = S_3(x_2), z_2 = S_4(x_2), z_3 = S_1(x_2), z_4 = S_2(x_2), z_5 = S_5(x_2);$$

$$R = \left\{ (y, z) \in Y \times Y; \left[\begin{array}{l} (y_1 < z_1) \vee \\ (y_1 = z_1) \vee \\ (y_2 < z_2) \vee \\ (y_1 = z_1 \wedge y_2 = z_2 \\ n * y_3 + m * y_4 < n * z_3 + m * z_4) \vee \\ (y_1 = z_1 \wedge y_2 = z_2 \\ n * y_3 + m * y_4 = n * z_3 + m * z_4 \wedge \\ y_5 < z_5 \end{array} \right] \right\},$$

Zadanie optymalizacji wyboru zajęć do ułożenia

Kryteria oceny (1)

- ▶ C_1 – liczba przydziałów dla danych zajęć
- ▶ C_2 – liczba przydziałów dla danych zajęć (z pominięciem sal – pod uwagę brana jest tylko dostępność nauczyciela i grupy)
- ▶ C_3 – liczba przydziałów dla danych zajęć (z pominięciem liczby dostępnych sal – ważne, aby chociaż jedna sala była dostępna w danym przedziale czasu)
- ▶ C_4 – wskaźnik ilości przydziałów – suma jednostek czasu dostępności zasobów podzielona przez długość zajęć

Zadanie optymalizacji wyboru zajęć do ułożenia

Kryteria oceny (2)

- ▶ C_5 – wskaźnik trudności ustalenia zajęć dla danego nauczyciela $((D_3 - D_2)) / D_1$
- ▶ C_6 – wskaźnik trudności ustalenia zajęć dla danego nauczyciela (D_3/D_2)
- ▶ C_7 – wskaźnik trudności ustalenia zajęć dla grupy $((B_3 - B_2)) / B_1$
- ▶ C_8 – wskaźnik trudności ustalenia zajęć dla grupy (B_3 / B_2)
- ▶ C_9 – liczba tygodni, w których nauczyciel jest dostępny

B_1 – liczba zajęć do ustalenia dla grupy;

B_2 – suma jednostek czasu zajęć do ustalenia dla grupy;

B_3 – liczba jednostek czasu dostępności danej grupy;

D_1 – liczba zajęć do ustalenia dla wykładowcy

D_2 – liczba jednostek czasu zajęć do ustalenia dla wykładowcy

D_3 – liczba jednostek czasu dostępności wykładowcy w danym czasie

Zadanie optymalizacji wyboru zajęć do ułożenia

Model preferencji

▶ CPM I

Za najtrudniejsze zajęcia do ułożenia uważa się te, które mają najmniejszą liczbę *dostępnych przydziałów*. Jeśli liczba przydziałów dla dwóch lub więcej zajęć jest taka sama pod uwagę są brane kryteria C_5 i C_7 .

▶ CPM IV

W tym przypadku za najtrudniejsze do ułożenia uważane są zajęcia nauczycieli, którzy są dostępni co drugi tydzień – to właśnie ich zajęcia będą układane w pierwszej kolejności. Następnie rozważane są zajęcia o najmniejszej liczbie *przedziałów czasowych*, w których odpowiedni nauczyciel i grupa są dostępni. W dalszej kolejności pod uwagę są brane wskaźniki C_5 i C_7 .

Zadanie optymalizacji wyboru zajęć do ułożenia

Model preferencji CPM I

$$F: X \rightarrow Y, Y \in R^3, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3); F(x_2) = (z_1, z_2, z_3);$$

$$y_1 = C_1(x_1), y_2 = C_5(x_1), y_3 = C_7(x_1);$$

$$z_1 = C_1(x_2), z_2 = C_5(x_2), z_3 = C_7(x_2);$$

$$R = \{(y, z) \in X \times X; y_1 < z_1 \vee (y_1 = z_1 \wedge y_2 \leq z_2 \wedge y_3 \leq z_3)\}$$

Zadanie optymalizacji wyboru zajęć do ułożenia

Model preferencji CPM IV

$$F: X \rightarrow Y, Y \in R^4, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3, y_4); F(x_2) = (z_1, z_2, z_3, z_4);$$

$$y_1 = C_9(x_1), y_2 = C_2(x_1), y_3 = C_5(x_1), y_4 = C_7(x_1);$$

$$z_1 = C_9(x_2), z_2 = C_2(x_2), z_3 = C_5(x_2), z_4 = C_7(x_2);$$

$$R = \left\{ (y, z) \in X \times X; y_1 < z_1 \vee \left(\begin{array}{l} y_1 = z_1 \wedge y_2 < z_2 \\ (y_1 = z_1 \wedge y_2 = z_2 \wedge y_3 + y_4 \leq z_3 + z_4) \end{array} \right) \vee \right\}.$$

Zadanie optymalizacji wyboru przydziału dla zajęć

Kryteria oceny (1)

- ▶ A_1 – suma jednostek czasu przerw w planie zajęć nauczyciela w po wstawieniu zajęć w przydział (s, h, n)
- ▶ A_2 – suma jednostek przerw w planie zajęć grupy g po wstawieniu zajęć w dany przydział
- ▶ A_3 – liczba jednostek czasu danego przydziału po godzinie 16⁰⁰
- ▶ A_4 – obłożenie sali – suma jednostek *niewygodnych przerw* w planie sali s po wstawieniu zajęć w przydział

Zadanie optymalizacji wyboru przydziału dla zajęć

Kryteria oceny (2)

- ▶ A_5 – godzina rozpoczęcia zajęć – preferowane są przydziały z wcześniejszą godziną rozpoczęcia
- ▶ A_6 – liczba dni zajęć dla nauczyciela w po wstawieniu zajęć w przydział
- ▶ A_7 – liczba dni zajęć dla grupy g po wstawieniu zajęć w przydział

Zadanie optymalizacji wyboru przydziału dla zajęć

Model preferencji

- ▶ **APM II** – preferowane są przydziały, które minimalizują liczbę jednostek przerw w planie nauczyciela i grupy. W dalszej kolejności minimalizowana jest liczba dni zajęć nauczyciela, liczba jednostek zajęć po godzinie 16, liczba niewygodnych przerw w planie sali i na końcu godzina rozpoczęcia zajęć.
- ▶ **APM V** – preferowane są przydziały, które minimalizują liczbę dni zajęć nauczyciela i grupy. Następnie pod uwagę są brane przydziały, które minimalizują liczbę przerw w planie nauczyciela i grupy. W dalszej kolejności uwzględniane są kryteria: liczba jednostek zajęć po godzinie 16, liczba niewygodnych przerw w planie sali i godzina rozpoczęcia zajęć.

Zadanie optymalizacji wyboru przydziału dla zajęć

Model preferencji APM II

$$F: X \rightarrow Y, Y \in R^6, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6), F(x_2) = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6);$$

$$y_1 = A_1(x_1), y_2 = A_2(x_1), y_3 = A_6(x_1), y_4 = A_3(x_1), y_5 = A_4(x_1), y_6 = A_5(x_1);$$

$$z_1 = A_1(x_2), z_2 = A_2(x_2), z_3 = A_6(x_2), z_4 = A_3(x_2), z_5 = A_4(x_2), z_6 = A_5(x_2);$$

$$R = \left\{ (y, z) \in Y \times Y; \left[\begin{array}{l} (n * y_1 + m * y_2 < n * z_1 + m * z_2) \vee \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \vee \\ y_3 < z_3 \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \vee \\ y_3 = z_3 \wedge y_4 < z_4 \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \vee \\ y_3 = z_3 \wedge y_4 = z_4 \wedge y_5 < z_5 \\ (n * y_1 + m * y_2 = n * z_1 + m * z_2 \wedge) \\ y_3 = z_3 \wedge y_4 = z_4 \wedge y_5 = z_5 \wedge y_6 < z_6 \end{array} \right. \right\},$$

gdzie: n, m – współczynniki.

Zadanie optymalizacji wyboru przydziału dla zajęć

Model preferencji APM V

$F: X \rightarrow Y, Y \in R^7, x_1, x_2 \in X, F(x_1) = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7), F(x_2) = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7);$

$y_1 = A_6(x_1), y_2 = A_7(x_1), y_3 = A_1(x_1), y_4 = A_2(x_1), y_5 = A_3(x_1), y_6 = A_4(x_1), y_7 = A_5(x_1);$

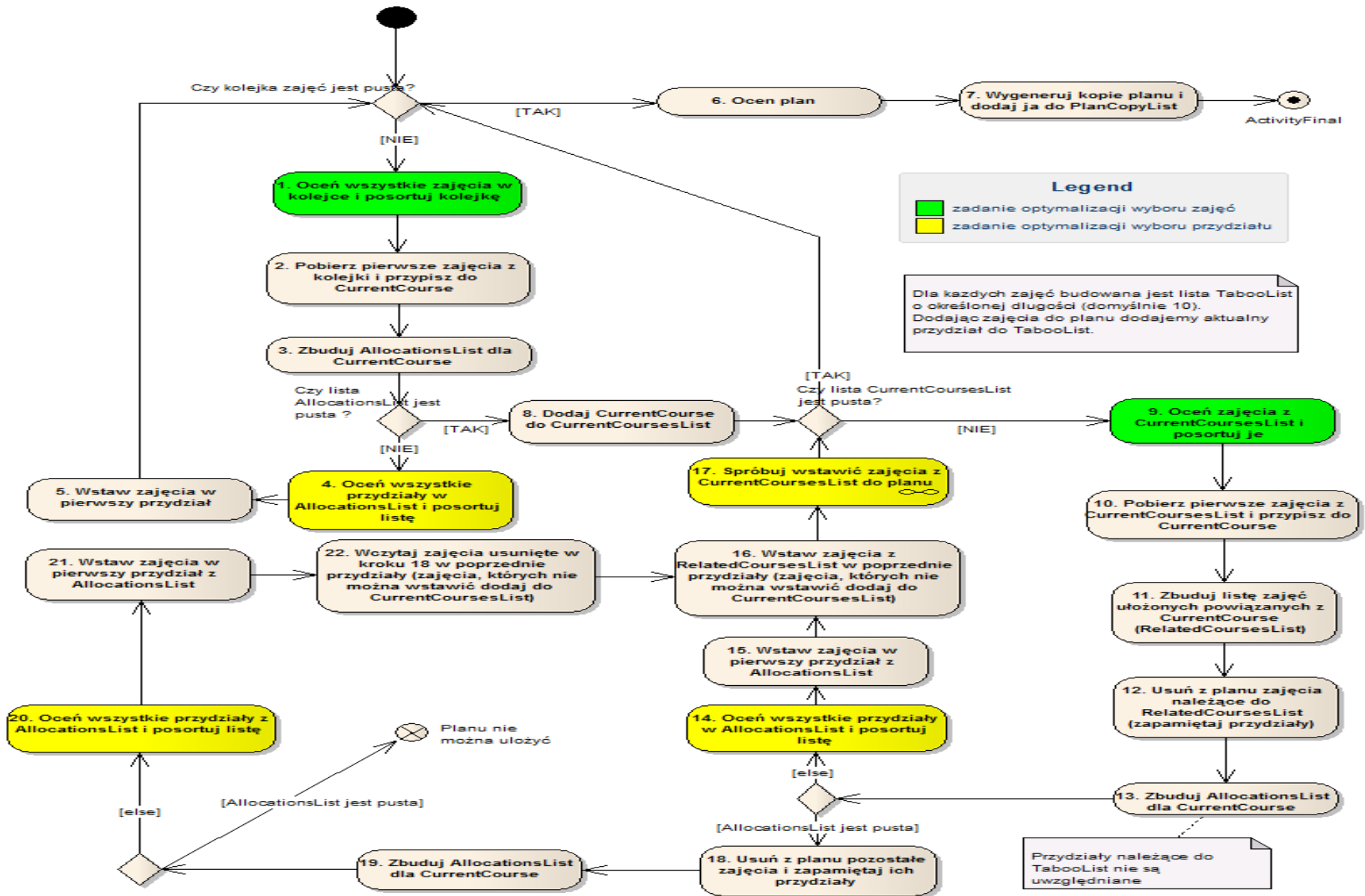
$z_1 = A_6(x_2), z_2 = A_7(x_2), z_3 = A_1(x_2), z_4 = A_2(x_2), z_5 = A_3(x_2), z_6 = A_4(x_2), z_7 = A_5(x_2);$

$$R = \left\{ (y, z) \in Y \times Y; \left[\begin{array}{l} (t * y_1 + g * y_2 < t * z_1 + g * z_2) \vee \\ (t * y_1 + g * y_2 = t * z_1 + g * z_2 \wedge) \vee \\ (n * y_3 + m * y_4 < n * z_3 + m * z_4) \vee \\ (t * y_1 + g * y_2 = t * z_1 + g * z_2 \wedge) \\ (n * y_3 + m * y_4 = n * z_3 + m * z_4 \wedge) \vee \\ y_5 < z_5 \\ (t * y_1 + g * y_2 = t * z_1 + g * z_2 \wedge) \\ (n * y_3 + m * y_4 = n * z_3 + m * z_4 \wedge) \vee \\ y_5 = z_5 \wedge y_6 < z_6 \\ (t * y_1 + g * y_2 = t * z_1 + g * z_2 \wedge) \\ (n * y_3 + m * y_4 = n * z_3 + m * z_4 \wedge) \\ y_5 = z_5 \wedge y_6 = z_6 \wedge y_7 < z_7 \end{array} \right. \right\},$$

gdzie: t, g, n, m – współczynniki (domyślnie $t = 1, g = 1$).

ETAP I: Search Algorithm (SA)

act SA



Search Algorithm (SA)

Dane testowe

Testy przeprowadzono na rzeczywistych danych z roku akademickiego 2009/2010 z wydziału Matematyki i Informatyki UWM w Olsztynie (semestr zimowy). Dane w postaci plików XML dostępne są pod adresem <http://wmii.uwm.edu.pl/~piotrczerpak/APSS/Data/>

Ogólna charakterystyka danych:

- ▶ Liczba nauczycieli: 83
- ▶ Liczba *grup rzeczywistych*: 110
- ▶ Liczba *grup abstrakcyjnych*: 24
- ▶ Liczba zajęć: 294

Search Algorithm (SA)

Wyniki

1. suma jednostek przerw pomiędzy zajęciami nauczycieli
2. ważona suma jednostek przerw pomiędzy zajęciami grup
3. średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela (w ciągu 2 tygodni)
4. średnia liczba dni zajęć dla grup (w ciągu 2 tygodni)
5. suma jednostek zajęć po godzinie 16 w całym planie

| nr kryterium | Planista | CPM I / APM V | CPM IV/ APM V | CPM I /APM II | CPM I /APM II | CPM IV/APM II | CPM IV/APM II |
|--------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | n=10, m=5 | n=5, m=1 | n=1, m=10 | n=5, m=1 | n=5, m=1 | n=1, m=5 |
| 1 | 299,00 | 623,00 | 530,00 | 96,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 |
| 2 | 588,20 | 549,44 | 355,95 | 41,73 | 60,06 | 25,58 | 17,17 |
| 3 | 3,63 | 2,98 | 3,07 | 3,78 | 3,90 | 3,92 | 3,99 |
| 4 | 8,42 | 7,70 | 7,51 | 9,29 | 9,14 | 9,41 | 9,36 |
| 5 | 752,00 | 1237,00 | 1262,00 | 598,00 | 626,00 | 494,00 | 492,00 |

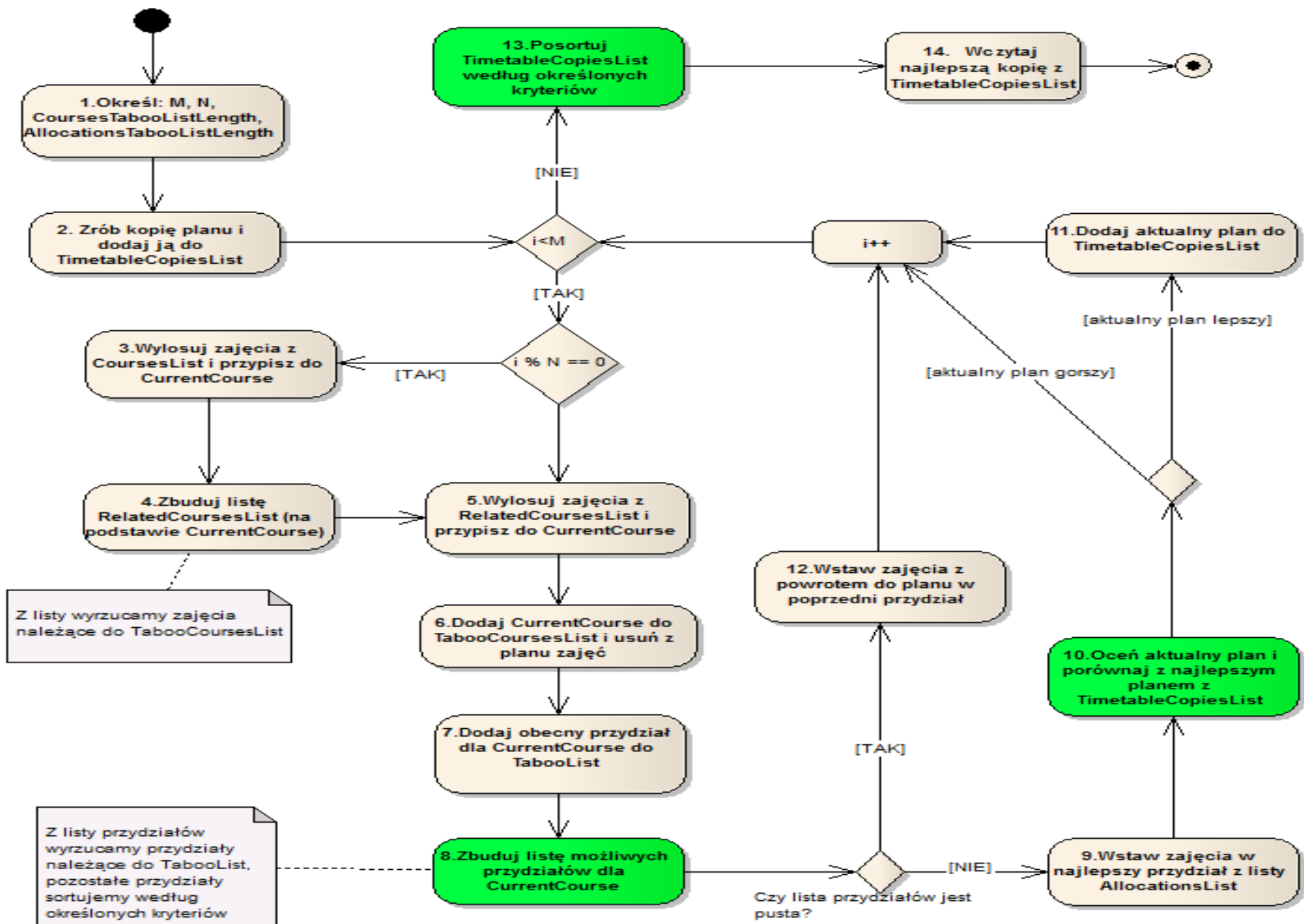
ETAP II

Algorytmy przeszukiwania lokalnego

- ▶ **TSIA** – algorytm przeszukiwania tabu (przy zerowej długości listy tabu dla przydziałów jest to typowy algorytm stałego wzrostu)
- ▶ **TSAIA** – algorytm przeszukiwania tabu z określonym kryterium aspiracji
- ▶ **TSAwHCIA** – hybryda algorytmu przeszukiwania tabu i algorytmu stałego wzrostu
- ▶ **SAIA** – algorytm symulowanego wyżarzania z geometrycznym schematem chłodzenia
- ▶ **LSwTSAIA** – algorytm przeszukiwania lokalnego z dekompozycją problemu

TSIA

act TSIA



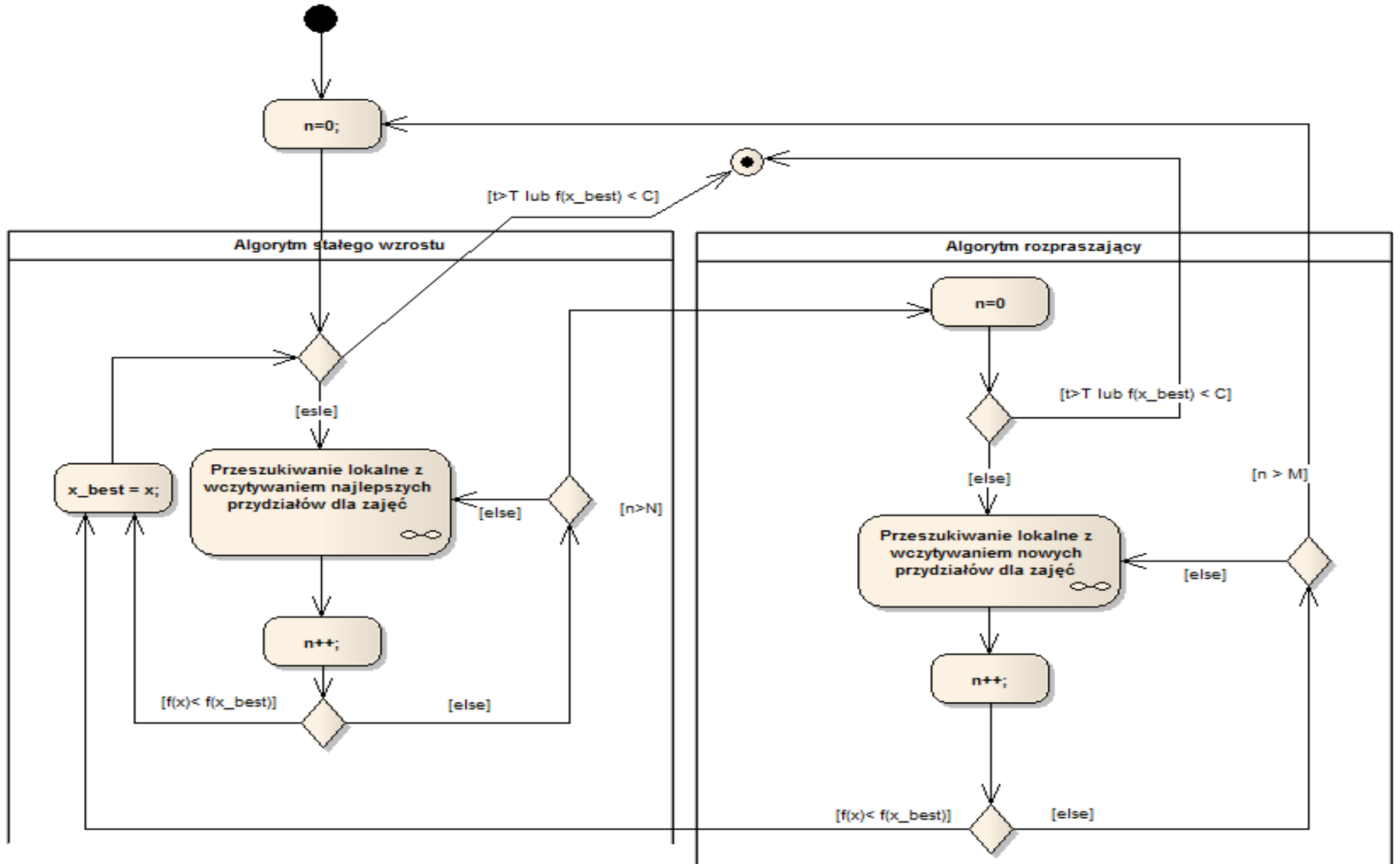
TSAIA

- ▶ Jest to algorytm TSIA, który został wzbogacony o kryterium aspiracji dla przydziałów
- ▶ Im dłuższa lista tabu i wyższa wartość kryterium aspiracji, tym większa liczba różnych planów była rozpatrywana i większe było ich rozproszenie po całej przestrzeni decyzyjnej. Nie przekłada to się jednak na ogólną ocenę otrzymanych planów.

TSAwHCIA

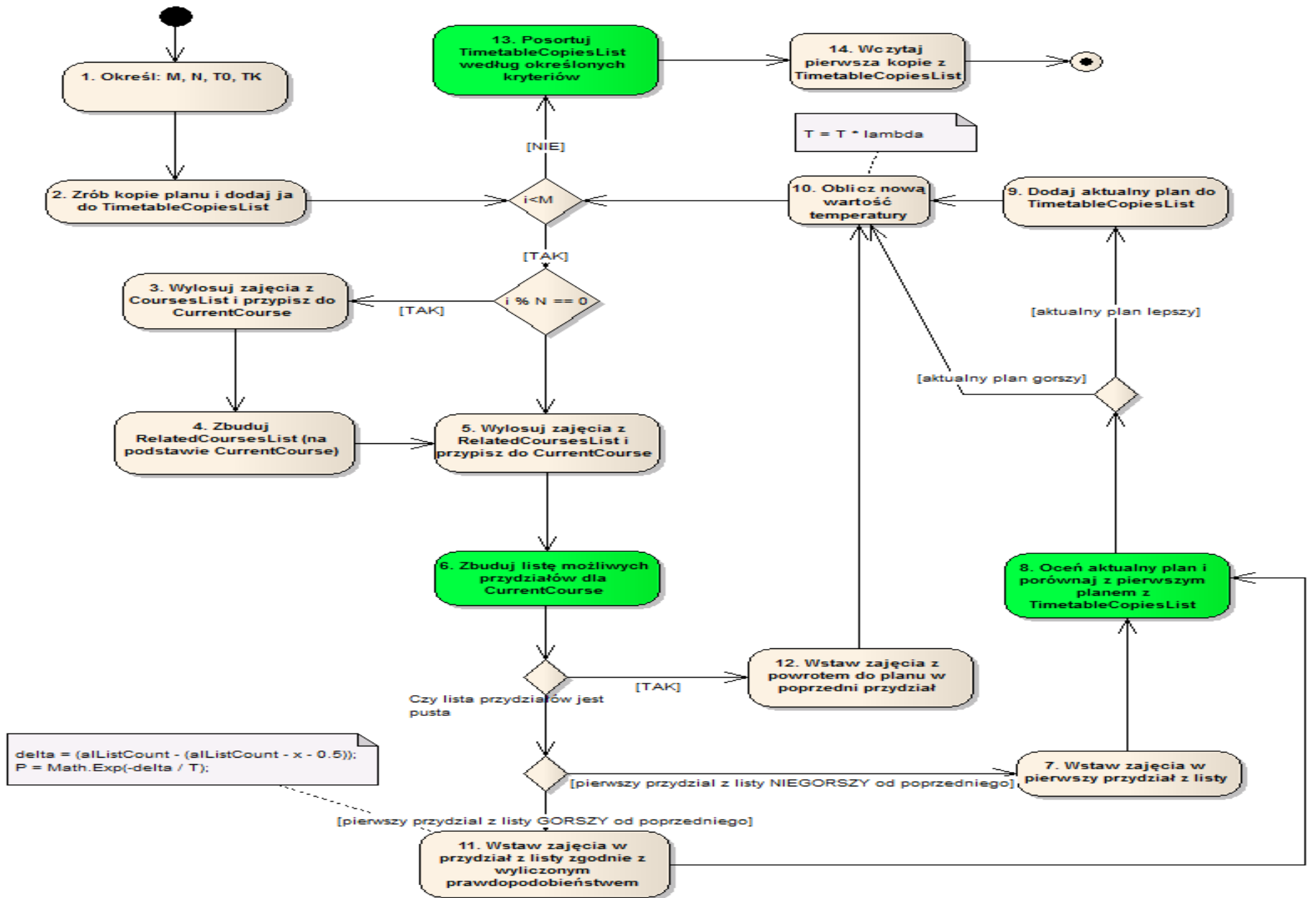
act TSAwHCIA

Ogólny schemat algorytmu TSAwHCIA z minimalizacją funkcji celu



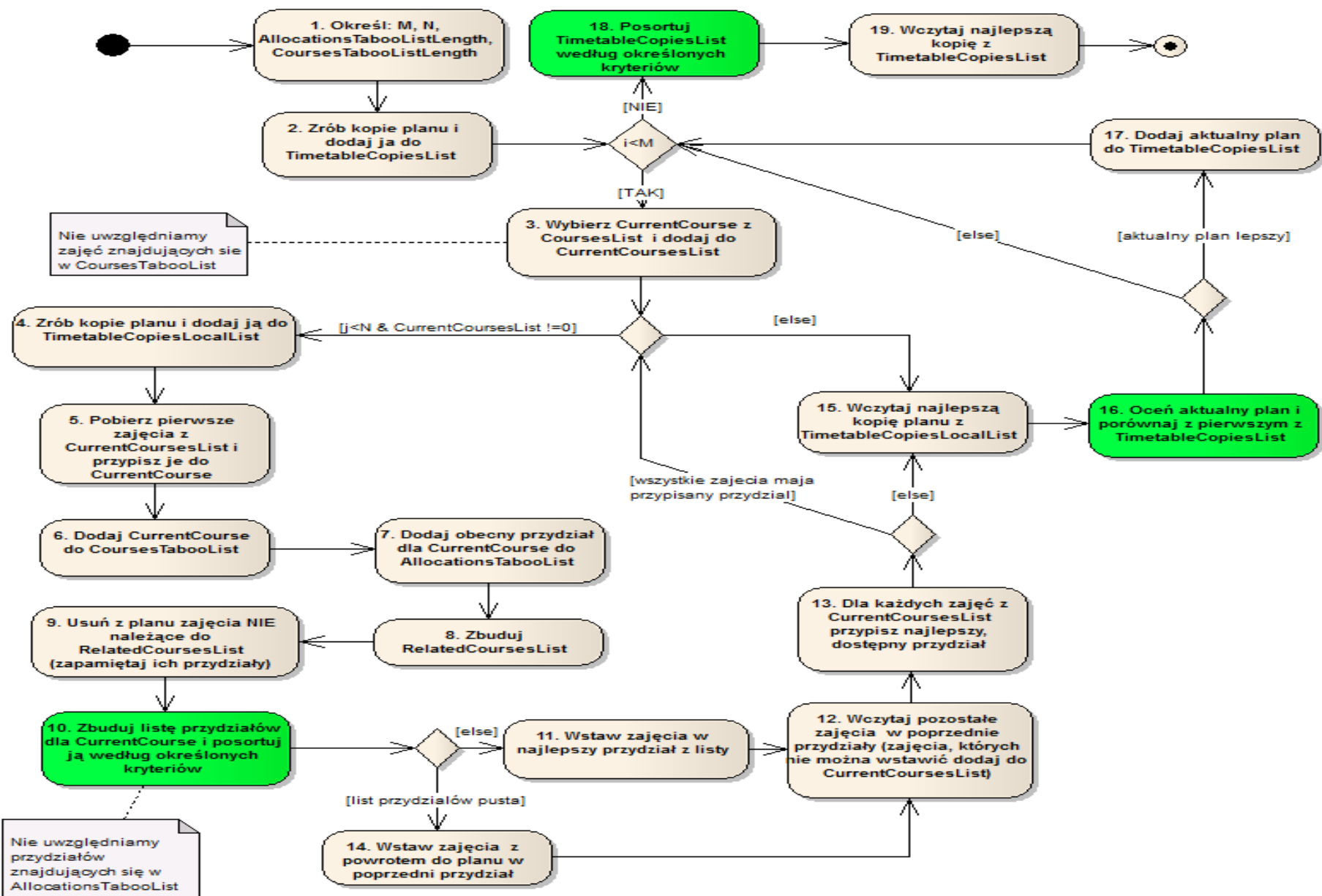
SAIA

act SAIA



LSwTSAIA

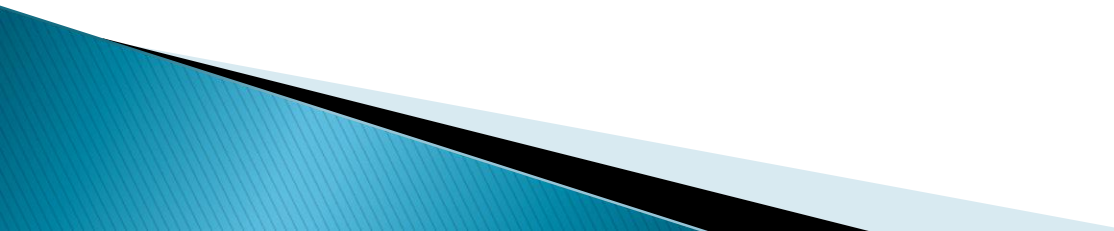
act LSwTSAIA



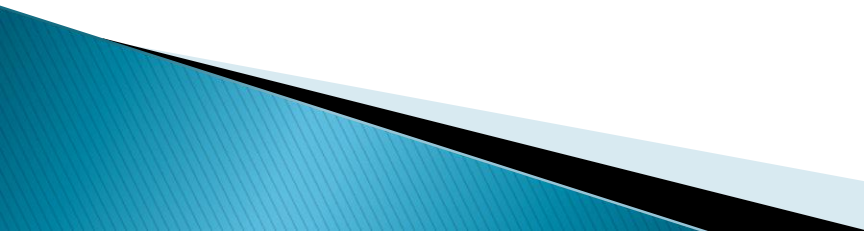
Nie uwzględniamy zajęć znajdujących się w CoursesTabooList

Nie uwzględniamy przydziałów znajdujących się w AllocationsTabooList

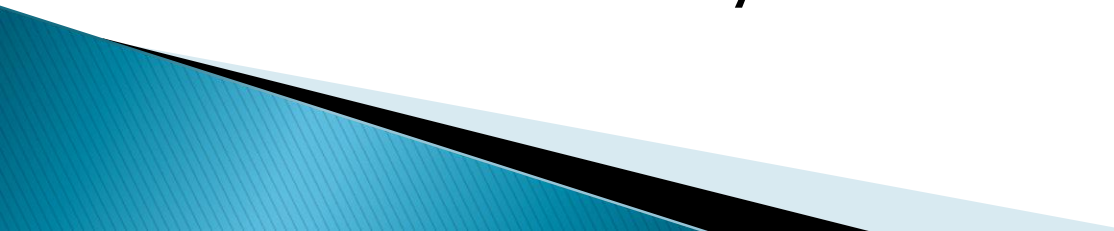
LSwTSAIA

1. Lista tabu dla zajęć (by uniknąć przestawiania tych samych zajęć)
 2. Lista tabu dla przydziałów (z kryterium aspiracji)
 3. Lokalna optymalizacja podproblemu
 4. Dekompozycja problemu względem zajęć :
 - ▶ zajęcia tego samego nauczyciela
 - ▶ zajęcia tej samej grupy
 - ▶ zajęcia tej samej grupy i wszystkich grup zależnych
 - ▶ zajęcia tego samego nauczyciela, tej samej grupy i wszystkich grup zależnych
- 


Kryteria oceny algorytmów

- ▶ Ocena jakości planów (wartości poszczególnych kryteriów oceny planów)
 - ▶ Skuteczność przeszukiwania przestrzeni decyzyjnej – im większe rozproszenie planów tym większe szanse na osiągnięcie optimum globalnego
 - ▶ Czas działania algorytmów (*)
- 

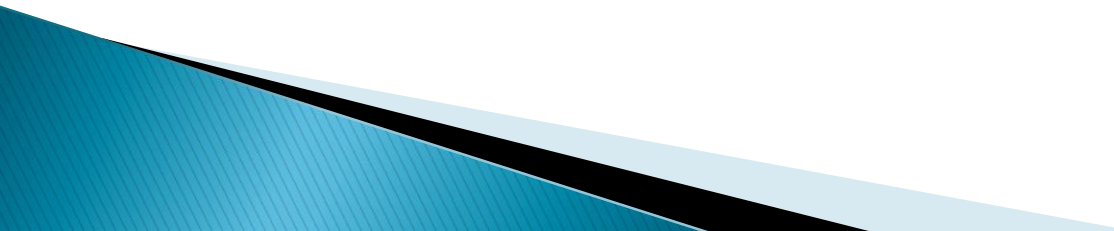
Kryteria oceny stopnia przeszukania przestrzeni decyzyjnej (1)

1. Łączna liczba rozpatrywanych terminów dla wszystkich zajęć
 2. Łączna liczba jednostek czasu rozpatrywanych terminów dla wszystkich zajęć
 3. Średnia liczba rozpatrywanych terminów dla zajęć
 4. Średnia liczba jednostek czasu rozpatrywanych terminów dla zajęć
 5. Mediana liczby terminów
- 

Kryteria oceny stopnia przeszukania przestrzeni decyzyjnej (1)

6. Mediana liczby jednostek
 7. Minimalna liczba terminów dla zajęć
 8. Minimalna liczba jednostek czasu rozpatrywanych terminów dla zajęć
 9. Maksymalna liczba terminów dla zajęć
 10. Maksymalna liczba jednostek czasu rozpatrywanych terminów dla zajęć
 11. Liczba unikalnych planów wziętych pod uwagę
 12. Liczba wszystkich planów wziętych pod uwagę
- 

Kryteria oceny stopnia przeszukania przestrzeni decyzyjnej (1)

13. Maksymalne rozproszenie planów według metryki Hamminga
 14. Maksymalne rozproszenie planów według ważonej metryki Hamminga
 15. Maksymalna odległość od najlepszego planu według metryki Hamminga
 16. Maksymalna odległość od najlepszego planu według ważonej metryki Hamminga
- 

Wybrane kombinacje zadań optymalizacji

1. CPM I, APM II ($n=1, m=10$) i PPM III
2. CPM IV, APM II ($n=1, m=5$) i PPM II
3. CPM IV, APM V($n=5, m=1$), PPM I
4. CPM IV, APM V($n=5, m=1$), PPM II

Wybrane kombinacje zadań optymalizacji CPM I, APM II ($n=1, m=10$) i PPM III

Plany porównywane są najpierw pod względem średniej liczby dni dla nauczycieli, następnie średniej liczby dni zajęć dla grup, a dopiero później pod względem łącznej sumy przerw dla nauczycieli i grup.

Model preferencji wyboru przydziału (APM II) nie odzwierciedla modelu preferencji wyboru planu (PPM III). Przy wyborze przydziału dla zajęć preferowane są te, które minimalizują sumę ważoną łącznych przerw nauczyciela i grupy (wagi $n=1, m=10$), a dopiero później średnią liczbę dni zajęć nauczyciela. Takie podejście ma za zadanie równomiernie minimalizować średnią liczbę dni zajęć jak i przerwy w planach nauczycieli i grup.

Wybrane kombinacje zadań optymalizacji CPM IV, APM II ($n=1, m=5$) I PPM II

PPM II preferuje plany o mniejszej liczbie przerw w planach nauczycieli i grup, a następnie mniejszej średniej liczbie dni zajęć dla nauczycieli oraz średniej liczbie dni zajęć dla grup.

Model preferencji zastosowany do wyboru przydziału APM II odzwierciedla model preferencji zadania optymalizacji planów PPM II.

Wybrane kombinacje zadań optymalizacji CPM IV, APM V($n=5, m=1$), PPM I

Model PPM I preferuje plany o mniejszej średniej liczbie dni zajęć dla nauczycieli, a w drugiej kolejności mniejszej łącznej liczbie przerw dla nauczycieli i grup.

Model APM V preferuje przydziały o mniejszej sumie średniej liczby dni zajęć nauczyciela i grupy ($t=1$ i $g=1$), a dopiero później porównuje przydziały pod względem sumy ważonej łącznej liczby przerw dla nauczycieli i grup (wagi odpowiednio $n=5$ i $m=1$).

Wybrane kombinacje zadań optymalizacji CPM IV, APM V($n=5, m=1$), PPM II

Lokalnie wybierane są przydziały, które minimalizują średnią liczbę dni zajęć nauczycieli i grup, globalnie wybierane są plany o mniejszej łącznej sumie przerw pomiędzy zajęciami nauczycieli i grup.

Parametry algorytmów w testach TSIA

- ▶ M (łączna liczba iteracji): 100 000
- ▶ N (liczba lokalnych iteracji): 25
- ▶ Długość listy tabu dla przydziałów (*AllocationsTabooListLength*): 0
- ▶ Długość listy tabu dla zajęć (*CoursesTabooListLength*): 10

Przy zerowej długości listy tabu dla przydziałów jest to typowy algorytm stałego wzrostu (ang. Hill Climbing Algorithm)

Parametry algorytmów w testach TSAIA

- ▶ M (łączna liczba iteracji): 50 000
- ▶ N (liczba lokalnych iteracji): 25
- ▶ Długość listy tabu dla przydziałów (*AllocationsTabooListLength*): 10
- ▶ Długość listy tabu dla zajęć (*CoursesTabooListLength*): 10
- ▶ Kryterium aspiracji (oczekiwana poprawa poszczególnych kryteriów wyrażona w procentach): 1

Jest to standardowy algorytm przeszukiwania tabu z kryterium aspiracji

Parametry algorytmów w testach TSAwHCIA

- ▶ M (łączna liczba iteracji): 100 000
- ▶ N (liczba lokalnych iteracji): 25
- ▶ Długość listy tabu dla przydziałów (*AllocationsTabooListLength*): 20
- ▶ Długość listy tabu dla zajęć (*CoursesTabooListLength*): 10
- ▶ Kryterium aspiracji (oczekiwana poprawa poszczególnych kryteriów oceny przydziałów wyrażona w procentach): 5
- ▶ Liczba iteracji bez poprawy planu po której jest uruchamiany algorytm rozpraszający: 1000
- ▶ Maksymalna liczba iteracji algorytmu rozpraszającego: 1000

Jest to zaproponowana przez autora hybryda algorytmu stałego wzrostu i algorytmu przeszukiwania tabu z kryterium aspiracji.

Parametry algorytmów w testach SAIA

- ▶ M (łączna liczba iteracji): 100 000
- ▶ N (liczba lokalnych iteracji): 50
- ▶ T_0 (temperatura początkowa): 200
- ▶ λ (współczynnik zmiany temperatury): 0.9999

Jest to standardowy algorytm symulowanego wyżarzania.

Parametry algorytmów w testach LSwTSAIA

- ▶ M (liczba iteracji dużej pętli – globalnego problemu): 10 000
- ▶ N (maksymalna liczba iteracji w małej pętli – lokalnego problemu): 25
- ▶ Długość listy tabu dla przydziałów (*AllocationsTabooListLength*): 10
- ▶ Długość listy tabu dla zajęć (*CoursesTabooListLength*): 10
- ▶ Kryterium aspiracji (oczekiwana poprawa poszczególnych kryteriów oceny przydziału wyrażona w procentach): 1

Jest to unikalny algorytm zaproponowany przez autora. Algorytm bazuje na metodach przeszukiwania tabu i zaproponowanej przez autora dekompozycji problemu (definicji lokalnych problemów układania planów wyznaczonych przez rozpatrywane zajęcia i zajęcia powiązane).

Ocena jakości uzyskanych planów (1)

CPM_IV_APM_II(n=1,m=5)_PPM_II

| | PLANISTA | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
|--|----------|-------|-------|-------|----------|-------|----------|
| łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 17,17 | 17,17 | 17,17 | 15,17 | 17,17 | 11,67 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 3,99 | 3,84 | 3,99 | 3,88 | 3,99 | 3,61 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 9,36 | 9,32 | 9,36 | 9,28 | 9,36 | 9,23 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 492 | 492 | 492 | 472 | 492 | 650 |
| Liczba iteracji | | | 10000 | 0 | 10000 | 0 | 6000 |
| Przybliżony czas w minutach | | | 19,2 | 0 | 19,1 | 0 | 130,8 |

CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_I

| | PLANISTA | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
|--|----------|--------|--------|--------|----------|--------|----------|
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 3,07 | 2,86 | 2,99 | 2,67 | 2,78 | 2,52 |
| łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 530 | 442 | 699 | 349 | 472 | 404 |
| łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 355,95 | 340,66 | 804,89 | 582,44 | 586,12 | 301,46 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 7,51 | 7,45 | 8,77 | 8,32 | 8,35 | 8,17 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 1038 | 1009 | 1334 | 1134 | 1134 | 1056 |
| Liczba iteracji | | | 10000 | 30000 | 30000 | 99999 | 8000 |
| Przybliżony czas w minutach | | | 18,9 | 45,6 | 77,4 | 180 | 245,6 |

Ocena jakości uzyskanych planów (2)

| CPM_I_APM_II(n=1,m=10)_PPM_III | | | | | | | |
|--|----------|-------|-------|-------|----------|-------|----------|
| | PLANISTA | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 3,78 | 3,64 | 3,78 | 3,69 | 3,76 | 2,93 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 9,29 | 9,28 | 9,23 | 9,29 | 9,29 | 8,49 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 96 | 46 | 146 | 14 | 98 | 161 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 41,73 | 39,73 | 51,89 | 30,06 | 89,73 | 140,17 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 598 | 658 | 620 | 644 | 622 | 901 |
| Liczba iteracji | | | 10000 | 5000 | 10000 | 10000 | 9999 |
| Przybliżony czas w minutach | | | 14,8 | 6,2 | 13,2 | 12,7 | 271 |

| CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_II | | | | | | | |
|--|----------|--------|--------|--------|----------|--------|----------|
| | PLANISTA | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 530 | 484 | 518 | 243 | 250 | 12 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 355,95 | 361,16 | 317,28 | 432,01 | 507,99 | 108,48 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 3,07 | 2,86 | 3,07 | 2,87 | 2,96 | 3,46 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 7,51 | 7,49 | 7,51 | 8,46 | 8,52 | 8,38 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 1038 | 1027 | 1038 | 1069 | 1216 | 1032 |
| Liczba iteracji | | | 10000 | 5000 | 30000 | 90000 | 9999 |
| Przybliżony czas w minutach | | | 12,3 | 5,2 | 58,5 | 102,6 | 204 |

Ocena skuteczności algorytmów

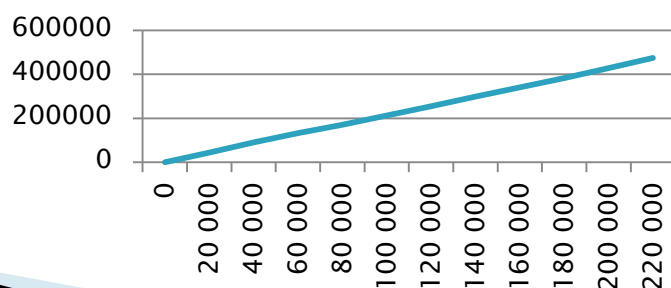
CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_I

| | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
|--|---------|--------|-----------|---------|----------|
| Liczba iteracji | 100 000 | 50 000 | 100 000 | 100 000 | 10 000 |
| 1. łączna liczba rozpatrywanych terminów | 24162 | 73012 | 73325 | 63067 | 39936 |
| 2. łączna liczba jednostek czasu | 39722 | 92316 | 92758 | 86421 | 59938 |
| 3. Średnia liczba rozpatrywanych terminów | 84,483 | 255,3 | 256,38112 | 220,51 | 139,6364 |
| 4. Średnia liczba jednostek czasu | 138,89 | 322,8 | 324,32867 | 302,17 | 209,5734 |
| 5. Mediana liczby terminów | 82 | 284 | 287 | 248 | 156 |
| 6. Mediana liczby jednostek | 141 | 375 | 376 | 356 | 228 |
| 7. Minimalna liczba terminów | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8. Minimalna liczba jednostek | 14 | 16 | 16 | 16 | 14 |
| 9. Maksymalna liczba terminów | 236 | 422 | 422 | 420 | 298 |
| 10. Maksymalna liczba jednostek czasu | 340 | 480 | 480 | 480 | 404 |
| 11. liczba unikalnych planów | 41 | 37399 | 41265 | 30081 | 26110 |
| 12. Liczba wszystkich planów | 100000 | 50000 | 100000 | 194751 | 58489 |
| 13. Max. rozproszenie planów (metryka Hamminga) | 69 | 547 | 547 | 539 | 235 |
| 14. Max. rozproszenie planów (ważona metryka Hamminga) | 4001 | 43226 | 42599 | 37768 | 14041 |
| 15. Max. odległość od najlepszego planu (metryka Hamminga) | 69 | 545 | 545 | 530 | 207 |
| 16. Max. odległość od najlepszego planu (ważona m. Hamminga) | 3981 | 38272 | 39995 | 36417 | 12482 |

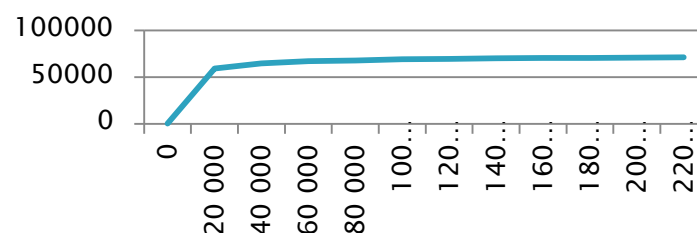
Wyniki testów algorytmu LSwTSAIA

| | LSwTSAIA CPM IV APM II(n=1,m=5) PPM II | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Liczba iteracji | 0 | 20 000 | 40 000 | 60 000 | 80 000 | 100 000 | 120 000 | 140 000 | 160 000 | 180 000 | 200 000 | 220 000 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 17,17 | 11,67 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | 5,83 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,99 | 3,48 | 3,46 | 3,36 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,25 | 3,25 | 3,25 | 3,25 | 3,25 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 9,36 | 9,01 | 8,88 | 8,83 | 9,04 | 9,04 | 9,04 | 9,13 | 9,13 | 9,13 | 9,13 | 9,13 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 492 | 718 | 761 | 712 | 754 | 754 | 754 | 698 | 698 | 698 | 698 | 698 |
| Łączna liczba rozpatrywanych terminów | 548 | 59389 | 64752 | 67004 | 67859 | 69178 | 69465 | 70318 | 70554 | 70657 | 70753 | 71337 |
| Łączna liczba jednostek czasu | 4488 | 81280 | 86655 | 88580 | 89346 | 90207 | 90287 | 90892 | 91016 | 91039 | 91077 | 91427 |
| Liczba unikalnych planów | 1 | 44022 | 90945 | 132455 | 171167 | 213151 | 255095 | 298679 | 340773 | 383097 | 428600 | 473892 |
| Liczba wszystkich planów | 2 | 119679 | 244170 | 354761 | 463186 | 576676 | 689631 | 802596 | 911093 | 1020341 | 1137222 | 1254460 |

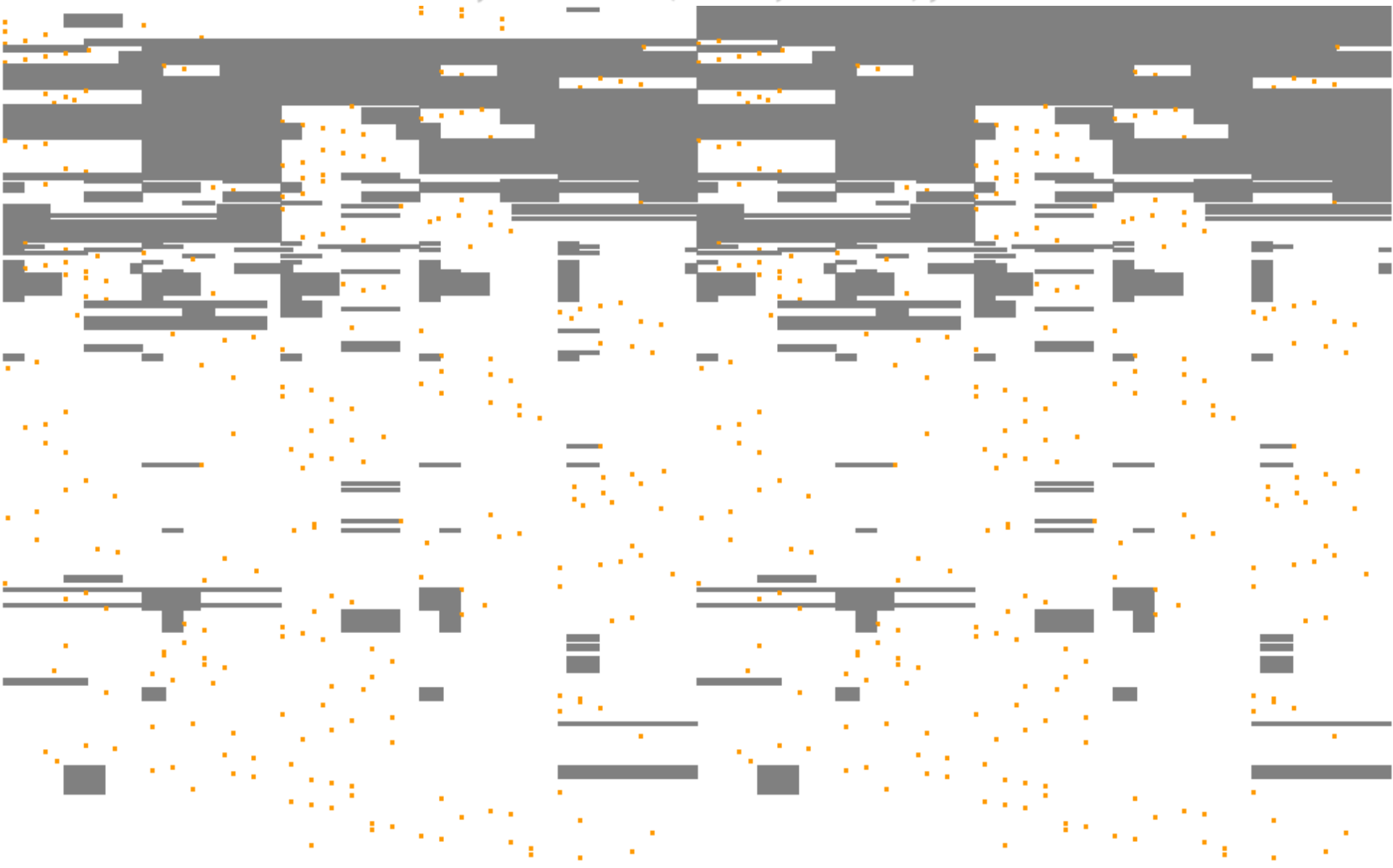
Liczba unikalnych planów



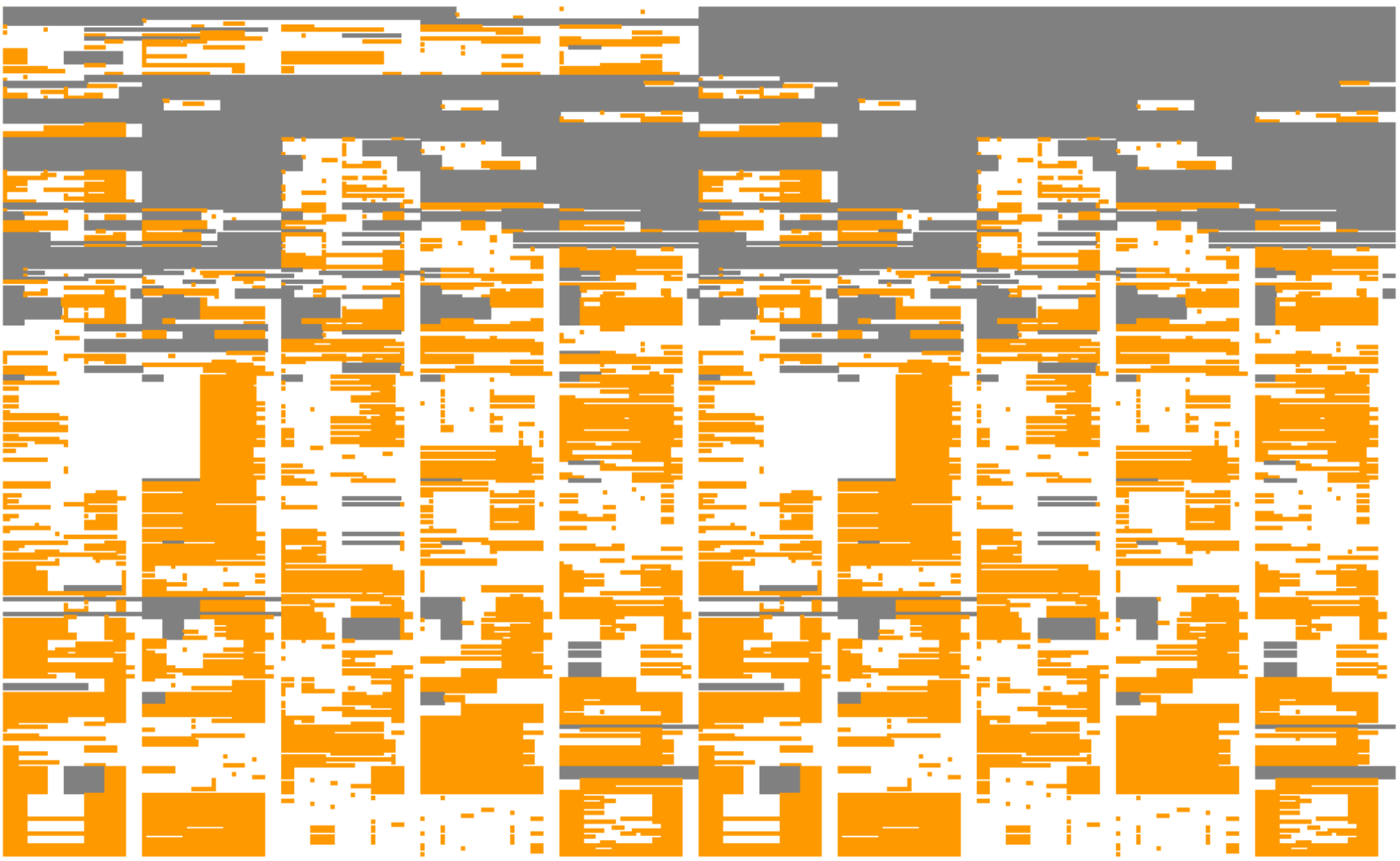
Łączna liczba rozpatrywanych terminów



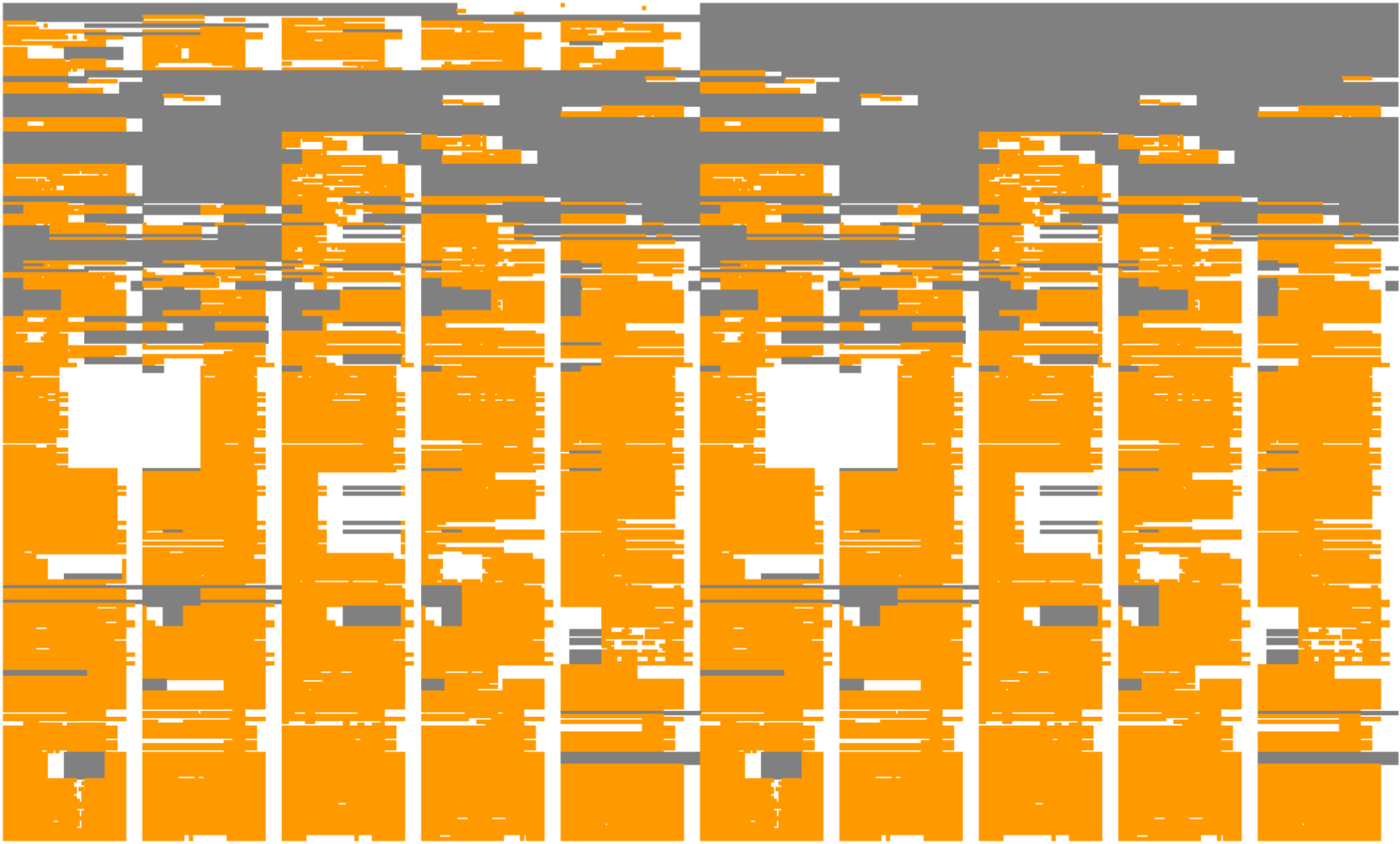
Wizualizacja planu uzyskanego przez algorytm SA dla CPM IV, APM V ($n=5$, $m=1$), PPM I



Rozpatrywane terminy dla zajęć przez algorytm LSwtSAIA (10 000 iteracji) dla CPM IV, APM V (n=5, m=1), PPM I



Rozpatrywane terminy dla zajęć przez algorytm
TSAwHCIA (100 000 iteracji)
dla CPM IV, APM V (n=5, m=1), PPM I



Odległość najlepszych planów od planu otrzymanego w pierwszym etapie

| Odległości od planów uzyskanych algorytmem SA | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|----------|--------|----------|
| CPM_I_APM_II(n=1,m=10)_PPM_III | | | | | | |
| | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
| Odległość mierzona metryką Hamminga | 0 | 60 | 20 | 64 | 6 | 273 |
| Odległość mierzona ważoną metryką Hamminga | 0 | 4370 | 1134 | 4760 | 512 | 19333 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,78 | 3,64 | 3,78 | 3,69 | 3,76 | 2,93 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 9,29 | 9,28 | 9,23 | 9,29 | 9,29 | 8,49 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 96 | 46 | 146 | 14 | 98 | 161 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 41,73 | 39,73 | 51,89 | 30,06 | 89,73 | 140,17 |
| CPM_IV_APM_II(n=1,m=5)_PPM_II | | | | | | |
| | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
| Odległość mierzona metryką Hamminga | 0 | 34 | 0 | 38 | 2 | 310 |
| Odległość mierzona ważoną metryką Hamminga | 0 | 2315 | 0 | 3278 | 6 | 24427 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 17,17 | 17,17 | 17,17 | 15,17 | 17,17 | 11,67 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,99 | 3,84 | 3,99 | 3,88 | 3,99 | 3,61 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 9,36 | 9,32 | 9,36 | 9,28 | 9,36 | 9,23 |
| CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_I | | | | | | |
| | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
| Odległość mierzona metryką Hamminga | 0 | 69 | 541 | 535 | 518 | 200 |
| Odległość mierzona ważoną metryką Hamminga | 0 | 3981 | 33117 | 32249 | 32944 | 11649 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,07 | 2,86 | 2,99 | 2,67 | 2,78 | 2,52 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 530 | 442 | 699 | 349 | 472 | 404 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 355,95 | 340,66 | 804,89 | 582,44 | 586,12 | 301,46 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 7,51 | 7,45 | 8,77 | 8,32 | 8,35 | 8,17 |
| CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_II | | | | | | |
| | SA | TSIA | TSAIA | TSAwHCIA | SAIA | LSwTSAIA |
| Odległość mierzona metryką Hamminga | 0 | 59 | 8 | 519 | 523 | 259 |
| Odległość mierzona ważoną metryką Hamminga | 0 | 3933 | 306 | 35929 | 31749 | 18304 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 530 | 484 | 518 | 243 | 250 | 12 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 355,95 | 361,16 | 317,28 | 432,01 | 507,99 | 108,48 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,07 | 2,86 | 3,07 | 2,87 | 2,96 | 3,46 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 7,51 | 7,49 | 7,51 | 8,46 | 8,52 | 8,38 |

Złożone modele preferencji a suma ważona kryteriów

CPM_I_APM_II(n=1,m=10)_PPM_III

| | PLANISTA | LSwTSAIA | LSwTSAIA linear | | | | | |
|--|----------|----------|-----------------|------|--------|------|--------|------|
| | | | | wagi | | wagi | | wagi |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 2,93 | 3,80 | 1 | 3,81 | 4 | 3,49 | 8 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 8,49 | 9,63 | 1 | 9,32 | 3 | 9,53 | 6 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 161 | 115 | 1 | 130 | 2 | 96 | 4 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 140,17 | 206,47 | 1 | 165,42 | 2 | 140,51 | 4 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 901 | 176 | 1 | 226 | 1 | 258 | 1 |

CPM_IV_APM_II(n=1,m=5)_PPM_II

| | PLANISTA | LSwTSAIA | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|---|-------|---|--------|---|
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 0 | 110 | 1 | 116 | 4 | 120 | 8 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 11,67 | 131,78 | 1 | 84,63 | 4 | 140,51 | 8 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 3,61 | 3,88 | 1 | 3,82 | 3 | 3,49 | 6 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 9,23 | 9,68 | 1 | 9,32 | 2 | 9,53 | 4 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 650 | 261 | 1 | 314 | 1 | 329 | 1 |

CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_I

| | PLANISTA | LSwTSAIA | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|---|--------|---|--------|---|
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 2,52 | 3,61 | 1 | 3,66 | 4 | 3,66 | 8 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 404 | 104 | 1 | 84 | 3 | 32 | 6 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 301,46 | 154,53 | 1 | 138,43 | 3 | 122,02 | 6 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 8,17 | 9,32 | 1 | 9,26 | 2 | 9,05 | 4 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 1056 | 148 | 1 | 181 | 1 | 210 | 1 |

CPM_IV_APM_V(n=5,m=1)_PPM_II

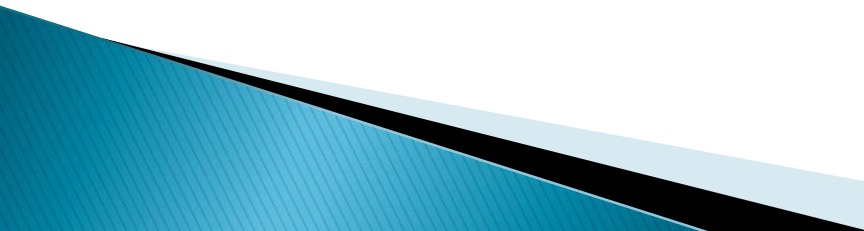
| | PLANISTA | LSwTSAIA | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|---|--------|---|--------|---|
| Łączna liczba jednostek przerw dla nauczycieli | 292 | 12 | 96 | 1 | 58 | 4 | 78 | 8 |
| Łączna liczba jednostek przerw dla grup | 459,62 | 108,48 | 158,68 | 1 | 156,57 | 4 | 106,75 | 8 |
| Średnia liczba dni zajęć dla nauczyciela | 3,63 | 3,46 | 3,58 | 1 | 3,77 | 3 | 3,72 | 6 |
| Średnia liczba dni zajęć dla grupy | 8,42 | 8,38 | 9,47 | 1 | 9,58 | 2 | 9,26 | 4 |
| Liczba jednostek zajęć po godzinie 16 | 752 | 1032 | 206 | 1 | 180 | 1 | 269 | 1 |

Zbiory ITC 2011

<http://www.utwente.nl/ctit/hstt/itc2011/welcome/>

| Trial | | GOAL | | HySST | | Lectio | | HFT | | HST I | | HST II | |
|----------------------------------|-----------|----------|------|------------|------|------------|------|-----------|---|-----------|------|-----------|------|
| Instance | RandSeed | Cost | Rank | Cost | | Cost | | Cost | | Cost | Rank | Cost | Rank |
| BrazilInstance2 | 102545520 | 1,00063 | 4 | 1,00078 | 5 | 0,00046 | 1 | 7,00189 | 6 | 0,00097 | 3 | 0,00096 | 2 |
| BrazilInstance3 | 102545520 | 0,00132 | 2 | 0,00096 | 1 | 0,00159 | 3 | 29,00264 | 6 | 0,00184 | 4 | 0,00208 | 5 |
| BrazilInstance4 | 102545520 | 17,00099 | 5 | 5,00221 | 3 | 1,00188 | 1 | 64,00258 | 6 | 8,00129 | 4 | 4,00135 | 2 |
| BrazilInstance6 | 584363925 | 4,00230 | 5 | 3,00284 | 4 | 0,00323 | 3 | 23,00438 | 6 | 0,00236 | 1 | 0,00283 | 2 |
| FinlandElementary School | 109328591 | 0,00004 | 2 | 0,00004 | 3 | 0,00003 | 1 | 30,00074 | 6 | 1,00179 | 5 | 1,00178 | 4 |
| FinlandSecondarySchool2 | 102545520 | 0,00000 | 1 | 0,00015 | 2 | 0,00048 | 3 | 30,01663 | 6 | 1,00216 | 5 | 0,00289 | 4 |
| Aigio 1st High School 2010-2011 | 102545520 | 0,00010 | 1 | 2,00515 | 3 | 0,00801 | 2 | 51,03239 | 6 | 28,01753 | 5 | 6,01432 | 4 |
| Italy_Instance4 | 317604170 | 0,00691 | 1 | 0,10185 | 4 | 0,00940 | 2 | 263,05815 | 6 | 0,02763 | 3 | 1,02631 | 5 |
| KosovoInstance1 | 109328591 | 82,10732 | 3 | 1065,17431 | 6 | 274,04939 | 4 | 986,42437 | 5 | 27,01886 | 1 | 60,03525 | 2 |
| Kottenpark2003 | 102545520 | 0,90405 | 1 | 2,59417 | 2 | 52,99999 | 4 | 211,98714 | 6 | 122,39256 | 5 | 13,21898 | 3 |
| Kottenpark2005A | 317604170 | 30,31203 | 1 | 32,30342 | 2 | 640,99999 | 6 | 407,46142 | 5 | 322,32660 | 4 | 53,16623 | 3 |
| Kottenpark2008 | 109328591 | 13,37095 | 1 | 39,99999 | 2 | 1115,99999 | 5 | INVALID | 6 | 595,33917 | 4 | 151,69027 | 3 |
| Kottenpark2009 | 234546972 | 31,17530 | 1 | 45,95020 | 2 | 150,99999 | 4 | 343,99999 | 5 | 655,99999 | 6 | 32,59135 | 3 |
| Woodlands2009 | 102545520 | 2,00015 | 2 | 2,00056 | 3 | 0,00112 | 1 | 63,00333 | 6 | 62,00219 | 5 | 36,00218 | 4 |
| Spanish school | 109328591 | 0,00597 | 1 | 0,01937 | 2 | 0,03442 | 3 | 66,14225 | 6 | 2,06430 | 4 | 3,06389 | 5 |
| WesternGreeceUniversityInstance3 | 102545520 | 0,00006 | 1 | 0,00010 | 2 | 30,00002 | 6 | 16,00174 | 5 | 4,00078 | 4 | 0,00115 | 3 |
| WesternGreeceUniversityInstance4 | 102545520 | 0,00006 | 1 | 0,00018 | 2 | 36,00083 | 5 | 233,00277 | 6 | 12,00114 | 3 | 17,00130 | 4 |
| WesternGreeceUniversityInstance5 | 109328591 | 0,00000 | 1 | 0,00001 | 2 | 4,00022 | 5 | 11,00159 | 6 | 0,00049 | 3 | 0,00054 | 4 |
| Sum of ranks | | | 34 | 50 | 59 | 104 | 69 | 62 | | | | | |
| Number of ranks | | | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | | | | | |
| Average rank | | | 1,89 | 2,78 | 3,28 | 5,78 | 3,83 | 3,44 | | | | | |

Podsumowanie

- ▶ Metoda przeszukiwania tabu gwarantuje dobre przeszukanie przestrzeni decyzyjnej, ale nie gwarantuje osiągnięcia dobrego wyniku
 - ▶ Zaproponowany algorytm LSwTSAIA z optymalizacją lokalnych podproblemów okazał się lepszy od najpopularniejszych metod przeszukiwania lokalnego
 - ▶ Niezależne zadania optymalizacji zwiększają elastyczność algorytmów
 - ▶ Złożone modele preferencji pozwalają lepiej odzwierciedlić preferencje decydenta, a co za tym idzie pozwalają osiągnąć lepsze wyniki
- 

Dziękuję za uwagę

mgr Piotr Czerpak

Wydział Matematyki i Informatyki

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

piotrczerpak@matman.uwm.edu.pl

