



OMNIS

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

# Optymalizacja w inżynierii lotniczej i kosmicznej

## Wykład 8

### Matematyczne podstawy optymalizacji 6

### *Metody Ewolucyjne – Algorytm Genetyczny*

1130-LK000-MSP-1037



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



# OMNIS

## Przedmowa

„Programista jest ograniczony głównie swoją własną wyobraźnią”  
*(The programmer is constrained only by his own imagination),*  
książka Davida E. Goldberga  
„Algorytmy genetyczne i ich zastosowania”  
*(Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning).*

Nie ma dwóch takich samych algorytmów genetycznych.  
Wszystko zależy od autora.





# OMNIS

## Zagadnienia

- Algorytmy ewolucyjne
  - heurystyka
  - kluczowe cechy metod ewolucyjnych
  - główne nurty algorytmów ewolucyjnych
- Geneza powstania Algorytmu Genetycznego
- Podstawowe pojęcia
- Algorytm genetyczny (GA)
  - operatory genetyczne
  - metody selekcji
  - wady i zalety
- Przykłady zastosowań w lotnictwie





# OMNIS

## Wstęp

Inspiracją do podjęcia badań dotyczących algorytmów ewolucyjnych było **naśladowanie natury** w zakresie zjawisk na gruncie genetyki (przekazywanie korzystnych cech potomstwu poprzez krzyżowanie i mutacje). Idea ta została wykorzystana do rozwiązywania **zagadnień optymalizacyjnych**. Mówiąc najprościej, poszukiwanie takich rozwiązań oparte jest o zasadę, że spośród rozwiązań, które dziedziczą pewne cechy po swoich rodzicach, „przeżywają” tylko te rozwiązania, które są najlepiej przystosowane.





# OMNIS

## Heurystyka

- **Heurystyka** - wyraz wywodzi się z języka greckiego, kojarzy się ze słynnym okrzykiem Archimedesesa. Pojęcie heurystyki (*gr. εὕρηκα heurēka „znalazłem”*) jest związane z filozofią, logiką, pedagogiką, psychologią, sztuczną inteligencją, teorią informacji oraz metodami przeszukiwania i oceny jakości interfejsów zasobów informacyjnych w Internecie.
- W szerokim ujęciu heurystyka jest nazwą dziedziny wiedzy, której cel stanowi **poszukiwanie i badanie optymalnych metod** oraz reguł odnajdywania odpowiedzi na stawiane zapytania lub problemy.

Wikipedia – Heurystyka (logika)





# OMNIS

## Heurystyka

**Heurystyka** (gr. heuresis – odnaleźć, odkryć) - 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 (np. przy przewidywaniu pogody lub przy wykrywaniu niektórych zagrożeń komputerowych, takich jak wirusy).

Wikipedia – Heurystyka (informatyka)





# OMNIS

## Heurystyka

**Heurystyka** - metody używa się też często do znajdowania rozwiązań przybliżonych, na podstawie których później wylicza się ostateczny rezultat pełnym algorytmem. To ostatnie zastosowanie szczególnie dotyczy przypadków, gdy heurystyka jest wykorzystywana do nakierowywania pełnego algorytmu ku optymalnemu rozwiązaniu, aby zmniejszyć czas działania programu w typowym przypadku bez poświęcania jakości rozwiązania. (np. algorytm A\*)

**Heurystyka** - zbiór reguł oraz wskazówek, które mogą, lecz nie muszą, prowadzić do właściwego rozwiązania.





- **Działanie na populacji:** W przeciwieństwie do tradycyjnych algorytmów, które optymalizują jeden punkt, algorytmy ewolucyjne operują na całej populacji rozwiązań (osobników) jednocześnie.
- **Stochastyczność:** Wykorzystują losowe operatory przeszukiwania (mutacja, krzyżowanie), co pozwala na eksplorację przestrzeni rozwiązań.
- **Selekcja:** Proces redukuje różnorodność, faworyzując osobniki lepiej dopasowane (o lepszej wartości funkcji celu).





- **Algorytmy genetyczne (Genetic Algorithms - GA):** Często stosowane do problemów optymalizacji dyskretnej i kombinatorycznej, tradycyjnie oparte na kodowaniu binarnym (0/1).
- **Strategie ewolucyjne (Evolution Strategies - ES):** Wykorzystywane głównie do optymalizacji numerycznej, gdzie osobnik reprezentowany jest jako wektor liczb.
- **Programowanie ewolucyjne (Evolutionary Programming - EP):** Skupia się na ewolucji struktur, często stosowane do przeszukiwania przestrzeni stanów automatów skończonych.
- **Programowanie genetyczne (Genetic Programming - GP):** Osobnik reprezentowany jest jako drzewo, a celem jest wyewoluowanie programu komputerowego rozwiązującego zadany problem.

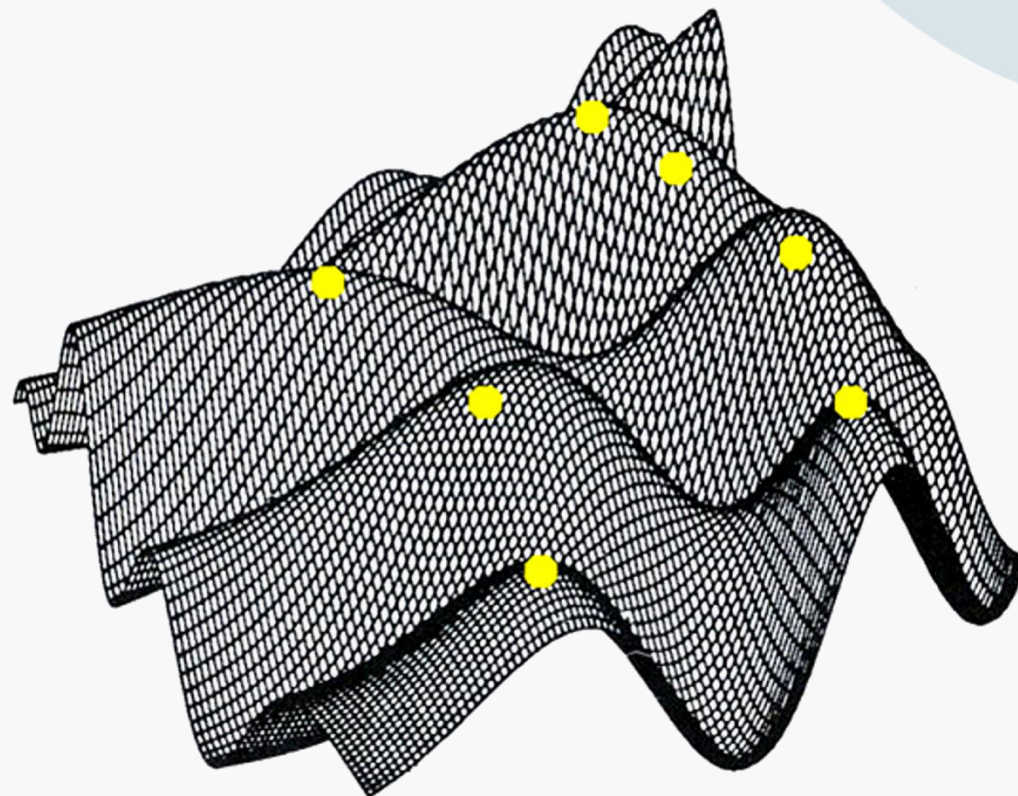




# OMNIS

## Główne nurty algorytmów ewolucyjnych

Metody ewolucyjne, w tym algorytm genetyczny, powstały i zostały rozwinięte w tym celu, żeby znajdować przybliżone rozwiązania problemów optymalizacyjnych w taki sposób, by znajdować wynik w miarę szybko oraz unikać pułapek minimów lokalnych

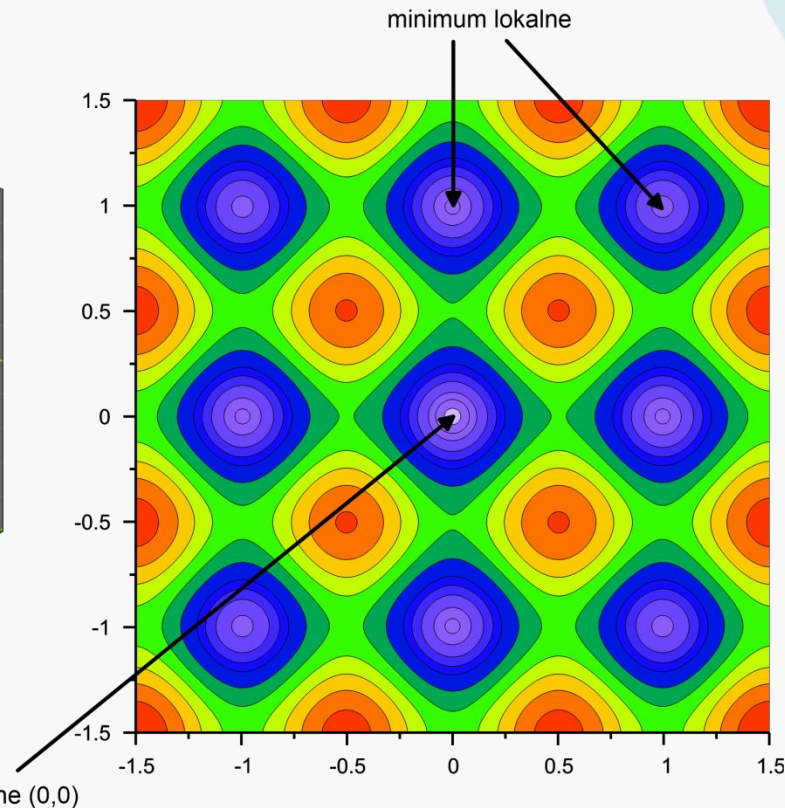
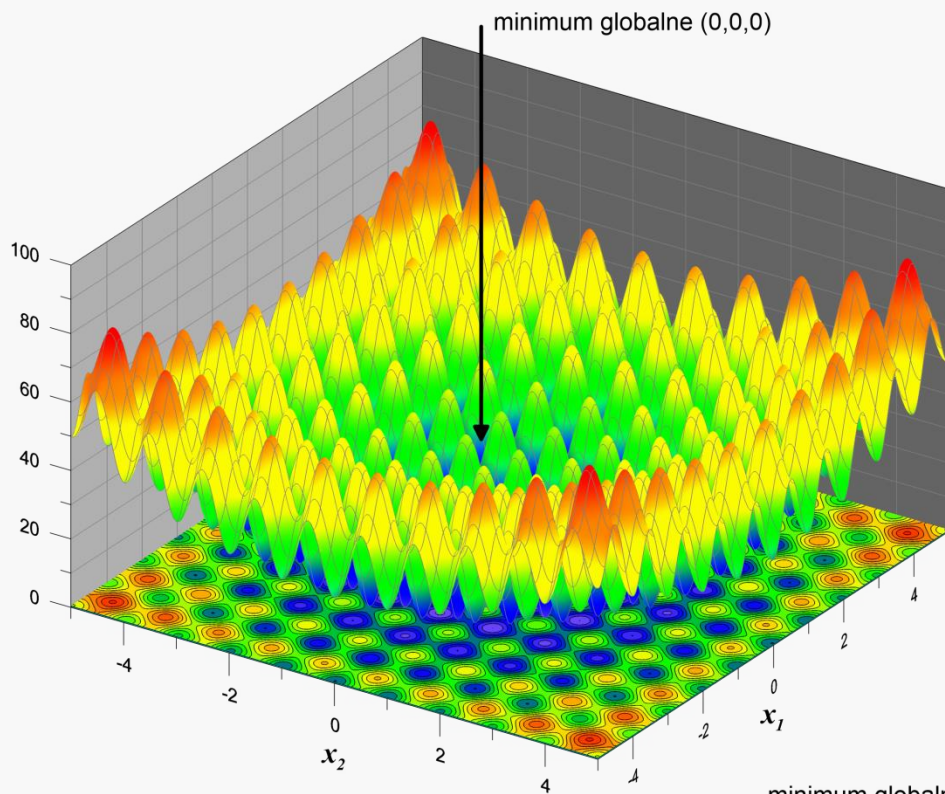




# OMNIS

## Główne nurty algorytmów ewolucyjnych

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Przedstawiony na rysunku wykres tzw. **funkcji Rastrigina** obrazuje trudności jakie napotkać można przy poszukiwaniu optimum. Funkcja ta posiada wartość najmniejszą w punkcie  $(0,0,0)$ , jednak zanim algorytm przeszukiwania znajdzie to minimum globalne, może napotkać wiele minimów lokalnych.



# OMNIS

## Geneza powstania Algorytmu Genetycznego

**Algorytmy genetyczne (GA)** powstały jako informatyczna symulacja biologicznych procesów ewolucyjnych. Ich geneza jest ściśle związana z dążeniem do stworzenia systemów obliczeniowych zdolnych do adaptacji i rozwiązywania złożonych problemów optymalizacyjnych, z którymi nie radziły sobie klasyczne algorytmy

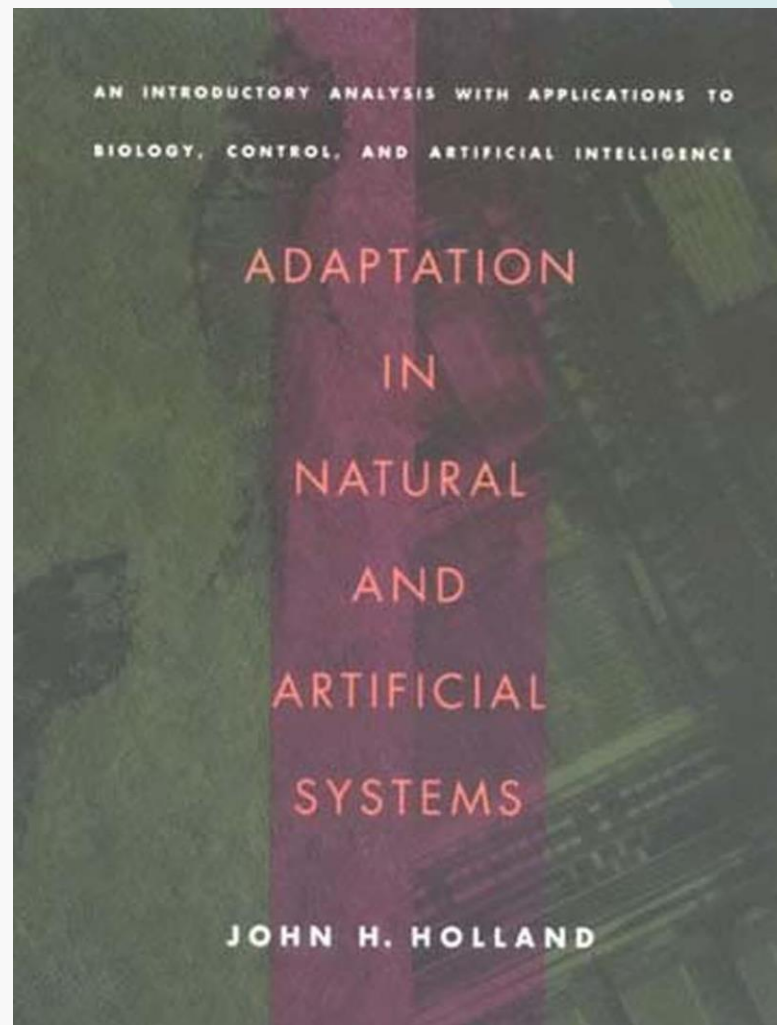




# OMNIS

## Geneza powstania Algorytmu Genetycznego

**Twórca i ramy czasowe:** Choć koncepcje ewolucyjne w informatyce pojawiały się już w latach 50. i 60. XX wieku (np. prace Barricellego czy Frasera), za twórcę klasycznego algorytmu genetycznego uznaje się **Johna Hollanda**. Opracował on jego podstawy na początku lat 70., a w 1975 roku opublikował fundamentalną książkę: „Adaptacja w systemach naturalnych i sztucznych” („Adaptation in Natural and Artificial Systems”). Holland sformalizował w tej książce ramy teoretyczne algorytmów genetycznych, wprowadzając pojęcia takie jak **populacja**, **chromosomy**, **krzyżowanie**, **mutacja** i **funkcja dopasowania**.





# OMNIS

## Geneza powstania Algorytmu Genetycznego

**Inspiracja biologiczna:** Holland, pracując na Uniwersytecie Michigan, inspirował się mechanizmami doboru naturalnego opisami przez Karola Darwina. Algorytmy te przenoszą zasady genetyki do informatyki.

**Cel powstania:** Celem było stworzenie algorytmu, który nie opiera się na wiedzy specjalistycznej o rozwiązywanym problemie, ale na ewolucyjnym poszukiwaniu najlepszego rozwiązania w dużej przestrzeni alternatyw.

**Rozwój:** W kolejnych dekadach, zwłaszcza w latach 80. i 90. (prace **Goldberg, Koza**), technika ta została spopularyzowana i znalazła szerokie zastosowanie w inżynierii, logistyce (np. problem komiwojażera) i sztucznej inteligencji.





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

- Populacja
- Osobnik
- Chromosom
- Gen
- Genotyp
- Fenotyp
- Funkcja przystosowania





- Populacja jest to zbiór osobników (chromosomów). Liczebność populacji jest z góry określona i pozostaje stała podczas całej procedury obliczeń. W trakcie swojego działania algorytm genetyczny będzie modyfikował populację zgodnie z pewnym przyjętym odgórnie schematem. Nazwa populacja nie jest tutaj przypadkowa. Przy tworzeniu nowej populacji stosuje się mechanizmy podobne do mechanizmów obserwowanych w przyrodzie. Mówiąc ogólnie, nowe osobniki są potomkami pary rodzicielskiej pochodzącej od populacji z iteracji wcześniejszej. W ten sposób dziedziczą pewne cechy rodziców z poprzedniej populacji, a jednocześnie nabywają nowych cech, na skutek działania czynnika losowego.

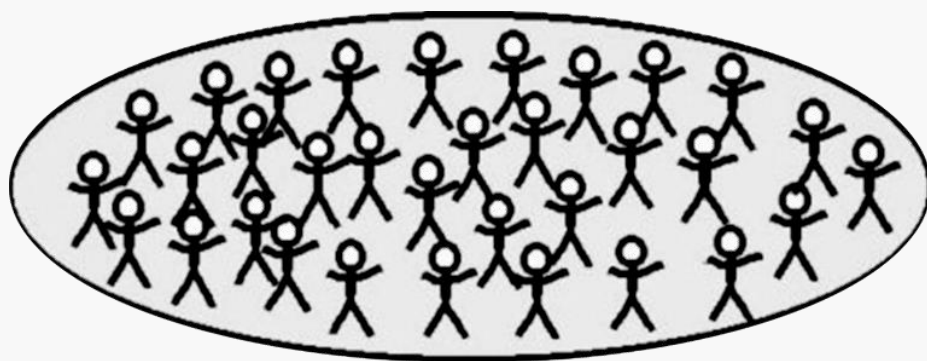




# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

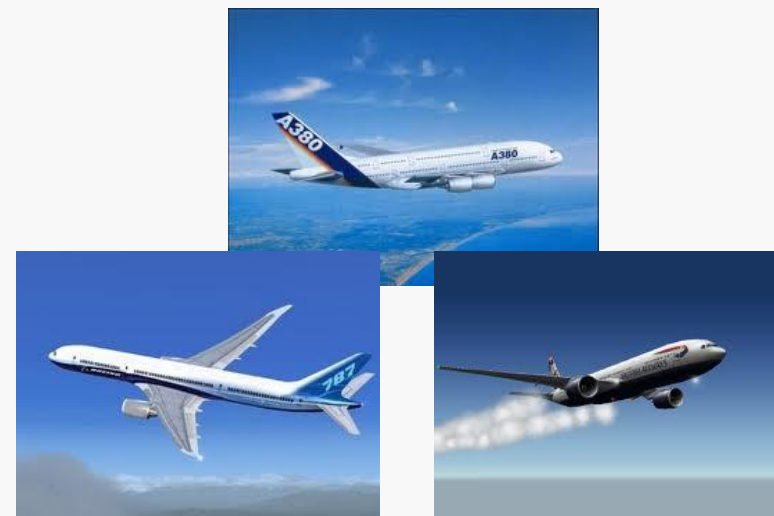
**Populacja** - jest to zbiór osobników (chromosomów). Liczebność populacji jest z góry określona i pozostaje stała podczas całej procedury obliczeń.



### Populacja Samolotów Rolniczych



### Populacja Samolotów Pasażerskich





- Osobnik (Genotyp, Chromosom) jest obiektem reprezentującym zmienne optymalizacji. Składa się on z uporządkowanego ciągu genów o określonej długości. Ciąg ten stanowi zakodowaną postać punktu w przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych. Mamy tutaj dowolność w wyborze sposobu kodowania, jednak powinien on jak najlepiej odpowiadać rozważanemu problemowi. Najczęściej geny przyjmują tylko dwie wartości: 0 i 1 i wówczas zmienna optymalizacji jest kodowana binarnie. Jak łatwo zauważyć, mając do dyspozycji chromosom o określonej długości (o skończonej liczbie genów), jesteśmy w stanie zakodować tylko skończony zbiór punktów. W praktyce ustala się pewien zbiór reprezentantów dla zbioru dopuszczalnego  $X$ .

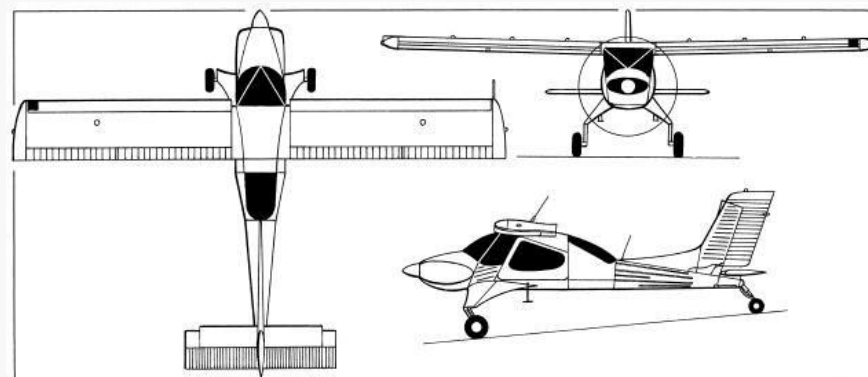




# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

**Osobnik** w biologii jest to pojedynczy przedstawiciel gatunku.  
W optymalizacji: pojedyncze potencjalne rozwiązanie (konfiguracja rozwiązania).  
Osobnik będzie posiadał genotyp, chromosomy i geny.





**Gen** jest cechą, pojedynczym elementem chromosomu/genotypu, Część odpowiadająca za zakodowanie pojedynczej cechy.



**układ  
dwupłata  
Gen: 0**

Pojedynczy znak używany do kodowania danej cechy (zazwyczaj „0” i „1”)



**płat  
wolnonośny  
Gen: 1**

20

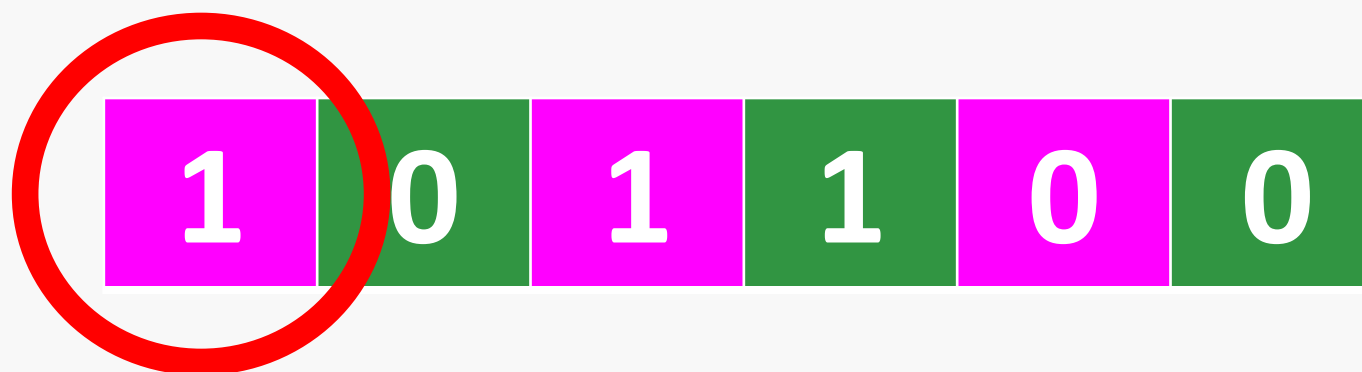


# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

**Chromosom** to zespół genów kodujący daną cechę, gdy mamy więcej potencjalnych rozwiązań niż dwa

### Chromosom z kodowaniem binarnym



*To jest GEN*





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

**Genotyp** to zespół genów kodujący zespół cech osobnika

T/W	W/S	$Cz_{max}$	zbieżność	wzrost
00000	00010	0000101	110100	010110

00000000100000101110100010110

**Przykładowy Genotyp jako zestaw pięciu chromosomów**





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

**Fenotyp** opisuje wszystkie odkodowane cechy osobnika

T/W	W/S	$Cz_{max}$	zbieżność	wzrost
0.3	10	1.5	0.8	2





- Funkcja przystosowania jest to funkcja powiązana z funkcją celu analizowanego zadania optymalizacji. Aby algorytm genetyczny mógł działać, musimy dysponować funkcją przystosowania, dla której poszukujemy maksimum. Wartości funkcji przystosowania pozwalają na liczbową ocenę przystosowania poszczególnych chromosomów. Zgodnie bowiem z główną ideą algorytmów genetycznych, chodzi o to, aby populacje chromosomów w kolejnych iteracjach były lepiej przystosowane niż populacje wcześniejsze.



### Fenotyp vs. Genotyp – kodowanie

Zamiana wartości rzeczywistych na układ dwójkowy przy założonej liczbie genów w chromosomie oraz chromosomów w genotypie

T/W	W/S	$Cz_{max}$	zbieżność	wznieś
0.3	10	1.5	0.8	2



T/W	W/S	$Cz_{max}$	zbieżność	wznieś
00000	00010	0000101	110100	010110





### Fenotyp vs. Genotyp – kodowanie

Zamiana wartości rzeczywistych na układ dwójkowy przy założonej liczbie genów w chromosomie oraz chromosomów w genotypie

1,29

5,896

298,86



0001010

1010101

1111001

Liczba genów ma wpływ na dokładność obliczeń tzw. rozdzielczość





### Kodowanie → Rozdzielczość

Liczba genów ma wpływ na dokładność obliczeń tzw. rozdzielczość

$$resolution = \frac{x_{max} - x_{min}}{2^l - 1}$$

Gdzie:  $x$  – rzeczywiste wartości brzegowe,

$l$  – liczba genów w chromosomie, np.: 6 genów : **000010**

$x_{min} \Rightarrow$  **000000**

$x_{max} \Rightarrow$  **111111**



Kodowanie → Rozdzielczość

Przykład:

$$resolution = \frac{x_{max} - x_{min}}{2^l - 1}$$

$x_{min} = 40$  (kod: 000000)

$x_{max} = 100$  (kod: 111111)

$l = 6$  liczba genów

Dokładność = 0.95

40,  
40.95,  
41.9,  
42.85,  
...  
99.05  
100





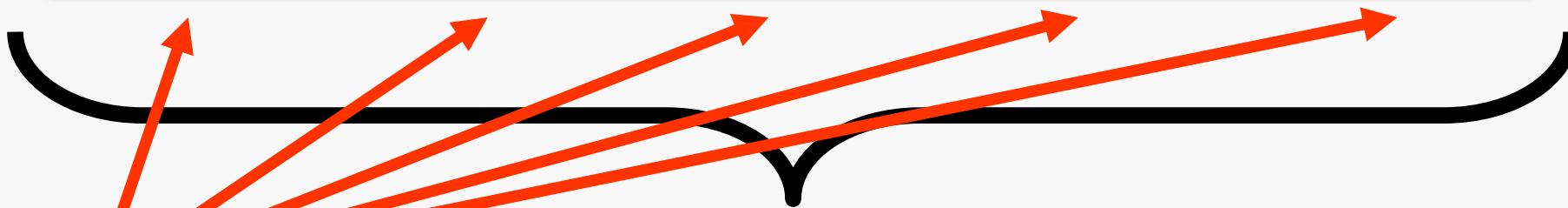
# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - pojęcia

### Kodowanie → Rozdzielczość

### Zmienne optymalizacyjne

T/W	W/S	Cz <sub>max</sub>	zbieżność	wzrost
00000	00010	0000101	110100	010110



### Chromosomy

### Genotyp

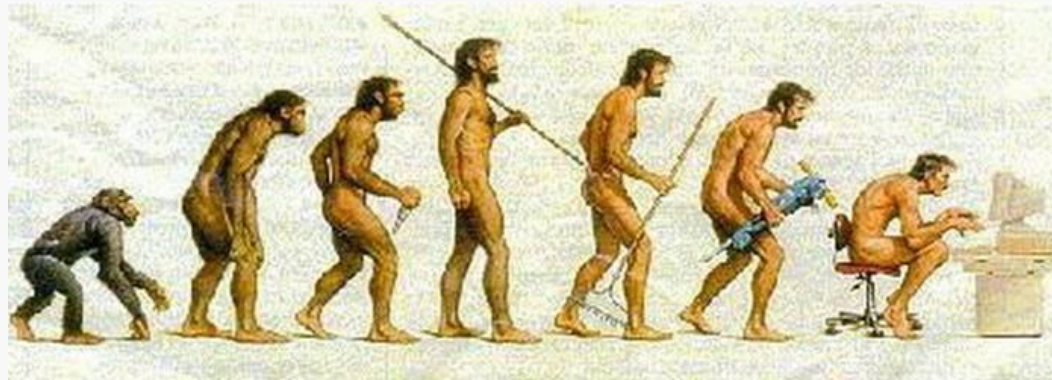
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA)

Motto:



Zamiast pracowicie poszukiwać najlepszego rozwiązania problemu informatycznego lepiej pozwolić, żeby komputer sam sobie to rozwiązanie wyhodował !





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA)

- Podstawą Algorytmu Genetycznego jest znany z ewolucji fakt, że największe prawdopodobieństwo przeżycia ma osobnik o najwyższym stopniu przystosowania (oraz jego potomstwo)
- Optymalizacja jako wybór najlepszego rozwiązania jest bliska efektowi znanemu z ewolucji





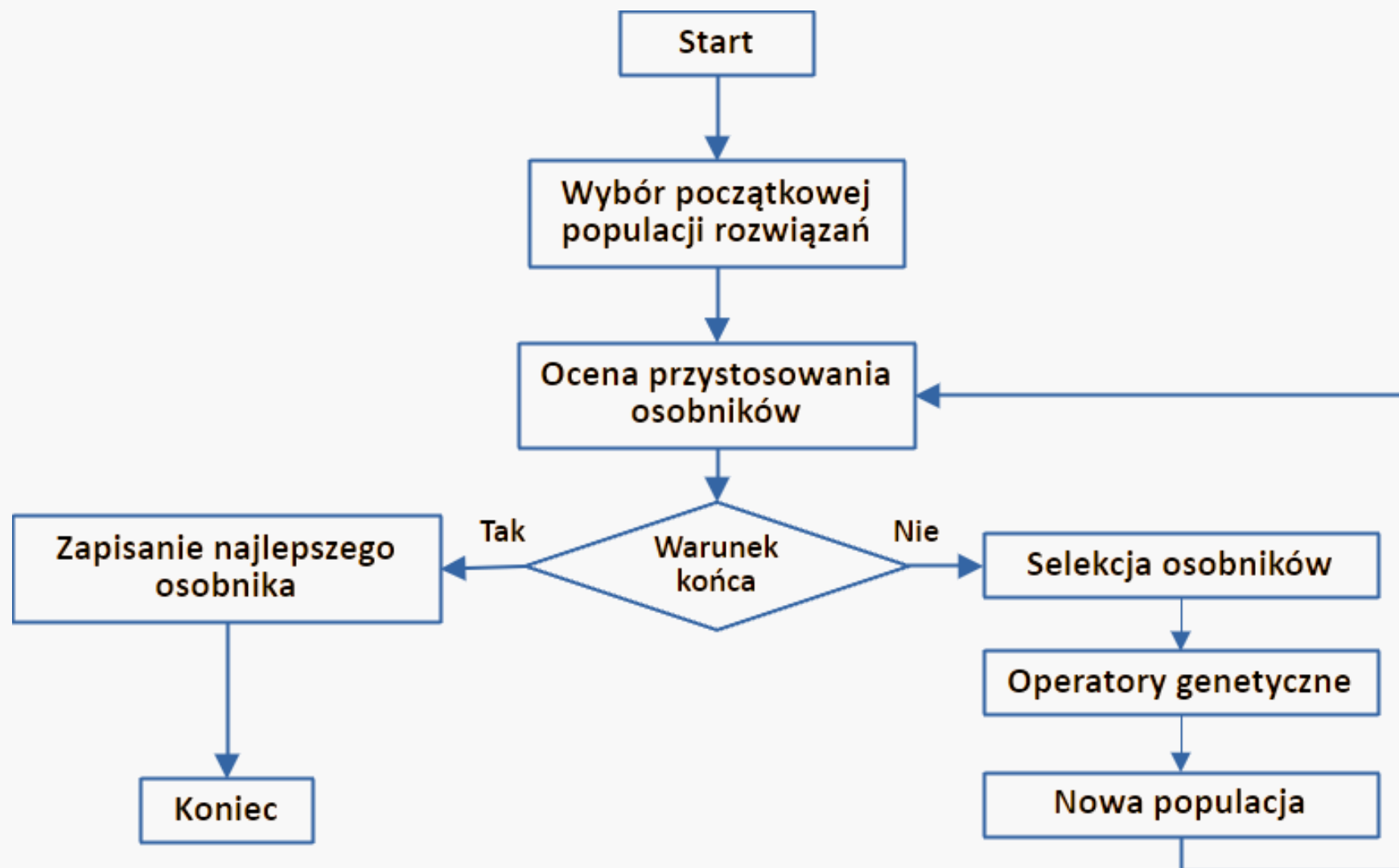
- określenie sposobu kodowania rzeczywistych parametrów problemu w postaci **chromosomu**,
- przyjęcie postaci **funkcji przystosowania** oceniającej analizowany zestaw parametrów pod względem jakości poszukiwanego rozwiązania,
- **losowy** dobór punktów startowego zestawu parametrów,
- **selekcja** najlepiej przystosowanych chromosomów do nowej populacji,
- zastosowanie na nowej populacji **operatorów genetycznych** w postaci krzyżowania i mutacji,
- **sprawdzenie** wartości funkcji przystosowania.

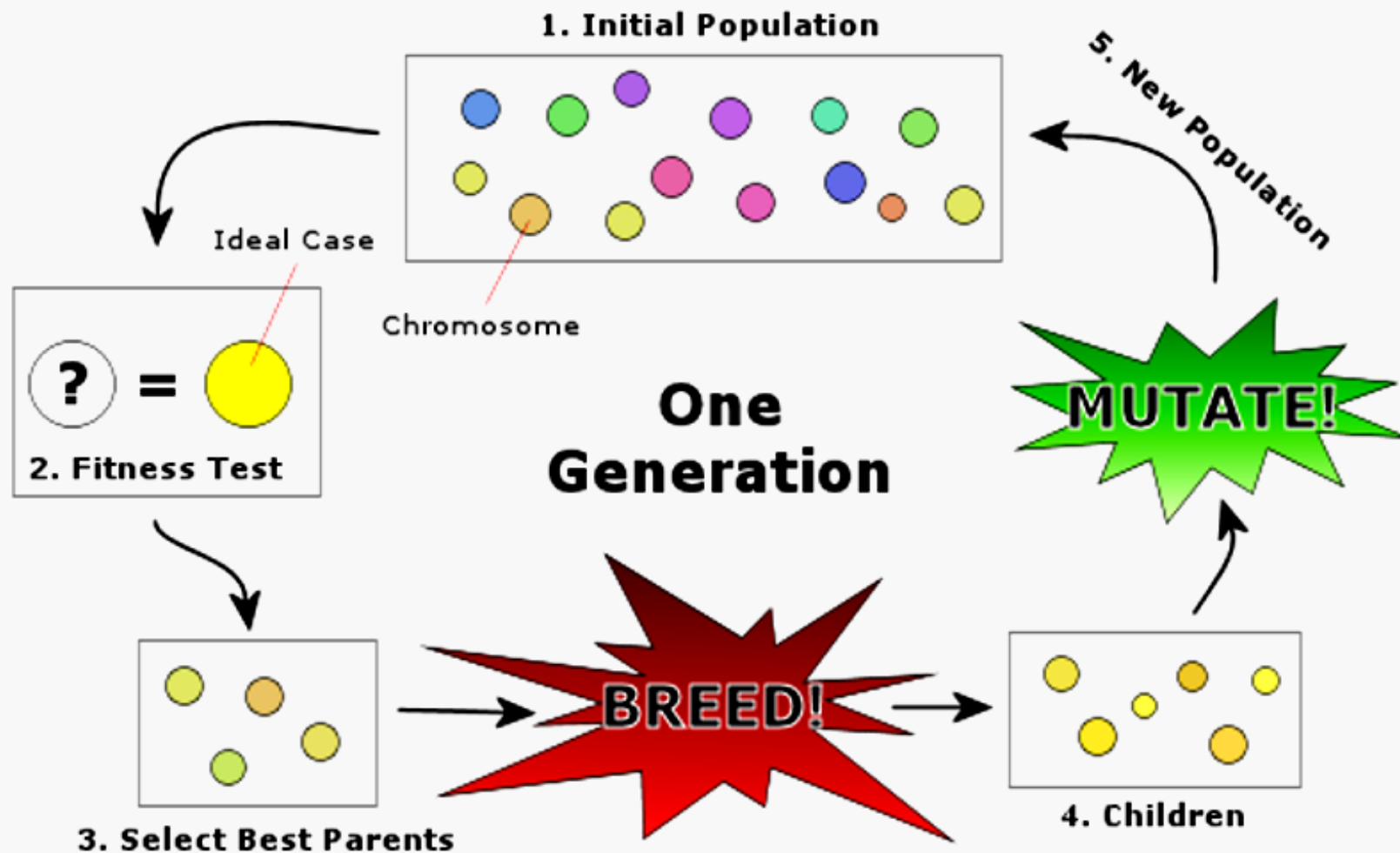




# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - schemat







Podstawowy schemat działania algorytmu genetycznego można przedstawić w następujących krokach:

### 1. Inicjalizacja (Start):

Generowana jest losowo początkowa populacja osobników (rozwiązań), które są kodowane w postaci chromosomów.

### 2. Ocena przystosowania (Fitness Function):

Każdy osobnik w populacji jest oceniany za pomocą funkcji przystosowania, która określa, jakość rozwiązania.

### 3. Warunek stopu:

Sprawdzenie, czy osiągnięto cel (np. wystarczająco dobre rozwiązanie lub maksymalna liczba iteracji/pokoleń).

Jeśli tak – koniec i wybór najlepszego osobnika.

Jeśli nie – przejście do kroku 4.

### 4. Selekcja:

Wybór najlepiej przystosowanych osobników (rodziców), którzy wezmą udział w reprodukcji.

### 5. Operatory Genetyczne (Reprodukcja):

Krzyżowanie (Crossover): Łączenie materiału genetycznego wybranych rodziców, aby utworzyć potomstwo.

Mutacja: Losowa zmiana (zmiana bitów) w nowo powstałych osobnikach w celu wprowadzenia nowej różnorodności.

### 6. Nowa populacja:

Utworzenie nowej generacji z potomstwa.

### 7. Powrót do kroku 2 (Pętla ewolucyjna)



# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - Inicjalizacja

### Wybór populacji wstępnej

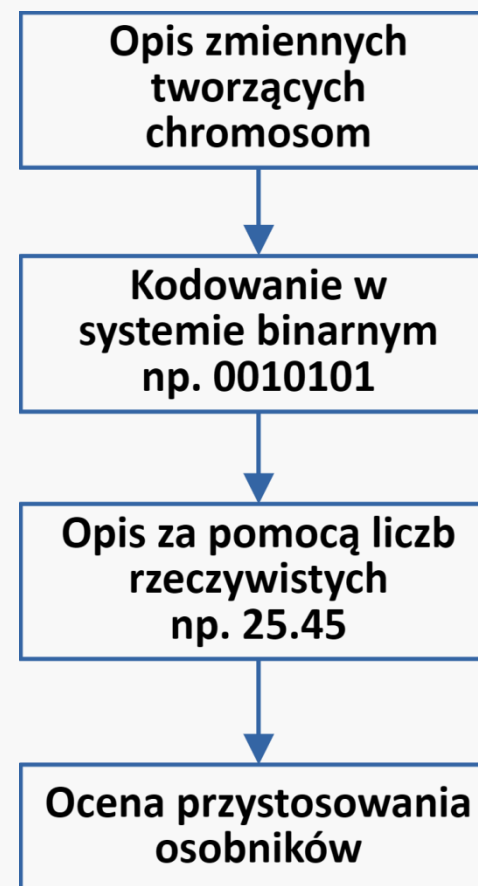


Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.





Ocena przystosowania:  
każdemu z osobników  
przypisywana jest wartość,  
która jest odwzorowaniem  
jego jakości z punktu  
widzenia rozwiązywanego  
problemu.

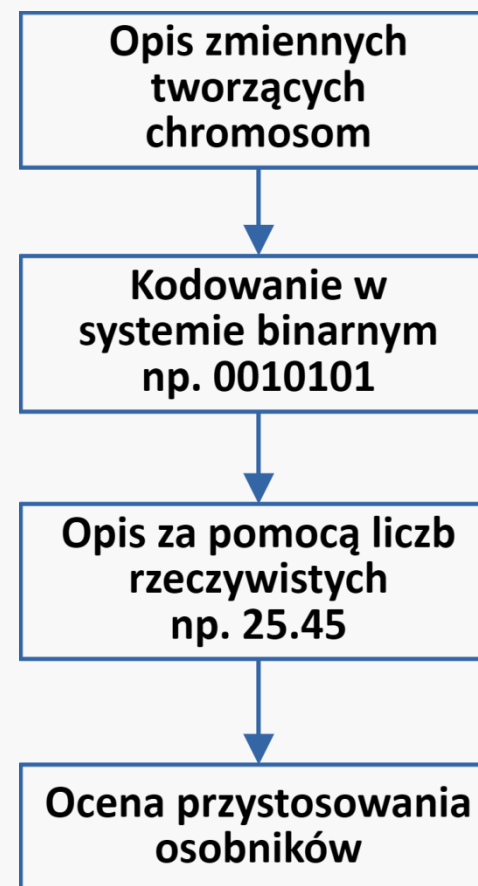




# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - Selekcja

Selekcja: na podstawie oceny przystosowania wybór osobników (rodziców), którzy wezmą udział w reprodukcji.





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) – Metody selekcji

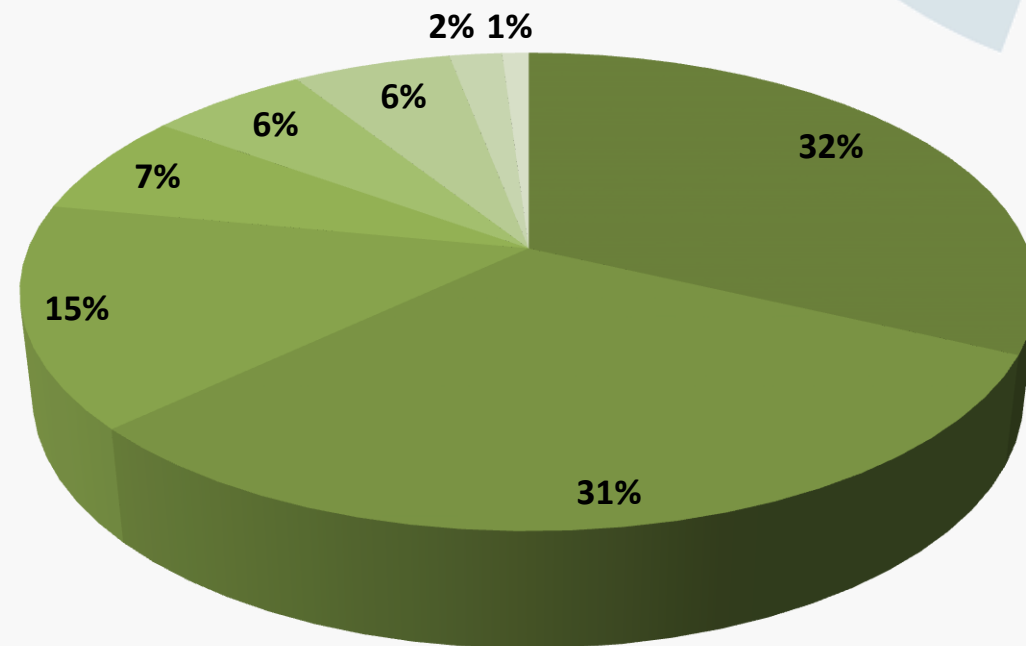
### Metody selekcji:

- metoda koła ruletki
- metoda rankingowa
- metoda turniejowa



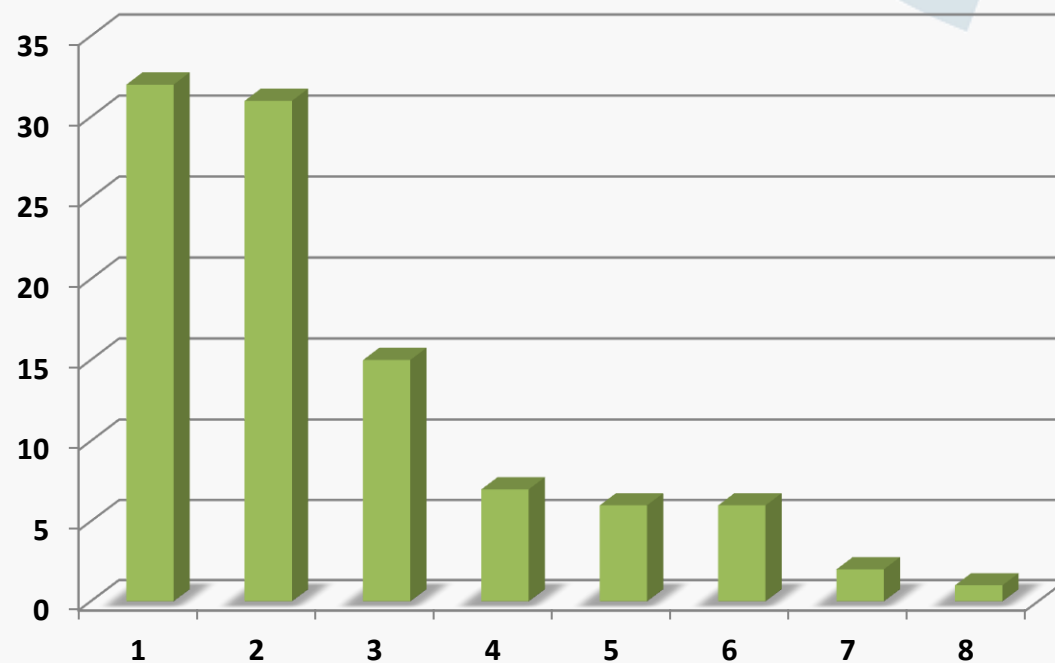


**metoda koła ruletki** - polega ona na przydzieleniu każdemu osobnikowi takiego wycinka koła ruletki, jaki odpowiada jego jakości przystosowania w stosunku do innych – im lepszy osobnik, tym większy wycinek koła zajmuje. Oznacza to, że rozkładamy prawdopodobieństwo wylosowania osobników w sposób proporcjonalny do ich jakości.



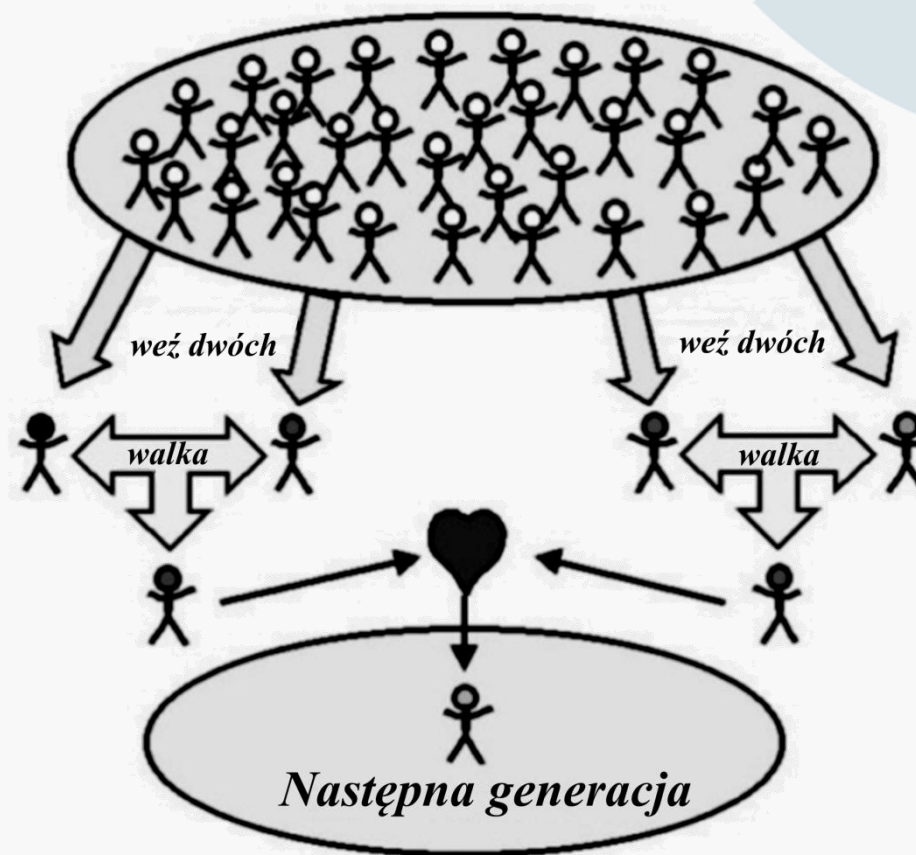


**selekcja rankingowa** - polega na przydzieleniu każdemu osobnikowi pewnej rangi, bazując na wartości jego przystosowania. Dzięki temu porządkujemy danych osobników w kolejności od najlepszego do najgorszego. Następnie wybieramy pewną określoną liczbę najlepszych osobników, którzy wezmą udział w rozmnażaniu. Osobniki, które nie zostały wybrane, są usuwane z populacji.





**selekcja turniejowa** - metoda jest zupełnie różna od poprzednich i polega na losowym wyborze z całej populacji kilku osobników (jest to tzw. grupa turniejowa), a później z tej grupy wybierany jest osobnik najlepiej przystosowany i on przepisywany jest do nowo tworzonej populacji. Losowanie grup turniejowych oraz wybieranie z nich najlepszego osobnika należy powtórzyć aż do utworzenia całej nowej populacji.





### Zadanie

Znaleźć maksimum funkcji  $y=2*x+1$  w przedziale liczb całkowitych  $[0,31]$ . Zbiorem potencjalnych rozwiązań (czyli przestrzenią poszukiwań) jest więc zbiór  $\{0,1,2,\dots,32\}$ . Każdy z elementów tego zbioru jest fenotypem. Fenotypy zakodujemy przy pomocy chromosomów 5-bitowych, bo wartości 32 odpowiada chromosom  $[11111]$ .





Losowanie populacji początkowej populacja  $N=8$ .

**Chromosom**                      **fenotyp**                      **funkcja przystosowania**

$$F(ch_i) = 2 * ch_i + 1$$

$ch_1=[00110]$

$ch_1^* = 6$

13

$ch_2=[00101]$

$ch_2^* = 5$

11

$ch_3=[01101]$

$ch_3^* = 13$

27

$ch_4=[10101]$

$ch_4^* = 21$

43

$ch_5=[11010]$

$ch_5^* = 26$

53

$ch_6=[10010]$

$ch_6^* = 18$

37

$ch_7=[01000]$

$ch_7^* = 8$

17

$ch_8=[00101]$

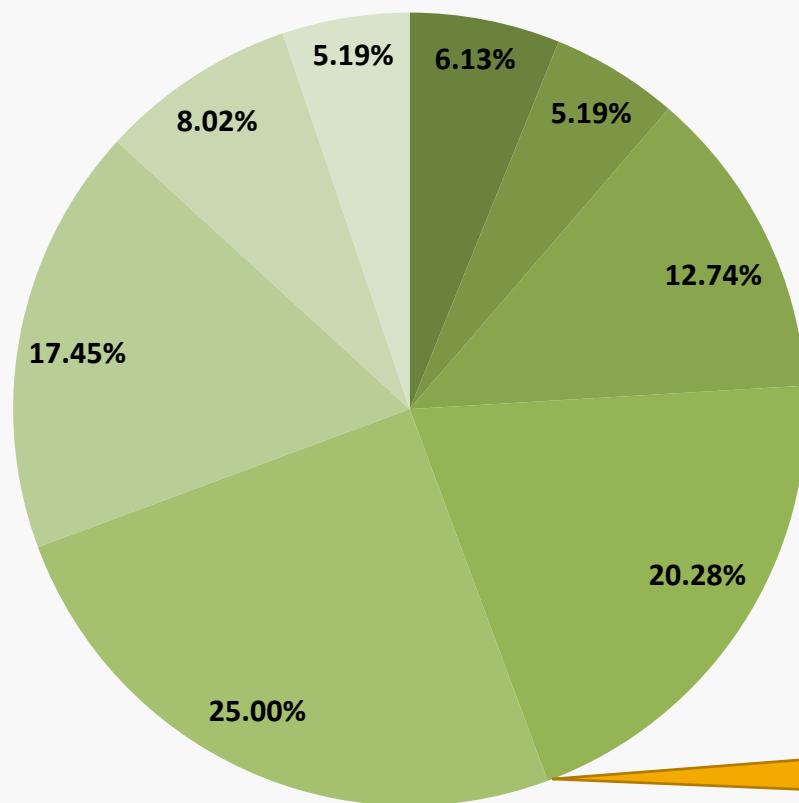
$ch_8^* = 5$

11





### Pola wycinków koła ruletki obliczono wg:



$$v(ch_i) = \frac{F(ch_i)}{\sum_{j=1}^N F(ch_j)}$$

suma = 44.34%





Selekcja chromosomów za pomocą koła ruletki sprowadza się do losowego wyboru poprzez zakręcenie kołem ruletki (w tym przypadku ośmiu) liczb z przedziału  $[0,100]$ .

Suma wszystkich wartości  $v(ch_j)$  jest równa  $100\%$ .

Wylosowano następujące liczby:

79    44    9    74    45    86    48    23

co odpowiada następującym wylosowanym chromosomom

$ch_6$     $ch_4$     $ch_2$     $ch_6$     $ch_5$     $ch_6$     $ch_5$     $ch_3$





# OMNIS

## Metody selekcji – przykład koła ruletki

Dla przykładu piąty z wylosowanych chromosomów jest chromosomem *ch<sub>5</sub>* ponieważ jako piątą wylosowano liczbę **45** a jest to liczba większa od sumy granicznej **44,34**.

Selekcja metodą koła ruletki pozwoliła wzmocnić „garnitur chromosomowy”. Dla przykładu: najlepiej dostosowany chromosom *ch<sub>6</sub>* wylosowano trzykrotnie





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) – selekcja rodziców

Przykładowa populacja samolotów (10): wybieramy „rodziców” dla małego samolotu z napędem śmigłowym w konfiguracji płata wolnonośnego





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) – selekcja rodziców

### Rodzice - podstawa do tworzenia nowej dziesięcioosobowej populacji

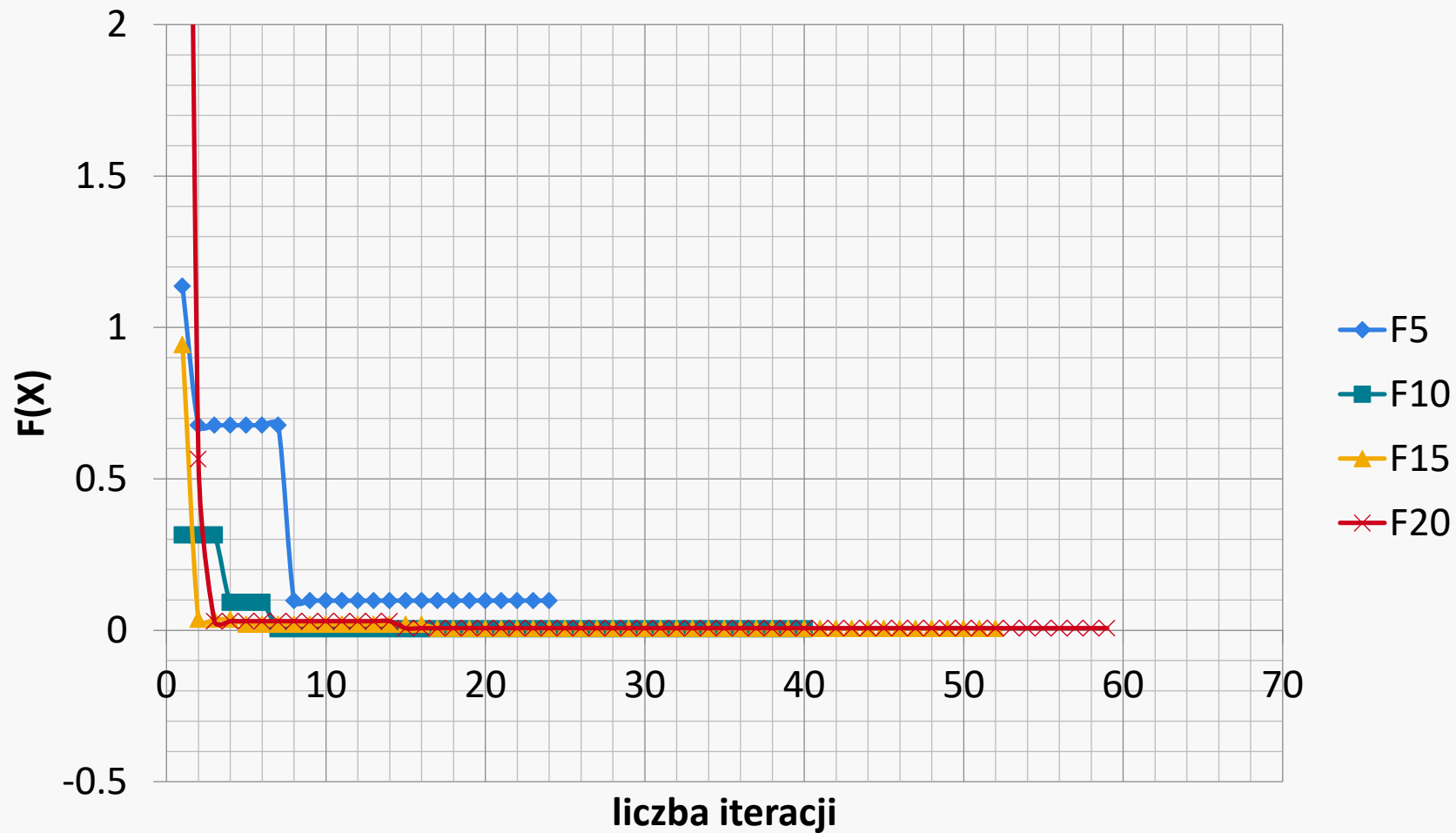




# OMNIS

## Zbieżność w algorytmach genetycznych

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



Politechnika Warszawska



Operatory genetyczne – są stosowane dwa typy operatorów genetycznych:

- Krzyżowanie (Crossover / Recombination): łączenie informacji genetycznej od dwóch lub więcej rodziców w celu stworzenia nowego potomstwa (dzieci), co pozwala na eksplorację nowych obszarów przestrzeni rozwiązań.
- Mutacja (Mutation): losowa, niewielka zmiana w chromosomie potomka, co zapobiega przedwczesnej zbieżności algorytmu do lokalnego minimum i utrzymuje różnorodność genetyczną.





- Krzyżowanie (Crossover / Recombination):
  - Zastosowanie: łączenie informacji genetycznej od dwóch lub więcej rodziców w celu stworzenia nowego potomstwa (dzieci), co pozwala na eksplorację nowych obszarów przestrzeni rozwiązań. W klasycznym algorytmie genetycznym krzyżowanie występuje prawie zawsze, z prawdopodobieństwem z przedziału ( 0.5, 1 ).
  - Metody:
    - Krzyżowanie jednopunktowe: Rodzice są rozcinani w wylosowanym miejscu, zwykle w połowie, a ich części są wymieniane.
    - Krzyżowanie wielopunktowe: Wiele punktów podziału.
    - Krzyżowanie jednorodne (uniform): Każdy gen potomka jest wybierany losowo od jednego z rodziców.





- Mutacja (Mutation):
  - Zastosowanie: losowa, niewielka zmiana w chromosomie potomka, co zapobiega przedwczesnej zbieżności algorytmu do lokalnego minimum i utrzymuje różnorodność genetyczną. Mutacja, w przeciwieństwie do krzyżowania, zachodzi dość rzadko, z prawdopodobieństwem zwykle nie większym niż 0.1. Wynika to także z analogii do świata organizmów żywych, gdzie mutacje zachodzą niezwykle rzadko
  - Typy mutacji:
    - binarna (Bit-flip): Najpopularniejsza dla reprezentacji binarnej. Polega na odwróceniu losowo wybranych bitów (0 na 1 lub 1 na 0).
    - przez zamianę (Swap): Dwa losowe geny w chromosomie zamieniają się miejscami.
    - przez odwrócenie (Inversion): Fragment chromosomu zostaje odwrócony.
    - przez wstawienie (Insertion): Losowy gen zostaje wybrany i wstawiony w inne, losowe miejsce





Krzyżowanie jednopunktowe: rodzice są rozcinani w wylosowanym miejscu, zwykle w połowie, a ich części są wymieniane.

0	0	1	0	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

1	0	0	1	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---



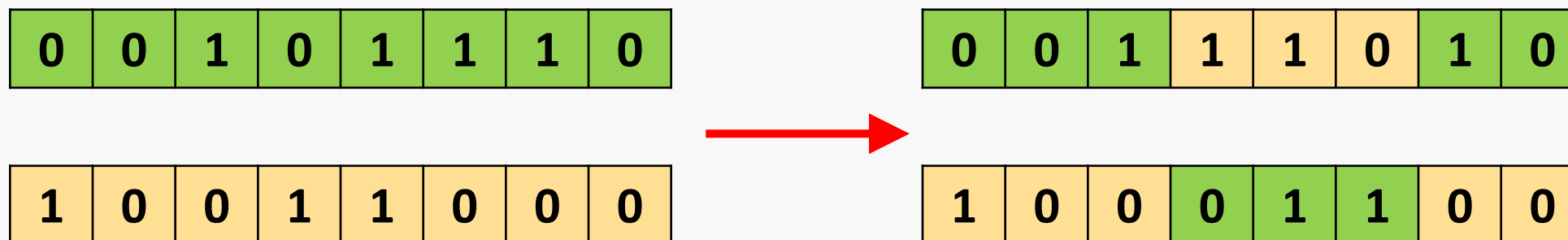
0	0	1	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

1	0	0	1	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---



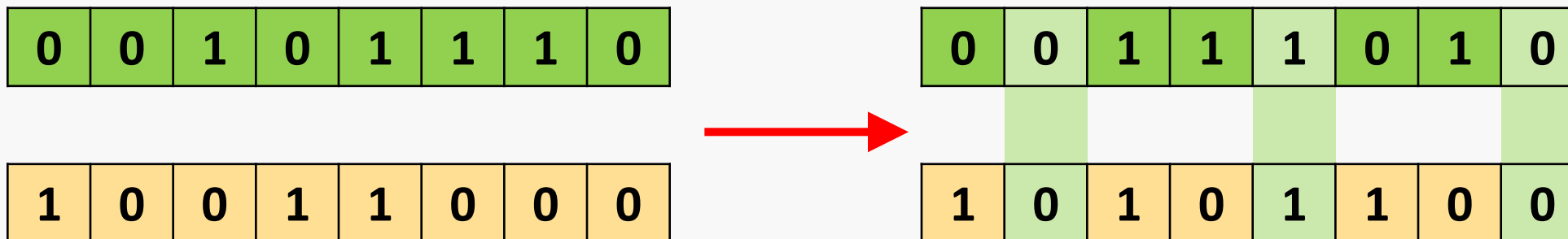


Krzyżowanie wielopunktowe: rodzice są rozcinani w kilku miejscach a ich części są wymieniane.





Krzyżowanie jednorodne (uniform): Każdy gen potomka jest wybierany losowo od jednego z rodziców.





# OMNIS

## Algorytmy Genetyczne (GA) - operatory

Mutacja binarna (Bit-flip)

Najpopularniejsza dla reprezentacji binarnej.

Polega na odwróceniu losowo wybranych bitów (0 na 1 lub 1 na 0).

1001100011101011010

Mutacja

1001101011101011010





### Operator Krzyżowania

Weźmy dwa chromosomy  $ch_1$  i  $ch_2$  majce po 10 genów. Stanowią one parę rodzicielską. W celu przeprowadzenia krzyżowania wylosujmy liczbę z przedziału  $[1,9]$ . Wylosowano 5.

#### para rodziców

$ch_1 = [10010 \mid 01100]$

$ch_2 = [10011 \mid 11110]$

#### krzyżowanie

#### para potomków

$Ch_1 = [10010 \mid 11110]$

$Ch_2 = [10011 \mid 01100]$





### Operator Mutacji

Losujemy liczbę rzeczywistą z przedziału  $[0,1]$  dla każdego z dziesięciu genów. Wylosowano:

0.23 0.76 0.54 0.10 0.28 0.68 **0.01** 0.30 0.95 0.12

Przyjmijmy, że  $p_m=0.02$ . Do mutacji zostaną wybrane tylko te geny, dla których wylosowana liczba jest  $\leq p_m$  – u nas gen siódmy

$ch_1=[100100**1**100]$

$Ch_1=[100100**0**100]$





Cecha	Krzyżowanie	Mutacja
<b>Główny cel</b>	Łączenie dobrych cech (eksploatacja)	Szukanie nowych obszarów (eksploracja)
<b>Częstotliwość</b>	Bardzo wysoka (zazwyczaj 60–95%)	Bardzo niska (zazwyczaj 0.1–1%)
<b>Charakter</b>	Systematyczny (oparty na rodzicach)	Całkowicie losowy





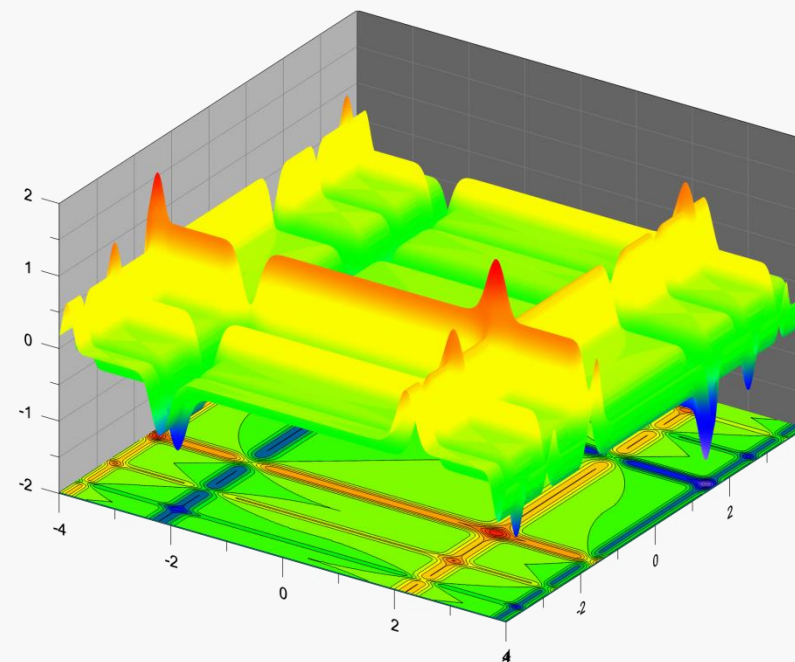
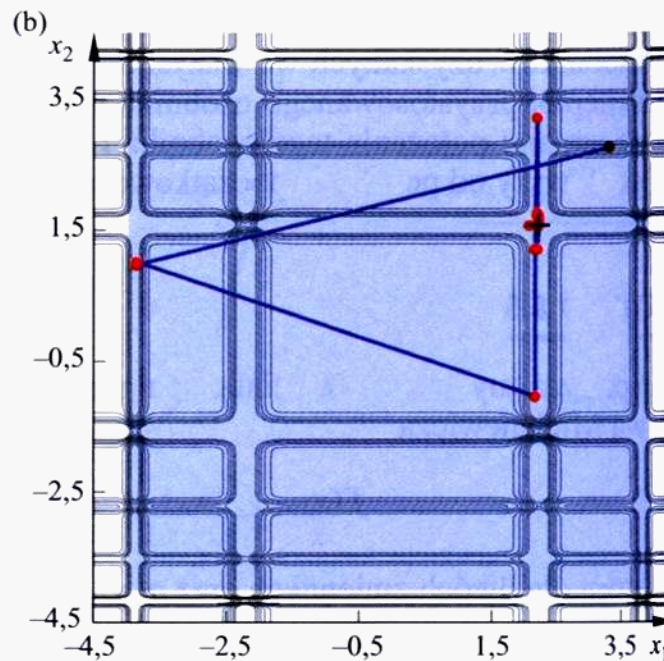
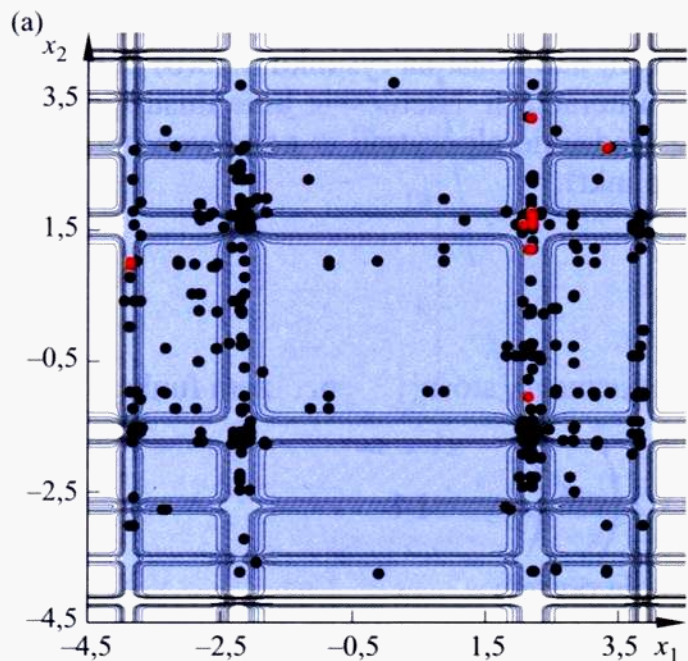
- Po wykonaniu operacji krzyżowania oraz mutacji należy przeprowadzić proces sukcesji. Wybór odpowiedniej metody sukcesji wpływa na szybkość znajdowania optymalnego rozwiązania, ale też może zwiększać ryzyko osiągnięcia lokalnych ekstremów lub przedwczesnej zbieżności. Oto najczęściej wykorzystywane metody sukcesji:
- **sukcesja z całkowitym zastępowaniem** - nową populacją bazową staje się populacja potomna. Oznacza to, że żaden osobnik z poprzedniej populacji nie zostaje przeniesiony do nowej. Metoda ta najwolniej prowadzi do optymalnego rozwiązania, ale jest najbardziej odporna na tendencję osiągnięcia ekstremów.
- **sukcesja z częściowym zastępowaniem** - w nowej populacji znajdują się osobniki z poprzedniej i potomnej populacji. Metoda ta prowadzi zwykle do stabilniejszej pracy algorytmu ewolucyjnego, ale może spowodować tendencję do osiągnięcia ekstremów lokalnych.
- **sukcesja elitarna** (elitaryzm) - gwarantuje, że w nowej populacji znajduje się co najmniej jeden najlepszy osobnik z poprzedniej populacji. Może to przyspieszyć znalezienie optymalnego rozwiązania, ale tym samym zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia ekstremów lokalnych.





## Przykład działania GA - funkcja Michalewicza

$$f(x_1, x_2) = -\sin(x_1) \left( \sin\left(\frac{x_1^2}{\pi}\right) \right)^{20} - \sin(x_2) \left( \sin\left(\frac{2x_2^2}{\pi}\right) \right)^{20}$$



Ilustracja działania algorytmu genetycznego dla funkcji Michalewicza: (a) osobniki we wszystkich populacjach, (b) najlepszy osobnik w kolejnych iteracjach (obszar poszukiwań zacieniano na niebiesko)



# OMNIS Optymalizacja Genetyczna w Lotnictwie - Przykład

Wyznaczenie minimum mocy i powierzchni płata na podstawie wykresu  $T/W = f(W/S)$

## Założenia:

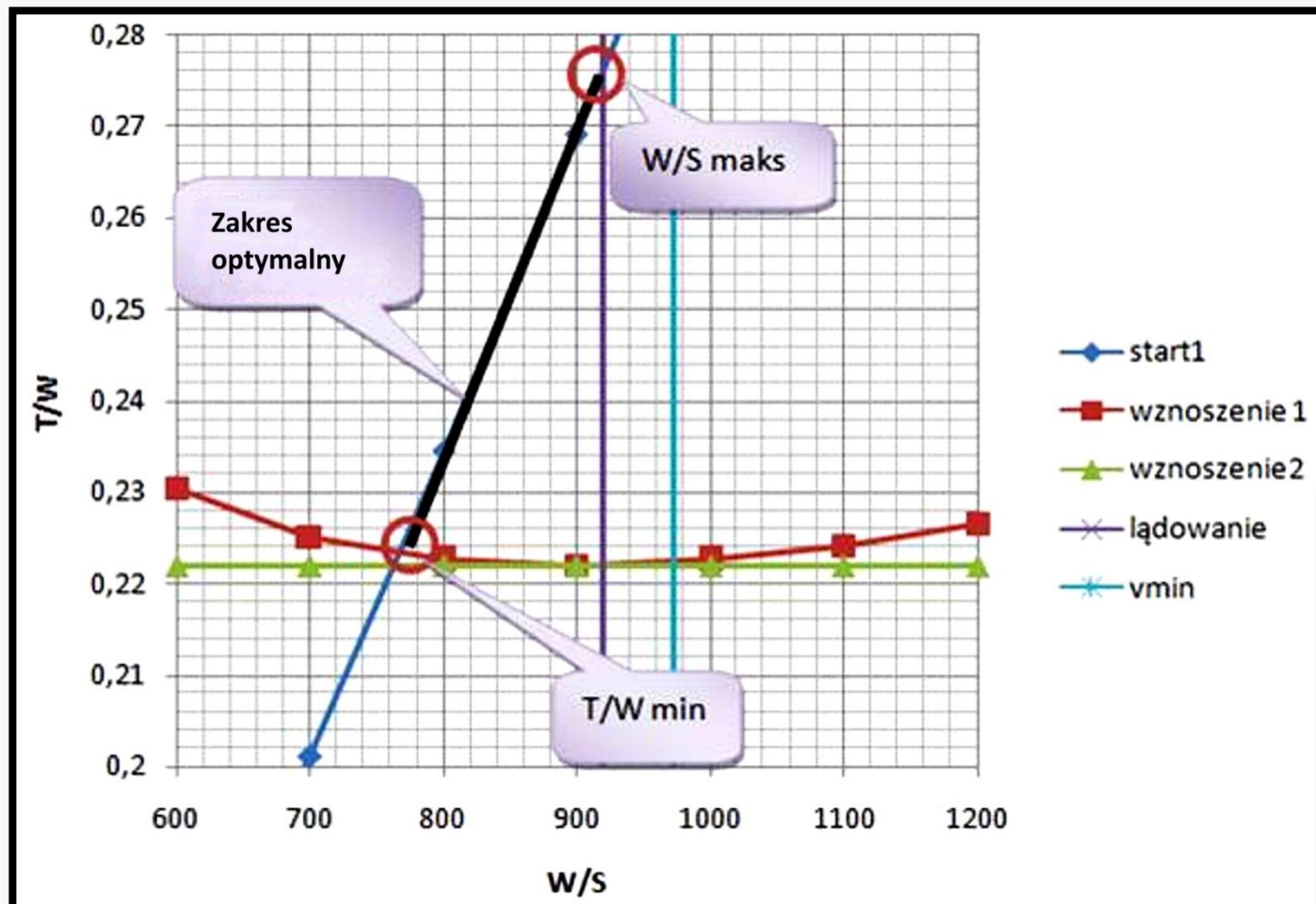
- Liczba genów: 6
- Liczba osobników w populacji: 20, 50 i 100
- Zmienne: T/W i W/S
- Fazy lotu:
  - Start,
  - Lądowanie,
  - Wznoszenie,
  - Prędkość Minimalna





# OMNIS Optymalizacja Genetyczna w Lotnictwie - Przykład

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



## Zagadnienie T/W i W/S



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



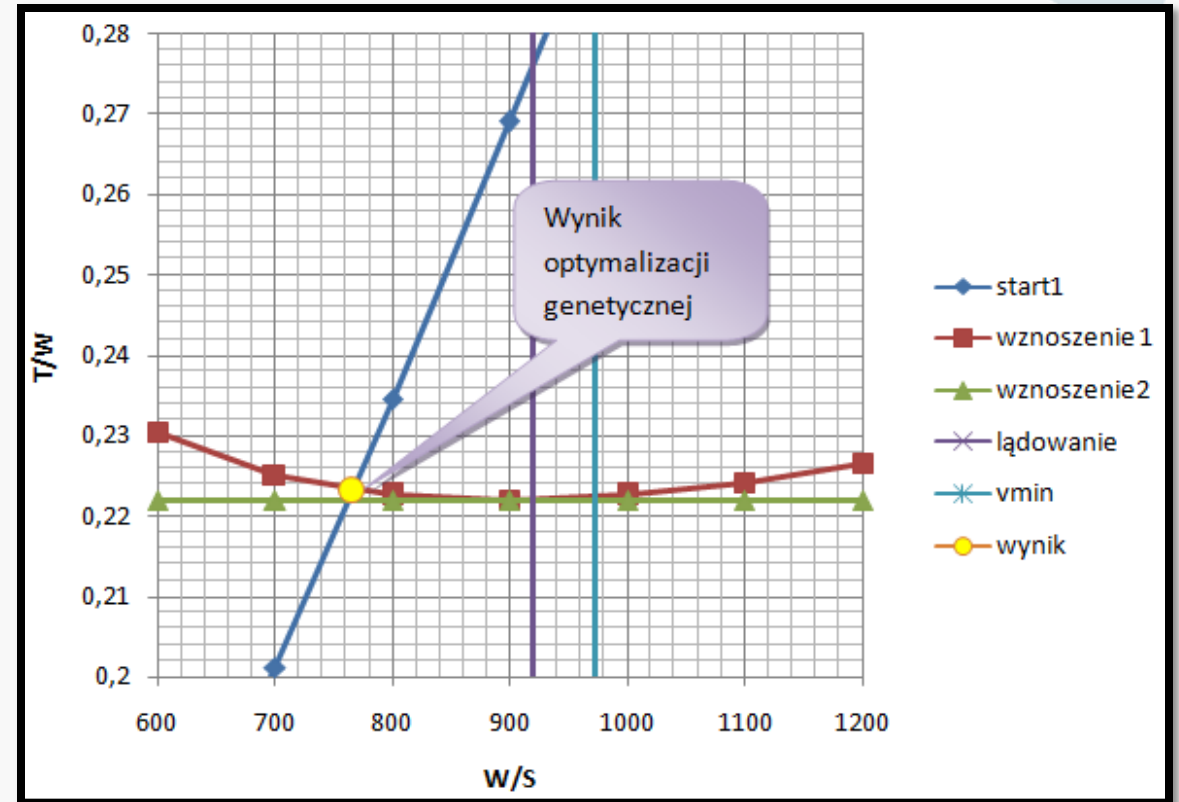
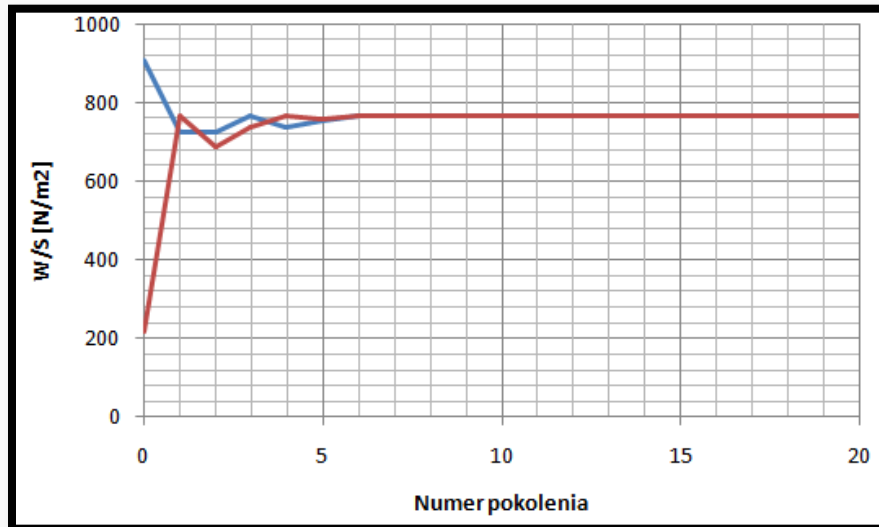
Politechnika Warszawska



# OMNIS Optymalizacja Genetyczna w Lotnictwie - Przykład

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Parametr	Wartość
Wielkość populacji	100
Liczba genów	7
Liczba pokoleń	20
Metoda selekcji	Turniej
Metoda krzyżowania	W pojedynczym punkcie



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską

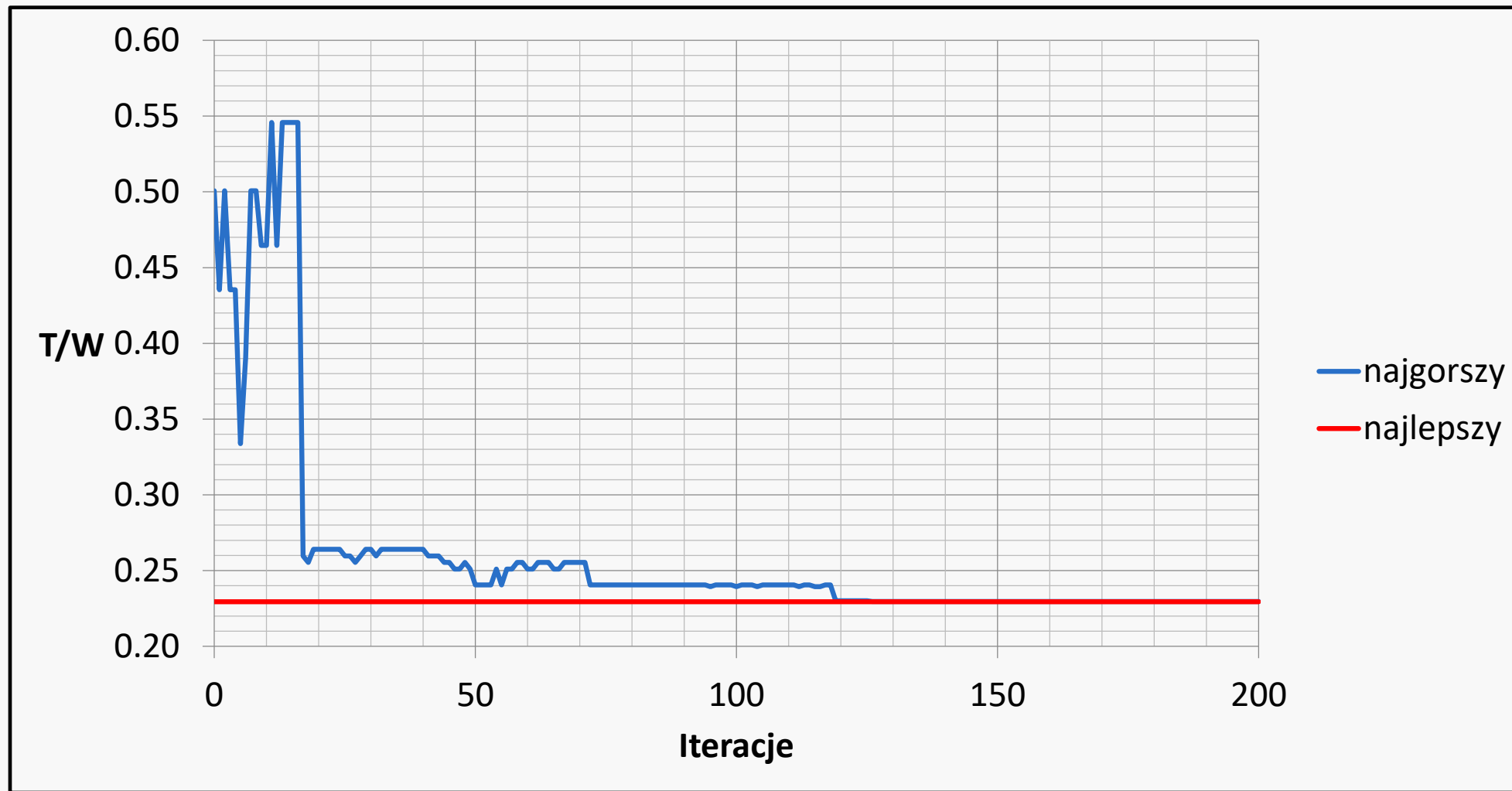


Politechnika Warszawska



# OMNIS Optymalizacja Genetyczna w Lotnictwie - Przykład

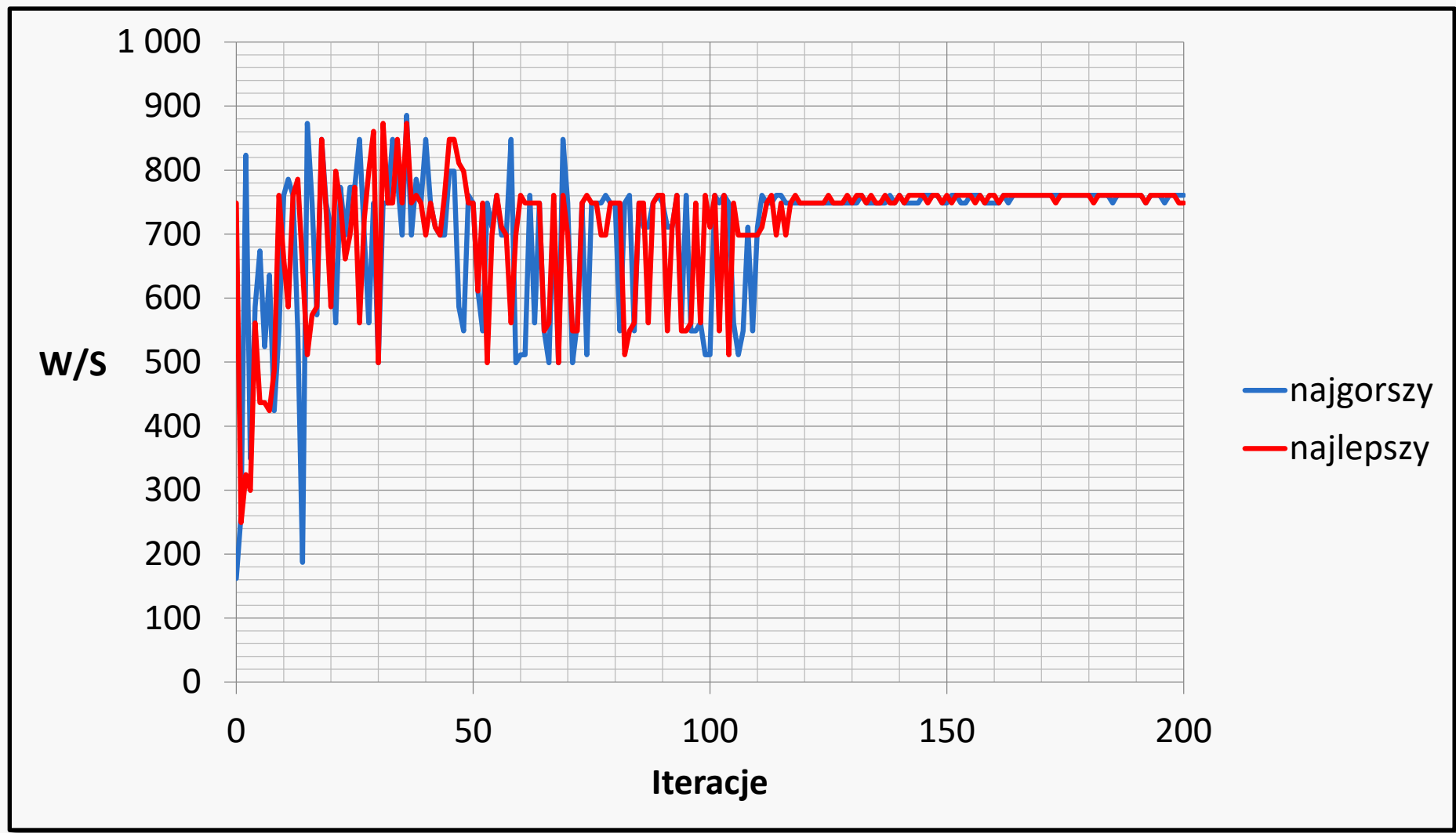
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

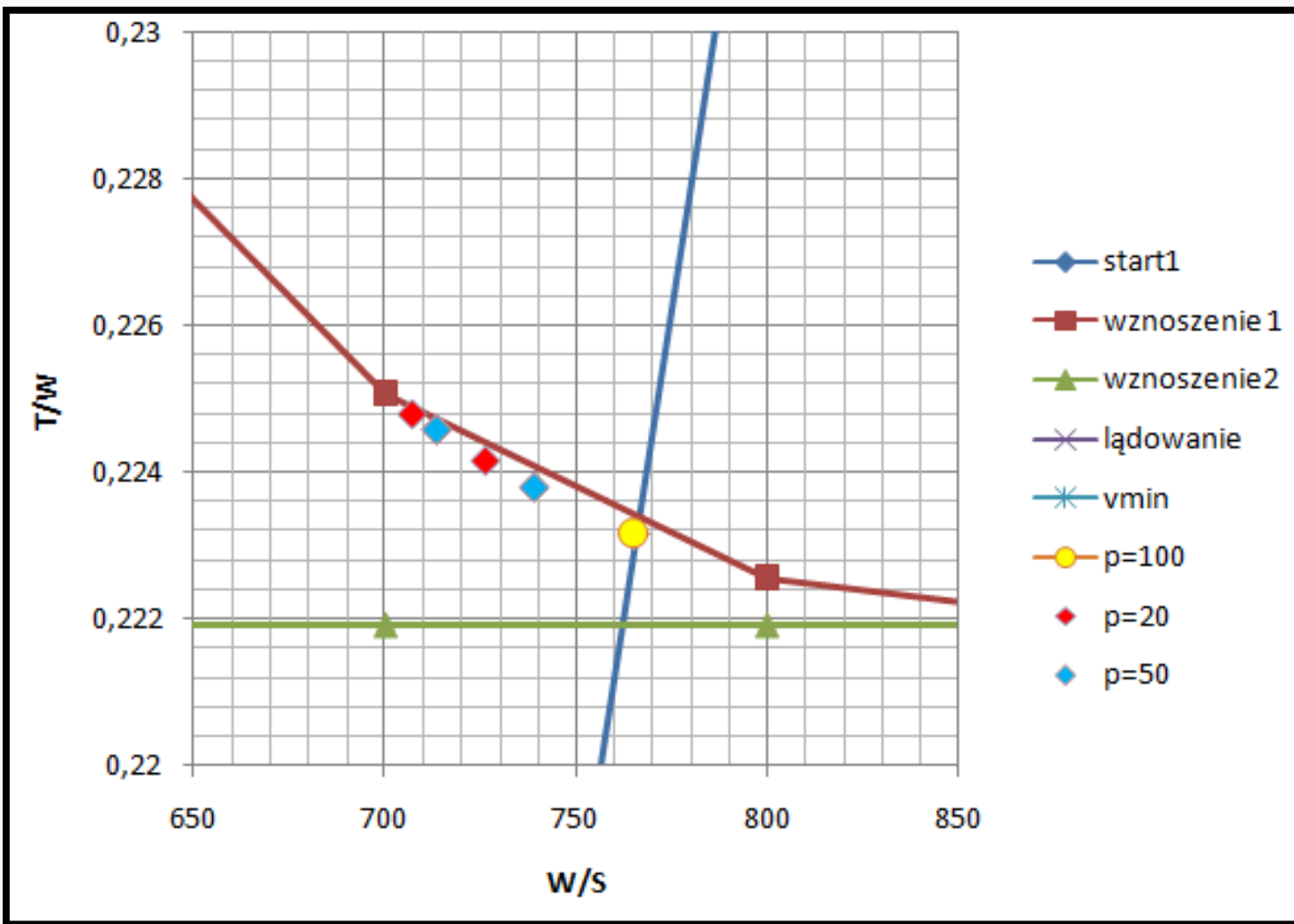


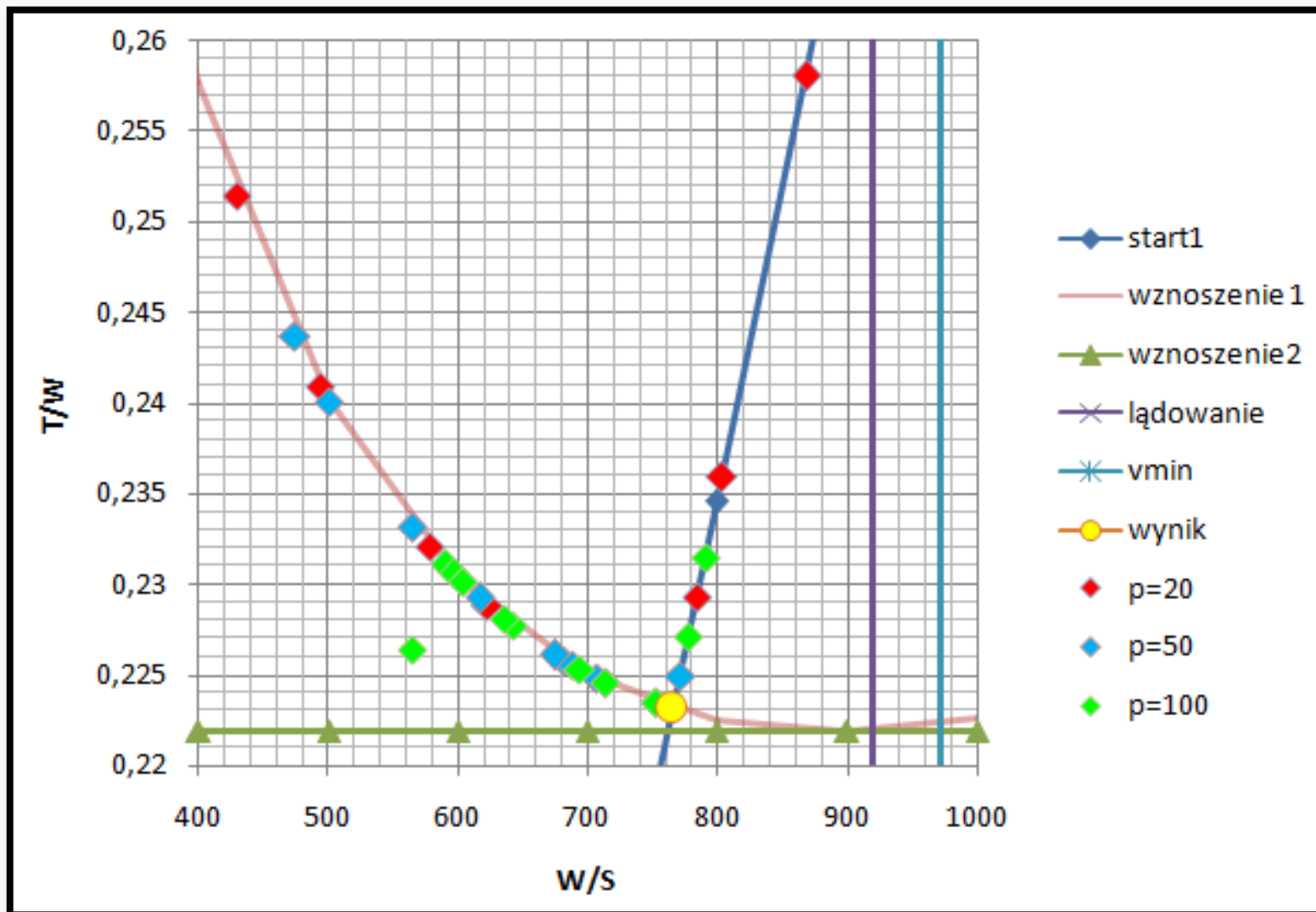


# OMNIS Optymalizacja Genetyczna w Lotnictwie - Przykład

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.





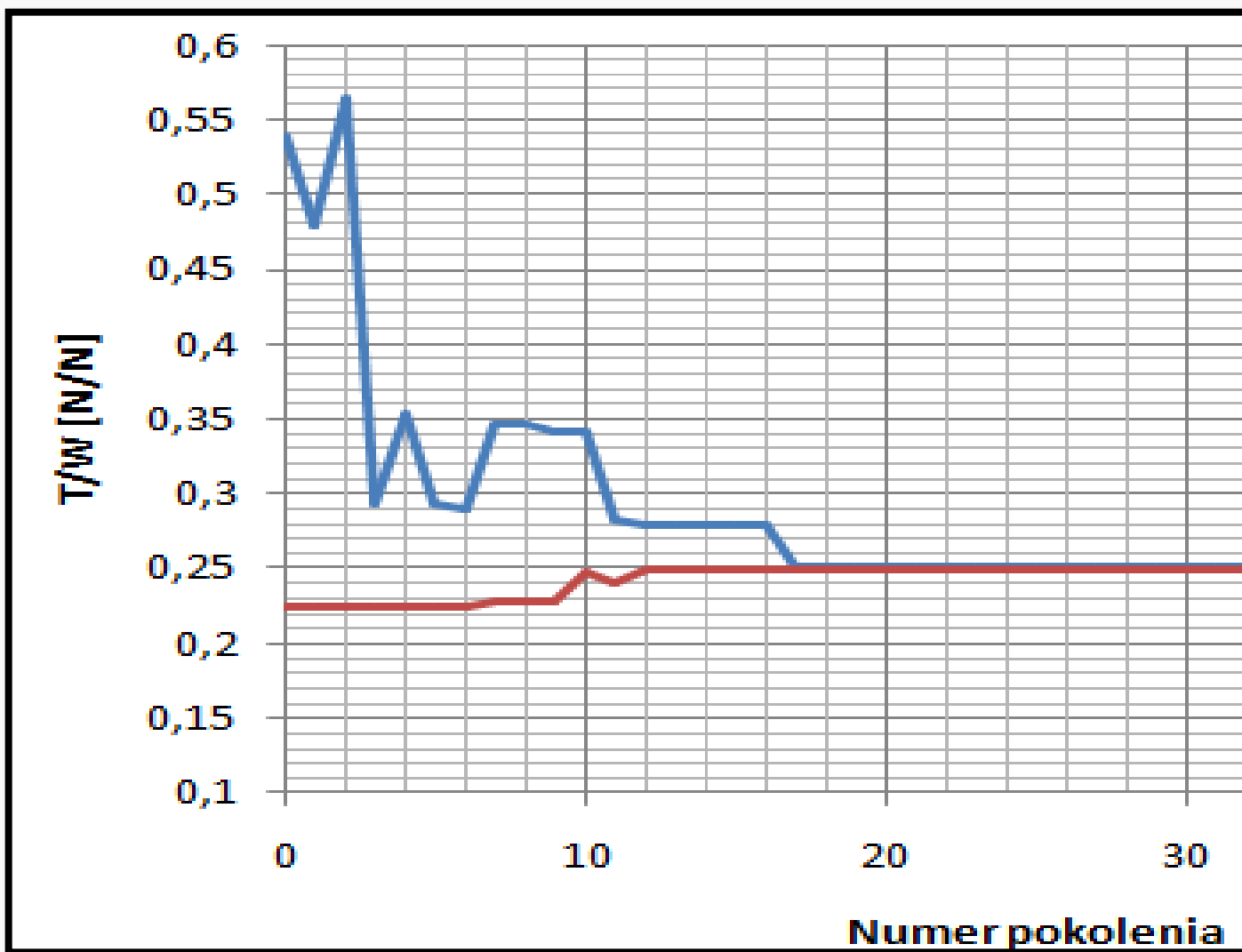




# OMNIS

## Zależność wyników od wielkości populacji

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego

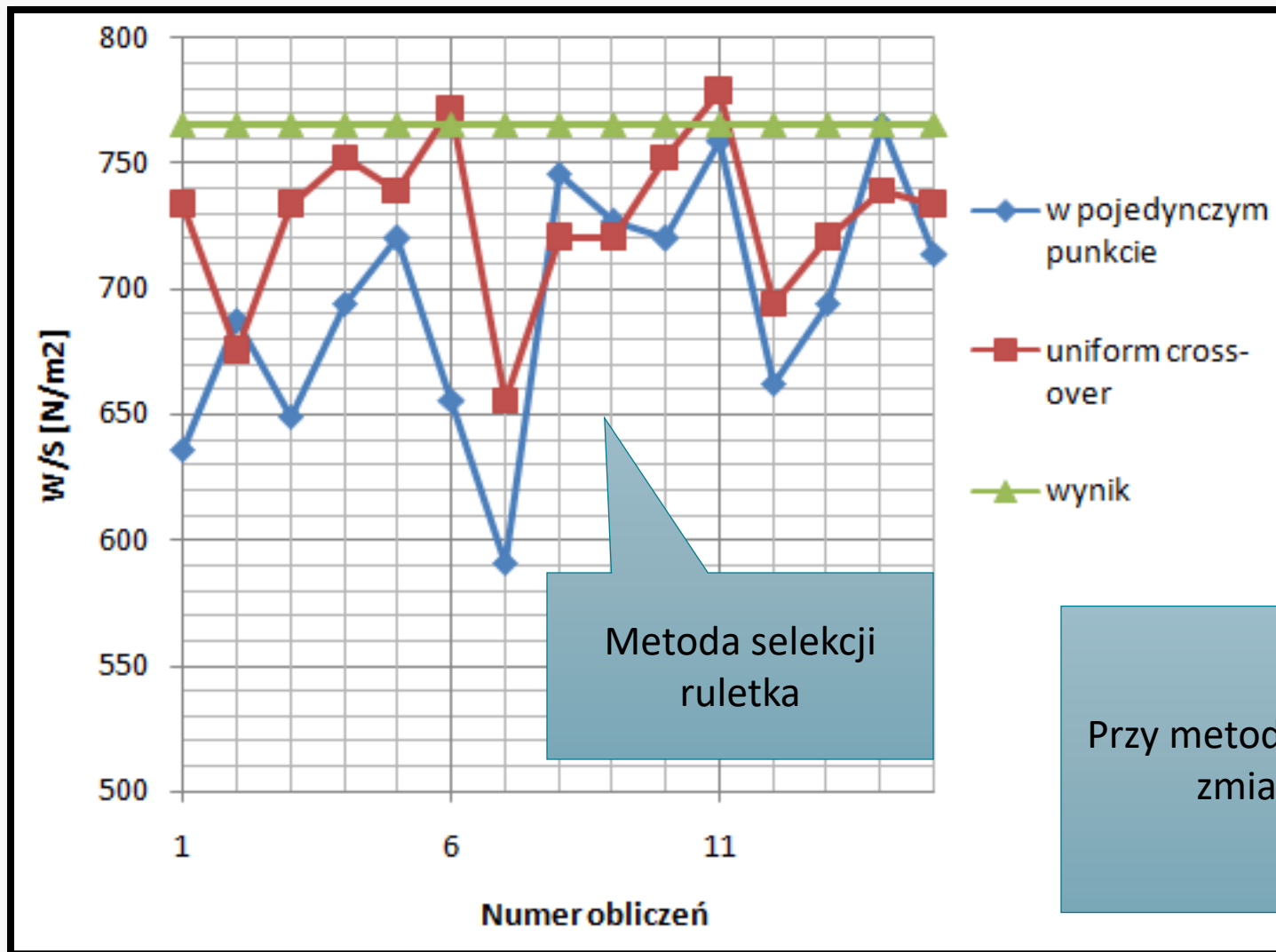


Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



Metoda selekcji ruletka

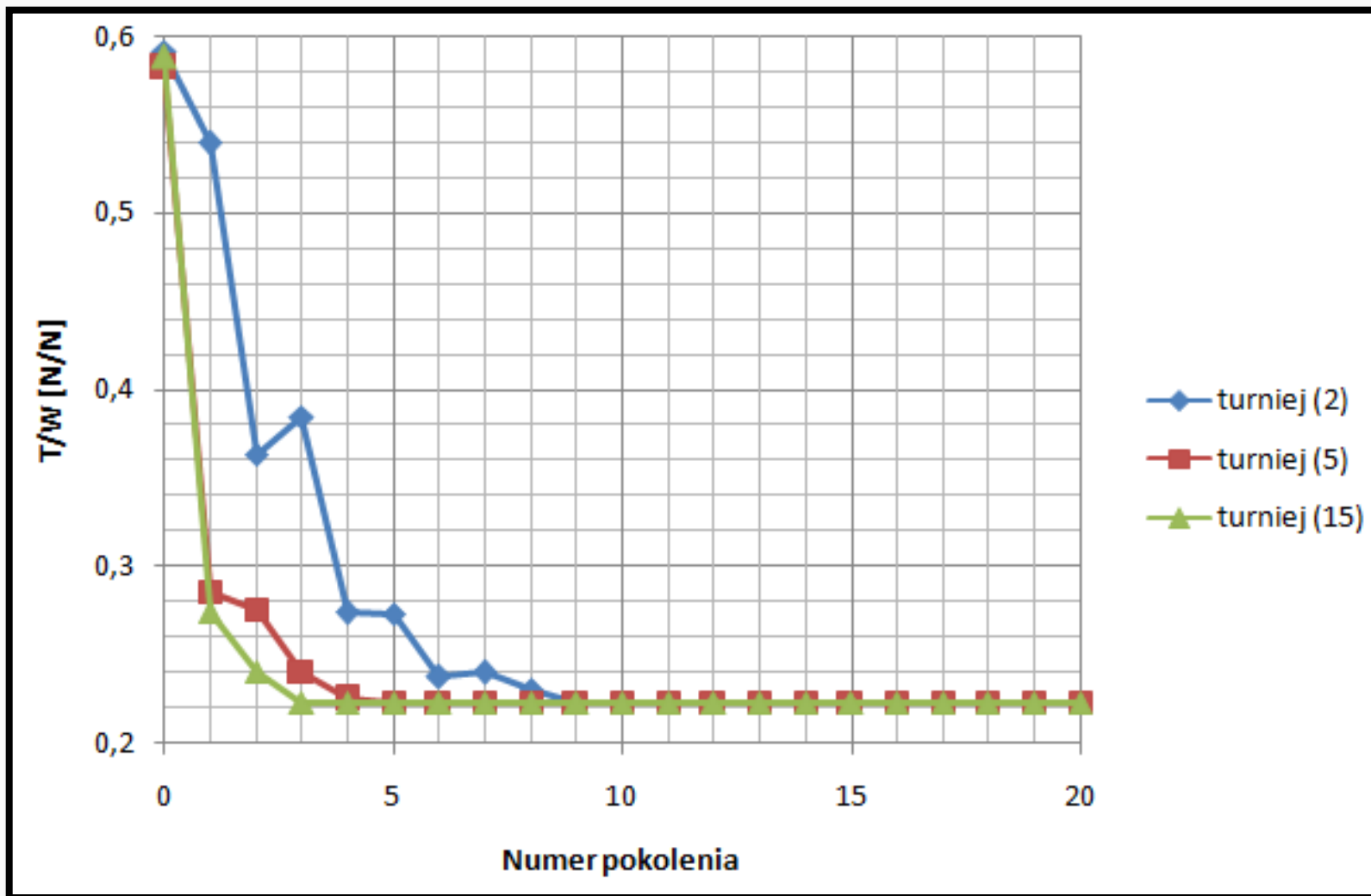
Przy metodzie selekcji turniejowej zmiany są nieznaczne



# OMNIS

## Zależność wyników od rozmiaru turnieju

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



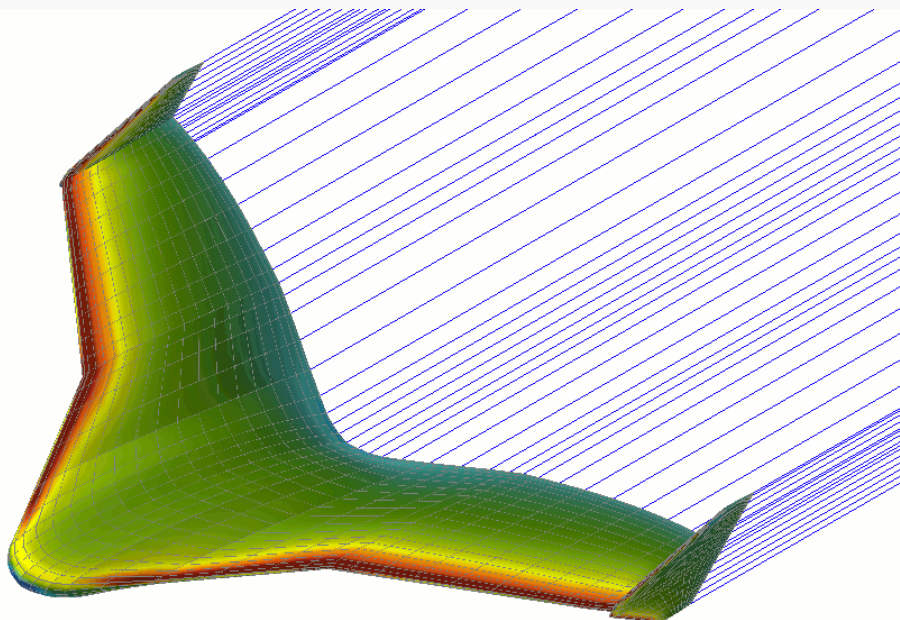
Politechnika Warszawska



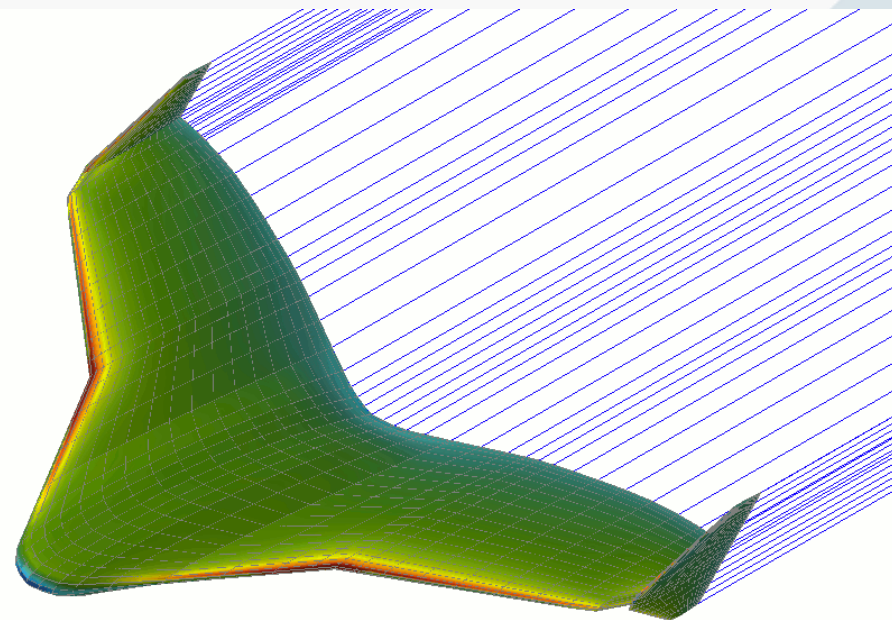
# OMNIS

## Przykład działania GA – optymalizacja UAV

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



najgorszy w populacji



najlepszy w populacji

Iteration 0



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską

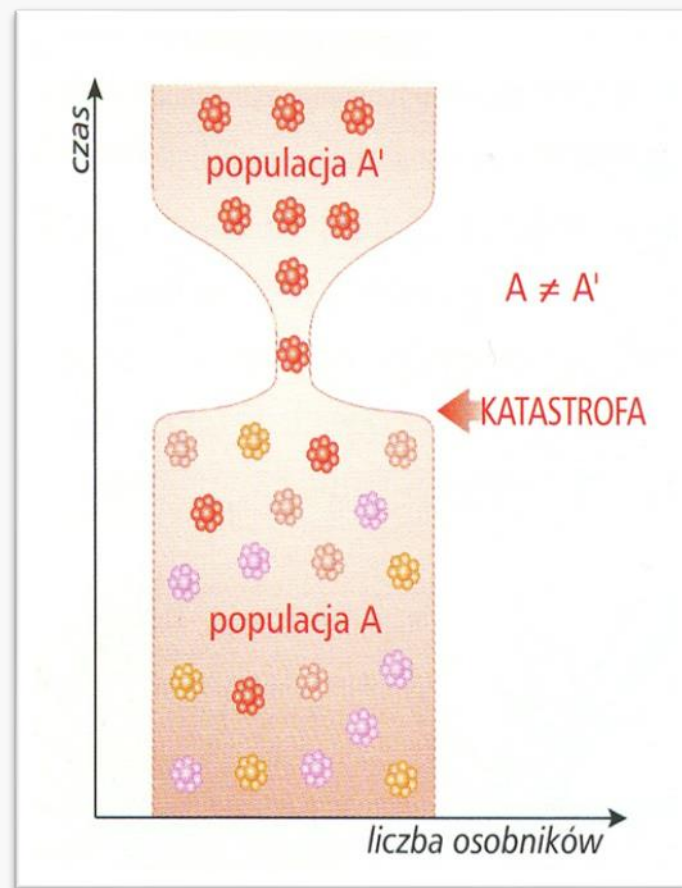


Politechnika Warszawska



Dodatkowe efekty mogące wystąpić w optymalizacji genetycznej:

- Dryf genetyczny
- Efekt wąskiego gardła
- Efekt założyciela





### Zalety

- Metoda uniwersalna, użycie tego samego problemu do różnych zagadnień wymaga tylko odpowiedniego zapisania funkcji celu;
- Algorytmy genetyczne dobrze sobie radzą z funkcjami o wielu ekstremach lokalnych z uwagi na występujące w nich operatory losowe;
- Metoda dość szybka przy małej liczbie genów;
- Można powtarzać obliczenia kilka razy i porównywać wyniki, które po każdym działaniu algorytmu nie muszą być identyczne;

### Wady

- Duża czasochłonność obliczeń przy większej liczbie genów czyli większej dokładności;
- Nie ma jednoznacznej zasady jak zakodować problem – dobrać funkcję celu i parametry krzyżowania i mutacji;
- Nigdy nie ma pewności że znalezione rozwiązanie jest najlepsze ze wszystkich możliwych;





OMNIS Optymalizacja w inżynierii lotniczej i kosmicznej

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Dziękuję za uwagę

