# Raport CSP

Autor: Marysiok Erwin

**Wprowadzenie**

W problemie CSP danymi są:

- skończony zbiór zmiennych,

- funkcja, która przypisuje każdej zmiennej skończoną dziedzinę,

- skończony zbiór ograniczeń

Rozwiązaniem jest przypisanie każdej zmiennej wartości z odpowiadającej dziedziny spełniającą wszystkie ograniczenia.

W ramach laboratorium zajmujemy się 2 rozwiązywaniem łamigłówek za pomocą CSP:

W łamigłówce Binary mamy dostępną planszę n na n. Każde pole jest zmienną i dziedzina takiej zmiennej to {0, 1}. Mamy następujące ograniczenia:

- W żadnej kolumnie i żadnym wierszu nie może pojawić się sekwencja trzech zer pod rząd lub trzech jedynek pod rząd
- Każdy wiersz jest unikalny i kolumna jest unikalna
- Każdy wiersz i każda kolumna powinny zawierać tyle samo zer, co jedynek

Drugą łamigłówką jest łamigłówka Futoshiki. Również mamy do dyspozycji pole n na n. Dziedziną w tym przypadku są liczby {1, …, n}. W każdym kolumnie oraz wierszu muszą znaleźć się wszystkie liczby od 1 do n. Dodatkowo, jako ograniczenie mamy postawione znaki nierówności między liczbami.

Do rozwiązania problemu został użyty algorytm przeszukiwania z nawrotami oraz uproszczone sprawdzanie w przód. Do tego zostały zaimplementowane 2 heurystyki – wyboru kolejnej zmiennej oraz wartości. Wybór wartości dokonywany jest losowo, natomiast wybór kolejnej zmiennej dokonywany jest za pomocą wyznaczenia najmniej licznej dziedziny i wyboru tej najbardziej ograniczonej zmiennej.

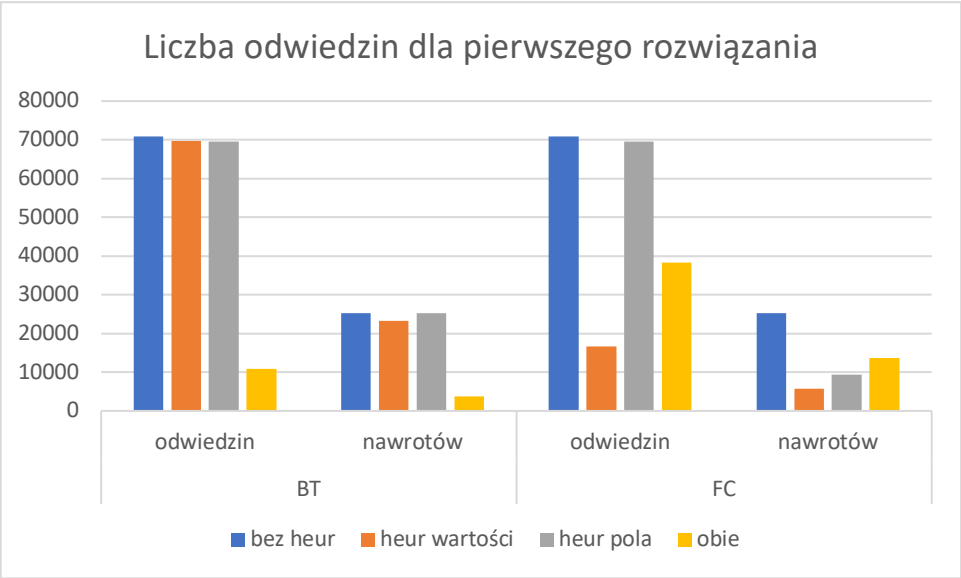
**Wyniki łamigłówki Binary**

| H. wyboru pola | H. wyboru wartości | Liczba odwiedzin [1 rozwiązanie] | Liczba nawrotów [1 rozwiązanie] | Liczba odwiedzin [wszystkie] | Liczba nawrotów [wszystkie] | Czas [ms] [1 rozwiązanie] | Czas [ms] [wszystkie] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Plik: Binary 6x6** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 59 | 5 | 188 | 24 | 12.58 | 39.22 |
| Nie | Tak | 62 | 6 | 188 | 24 | 11.63 | 291.81 |
| Tak | Nie | 45 | 5 | 137 | 24 | 31.71 | 92.77 |
| Tak | Tak | 34 | 8 | 137 | 24 | 30.33 | 94.60 |
| **Plik: Binary 8x8** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 1326 | 292 | 1882 | 221 | 433.87 | 615.87 |
| Nie | Tak | 1882 | 221 | 1882 | 221 | 481.7 | 558.06 |
| Tak | Nie | 1016 | 142 | 1439 | 221 | 1166.51 | 1662.59 |
| Tak | Tak | 1089 | 153 | 1439 | 221 | 1176.86 | 1577.45 |
| **Plik: Binary 10x10** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 364 | 37 | 664 | 71 | 187.51 | 342.24 |
| Nie | Tak | 499 | 49 | 664 | 71 | 179.35 | 312.83 |
| Tak | Nie | 244 | 37 | 448 | 71 | 455.74 | 824.87 |
| Tak | Tak | 260 | 30 | 448 | 71 | 624.57 | 788.77 |

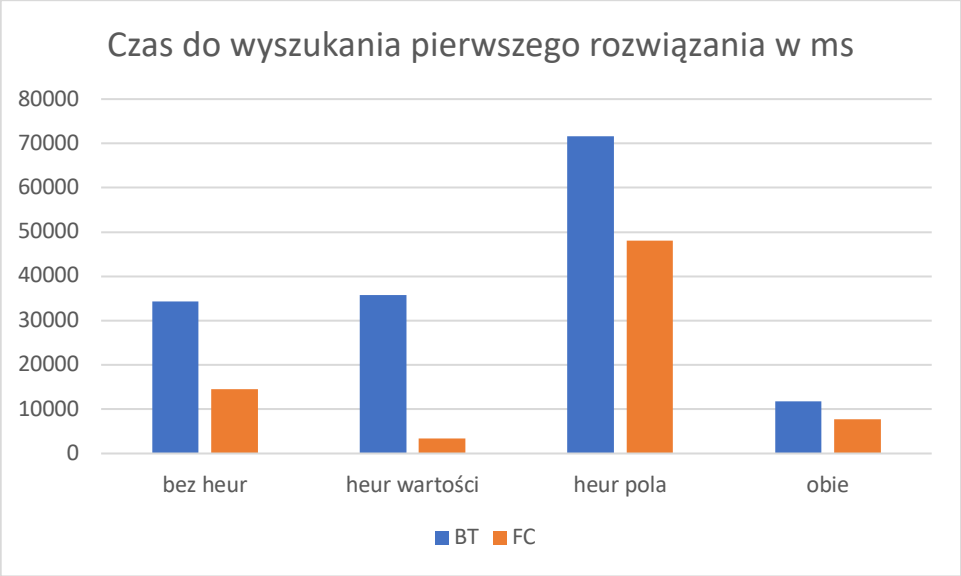
Tabela 1. Wartości dla łamigłówki Binary z użyciem Backtrackingu

| H. wyboru pola | H. wyboru wartości | Liczba odwiedzin [1 rozwiązanie] | Liczba nawrotów [1 rozwiązanie] | Liczba odwiedzin [wszystkie] | Liczba nawrotów [wszystkie] | Czas [ms] [1 rozwiązanie] | Czas [ms] [wszystkie] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Plik: Binary 6x6** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 59 | 5 | 177 | 22 | 13.31 | 36.52 |
| Nie | Tak | 53 | 4 | 177 | 22 | 11.36 | 37.29 |
| Tak | Nie | 45 | 0 | 121 | 1 | 34.85 | 96.09 |
| Tak | Tak | 112 | 1 | 121 | 1 | 27.97 | 31.76 |
| **Plik: Binary 8x8** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 780 | 55 | 1025 | 102 | 260.45 | 342.07 |
| Nie | Tak | 881 | 62 | 1025 | 102 | 267.78 | 314.31 |
| Tak | Nie | 464 | 12 | 639 | 14 | 634.09 | 849.41 |
| Tak | Tak | 601 | 14 | 639 | 14 | 596.33 | 812.09 |
| **Plik: Binary 10x10** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 364 | 37 | 664 | 71 | 191.76 | 348.17 |
| Nie | Tak | 390 | 30 | 664 | 71 | 222.47 | 309.61 |
| Tak | Nie | 260 | 33 | 482 | 57 | 471.52 | 856.02 |
| Tak | Tak | 435 | 48 | 482 | 57 | 498.97 | 848.46 |

Tabela 2. Wartości dla łamigłówki Binary z użyciem Forward Check.




Wykres 1. Porównanie liczby odwiedzin węzłów i nawrotów dla Binary 8x8 w backtrackingu i forward checkingu w 1 rozwiązaniu




Wykres 2. Porównanie czasu znalezienia 1 rozwiązania dla Binary 8x8 w backtrackingu i forward checkingu

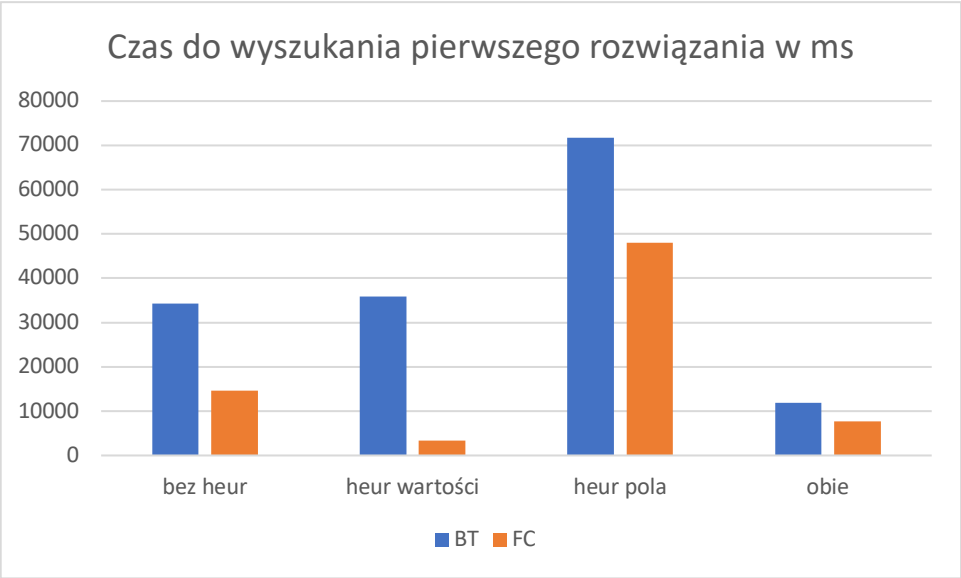
**Wyniki łamigłówki Futoshiki**

| H. wyboru pola | H. wyboru wartości | Liczba odwiedzin [1 rozwiązanie] | Liczba nawrotów [1 rozwiązanie] | Liczba odwiedzin [wszystkie] | Liczba nawrotów [wszystkie] | Czas [ms] [1 rozwiązanie] | Czas [ms] [wszystkie] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Plik: Futoshiki 4x4** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 57 | 9 | 184 | 36 | 9.95 | 33.9 |
| Nie | Tak | 39 | 6 | 184 | 36 | 7.16 | 32.76 |
| Tak | Nie | 48 | 8 | 167 | 31 | 21.98 | 78.69 |
| Tak | Tak | 15 | 0 | 167 | 31 | 6.94 | 73.7 |
| **Plik: Futoshiki 5x5** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 71 | 19 | 205 | 57 | 25.7 | 83.16 |
| Nie | Tak | 82 | 19 | 205 | 57 | 18.39 | 74.97 |
| Tak | Nie | 66 | 19 | 186 | 52 | 47.3 | 139.46 |
| Tak | Tak | 171 | 45 | 186 | 52 | 106.8 | 139.44 |
| **Plik: Futoshiki 6x6** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 70932 | 25203 | 562909 | 1665384 | 34313.17 | 878523.25 |
| Nie | Tak | 69751 | 23206 | 562909 | 1665384 | 35838.32 | 859506.95 |
| Tak | Nie | 69582 | 25203 | 562909 | 1628466 | 71664.88 | 1664547.16 |
| Tak | Tak | 10909 | 3766 | 562909 | 1628466 | 11837.46 | 1653717.76 |

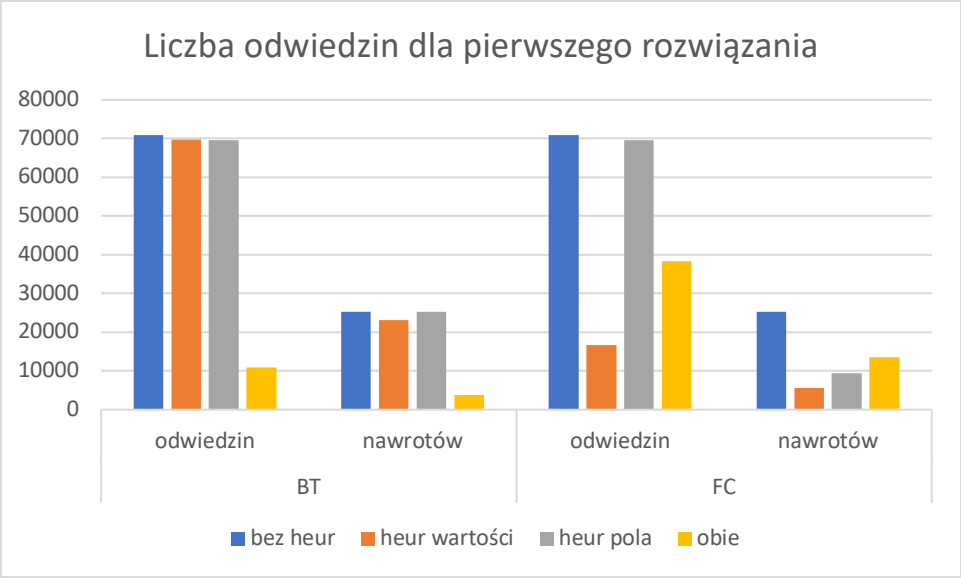
Tabela 3. Wartości dla łamigłówki Futoshiki z użyciem Backtrackingu

| H. wyboru pola | H. wyboru wartości | Liczba odwiedzin [1 rozwiązanie] | Liczba nawrotów [1 rozwiązanie] | Liczba odwiedzin [wszystkie] | Liczba nawrotów [wszystkie] | Czas [ms] [1 rozwiązanie] | Czas [ms] [wszystkie] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Plik: Futoshiki 4x4** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 57 | 9 | 184 | 36 | 5.61 | 17.42 |
| Nie | Tak | 133 | 33 | 184 | 36 | 8.14 | 18.01 |
| Tak | Nie | 48 | 4 | 167 | 8 | 17.8 | 59.55 |
| Tak | Tak | 50 | 2 | 167 | 8 | 16.09 | 57.51 |
| **Plik: Futoshiki 5x5** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 71 | 19 | 205 | 57 | 13.37 | 38.8 |
| Nie | Tak | 133 | 33 | 205 | 57 | 23.24 | 32.81 |
| Tak | Nie | 66 | 2 | 186 | 7 | 36.59 | 98.87 |
| Tak | Tak | 67 | 2 | 186 | 7 | 19.3 | 100.63 |
| **Plik: Futoshiki 6x6** | | | | | | | |
| Nie | Nie | 70932 | 25203 | 1665384 | 562909 | 14579.06 | 337761.68 |
| Nie | Tak | 16689 | 5651 | 1665384 | 562909 | 3366.55 | 340003.06 |
| Tak | Nie | 69582 | 9327 | 1628466 | 197600 | 48071.11 | 1114602.44 |
| Tak | Tak | 107084 | 12541 | 1628466 | 197600 | 73124.46 | |

Tabela 4. Wartości dla łamigłówki Futoshiki z użyciem FC




Wykres 3. Porównanie czasu znalezienia 1 rozwiązania dla Futoshiki 6x6 w backtrackingu i forward checkingu




Wykres 4. Porównanie liczby odwiedzin węzłów i nawrotów dla Futoshiki 6x6 w backtrackingu i forward checkingu w 1 rozwiązaniu

**Wnioski**: Forward check jest zauważalnie trafniejszy od backtrackingu. Widać to po wynikach osiągniętych w 1 rozwiązaniu dla wymagających ułożeń łamigłówek, w binary dla 8x8, w futoshiki dla 6x6. Jest to dosyć oczywiste, ponieważ w algorytmie sprawdzania w przód redukujemy możliwą liczbę wartości które można przypisać zmiennym, przez co liczba odwiedzanych nodeów jest znacznie mniejsza.

Jeżeli chodzi o heurystyki – heurystyka wyboru wartości w mojej implementacji jest po prostu losowym wybraniem wartości ze zmiennej, więc nie dziwne jest to, że może się zdarzyć sytuacja w której algorytm z tą heurystyką będzie działał krócej/szybciej od algorytmu bez tej heurystyki (ze względu na możliwość dobrego wylosowania wartości). Trzeba jednak pamiętać, że równie dobrze może znaleźć znacznie gorszą.

Heurystyka wyboru kolejnego pola jest zauważalna dopiero w forward checkingu, gdzie dziedzina ma znaczenie. Wybierając zmienną o najmniejszej dziedzinie redukujemy ilość węzłów do odwiedzenia oraz przyspieszamy znalezienie pierwszego rozwiązania.

Obie heurystyki natomiast sprawiają, że możliwe jest znalezienie rozwiązań jeszcze szybciej – ponieważ dla najbardziej ograniczonej zmiennej bierzemy losową wartość z jej dziedziny, co może sprawić że trafimy na prawidłowe rozwiązanie szybciej.