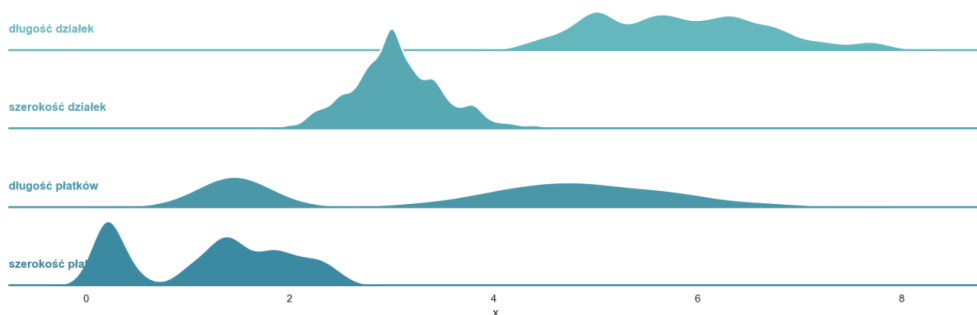
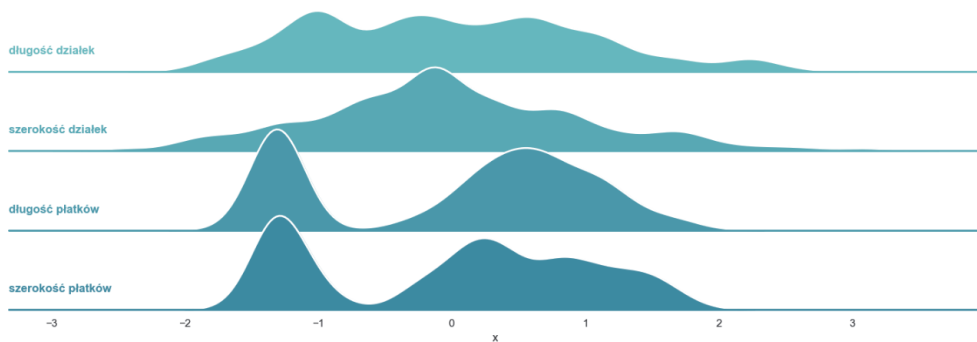


**Kolorowe wersje rysunków w książce
„Matematyka w uczeniu maszynowym.
Opanuj algebrę liniową, rachunek
różniczkowy i całkowy oraz rachunek
prawdopodobieństwa”**

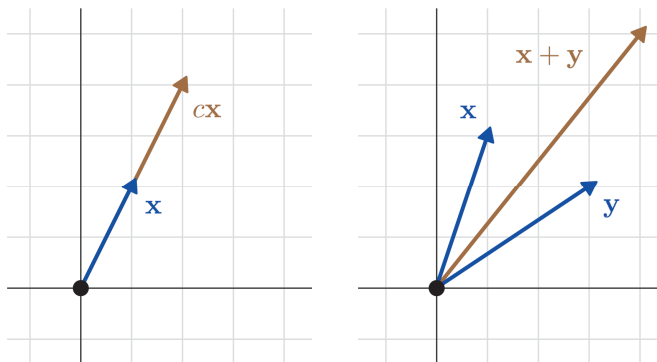
Rozdział 1. Wektory i przestrzenie wektorowe



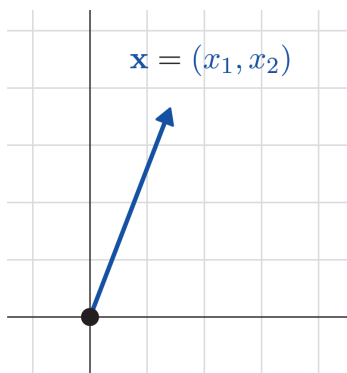
Rysunek 1.1. Surowe cechy ze zbioru danych Iris



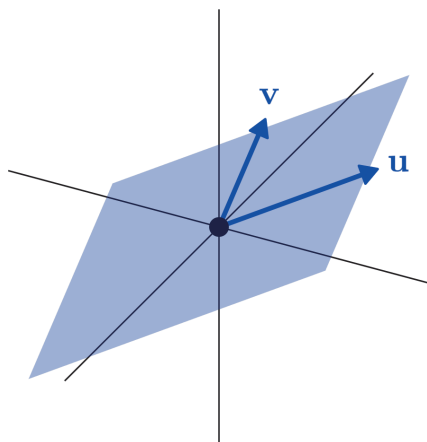
Rysunek 1.2. Przeskalowane cechy ze zbioru danych Iris



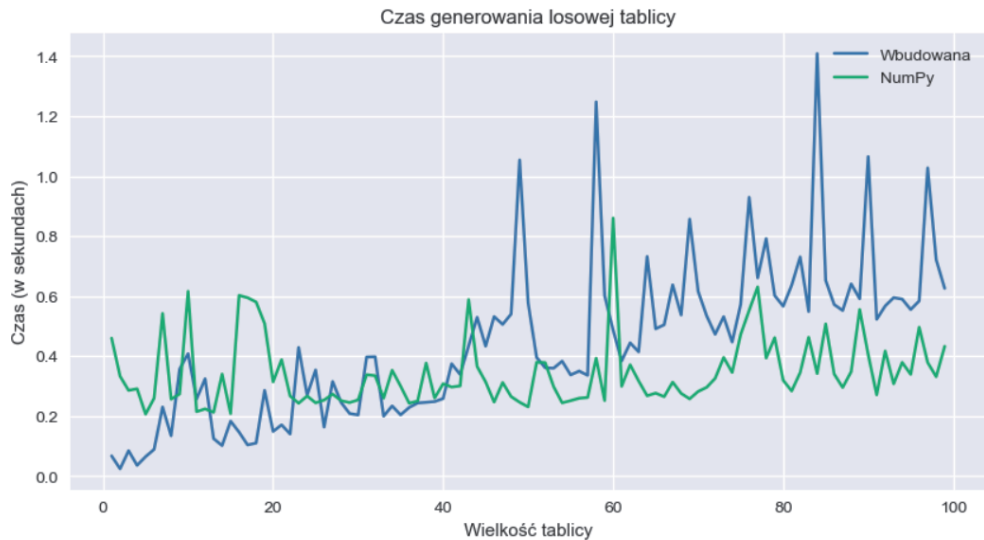
Rysunek 1.3. Geometryczna interpretacja dodawania i mnożenia przez skalar



Rysunek 1.4. Płaszczyzna euklidesowa jako przestrzeń wektorowa

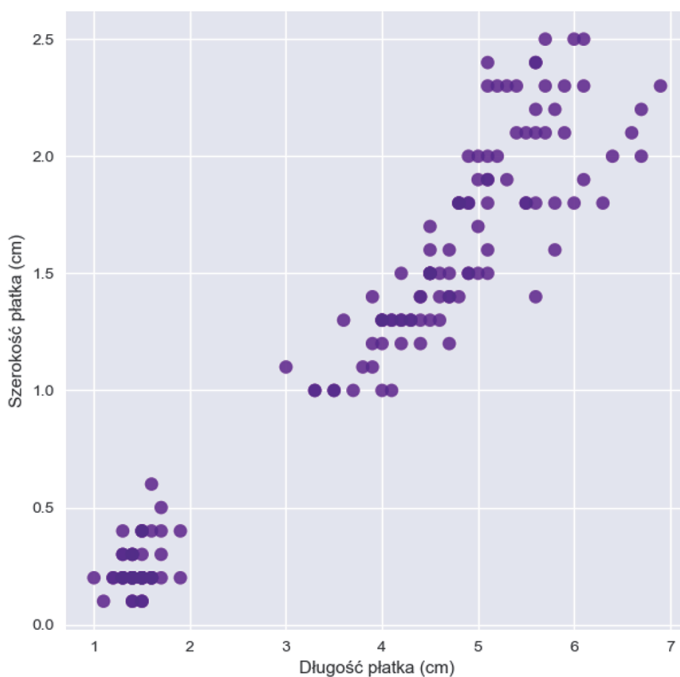


Rysunek 1.5. Powłoka liniowa dwóch liniowo niezależnych wektorów $u, v \in \mathbb{R}^3$

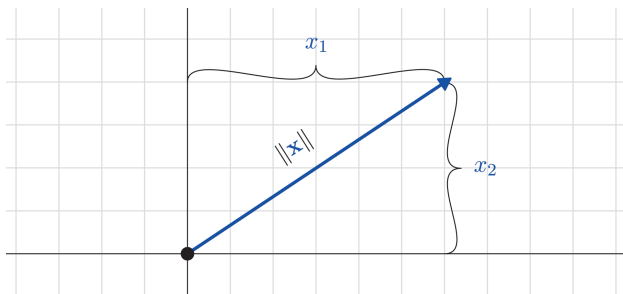


Rysunek 1.9. Czas generowania losowej tablicy

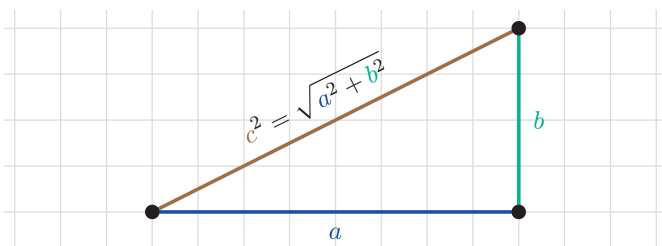
Rozdział 2. Struktura geometryczna przestrzeni wektorowych



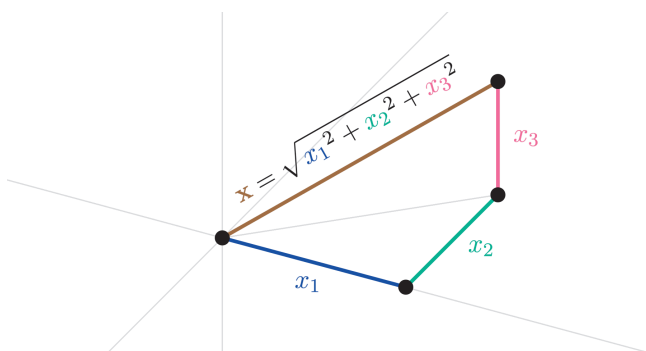
Rysunek 2.1. Cechy „szerokość płatka” i „długość płatka” w zbiorze danych Iris



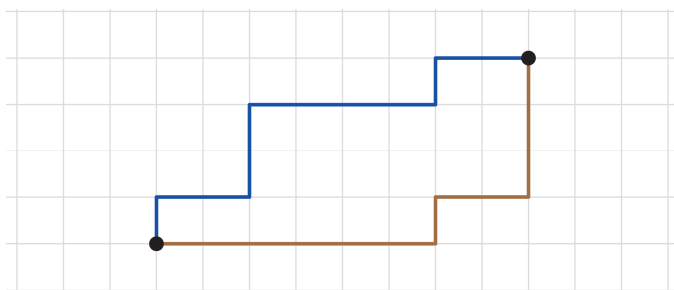
Rysunek 2.2. Długość wektora na płaszczyźnie euklidesowej



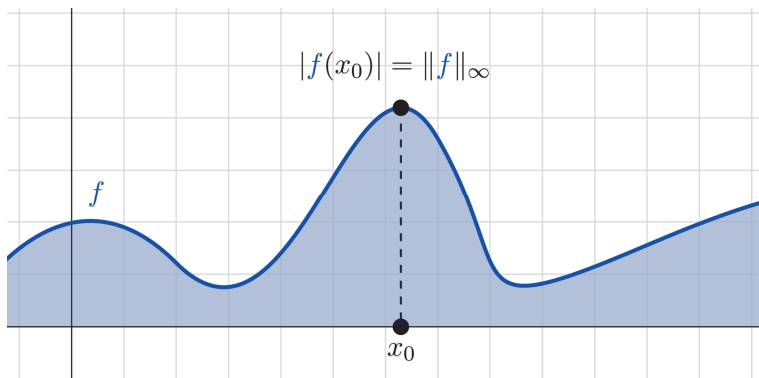
Rysunek 2.3. Twierdzenie Pitagorasa



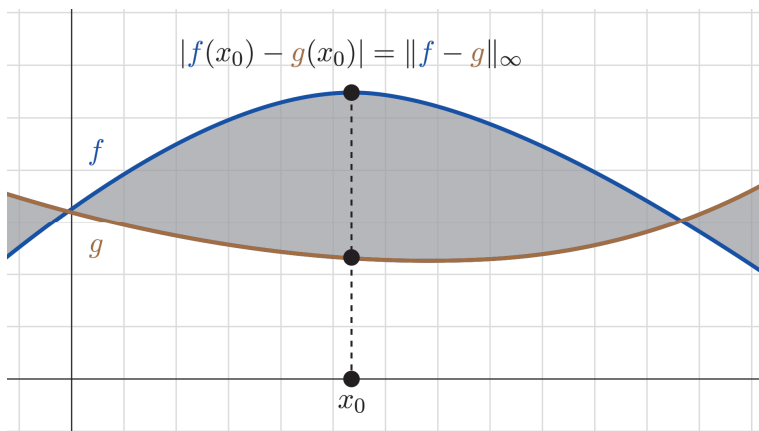
Rysunek 2.4. Twierdzenie Pitagorasa w trzech wymiarach



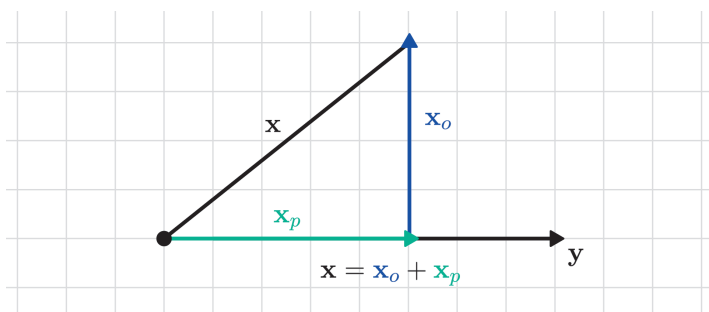
Rysunek 2.5. Gdy używana jest odległość Manhattan, najkrótsza droga między dwoma punktami nie jest unikatowa



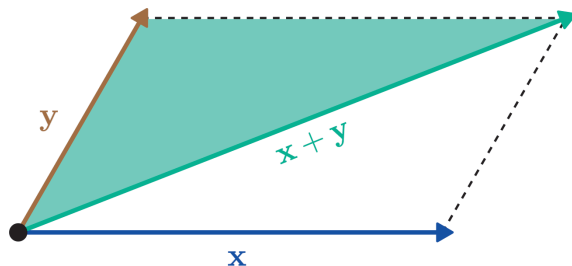
Rysunek 2.6. Norma supremum



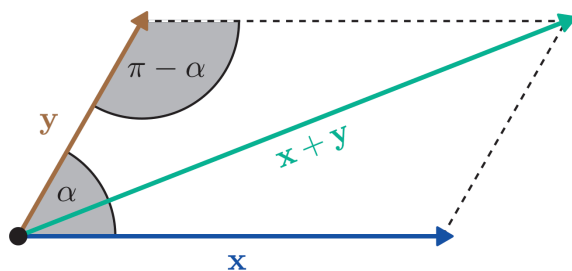
Rysunek 2.7. Odległość między dwiema funkcjami wyrażona za pomocą normy supremum



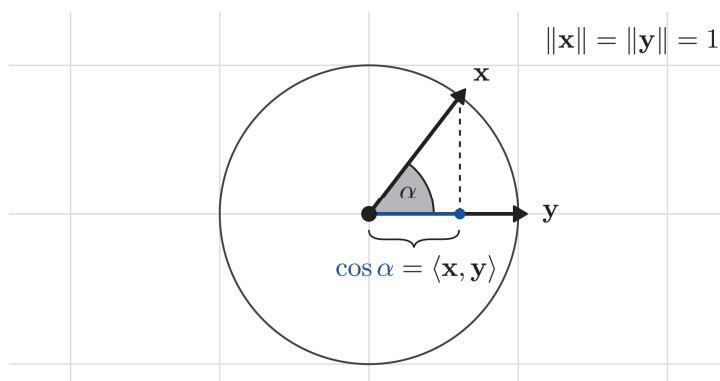
Rysunek 2.8. Rozkład wektora x na składowe równoległą i prostopadłą do y



Rysunek 2.9. Suma wektorów x i y

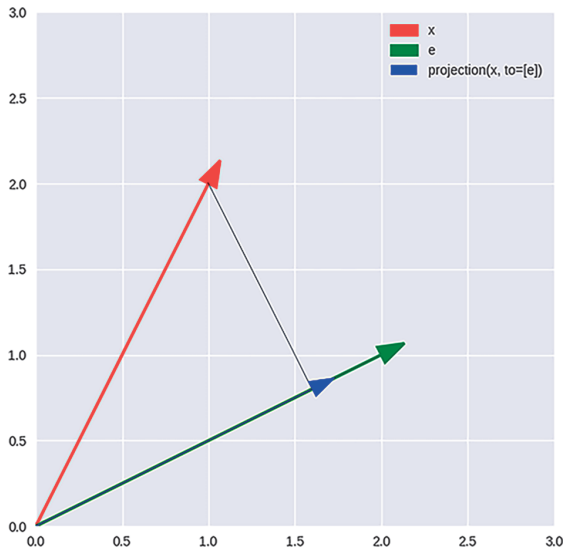


Rysunek 2.10. Trójkąt utworzony przez wektory x , y i $x + y$



Rysunek 2.11. Iloczyn wewnętrzny dwóch wektorów jednostkowych równa się cosinusowi kąta między nimi

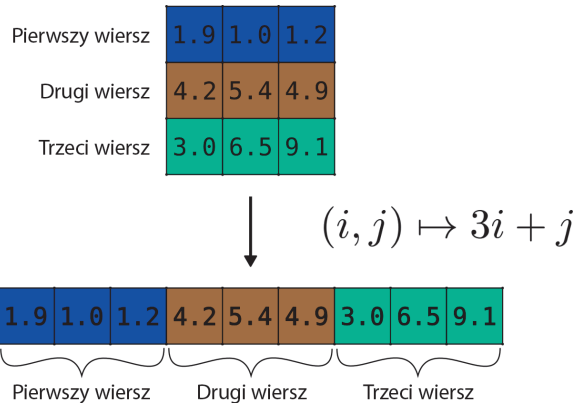
Rozdział 3. Algebra liniowa w praktyce



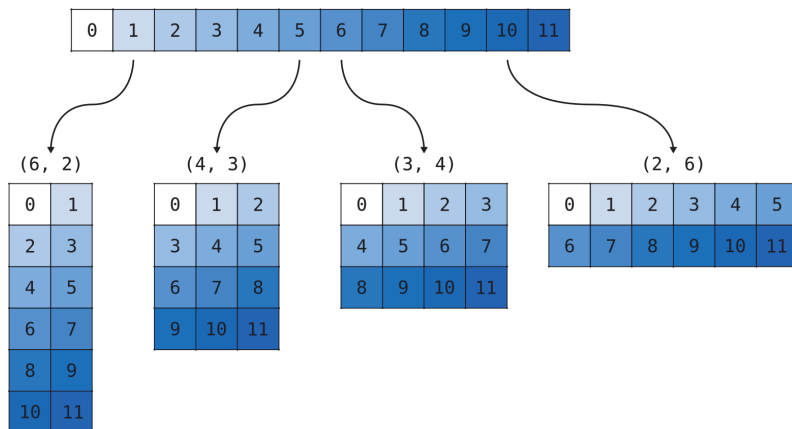
Rysunek 3.1. Projektcja x na e

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{1,1} \\ b_{2,1} \\ b_{3,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} \\ c_{2,1} & c_{2,2} \end{bmatrix}$$
$$c_{2,1} = a_{2,1}b_{1,1} + a_{2,2}b_{2,1} + a_{2,3}b_{3,1}$$

Rysunek 3.2. Wizualizacja mnożenia macierzy

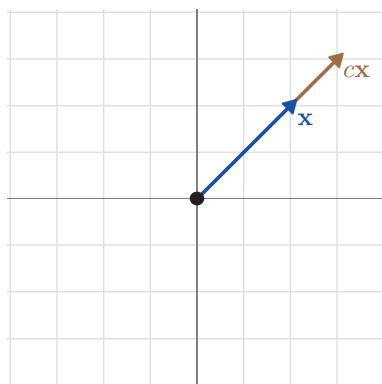


Rysunek 3.3. Spłaszczanie tablicy

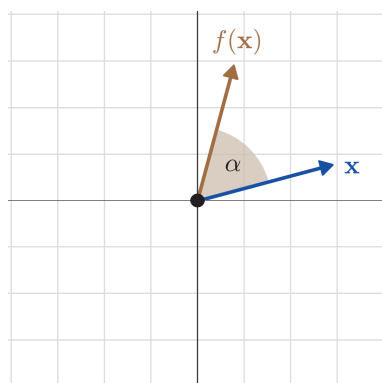


Rysunek 3.4. Przekształcanie tablicy jednowymiarowej w tablice wielowymiarowe o różnych kształtach

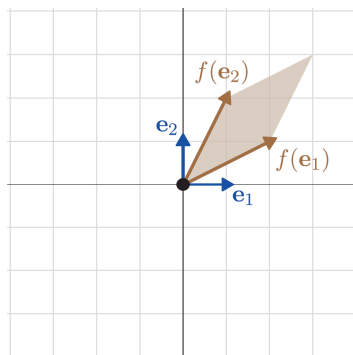
Rozdział 4. Przekształcenia liniowe



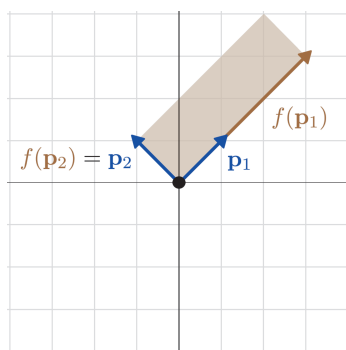
Rysunek 4.1. Skalowanie jako przekształcenie liniowe



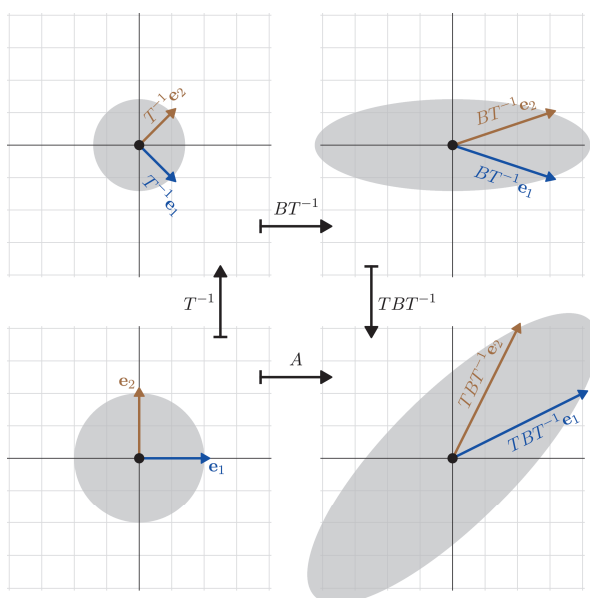
Rysunek 4.2. Obrót na płaszczyźnie euklidesowej jako przekształcenie liniowe



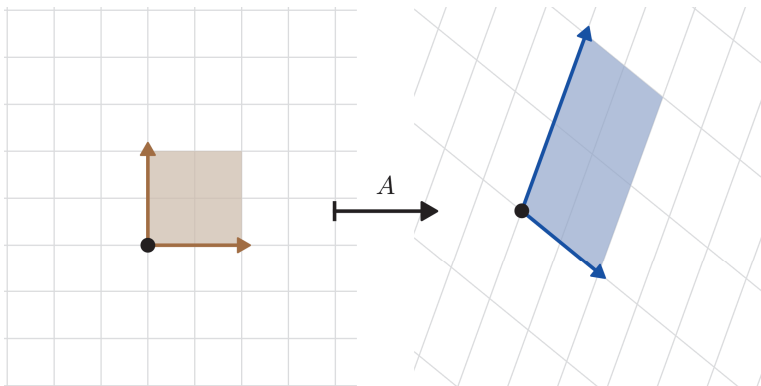
Rysunek 4.3. Liniowe przekształcenie f zdefiniowane przez macierz (4.5)



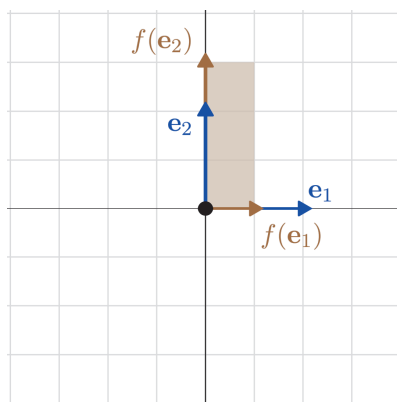
Rysunek 4.4. Wpływ przekształcenia f na punkty $p_1 = (1, 1)$ i $p_2 = (-1, 1)$



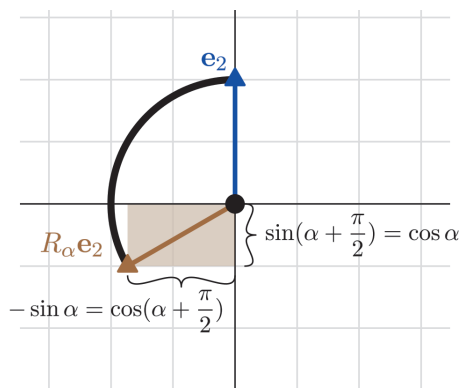
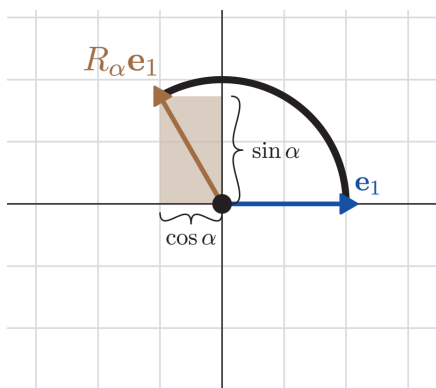
Rysunek 4.5. Ilustracja zmiany bazy



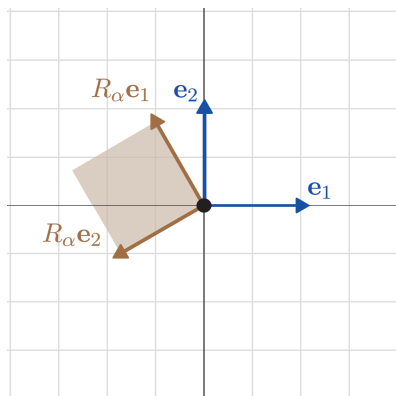
Rysunek 4.6. Przekształcenia liniowe zniekształcają siatkę wyznaczoną przez wektory bazowe



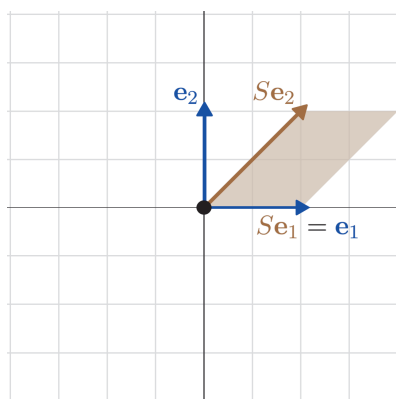
Rysunek 4.7. Rozciąganie



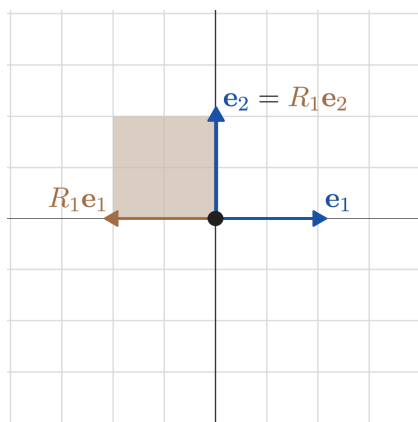
Rysunek 4.8. Objaśnienie macierzy obrotu



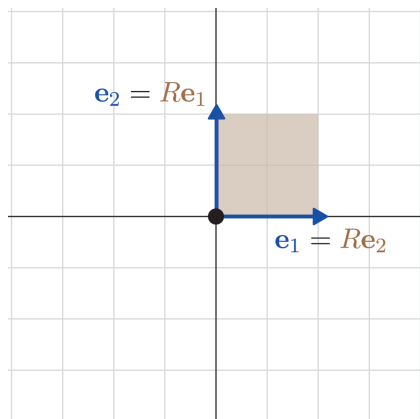
Rysunek 4.9. Obrót



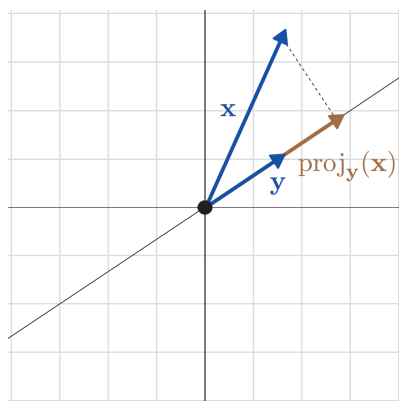
Rysunek 4.10. Ścinanie



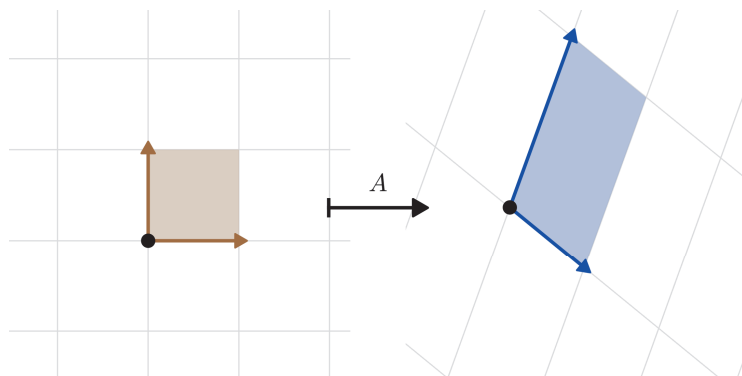
Rysunek 4.11. Odbicie



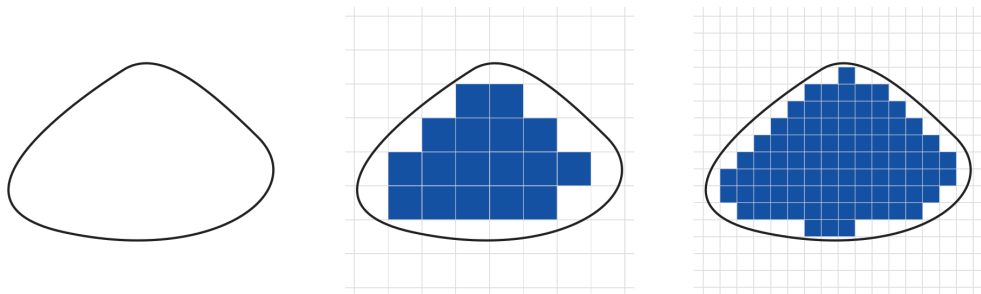
Rysunek 4.12. Zamiana e_1 i e_2 to odbicie i obrót



Rysunek 4.13: Projektja ortogonalna



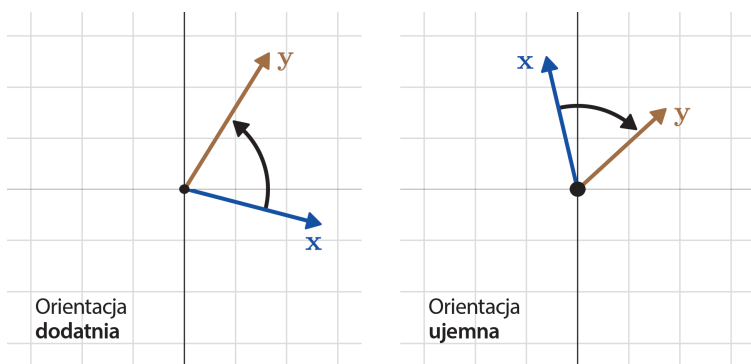
Rysunek 4.14. Obraz kwadratu jednostkowego po przekształceniu liniowym



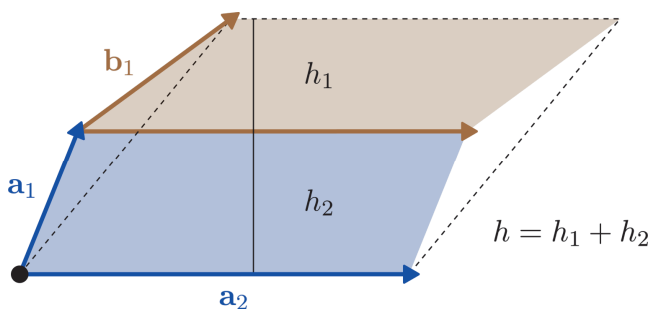
Rysunek 4.15. Przybliżanie pola obiektów płaskich za pomocą sumy pól prostokątów



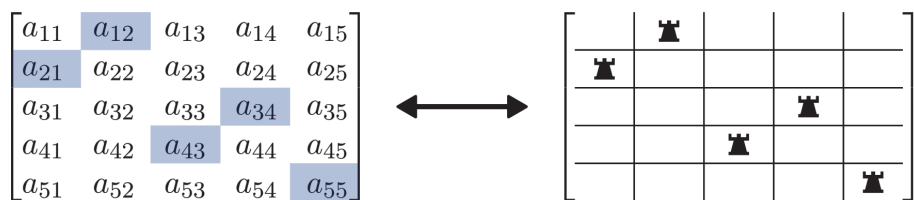
Rysunek 4.16. Obraz kwadratu jednostkowego po przekształceniu liniowym



Rysunek 4.17. Orientacja dwóch wektorów na płaszczyźnie



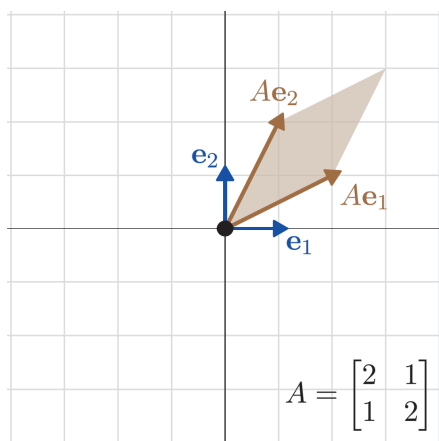
Rysunek 4.18. Wieloliniowość $\det(a_1, a_2)$



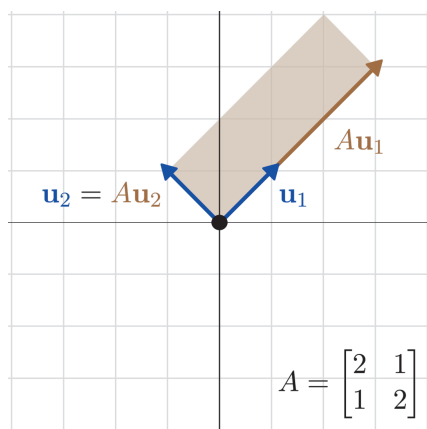
$$\sigma(1) = 2, \quad \sigma(2) = 1, \quad \sigma(3) = 4, \quad \sigma(4) = 3, \quad \sigma(5) = 5$$

Rysunek 4.19. Struktura wyrazu $a_{\sigma(1)1} \cdots a_{\sigma(n)n}$

Rozdział 6. Wartości własne i wektory własne

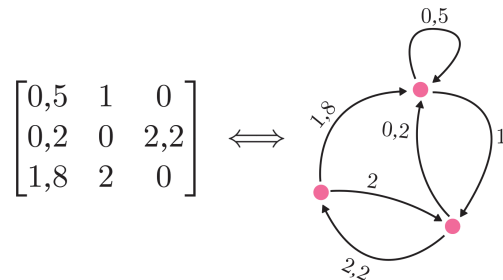


Rysunek 6.1. Obrazy standardowych wektorów bazowych po przekształceniu liniowym danym przez A

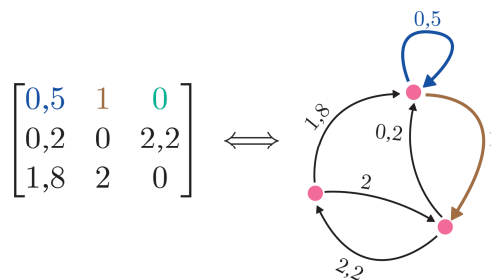


Rysunek 6.2. Obrazy wektorów $u_1 = (1, 1)$ i $u_2 = (-1, 1)$ po zastosowaniu przekształcenia liniowego określonego przez macierz A

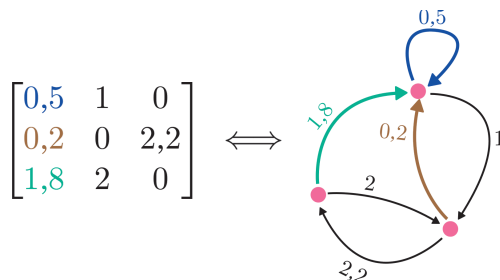
Rozdział 8. Macierze i grafy



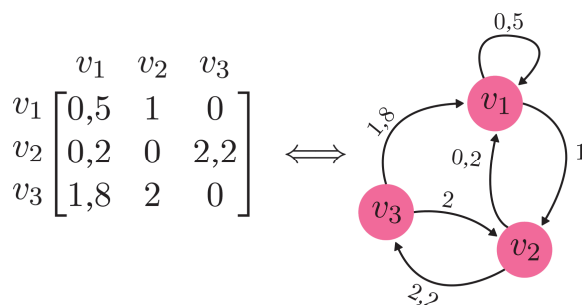
Rysunek 8.1. Macierz i jej graf skierowany



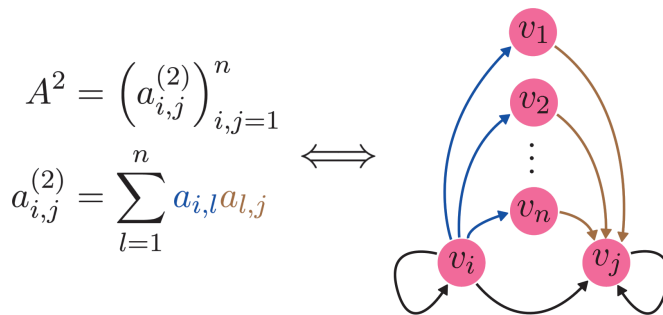
Rysunek 8.2. Pierwszy wiersz odpowiada krawędziom wychodzącym z pierwszego wierzchołka.



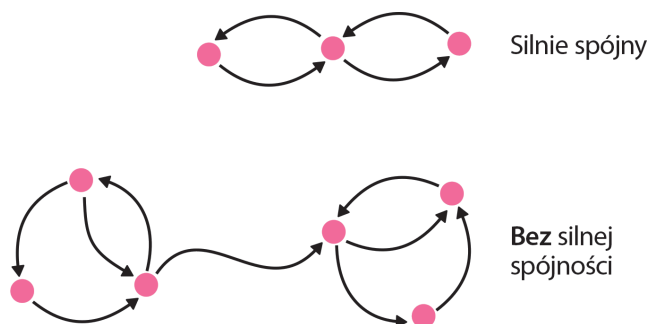
Rysunek 8.3. Pierwsza kolumna odpowiada krawędziom prowadzącym do pierwszego wierzchołka



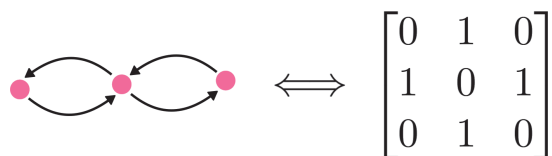
Rysunek 8.4. Konstruowanie grafu na podstawie macierzy



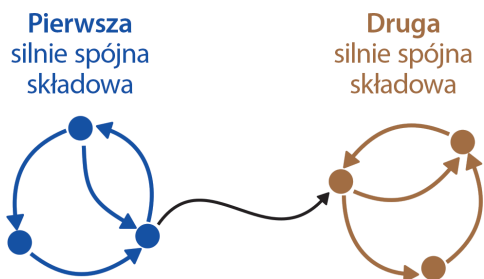
Rysunek 8.5. Potęgi macierzy opisują ścieżki w odpowiadającym jej grafie skierowanym



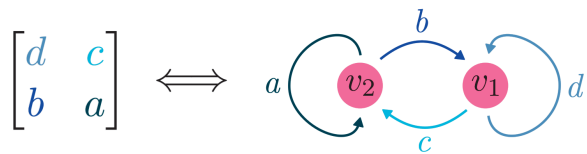
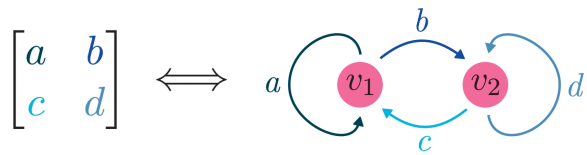
Rysunek 8.6. Graf spójny a silnie spójny



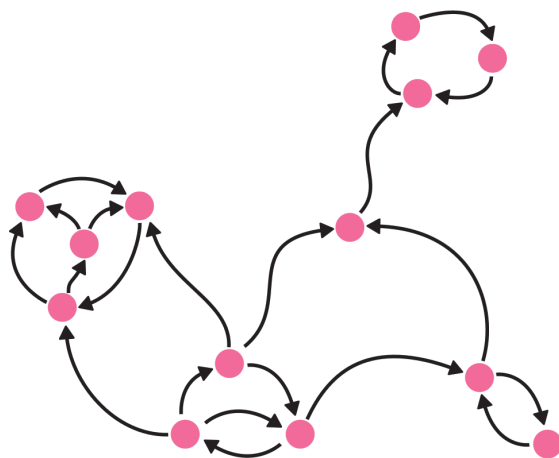
Rysunek 8.7. Silnie spójny digraf i odpowiadająca mu macierz



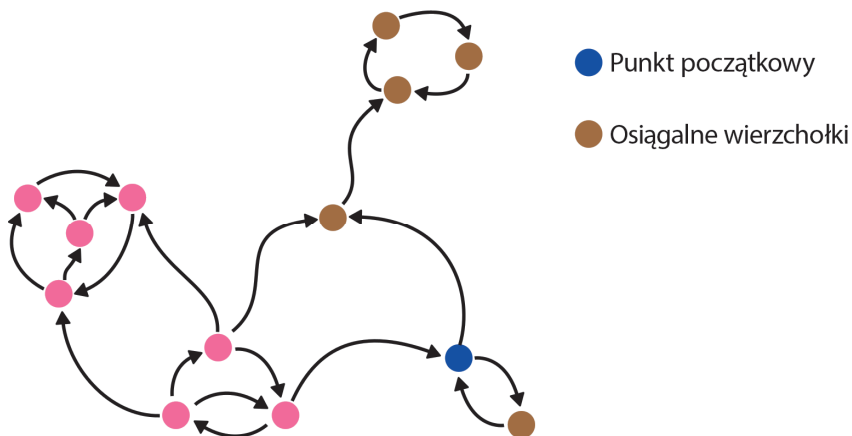
Rysunek 8.8. Silnie spójne składowe



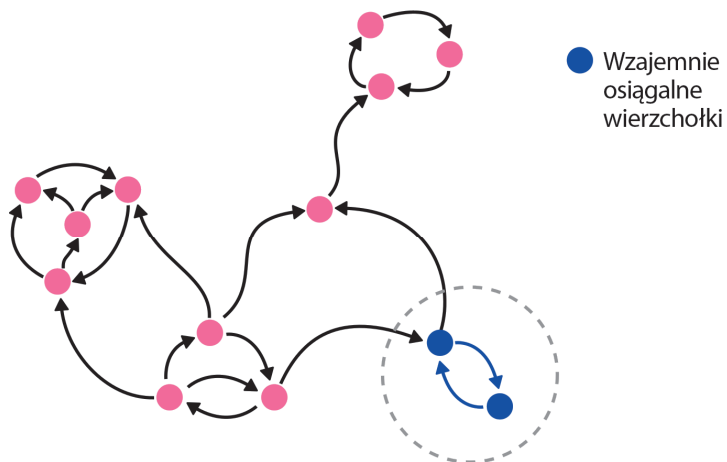
Rysunek 8.9. Zmiana etykiet wierzchołków



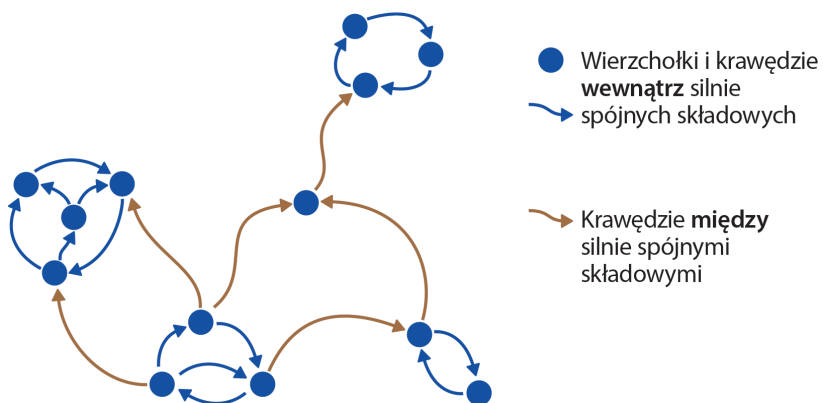
Rysunek 8.10. Graf skierowany (wystarczająco złożony na potrzeby analiz w tym punkcie)



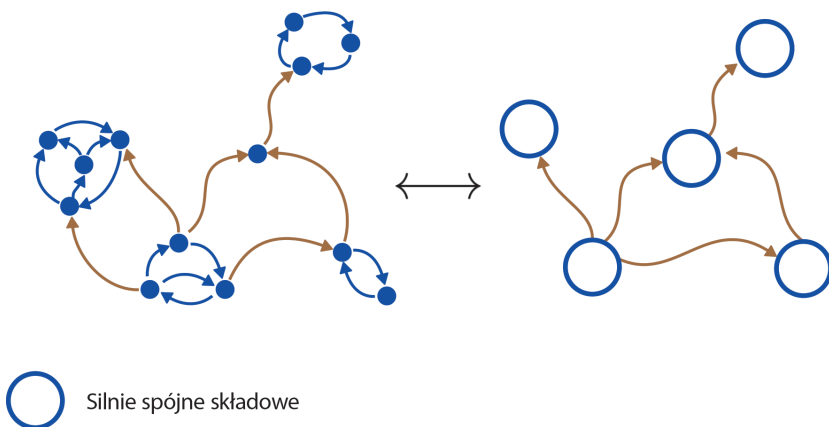
Rysunek 8.11. Wierzchołki osiągalne z pojedynczego punktu startowego



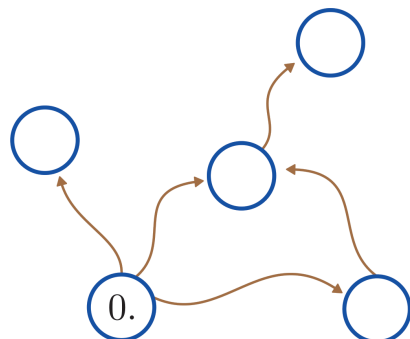
Rysunek 8.12. Wzajemnie osiągalne wierzchołki



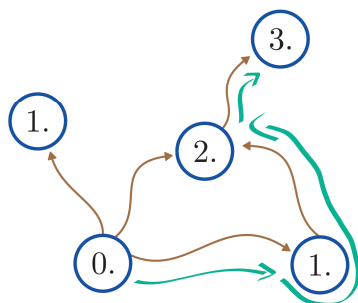
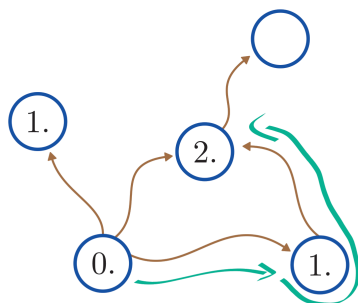
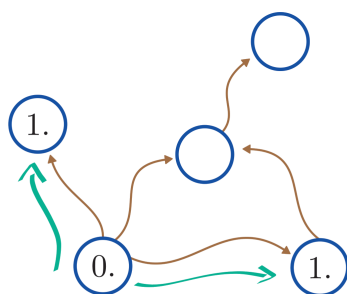
Rysunek 8.13. Silnie spójne składowe przykładowego grafu



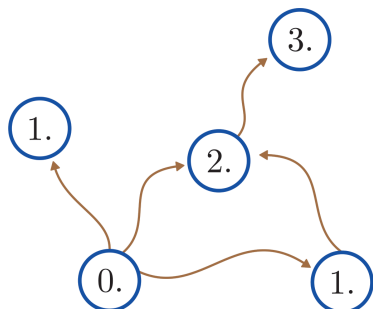
Rysunek 8.14. Silnie spójne składowe



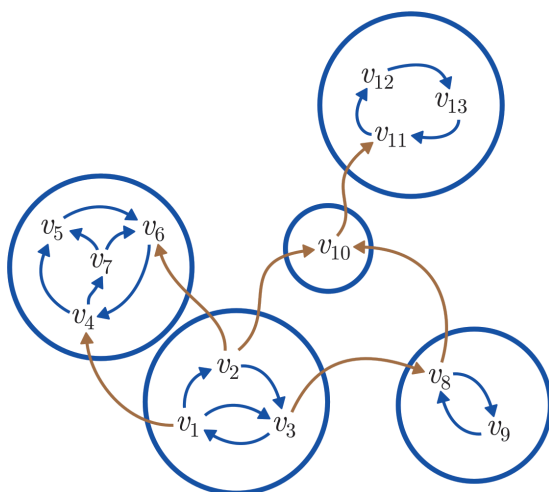
Rysunek 8.15. Znajdowanie składowej zerowej



Rysunek 8.16. Numerowanie składowych

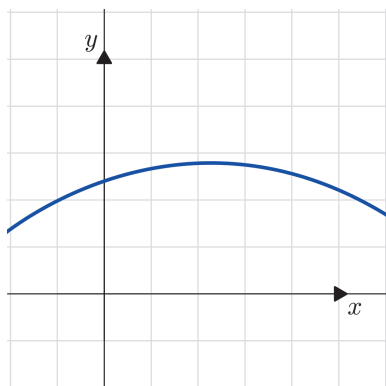


Rysunek 8.17. Ponumerowane składowe

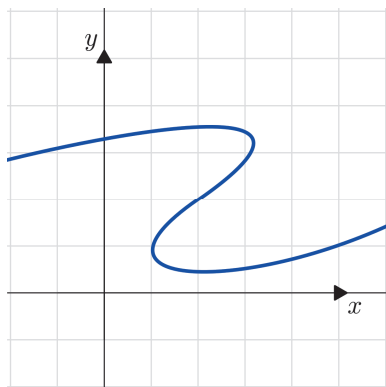


Rysunek 8.18. Przypisywanie etykiet do wierzchołków

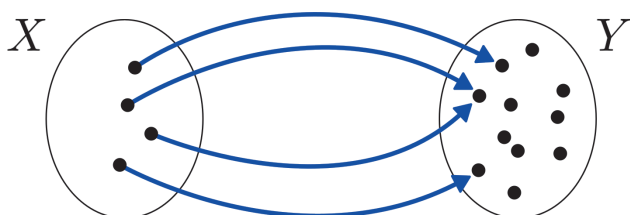
Rozdział 9. Funkcje



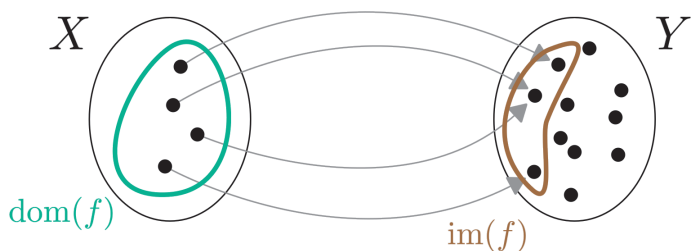
Rysunek 9.1. To z pewnością wygląda jak funkcja



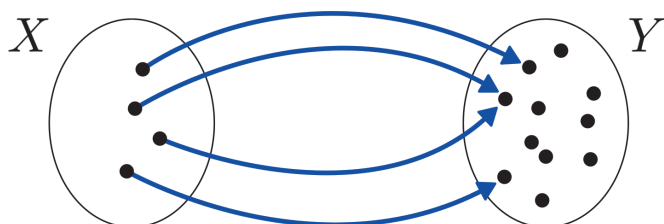
Rysunek 9.2. Czy jest to funkcja?



Rysunek 9.3. Funkcja przedstawiona jako strzałki między dwoma zbiorami

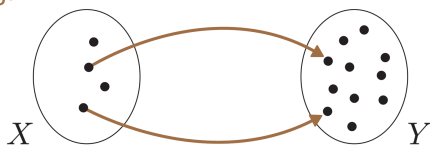


Rysunek 9.4. Dziedzina i obraz funkcji

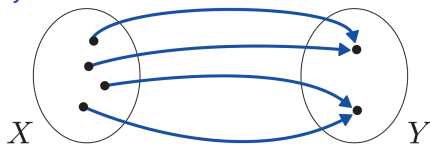


Rysunek 9.5. Ta funkcja nie jest odwracalna, ponieważ zmiana kierunku strzałek nie prowadzi do uzyskania poprawnie zdefiniowanej funkcji

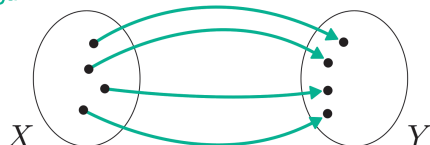
Injekcja



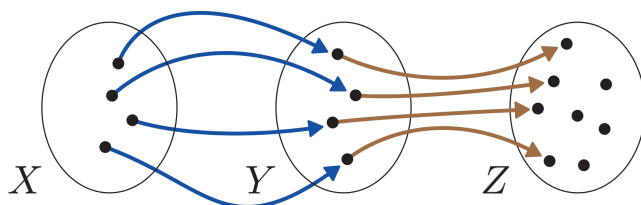
Surjekcja



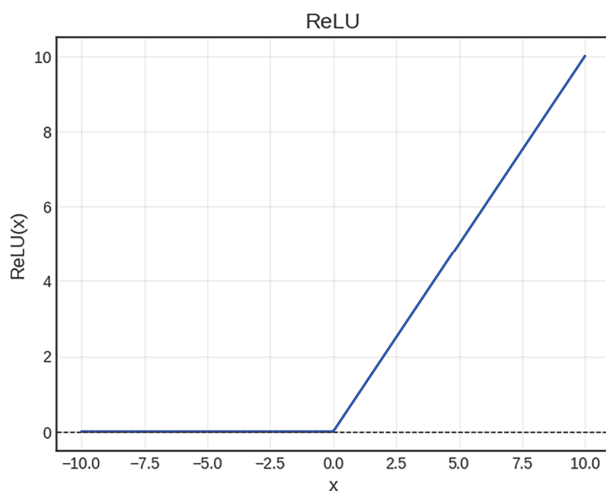
Bijekcja



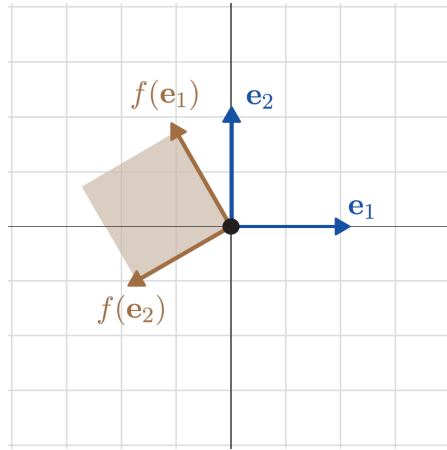
Rysunek 9.6. Injekcja, surjekcja i bijekcja



Rysunek 9.7. Składanie funkcji



Rysunek 9.8. Wykres funkcji ReLU

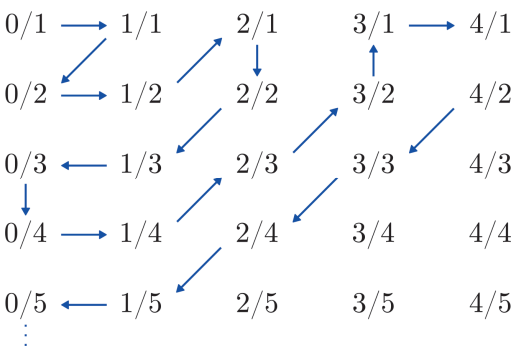


Rysunek 9.9. Funkcje jako przekształcenia przestrzeni. Na rysunku wektory z danej przestrzeni są rotowane wokół początku układu współrzędnych



Rysunek 9.10. Przykładowe zastosowanie przekształceń obrazu dostępne w bibliotece Albumenations

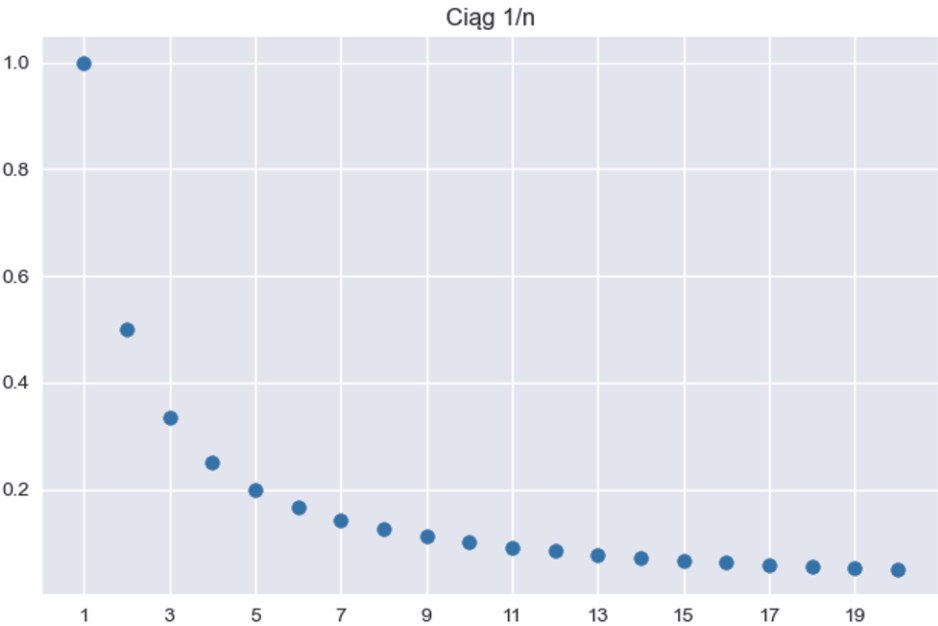
Rozdział 10. Liczby, ciągi i szeregi



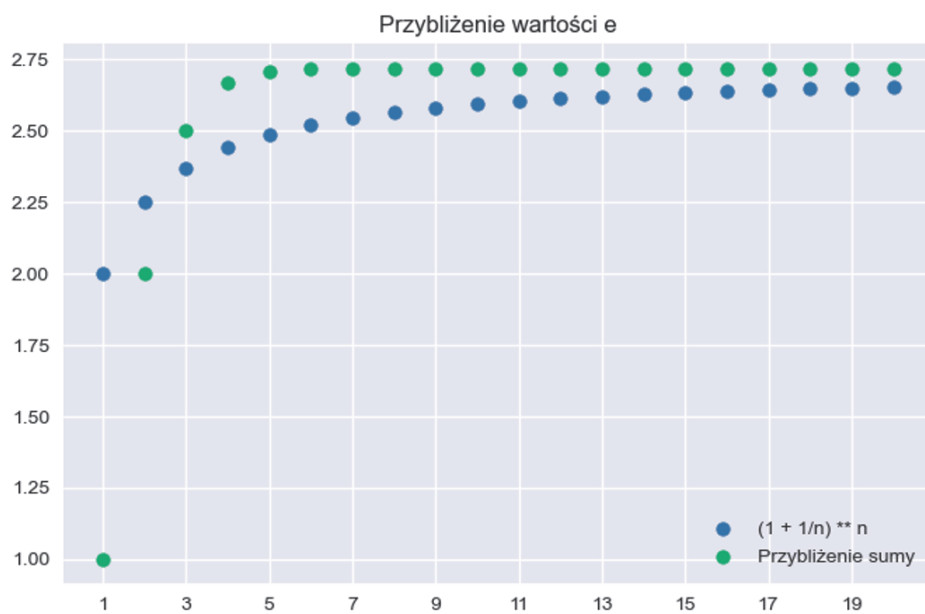
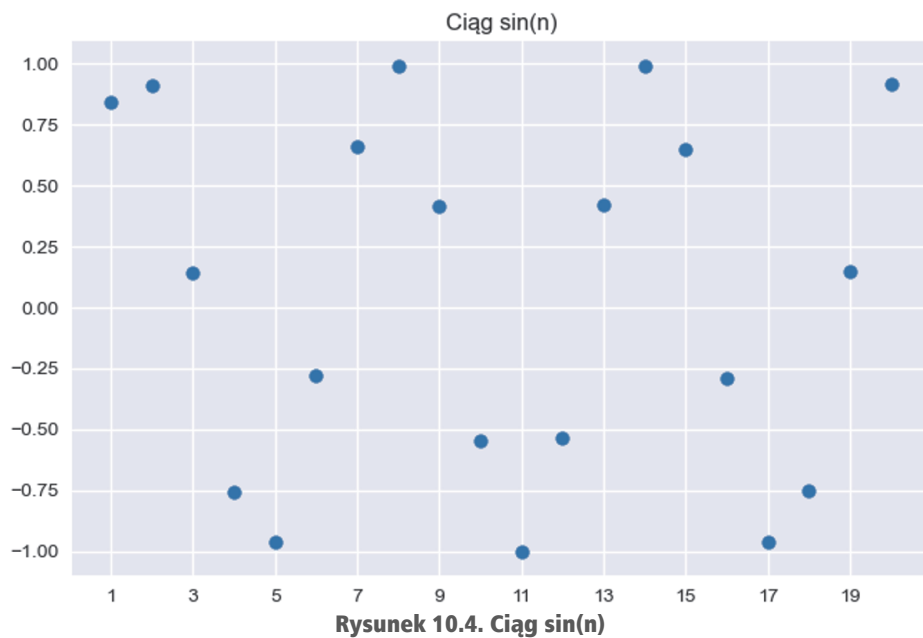
Rysunek 10.1. Wyliczanie liczb wymiernych. Strzałki określają ich kolejność

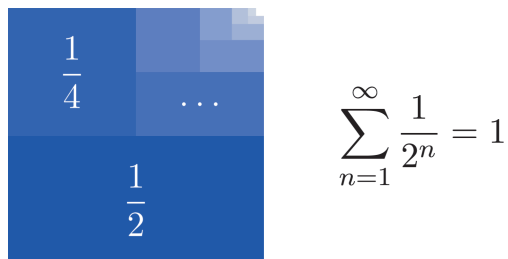


Rysunek 10.2. Oś liczb rzeczywistych

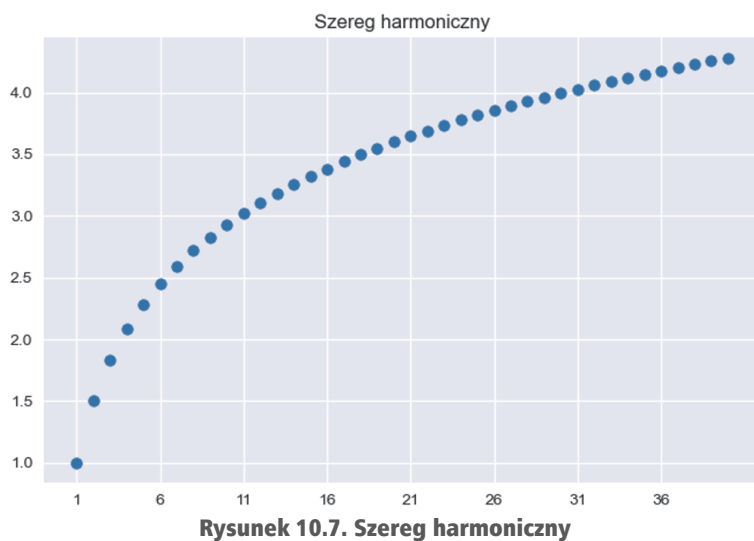


Rysunek 10.3. Ciąg 1/n

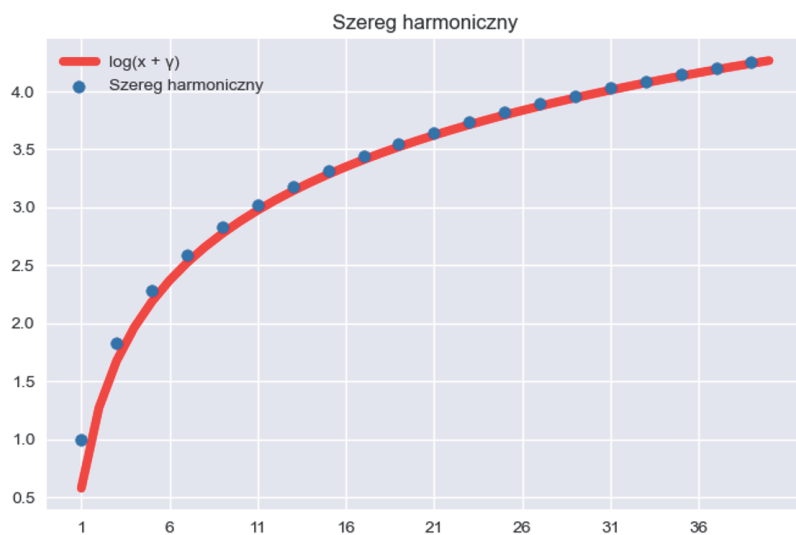




Rysunek 10.6. Graficzna ilustracja zbieżności szeregu geometrycznego dla $q = \frac{1}{2}$



Rysunek 10.7. Szereg harmoniczny



Rysunek 10.8. Szereg harmoniczny i funkcja $\log(x + \gamma)$

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \frac{1}{5} - \frac{1}{6} + \frac{1}{7} - \frac{1}{8} + \frac{1}{9} - \dots$$

$$1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{3} - \frac{1}{6} - \frac{1}{8} + \frac{1}{5} - \frac{1}{10} - \frac{1}{12} + \dots$$

Rysunek 10.9. Przegrupowanie naprzemiennego szeregu harmonicznego

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \frac{1}{5} - \frac{1}{6} + \frac{1}{7} - \frac{1}{8} + \frac{1}{9} - \dots$$

$$1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{3} - \frac{1}{6} - \frac{1}{8} + \frac{1}{5} - \frac{1}{10} - \frac{1}{12} + \dots$$

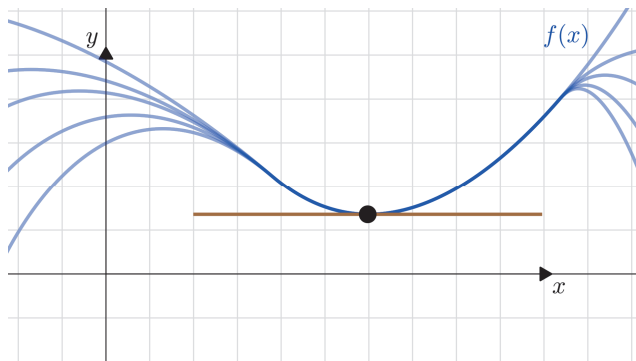
$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{6} - \frac{1}{8} + \frac{1}{10} - \frac{1}{12} + \dots$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \frac{1}{5} - \frac{1}{6} + \dots \right)$$

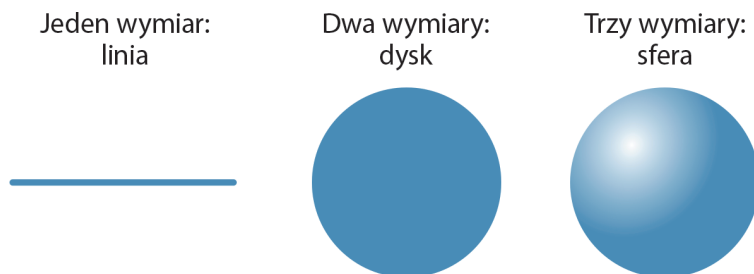
$$= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{1}{n} = \frac{1}{2} \log 2$$

Rysunek 10.10. Wyjaśnienie skutków przegrupowania wyrazów naprzemiennego szeregu harmonicznego

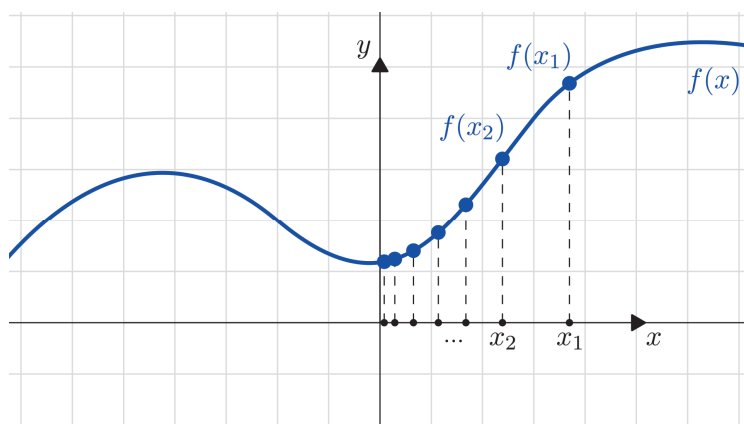
Rozdział 11. Topologia, granice i ciągłość



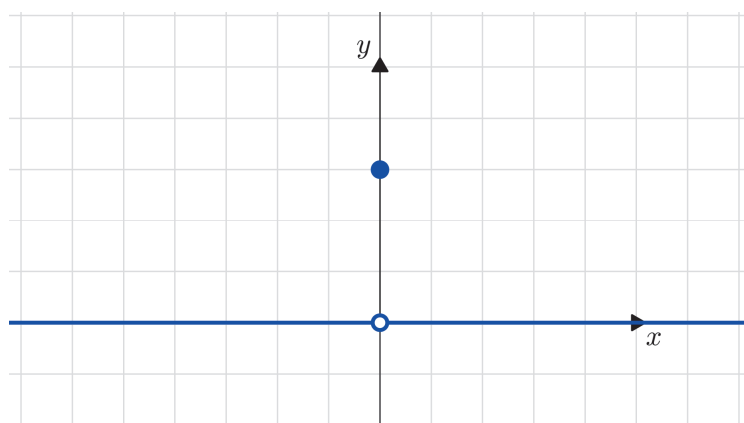
Rysunek 11.1. Pochodne dwóch funkcji są równe, jeśli funkcje te są równe w dowolnym małym przedziale wokół danego punktu



Rysunek 11.2. Kule w wymiarach od jednego do trzech

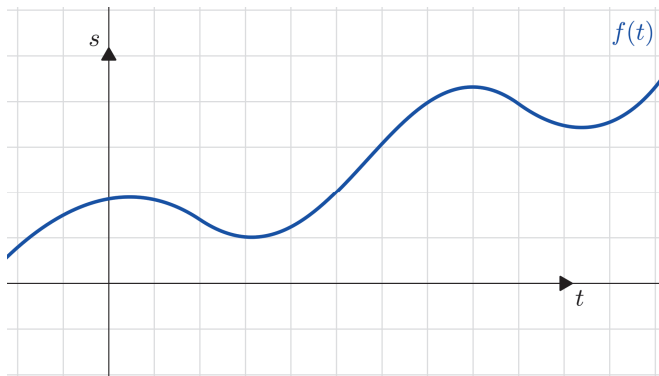


Rysunek 11.3. Wizualne ujęcie granic: gdy x_n zbliża się do 0, $f(x_n)$ zbliża się do $\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n)$

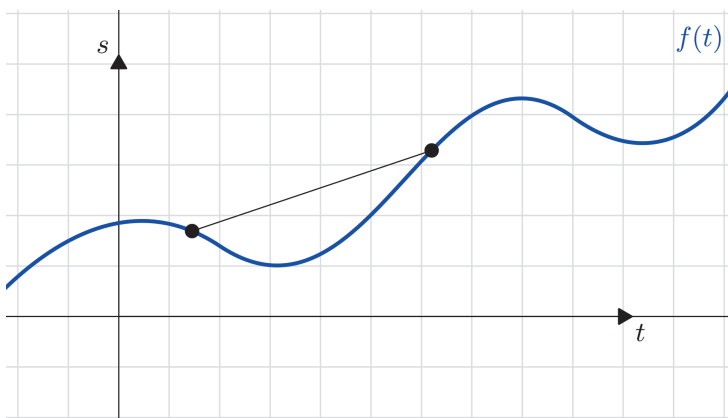


Rysunek 11.4. Wykres funkcji $f(x)$

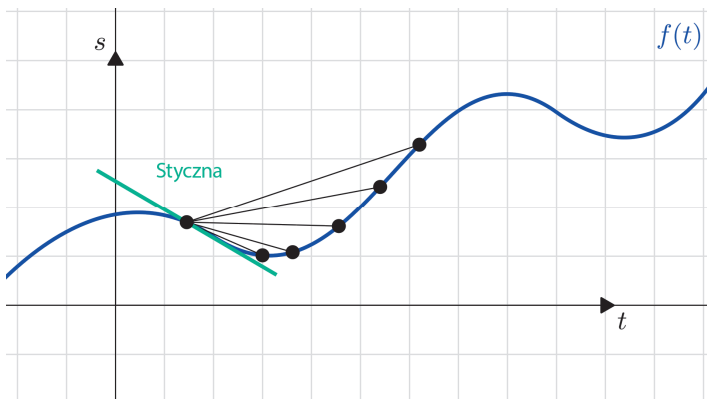
Rozdział 12. Różniczkowanie



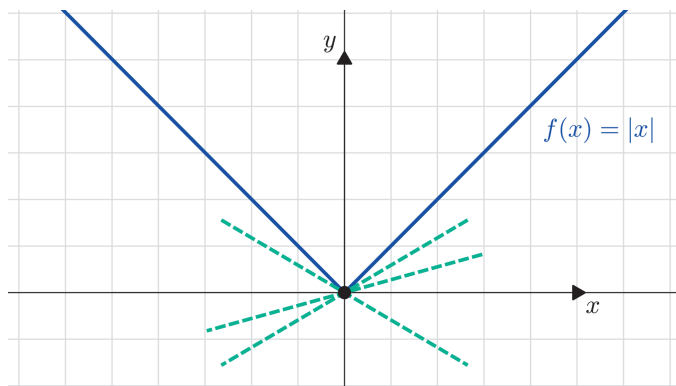
Rysunek 12.1. Wykres zależności drogi od czasu dla poruszającego się obiektu



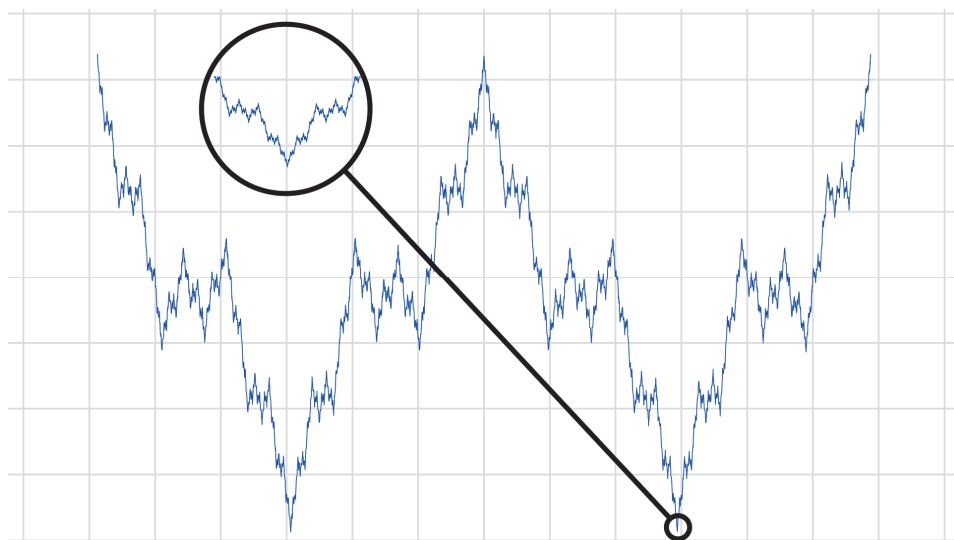
Rysunek 12.2. Średnia prędkość między t_1 i t_2



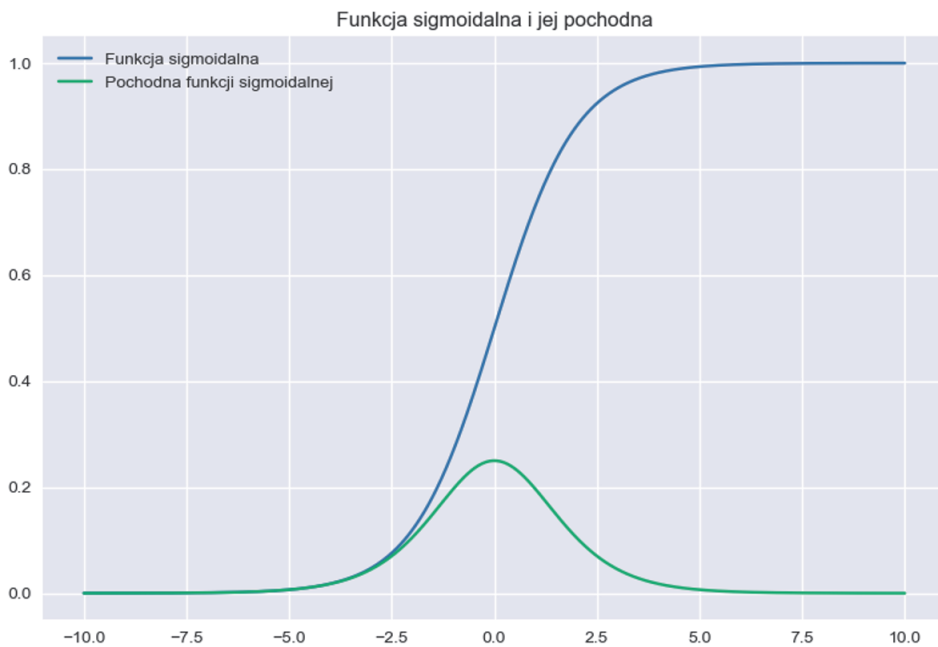
Rysunek 12.3. Przybliżanie prędkości w punkcie t



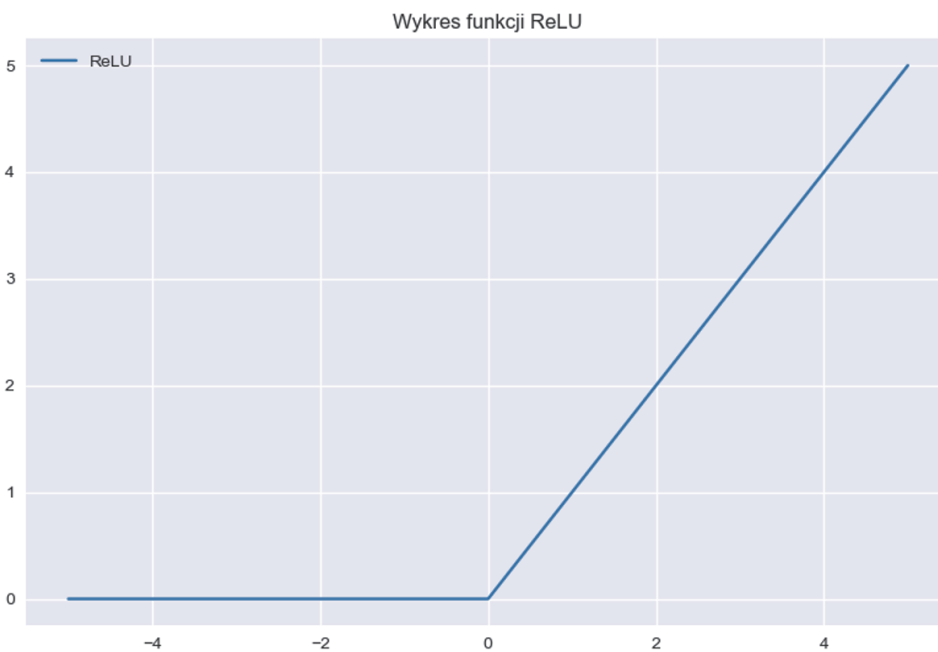
Rysunek 12.4. Płaszczyzny styczne funkcji $f(x) = |x|$ w punkcie 0



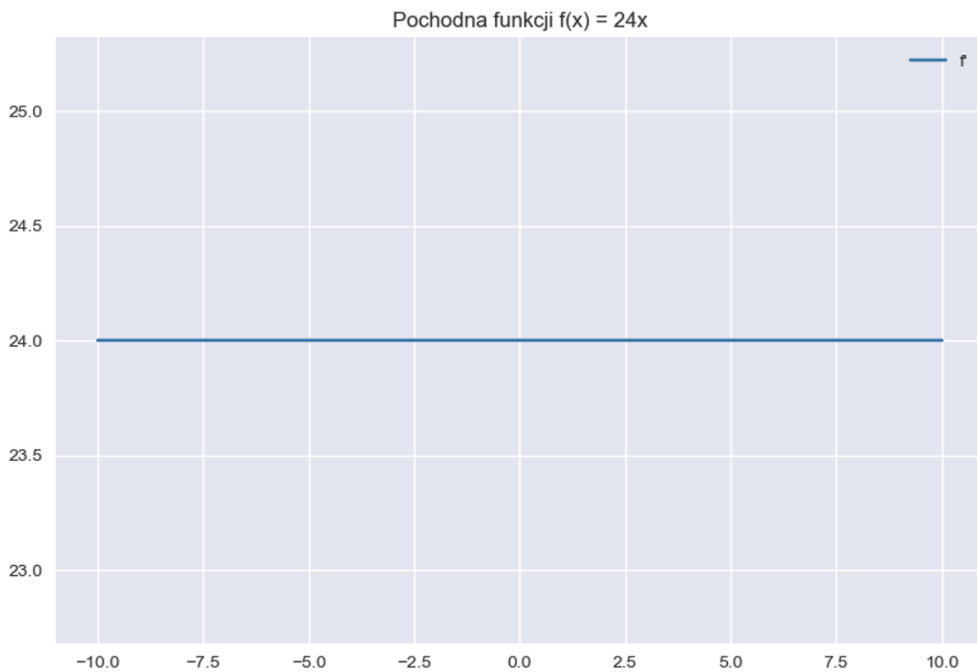
Rysunek 12.5. Wykres funkcji Weierstrassa.
Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Weierstrass_function



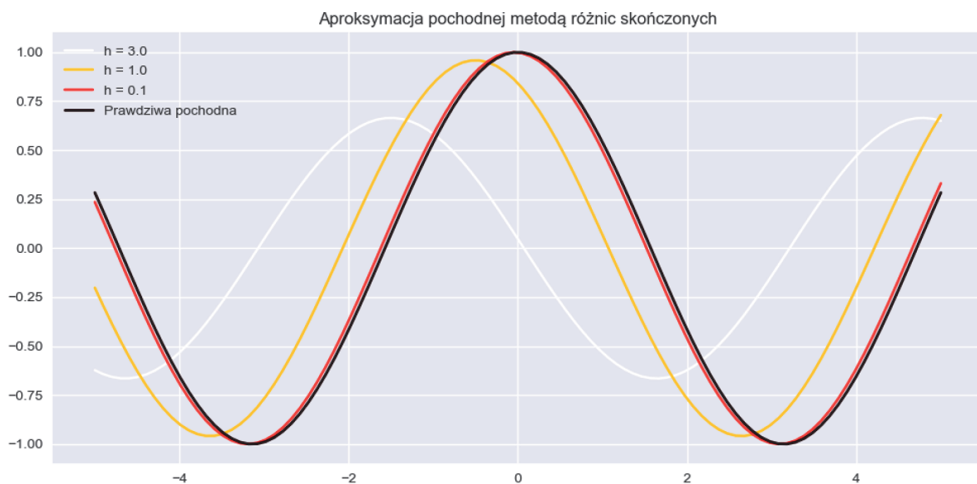
Rysunek 12.6. Funkcja sigmoidalna i jej pochodna



Rysunek 12.7. Wykres funkcji ReLU

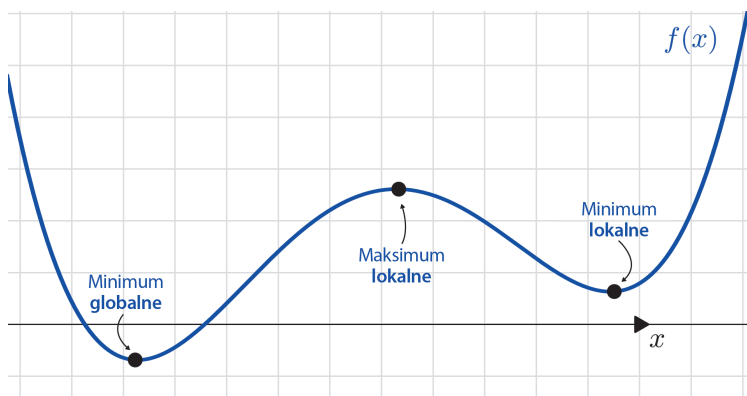


Rysunek 12.8. Pochodna funkcji $f(x) = 24x$

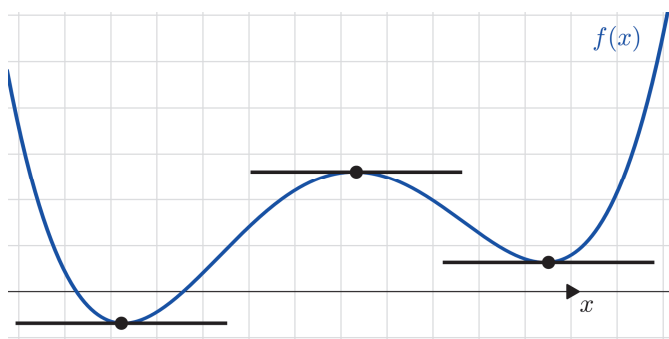


Rysunek 12.9. Przybliżanie pochodnej za pomocą różnic skończonych

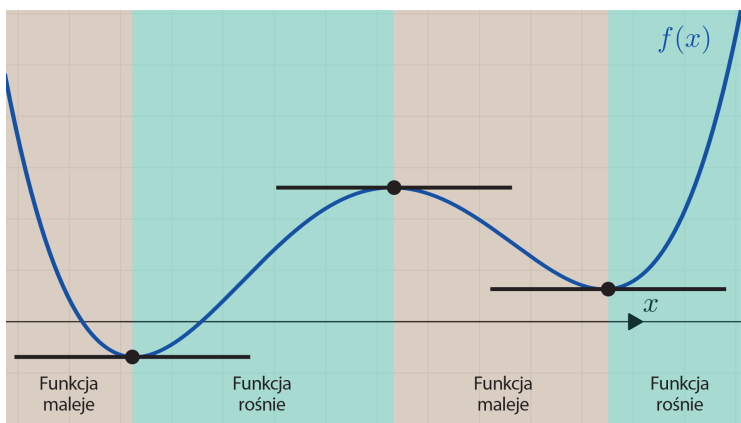
Rozdział 13. Optymalizacja



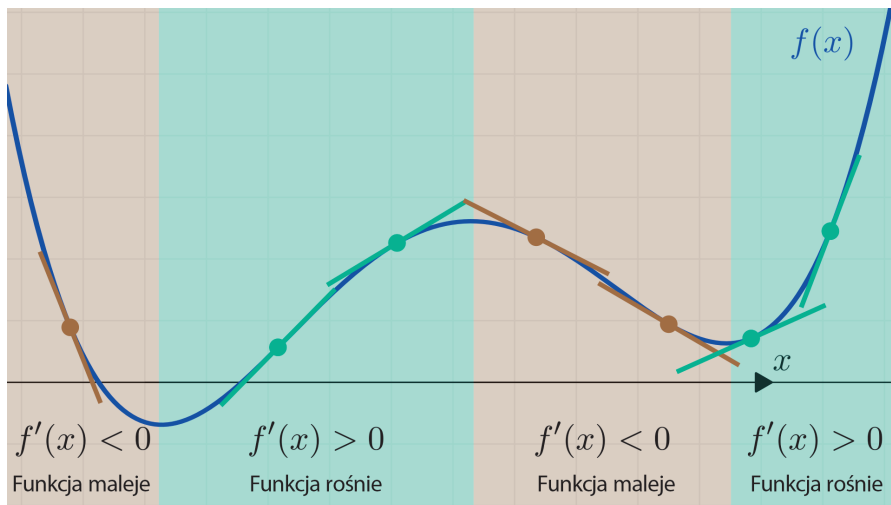
Rysunek 13.1. Optima lokalne i globalne



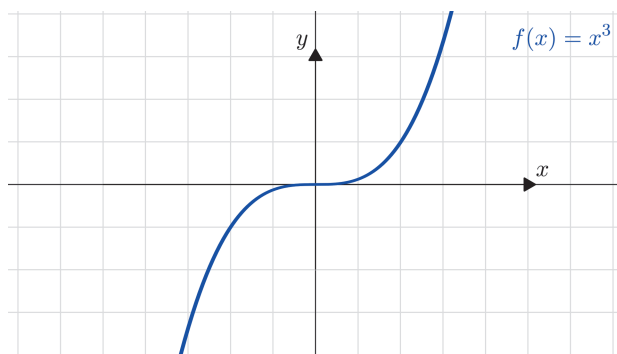
Rysunek 13.2. Styczne w optimach lokalnych i globalnych



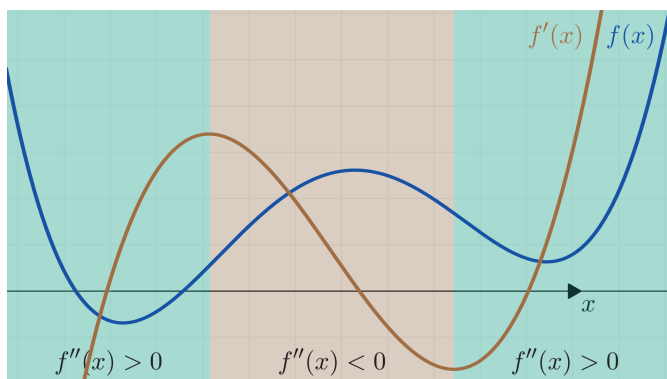
Rysunek 13.3. Przebieg funkcji



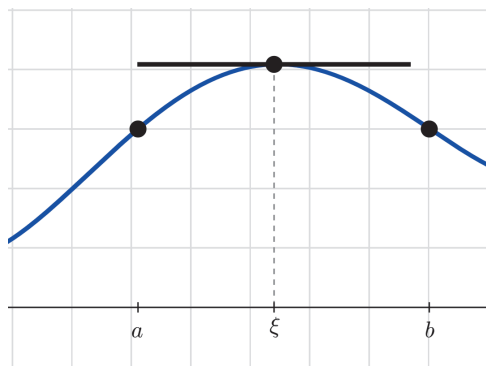
Rysunek 13.4. Znak pochodnych



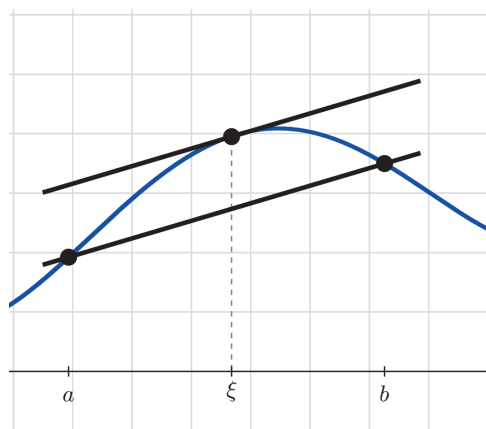
Rysunek 13.5. Wykres funkcji $f(x) = x^3$ jako kontrprzykład pokazujący, że $f'(0) = 0$ nie implikuje ekstremum lokalnego



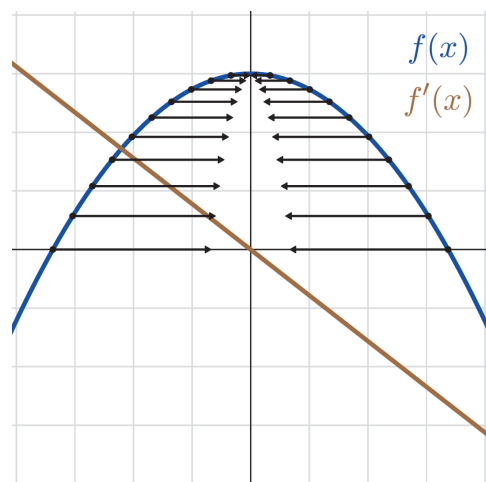
Rysunek 13.6. Funkcja i jej pochodna



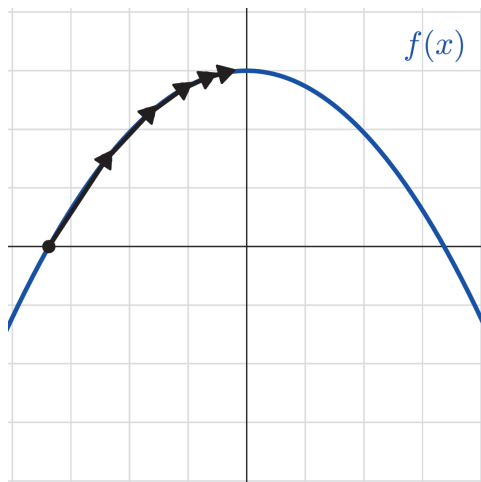
Rysunek 13.7. Twierdzenie Rolle'a



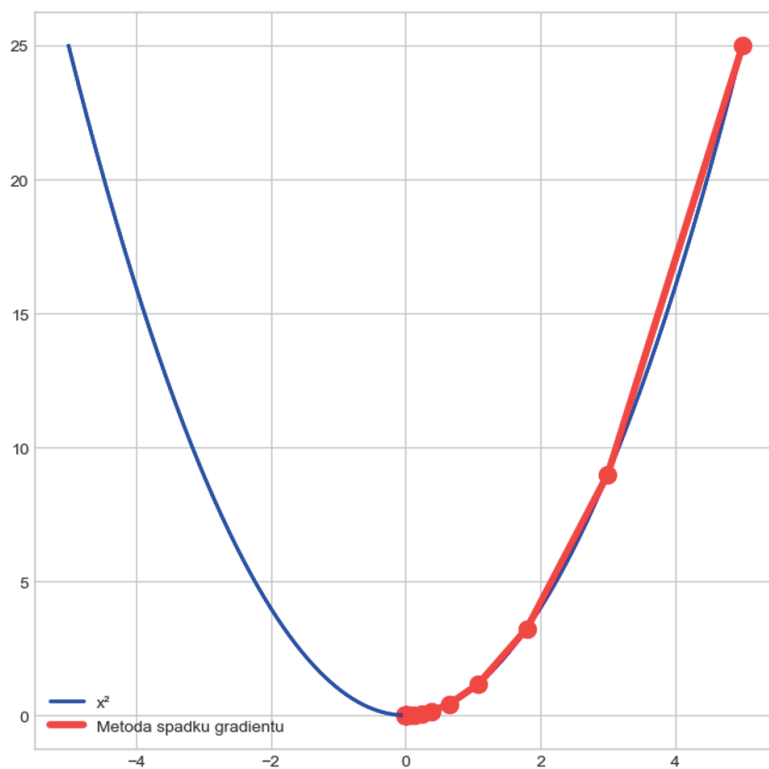
Rysunek 13.8. Twierdzenie o wartości średniej Lagrange'a



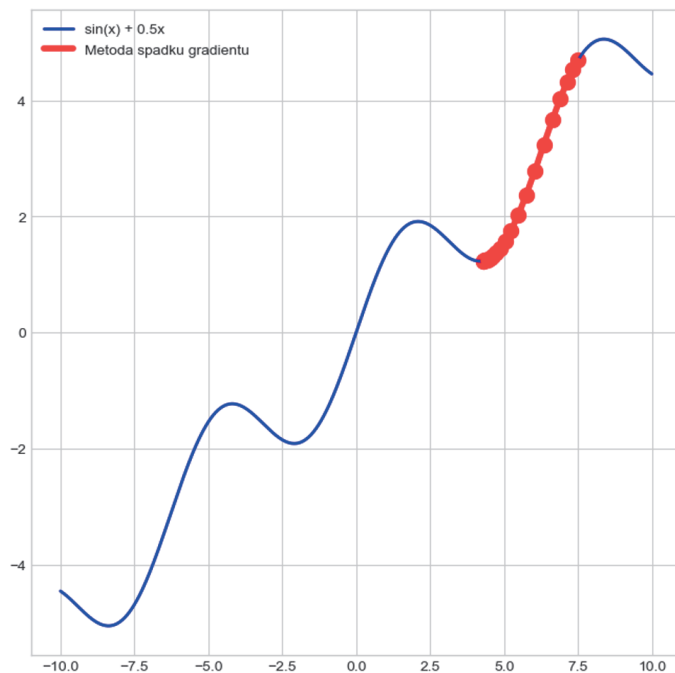
Rysunek 13.9. Pochodna jako wektor



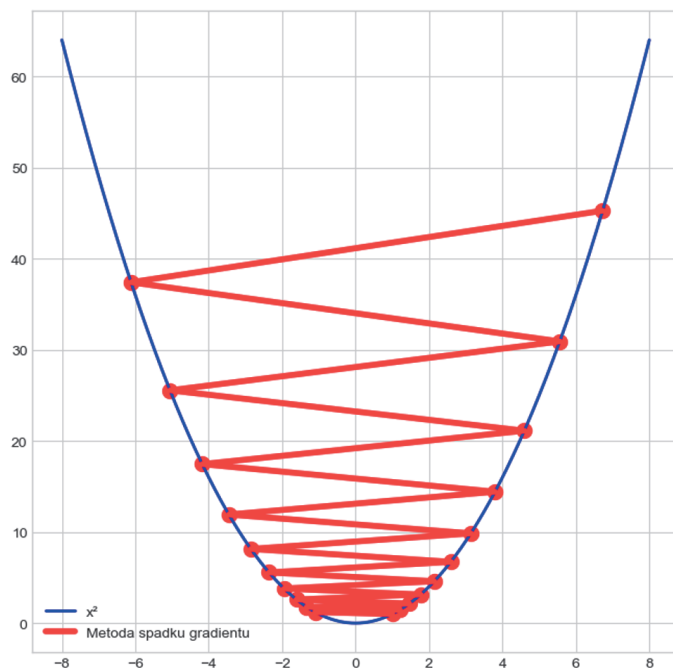
Rysunek 13.10. Wspinaczka na górę, krok po kroku



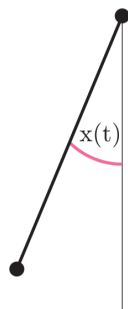
Rysunek 13.11. Znajdowanie minimów funkcji $f(x) = x^2$ metodą spadku gradientu



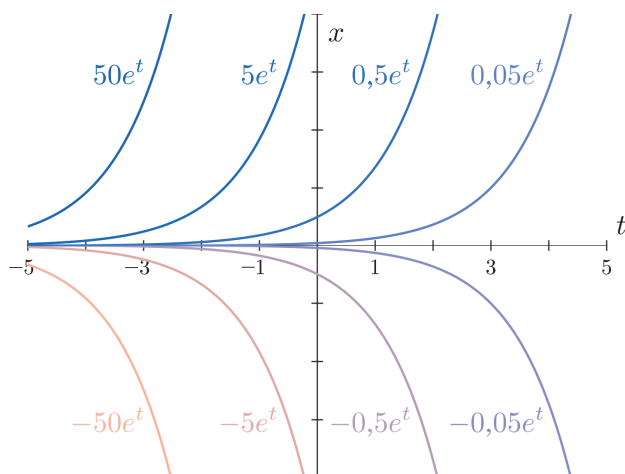
Rysunek 13.12. Zastosowanie metody spadku gradientu dla funkcji $f(x) = \sin(x) + 1/2x$



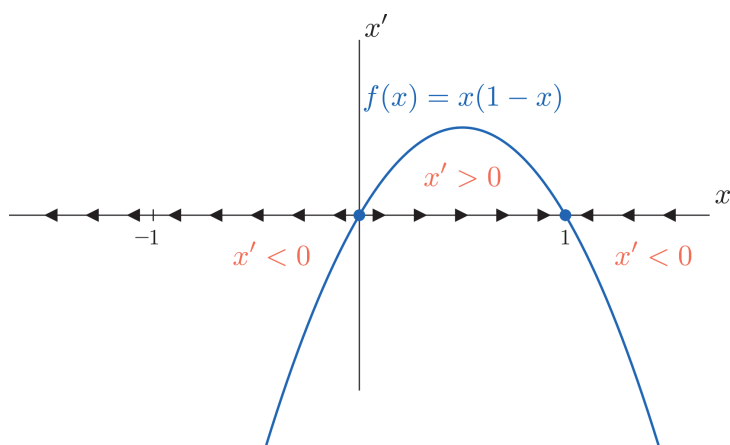
Rysunek 13.13. Metoda spadku gradientu przeskakuje optimum z powodu zbyt wysokiego współczynnika uczenia



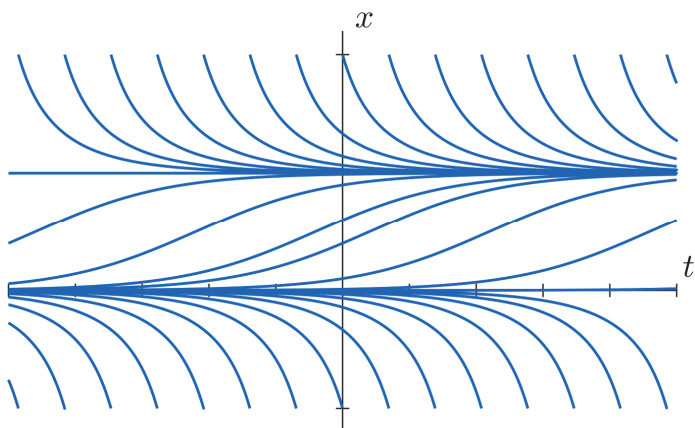
Rysunek 13.14. Wahadło w ruchu



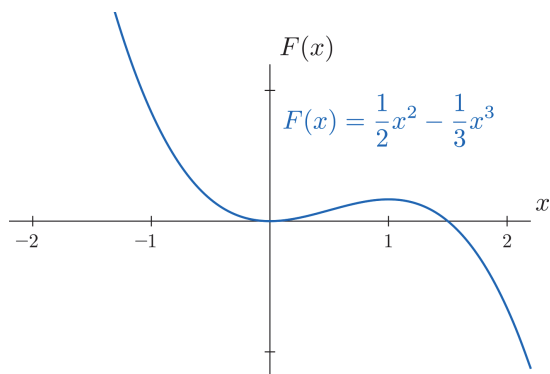
Rysunek 13.15. Niektóre rozwiązania równania wzrostu wykładniczego



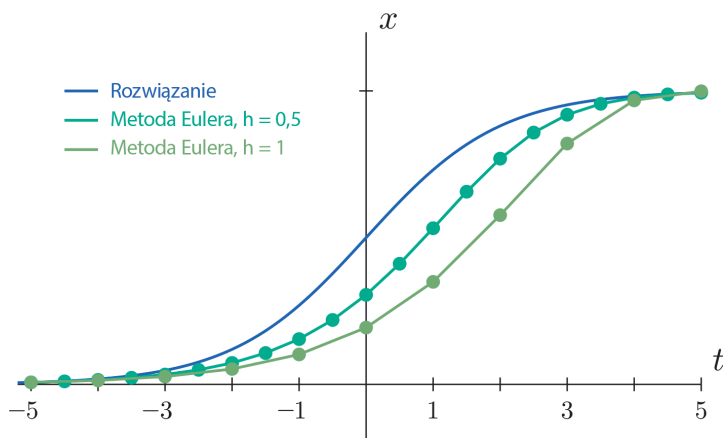
Rysunek 13.16. Przebieg rozwiązań dla równania $x' = x(1 - x)$ przedstawiony na portrecie fazowym. Strzałki wskazują kierunek, w którym zmierzają rozwiązania dla danych wartości początkowych



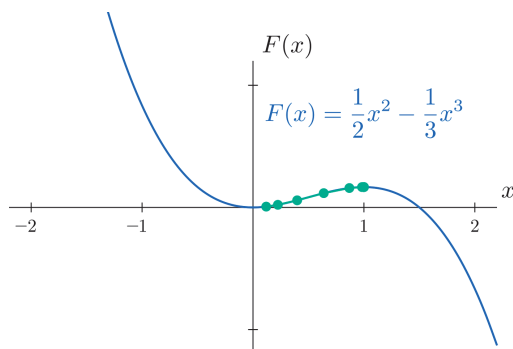
Rysunek 13.17. Rozwiązania równania różniczkowego logistycznego $x' = x(1 - x)$



Rysunek 13.18. Wykres funkcji $F(x) = \frac{1}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3$

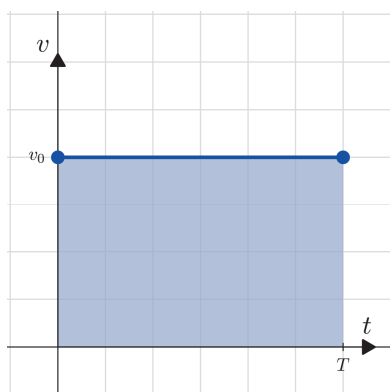


Rysunek 13.19. Rozwiązanie równania $x' = x(1 - x)$ metodą Eulera. Na potrzeby wizualizacji wartość początkowa $t_0 = -5$

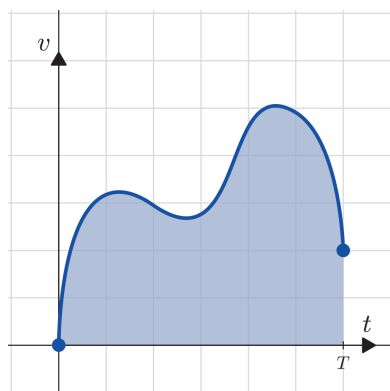


Rysunek 13.20. Odzworowanie metody Eulera na płaszczyźnie $x, F(x)$

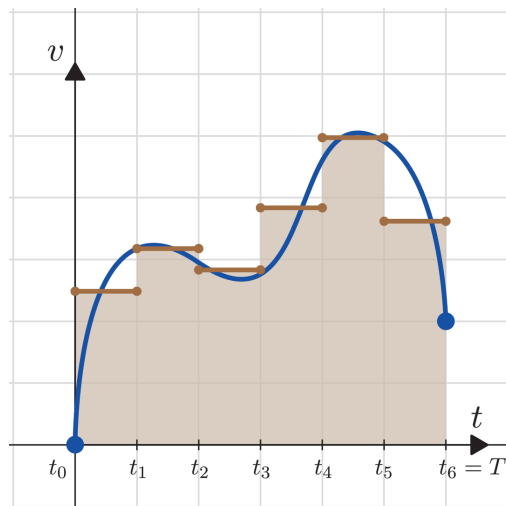
Rozdział 14. Całkowanie



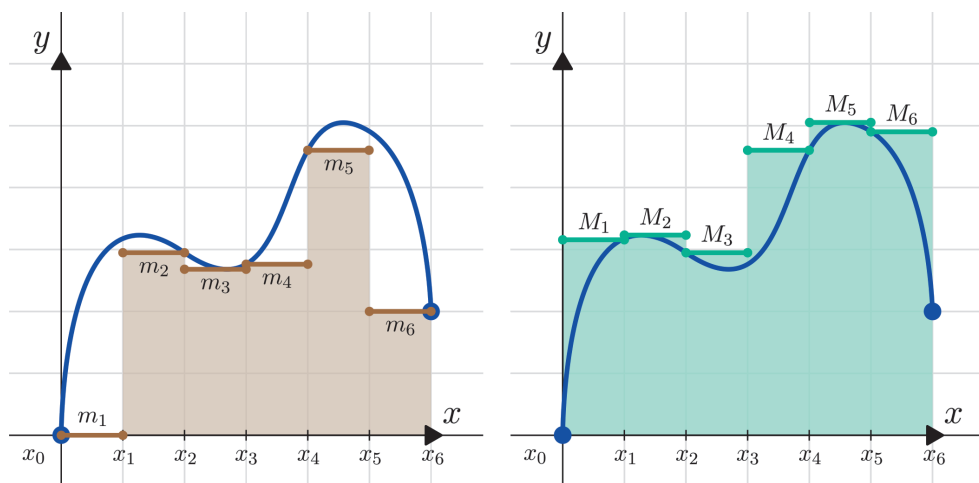
Rysunek 14.1. Wykres zależności prędkości od czasu dla obiektu poruszającego się ze stałą prędkością



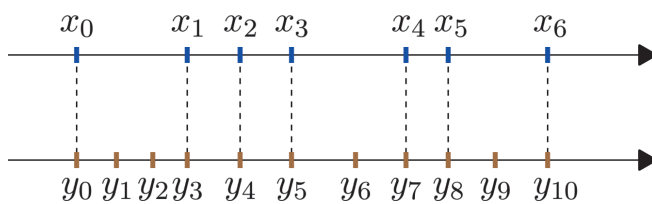
Rysunek 14.2. Wykres zależności prędkości od czasu dla obiektu poruszającego się ze zmienną prędkością



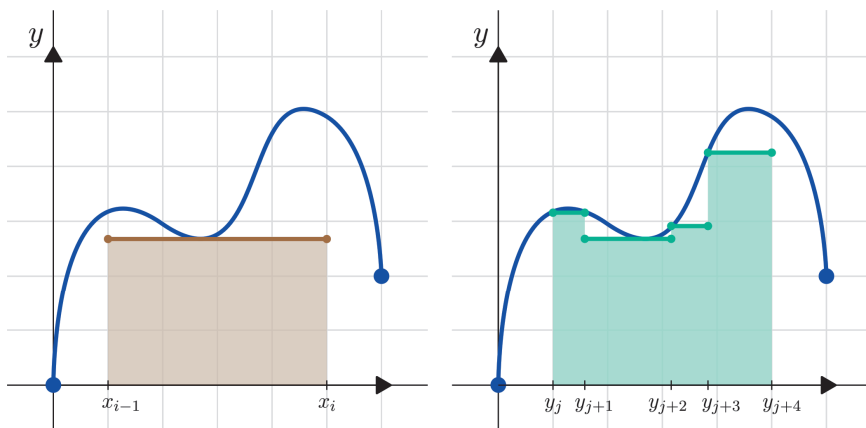
Rysunek 14.3. Przybliżenie ruchem ze stałą prędkością



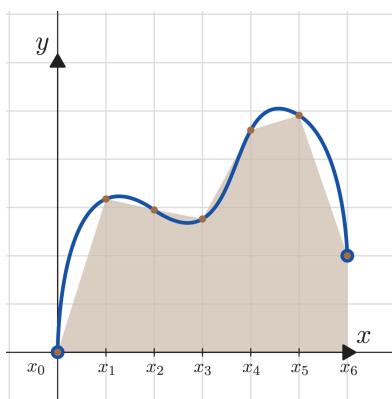
Rysunek 14.4. Szacowanie pola pod krzywą funkcji f przy użyciu podziału X



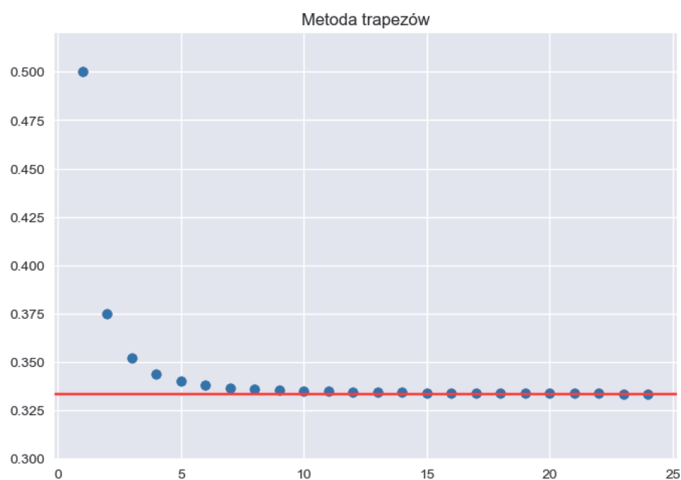
Rysunek 14.5. Podział Y jako zagęszczenie X



Rysunek 14.6. Zagęszczanie sum dolnych

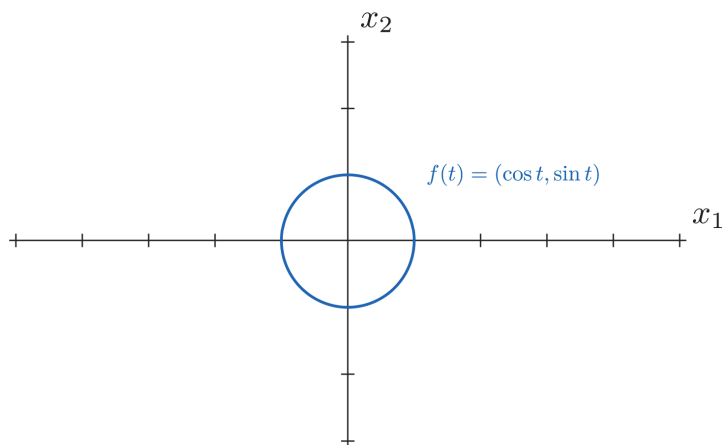


Rysunek 14.7. Przybliżenie pola pod funkcją za pomocą kolejnych trapezów

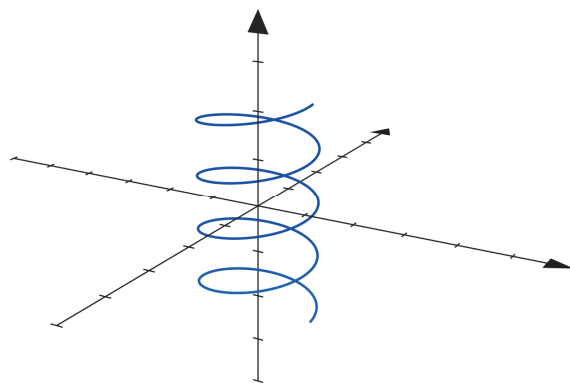


Rysunek 14.8. Metoda trapezów

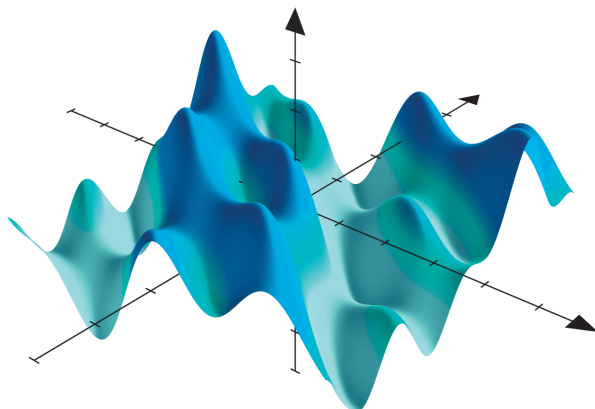
Rozdział 15. Funkcje wielu zmiennych



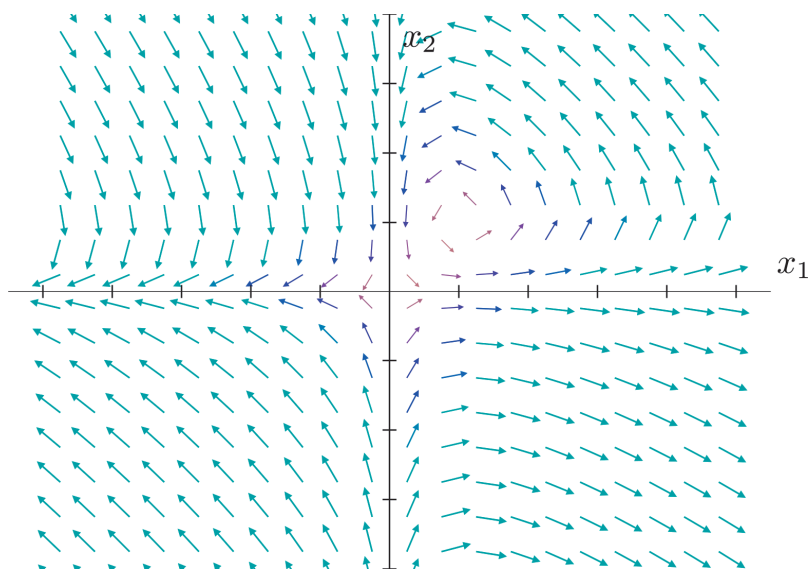
Rysunek 15.1. Funkcja wektorowa zmiennej skalarnej, czyli krzywa



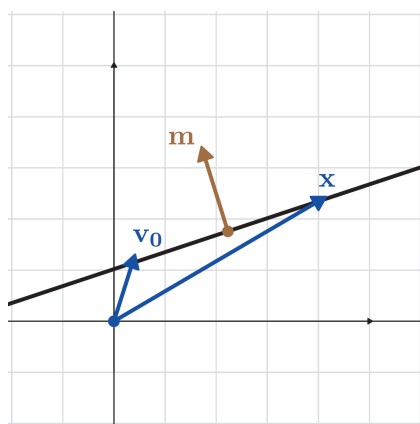
Rysunek 15.2. Krzywa otwarta



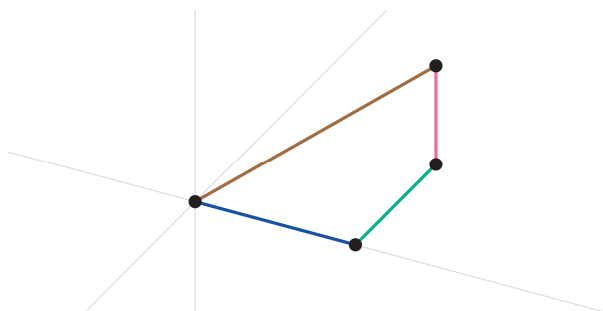
Rysunek 15.3. Powierzchnia opisana funkcją skalarną zmiennych wektorowych



Rysunek 15.4. Pole wektorowe określone przez równania Lotki-Volterra

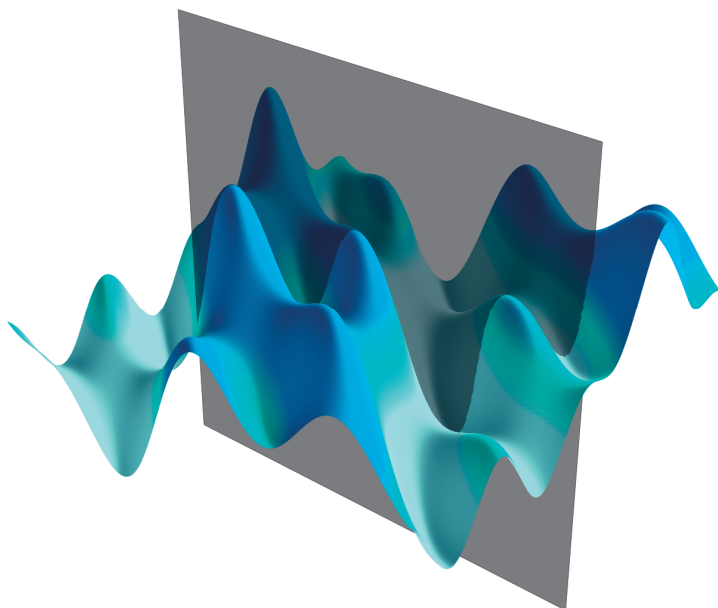


Rysunek 15.5. Linia prosta na płaszczyźnie

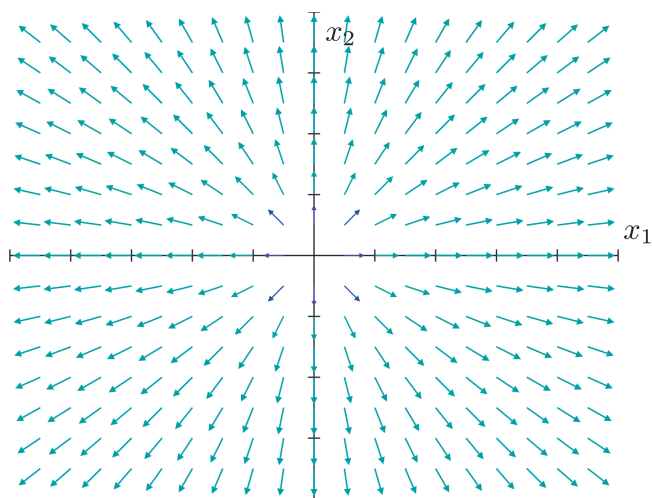


Rysunek 15.6. Wykonanie kroku w każdym kierunku w trzech wymiarach

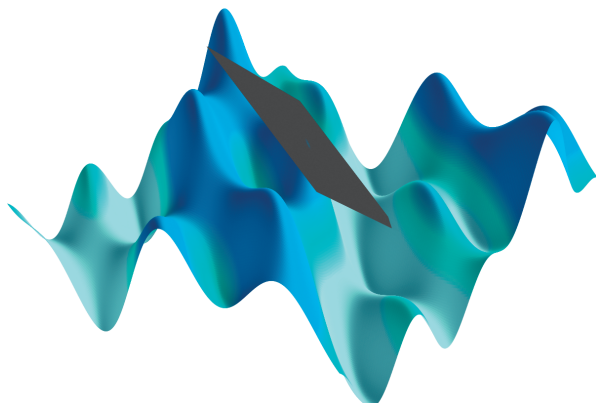
Rozdział 16. Pochodne i gradienty



Rysunek 16.1. Przecięcie powierzchni płaszczyzną x-z

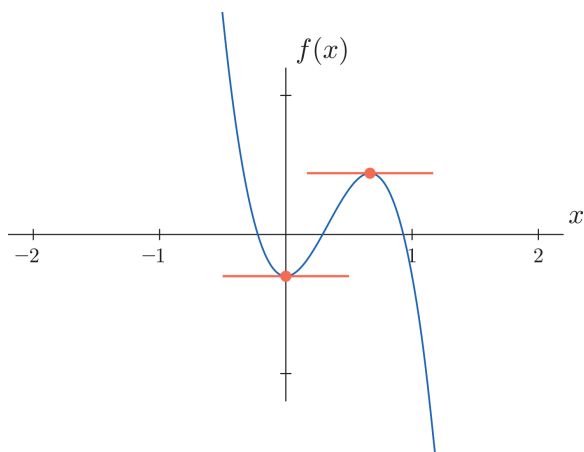


Rysunek 16.2. Pole wektorowe wyznaczone przez gradient funkcji $x_1^2 + x_2^2$

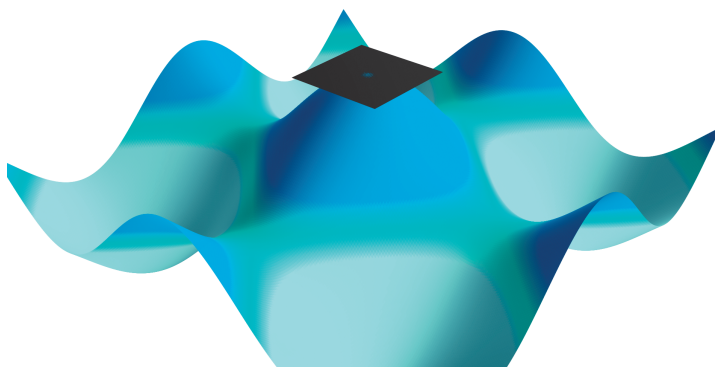


Rysunek 16.3. Płaszczyzna styczna

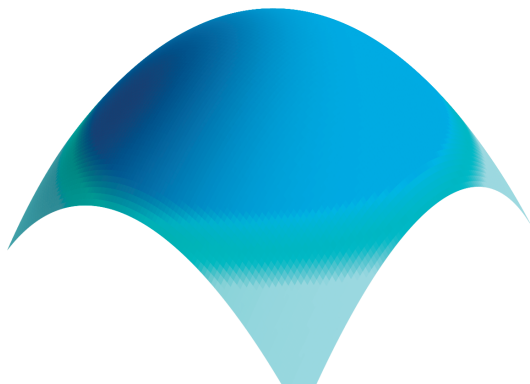
Rozdział 17. Optymalizacja funkcji wielu zmiennych



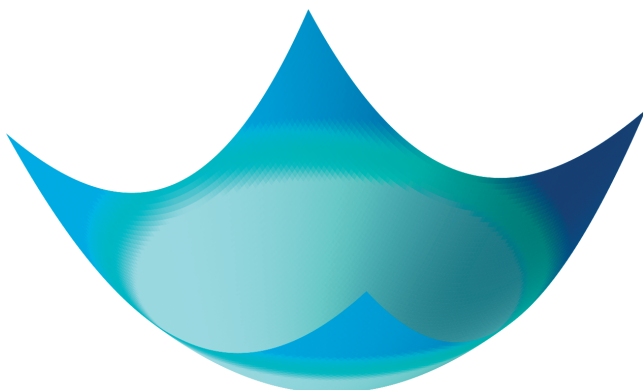
Rysunek 17.1. Ekstrema lokalne funkcji jednej zmiennej



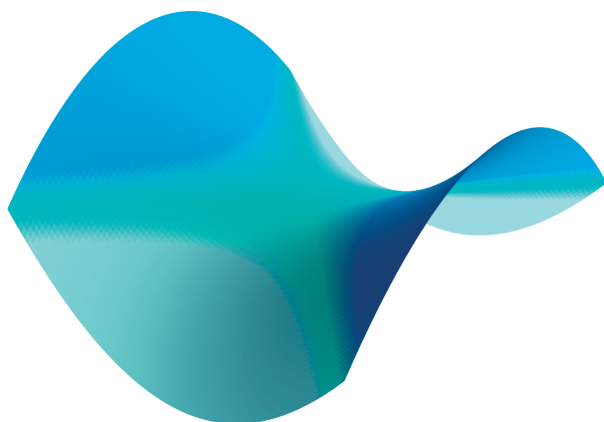
Rysunek 17.2. Ekstrema lokalne funkcji wielu zmiennych



Rysunek 17.3. Maksimum (lokalne)

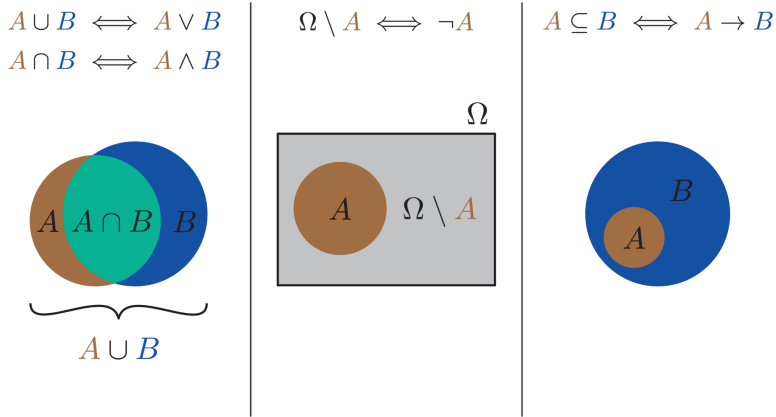


Rysunek 17.4. Minimum (lokalne)

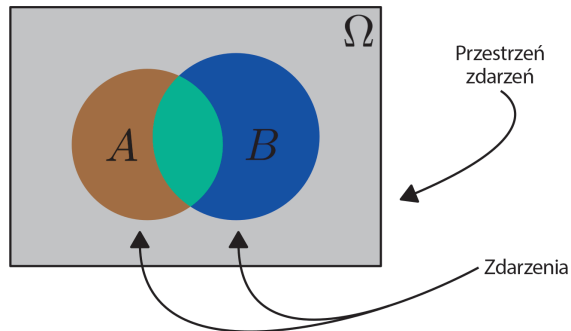


Rysunek 17.5. Punkt siodłowy

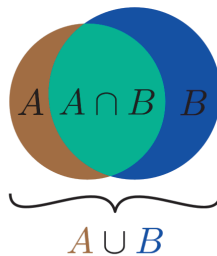
Rozdział 18. Czym jest prawdopodobieństwo?



Rysunek 18.1. Spójniki logiczne i działania na zbiorach



Rysunek 18.2. Zdarzenia i przestrzeń zdarzeń



$P(A \cap B)$: Prawdopodobieństwo wystąpienia A I B

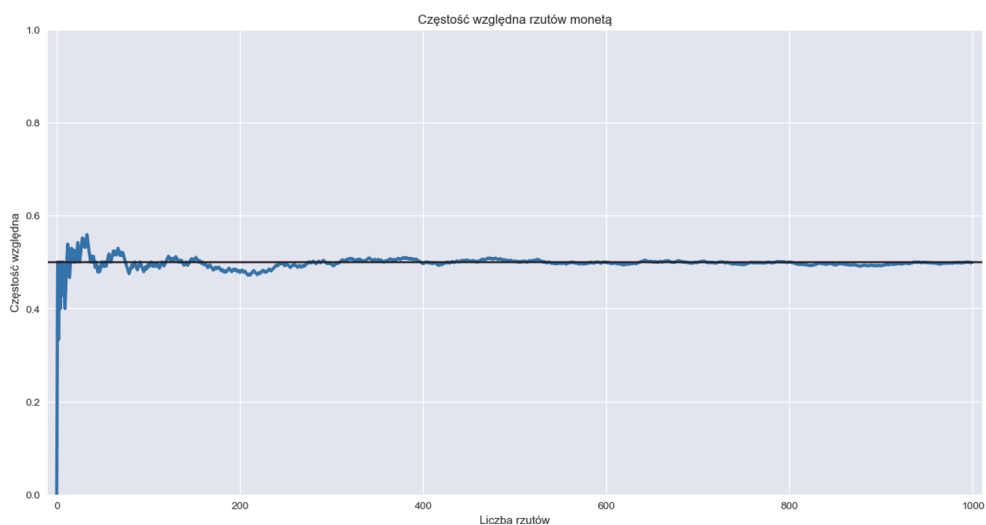
$P(A \cup B)$: Prawdopodobieństwo wystąpienia A LUB B

Rysunek 18.3. Prawdopodobieństwa iloczyn i sumy zdarzeń

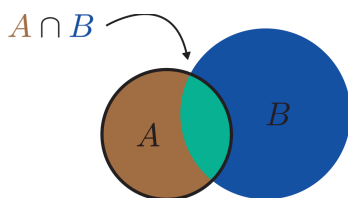


Rysunek 18.4. Przestrzeń probabilistyczna związana z rzucaniem rzutkami w ścianę.

Źródło: <https://unsplash.com/photos/black-and-white-round-logoi3WlrO7oAHA>

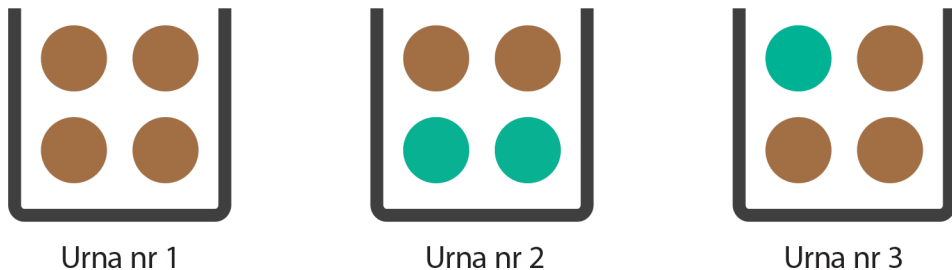


Rysunek 18.5. Częstość względna rzutów monetą



$$P(B | A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

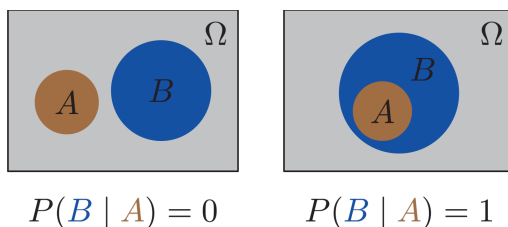
Rysunek 18.6. Graficzna reprezentacja prawdopodobieństwa warunkowego



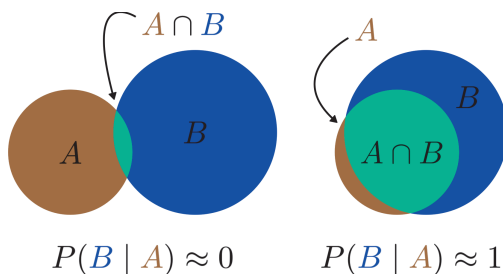
Rysunek 18.7. Urny z kolorowymi kulami

$$\underbrace{P(B | A)}_{\text{Prawdopodobieństwo a posteriori}} = \frac{\overbrace{P(A | B)}^{\text{Wiarygodność}} \overbrace{P(B)}^{\text{Prawdopodobieństwo a priori}}}{P(A)}$$

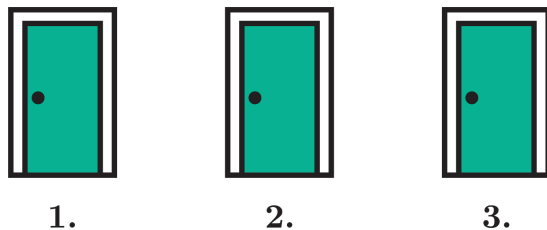
Rysunek 18.8. Twierdzenie Bayesa jako iloczyn wiarygodności i prawdopodobieństwa a priori



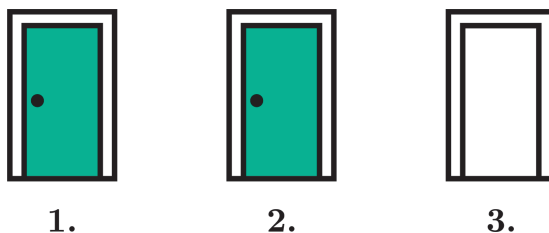
Rysunek 18.9. Prawdopodobieństwo warunkowe jako implikacja logiczna



Rysunek 18.10. Prawdopodobieństwo warunkowe jako rozwinięcie implikacji logicznej

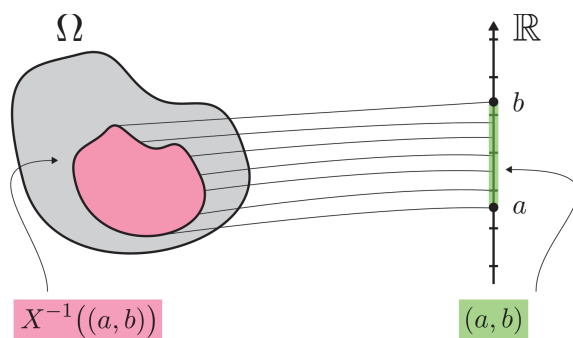


Rysunek 18.11. Trzy zamknięte bramki. Za jedną z nich ukryta jest nagroda

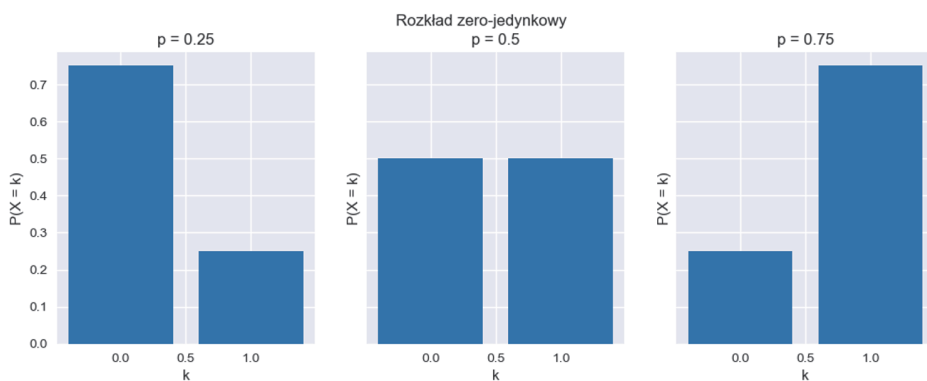


Rysunek 18.12. Monty otwiera bramkę nr 3. Czy należy zmienić wybór?

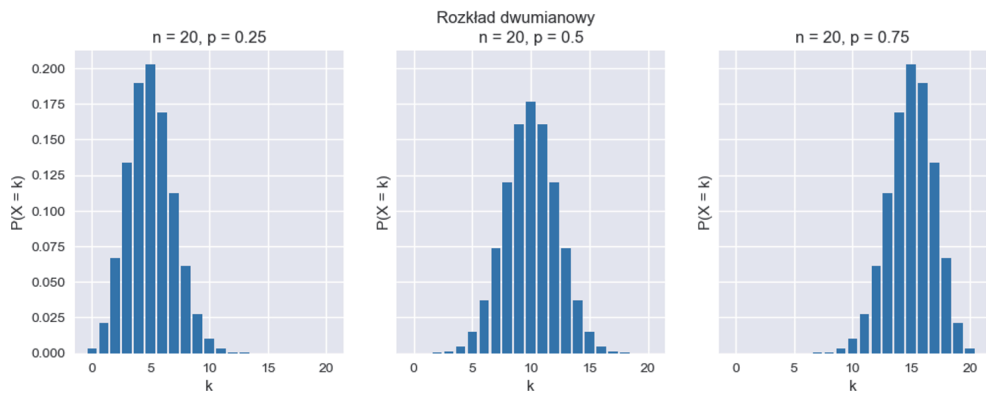
Rozdział 19. Zmienne losowe i rozkłady



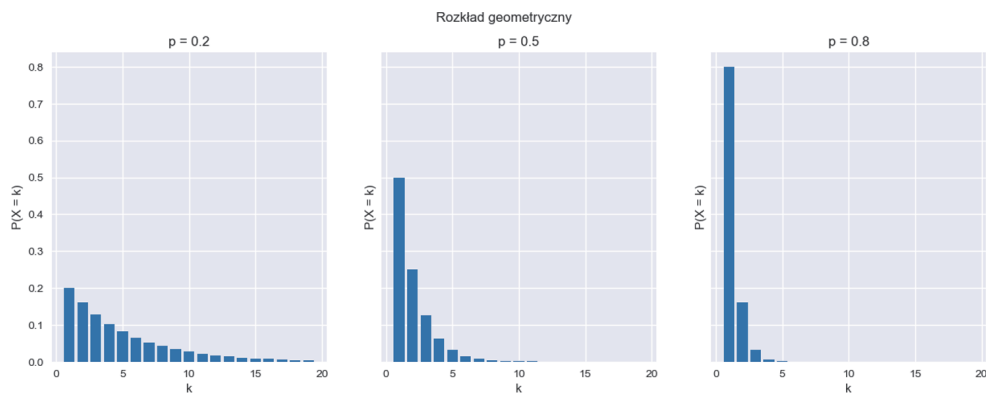
Rysunek 19.2. Przeciwobraz przedziału



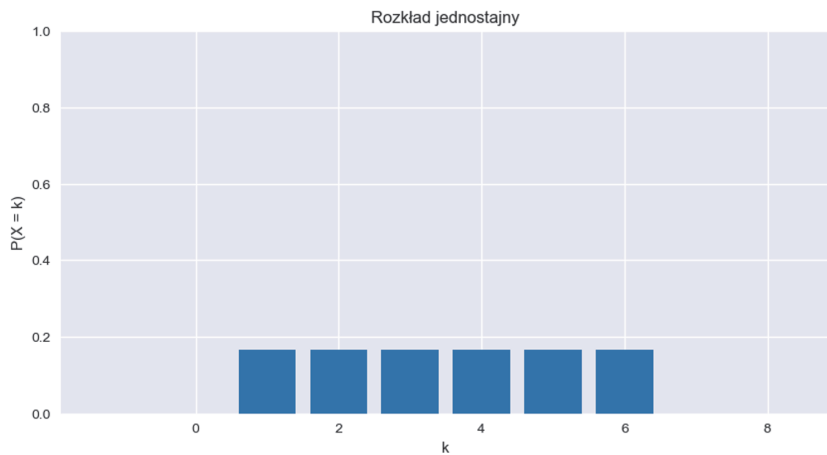
Rysunek 19.3. Rozkład zero-jedynkowy



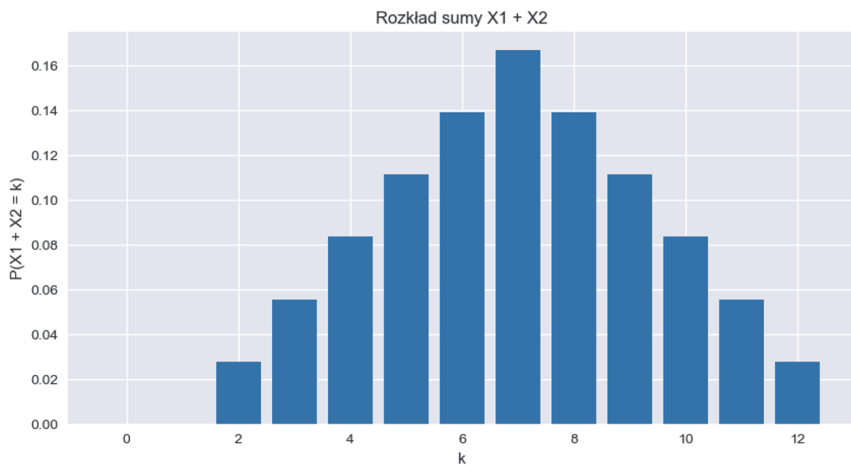
Rysunek 19.4. Rozkład dwumianowy



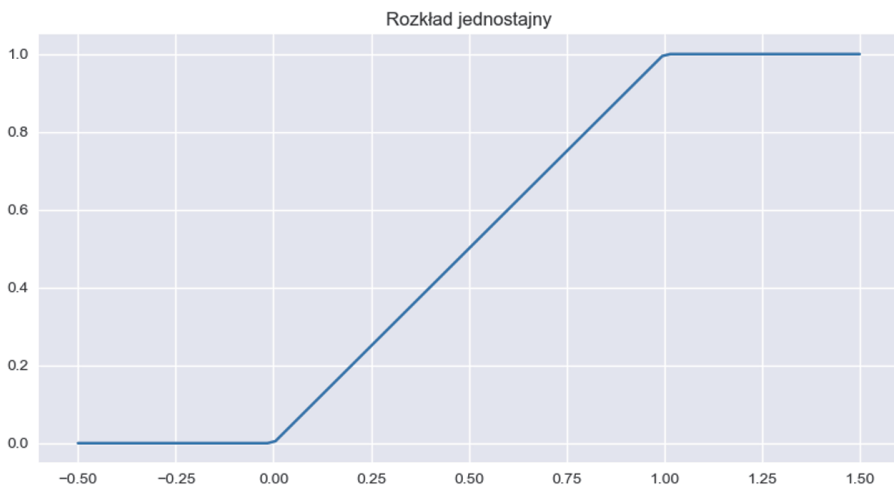
Rysunek 19.5. Rozkład geometryczny



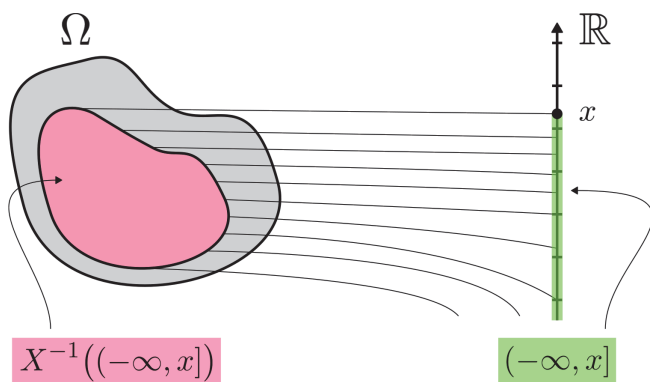
Rysunek 19.6. Rozkład jednostajny (dyskretny)



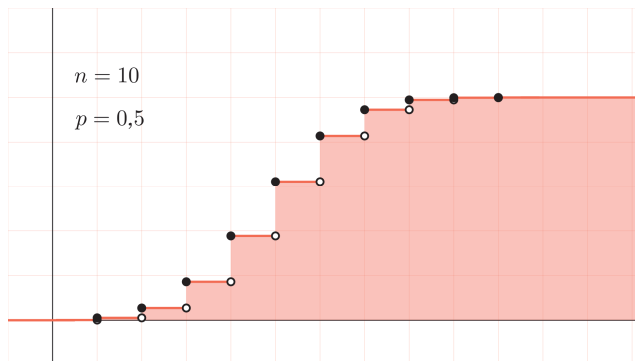
Rysunek 19.7. Rozkład sumy dwóch zmiennych losowych



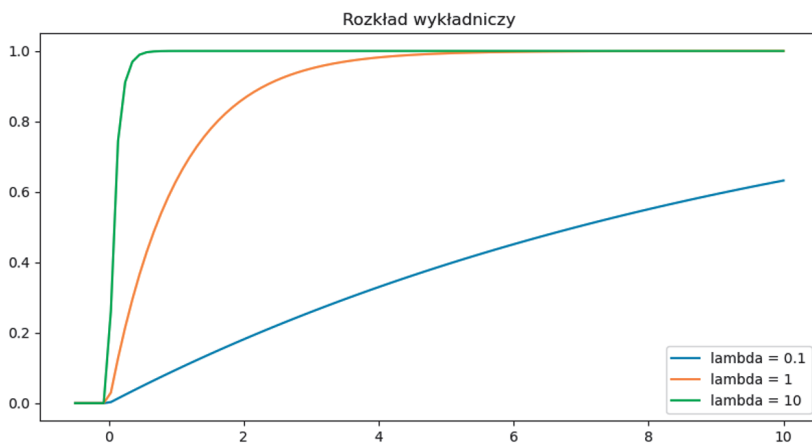
Rysunek 19.8. Rozkład jednostajny



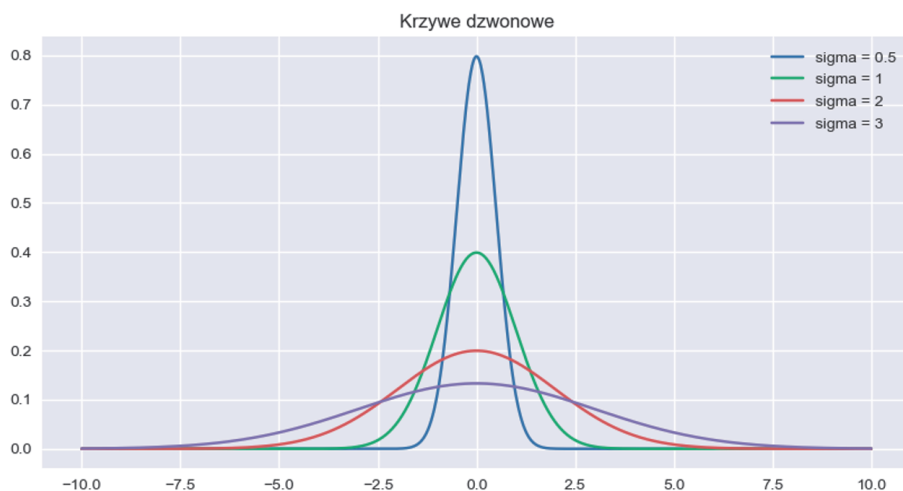
Rysunek 19.9. Zbiór poziomowy zmiennej losowej



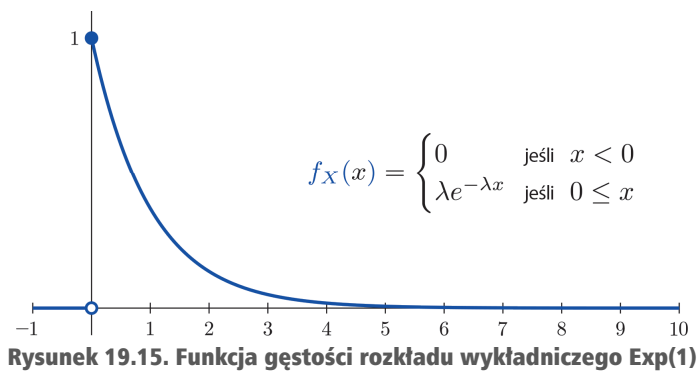
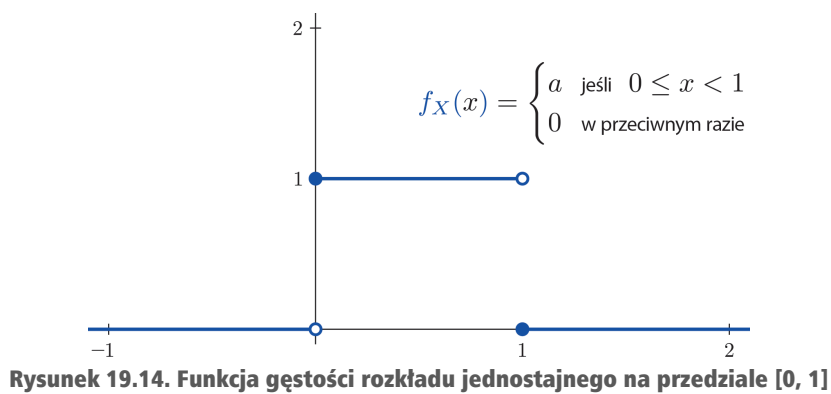
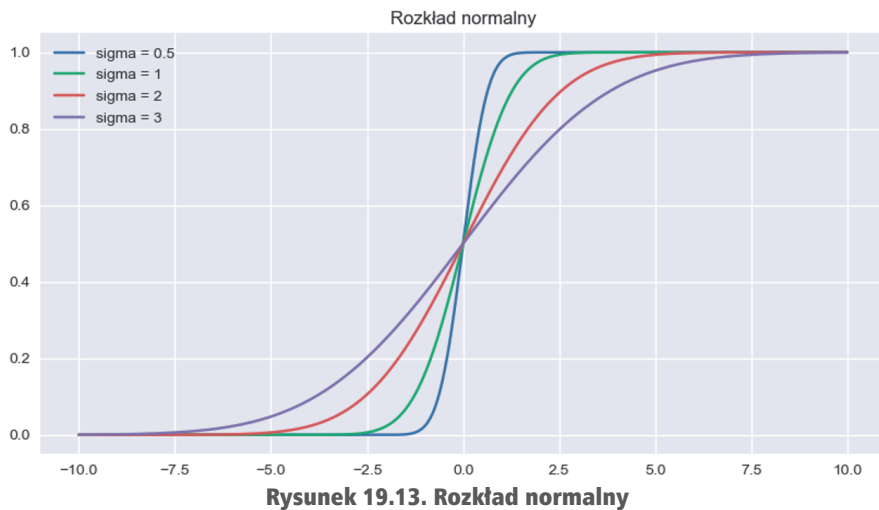
Rysunek 19.10. Dystrybucja rozkładu dwumianowego Bin(10, 0,5)

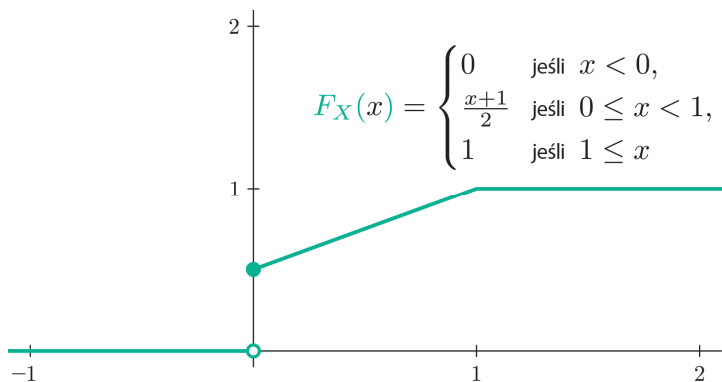


Rysunek 19.11. Rozkład wykładniczy



Rysunek 19.12. Krzywe dzwonowe





Rysunek 19.16. Dystrybuanta mieszanego rozkładu X

Rozdział 20. Wartość oczekiwana

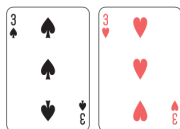
Karty przeciwnika



Ostatnia karta
do odsłonięcia



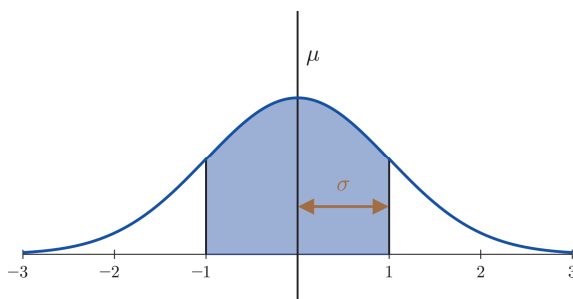
Puła



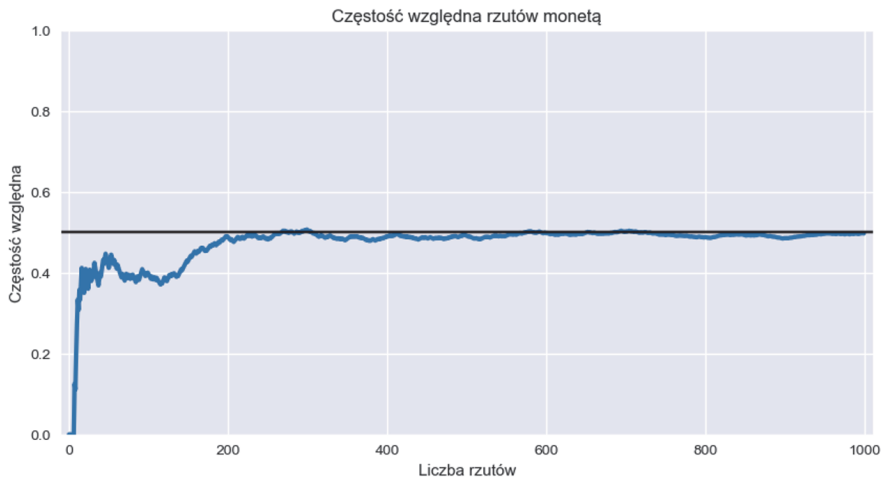
Stawka do wyrównania

Twoje karty

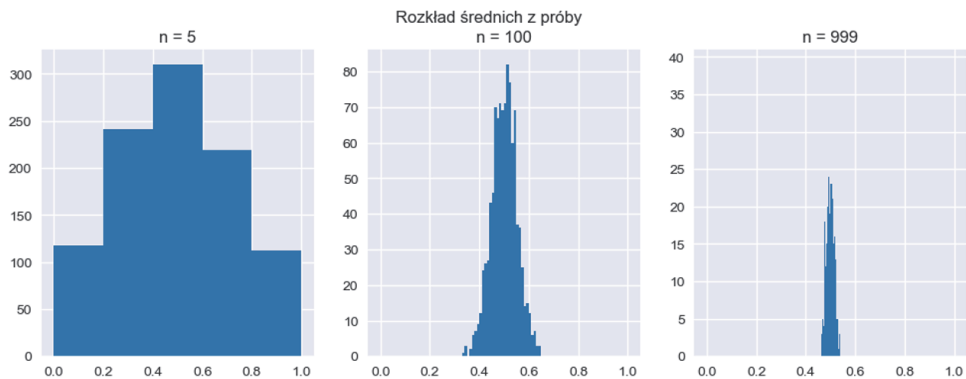
Rysunek 20.1. Stół pokerowy przed odkryciem karty river



Rozdział 20.2. Średnia (μ) i odchylenie standardowe (σ) w rozkładzie normalnym



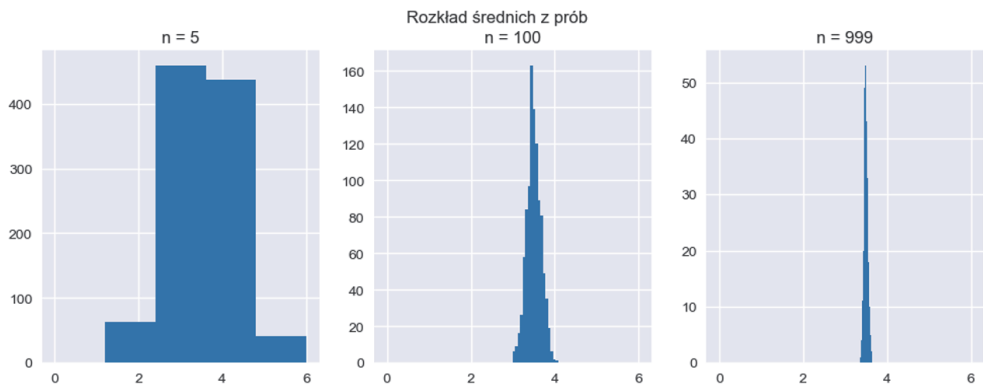
Rysunek 20.3. Częstość względna rzutów monetą



Rysunek 20.4. Rozkłady średnich z próby dla rzutów monetą



Rysunek 20.5. Średnie wyniki rzutów kostką sześcienną



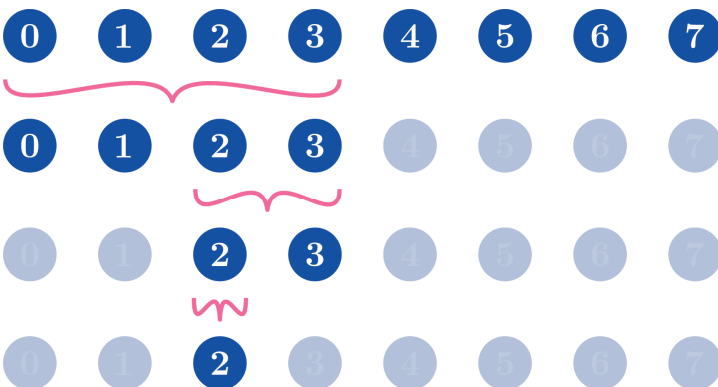
Rysunek 20.6. Przykładowe rozkłady średnich z prób dla rzutów kostką



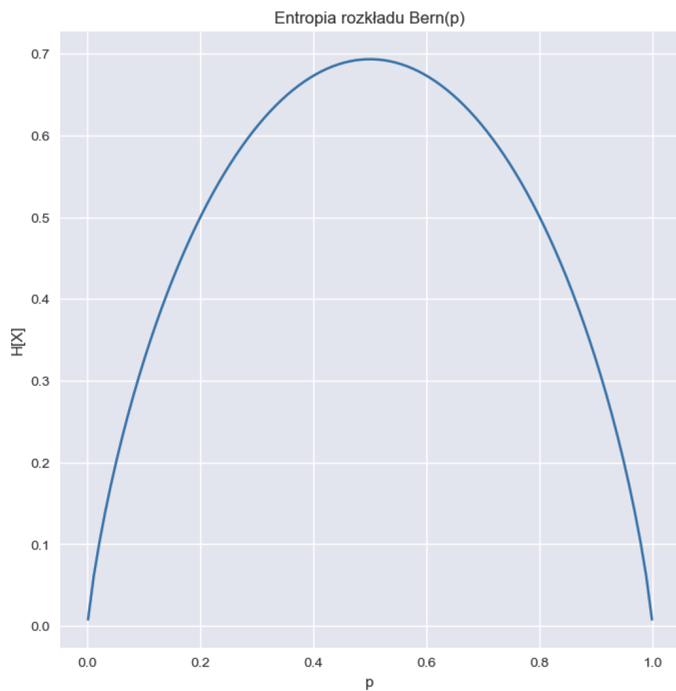
Rysunek 20.7. O jakiej liczbie myślę?



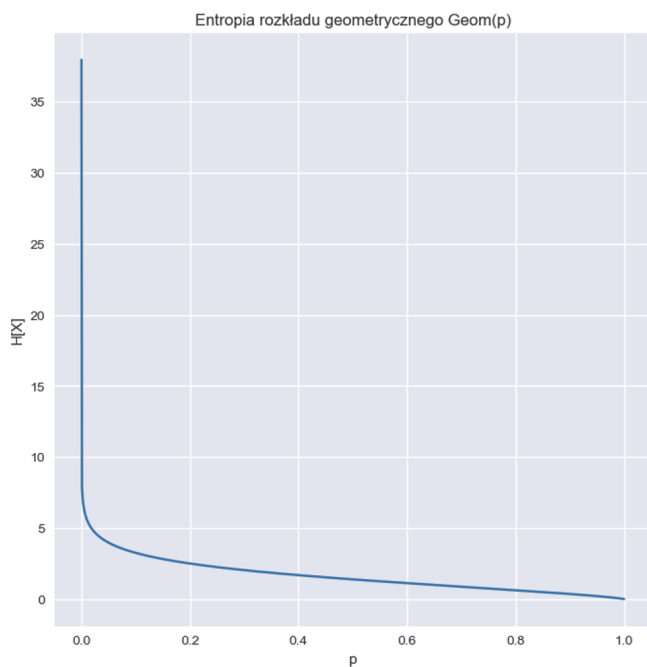
Rysunek 20.8. Przestrzeń poszukiwań po pytaniu, czy wybrana liczba jest większa niż 3



Rysunek 20.9. Ustalanie odpowiedzi za pomocą wyszukiwania binarnego

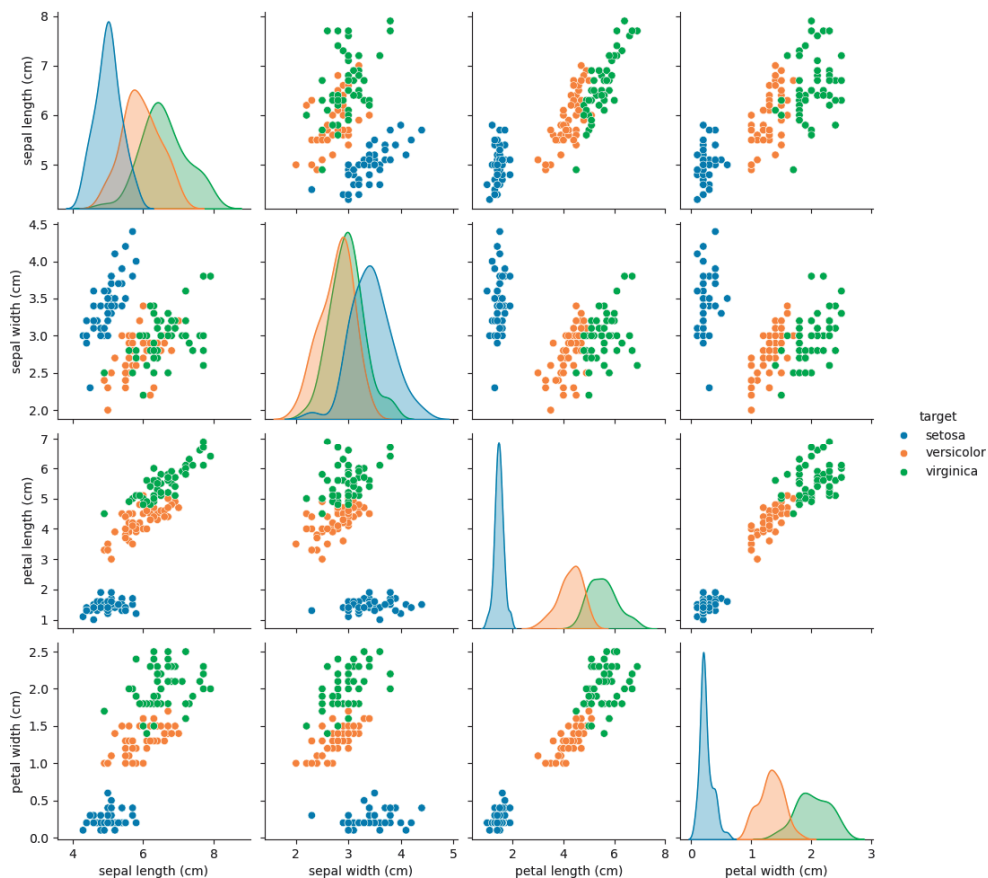


Rysunek 20.10. Entropia rozkładu zero-jedynkowego



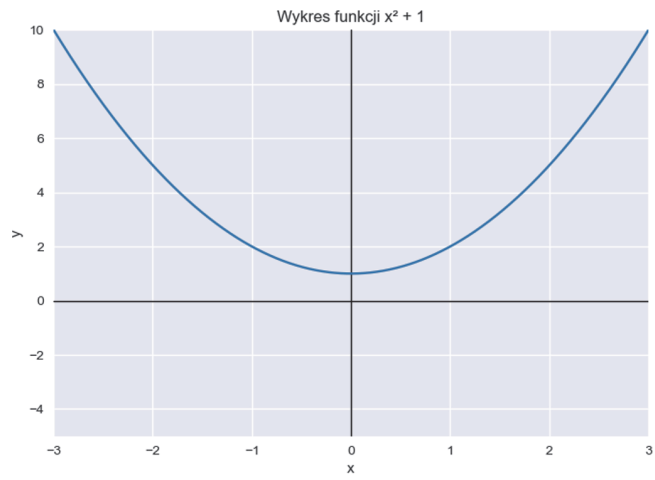
Rysunek 20.11. Entropia rozkładu geometrycznego

Dodatek C. Podstawy teorii zbiorów

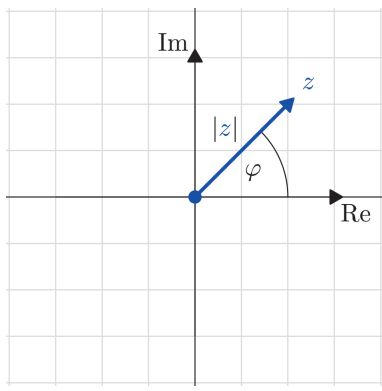


Rysunek C.4. Szerokość działki kielicha w zależności od długości działki kielicha w zbiorze danych Iris. Źródło: dokumentacja pakietu scikit-learn

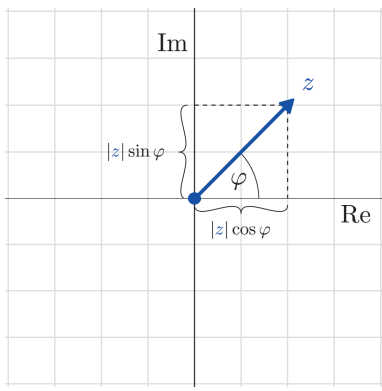
Dodatek D. Liczby zespolone



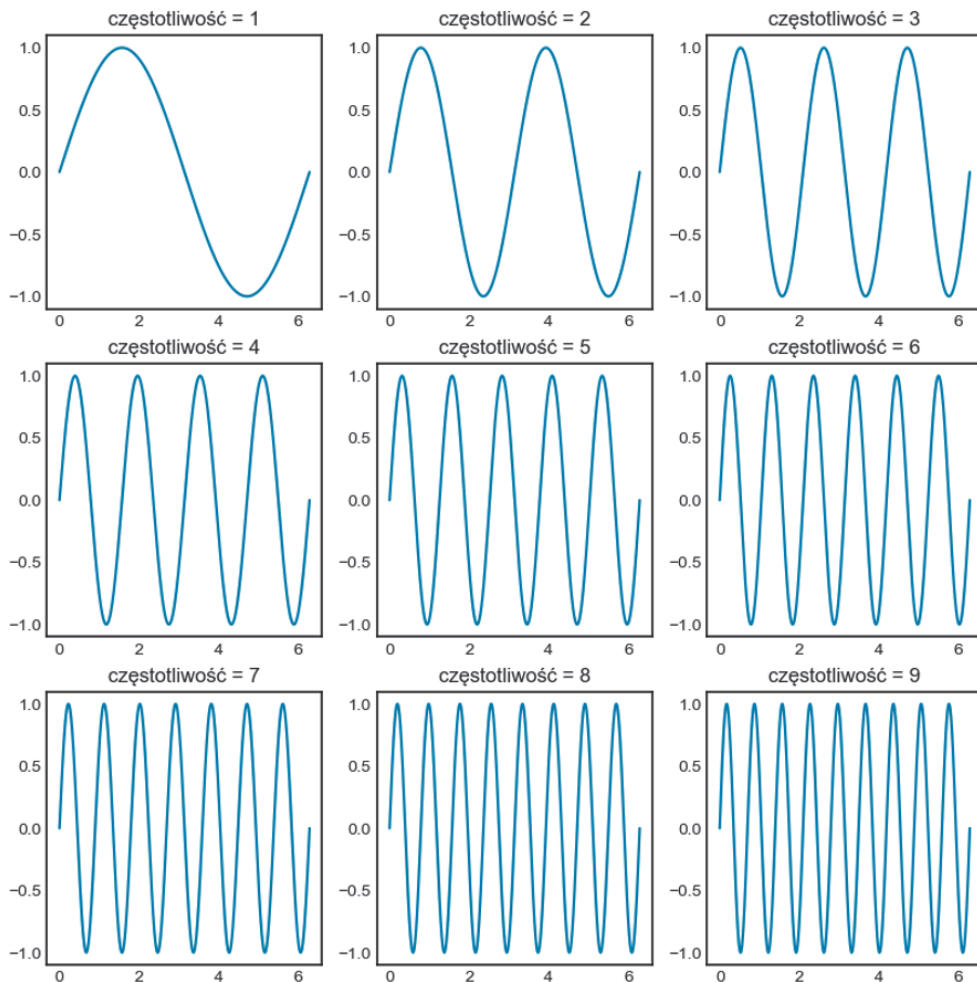
Rysunek D.1. Wykres funkcji $x^2 + 1$



Rysunek D.2. Liczby zespolone jako wektory na płaszczyźnie kartezjańskiej



Rysunek D.3. Geometryczna reprezentacja liczb zespolonych



Rysunek D.4. Transformata Fouriera