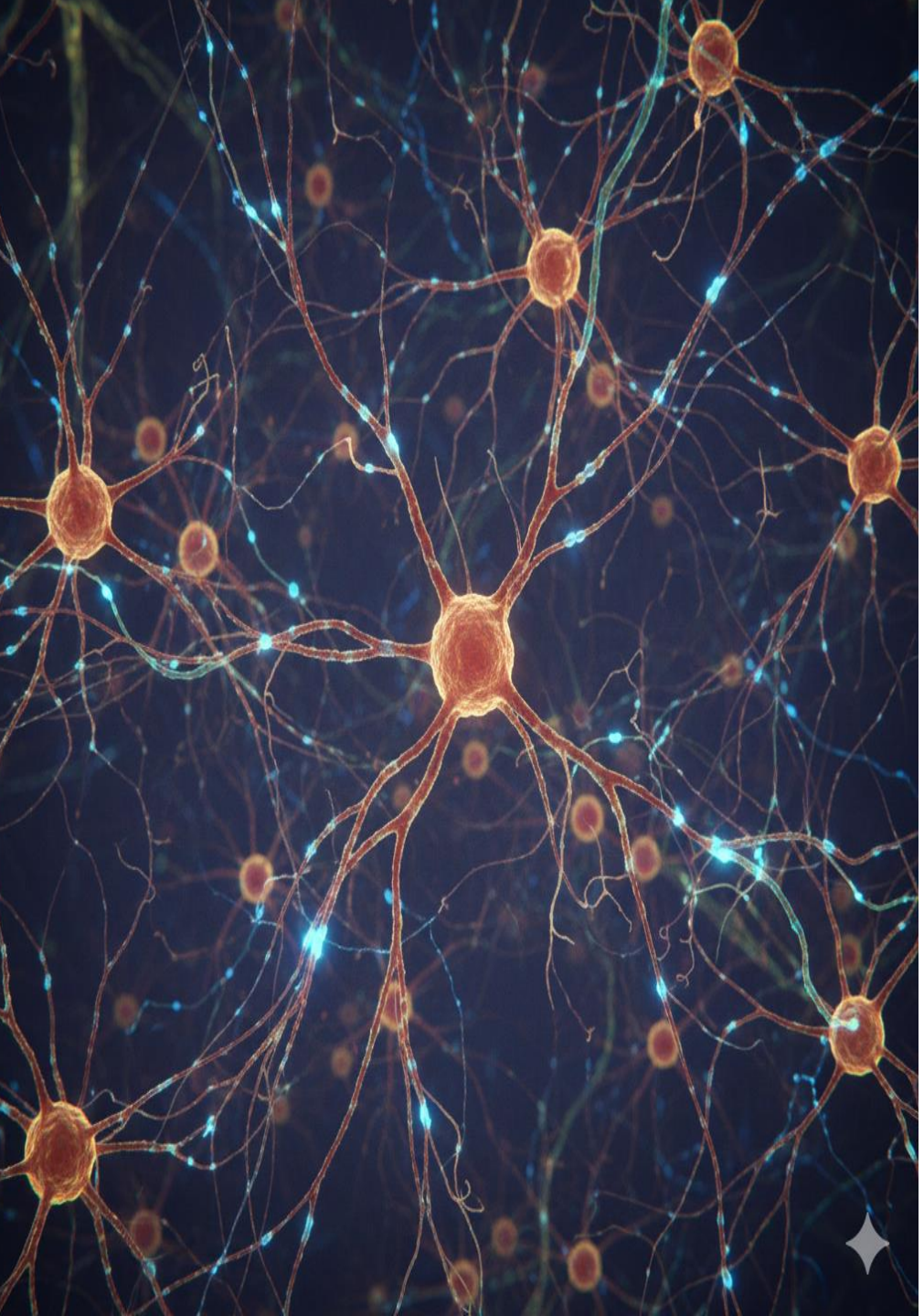


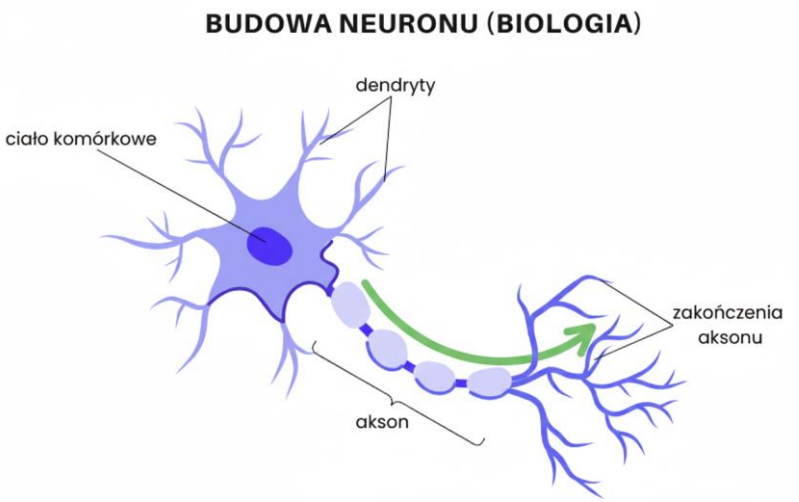
Jak działa sieć neuronowa?

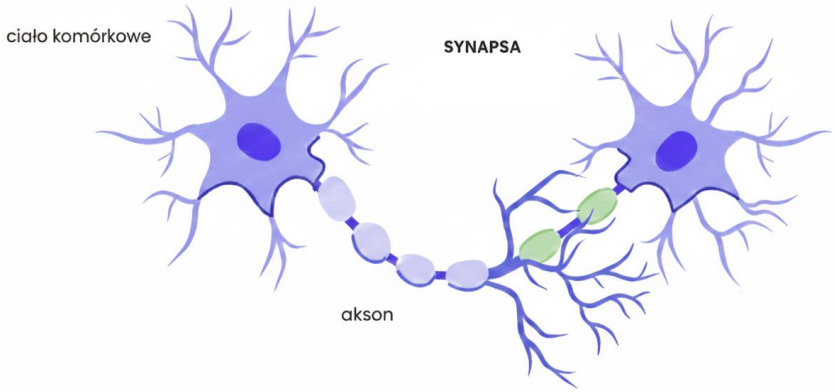
Spojrzenie matematyczno-biologiczne

dr hab. inż. Artur Wyrwa

Czym jest sieć neuronowa

- Sieć neuronowa to algorytm, którego działanie wzorowane jest do **pewnego stopnia** na działaniu sieci **biologicznych komórek nerwowych**
- Sieć neuronowa składa się z siatki połączonych ze sobą elementów, z których każdy posiada **pewną liczbę wejść** i **jedno wyjście**
- Wyjścia z poszczególnych elementów są połączone (poprzez synapsy) z wejściami innych tworząc sieć
- **Zależność** pomiędzy wejściami i wyjściem jest **modyfikowana** dla każdego elementu z osobna w procesie tzw. **uczenia**
- W zbiorze uczącym są **wzorcowe rozwiązania zadań** (olbrzymie zbiory uczące).
- Na ich podstawie sieć dostraja parametry (wagi oraz bias) tak aby popełniać jak najmniejszy błąd względem wzorca





Neuron Biologiczny

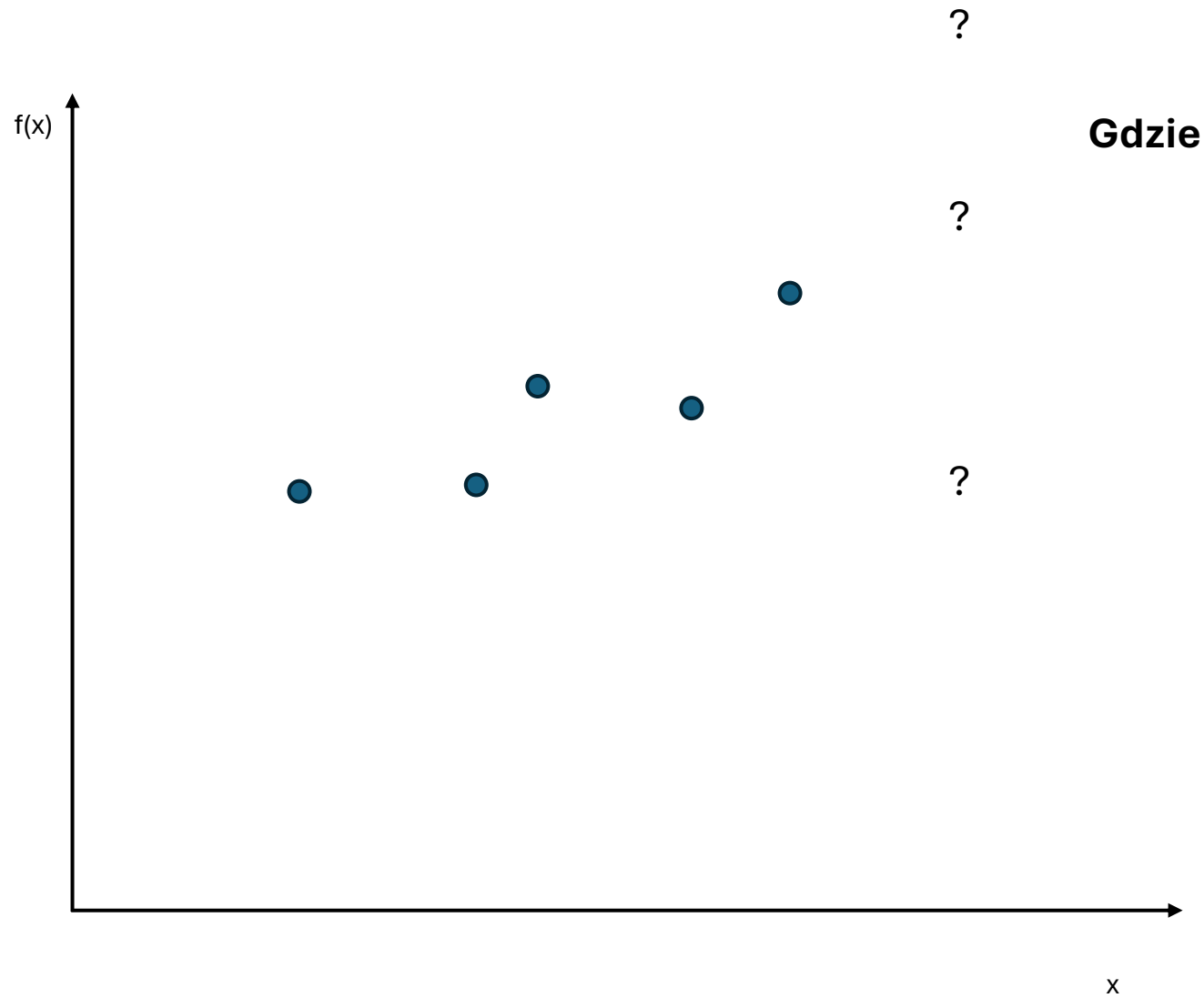
Neuron odbiera sygnały z innych neuronów poprzez **synapsy** (połączenia dendrytytów z aksonami).

Wszystkie te sygnały sumują się w czasie i przestrzeni w ciele komórkowym (Somie) - jest to proces integracji: neuron "**zbiera**" i "**waży**" wszystkie przychodzące wpływy.

Suma zintegrowanych sygnałów jest analizowana w miejscu przejścia ciała komórkowego w akson, zwanym wzgórkiem aksonu. Jest to **punkt progowania**:

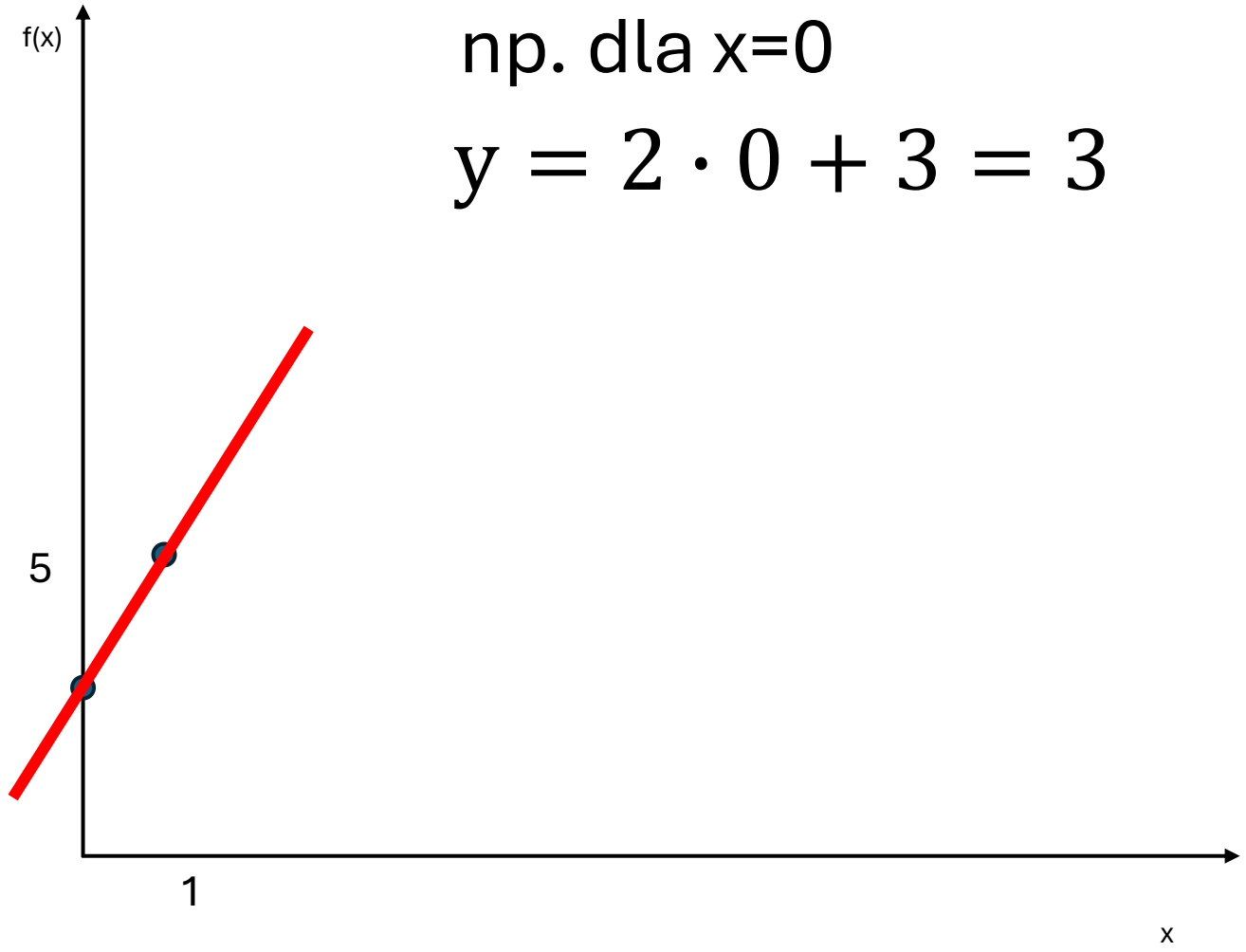
- Jeżeli zsumowany potencjał elektryczny przekroczy pewien próg krytyczny, następuje wyzwolenie potencjału czynnościowego (impulsu nerwowego).
- Jeżeli potencjał nie osiągnie progu, neuron pozostaje w stanie spoczynku (jest "cichy").

Jeżeli potencjał czynnościowy zostanie wyzwolony, **impuls jest przesyłany wzdłuż aksonu do kolejnych neuronów**



Gdzie będzie kolejny punkt?

$$y = 2x + 3$$

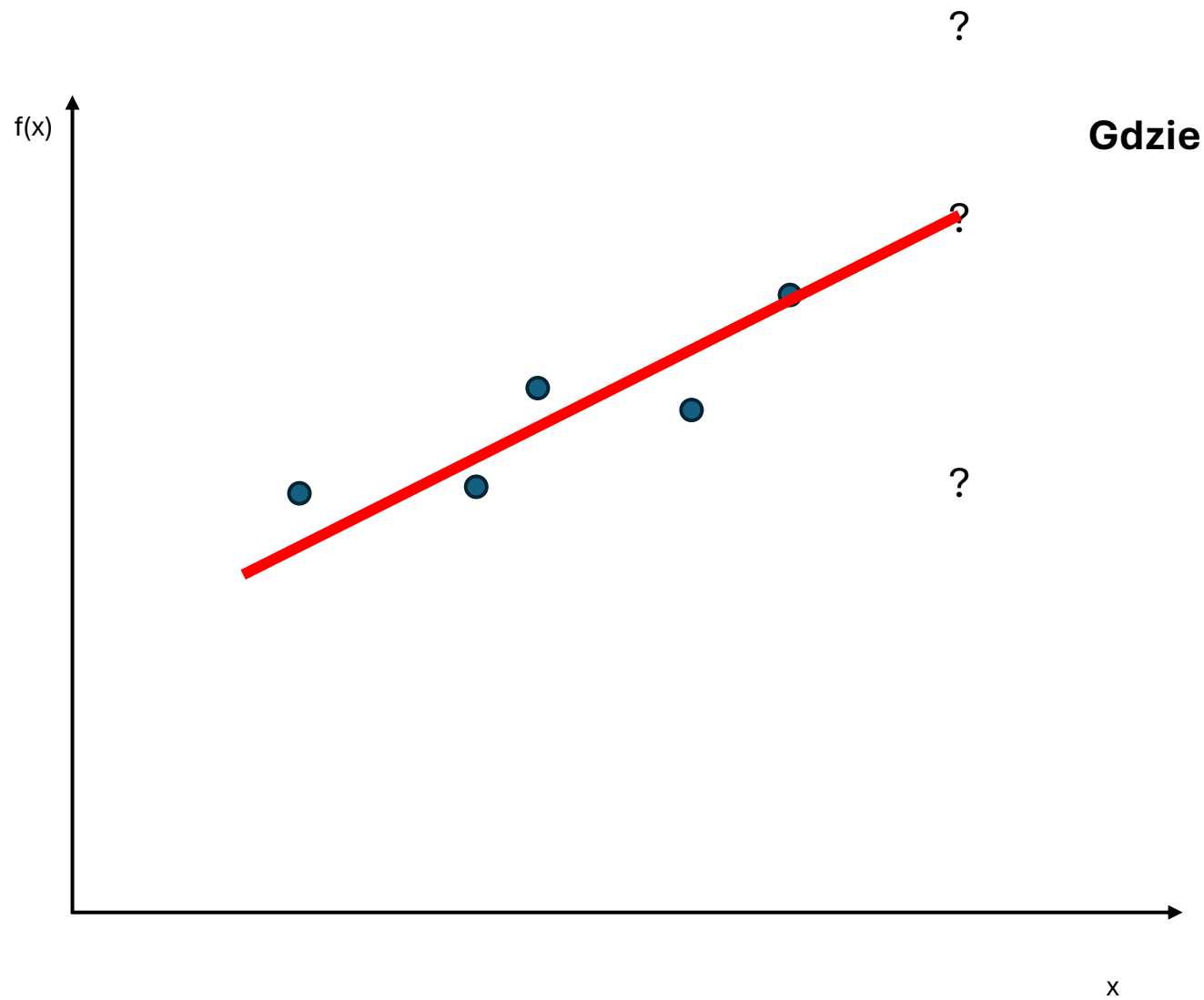


np. dla x=0

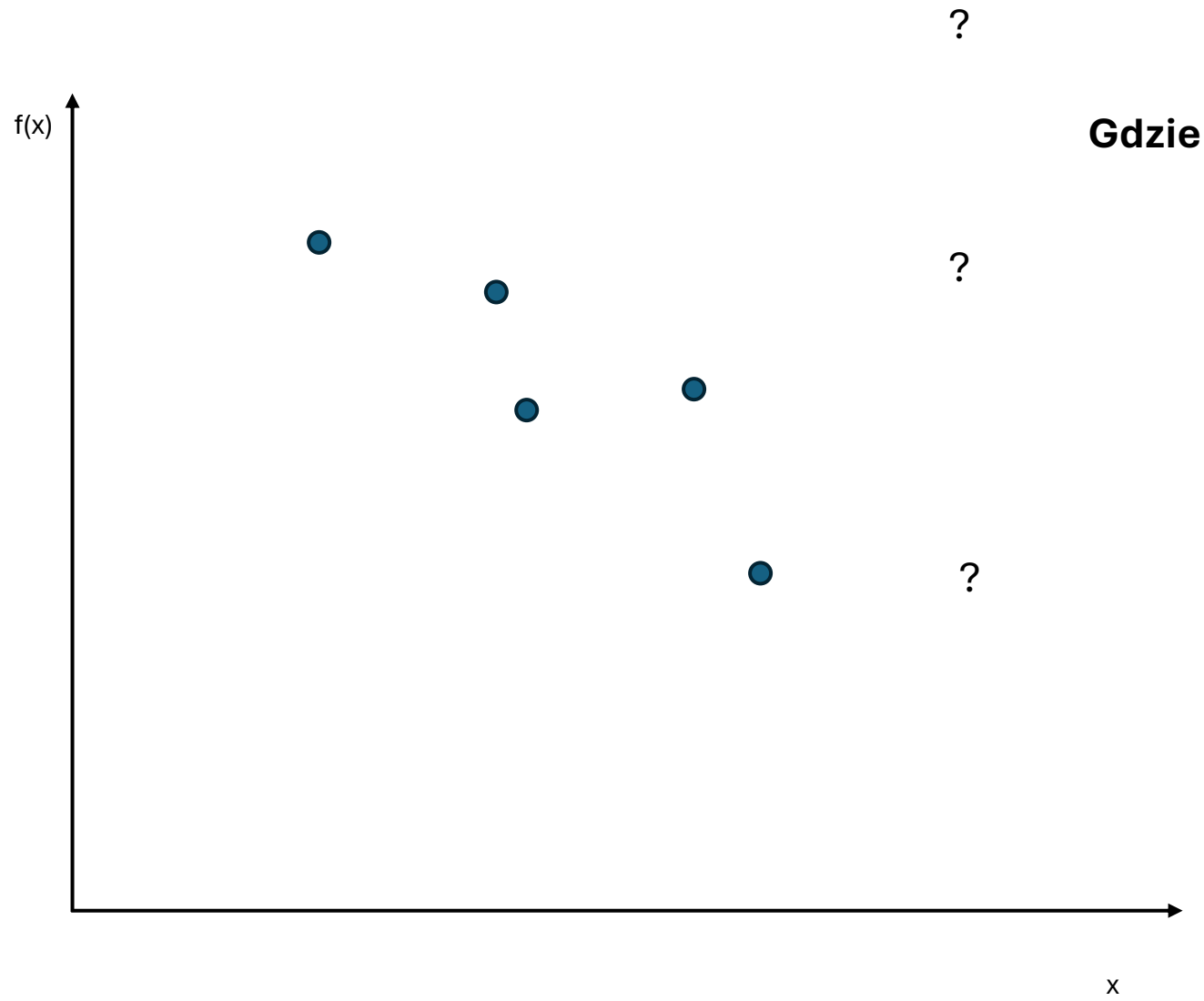
$$y = 2 \cdot 0 + 3 = 3$$

np. dla x=1

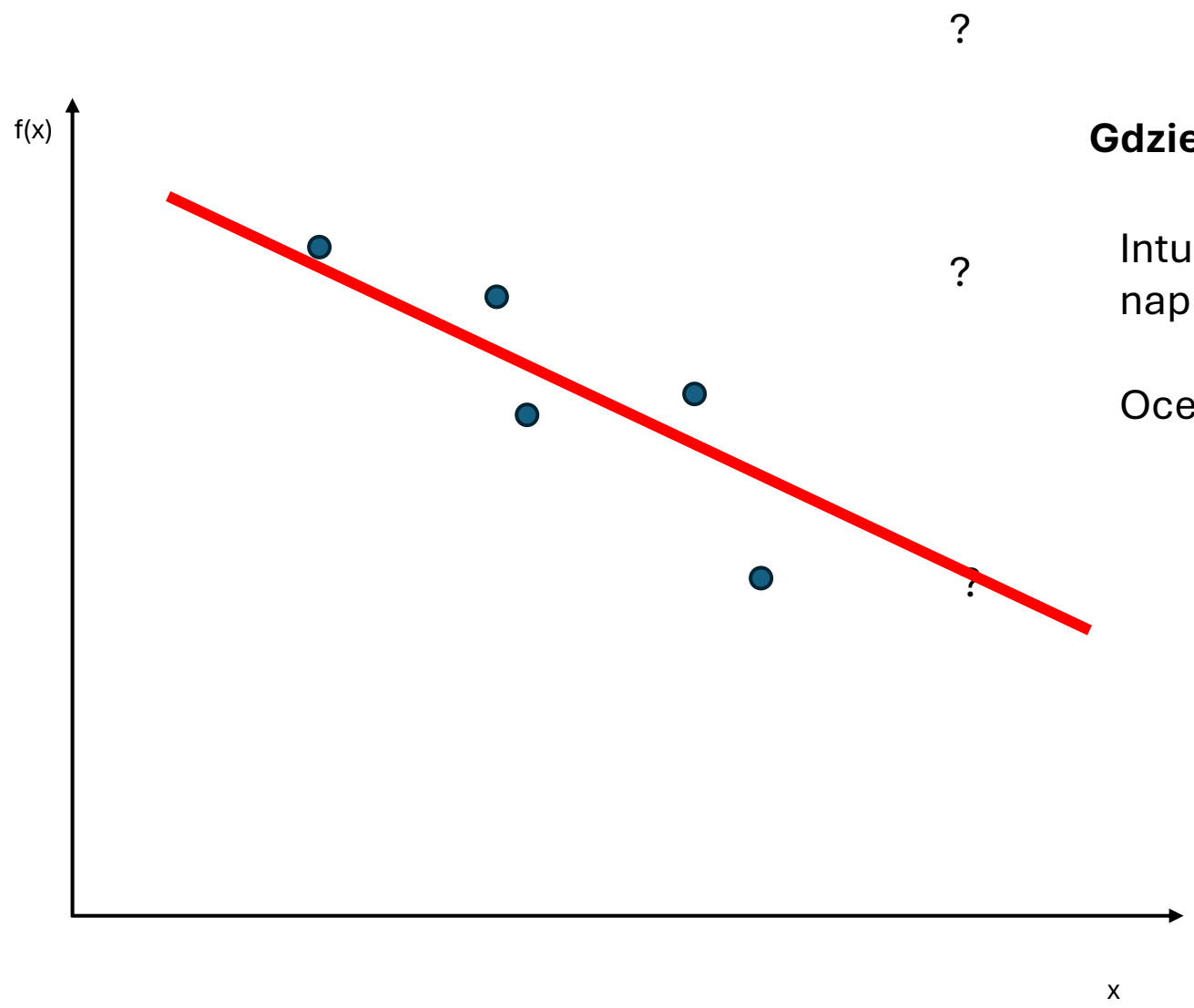
$$y = 2 \cdot 1 + 3 = 5$$



Gdzie będzie kolejny punkt?



Gdzie będzie kolejny punkt?



Gdzie będzie kolejny punkt?

Intuicja poprawnie podpowiedziała, ale tak naprawdę to **matematyka**:

Ocena wyniku (Błąd / Funkcja straty)

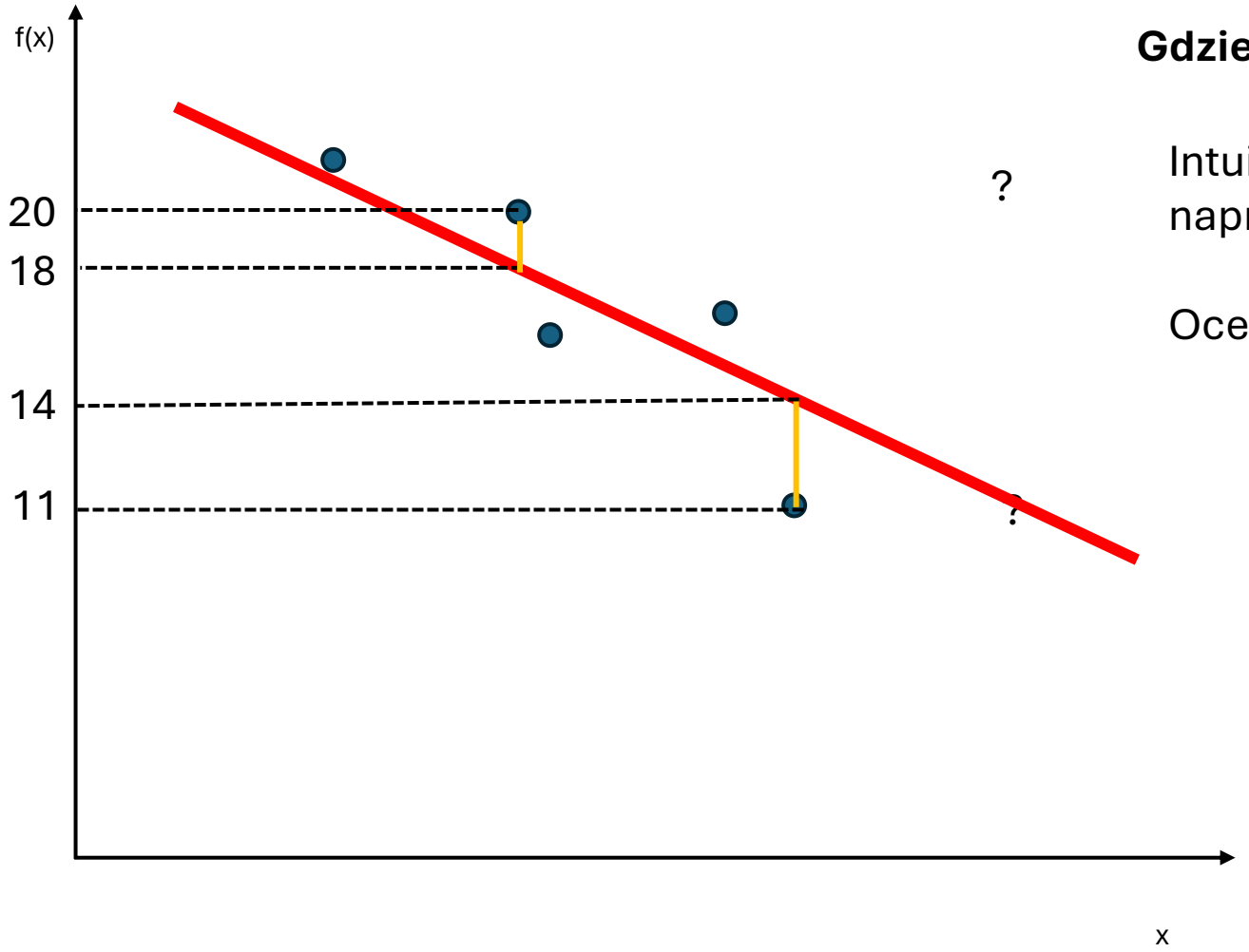
$$L = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_{\text{true},i}\right)^2$$

- Różnica:

$\delta_y = y - y_{\text{true}}$

$\delta_y = 18 - 20 = -2$

$\delta_y = 14 - 11 = 3$



Gdzie będzie kolejny punkt?

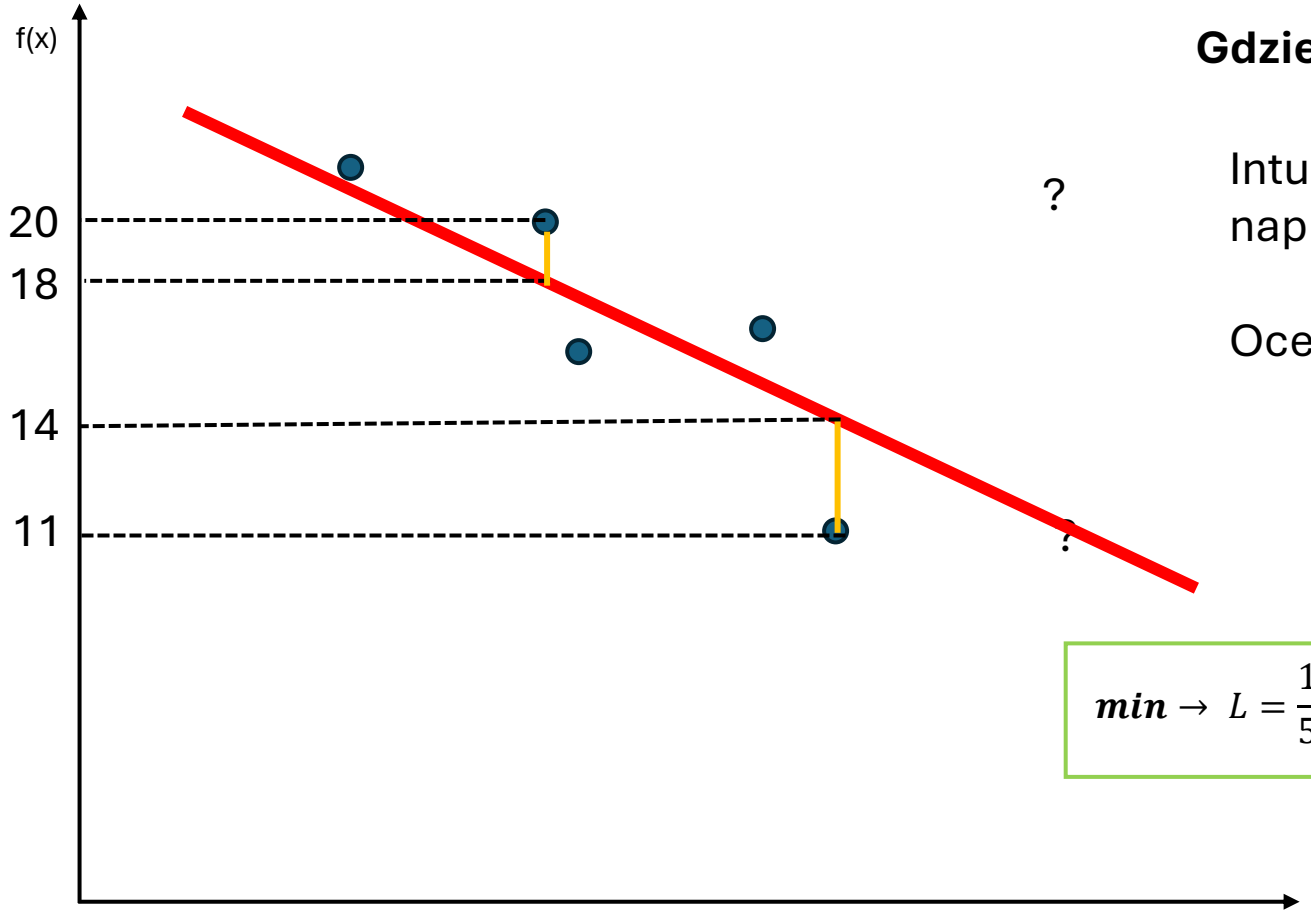
Intuicja poprawnie podpowiedziała, ale tak naprawdę to **matematyka**:

Ocena wyniku (Błąd / Funkcja straty)

$$L = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_{\text{true},i}\right)^2$$

- Różnica:

$\delta_y = y - y_{\text{true}}$



$\delta_y = 18 - 20 = -2$

$\delta_y = 14 - 11 = 3$

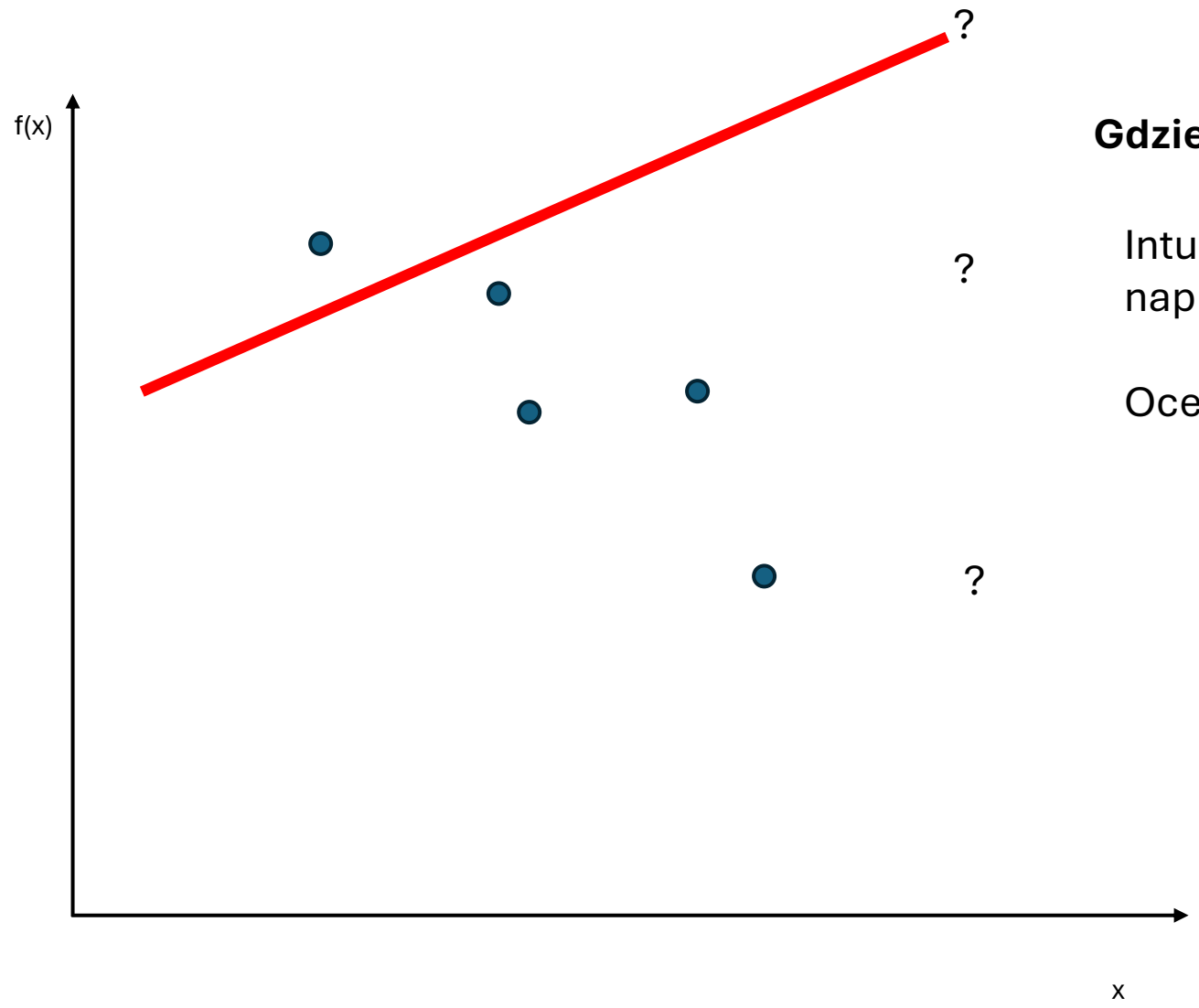
Gdzie będzie kolejny punkt?

Intuicja poprawnie podpowiedziała, ale tak naprawdę to **matematyka**:

Ocena wyniku (Błąd / Funkcja straty)

$$L = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_{\text{true},i}\right)^2$$

$$\boldsymbol{min} \rightarrow\ L = \frac{1}{5}\cdot\left[(-0{,}5)^2+(-2)^2+(2)^2+(-1{,}5)^2+(3)^2\right] = 3{,}9$$



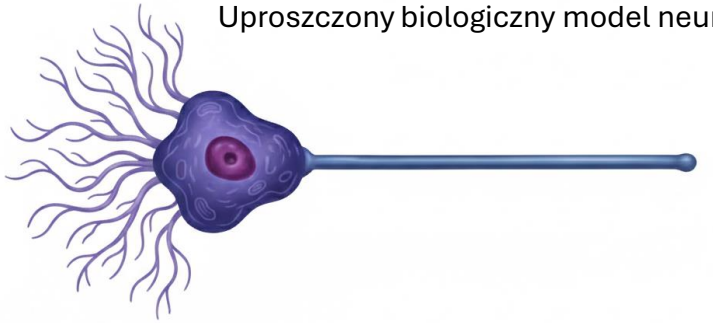
Gdzie będzie kolejny punkt?

Intuicja poprawnie podpowiedziała, ale tak naprawdę to **matematyka**:

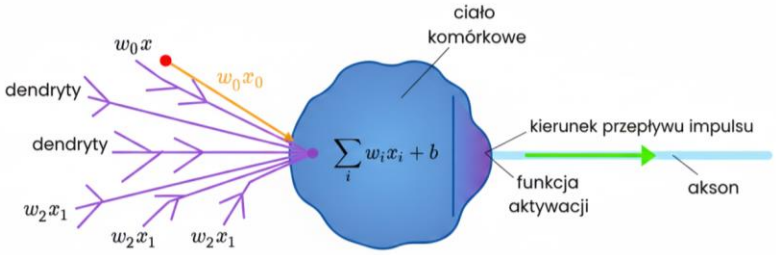
Ocena wyniku (Błąd / Funkcja straty)

$$L = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_{\text{true},i}\right)^2$$

Uproszczony biologiczny model neuronu



Matematyczny model neuronu



Aktywacja neuronu

1. Odbiór sygnałów (Wejścia i Wagi)
Sygnały wejściowe x_i są odbierane i mnożone przez odpowiadające im wagi w_i ,określając siłę połączenia. Jeśli waga jest duża, wejście ma duży wpływ na wynik.

2. Integracja sygnałów (Suma ważona)
Następnie wszystkie ważone wejścia są sumowane, a do wyniku dodawany jest bias b, odpowiadający podstawowej aktywności neuronu.

$$\text{Suma ważona} = \sum_i w_i x_i + b$$

3. Decyzja aktywacji (Funkcja aktywacji)
Suma ważona staje się wejściem do funkcji aktywacji f. Jest to kluczowa analogia do progowania we wzgórku aksonu. Wyjście neuronu:

$$y = f\left(\sum_i w_i x_i + b\right)$$

4. Przesłanie sygnału (Wyjście)
Wartość wyjściowa (wynik funkcji aktywacji) jest przekazywana dalej (może być to wynik końcowy lub wejście do kolejnych neuronów w sieci).

5. Ocena wyniku (Błąd / Funkcja straty)
Wyjście neuronu/sieci *y* porównujemy z wartością oczekiwaną (prawdziwą) y_{true}

- Różnica: $\delta_y = y - y_{\text{true}}$
- Funkcja straty L (Loss): $L = \frac{1}{2}(y - y_{\text{true}})^2 = \frac{1}{2}(\delta_y)^2$

6. Poprawa wag (Uczenie, backpropagacja)
Każda waga w_i jest lekko korygowana:

$$w_i \leftarrow w_i - \eta \cdot \frac{\partial L}{\partial w_i}$$

Jak To Rozumieć Intuicyjnie?

Uczenie sieci neuronowej to sześć prostych kroków, które powtarzają się w kółko. Każda iteracja sprawia, że sieć staje się trochę mądrzejsza.

1

Forward Pass

Neuron próbuje wyprodukować wynik na podstawie obecnych wag

2

Loss

Mierzymy, jak bardzo neuron się pomylił względem prawdziwej wartości

3

Backpropagation

Mówimy neuronowi, gdzie dokładnie zrobił błąd

4

Gradient

Wskazujemy, która waga jest odpowiedzialna za błąd

5

Update

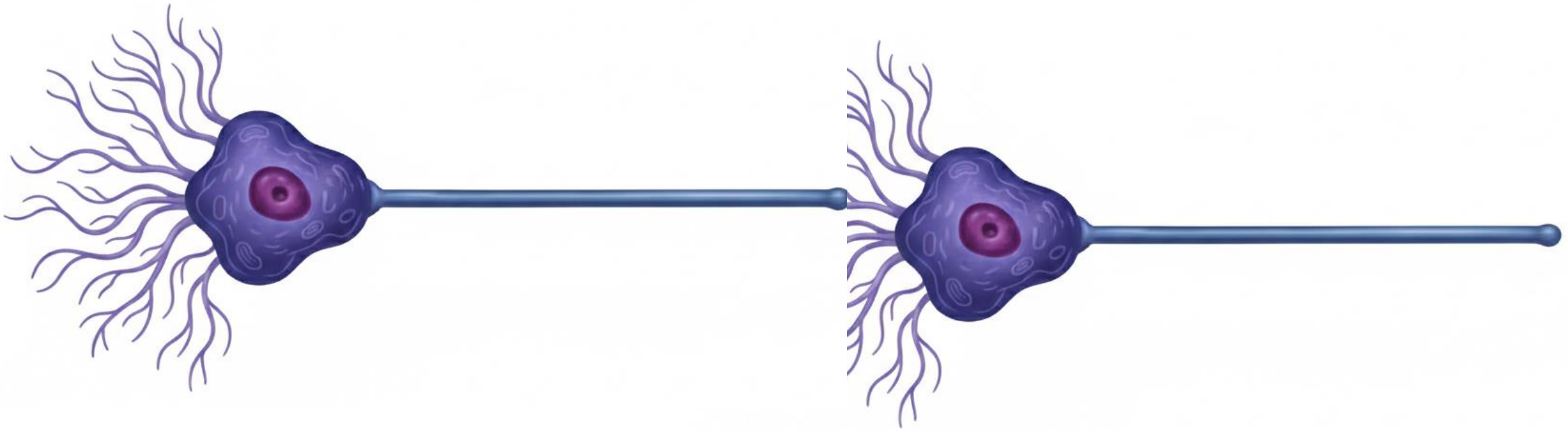
Poprawiamy każdą wagę o małą wartość w dobrym kierunku

6

Iteracja

Neuron próbuje znowu, tym razem z lepszymi wagami

Zaznacz



Neuron, synapsa, dendryt, akson, ciało komórkowe