

Wprowadzenie do SI
prof. dr hab. inż. Bożena Kostek (p.
731)
LAF/KSM WETI, PG

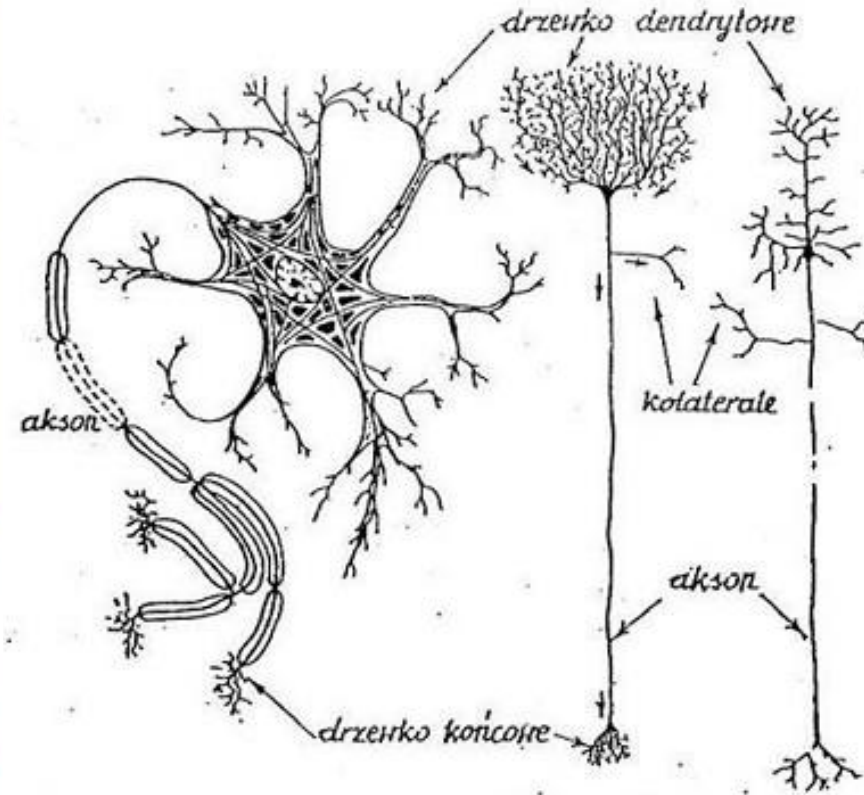
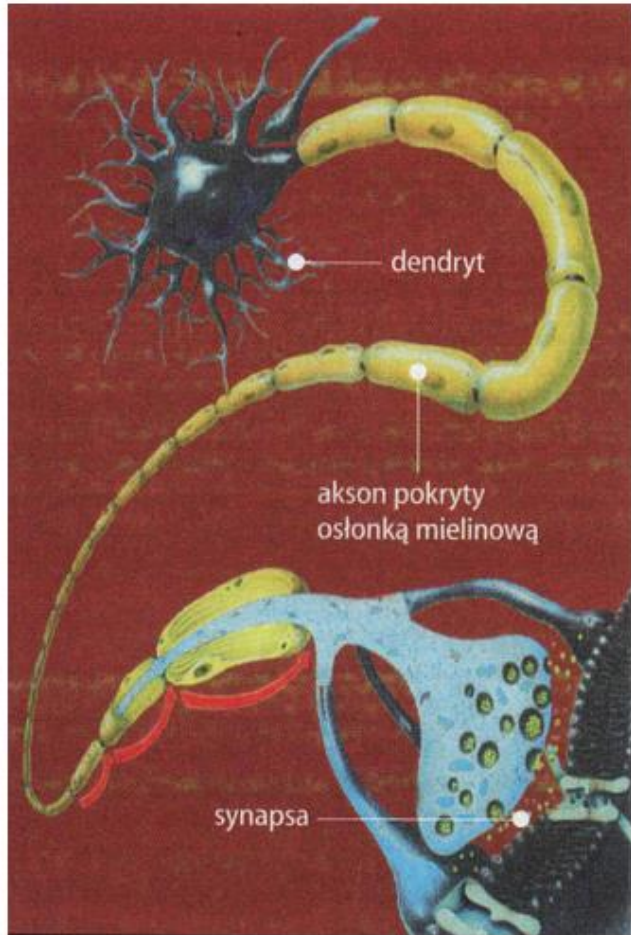
bozena.kostek@pg.edu.pl
[wprowadzenie SI@multimed.org](http://wprowadzenie_SI@multimed.org)

Wprowadzenie do sztucznej inteligencji

Podstawy SI

- ▶ Materiały do wykładu:
- ▶ <http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~vlsi/AI/wstep/>
- ▶ http://www.neurosoft.edu.pl/media/pdf/tkwater/nowoczesne_tehniki_informatyczne/ssn.pdf
- ▶ E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.
- ▶ J. Renowski, Politechnika Wroclawska

Budowa komórki nerwowej (analogia do neuronu)

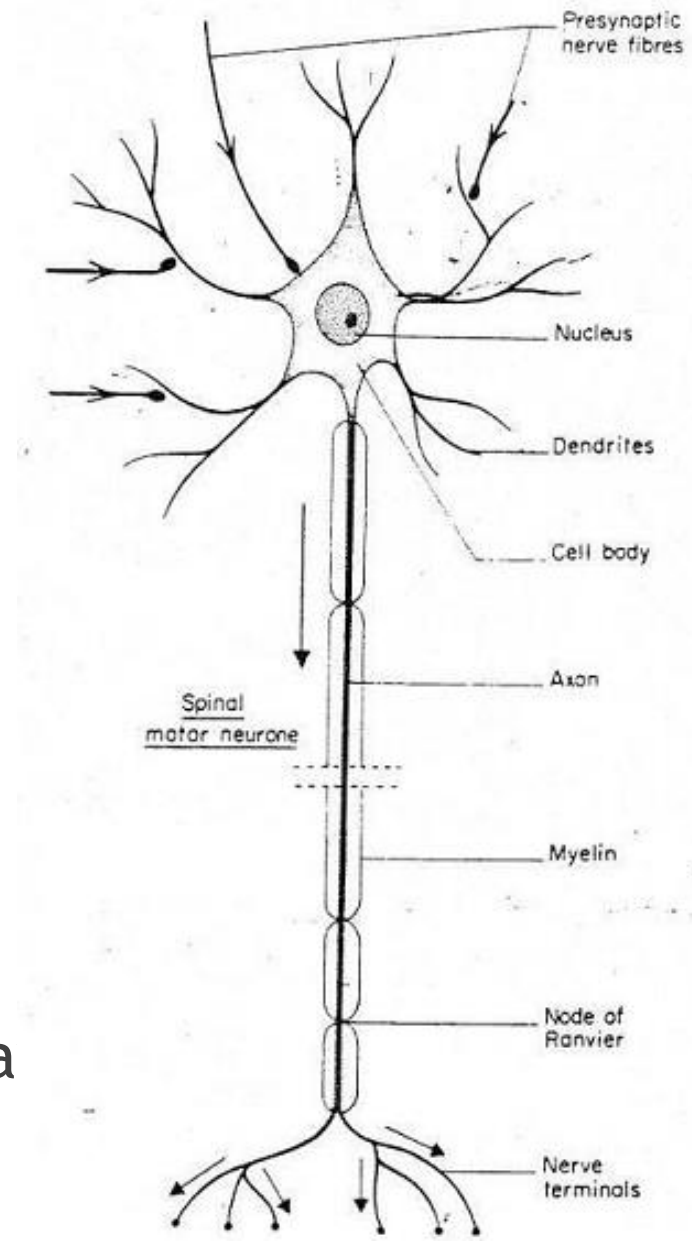


Różnice w kształcie komórki nerwowej wynikają z funkcji, jaką pełni oraz od miejsca występowania np. komórki układu obwodowego mają dłuższy akson.

E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.

Budowa komórki nerwowej

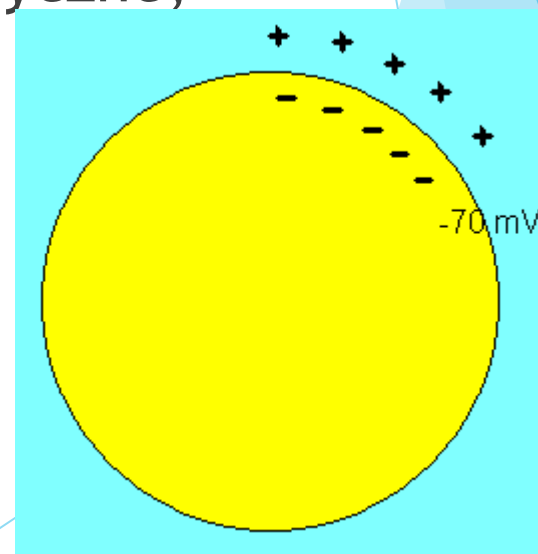
- ▶ Część odbiorcza:
 - drzewo dendrytowe,
 - ▶ Część przewodząca:
 - akson (neuryt),
 - ▶ Część nadawcza:
 - zakończenia nerwowe z synapsami.
- układu nerwowego, PZWL, Warszawa



∴ Walsh, Fizjologia

Właściwości komórki nerwowej

- ▶ Błona komórkowa - grubość od 50 do 100 Å
- ▶ Istnieje pewna różnica potencjałów, po obu stronach błony, czyli na błonie panuje pewne napięcie elektryczne, zwane napięciem na błonie.
- ▶ Różnica potencjałów to ok. 60-90 mV



Właściwości komórki nerwowej

- ▶ Pod wpływem określonych bodźców (elektro-chemicznych) powstają pewne złożone, ale krótkotrwałe procesy elektro-chemiczne rozchodzące się wzdłuż powierzchni błony. Te przebiegi nazywa się **potencjałami czynnościowymi**.

Właściwości komórki nerwowej

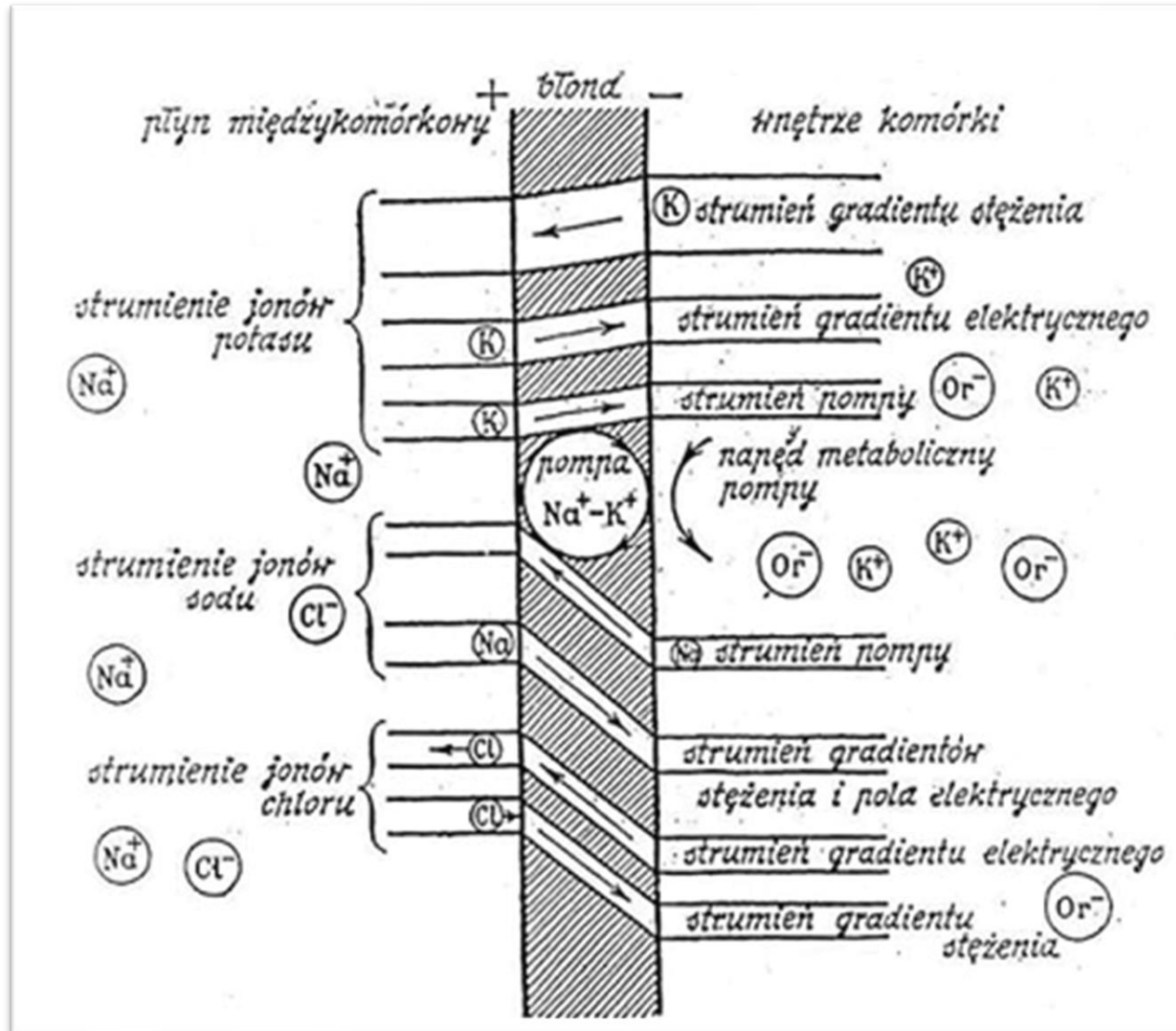
▶ Błoną komórkową rządzą cztery zjawiska:

- I. Różnica stężenia różnych jonów powoduje ich ruch wzdłuż gradientu stężeń tych jonów.
- II. Istnieje selektywność błony polegająca na różnej zdolności przepuszczania różnych jonów.
- III. Możliwy jest ruch jonów pod wpływem pola elektrycznego - gradient ładunku.
- IV. Istnieje aktywny transport jonów sodu i potasu przez błonę w kierunku przeciwnym do gradientu stężeń: pompa sodowo-potasowa.

Właściwości komórki nerwowej

- ▶ W stanie ustalonym (spoczynku) przepuszczalność błony jest większa dla jonów potasu i chloru niż dla jonów sodu. Temu zjawisku przeciwdziała strumień pompy.
- ▶ Błona komórkowa chroni przed dyfuzją jonów oraz elektrycznymi zależnościami - gradientem stężeń.

Pompa sodowo-potasowa



E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.

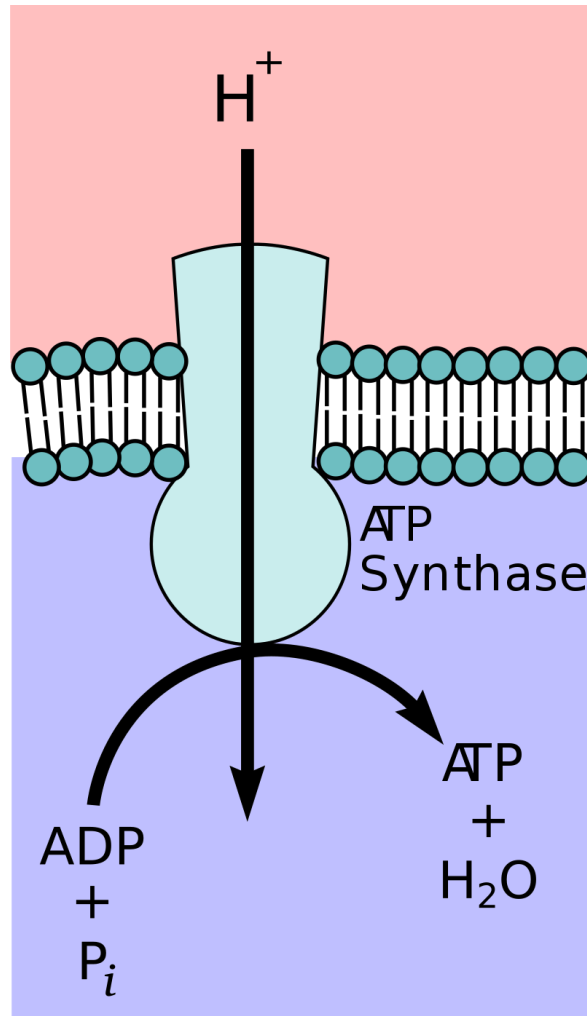
Pompa sodowo-potasowa

- ▶ Pompa jonowa jest to aktywny mechanizm utrzymujący duże stężenie jonów potasu i małe jonów sodu wewnątrz komórki.
- ▶ Transmisja jonów wbrew gradientowi stężeń: jony Na^+ na zewnątrz, a jony K^+ do wewnątrz komórki. Do tego celu wykorzystywana jest energia z cząsteczki ATP.
- ▶ ATP - **Adenozyno-5'-trójfosforan (ATP)** - organiczny związek chemiczny, nukleotyd adeninowy zbudowany z grupy trifosforanowej przyłączonej w pozycji 5' cząsteczki adenozyny, tworząc bezwodnik kwasu fosforowego^[2]. Odgrywa ważną rolę w biologii komórki, jako wielofunkcyjny koenzym i molekularna jednostka w wewnątrzkomórkowym transporcie energii^[3].

Pompa sodowo-potasowa

- ▶ Pompa sodowo-potasowa jest to przykład mechanizmu aktywnego transportu. Transport ten polega na "przepompowywaniu" cząstek z obszaru o niższym stężeniu do obszaru o stężeniu wyższym (wbrew malejącemu gradientowi stężenia), energii zakumulowanej w tym gradiencie nie można wykorzystać, konieczne jest zatem dostarczenie jej z innego źródła (często jest nim ATP).

Pompa sodowo-potasowa



By Mitochondriale_Elektronentransportkette.svg: Klaus Hoffmeierderivative work: Matt (talk)
Mitochondriale_Elektronentransportkette.svg, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10616036>

Akson

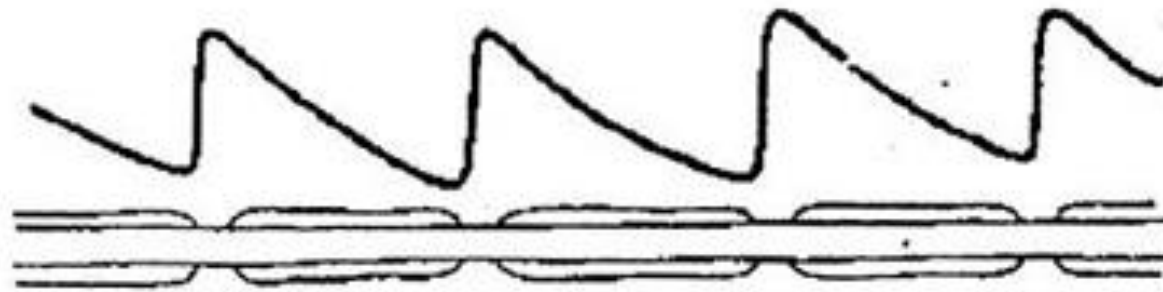
- ▶ Akson jest swoistym **odpowiednikiem przewodnika** w komórce nerwowej, którego zadaniem jest przesyłanie informacji z ciała komórki do zakończeń nerwowych.
- ▶ Neuryt otoczony jest **osłonką mielinową**. Mielina pełni funkcję **ochrony mechanicznej** oraz **izolatora elektrycznego** aksonu.

Akson

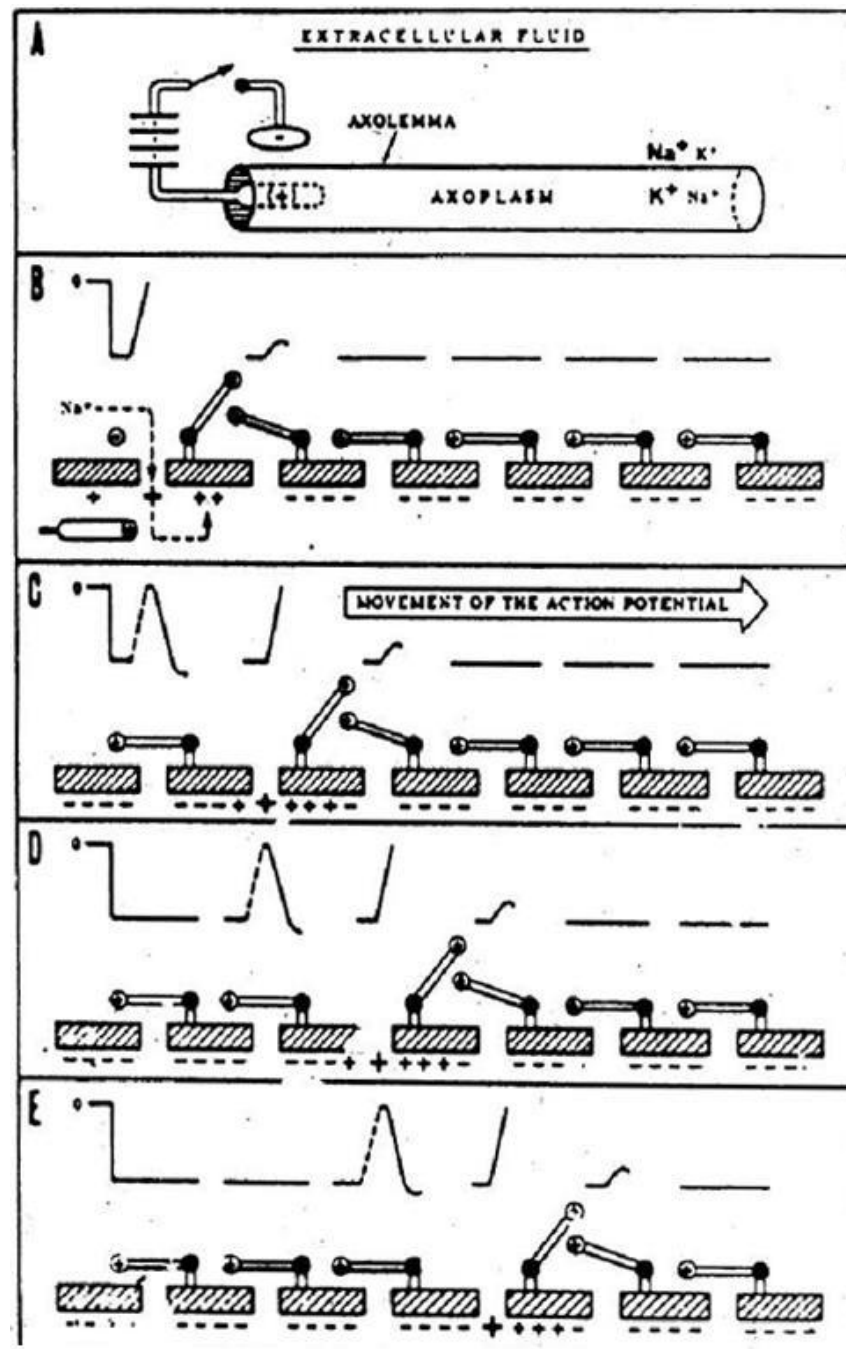
- ▶ Impuls nerwowy przechodzący przez osłonięty neuryt jest tłumiony. Tłumienność zależy od grubości włókna. Jednakże jego prędkość jest ogromna, gdyż jest izolowany.
- ▶ Aby sygnał mógł się odnowić, co pewną odległość występują przewężenia - miejsca nieosłonięte mieliną - zwane **przewężeniami Ranviera**. Nie ma w nich mieliny, lecz duża liczba kanałów jonowych.

Akson

- ▶ W przewężeniu prędkość sygnału jest bardzo wolna, jednakże służą one temu, aby impuls uległ regeneracji, czyli powtórne



Rys. Rozkład amplitud przebiegów wzdłuż włókna zmielinizowanego



Propagacja potencjałów czynnościowych

Rys.12 Propagacja potencjałów.

Akson

Włókno:	Prędkość:
grube	20 - 150 [m/s]
średnie	3 - 15 [m/s]
cienkie	0,5 - 2 [m/s]

	Tłumienie	Prędkość
Przewężenie Ranviera	małe	wolna
Akson otoczony mieliną	duże	duża

Dendryty

- ▶ Dendryty pełnią funkcję **odbiorczą** w neuronie. Przesyłają odebraną za pomocą **synaps** informację z innych neuronów do ciała komórki.
- ▶ Posiadają rozgałęzioną strukturę.

Synapsy

- ▶ Za ich pomocą odbywa się **przekazywanie i odbiór sygnałów elektrycznych** pomiędzy komórkami. Dzieje się to za pomocą określonej substancji chemicznej - mediatora (neuroprzekaźnika) np.: acetylocholinoi.

Rys. J. Renowski, P. Wrocław.

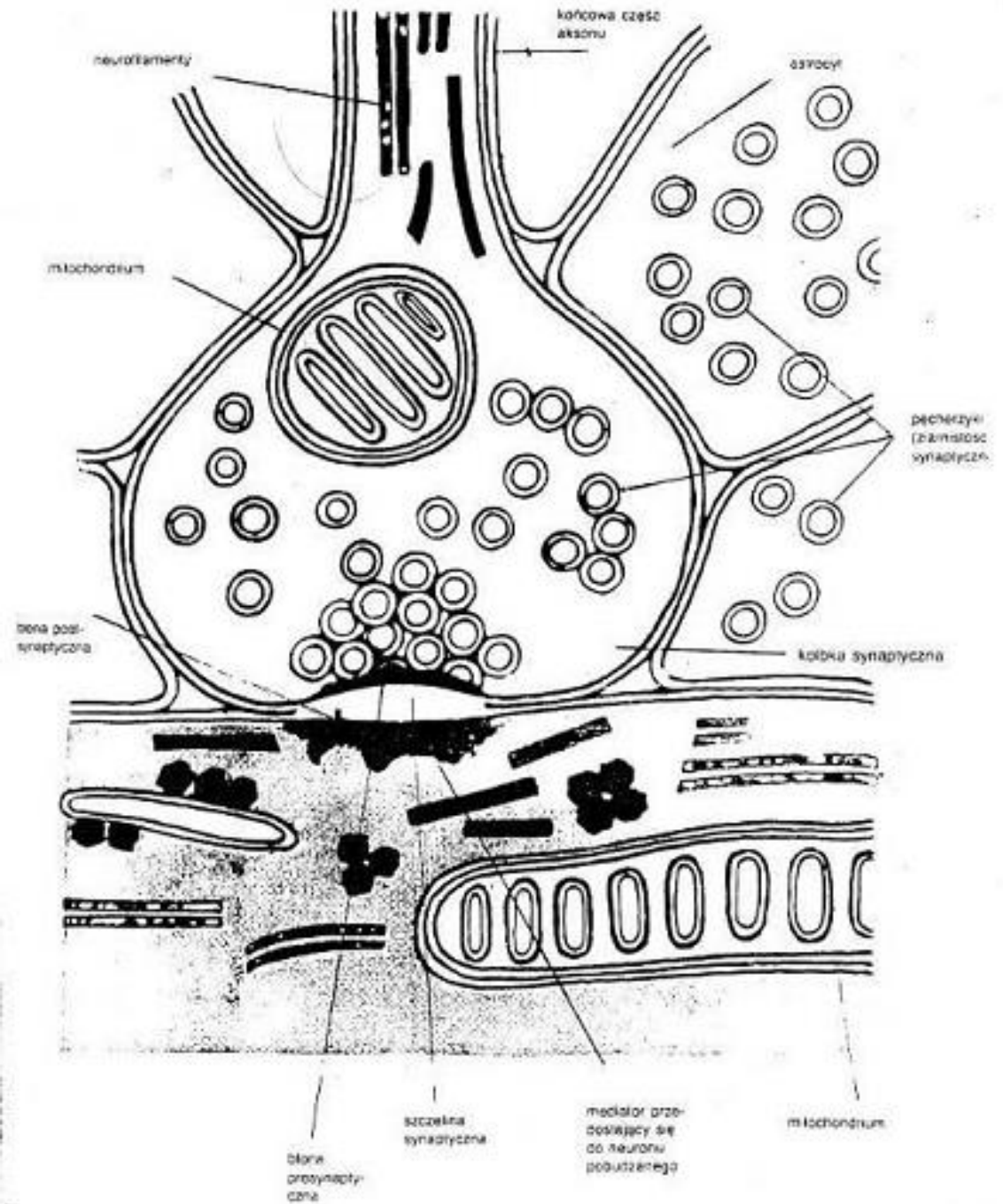


Synapsy

Sygnal elektryczny dociera do synapsy, tam w pęcherzykach synaptycznych znajduje się **neuroprzebieżnik**. Zostaje on wydzielony do **szczeliny synaptycznej**.

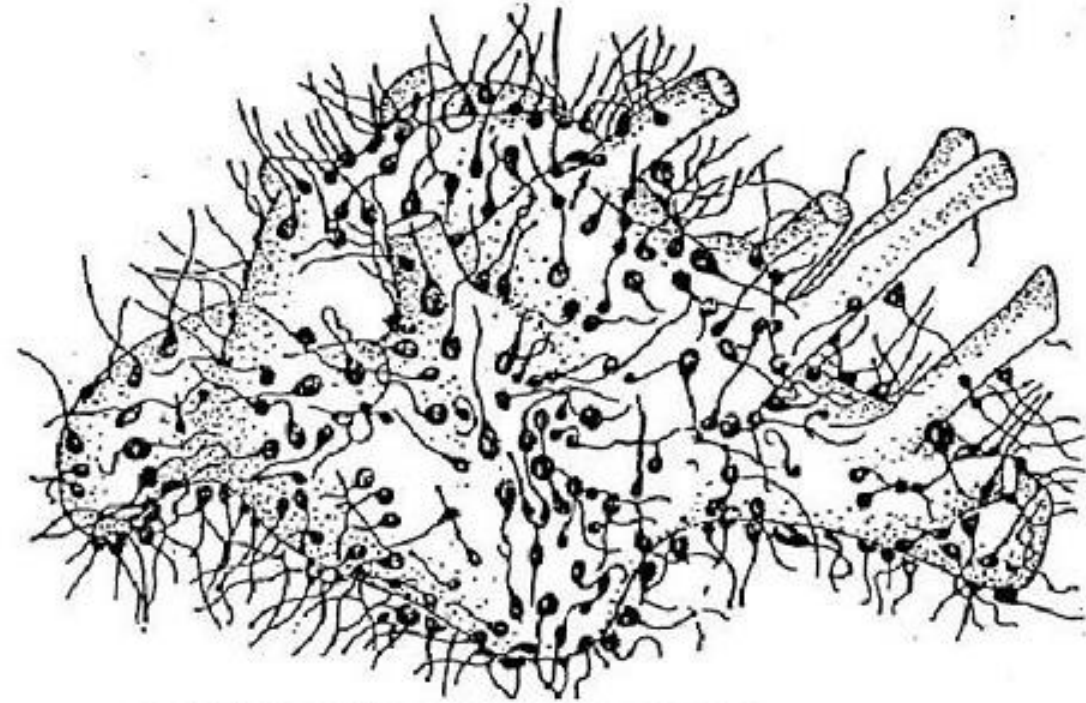
Od strony wydzielającej można wyróżnić **błonę presynaptyczną**, zaś po stronie odbiorczej **błonę postsynaptyczną**.

Rys. Budowa synapsy (E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.)



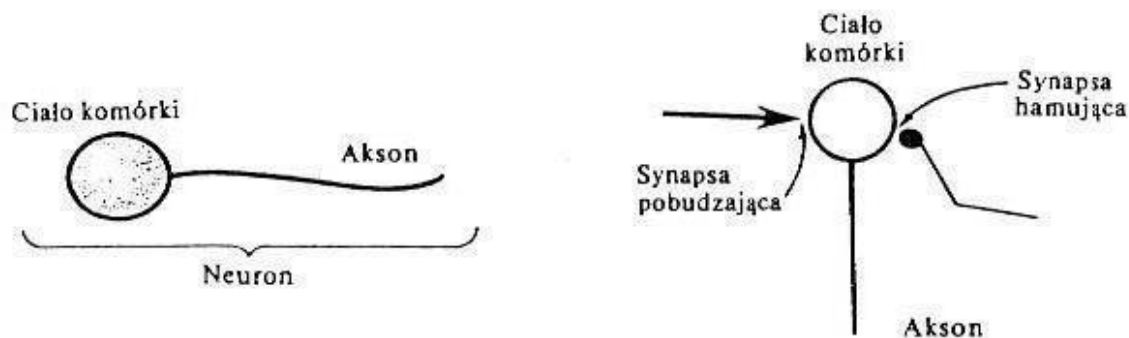
Synapsy

- ▶ Synapsy są gęsto ułożone na zakończeniach k. nerwowych. Jest ich bardzo dużo, ich działanie jest rozłożone w czasie (mediator rozkładany jest z pewną stałą czasową: 2 do 4 ms), z czego wynikają opóźnienia w zadziałaniu neuronu.
- ▶ Podczas przekazywania informacji nie działa jedna synapsa, lecz wiele. Stąd mówi się o sumowaniu: przestrzennym i czasowym bodźców.
- ▶ Rys. Przykład rozmieszczenia synaps na komórce nerwowej (E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.)



Synapsy

- ▶ Wyróżnia się synapsy pobudzające i hamujące, które doprowadzają do stanu równowagi.



Rys. 9 Akson – synapsa.

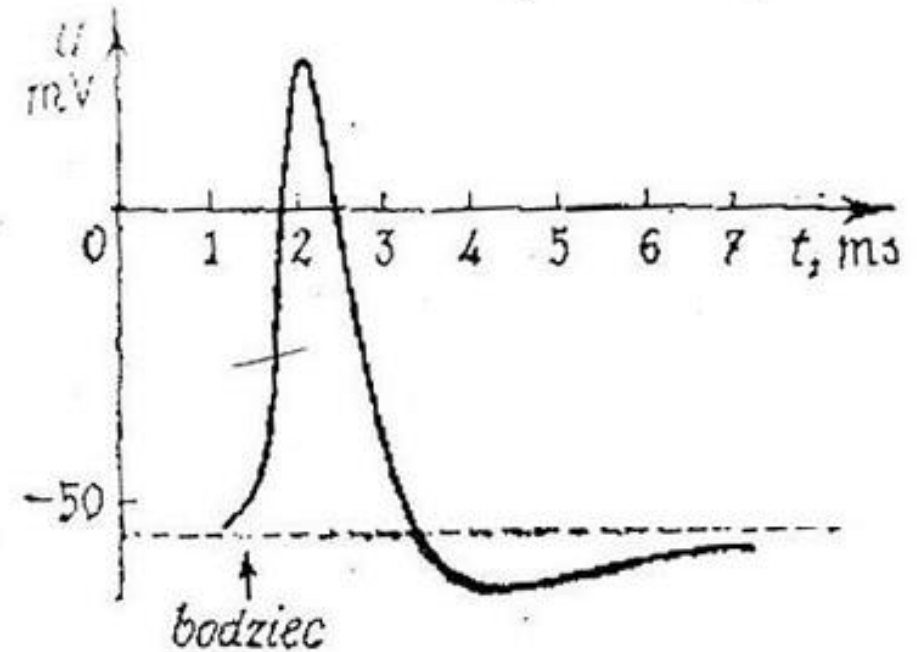
Średnica synapsy	0,5 - 2 [μm]
Szczelina synaptyczna	200 Å
Opóźnienie synaptyczne	0,5 [ms]
Czas przestania informacji przez włókno nerwowe	0,5 - 12 [ms]

Synapsy

- ▶ Typowy akson neuronu łączy się z ok. 10 tys. synaps innych neuronów.
- ▶ Duża liczba synaps, z których łączy się każdy neuron, oznacza, że istnieje wiele składników w „sumie” wejść (tzw. sumowanie przestrzenne), którą „oblicza” każdy neuron.
- ▶ Oznacza to, że nawet jeśli wystąpią błędy w przekazaniu informacji, to mogą być nieistotne. Dlatego można oczekiwać, że taki system będzie odporny na błędy i nie będzie to miało wpływu na wydajność neuronu.

Potencjały

- ▶ **Potencjał spoczynkowy** - jest to różnica potencjałów na błonie komórkowej w stanie spoczynku komórki. Wynosi od -60 do -90 [mV].
- ▶ **Potencjał czynnościowy** - jest to chwilowa zmiana potencjału na błonie komórkowej.
- ▶ Potencjał czynnościowy trwa ok. 1 [ms] w przypadku komórki nerwowej
- ▶ Rys. Potencjał czynnościowej (E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.)



Różnice pomiędzy rozchodzeniem się bodźca w aksonie a pobudzeniem rozchodzącym się w synapsie

Pobudzenie aksonu to zjawisko określane w fizjologii "wszystko albo nic", polegające na tym, że bodziec, jeśli jest dostatecznie silny, wyzwala zawsze tę samą reakcję, jeśli jest zbyt słaby, nie jest w stanie nawet reakcji zapoczątkować.

W synapsie, każdy nadchodzący bodziec powoduje przejście na drugą stronę szczeliny synaptycznej pewnej porcji mediatora chemicznego. Synapsy przewodzą sygnał tylko w jednym kierunku — od aksonu jednej komórki do dendrytu drugiej.

Powstanie potencjału czynnościowego

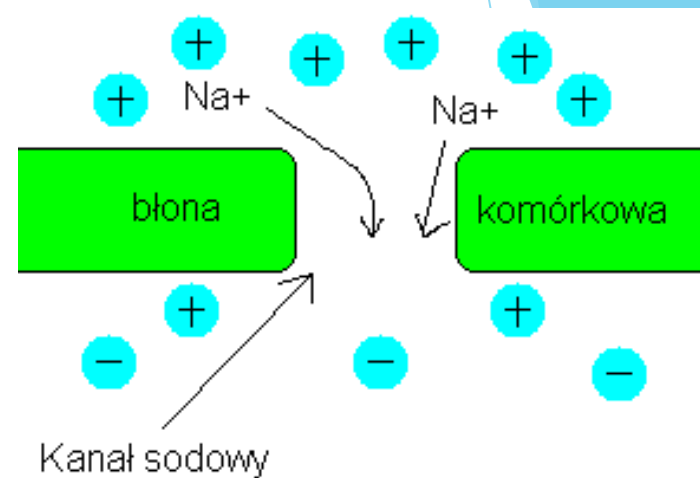
- ▶ Gdy pojawia się **potencjał czynnościowy** znikają bariery dla Na^+ . Wnika on do wnętrza komórki zgodnie z gradientem stężeń.



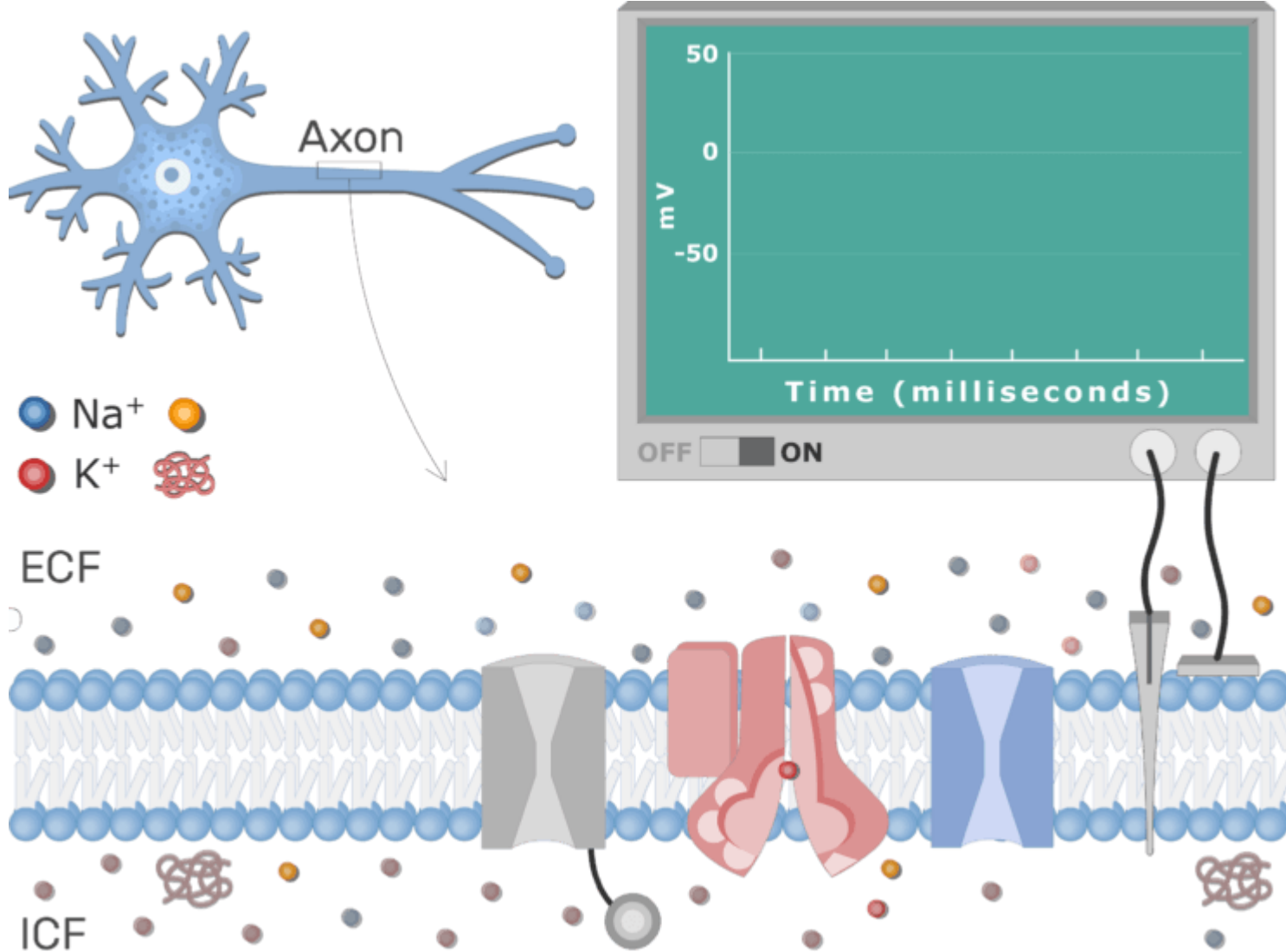
- ▶ Dla potencjału czynnościowego wewnątrz staje się bardziej dodatnie w wyniku wnikania jonów sodu. Faza, w której jony wnikają do środka to faza depolaryzacji.



- ▶ Kolejnym etapem jest otwarcie kanałów potasowych. Te zmiany zachodzą wzdłuż aksonu - czyli pobudzenie - potencjał się przesuwa.

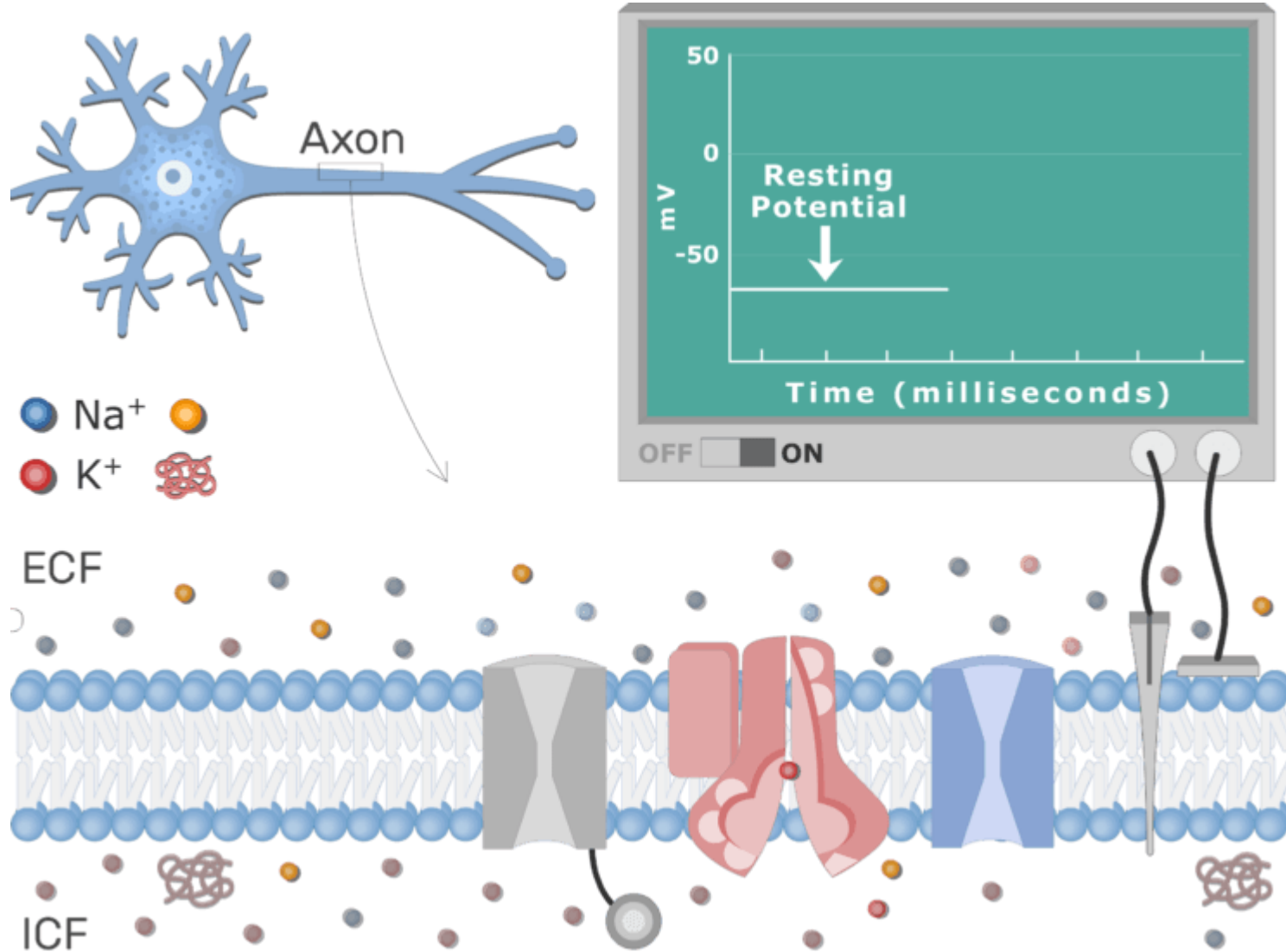


Powstanie potencjału czynnościowego



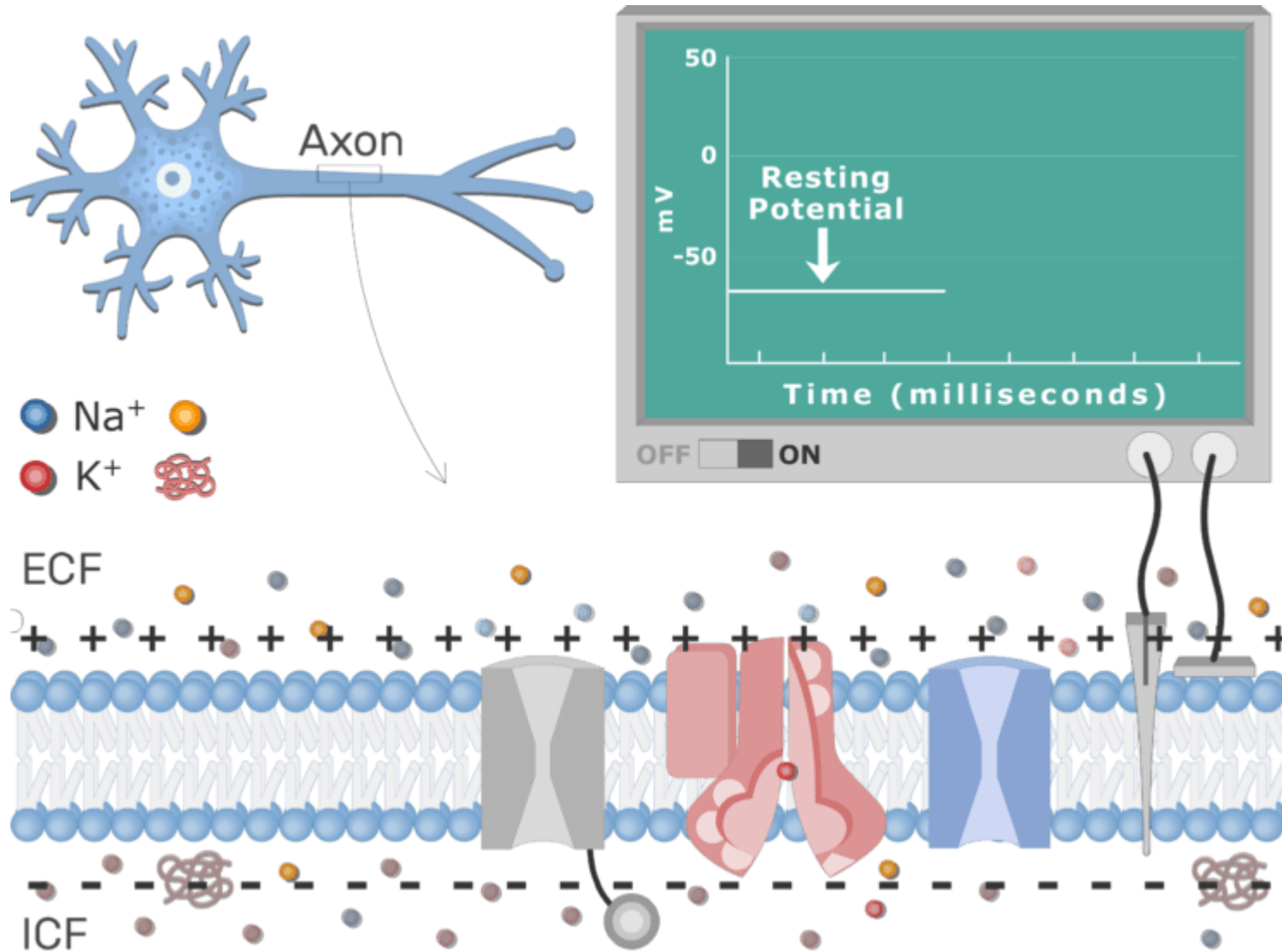
Powstanie potencjału czynnościowego (ilustracja); <https://www.getbodysmart.com/nervous-system/action-potential-events>

Powstanie potencjału czynnościowego



Powstanie potencjału czynnościowego (ilustracja); <https://www.getbodysmart.com/nervous-system/action-potential-events>

Powstanie potencjału czynnościowego



Powstanie potencjału czynnościowego (ilustracja); <https://www.gettyimages.com/nervous-system/action-potential-events>

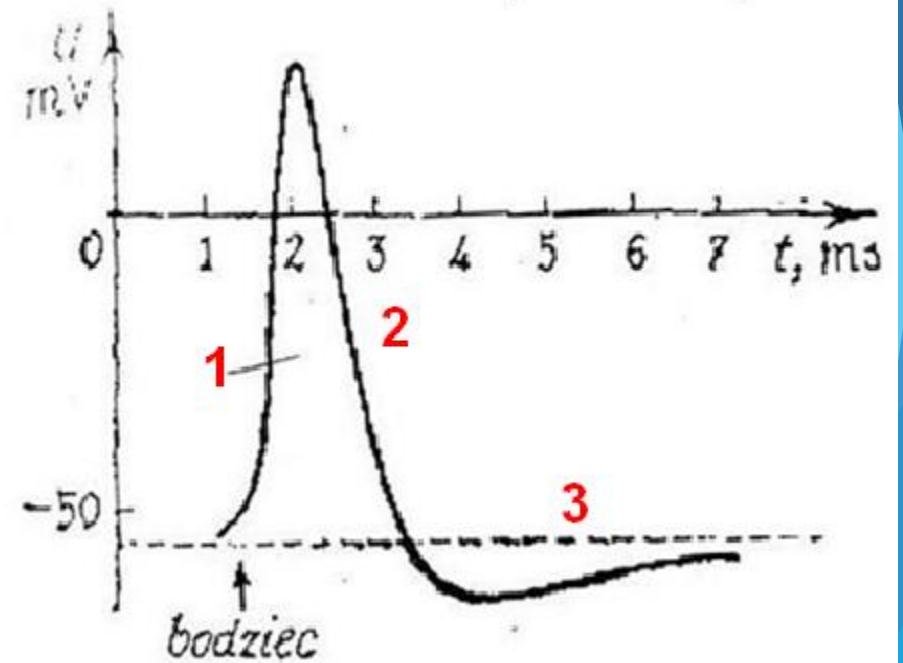
Potencjał czynnościowy

FAZY:

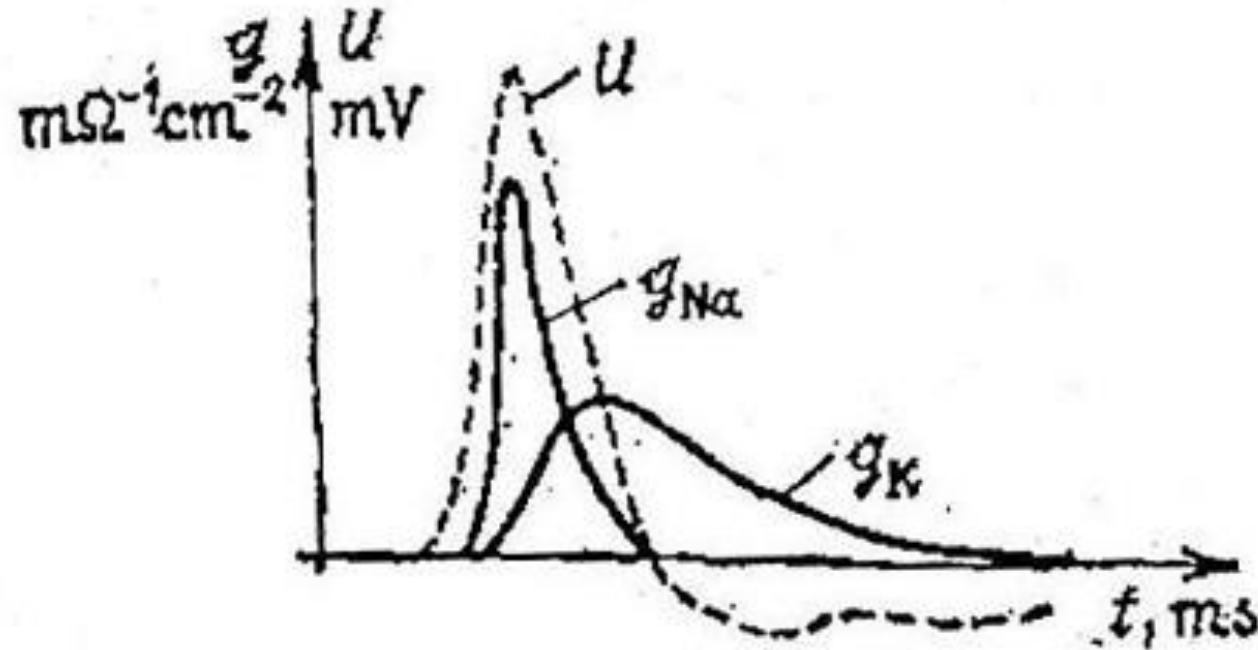
1. Depolaryzacja (narastanie potencjału)
2. Repolaryzacja
3. Polaryzacja

Rys. Potencjał czynnościowy w czasie

(E. Walsh, Fizjologia układu nerwowego, PZWL, Warszawa, 1966.)

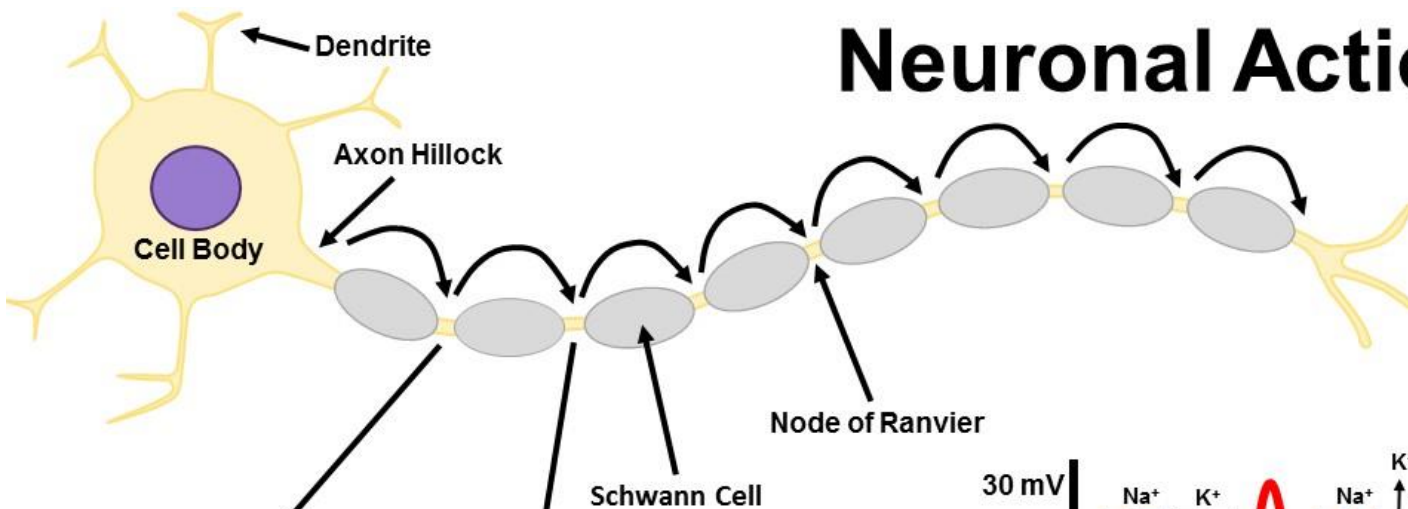


Potencjał czynnościowy

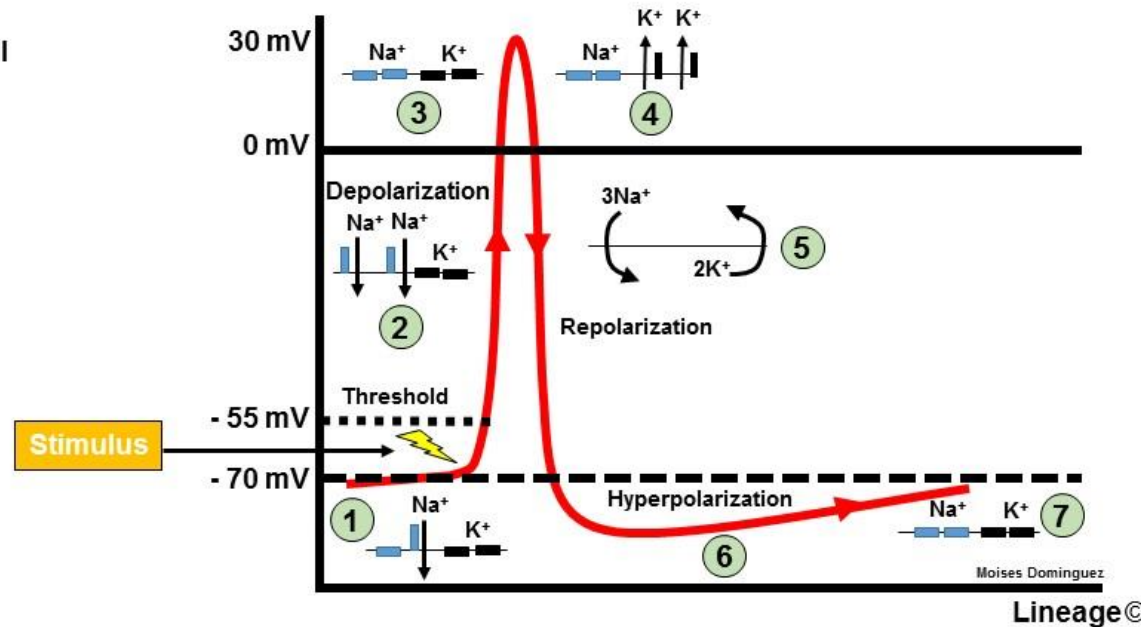
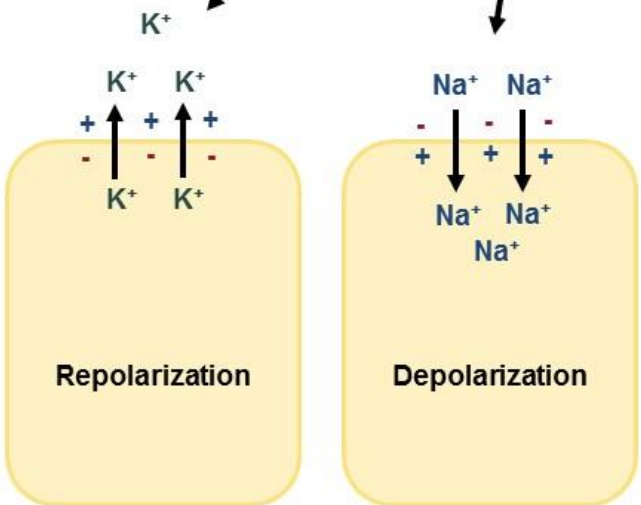


Rys. Zmiany przewodności dla jonów sodu i potasu na tle przebiegu potencjału czynnościowego w czasie.

Rozchodzenie się potencjału czynnościowego w aksonie



Neuronal Action Potential

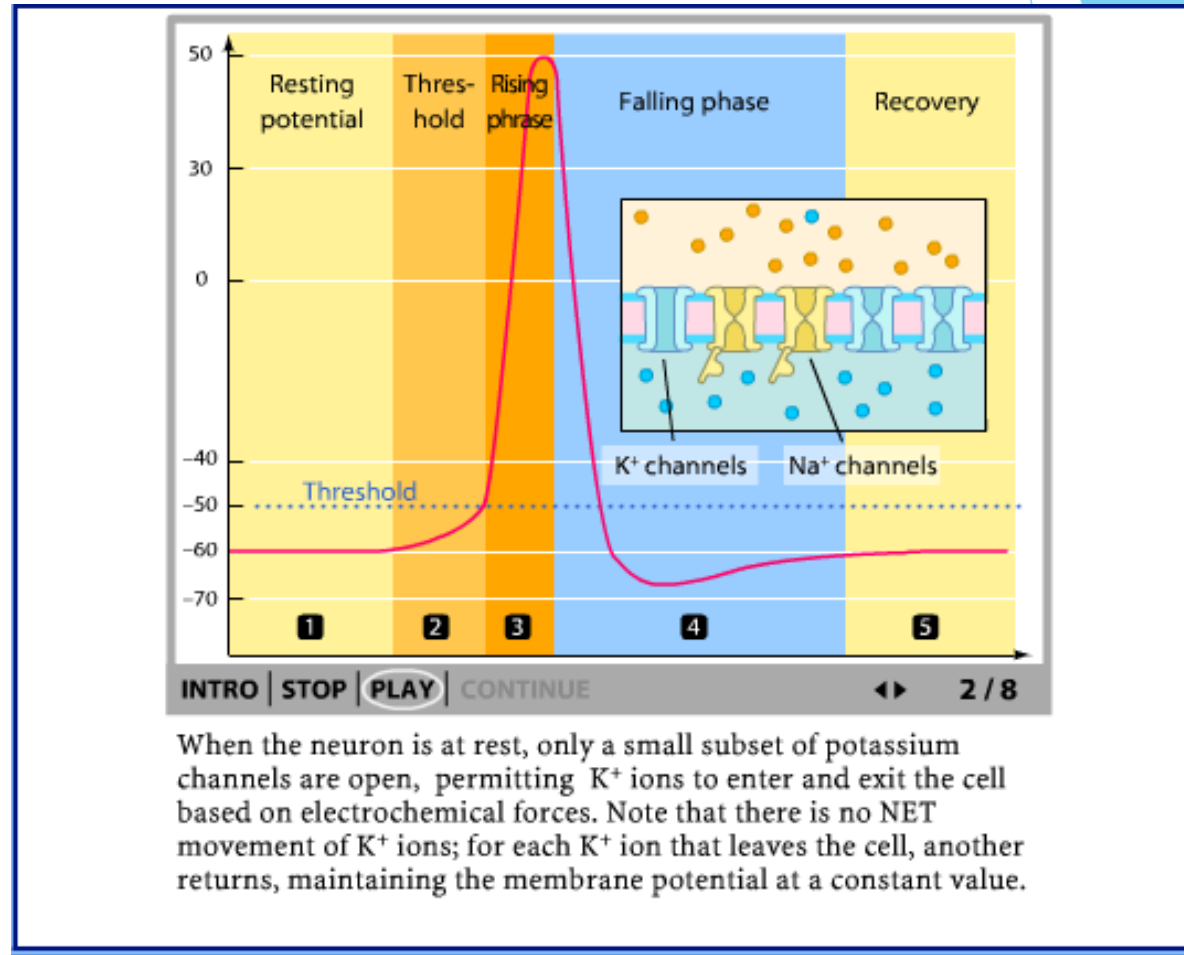


<https://step1.m edbullets.com/n eurology/113052 /action-potential-basics>

Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

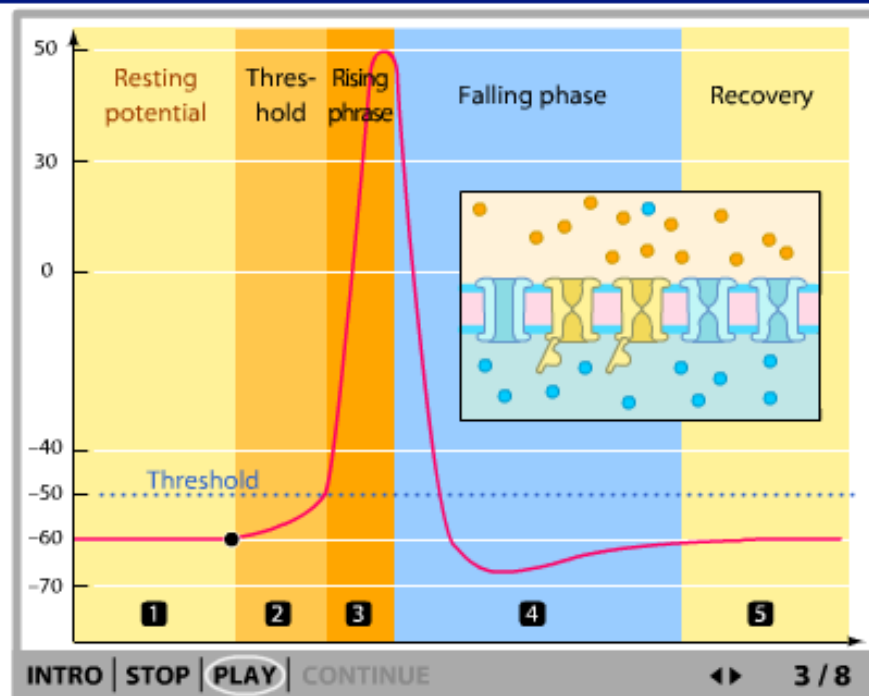
1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego



Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu (*threshold*)
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego

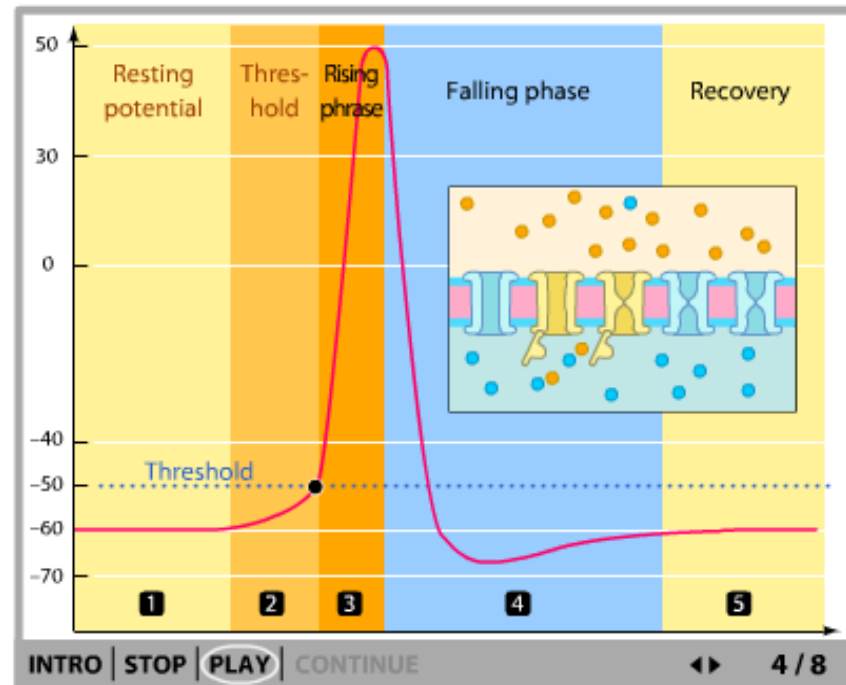


As a depolarizing stimulus arrives at our segment of the membrane, a few Na⁺ channels open, permitting Na⁺ ions to enter the neuron. The increase in positive ions inside the cell depolarizes the membrane potential (making it less negative), and brings it closer to the threshold at which an action potential is generated.

Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego

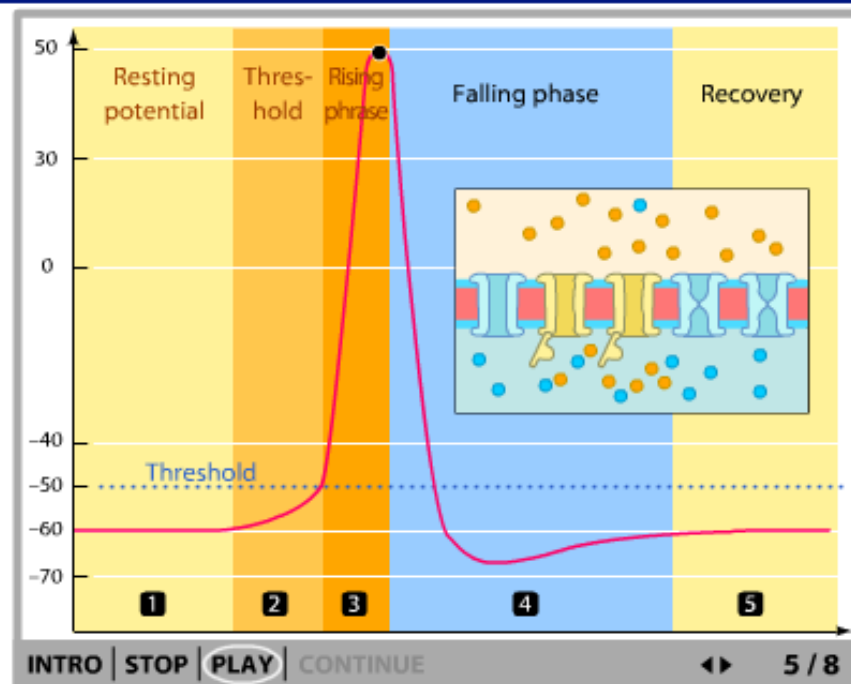


If the depolarization reaches the threshold potential, additional voltage-gated sodium channels open. As positive Na⁺ ions rush into the cell, the voltage across the membrane rapidly reverses and reaches its most positive value.

Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego

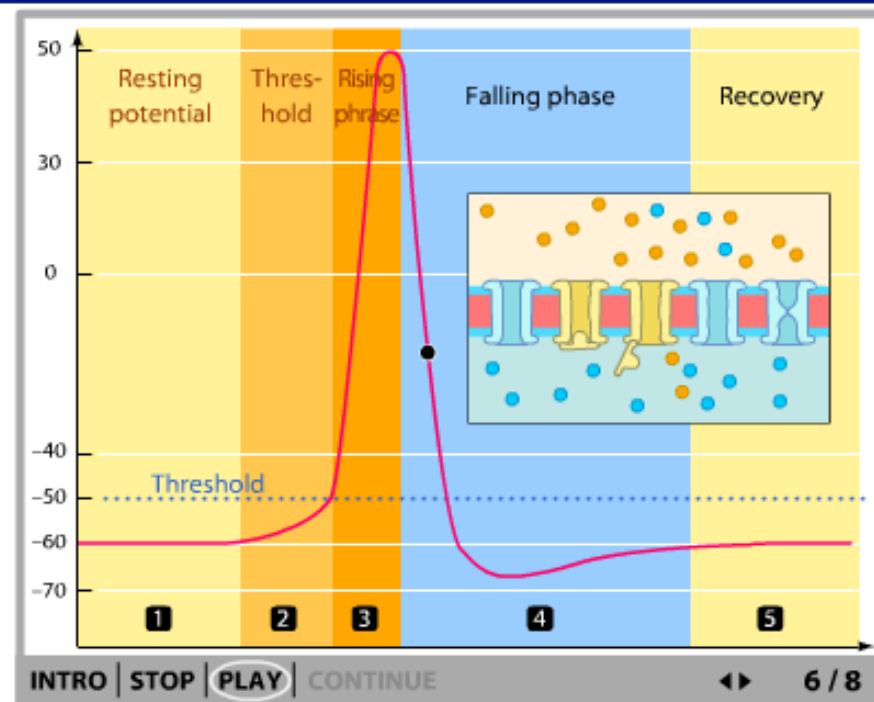


At the peak of the action potential, two processes occur simultaneously. First, many of the voltage-gated sodium channels begin to close. Second, many more potassium channels open, allowing positive charges to leave the cell. This causes the membrane potential to begin to shift back towards the resting membrane potential.

Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego

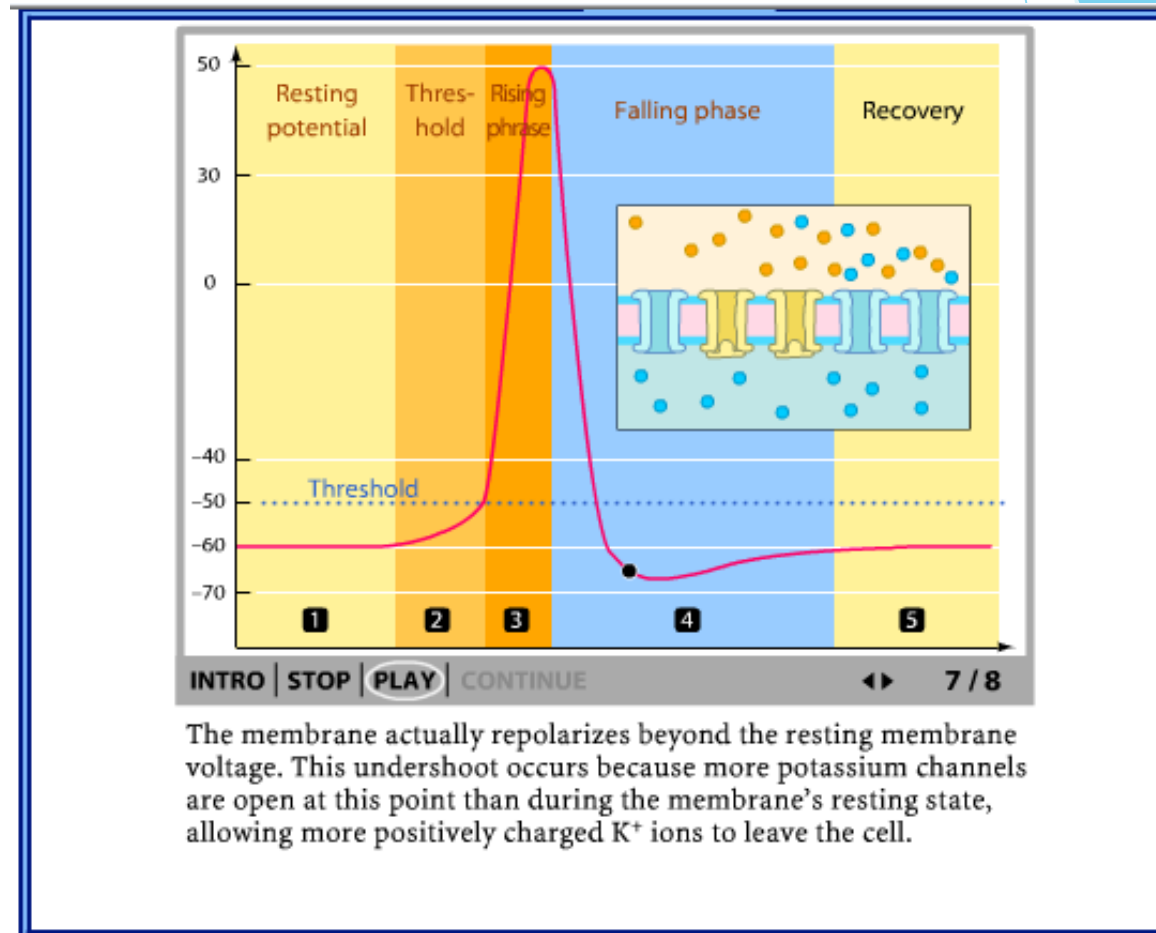


As the membrane potential approaches the resting potential, voltage-gated potassium channels are maximally activated and open.

Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

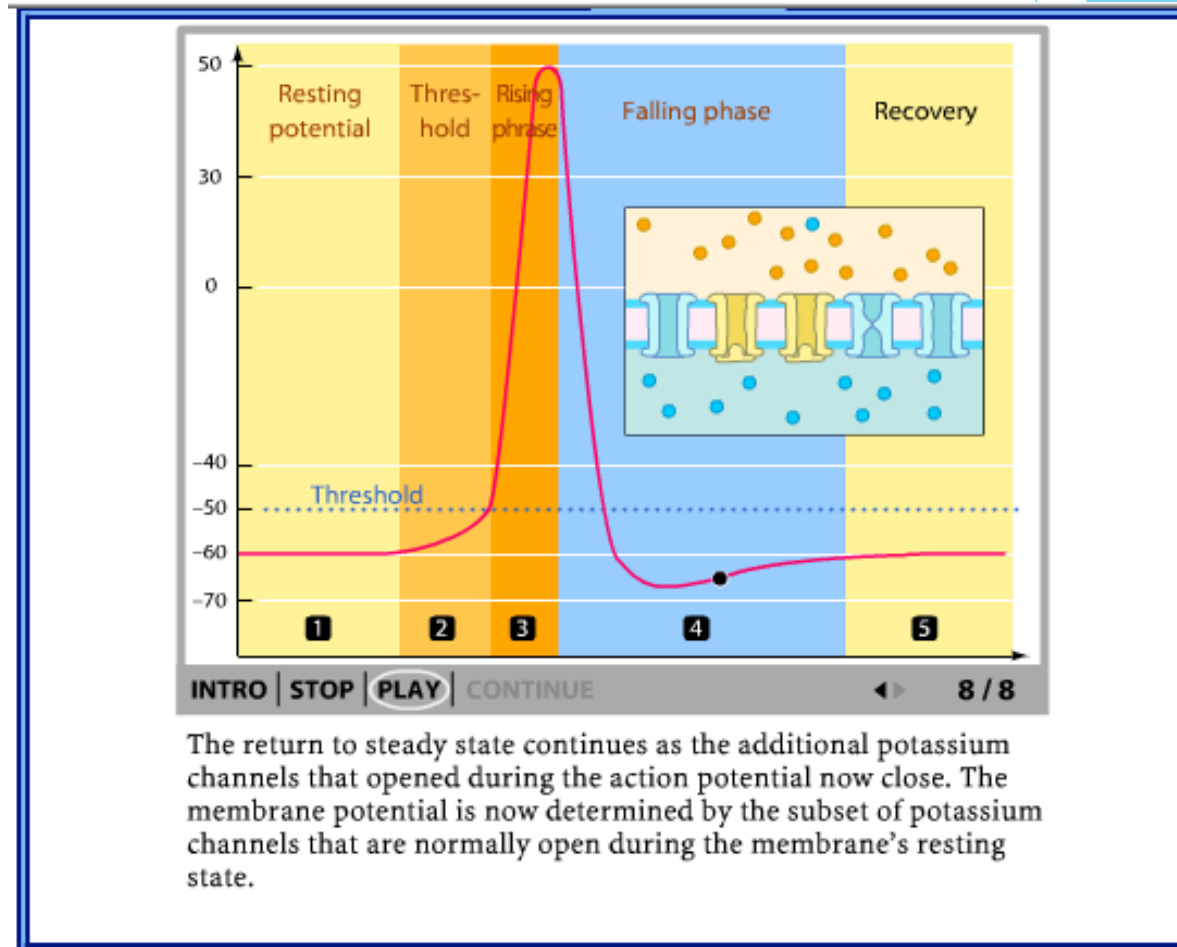
1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego



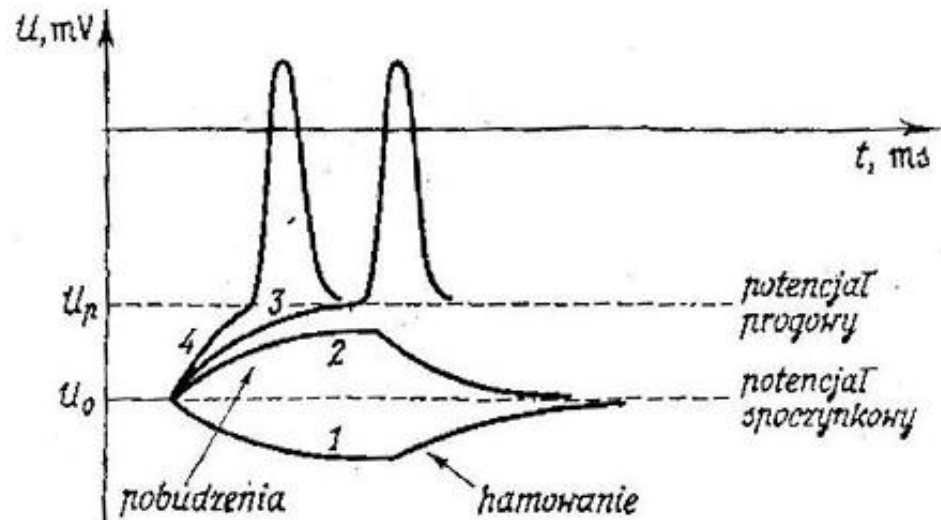
Potencjał czynnościowy

FAZY budowania pot. czynnościowego:

1. Potencjał spoczynkowy
2. Przekroczenie progu
3. Narastanie potencjału czynnościowego
4. Faza opadania potencjału
5. Powrót do stanu początkowego



Potencjał czynnościowy

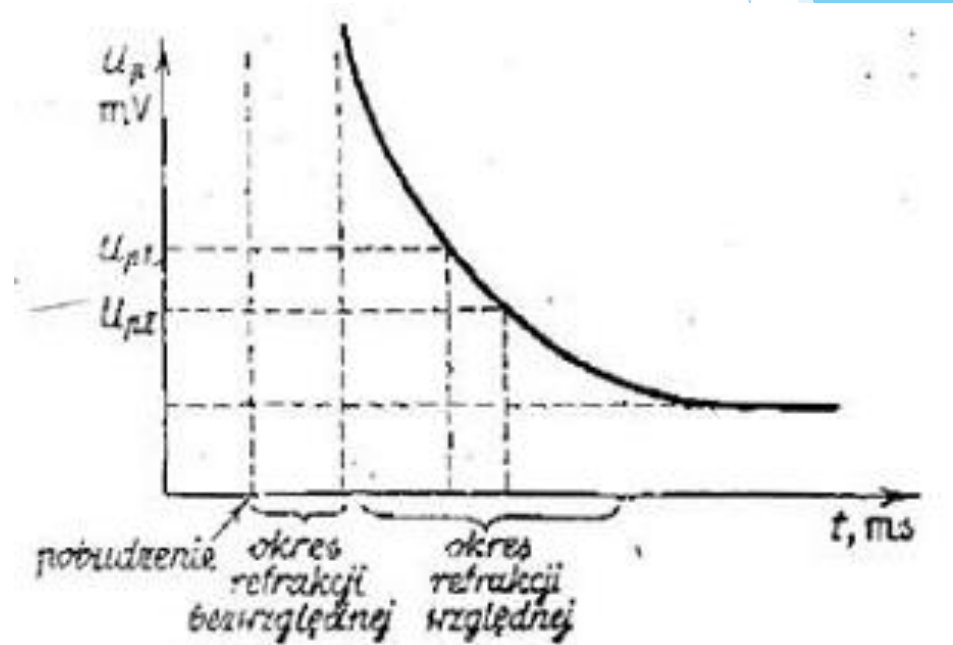


Rys. Przebieg sygnału dla różnych pobudzeń.

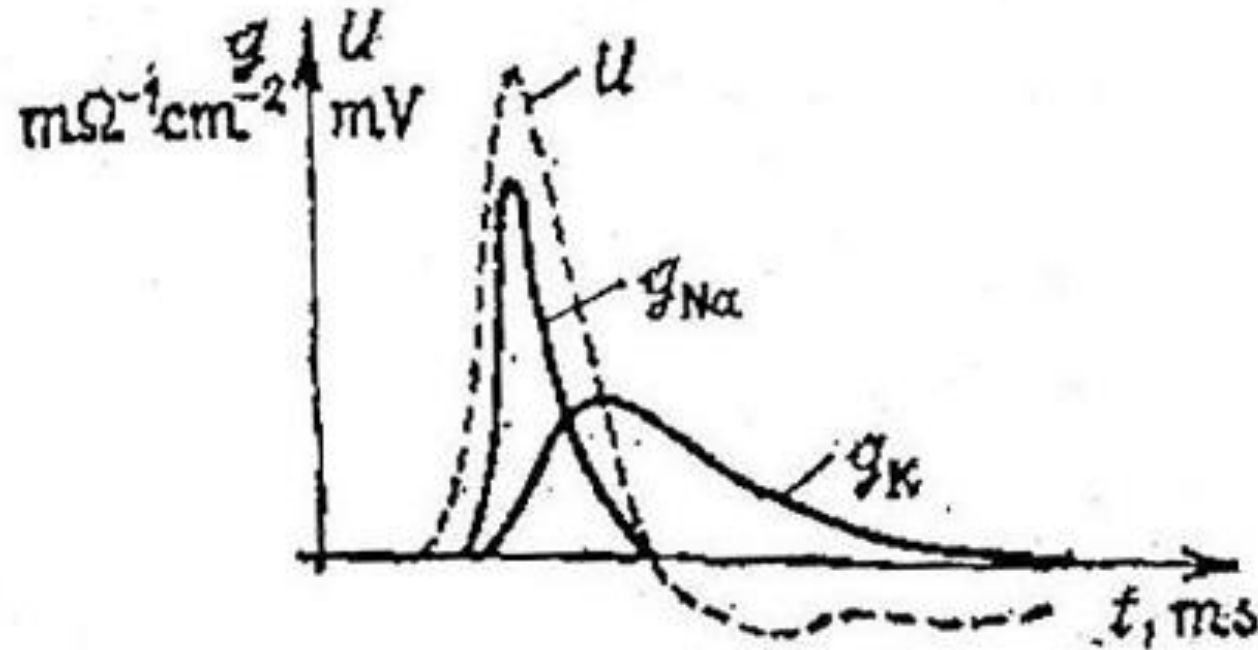
- ▶ Aby mógł się wytworzyć potencjał czynnościowy, pobudzenie musi przekroczyć potencjał progowy U_p .

Potencjał czynnościowy

- ▶ W czasie refrakcji bezwzględnej nie może wytworzyć się potencjał czynnościowy.
- ▶ W czasie refrakcji względnej może się wytworzyć, jednakże pobudzenie musi przekroczyć podwyższone napięcie progowe.
- ▶ Refrakcja zabezpiecza przed sumowaniem się potencjałów cz. oraz zapewnia przewodzenie potencjału tylko w jednym kierunku.

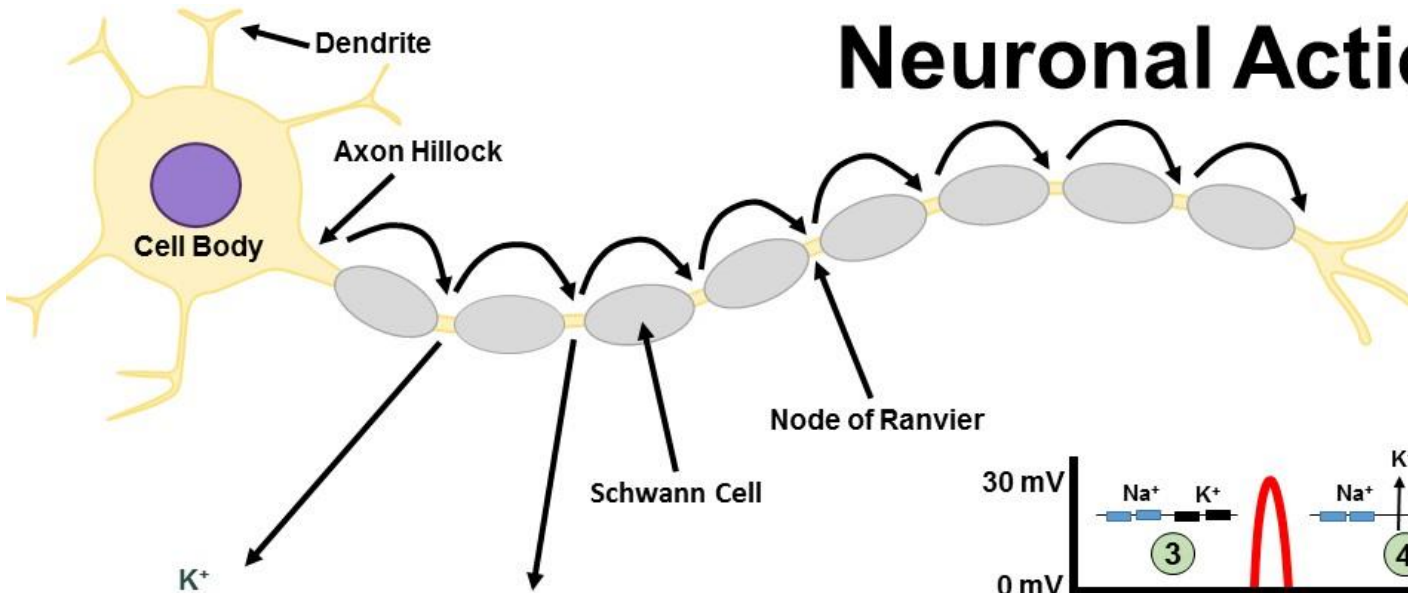


Potencjał czynnościowy

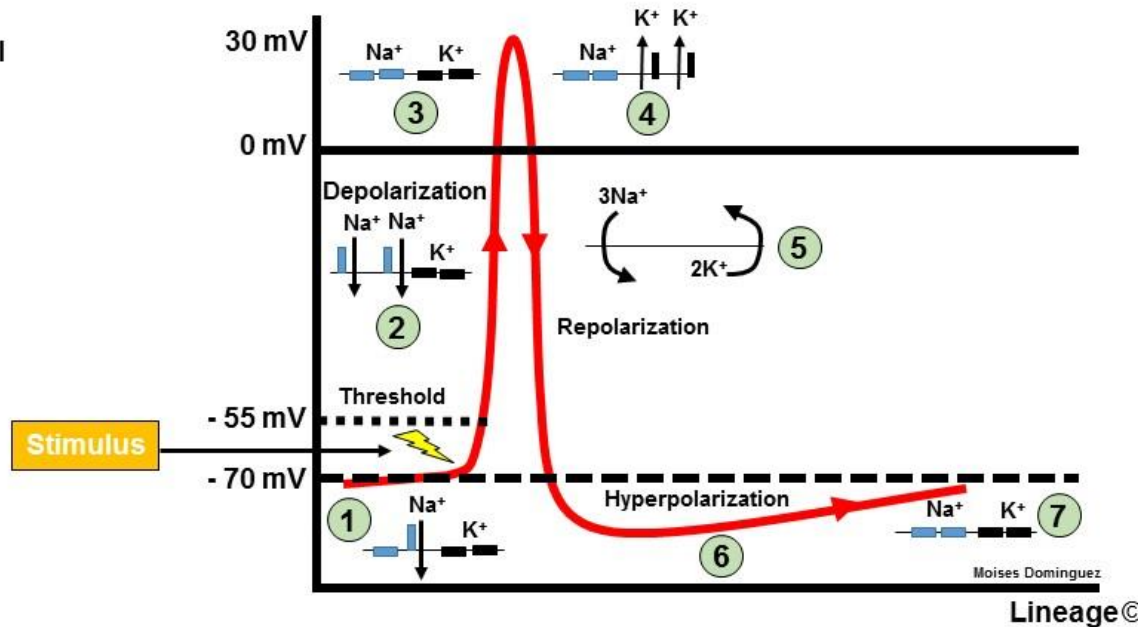
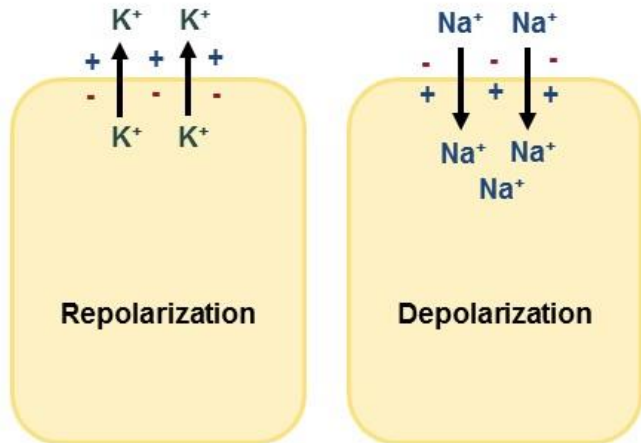


Rys. Zmiany przewodności dla jonów sodu i potasu na tle przebiegu potencjału czynnościowego w czasie.

Rozchodzenie się potencjału czynnościowego w aksonie



Neuronal Action Potential



https://www.google.com/search?q=bcs+action+potential&oeq=bcs+action+potential&gs_lcrp=EgZjaHJvWUyBggAEEUYOTIHCAEigATIHCAIQIRigAdIBCjEvlyajBqMTWoAgiwAgHxBEizd0zwL&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:89496,vid:oa6rvUJlg7o,0

Pobudzenie aksonu

Różnice pomiędzy rozchodzeniem się bodźca w aksonie a pobudzeniem rozchodzącym się w synapsie

Pobudzenie aksonu to zjawisko określane w fizjologii "wszystko albo nic", polegające na tym, że bodziec, jeśli jest dostatecznie silny, wywołuje zawsze tę samą reakcję, jeśli jest zbyt słaby, może nie być w stanie nawet zapoczątkować reakcji.

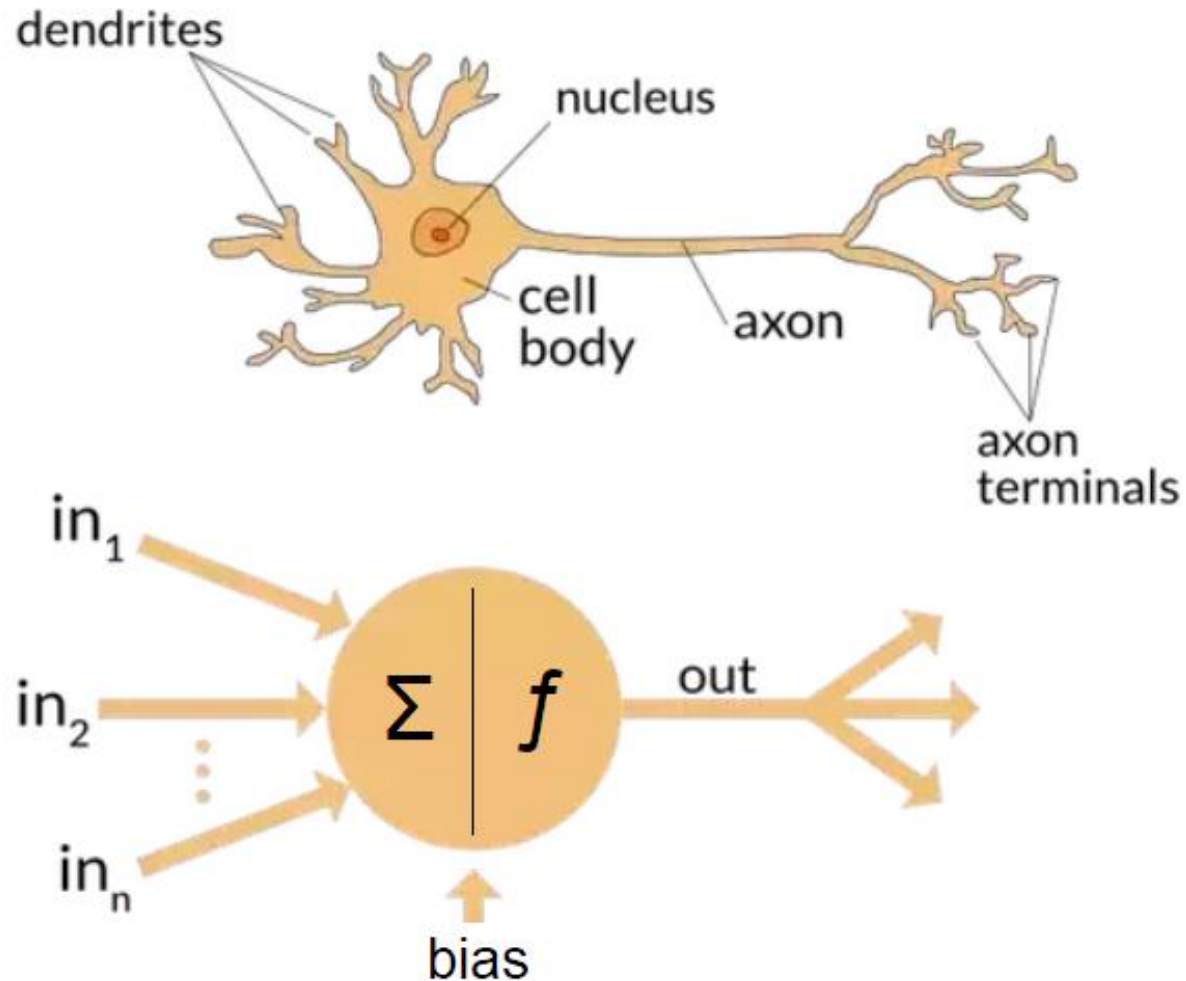
W synapsie, każdy nadchodzący bodziec powoduje przejście na drugą stronę szczeliny synaptycznej pewnej porcji mediatora chemicznego. Synapsy przewodzą sygnał tylko w jednym kierunku — od aksonu jednej komórki do dendrytu drugiej.

Pobudzenie neuronu

Równowagę zapewnia fakt, że na powierzchni komórki i na dendrytach znajduje się wiele zakończeń aksonów i rzadko neuron pobudzany jest przez bodziec nadchodzący tylko z jednego, nadchodzące po sobie sygnały sumują się.

Dzięki temu systemowi, zniszczenie kilku komórek nerwowych nie zakłóca wykonywanej przez nie czynności, ponieważ ich rolę przejmują komórki sąsiednie (kanały równoległe).

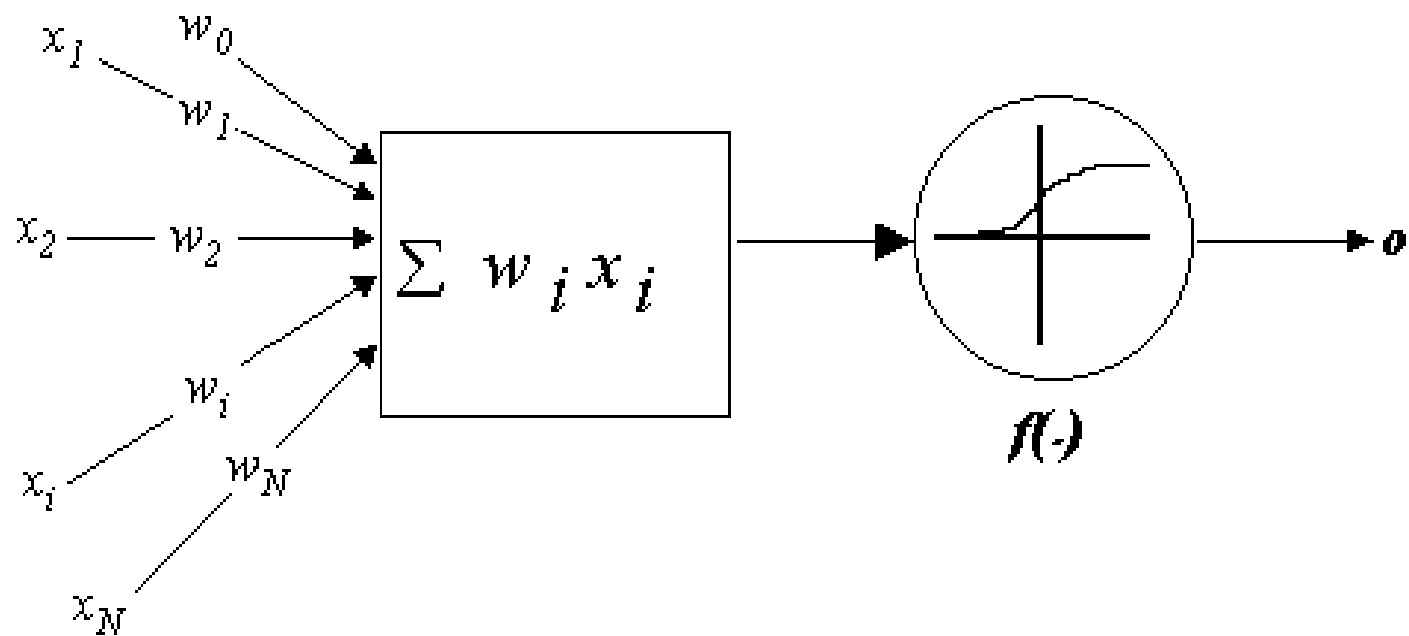
Model neuronu - komórka nerwowa



Rys. Neuron biologiczny i sztuczny (perceptron zaproponowany przez F. Rosenblata: dendryty, jądro (*nucleus*), ciało komórki, akson, zakończenia aksonu)

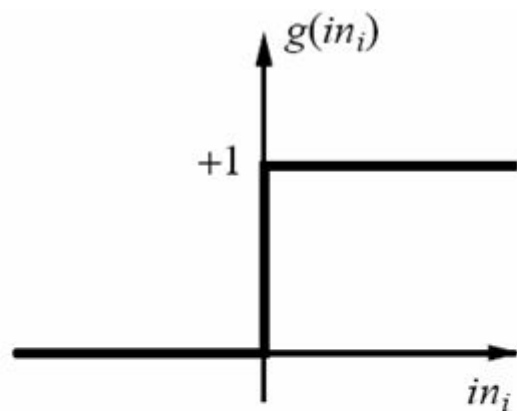
(<https://www.quora.com/What-is-the-differences-between-artificial-neural-network-computer-science-and-biological-neural-network>) /

Model neuronu - komórka nerwowa



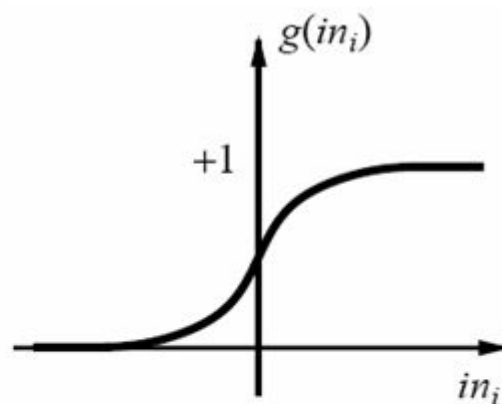
Rys. Perceptron, w_i - wagi synaptyczne, x_i - sygnał wejściowy, $f(\cdot)$ - funkcja aktywacji, o - wyjście)

Model neuronu - funkcje aktywacji



(a)

step function



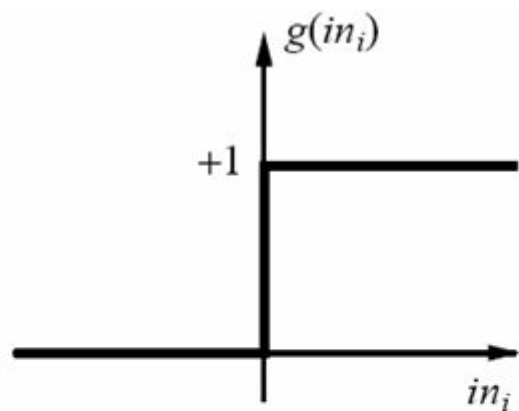
(b)

sigmoid function

Rys. Przykłady funkcji aktywacji: liniowa bramka - liniowa funkcja skokowa (ang. *step function*); ciągła funkcja aktywacji (ang. *sigmoidal function*); to oznacza, że w przeciwieństwie do neuronów biologicznych, sztuczne neurony nie tylko „odpalają” (ang. *fire*), ale pobudzenie powstaje na skutek wartości ciągłych zamiast sygnałów binarnych;

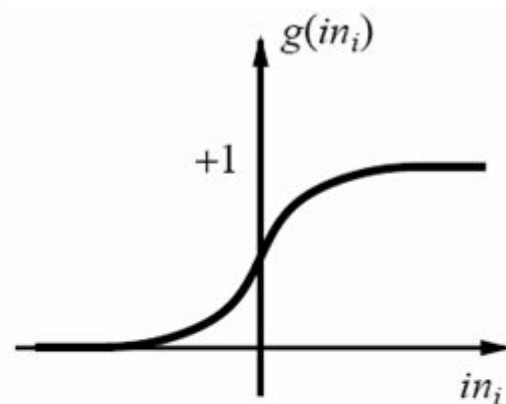
<https://towardsdatascience.com/the-differences-between-artificial-and-biological-neural-networks-a8b46db828b7>

Model neuronu - funkcje aktywacji



(a)

step function



(b)

sigmoid function

Rys. Celem funkcji aktywacji jest wprowadzenie nieliniowości na wyjściu neuronu. Sieć neuronowa składa się z neuronów, które działają w zależności od wagi, biasu (wartość sygnału podawanego na dodatkowe wejście neuronu) i odpowiadającej im funkcji aktywacji;

<https://towardsdatascience.com/the-differences-between-artificial-and-biological-neural-networks-a8b46db828b7>

Dla zainteresowanych: Pulsujące sieci
neuronowe (Spiking Neural Network)

ŁUKASZ ALEKSIEJEW

(pod kierunkiem Joanna Grabska-Chrzastowska)

<https://home.agh.edu.pl/~asior/stud/doc/Spiking%20Neural%20Network.pdf>

Dziękuję

Bożena Kostek