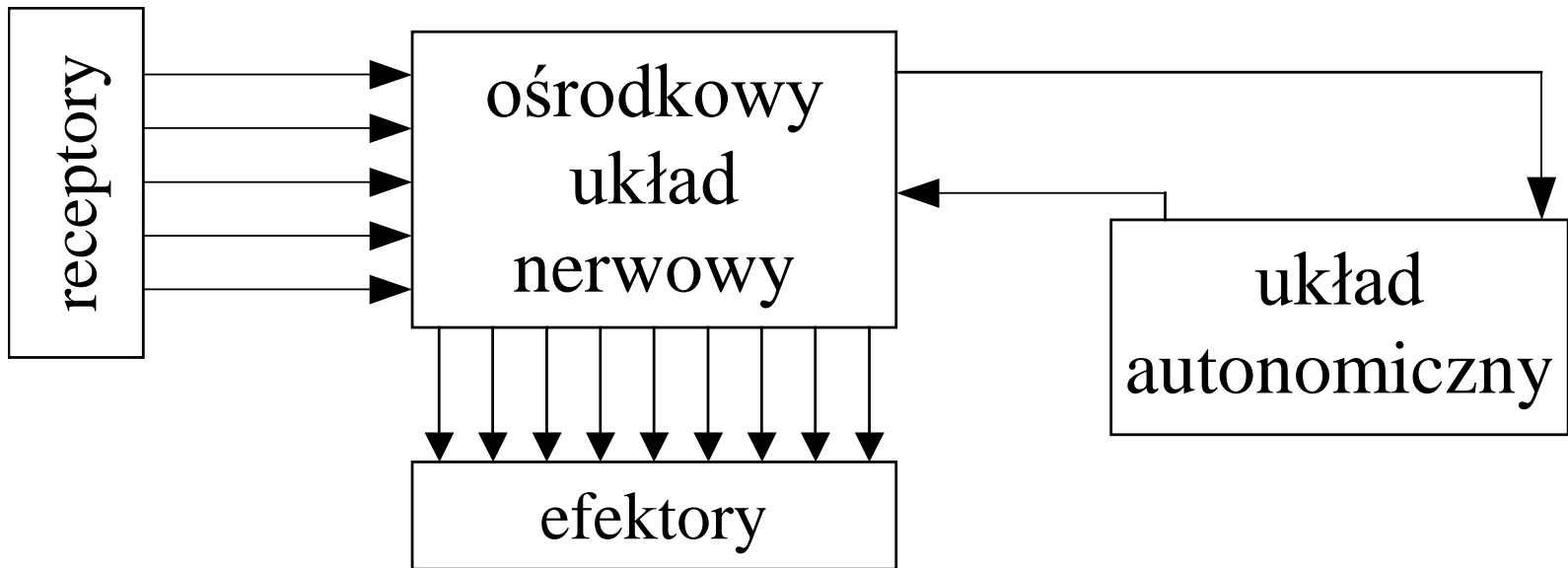
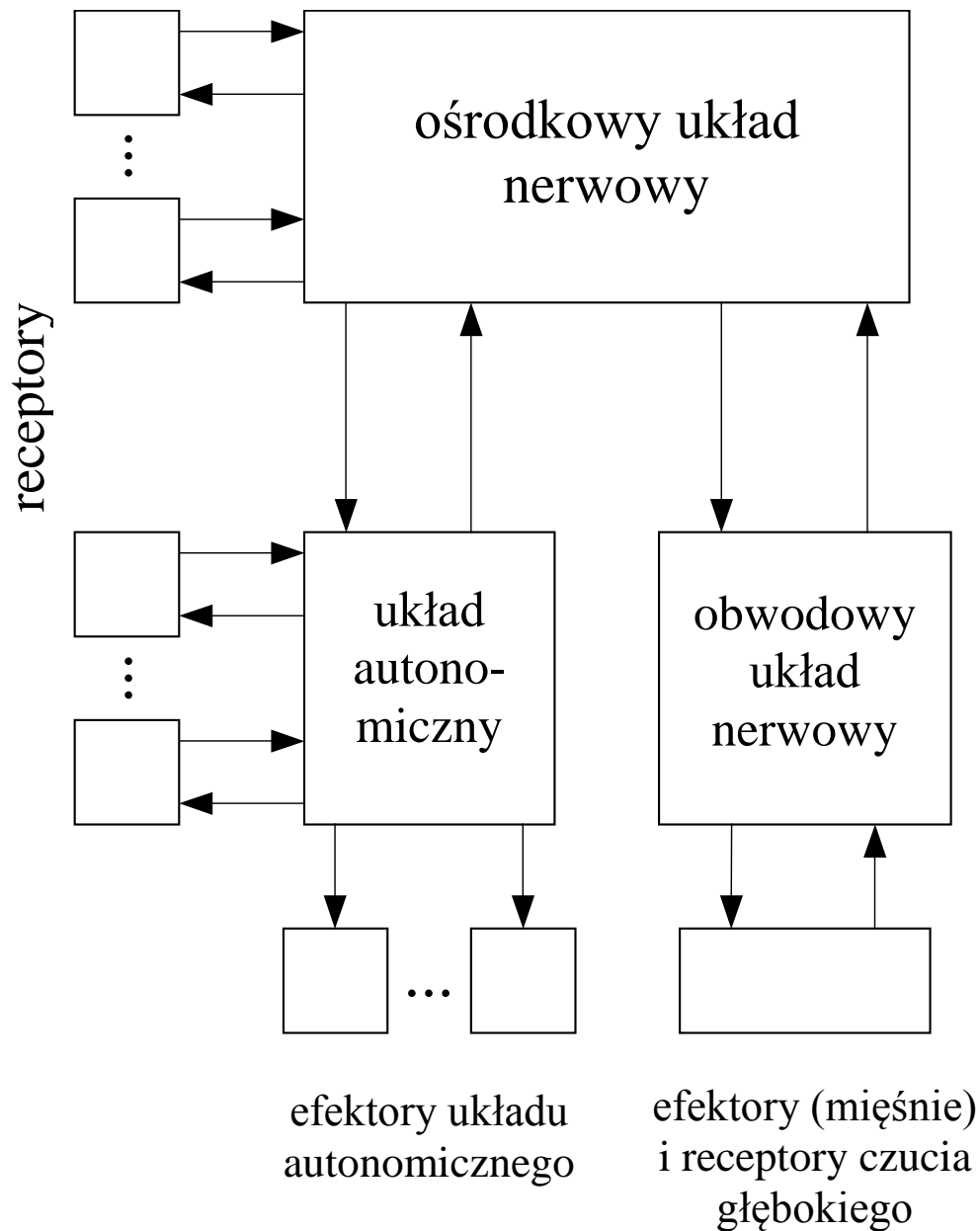


Diagnostyka i protetyka słuchu i wzroku

Układ nerwowy człowieka

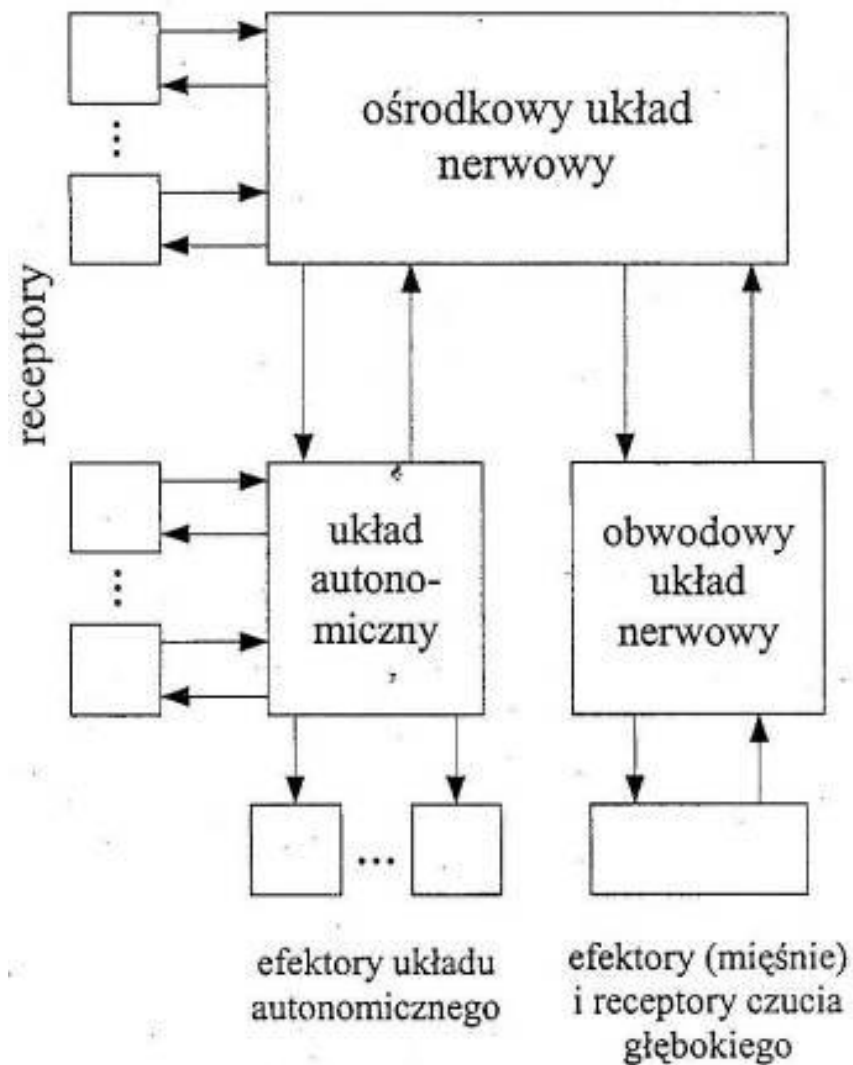
Przygotowała:
prof. Bożena Kostek





Ogólny schemat połączeń systemu nerwowego

Ważną właściwością układu nerwowego jest fakt analizy bodźców równocześnie przez ośrodkowy i autonomiczny układ nerwowy. Pozwala to na niezależne włączenie do reakcji na bodziec odruchów bezwarunkowych (układ autonomiczny) i odruchów wyuczonych (układ somatyczny poprzez układ obwodowy). Zasadę działania opisuje przykład: patrząc na słońce, układ autonomiczny powoduje zwężenie się źrenic, natomiast w wyniku pobudzenia układu obwodowego zakrywamy oczy ręką, aby dodatkowo zmniejszyć poziom natężenia światła.



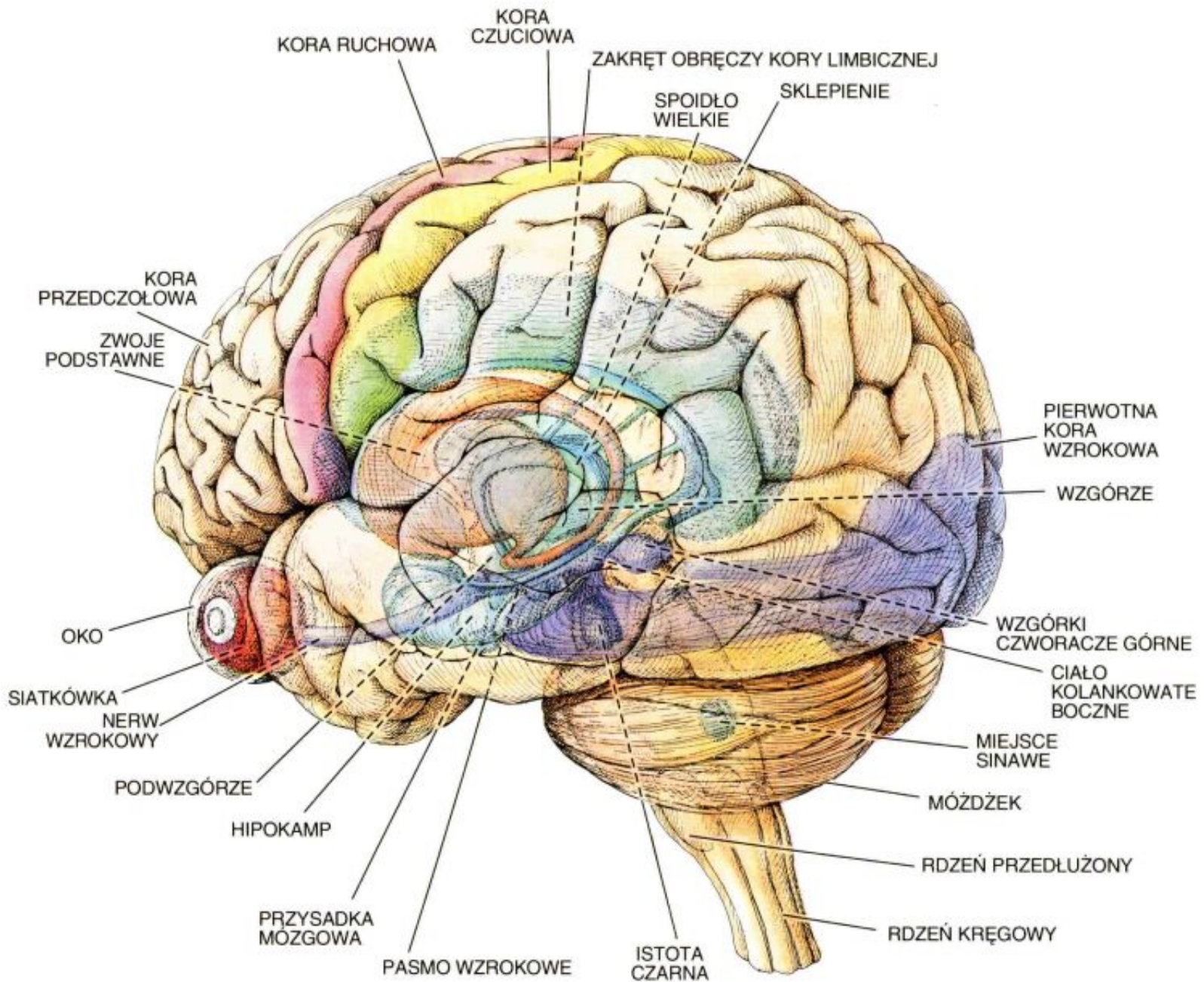
Rys .2. Ogólny schemat połączeń systemu nerwowego

Układ nerwowy

Ośrodkowy układ nerwowy:

- obwodowy układ nerwowy
- układ autonomiczny (wegetatywny)
 - układ współczulny
 - układ przywspółczulny

- Umowny podział systemu nerwowego na trzy podsystemy. **Centralny układ nerwowy**: mózg, mózdzek i rdzeń kręgowy.
- **Obwodowy (peryferyjny) układ nerwowy**: nerwy kręgowy i czaszkowe, dochodzące do mięśni i receptorów czuciowych i kończące się w rdzeniu.
- **Autonomiczny układ nerwowy**
- **Zadanie**: koordynacja funkcji automatycznych: skurczy serca, oddychania, trawienia, wydalania, pocenia się, pobudzenia seksualnego.
Centrum: w pniu mózgu. Koordynacja: przez podwzgórze.
- **Układy współczulny i przywspółczulny**, działające antagonistycznie.



Ciało modzelowate
(spoidło wielkie)

Płat ciemieniowy

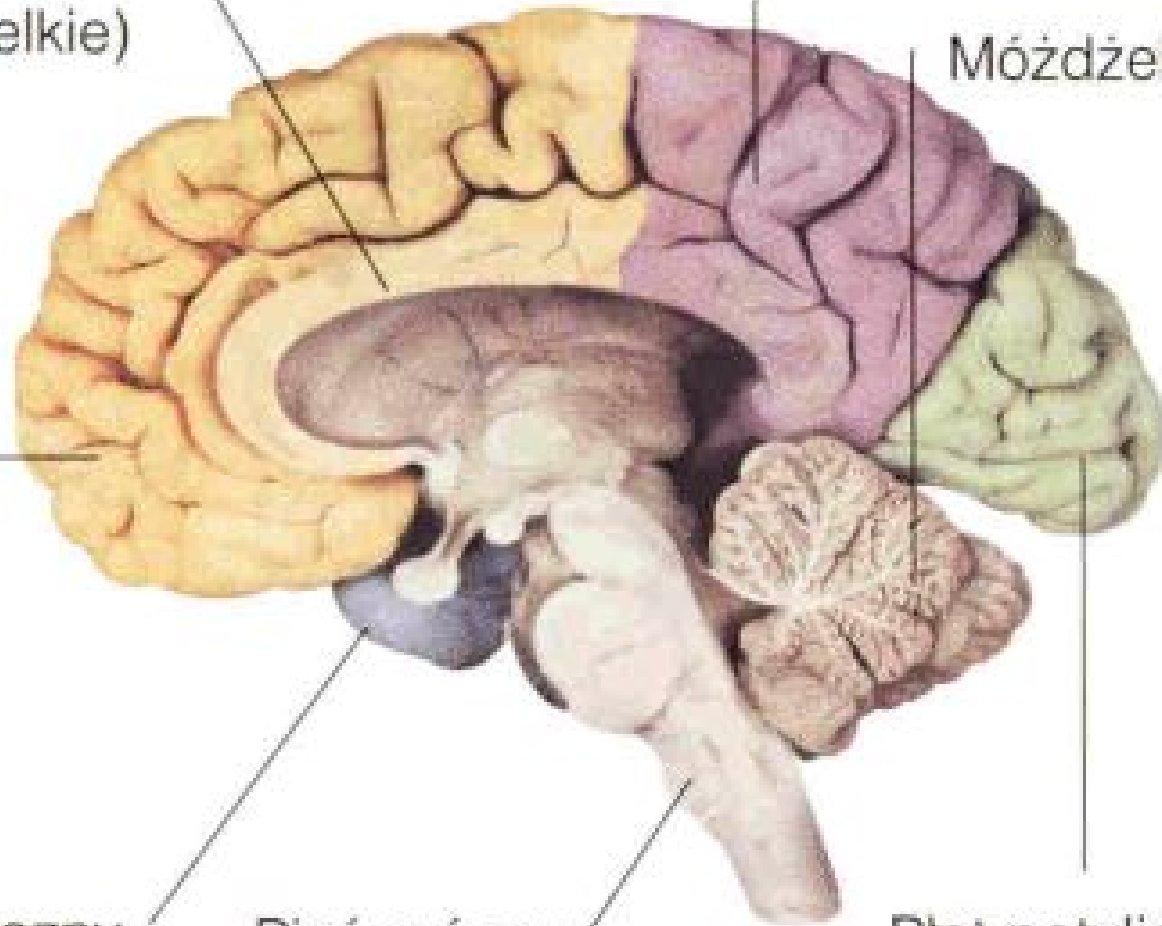
Mózdzek

Płat
czołowy

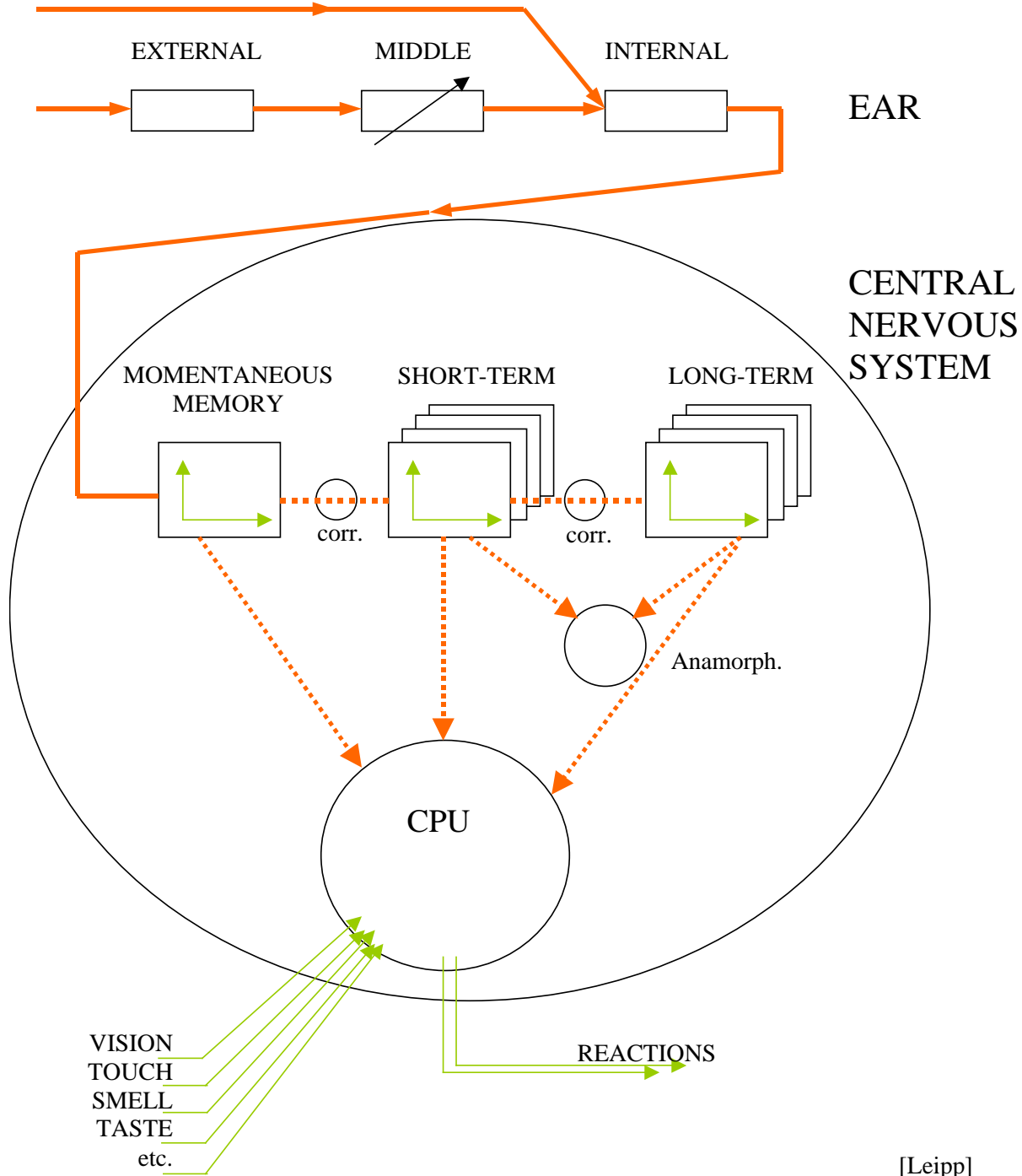
Układ limbiczny

Pień mózgu

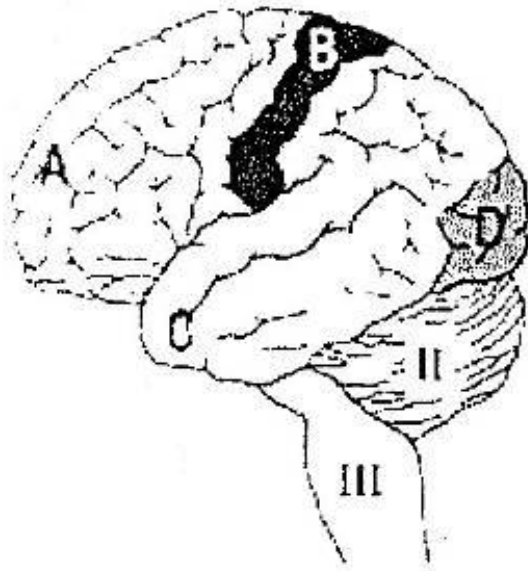
Płat potyliczny



Neurony odpowiedzialne za odbiór bodźców pochodzących m. in. z układu słuchu i wzroku nazywa się neuronami sensorycznymi (ang. *sensory neurons*). Odebrane bezpośrednio przez receptory bodźce trafiają przez neurony do mózgu w postaci śladów pamięciowych. Drogę impulsu z układu słuchowego przedstawia w sposób schematyczny rys. 1a.



Różne bodźce pobudzają różne obszary mózgu:



Rys. 5 Ośrodkowy układ nerwowy.

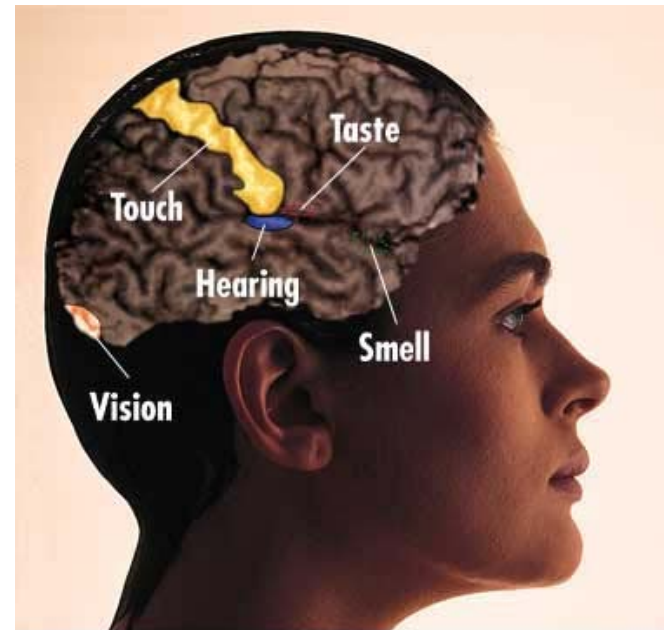
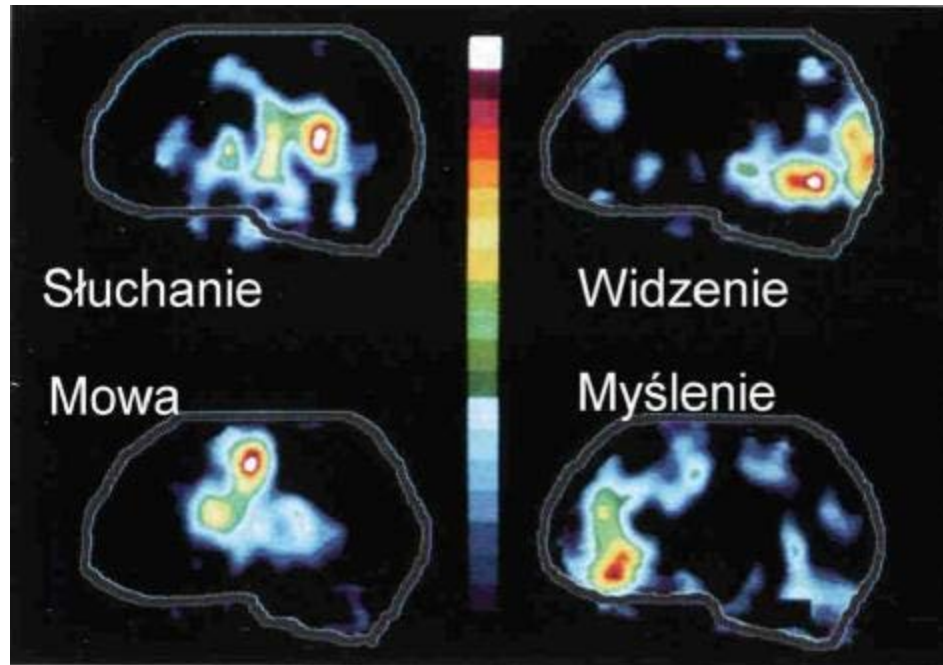


Photo of head-Michael Freeman; MRI scan of head-John Belliveau, NMR Center, Massachusetts General Hospital

- A – płat czołowy (ośrodek węchu i smaku)
- B – płat ciemieniowy (dotyk)
- C - płat skroniowy (słuch)
- D – płat potyliczny (wzrok)
- II – mózdzek – m.in. Koordynacja ruchowa
- III – pień mózgu – wychodzi do rdzenia kręgowego



Aktywność poszczególnych obszarów mózgu w wyniku wykonywania czynności antagonistycznych

Gdzie mieszczą się różne rodzaje naszej pamięci?

Obszary mózgu zawiadujące pamięcią nie działają niezależnie od siebie, lecz są ze sobą powiązane. Współpracują, gdy mózg musi wykonać zadanie zapamiętywania.

Pamięć proceduralna

odtwarza czynności o dość prostym charakterze, np. pływanie.

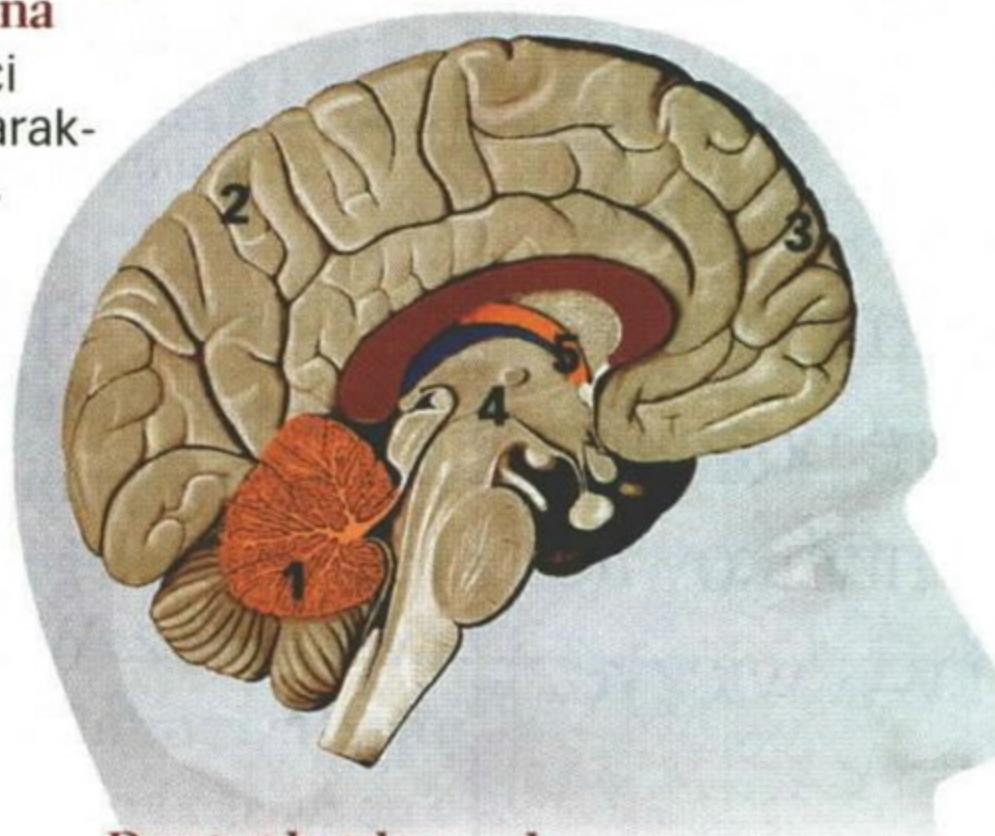
Lokalizacja:

mózdzek (1)

Pamięć odtwórcza,

czyli zdolność zapamiętywania obrazu lub twarzy od pierwszego spojrzenia. Pozwala również rozpoznać łatwiej informację już raz widzianą.

Lokalizacja: kora mózgowa (2)



Pamięć krótkotrwała,

zwana też pamięcią roboczą. W niej informacje są zatrzymane i można nimi manipulować w czasie wykonywania obecnego zadania. **Lokalizacja:** kora mózgowa (2) i płaty czołowe (3)

Pamięć semantyczna

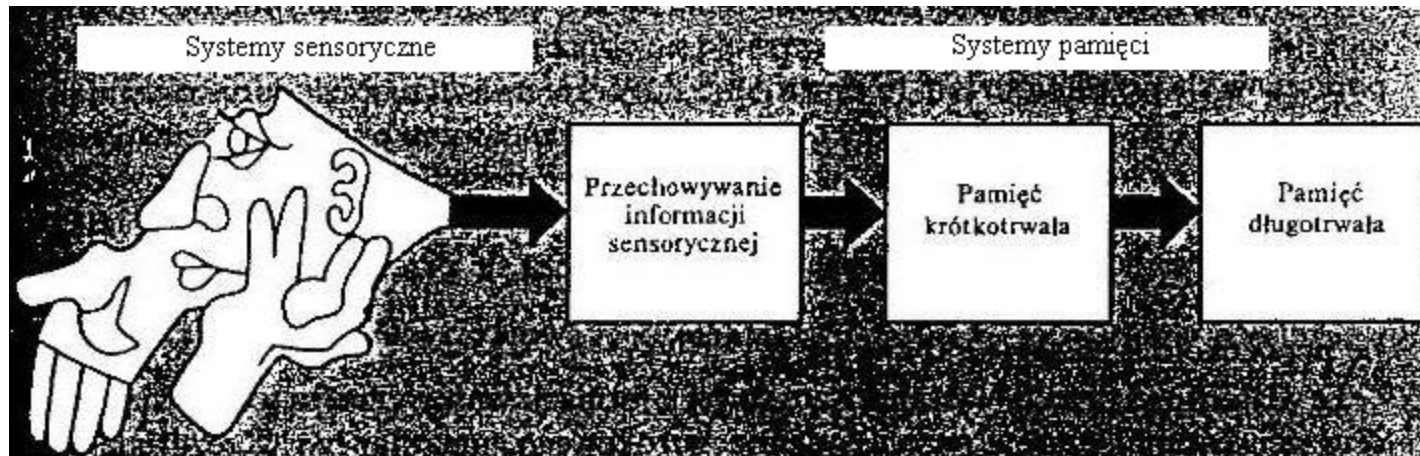
pozwala zatrzymać pojęcia i znaczenie słów niezależnie od kontekstu, w jakim występują.

Lokalizacja:

kora mózgowa (2)

Pamięć epizodyczna,

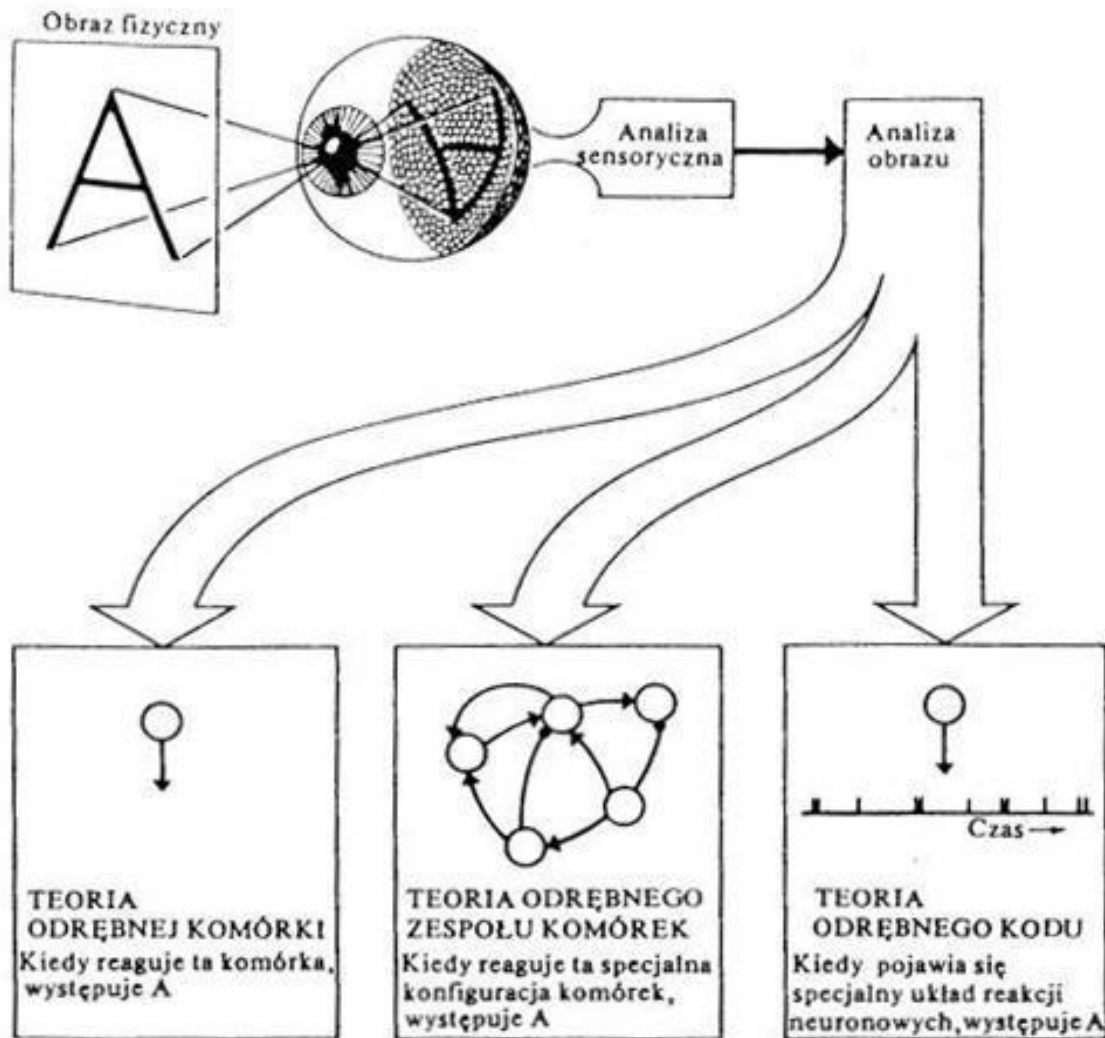
zwana inaczej wydarzeniową. Wchodzi w skład pamięci autobiograficznej. **Lokalizacja:** kora czołowa (3), hipokamp (4) i wzgórze (5)



Rys. 6 Systemy pamięci.

Impuls sensoryczny tafia do pamięci etapami. W pierwszej kolejności trafia do pamięci operacyjnej mózgu (pamięci chwilowej/ sensorycznej) , gdzie może wywołać pobudzenie odpowiednich efektorów bądź trafić do dalszej obróbki w pamięci krótkotrwałej (interpretacja bodźca), w końcu jako doświadczenie trafia do pamięci długotrwałej (ok. 10 miliardów neuronów), gdzie może brać udział w procesie analizy bodźców.

Czas przechowywania w ukł. pamięci sensorycznej jest bardzo krótki (0,1-0,5 s), zaś w pamięci krótkotrwałej przez czas bliżej nieokreślony (zapamiętywanie poprzez powtarzanie), ale dotyczy to kilku jednostek prezentowanego materiału.

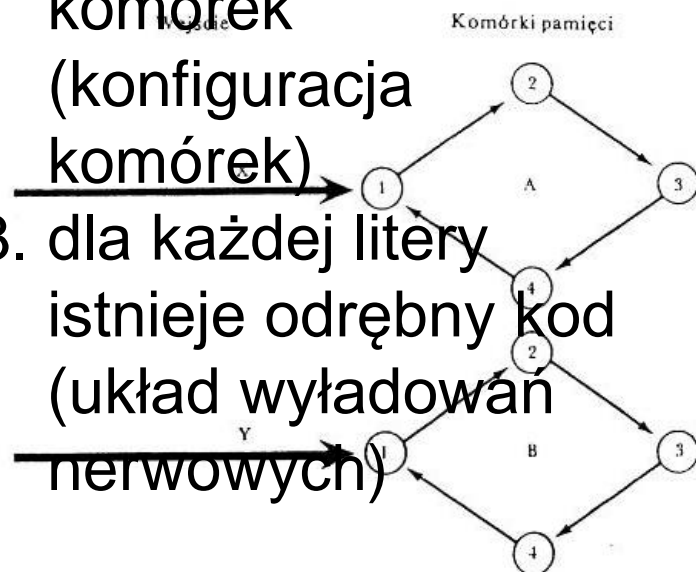


Rys.10 Analiza obrazu .

R
 Układ nerwowy może reagować w trojaki sposób na wystąpienie litery A.

Możliwe jest, że na każdą literę zareaguje:

1. pojedyncza komórka (detektor litery)
2. specyficzny zespół komórek (konfiguracja komórek)
3. dla każdej litery istnieje odrębny kod (układ wyładowań nerwowych)



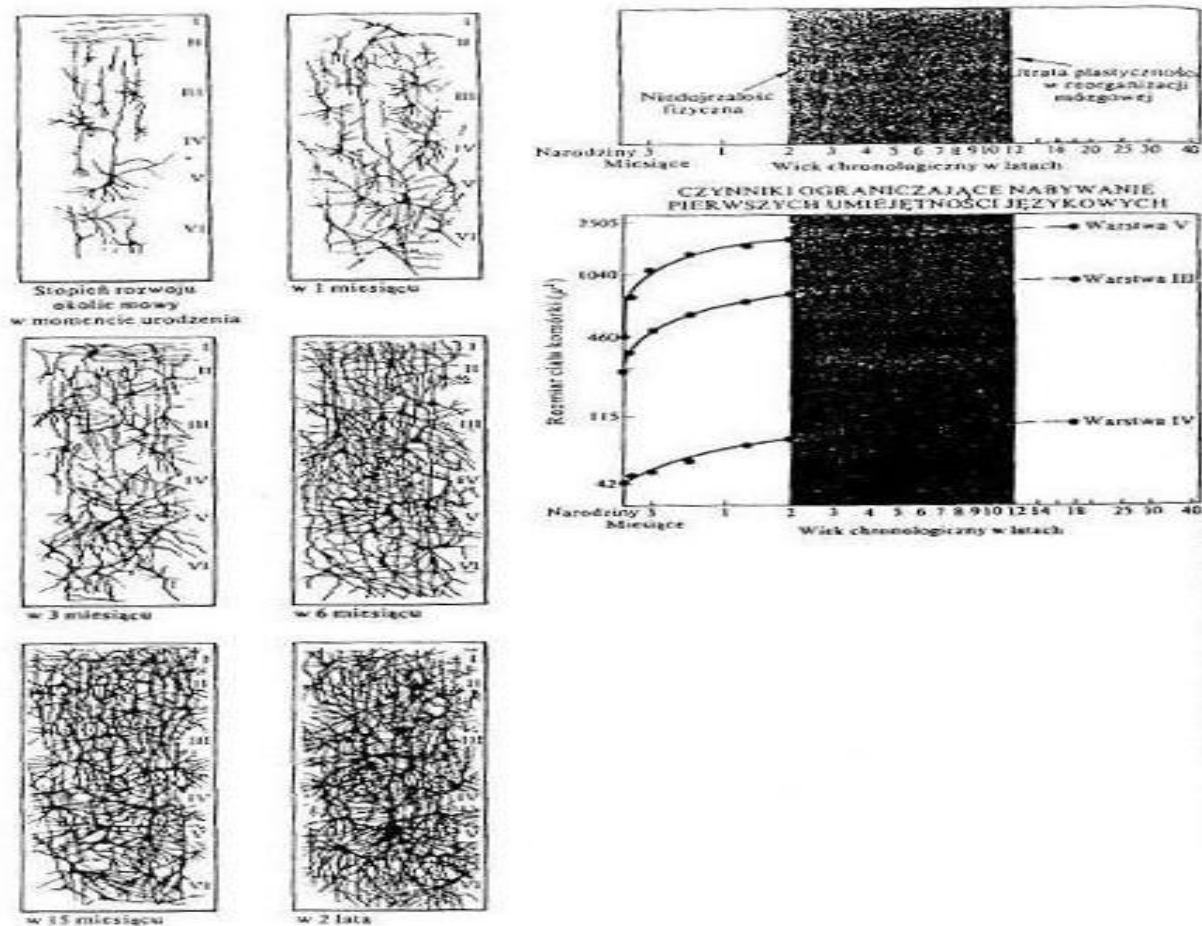
Rys.8 Najprostszy odwód pamięci .

Najprostszy odwód pamięci składa się z wejścia i grupy komórek. W procesie analizy obrazu może brać udział pojedyncza komórka lub ich grupa, wynik analizy może być również reakcją na kod pamięci (zespół reakcji neuronowych). W każdym z przypadków do naszej świadomości dotrze informacja, co np. widzimy. Posługując się powyższym przykładem, pojedyncza komórka wystarczy nam do stwierdzenia postrzegania drukowanej wyraźnej litery A. Zespół komórek może stwierdzić literę A napisaną odręcznie przez jakąś osobę, natomiast kod pamięciowy pozwala na złożoną analizę obrazu, wiązanie z nim emocji oraz np. wykrycie litery A w słowie, w którym pojedyncze litery mogłyby być nierozpoznawalne.

Ze względu na strefową funkcjonalność mózgu, ważnym zjawiskiem w procesie percepcji jest komunikacja między półkulami. Ciało modzelowate oddziela prawą półkulę mózgową od lewej i przekazuje informacje z jednej strony na drugą. W następstwie budowy mózgu składającego się z dwóch półkul mózgowych posiadających homologiczne struktury, a także funkcjonowania w nich ośrodków ruchowych, wzrokowych i somatycznosensorycznych przetwarzających bodźce z przeciwległej niż półkula strony ciała, w celu integracji pracy mózgu wytworzone zostały połączenia pomiędzy półkulami.

Możliwości percepcyjne mózgu rosną z wiekiem ze względu na zagęszczającą się sieć neuronów. Na poniższym obrazie zaprezentowano stopień rozwoju neuronów sześciu warstw kory mózgowej w funkcji czasu obszaru mowy. Plastyczność w reorganizacji mózgowej człowiek traci w wieku ok. 12 lat. Uważa się jednak, że istnieje zdolność dojrzałego OUN (ośrodkowego układu nerwowego) do reorganizacji funkcjonalnej wskutek uszkodzenia czy stymulacji ruchowo-czuciowej.

Możliwości percepcyjne mózgu rosną z wiekiem ze względu na zagęszczającą się sieć neuronów. Na poniższym obrazie zaprezentowano stopień rozwoju neuronów sześciu warstw kory mózgowej w funkcji czasu obszaru mowy. Plastyczność w reorganizacji mózgowej człowiek traci w wieku ok. 12 lat. Uważa się jednak, że istnieje zdolność (podobnie jak w przypadku nerwowego) do reorganizacji przy silnej stymulacji ruchowej.



Rys.20 Neurony sześciu warstw kory mózgowej jako funkcja czasu.

- Oszacowanie przepływu informacji (świadomego):
Wzrok ok. 5000 bitów/sek;
- Zapamiętanie wymaga 10 sek, czyli ok. 5 kbit/sek.
Pozostałe zmysły 100 bitów/sek,
- Moc obliczeniowa: 5×10^{13} połączeń,
zmiana rzędu 100 Hz, 5×10^{15} operacji/sek

- Uszkodzenia lewej półkuli: trudności z mówieniem, pisanem, czytaniem, matematyką.
Uszkodzenia prawej półkuli: trudności z rozpoznawaniem struktur geometrycznych, twarzy, trudności z rysowaniem, percepcją muzyki.
- Dominacja prawej półkuli - artyści, humaniści; lewa - naukowcy, umysły ścisłe.

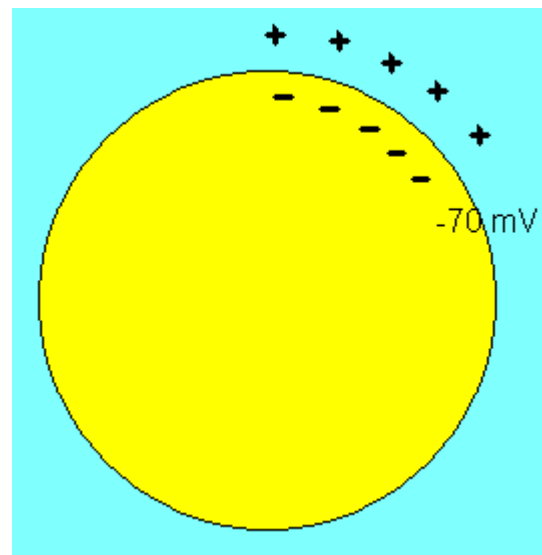
- Budowa ciała i mózgu lekko asymetryczna. Asymetria widoczna już na etapie płodowym.
- **Prawa półkula** większa i cięższa niż lewa.
- Więcej materii białej (dłuższe połączenia).
- Część czołowa szersza, wysunięta do przodu
- Niektóre obszary kory ciemieniowej powiększone.

Lewa półkula:

- Część tylna szersza.
- Większa równina skroniowa
- Więcej materii szarej.
- Więcej dopaminy, mniej noradrenaliny.
- Mowa w prawej półkuli: u praworęcznych 4%, u leworęcznych 15% + 15% obie półkule w jednakowym stopniu.
- Mowa docierająca do prawego ucha jest lepiej rozumiana.
- Asymetria mniej widoczna u kobiet.

Właściwości komórki:

- 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:

- 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**.

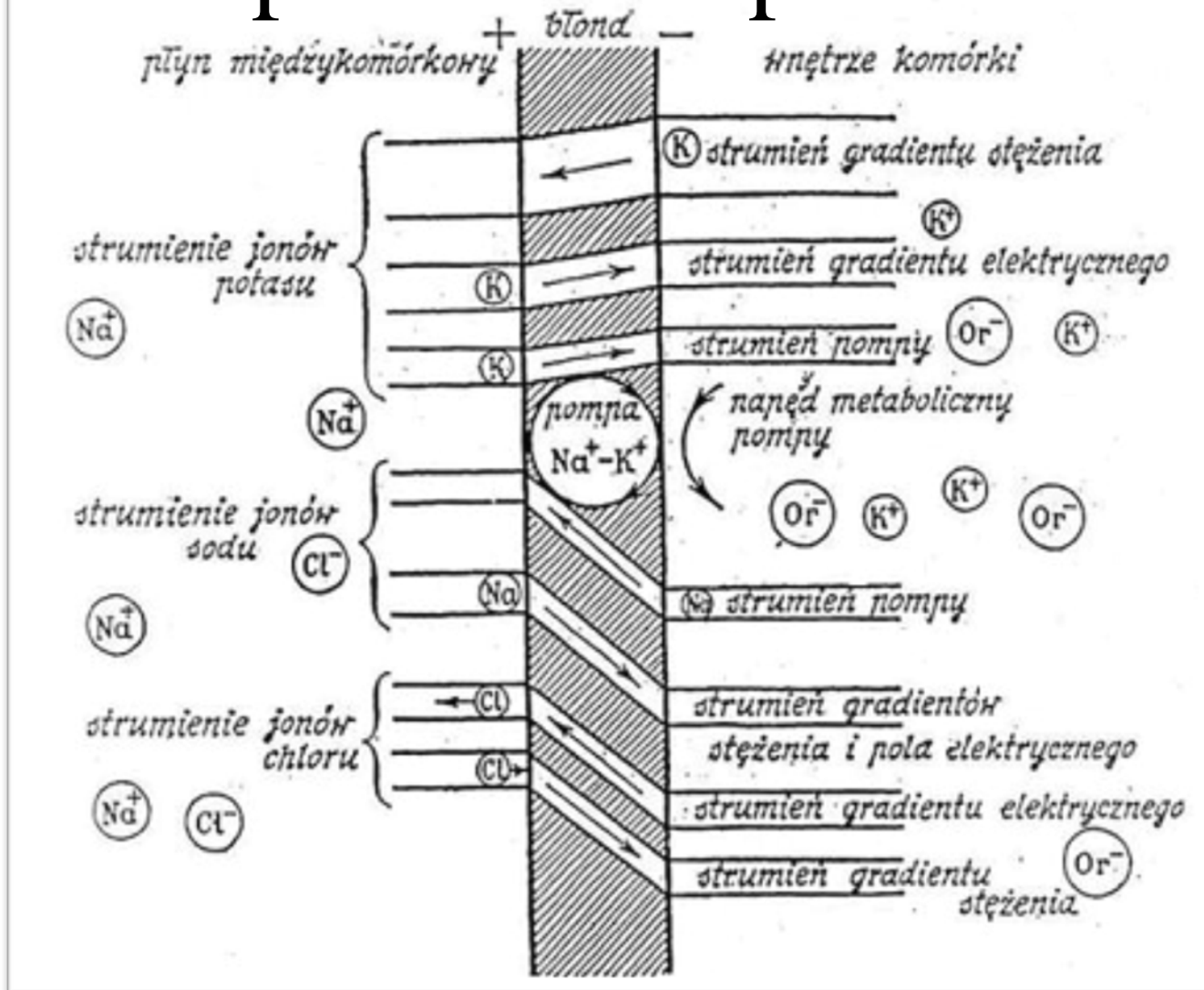
Właściwości komórki:

- ▶ Błona 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:

- 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



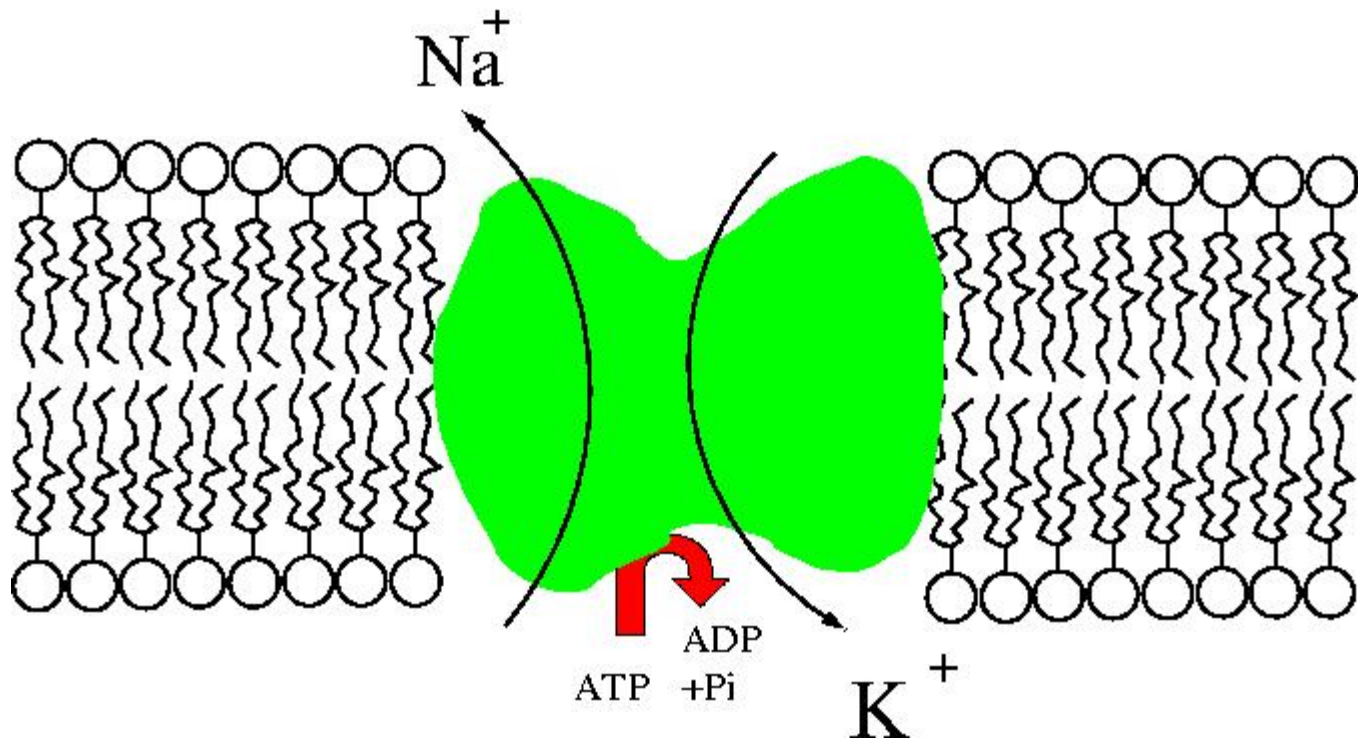
Pompa sodowo-potasowa

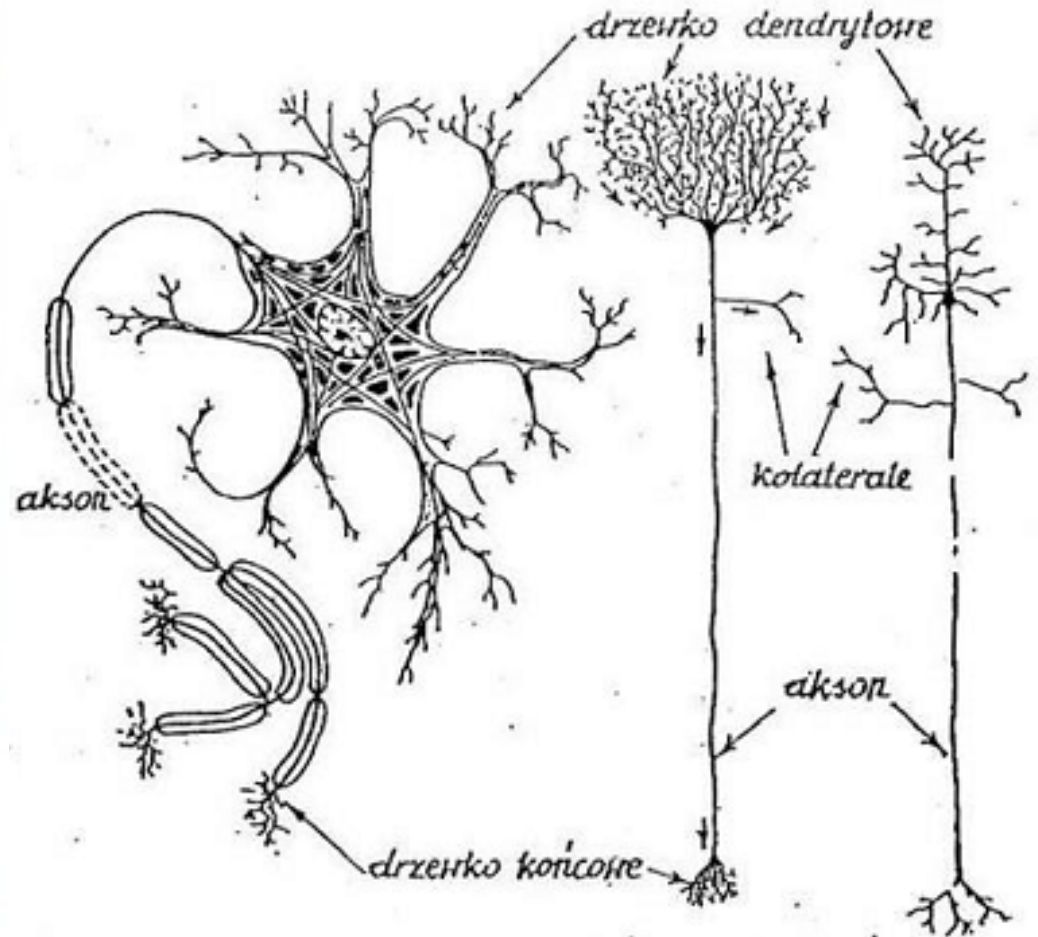
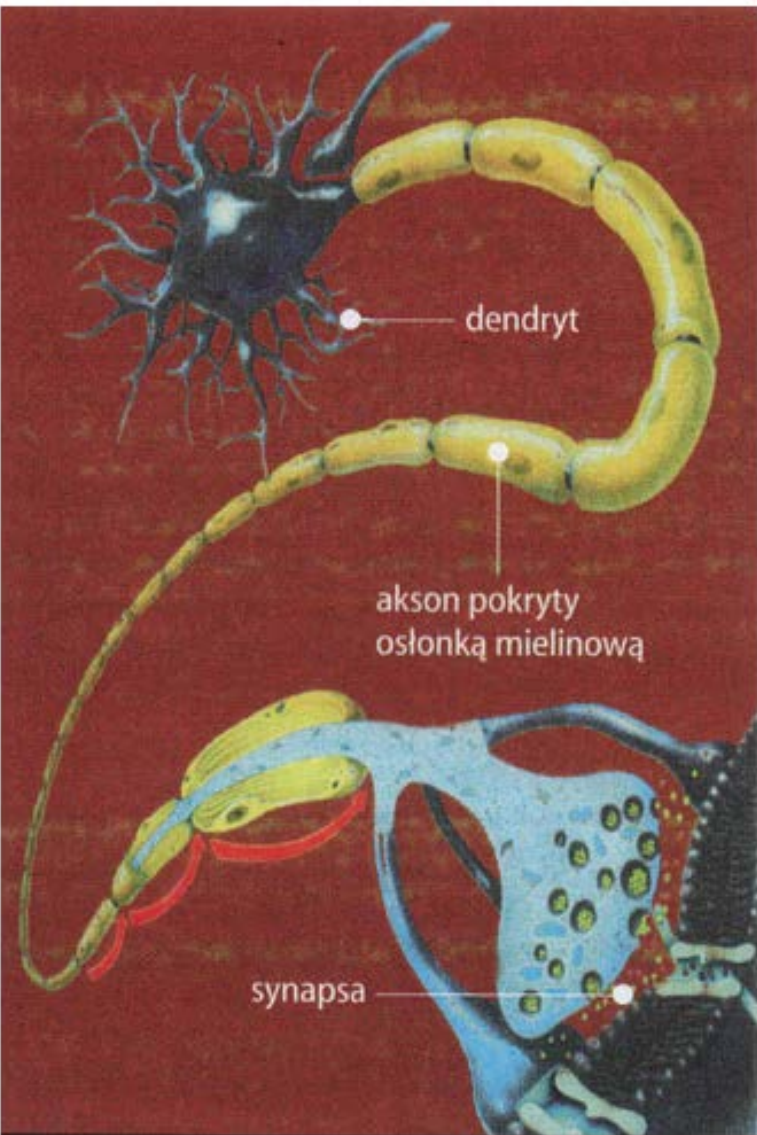
- Pompa jonowa jest to aktywny mechanizm utrzymujący duże stężenie jonów potasu i małe jonów sodu wewnątrz komórki.
- Transmisja jonów przeciwnie do gradientowi stężeń: jony Na^+ na zewnątrz, a jony K^+ do wewnątrz komórki. Do tego celu wykorzystywana jest energia z cząsteczki ATP.
- ATP - Adenozyno-5'-trójfosforan (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 stanowi 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

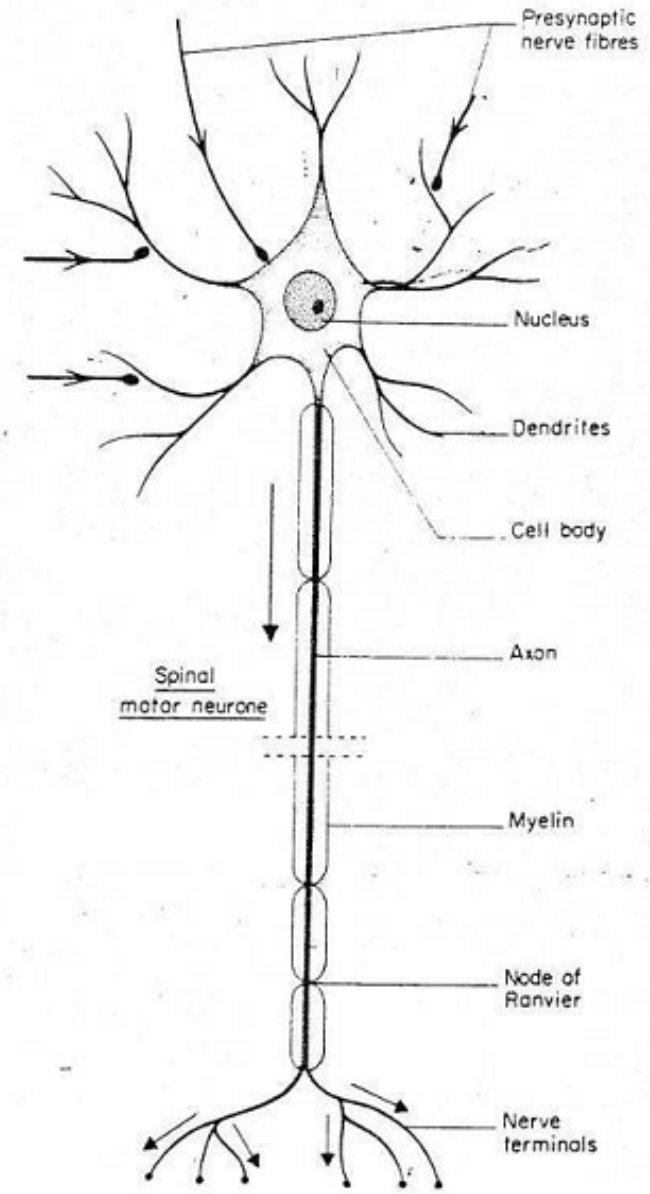




Różnice w kształcie komórki nerwowej wynikają z funkcji, jaką pełni oraz od miejsca występowania np. komórki układu obwodowego mają dłuższy akson.

Budowa komórki 1

- Część odbiorcza:
 - drzewo dendrytowe,
- Część przewodząca:
 - akson (neuryt),
- Część nadawcza:
 - zakończenia nerwowe z synapsami.



Akson

- Akson (neuryt) 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

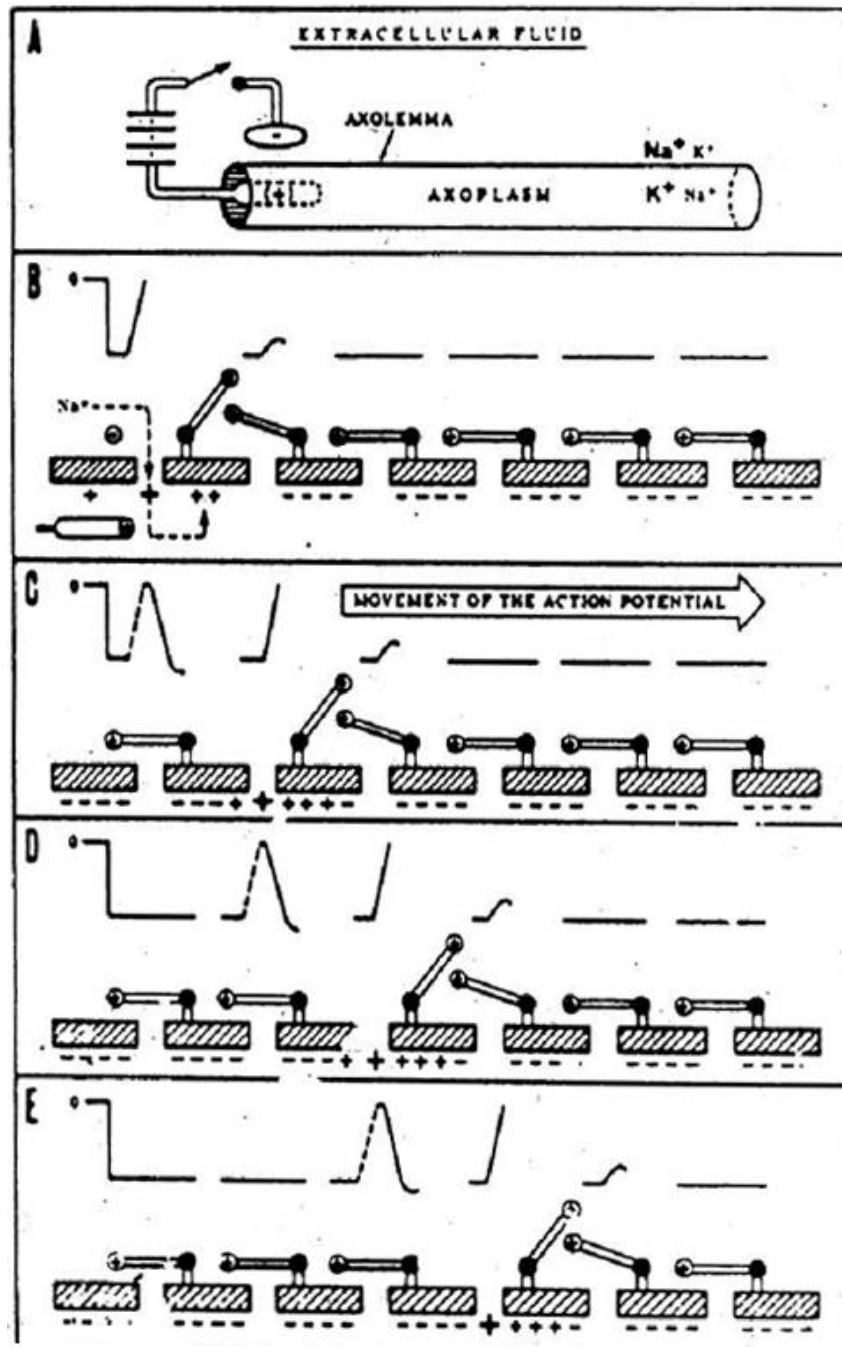
- Impuls nerwowy przechodzący przez osłonięty neuryt jest tłumiony. Tłumienność zależy od grubości włókna. Jednakże jego prędkość jest ogromna, gdyż jest izolowany.
- Aby sygnał mógł się odnowić, co pewną odległość występują przewężenia – miejsca nieosłonięte mieliną – zwane **przewężeniami Ranviera**. 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 czynności



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

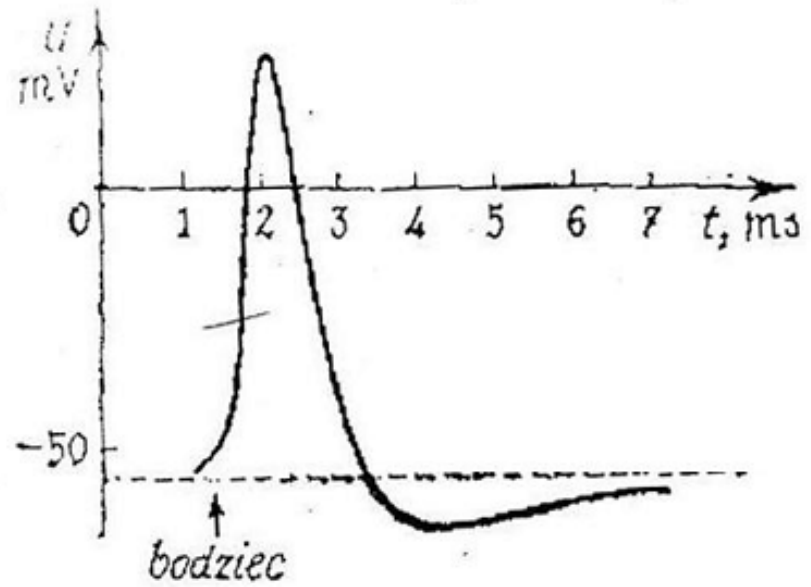
Dendryty

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

Potencjały

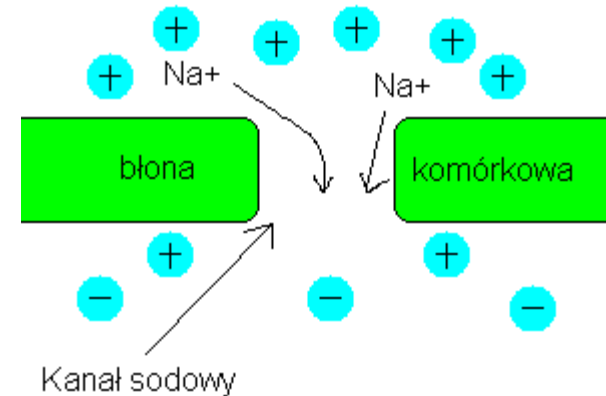
- **Potencjał spoczynkowy** – jest to różnica potencjałów na błonie komórkowej w stanie spoczynku komórki. Wynosi od -60 do -90 [mV].
- **Potencjał czynnościowy** – jest to chwilowa zmiana potencjału na błonie komórkowej.

Potencjał czynnościowy trwa ok. 1 [ms] w przypadku komórki nerwowej



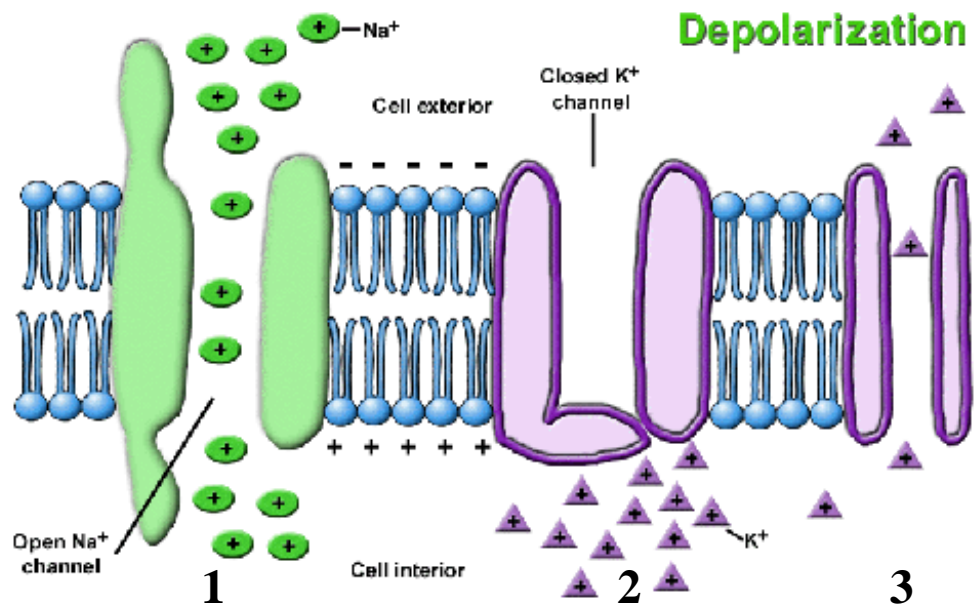
Powstanie potencjału czynnościowego

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

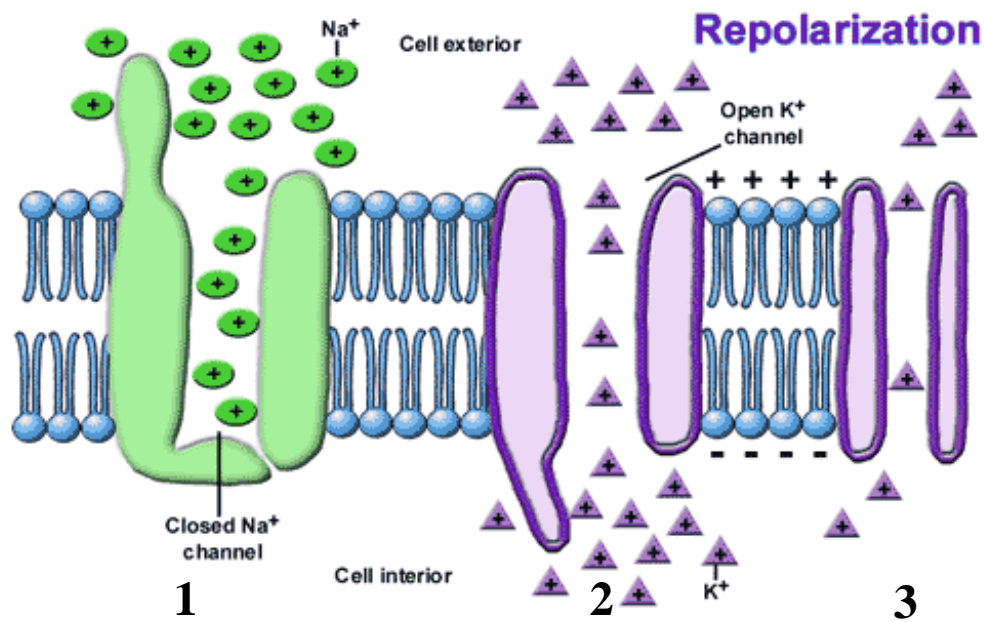


- ▶ Dla potencjału czynnościowego wewnątrz staje się bardziej dodatnie w wyniku wnikania jonów sodu. Faza, w której jony wnikają do środka to faza depolaryzacji.

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



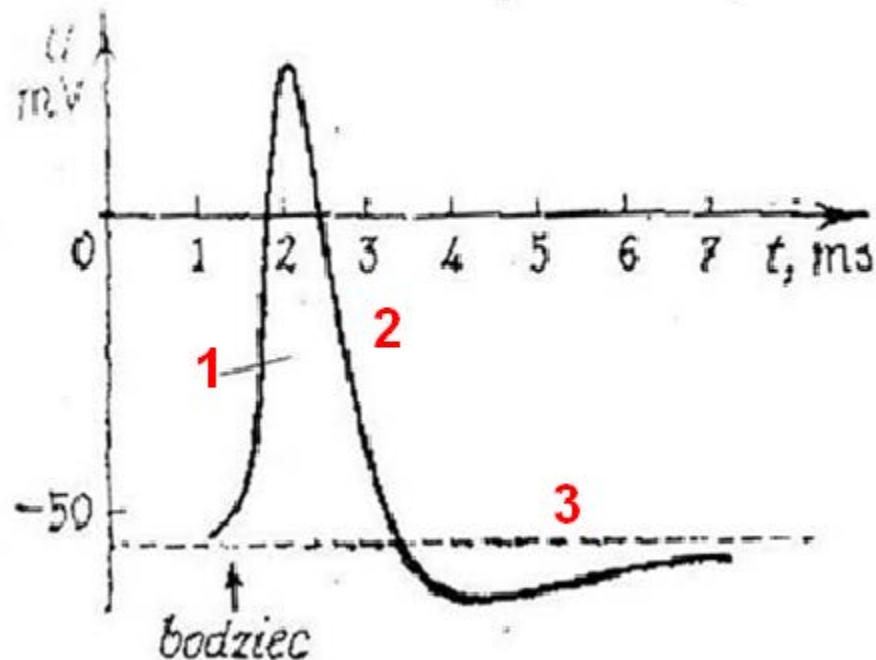
Powstanie potencjału czynnościowego



Potencjał czynnościowy

FAZY:

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

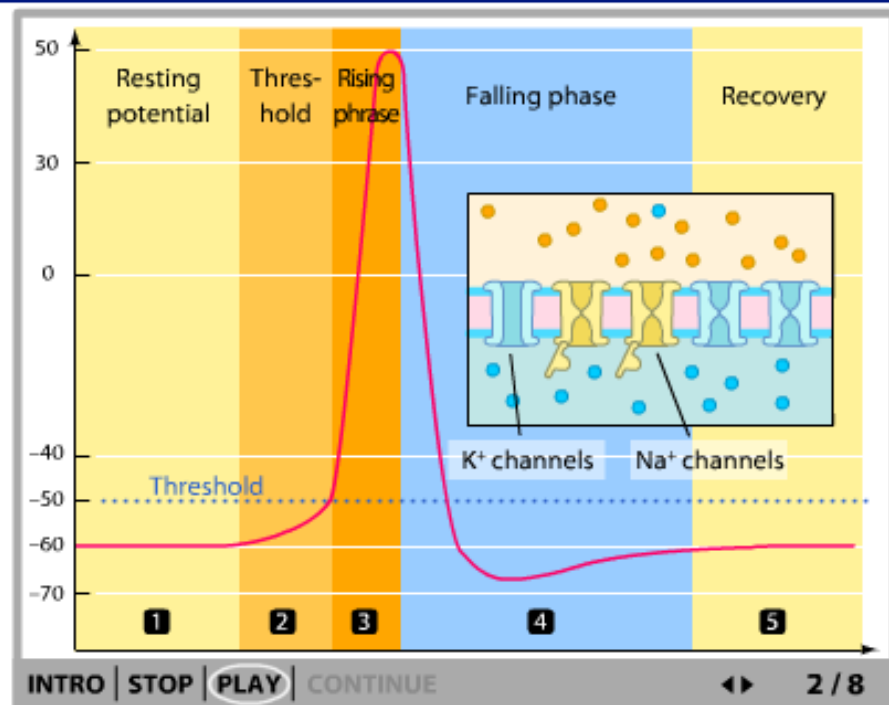


Rys. Potencjał czynnościowy w czasie

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

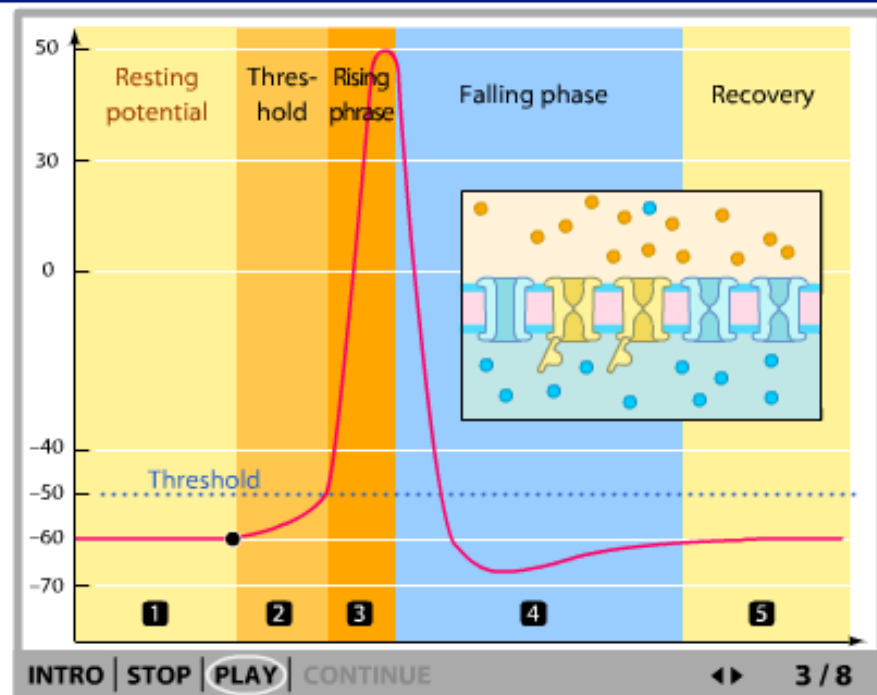


When the neuron is at rest, only a small subset of potassium channels are open, permitting K⁺ ions to enter and exit the cell based on electrochemical forces. Note that there is no NET movement of K⁺ ions; for each K⁺ ion that leaves the cell, another returns, maintaining the membrane potential at a constant value.

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

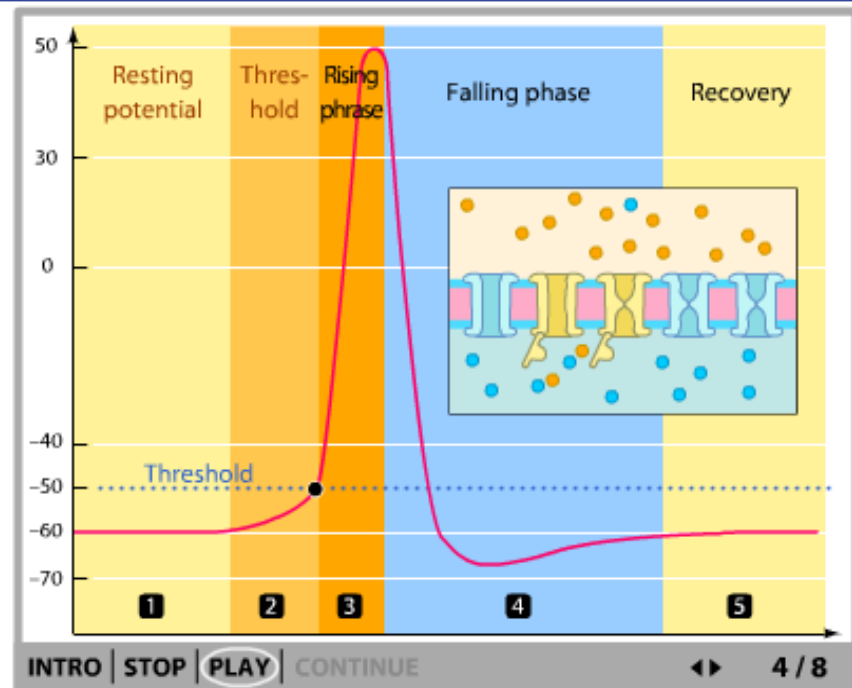


As a depolarizing stimulus arrives at our segment of the membrane, a few Na⁺ channels open, permitting Na⁺ ions to enter the neuron. The increase in positive ions inside the cell depolarizes the membrane potential (making it less negative), and brings it closer to the threshold at which an action potential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

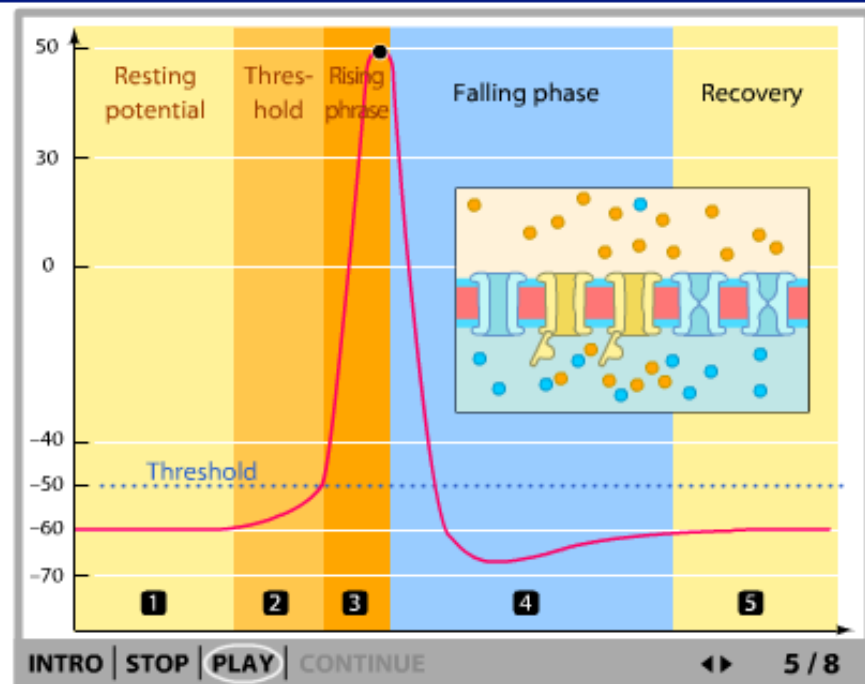


If the depolarization reaches the threshold potential, additional voltage-gated sodium channels open. As positive Na⁺ ions rush into the cell, the voltage across the membrane rapidly reverses and reaches its most positive value.

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

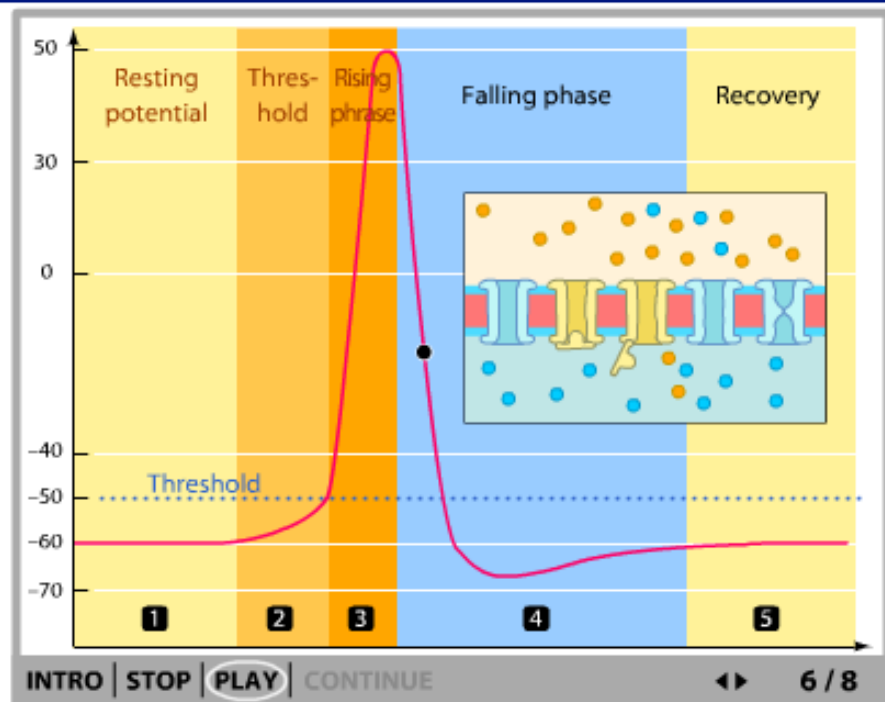


At the peak of the action potential, two processes occur simultaneously. First, many of the voltage-gated sodium channels begin to close. Second, many more potassium channels open, allowing positive charges to leave the cell. This causes the membrane potential to begin to shift back towards the resting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

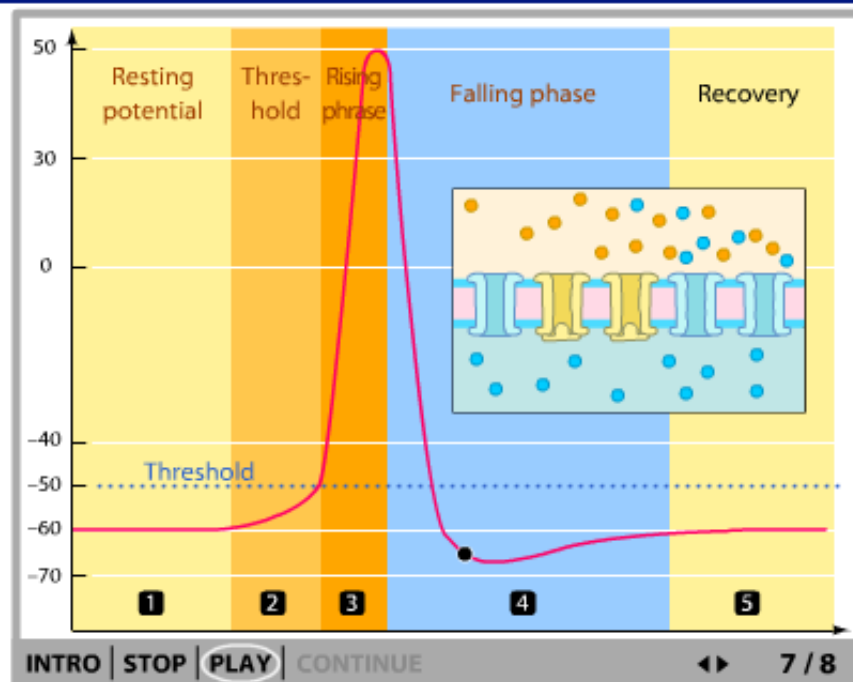


As the membrane potential approaches the resting potential, voltage-gated potassium channels are maximally activated and open.

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

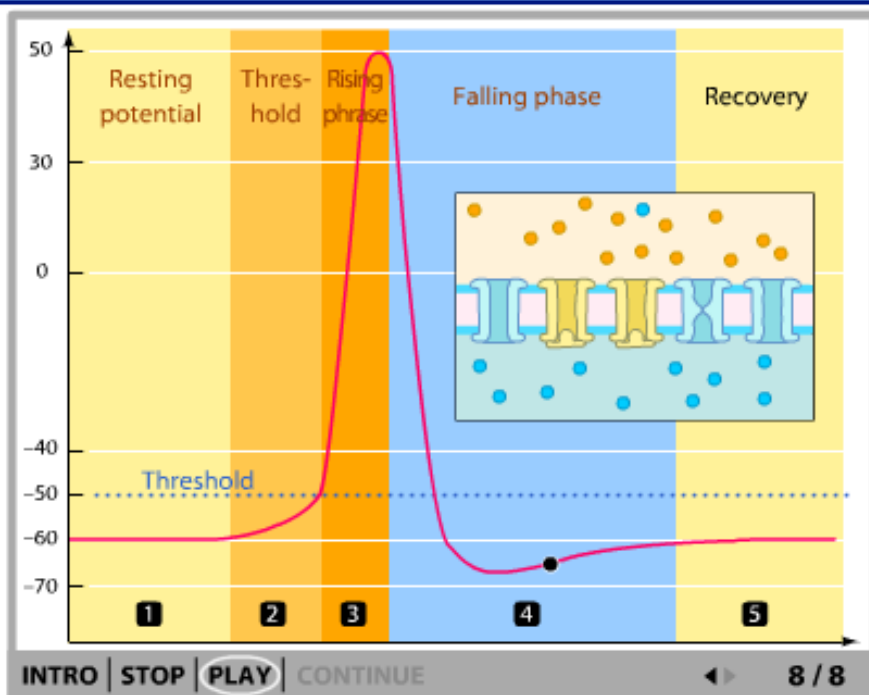


The membrane actually repolarizes beyond the resting membrane voltage. This undershoot occurs because more potassium channels are open at this point than during the membrane's resting state, allowing more positively charged K⁺ ions to leave the cell.

Potencjał czynnościowy

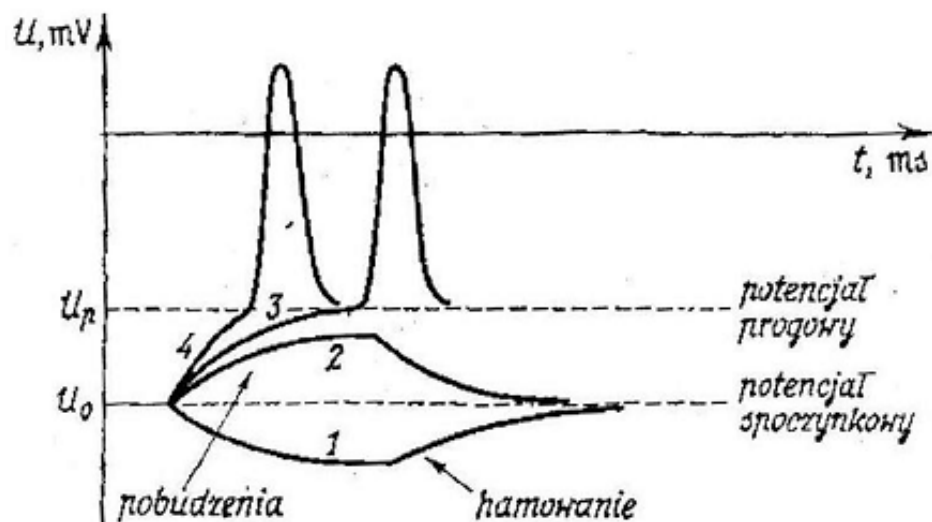
FAZY budowania pot. czynnościowego:

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



The return to steady state continues as the additional potassium channels that opened during the action potential now close. The membrane potential is now determined by the subset of potassium channels that are normally open during the membrane's resting state.

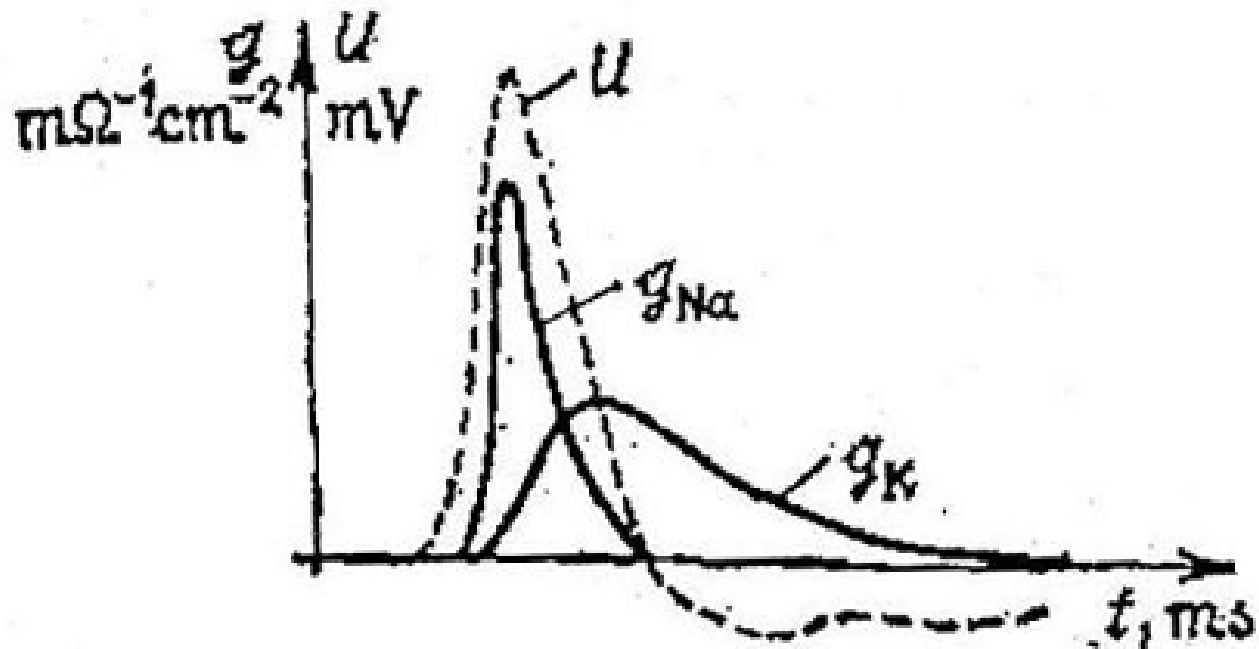
Potencjał czynnościowy



Rys. Przebieg sygnału dla różnych pobudzeń.

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

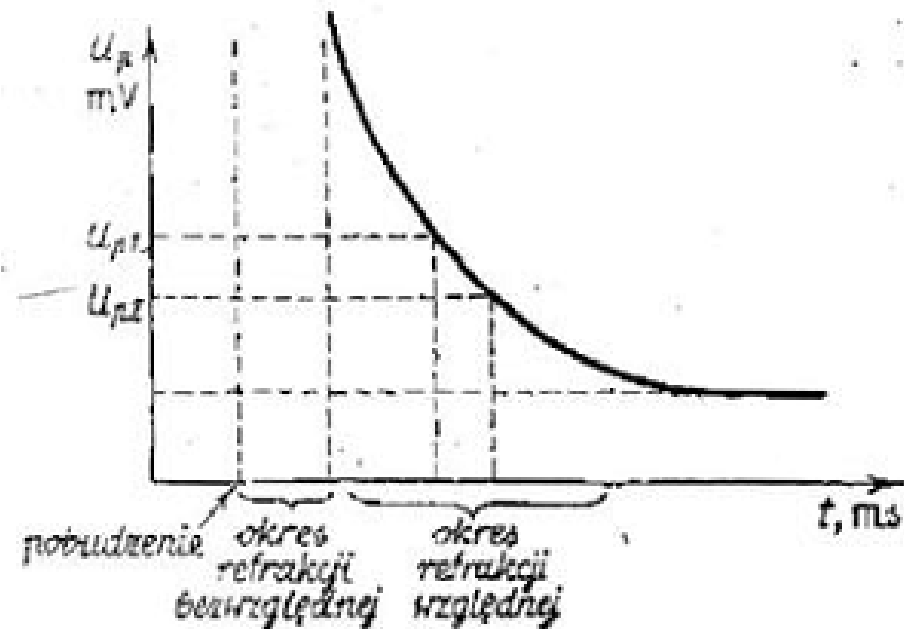
Potencjał czynnościowy



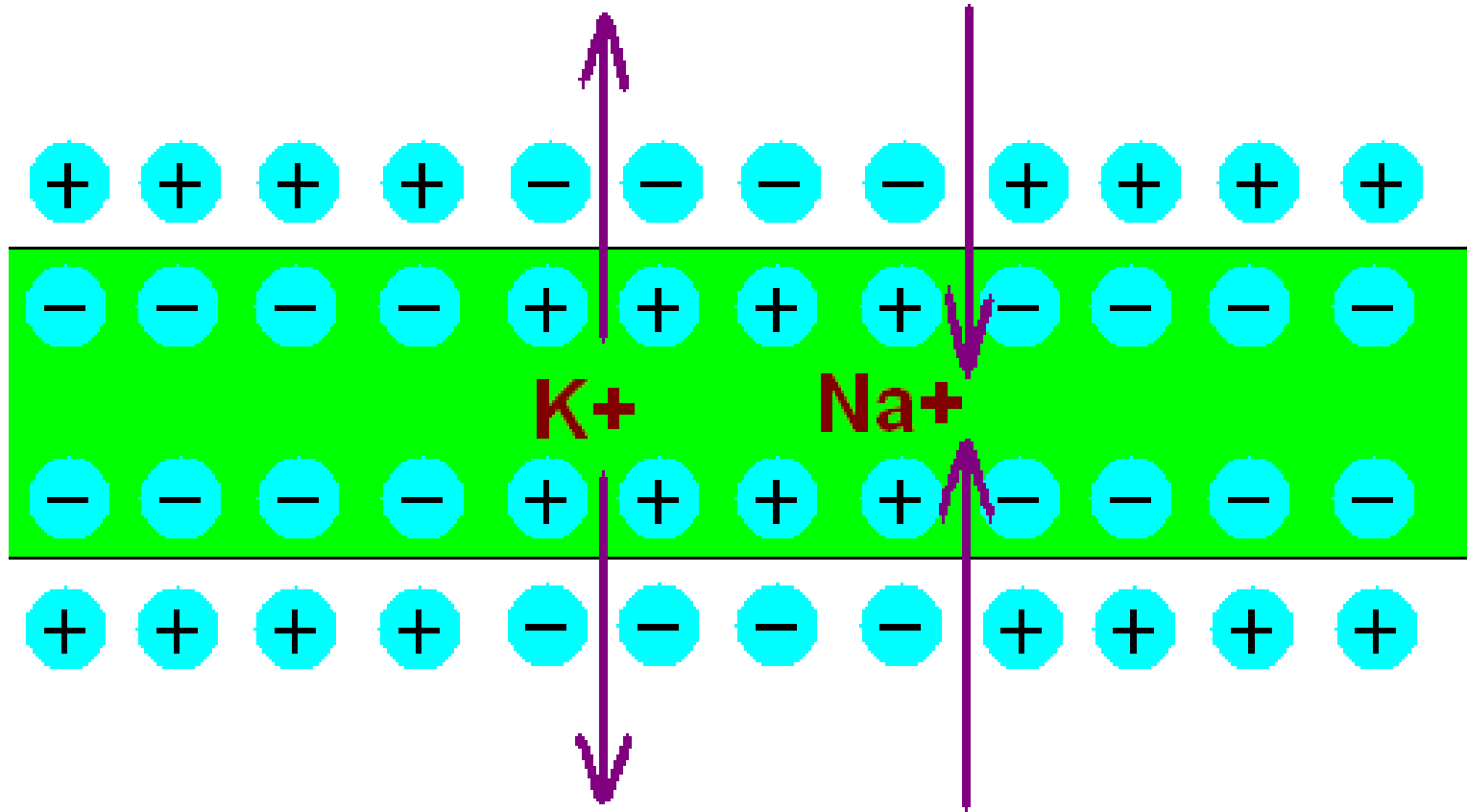
Rys. Zmiany przewodności dla jonów sodu i potasu na tle przebiegu potencjału czynnościowego w czasie.

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.

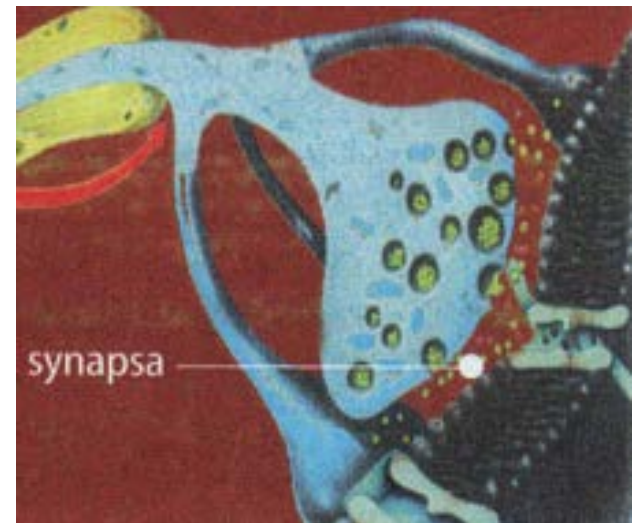


Rozchodzenie się potencjału czynnościowego w aksonie



Synapsy

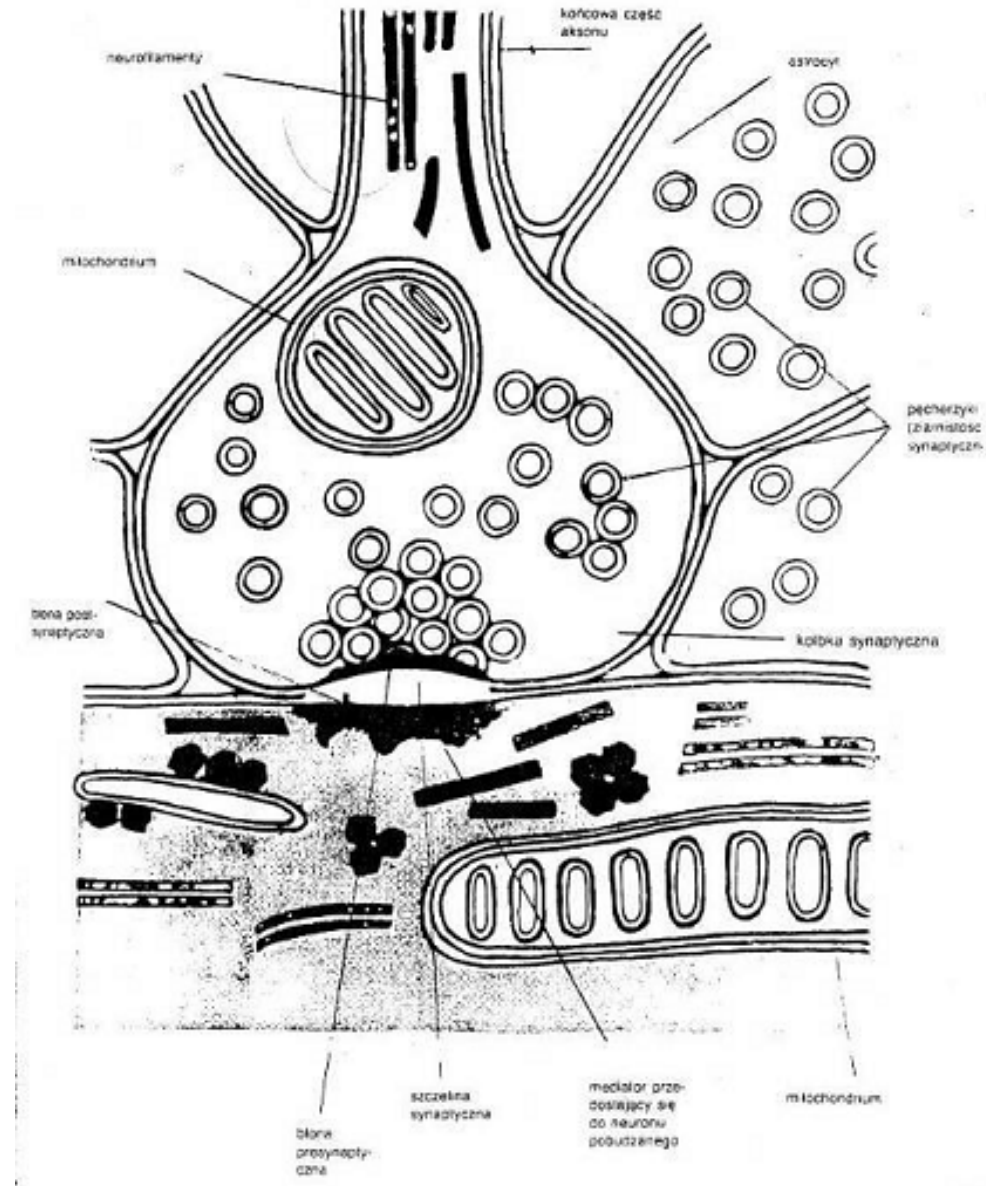
- Za ich pomocą odbywa się **przekazywanie i odbiór sygnałów elektrycznych** pomiędzy komórkami. Dzieje się to za pomocą określonej substancji chemicznej – **mediatora (neuroprzekaźnika)** np.: acetylocholin.



Synapsy

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

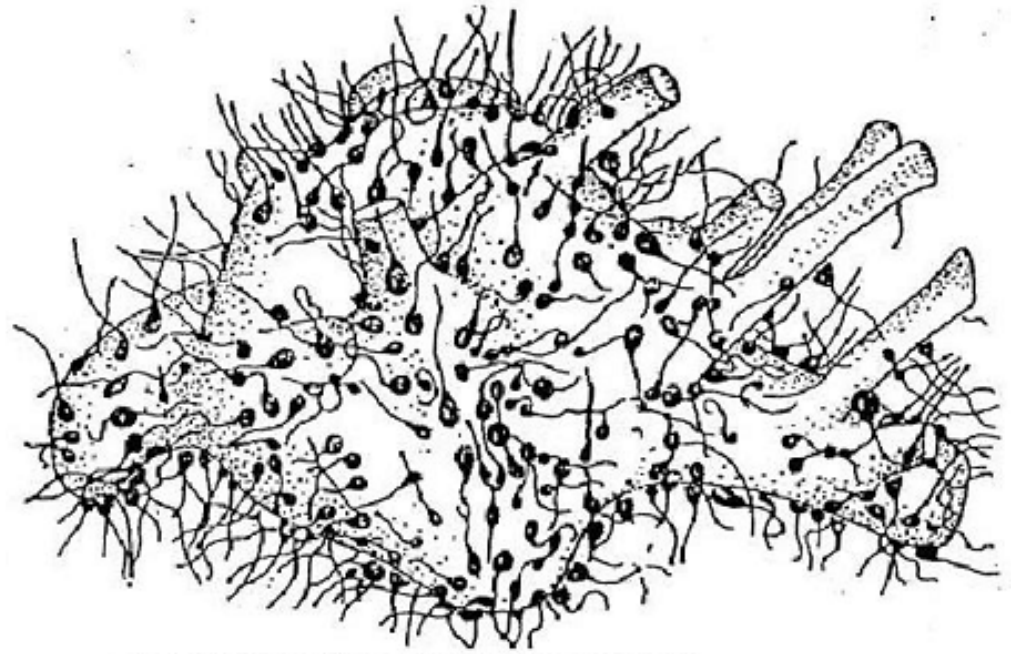
Od strony wydzielającej można wyróżnić **błonę presynaptyczną**, zaś po stronie odbiorczej **błonę postsynaptyczną**.



Budowa synapsy

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).
- ▶ Podczas przekazywania informacji nie działa jedna synapsa, lecz wiele. Stąd mówi się o sumowaniu: przestrzennym i czasowym bodźców.

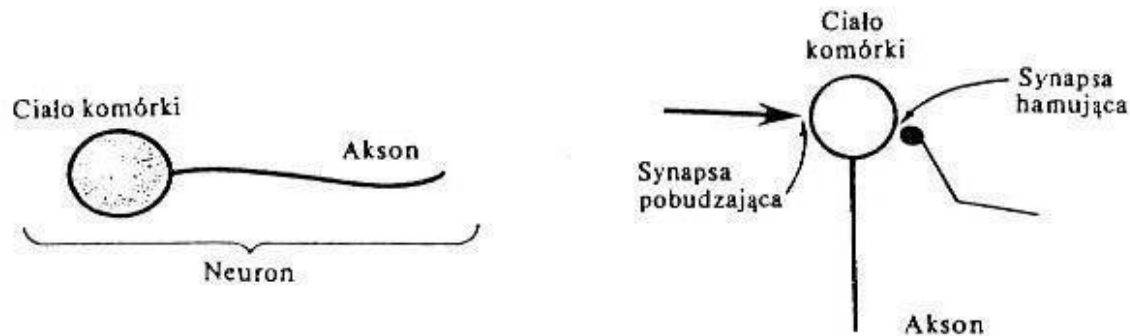


Przykład rozmieszczenia synaps na komórce nerwowej

Synapsy

- Mamy synapsy pobudzające i hamujące, które doprowadzają do stanu równowagi.

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



Rys. 9 Akson – synapsa.

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.

Równowagę zapewnia fakt, że na ciele komórkowym i jego 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).