

ANALOGOWY MODEL TRANSMISJI SYNAPTYCZNEJ

Aparatura

Komputer wraz z neurosymulatorem, Cobra3.

Cel ćwiczenia

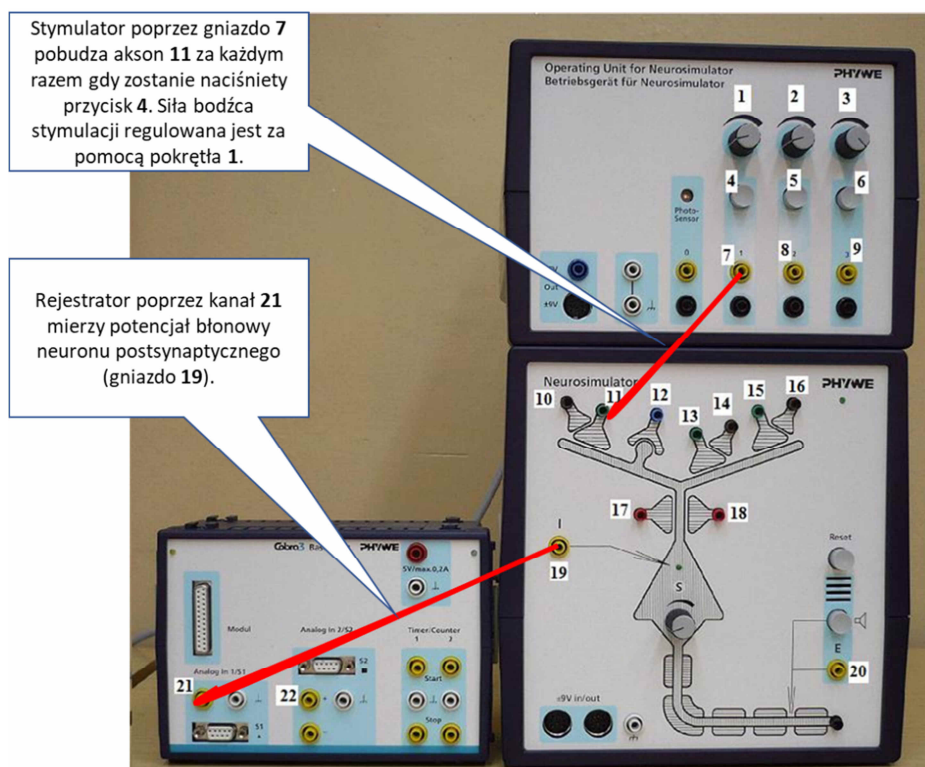
W ramach ćwiczenia przeprowadzone zostaną następujące doświadczenia:

- A. Wyznaczanie stałej czasowej błony neuronu.
- B. Zbadanie zależności pomiędzy siłą bodźca stymulacji a amplitudą postsynaptycznej depolaryzacji (EPSP)
- C. Analiza kodowania informacji w neuronie poprzez częstotliwość wyładowań. Zbadana zostanie zależność pomiędzy amplitudą postsynaptycznej depolaryzacji (EPSP) a częstotliwością generowanych potencjałów czynnościowych.
- D. Zbadanie sumowania przestrzennego aktywności synapsy pobudzającej i hamującej
- E. Indukcja długotrwałego wzmocnienia synaptycznego (LTP) w synapsie pobudzającej.

A. Wyznaczanie stałej czasowej ładowania błony postsynaptycznej

Czynności wstępne:

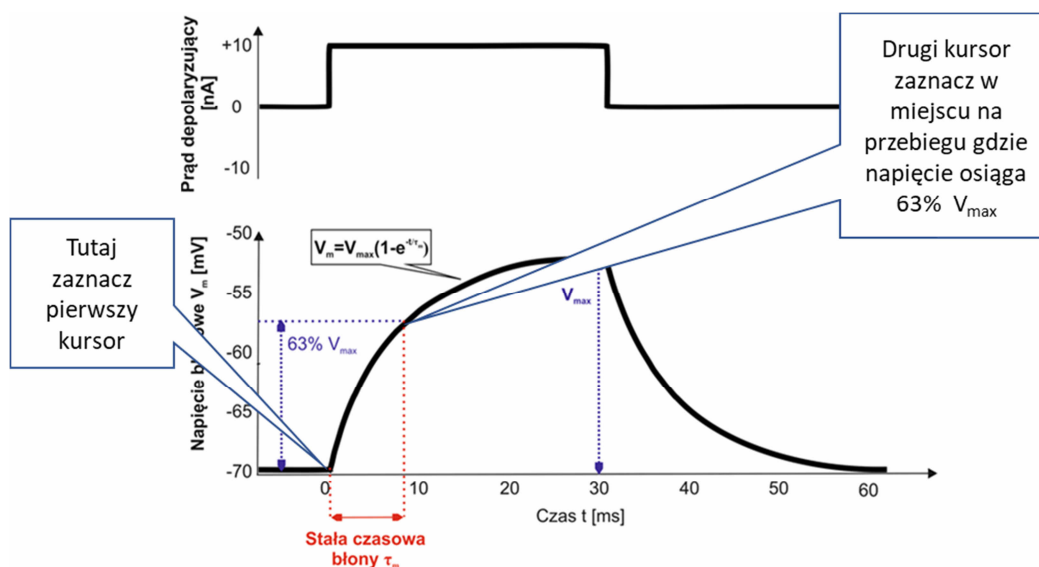
- a) włącz komputer.
 - b) włącz *Neurosymulator* (włącznik znajduje się w górnej części tylnej ścianki urządzenia).
 - c) włącz jednostkę Cobra3 podłączając wtyczkę do gniazda znajdującego się po prawej stronie zasilacza.
 - d) uruchom program *measure*, do którego skrót znajduje się na pulpicie ekranu.
1. Połącz przewodami gniazdo (7) stymulatora z gniazdem (11) presynaptycznej kolbki aksonalnej tworzącej badaną synapsę pobudzającą. Połącz również gniazdo (19) (miejsce rejestracji potencjału błonowego neuronu postsynaptycznego) z gniazdem wejściowym (21) przetwornika analogowo-cyfrowego. Poniższe zdjęcie obrazuje konfigurację pomiarową



2. Natężenie bodźca pobudzającego synapsę 11 ustawiamy za pomocą pokrętki 1.
3. W celu przygotowania oprogramowania do nowej rejestracji kliknij opcję „nowy pomiar” (czerwona kropka w lewym górnym rogu menu programu).
4. Po pojawieniu się na ekranie monitora okna rejestratora:
 - a) wybierz zakładkę „pomiar normalny”
 - b) w ramce „Kanały pomiar” uaktywnij tylko pierwszy (lewy) kanał analogowy
 - c) w polu „rekord X” wybierz „Czas”.
 - d) w ramce „Zakres pomiarowy” (lewy dolny róg ekranu) wybierz opcję „ $\pm 10V$ ” dla obu kanałów analogowych.
5. Naciśnięcie przycisku „Dalej” spowoduje przejście do nowego okna dialogowego. W oknie tym wybierz opcję „rozpocznij pomiar”. Po rozpoczęciu pomiaru odczekaj 2s, a następnie wciśnij na ok. 3 sekundy przycisk 4.

Kilka sekund po zwolnieniu przycisku 4 zakończ rejestrację poprzez wybór opcji „zakończ pomiar” (opcja ta uaktywni się automatycznie po rozpoczęciu pomiaru). **Uwaga: zbyt krótki pomiar nie umożliwi „uchwycenia” całego badanego przebiegu zależności potencjału postsynaptycznego od czasu.**

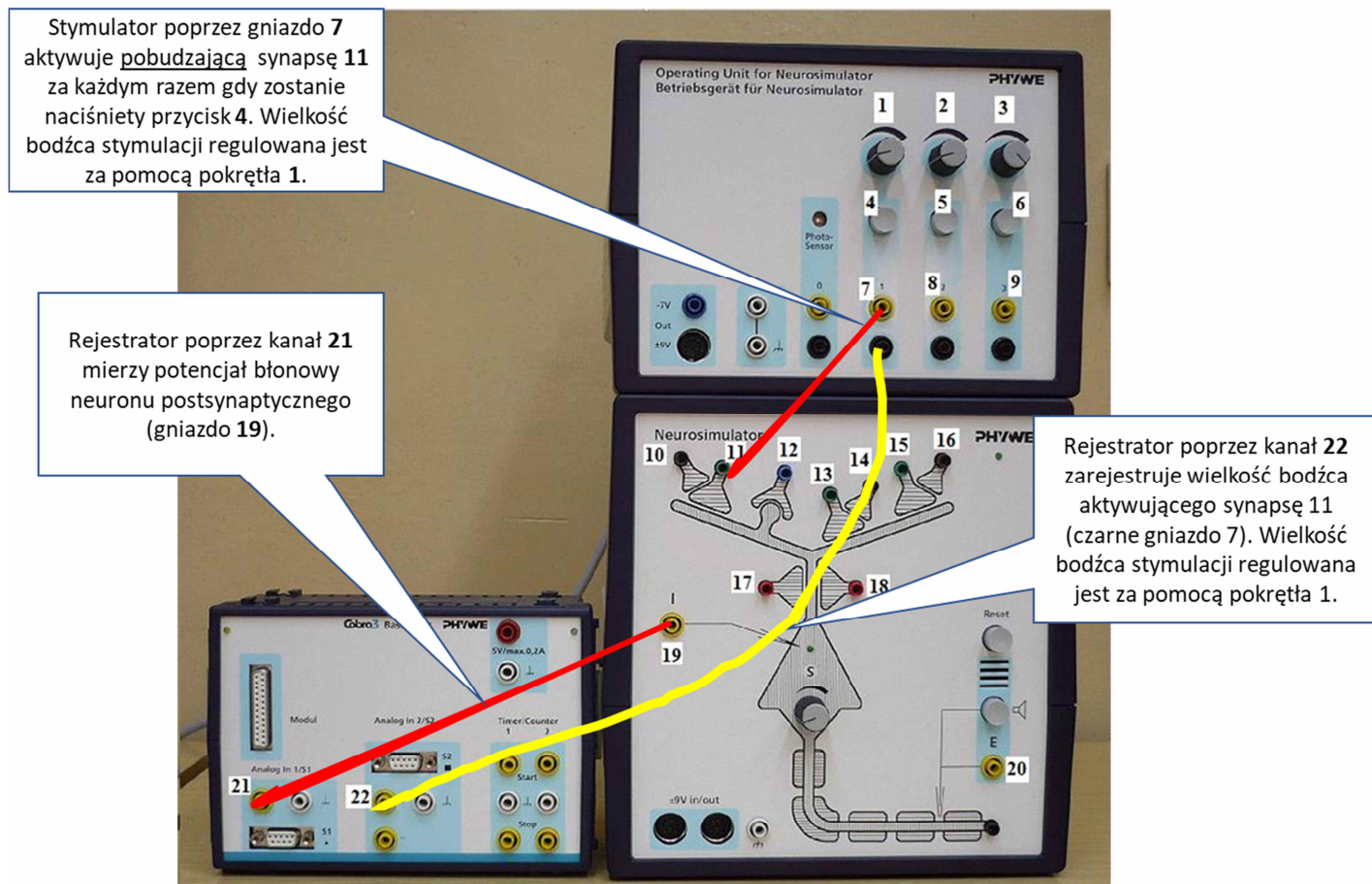
6. Na ekranie monitora automatycznie pojawi się teraz wykres zależności potencjału postsynaptycznego od czasu (wykres czerwony). W celu wyznaczenia z tego wykresu stałej czasowej błony badanego neuronu należy uaktywnij funkcję „zmierz” (środkowa część wiersza menu, symbol $\boxplus$). Funkcja ta wyświetla współrzędne dwóch punktów (oznaczonych na ekranie „1” i „2”), które można dowolnie przesuwac przy pomocy myszy, jak też różnicę odpowiednich wartości współrzędnych między tymi punktami.
 - a) Jako punkt początkowy wybierz moment rozpoczęcia narastania potencjału postsynaptycznego, tj. poziom potencjału spoczynkowego bezpośrednio przed rozpoczęciem depolaryzacji (przesuń do niego punkt „1”).
 - b) Punkt końcowy wybierz z odcinka, w który potencjał postsynaptyczny osiągnął w przybliżeniu stałą poziom (przesuwając do niego punkt „2”).
 - c) Odczytaj z okienka nad wykresem różnicę potencjałów między punktem końcowym i początkowym: ΔY .
 - d) Oblicz $0,63 \times \Delta Y$. Z definicji będzie to stała czasowa ładowania błony (patrz rysunek poniżej, gdzie stałą czasową oznaczono kolorem czerwonym).
 - e) Przesuń punkt pomiarowy po narastającej części krzywej do miejsca, w którym zmiana potencjału względem poziomu początkowego osiąga $0,63 \times \Delta Y$. (Najłatwiej to zrobić przesuwając punkt „2” wzdłuż wykresu do momentu, w którym różnica współrzędnych Y tego punktu i punktu „1” osiągnie wartość ΔY i odczytać następnie odpowiednią wartość ΔX).
 - f) ΔX jest stałą czasową τ . Wpisz wyznaczoną wartość stałej czasowej do Tab. 1 formularza



7. Powtórz czynności z podpunktów 3 oraz 5–6 punktu A dla dwóch, istotnie różniących się natężeń bodźca depolaryzującego (zmieniamy to natężenie pokrętle 1).
8. Oblicz wartość średnią stałej czasowej błony badanego neuronu i wpisać ją do Tabeli 1.

B. Badanie zależności amplitudy depolaryzacji postsynaptycznej od natężenia bodźca

1. Zachowując dotychczasową konfigurację eksperymentalną (podpunkt A.1), dodatkowo połącz gniazdo 7 z gniazdem wejściowym 22 przetwornika analogowo-cyfrowego. Umożliwi to dodatkowo rejestrację natężenia bodźca równoległe z rejestracją potencjału postsynaptycznego.



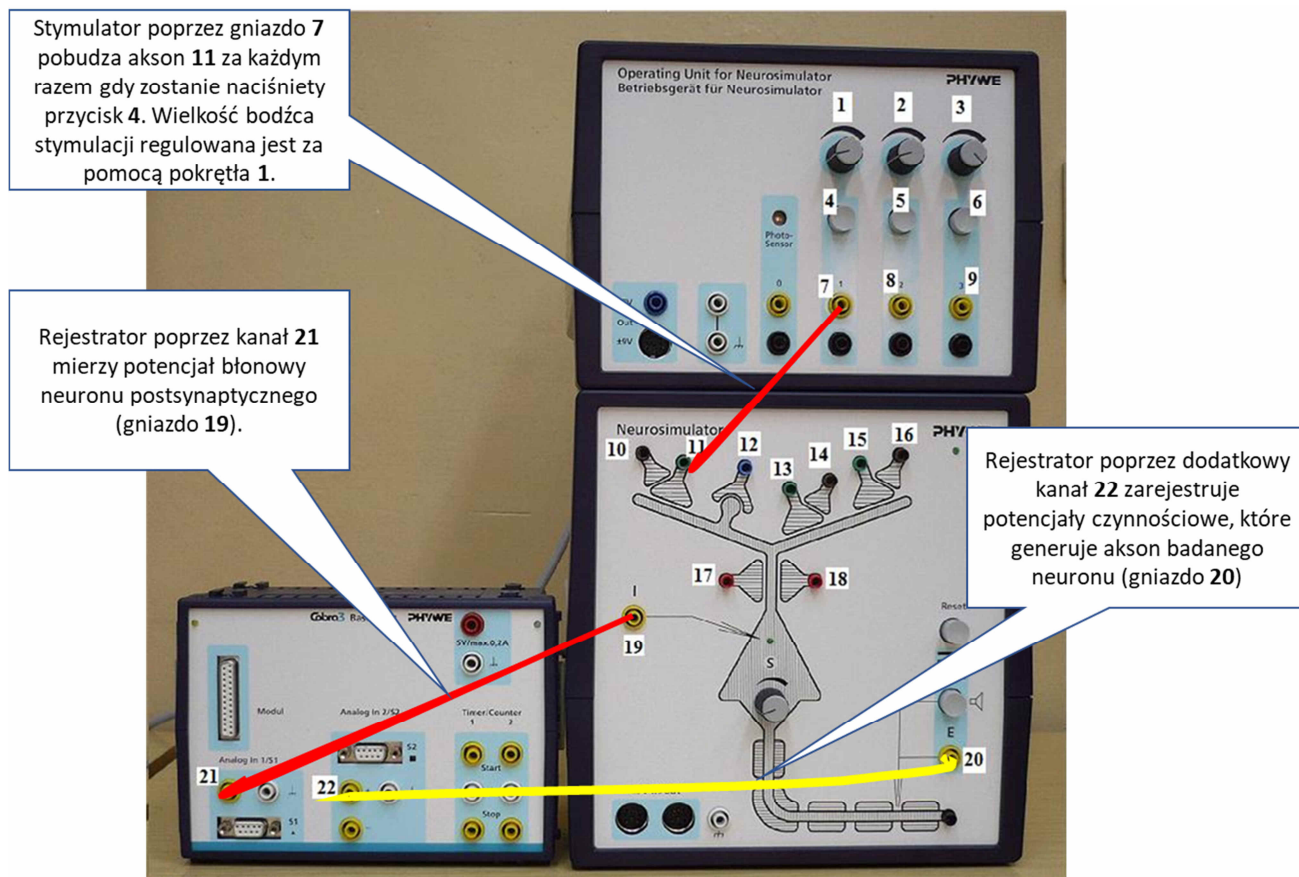
2. Za pomocą pokrętła (1) ustaw natężenie bodźca tak, aby kreska widoczna na pokrętle pokrywała się z początkiem skali znajdującej się nad pokrętle.
3. W programie *measure* kliknij opcję „nowy pomiar”, a następnie uaktywnić w ramce „Kanały pomiar” drugi kanał pomiarowy.
4. Dokonaj jednoczesnej rejestracji wielkości bodźca stymulacji oraz potencjału postsynaptycznego. Naciśnięcie przycisku „Dalej” spowoduje teraz przejście do nowego okna dialogowego. W oknie tym wybierz opcję „rozpocznij pomiar” i, po krótkiej chwili, wciśnij na ok. 3 sekundy przycisk 4.
Kilka sekund po zwolnieniu przycisku 4 zakończ rejestrację poprzez wybór opcji „zakończ pomiar” (opcja ta uaktywni się automatycznie po rozpoczęciu pomiaru).
5. Po zakończeniu rejestracji na ekranie monitora, podobnie jak poprzednio, pojawi się wykres zależności potencjału postsynaptycznego od czasu (wykres czerwony) oraz dodatkowo wykres zależności czasowej bodźca prądowego (wykres niebieski). Uwaga: oś rzędnych odnosi się teraz do potencjału postsynaptycznego.
6. Stosując w sposób wyżej opisany (podpunkt A.6) funkcję „zmiierz” odczytaj amplitudę postsynaptycznej depolaryzacji i wpisz ją do odpowiedniej kolumny w Tab. 2.
7. W celu odczytania wielkości bodźca stymulacji (proporcjonalnego do napięcia) należy kliknąć pole „U1”. Spowoduje to, że oś rzędnych odnosić się będzie do bodźca prądowego – na ekranie pozostanie

tylko wykres niebieski. Przy pomocy funkcji „zmiar” odczytaj wielkość bodźca i wpisać je do odpowiedniej kolumny Tab. 2.

8. Dla kolejnych pięciu różnych, rosnących wielkości bodźca prądowego (ustawianych na pokrętle 1) zmierz ich wartość oraz odpowiednią amplitudę depolaryzacji, powtarzając czynności (4) do (7). Wielkość należy dobrać tak, aby równomiernie pokrywały cały zakres pokręta 1, od początku skali do maksimum.
9. Wykreślić zależność amplitudy depolaryzacji od wielkości bodźca prądowego.

C. Badanie zależności częstotliwości wyładowań w aksonie od amplitudy depolaryzacji

1. Zlikwiduj połączenie gniazd 22 i 7, a następnie połącz gniazdo 22 z gniazdem 20 *Neurosymulatora*, co umożliwi rejestrację przez komputer potencjału błonowego aksonu. Połączenie 19 z 21 pozostawić bez zmian. W ten sposób jeden kanał rejestruje potencjał postsynaptyczny, natomiast drugi kanał — potencjał błonowy aksonu.



2. Wybierz opcję „nowy pomiar” w programie *measure*.
3. Kliknij zakładkę „pomiar szybki” (spowoduje to pewną zmianę w sposobie rejestracji, opisaną poniżej w podpunkcie (6)).
4. Zachowaj wybór zakresu pomiarowego górnego kanału analogowego (± 10 V), zaś zakres dolnego kanału analogowego ustaw na $\pm 0,1$ V.
5. „Częstotliwość” (próbki) ustaw na 10 kHz – spowoduje to, że program *measure* będzie rejestrował co 0,1 ms chwilowe wartości potencjału postsynaptycznego oraz potencjału błonowego aksonu. Ponieważ rejestracja obejmuje 2048 punktów pomiarowych, sam pomiar potrwa nieco ponad 0,2 sekundy. Po zakończeniu rejestracji danych program komputerowy przygotowuje je jeszcze przez krótki czas do prezentacji na ekranie monitora.
6. Kliknij przycisk „Dalej”. Spowoduje to pojawienie się nowego okna z komunikatem „czekaj na wyzwalacz”. W odróżnieniu od poprzedniej sytuacji (punkty A i B), w trybie „pomiar szybki” użycie

przycisku 4 powoduje *automatyczną* rejestrację danych pomiarowych przez komputer i następnie ich prezentację na ekranie monitora.

UWAGA: żeby zapewnić prawidłowe zarejestrowanie całego przebiegu, przycisk 4 należy zwalniać po czasie nie krótszym niż 0,2 s.

7. Wykonaj równoczesne rejestracje zależności czasowej potencjału postsynaptycznego (czerwony wykres) i potencjału błonowego aksonu (niebieski wykres) dla 4 różnych wielkości bodźca (pokrętko 1, zakres od połowy do maximum).
8. Dla każdego zastosowanego natężenia bodźca:
 - a) przy użyciu funkcji „zmierz” odczytaj z czerwonego wykresu, w sposób wyżej opisany, amplitudę depolaryzacji i wpisz ją do Tab. 3,
 - b) Częstotliwość wyładowań należy wyznaczyć na podstawie fragmentu przebiegu odpowiadającego stanowi stacjonarnemu neuronu, czyli po zakończeniu początkowej fazy narastania depolaryzacji postsynaptycznej. Dlatego do obliczeń nie należy wybierać pierwszych potencjałów czynnościowych pojawiających się bezpośrednio po rozpoczęciu stymulacji.

9. Do obliczenia częstotliwości:

- Wybierz fragment przebiegu, w którym kolejne potencjały czynnościowe występują w przybliżeniu ze stałymi odstępami czasowymi.
- Upewnij się, że moment pojawienia się pierwszego zliczanego potencjału czynnościowego, (T_p), przypada po czasie równym co najmniej jednej stałej czasowej błony wyznaczonej w punkcie A. Dzięki temu częstotliwość wyznaczana jest dla stanu stacjonarnego neuronu i pomiar nie obejmuje początkowej fazy ładowania błony.
- Zlicz liczbę potencjałów czynnościowych (N) występujących w wybranym przedziale czasowym (T_p do T_k , gdzie T_k to moment pojawienia się ostatniego zliczanego potencjału czynnościowego).
- Za pomocą funkcji „zmierz” odczytaj czas pojawienia się pierwszego zliczanego potencjału czynnościowego (T_p) oraz ostatniego zliczanego potencjału czynnościowego (T_k).
- Wyznacz długość przedziału czasowego ($T_k - T_p$)
- Oblicz częstotliwość wyładowań ze wzoru:

$$f = (N - 1) / (T_k - T_p)$$

gdzie:

- (f) – częstotliwość wyładowań w aksonie [Hz], $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.
- (N) – liczba zliczonych potencjałów czynnościowych,
- (T_p) – czas pojawienia się pierwszego zliczanego potencjału czynnościowego,
- (T_k) – czas pojawienia się ostatniego zliczanego potencjału czynnościowego.

Liczba (N-1) wynika z tego, że pomiędzy (N) potencjałami czynnościowymi występuje (N-1) odstępów czasowych.

10. Narysuj wykres zależności częstotliwości wyładowań w aksonie od amplitudy depolaryzacji.

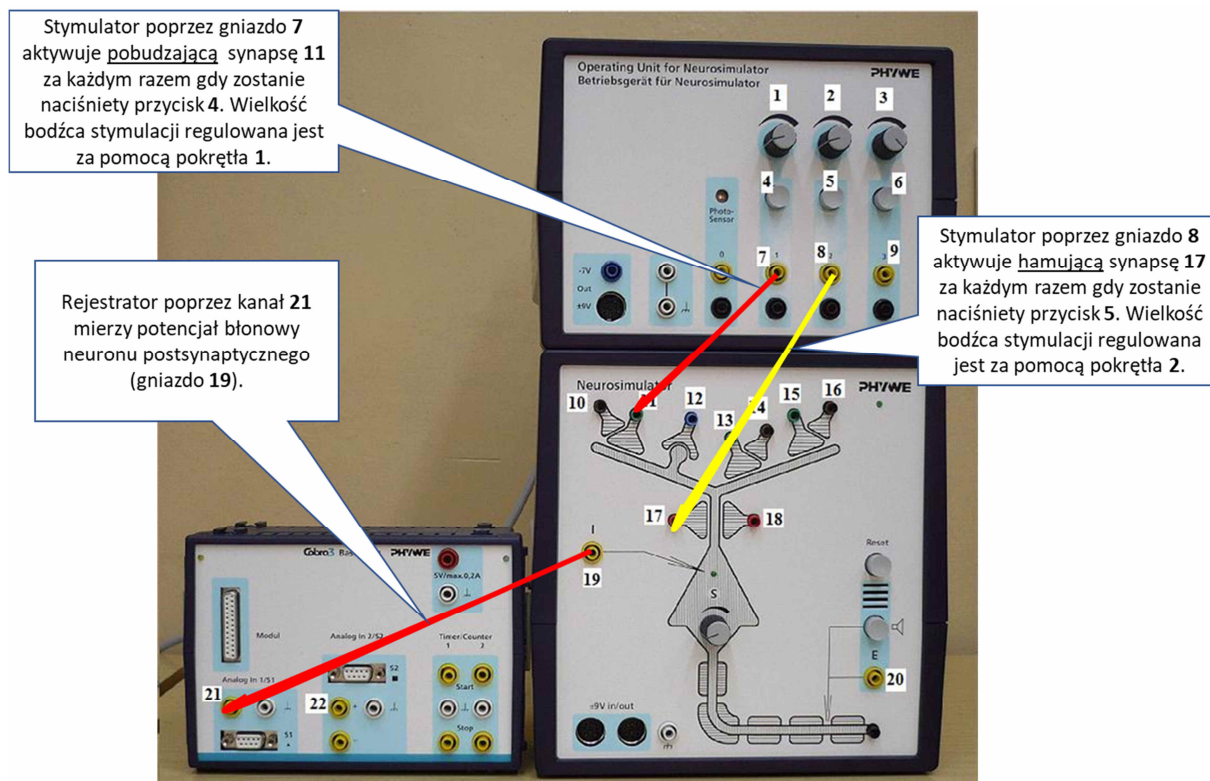
D. Sumowanie przestrzenne sygnałów synaptycznych

W tej części ćwiczenia rejestrowany jest wyłącznie potencjał postsynaptyczny (połączenie gniazd 19 → 21) w trybie „pomiar normalny”, z aktywnym tylko pierwszym kanałem analogowym, tak jak w punktach A.3–A.4. Badane są dwie synapsy:

synapsa pobudzająca 11 – aktywowana przyciskiem 4,

synapsa hamująca 17 – aktywowana przyciskiem 5.

1. Usuń połączenie gniazd 20 i 22. Pozostaw połączenia 7 → 11 oraz 19 → 21. Dodatkowo połącz gniazdo 8 z gniazdem 17 (hamujące zakończenie synaptyczne, gniazdo czerwone).
2. Ustaw pokrętkę 1 w okolicy połowy zakresu, a pokrętkę 2 na około 1/3 zakresu.



3. W programie *measure* kliknij opcję „nowy pomiar”, a następnie wyłącz w ramce „Kanały pomiarowe” drugi kanał pomiarowy.
4. Naciśnij przycisk dalej co spowoduje pojawienie się nowego okna pomiarowego. W tym oknie wybierz opcję rozpocznij pomiar, aby dokonać rejestracji potencjałów postsynaptycznych. W trakcie jednego pomiaru zmierz kolejno odpowiedź na pobudzenie synapsy pobudzającej, synapsy hamującej oraz obu synaps jednocześnie wykonując kolejno następujące kroki:
 - a) wciśnij przycisk 4 na ok. 2 s – aktywacja samej synapsy pobudzającej 11 (EPSP);
 - b) po dwóch sekundach wciśnij przycisk 5 na ok. 2 s – aktywacja synapsy hamującej 17 (IPSP);
 - c) po dwóch sekundach wciśnij jednocześnie przycisk 4 i przycisk 5; oba przyciski przytrzymać jeszcze ok. 2 s – sumowanie 11 + 17.

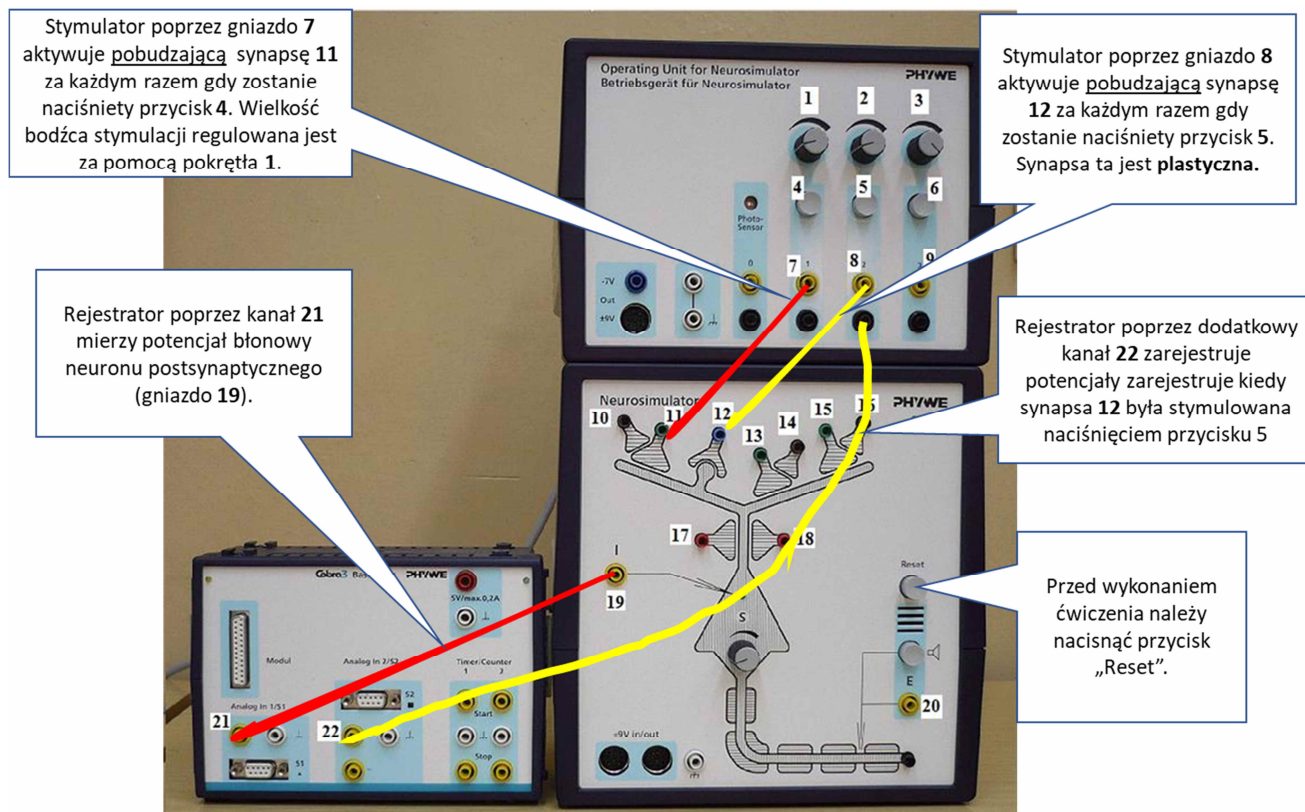
Po sekundzie można zakończyć rejestrację poprzez wybór opcji „zakończ pomiar” (opcja ta uaktywni się automatycznie po rozpoczęciu pomiaru). Uwaga: zbyt krótki pomiar nie umożliwi „uchwycenia” całego badanego przebiegu zależności potencjału postsynaptycznego od czasu.

5. Funkcją „zmierz” odczytaj zmiany amplitud zarejestrowanych w kolejnych etapach pomiaru, tj. odchylenie potencjału w fazie plateau od wartości spoczynkowej, i podaj ją **ze znakiem** (depolaryzacja „+”, hiperpolaryzacja „-”). W etapie jednoczesnego pobudzenia synaps (c) amplitudę sumowanego potencjału postsynaptycznego (PSP) odczytaj z plateau. Wyniki wpisz do Tab. 4 i oblicz sumę algebraiczną amplitud EPSP i IPSP.
6. Przerysuj do formularza przebieg pomiaru (Ryc. 1), zaznaczając na kolejnych etapach: poziom potencjału spoczynkowego, momenty wciśnięcia i zwolnienia przycisków oraz odczytaną amplitudę.

E. Długotrwałe wzmocnienie synaptyczne (LTP) w synapsie Hebba

Zakończenie 12 (gniazdo niebieskie) modeluje synapsę Hebba – synapsę pobudzającą, której skuteczność może ulec trwałej zmianie. W tej części ćwiczenia porównywana jest siła synapsy 12 i synapsy 11 przed indukcją wzmocnienia i po niej. Siłę synapsy określamy na podstawie amplitudy wywołanego przez nią EPSP.

1. Usunąć przewody z gniazd 8 i 17. Połączyć gniazdo 7 z gniazdem 11, a gniazdo 8 z gniazdem 12. Połączenie 19 → 21 pozostaw. Dodatkowo połączyć gniazdo 8 z gniazdem 22, co umożliwi zarejestrowanie momentów, w których była stymulowana synapsa 8. Pokręta 1 i 2 ustaw w połowie zakresu.



2. Wciśnij przycisk „Reset” na Neurosimulatorze. Uwaga: bez tego kroku synapsa 12 może pozostawać wzmocniona po pomiarach poprzedniej grupy, a pomiar wyjściowy będzie błędny.
3. **Pomiar wyjściowy.** Przygotuj nową rejestrację w trybie „pomiar normalny” i włącz w ramce „Kanały pomiar” drugi kanał pomiarowy. Wybierz opcję „rozpocznij pomiar”.
4. Rejestracja odpowiedzi przed indukcją LTP
 - a) Wciśnij trzykrotnie na jedną sekundę przycisk 4 w odstępie około sekundy (pobudzanie synapsy 11),
 - b) Następnie wciśnij trzykrotnie na jedną sekundę przycisk 5 w odstępie około sekundy (pobudzanie synapsy 12).
 - c) Zakończ rejestrację, odczytać amplitudy sześciu EPSP i wpisać je do Tabeli (wiersz „przed indukcją”).
5. **Indukcja LTP.** Bez rejestracji wcisnąć **jednocześnie** przyciski 4 i 5 na ok. 1 s i powtórzyć to 15 razy, odczekując ok. 2 s między kolejnymi wciśnięciami. Rejestracja indukcji nie jest wymagana. W chwili zwolnienia przycisków po piętnastym wciśnięciu uruchomić stoper – przyjmujemy ten moment za $t = 0$.
6. **Pomiary po indukcji.** W chwilach $t \approx 30$ s, 2 min i 5 min po zakończeniu indukcji powtórzyć rejestrację z punktu E.4 (trzykrotnie synapsa 11, trzykrotnie synapsa 12). Wyniki wpisać do Tabeli. Uwaga: Pomiedzy pomiarami nie zmieniać ustawień pokręteł, nie wciskać przycisków 4 i 5 ani przycisku „Reset”.
7. Dla każdego punktu czasowego obliczyć średnią amplitudę EPSP dla synaps 11 i 12 oraz wyrazić ją w procentach wartości wyjściowej:

$$A\% = \frac{\text{wartość średnia po indukcji}}{\text{wartość średnia przed indukcją}} \cdot 100\%$$

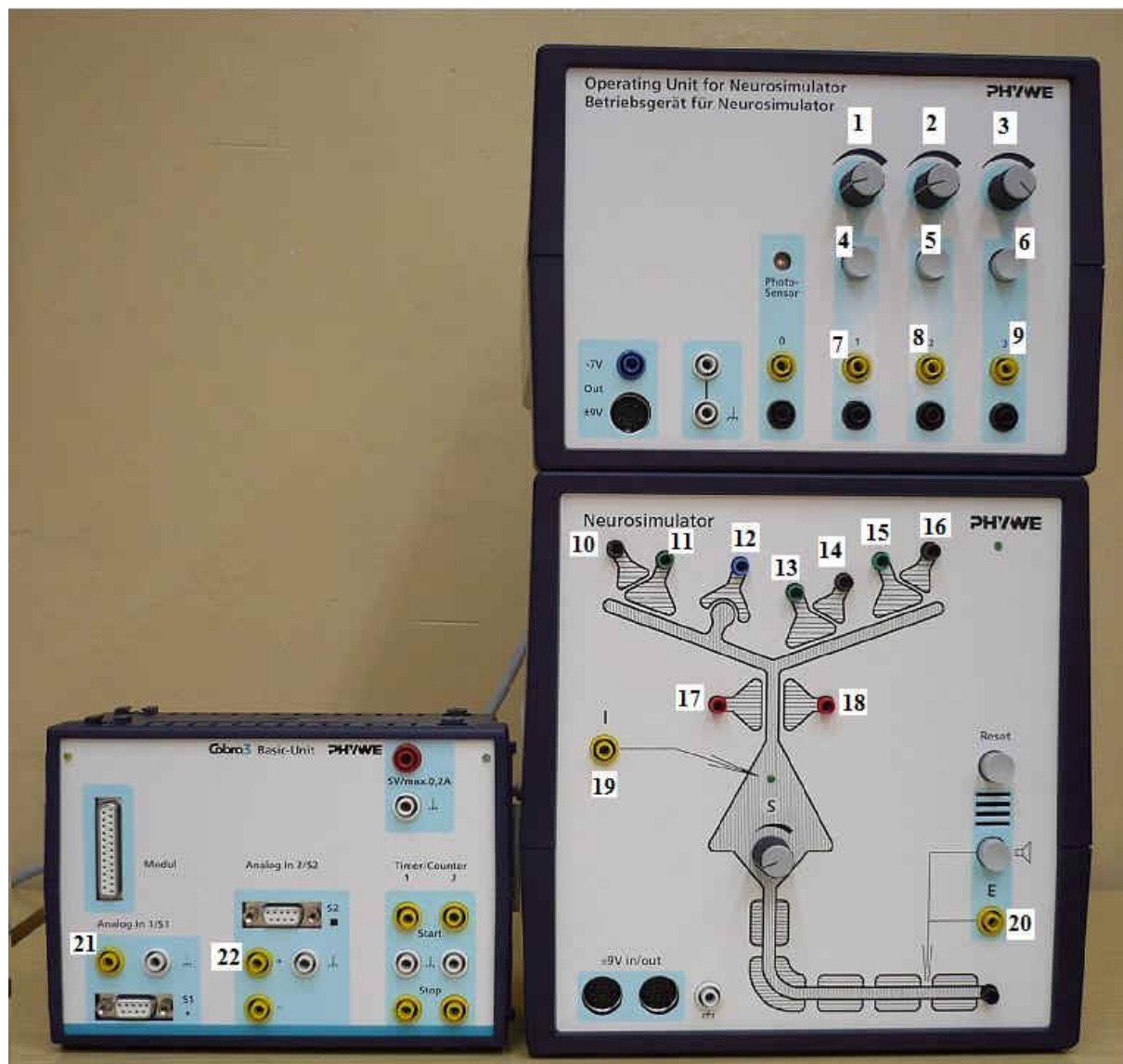
8. Wykreślić w formularzu przebieg czasowy LTP, tj. zależność $A\%$ od czasu dla obu synaps na jednym wykresie (synapsa 11 – punkty, synapsa 12 – x). Pomiar wyjściowy umieścić na wykresie w punkcie $t = -1$ min. Połączyć punkty tej samej synapsy linią.

Wymagane wiadomości teoretyczne

1. Omówić bierne właściwości elektryczne błon, znajomość pojęć: pojemność elektryczna, opór elektryczny, stała czasowa błony.
2. Omówić elektryczny model zastępczy błony komórkowej; wyjaśnić, w jaki sposób zmiana wartości potencjału błonowego zależy od natężenia prądu jonowego płynącego przez błonę komórkową.
3. Omówić właściwości i mechanizm generowania potencjału czynnościowego w neuronie: rola kanałów sodowych i potasowych bramkowanych napięciem.
4. Opisać strukturę synapsy chemicznej (nerwowo-nerwowej) wraz ze znajomością neuroprzekazników synaps pobudzających i hamujących.
5. Omówić mechanizm funkcjonowania synapsy chemicznej, w szczególności mechanizm wydzielania neuroprzekaznika (rola kanałów wapniowych bramkowanych napięciem).
6. Omówić mechanizm generowania i funkcje postsynaptycznego potencjału pobudzającego (EPSP) i postsynaptycznego potencjału hamującego (IPSP). Wyjaśnij pojęcia: sumowanie czasowe i przestrzenne sygnałów postsynaptycznych.
7. Omówić hamowanie postsynaptyczne i presynaptyczne; wskazać różnice w ich mechanizmie i selektywności.
8. Omówić długotrwałe wzmocnienie synaptyczne (LTP) i jego właściwości.

Zalecana literatura

1. S. Miękisz, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki”, Volumed, Wrocław 1998. Rozdziały 4.3, 4.6.1 i 4.7.
2. Suplement teoretyczny do ćwiczenia na stronie Katedry.
3. Opracowanie na stronie Katedry: <http://www.biofiz.umed.wroc.pl/dydaktyka/inne/bfstr64.html>
4. G. G. Matthews, „Neurobiologia. Od cząsteczek i komórek do układów”, PZWL, 2000.



Zestaw pomiarowy wraz z numeracją elementów stosowaną w tekście: jednostka sterująca (u góry), Neurosymulator (u dołu, po prawej) i przetwornik analogowo-cyfrowy Cobra3 (po lewej).

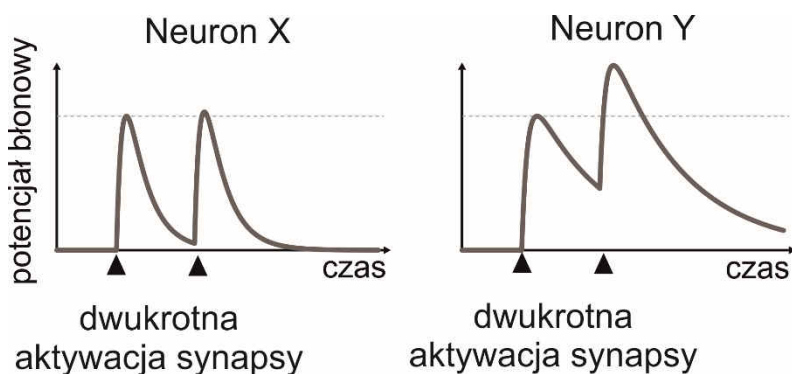
Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu Katedra i Zakład Biofizyki i Neurobiologii	Ćwiczenie 10 Analogowy model transmisji synaptycznej	 <i>Imiona i nazwiska studentów</i>
		Wydział: Nr grupy: Data:
Ocena:	Podpis prowadzącego ćwiczenia:	

Część A. Pomiar stałej czasowej ładowania błony.

Nr pomiaru	Stała czasowa ładowania błony [ms]
1	
2	
3	
Wartość średnia	

Tabela 1. Stała czasowa błony komórkowej.

A.1 Neuron X ma stałą czasową błony równą 5 ms, a neuron Y – 50 ms. W przypadku oby neuronów aktywowano jedną synapsę pobudzającą dwukrotnie w odstępie 20 ms. Rysunek poniżej przedstawia zmierzony potencjał błonowy w neuronie postsynaptycznym. Napisz, jak nazywa się zjawisko zaobserwowane w neuronie Y. Który neuron ma większą szansę osiągnąć próg pobudzenia? Uzasadnij



.....

.....

.....

.....

.....

.....

Część B. Zależność amplitudy depolaryzacji błony od wielkości bodźca.

Wielkość bodźca aktywującego synapsę [V]	Amplituda postsynaptycznego potencjału pobudzającego EPSP [V]

Tabela 2. Zależność amplitudy depolaryzacji błony od wielkości bodźca.



B.1 Czy otrzymana zależność jest liniowa w całym badanym zakresie? Wyciągnij główny wniosek, który płynie z otrzymanych wyników.

.....

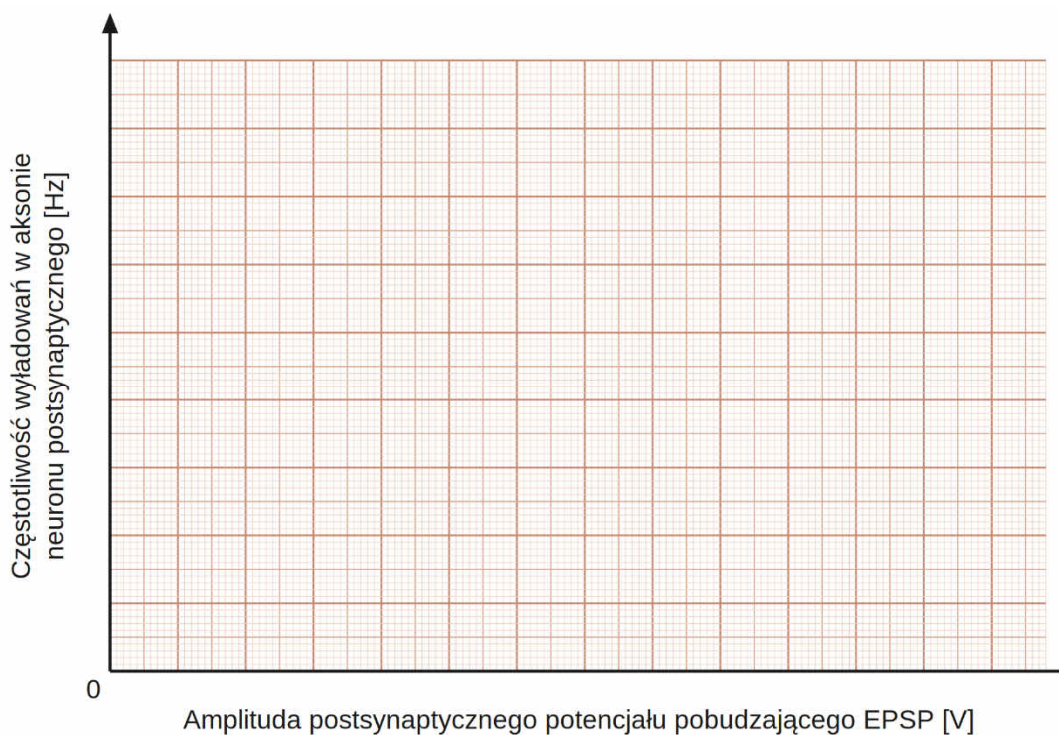
.....

.....

.....

Część C. Zależność częstotliwości wyładowań w aksonie od amplitudy depolaryzacji.

Amplituda postsynaptycznego potencjału pobudzającego EPSP [V]	Częstotliwość wyładowań w aksonie neuronu postsynaptycznego [Hz]



C.1 Amplituda potencjału czynnościowego nie zależy od wielkości bodźca (zasada „wszystko albo nic”). Na podstawie otrzymanego wykresu wyjaśnij, w jaki sposób neuron czuciowy przekazuje do ośrodkowego układu nerwowego informację o sile ucisku skóry.

.....

.....

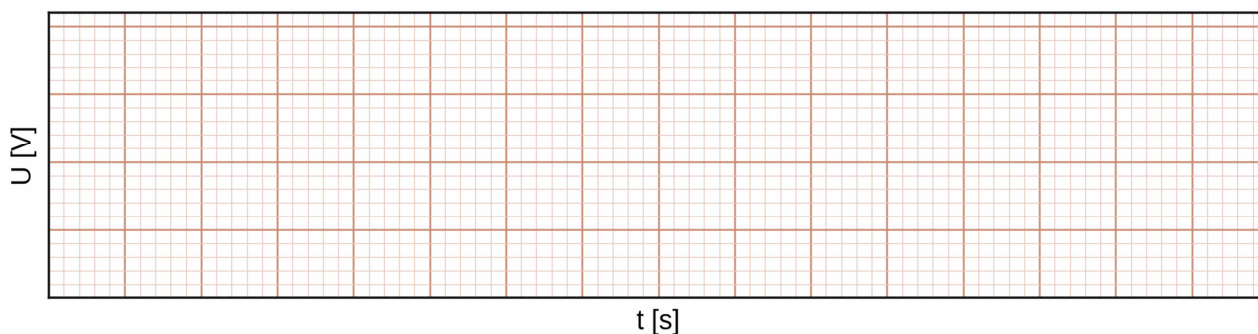
.....

.....

Część D. Sumowanie przestrzenne pobudzenia i hamowania postsynaptycznego

Przebieg	Amplituda [V]
a) Zarejestrowany EPSP – aktywacja synapsy 11	
b) Zarejestrowany IPSP – aktywacja synapsy 17	
Suma algebraiczna amplitud EPSP + IPSP (oblicz)	
c) Zarejestrowany PSP – aktywacja synaps 11 + 17	

Wykres zmiany napięcia błonowego podczas aktywacji synapsy 11, następnie synapsy 17 i następnie obu synaps równocześnie.



D.1 Dlaczego amplituda sumowanego PSP jest dużo mniejsza niż amplituda samego EPSP? Porównaj zmierzoną amplitudę sumowanego PSP z obliczoną sumą algebraiczną. Podaj neuroprzekaźnik i jony, które przenoszą sygnał w rzeczywistej hamującej synapsie chemicznej.

.....

.....

.....

.....

.....

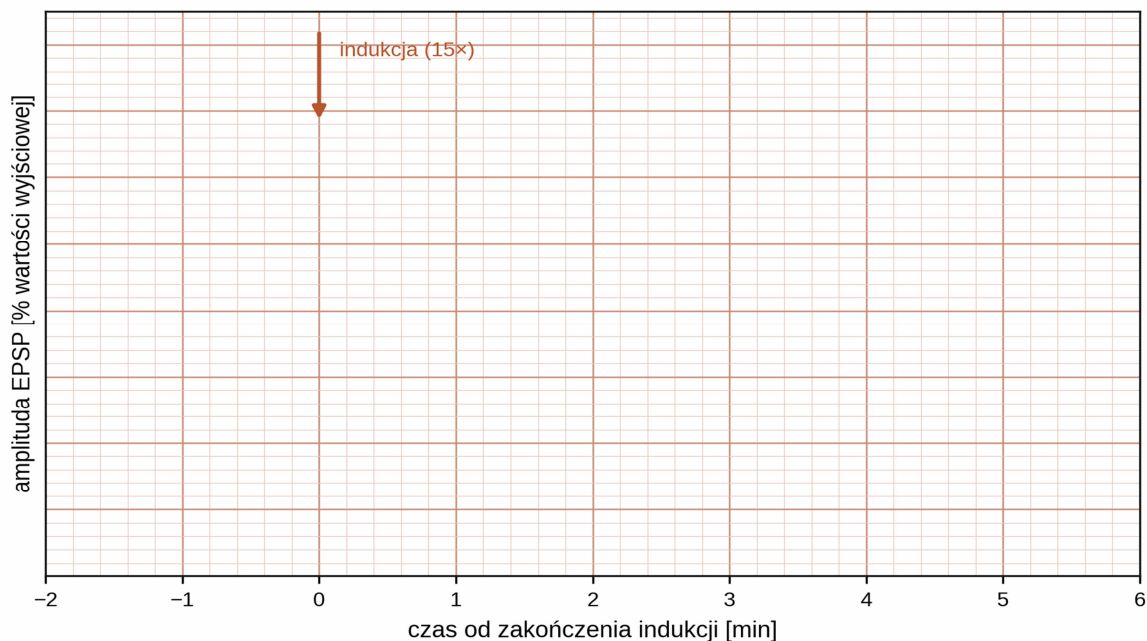
.....

.....

.....

Część E. Długotrwałe wzmocnienie synaptyczne (LTP)

	Synapsa 11					Synapsa 12 (Hebba)				
	A ₁	A ₂	A ₃	Średnia	%	A ₁	A ₂	A ₃	Średnia	%
przed indukcją -1 min					100					100
po 30 s										
po 2 min										
po 5 min										



E.1 Która synapsa uległa wzmocnieniu, a która nie? Jak nazywamy tę właściwość LTP i dlaczego jest ona niezbędna, by jeden neuron mógł uczestniczyć w przechowywaniu wielu różnych śladów pamięciowych? Podaj, o ile procent wzrosła amplituda EPSP synapsy 12 po 30 s.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

***** Problem dla zainteresowanych.** Pies Pawłowa ślini się na widok pokarmu (bodziec bezwarunkowy), a po wielokrotnym skojarzeniu pokarmu z dźwiękiem dzwonka – także na sam dźwięk (bodziec warunkowy). Którym synapsom na używanym Neurosymulatorze przypiszesz oba bodźce w tej prostej formie uczenia się.

.....

.....

.....

.....

.....