



UNIVERZITET U SARAJEVU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET SARAJEVO

# DOMAĆA ZADAĆA 1

## BIOMEDICINSKI SIGNALI I SISTEMI

**Student: Mašović Haris**

**Indeks: 1689/17993**

**Odsjek: Računarstvo i Informatika**

**Datum:**

**04.04.2020**

**Potpis:**

---

Napomena: Prvih 5 zadataka koristi samo provodnost Na kanala, dok su ostali kanali iskljuceni.

### Zadatak 1.

Razmotrite uticaj difundiranja jona  $Na^+$  kroz ćelijsku membranu na membranski potencijal ćelije. Prepostavite da samo joni  $Na^+$  difundiraju kroz ćelijsku membranu. Izračunati membranski potencijal ćelije koristeći Nernstovu jednačinu ravnoteže. Pri proračunu koristiti sljedeće vrijednosti:  $R = 8.314 \frac{K}{J \cdot mol}$ ,  $t = 6.3^\circ C$ ,  $z = 1$  i  $F = 96.485 \frac{C}{mol}$ . Vrijednosti koncentracije jona sa unutrašnje i vanjske strane ćelijske membrane očitati iz prozora *Membrane* iz HHsim simulatora.

$$R = 8.314 \text{ k/(J*mol)}$$

$$T = 6.3 \text{ C} = 279.45 \text{ K}$$

$$Z = 1$$

$$F = 96.485 \text{ C/mol}$$

$$C_o = 440 \text{ (ocitano sa simulatora)}$$

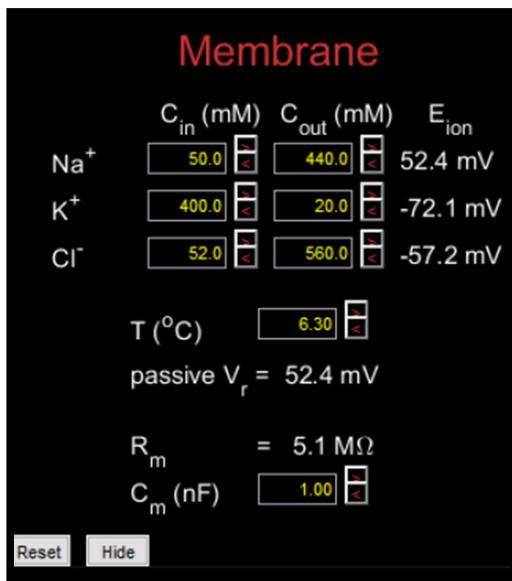
$$C_i = 50 \text{ (ocitano sa simulatora)}$$

$$U_m = ? \text{ (potencijal membranski)}$$

$$U_m = R \cdot T / (Z \cdot F) * \ln(C_o / C_i) = 8.314 * 279.45 / 96.485 * \ln(440/50) = 52.38 \text{ mV}$$

### Zadatak 2.

Proračun koji ste napravili u prethodnom zadatku provjerite koristeći HHsim simulator. Provjeru u HHsim simulatoru dokumentujte.



Kao što vidimo na slici lijevo, proračun za membranski potencijal je aproksimativno tacan - u HHsim simulatoru iznosi 52.4 mV (jer zaokružuje na 1 decimalu), a rucnom računicom iznosi 52.38 mV.

### Zadatak 3.

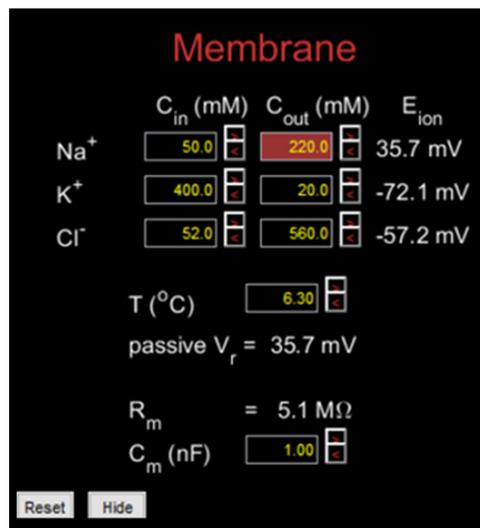
Koliko se promijeni vrijednost membranskog potencijala ukoliko se koncentracija jona  $Na^+$  sa vanjske strane ćelijske membrane upolovi. Proračun provjerite koristeći HHsim simulator. Provjeru u HHsim simulatoru dokumentujte.

Ukoliko se vanjska koncentracija prepolovi, iznosiće 220mM, pa shodno tome imamo:

$$Um = 2323.347/96.485 * \ln(4.4) = 24.0798 * 1.481 = 35.67\text{mV}$$

HHsim simulator prikazuje da će membranski potencijal tada iznositi 35.7mV, što je približno proračunu (opet jer simulator zakruzuje rezultat na 1 decimalu).

Provjera u Hhsim simulatoru:



### Zadatak 4.

Izračunajte vrijednost vanjske koncentracije jona  $Na^+$  koja ravnotežni potencijal ćelijske membrane drži na vrijednosti  $V_r = XX[\text{mV}]$ . Proračun provjerite koristeći HHsim simulator. Provjeru u HHsim simulatoru dokumentujte.

**Napomena:** XX vrijednost se odabire pojedinačno za svakog studenta na osnovu broja indeksa sa bachelor studija. Broj indeksa je petocifreni broj oblika ABCDE gdje svako slovo predstavlja jednu cifru. Vrijednost XX se računa prema formuli:

$$XX = (10 \cdot B + C + E) - 30$$

$$\text{INDEX} = 17993 \rightarrow XX = (10 * 7 + 9 + 3) - 30 = 52.$$

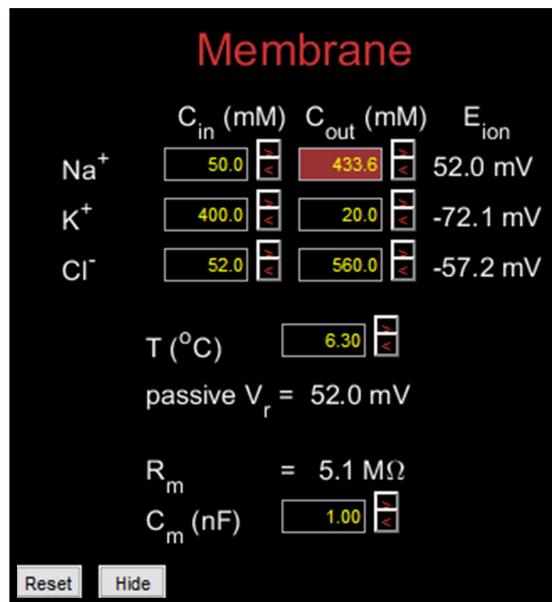
$$52 \text{mV} = R * T / (Z * F) * \ln(Co/Ci)$$

$$52 = 8.314 * 279.45 / 96.485 * \ln(440/50)$$

$$2.16 = \ln(440/50)$$

$$Co = e^{(2.16)} * 50 = 433.557$$

Sada slijedi provjera rezultata u hhsimu (433.6mV):



Vidimo da je racun tacan.

### Zadatak 5.

Ukoliko se temperatura promjeni sa vrijednosti  $t = 6.3 \text{ } ^\circ\text{C}$  na  $t = 12.6 \text{ } ^\circ\text{C}$ , da li će se vrijednost membranskog potencijala  $V_r$  udvostručiti? Pojasnite. Proračun provjerite koristeći HHsim simulator. Provjeru u HHsim simulatoru dokumentujte.

Za ovaj zadatak cemo koristiti defaultnu vrijednost (jer nije naglaseno), a to je Co = 440. Ako se vrijednost temperature u stepenima udvostruci, vrijednost membranskog potencijala se nece udvostruciti. Razlog tome jeste, kad se to pretvori u kelvine, to su vrijednosti 279.45 i 285.75 respektivno, razlika izmedju njih je 6.3 Kelvina.

$$t = 2 * 6.3 \text{ } ^\circ\text{C} = 12.6 \text{ } ^\circ\text{C} = 285.75 \text{ K}$$

$$Um = 8.314 * 285.75 / 96.485 * \log(440/50) = 53.6 \text{ mV}$$

Ukoliko izvrsmo provjeru u hhsimu (12.60 stepeni) imamo:

**Membrane**

$\text{Na}^+$	$C_{\text{in}} (\text{mM})$	$C_{\text{out}} (\text{mM})$	$E_{\text{ion}}$
	50.0	440.0	53.6 mV
$\text{K}^+$	400.0	20.0	-73.8 mV
$\text{Cl}^-$	52.0	560.0	-58.5 mV
$T (^{\circ}\text{C})$		12.60	
passive $V_r = 53.6 \text{ mV}$			
$R_m$	= 5.1 M $\Omega$		
$C_m (\text{nF})$	1.00		

**Reset** **Hide**

Vidimo da je racun tacan.

### Zadatak 6.

Ukoliko želimo postići vrijednost membranskog potencijala  $V_r = XX[\text{mV}]$  zadržavajući konstantan osmolaritet ćelijske membrane i ravnotežu naboja sa obje strane ćelijske membrane, koncentraciju kojih pasivnih jonskih kanala je potrebno izmijeniti i zašto? Koje su nove vrijednosti koncentracije navedenih jona? Pretpostavku testirajte korištenjem HHsim simulatora i istu dokumentujte.

$V_r = 52 \text{ mV}$

Pocetne postavke membrane i kanala:

**Membrane**

$\text{Na}^+$	$C_{\text{in}} (\text{mM})$	$C_{\text{out}} (\text{mM})$	$E_{\text{ion}}$
	50.0	440.0	52.4 mV
$\text{K}^+$	400.0	20.0	-72.1 mV
$\text{Cl}^-$	52.0	560.0	-57.2 mV
$T (^{\circ}\text{C})$		6.30	
passive $V_r = -38.0 \text{ mV}$			
$R_m$	= 5.1 M $\Omega$		
$C_m (\text{nF})$	1.00		

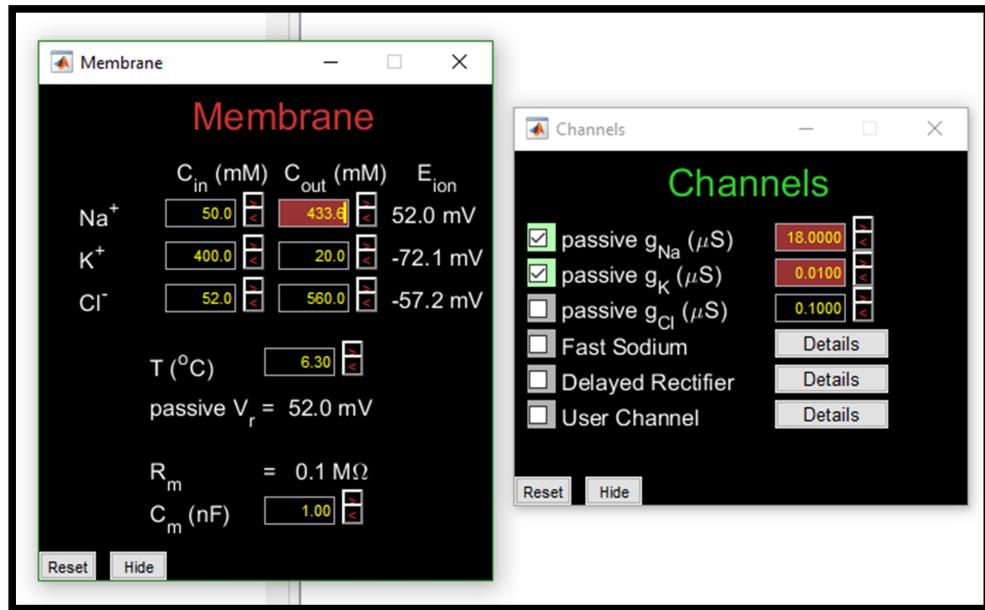
**Reset** **Hide**

**Channels**

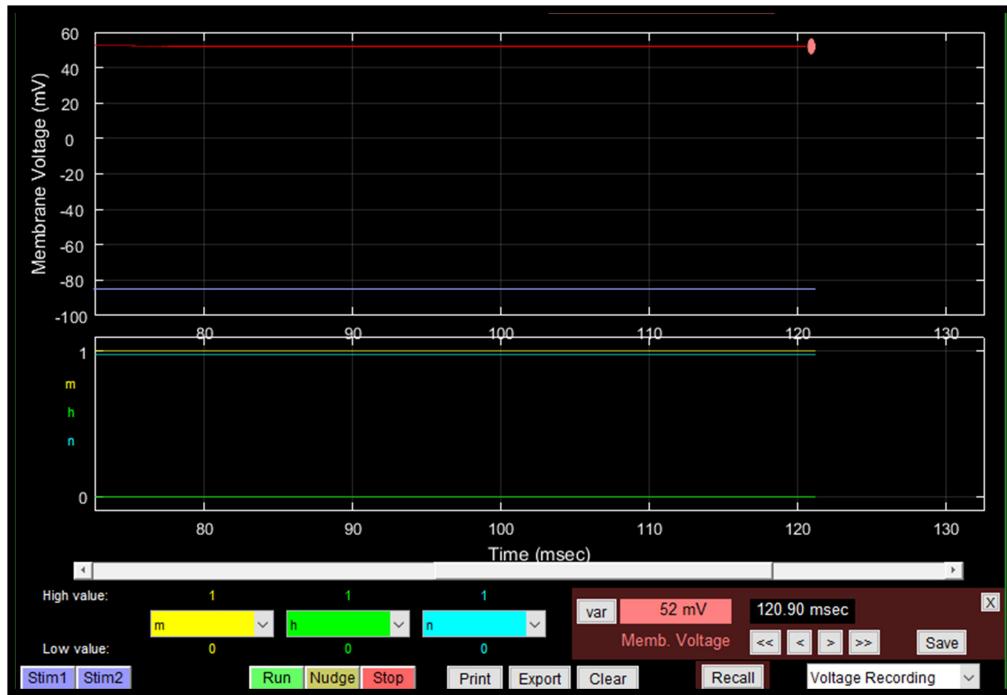
<input checked="" type="checkbox"/> passive $g_{\text{Na}} (\mu\text{S})$	0.0265
<input checked="" type="checkbox"/> passive $g_{\text{K}} (\mu\text{S})$	0.0700
<input type="checkbox"/> passive $g_{\text{Cl}} (\mu\text{S})$	0.1000
<input type="checkbox"/> Fast Sodium	Details
<input type="checkbox"/> Delayed Rectifier	Details
<input type="checkbox"/> User Channel	Details

**Reset** **Hide**

Da bi dobili vrijednost 52mV trebamo postaviti sljedeće postavke membrane i kanala:



Shodno tome graf je sljedeci:

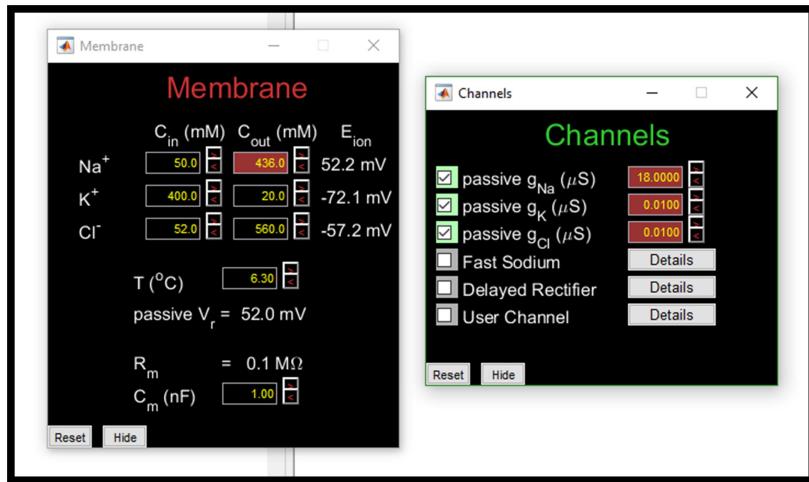


Da bi zadrzali konstantan osmolaritet celijske membrane i ravnotezu naboja sa obje strane, trebalo je izmijenit konfiguraciju kanala i membranske vrijednosti Natrijumskog i Kalijevog pasivnog kanala. Na slici gdje su definisani novi parametri kanala i membrane, vidimo vrijednosti pasivnih kanala koje su dovele do vrijednosti 52mV. Takodjer vidimo da provodnost Natrijumskog kanala mora biti puno veca od provodnosti Kalij kanala.

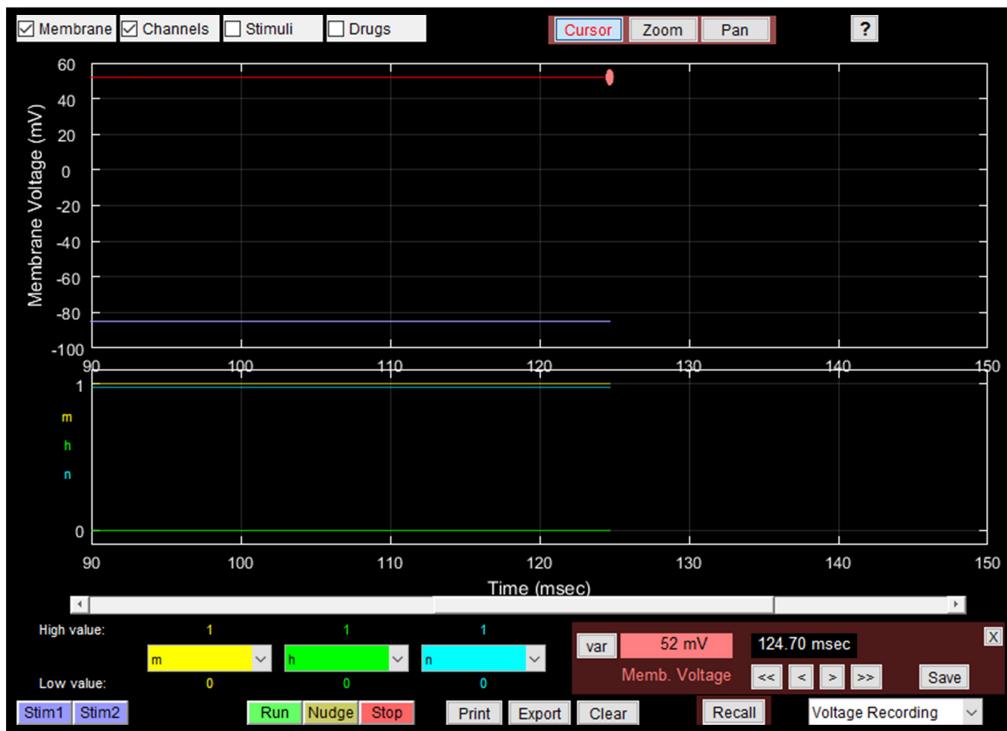
## Zadatak 7.

Posmatrajući samo membranski potencijal pasivnih kanala, prikazati kolika je vrijednost struje  $I_{leak}$  (struje kroz pasivne kanale), prikazati kolike su provodnosti  $g_{Na}$  i  $g_K$ . Kolika mora biti vrijednost provodnosti kalija, kako bi se dobio napon ćeljske membrane od  $V_r = XX[mV]$ ? Sve vrijednosti je potrebno prikazati grafički.

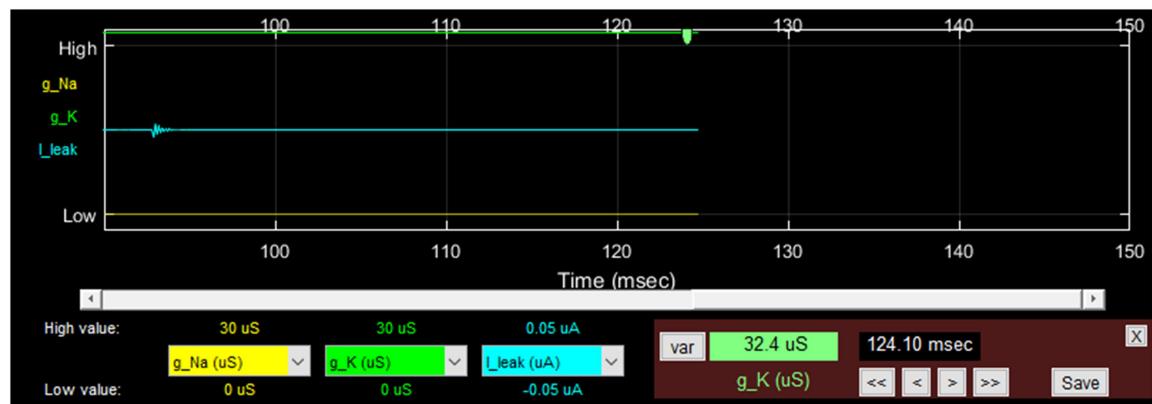
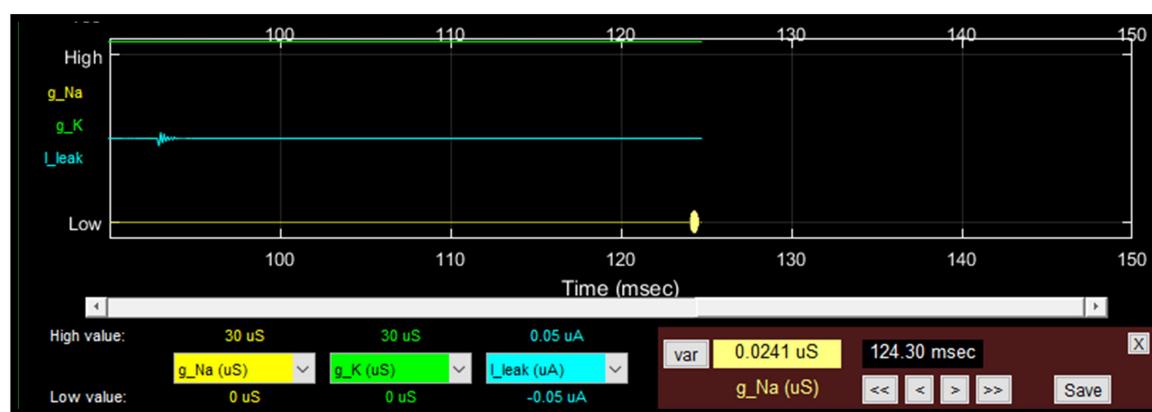
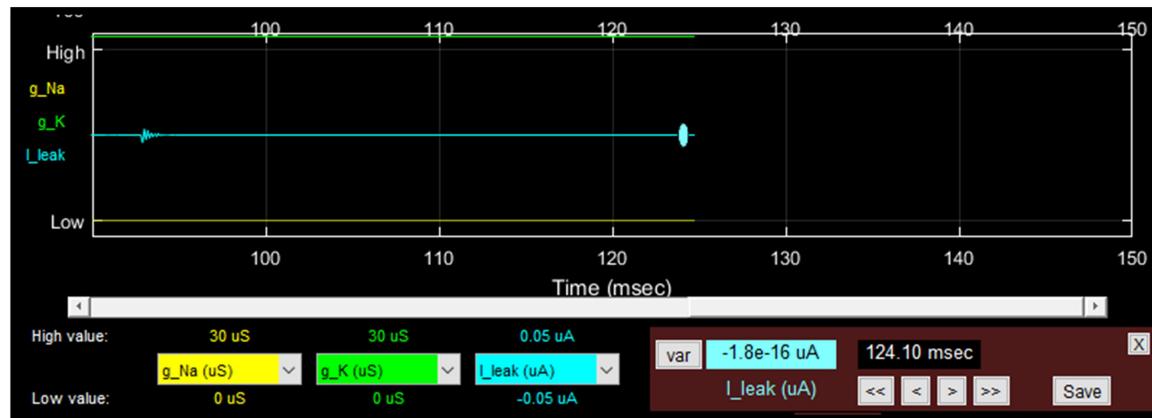
Da bi dobili membranski potencijal 52mV moramo postaviti sljedeće parametre:



Kao rezultat imamo sljedeće:



Prikazimo sada vrijednosti struje provodnosti kroz sve kanale, te g (od Natrija i Kalija), respektivno:

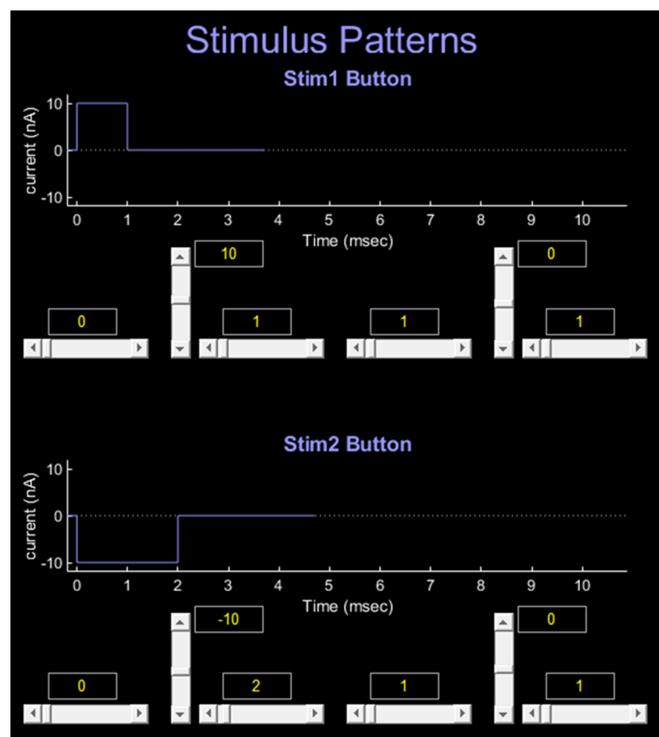
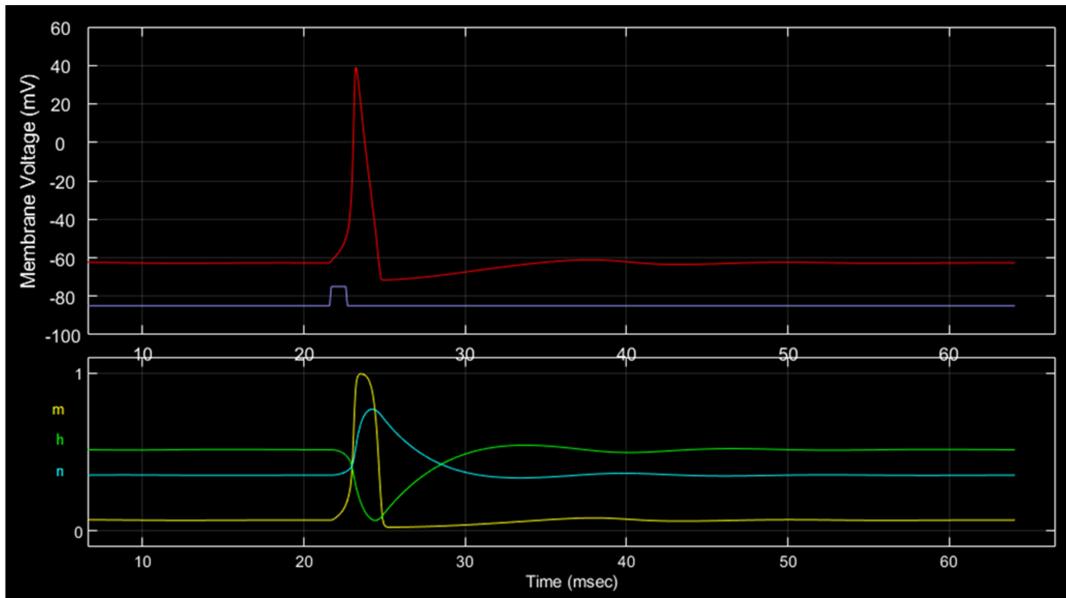


Na prethodnim slikama, prikazane su sve vrijednosti trazene u zadatku.

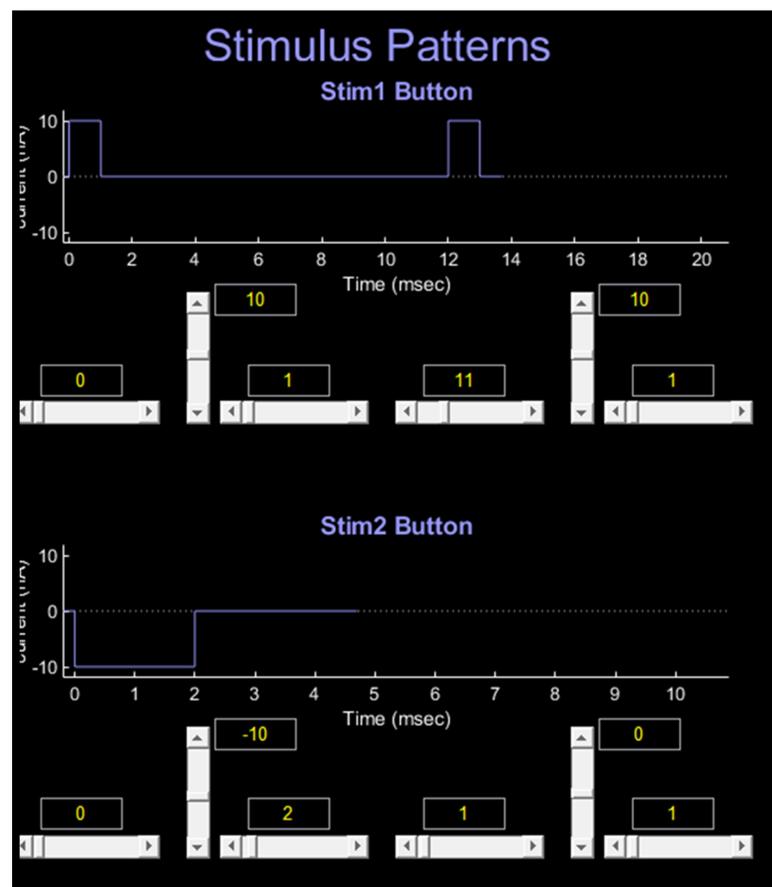
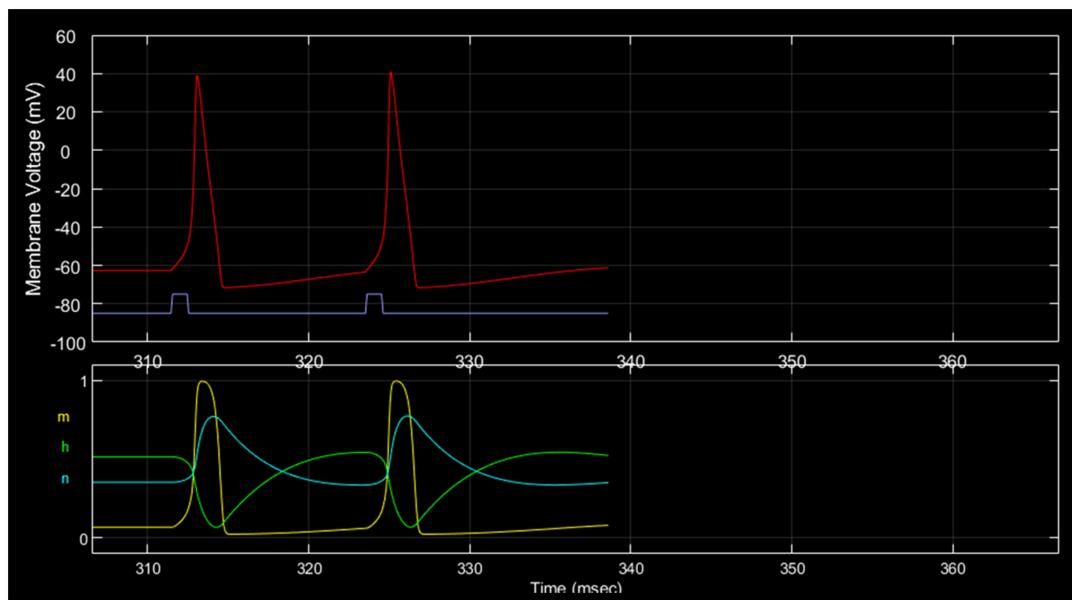
## Zadatak 8.

Koristeći HHSim aplikaciju podesiti vrijednosti stimulusa (Stim1 i Stim2) kako bi dobili prikaz šljuka koji predstavlja akcioni potencijal za depolarizaciju i repolarizaciju. U ovisnosti od dužine i vremena trajanja impulsa *Stimuli*, prikazati odzive kad se pojavi samo jedan AP, pojave dva AP-a, te prvi AP se pojavi, a za pojavu drugog nije dovedeno dovoljno energije. Sve navedene situacije je potrebno dokumentovati.

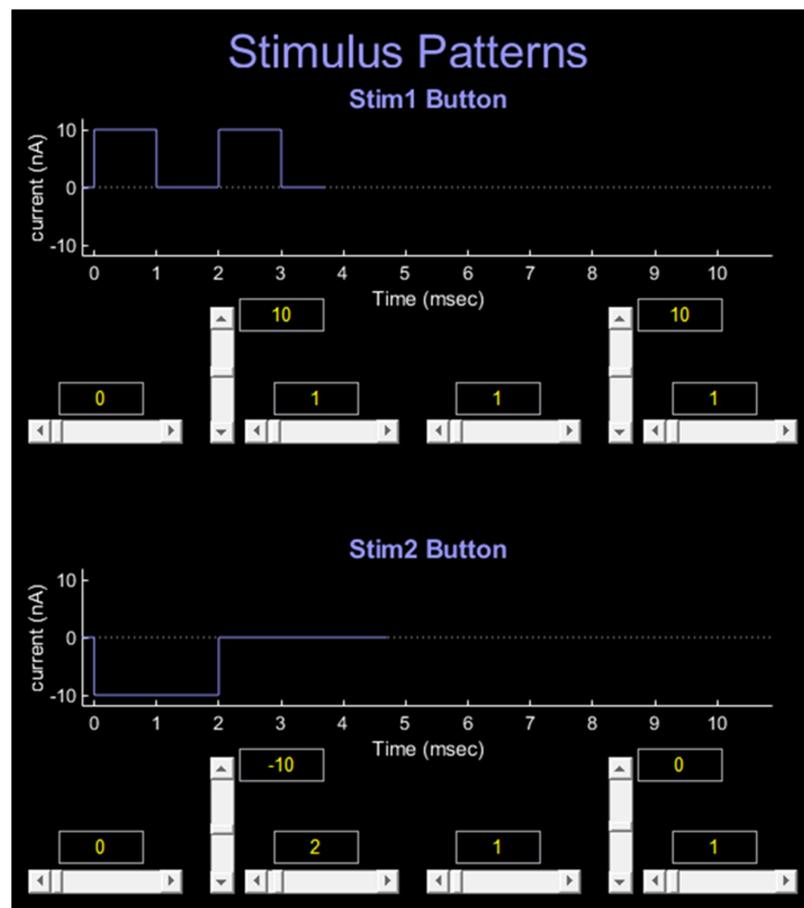
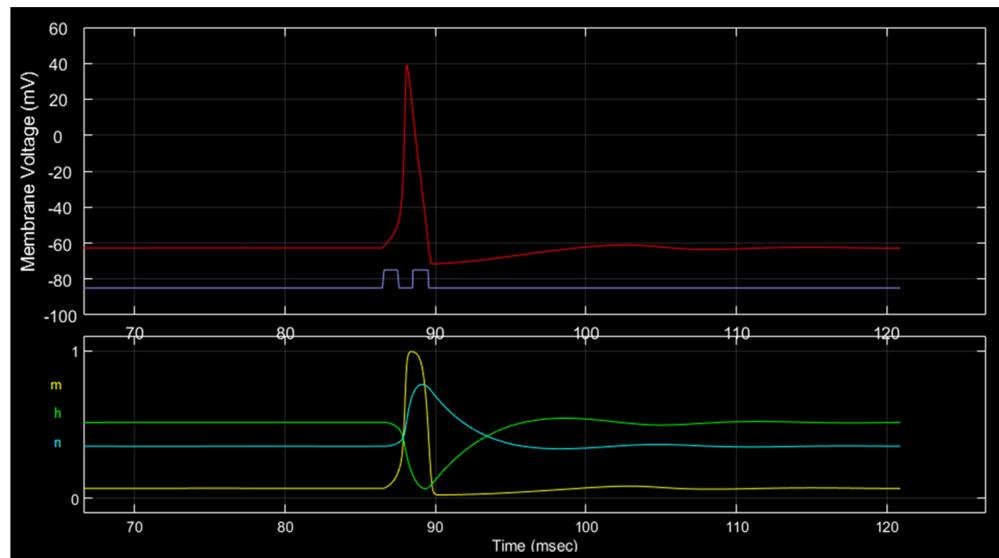
Odzivi kada se pojavi samo jedan AP:



Odzvi kada se pojave dva AP-a:



Odzivi kada se prvi AP pojavi, a za pojavu drugog nije bilo dovoljno energije:



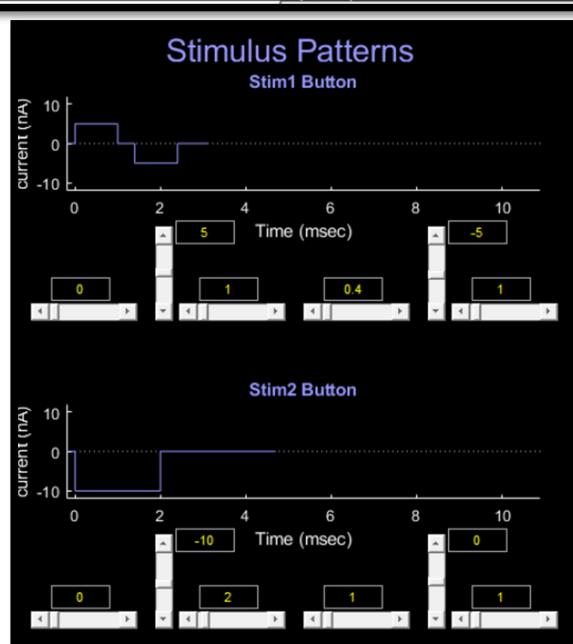
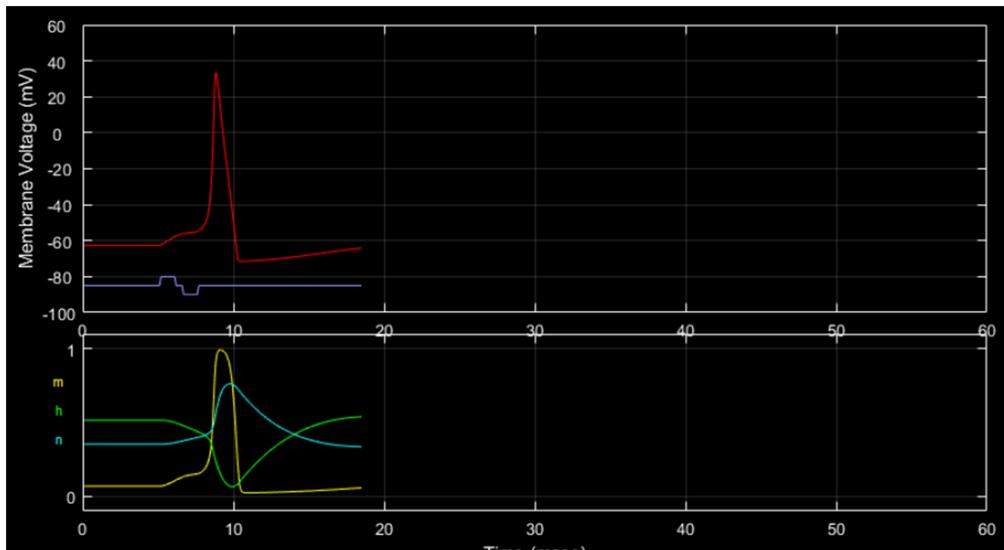
## Zadatak 9.

Koristeći HHSim aplikaciju provjeriti koliki je minimalni vremenski period između dva stimulusa koji dovodi do pojave akcionog potencijala. Da li postoji poveznica između dužine vremenskog perioda između pojave dva stimulusa i vrijednosti amplitude stimulusa? Detaljno pojasniti. Dobijeni rezultat je potrebno dokumentovati.

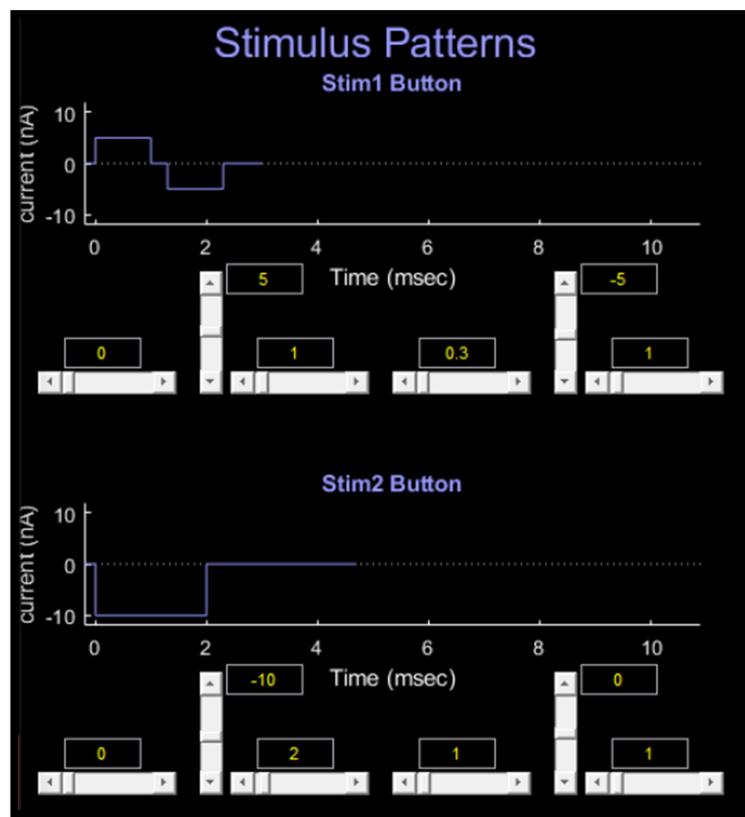
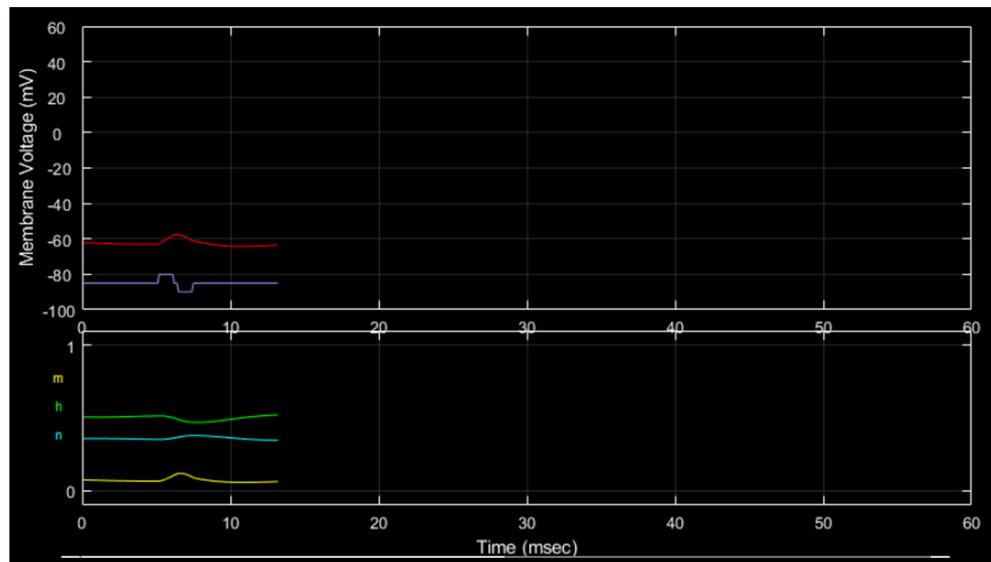
Definisimo nas stim1 signal sa sljedećim parametrima i dijelovima signala:

1. amplituda vrijednosti 5nA i trajanja 1ms,
2. amplituda vrijednosti 0nA i trajanja 0.4ms,
3. amplituda vrijednosti -5nA i trajanja 1ms.

Ovako definisan signal je dat u nastavku:



Ukoliko sada drugi dio signala smanjimo za 0.1ms:

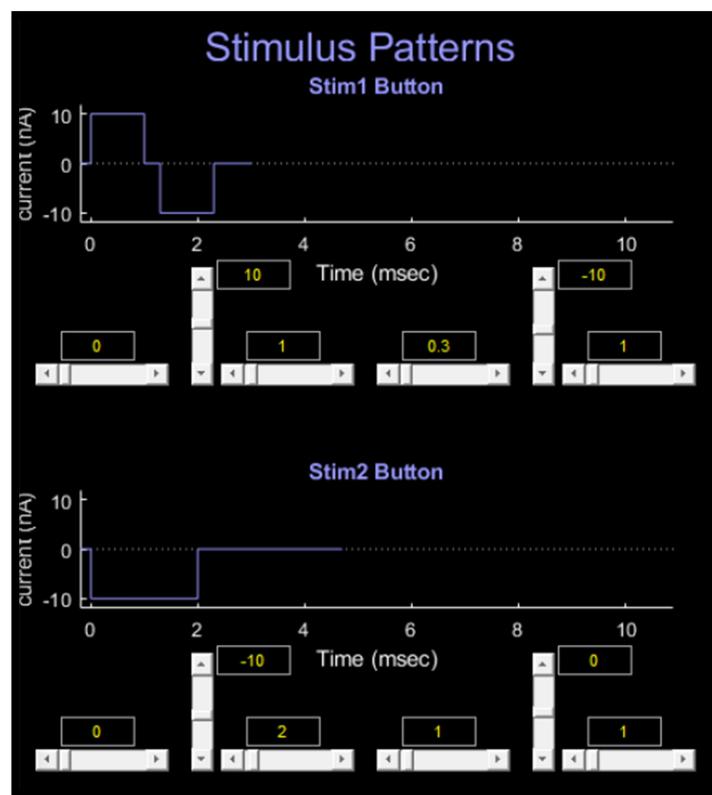
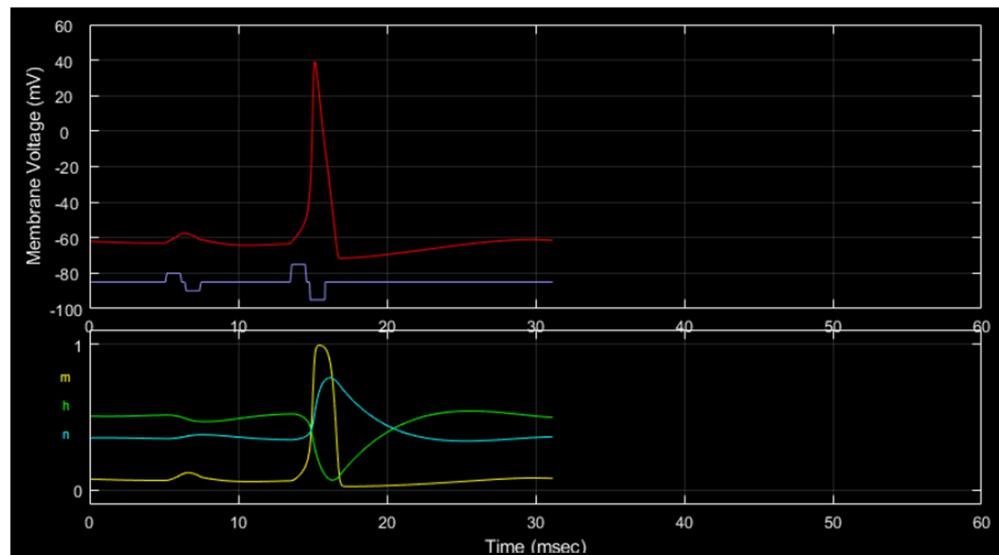


Može se uociti da nije doslo do pojave akcionog potencijalna, zato sto je vrijeme izmedju pozitivnog i negativnog impulsa prekratko.

Definisimo opet stim1 signal sa sljedecim parametrima i dijelovima signala:

1. amplituda vrijednosti 10nA i trajanja 1ms,
2. amplituda vrijednosti 0nA i trajanja 0.3ms,
3. amplituda vrijednosti -10nA i trajanja 1ms.

Vidimo imamo isti slučaj kao prethodni, ali sa povećanom amplitudom. Ovako definisan signal je dat u nastavku:



*Iz prethodnih slučajeva:*

- Vidimo da jacina signala utice itekako, hoće li se desiti akcioni potencijal.

- Može se zaključiti da ukoliko ima dovoljno razmaka izmedju signala za depolarizaciju i hiperpolarizaciju, da će doći do akcionog potencijala.