

Zmienność i modele stochastyczne odpowiedzi wzrokowych neuronów wzgórka czworaczego górnego kota

Gabriela Mochol

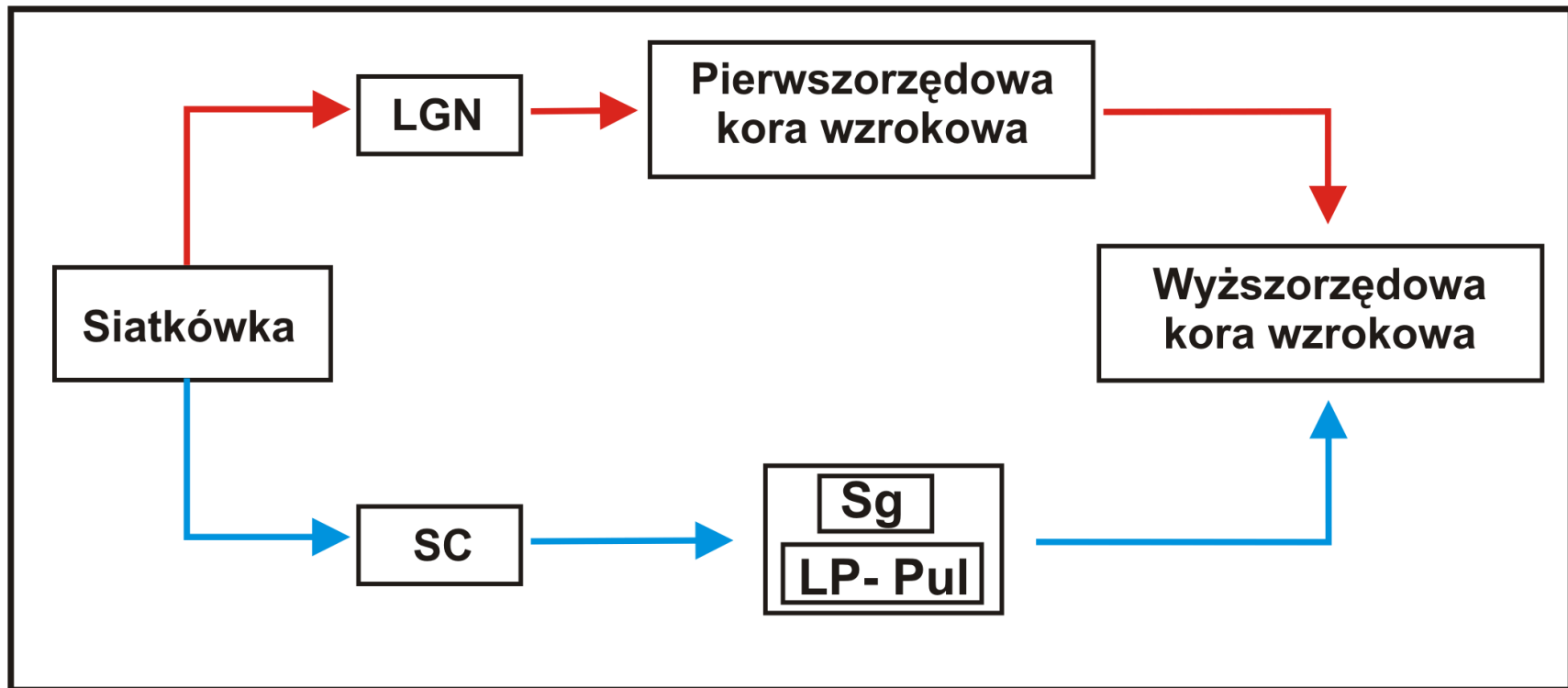
Marek Wypych
Daniel K. Wójcik
Andrzej Wróbel
Wioletta J. Waleszczyk





Pracownia Układu Wzrokowego
Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN

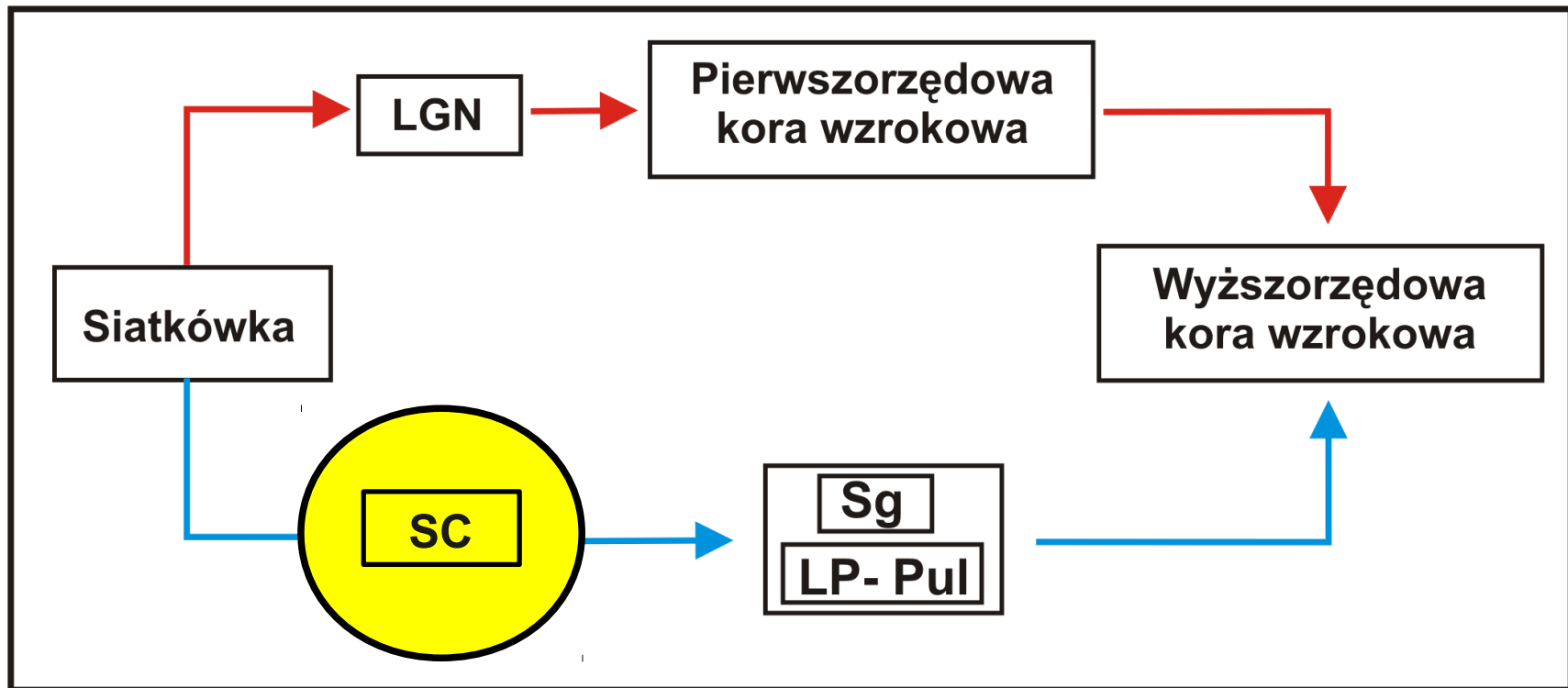




Układ wzrokowy



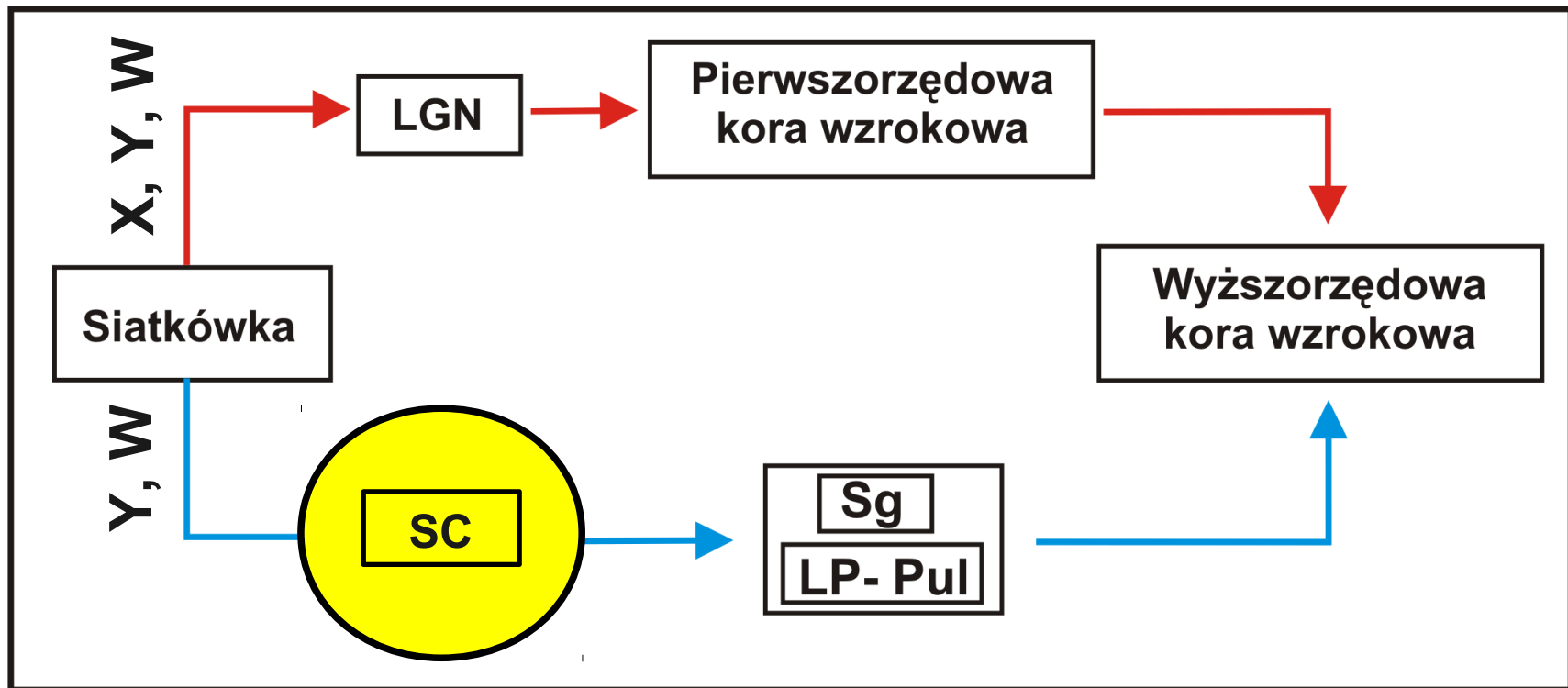
-  Kolankowata droga wzrokowa
-  Pozakolankowata droga wzrokowa



Układ wzrokowy



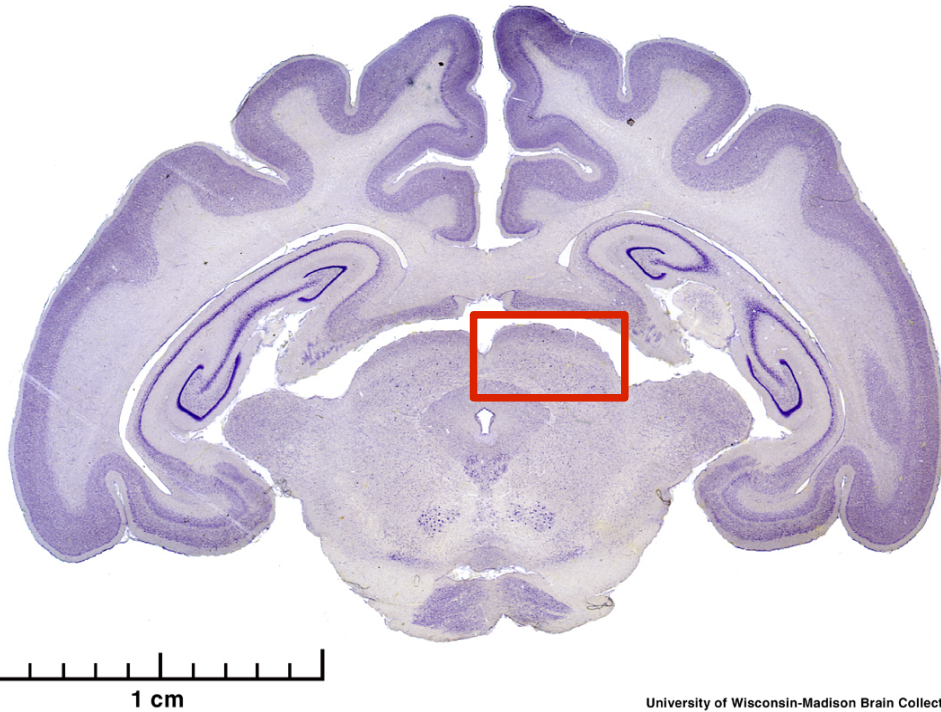
-  Kolankowata droga wzrokowa
-  Pozakolankowata droga wzrokowa

Układ wzrokowy

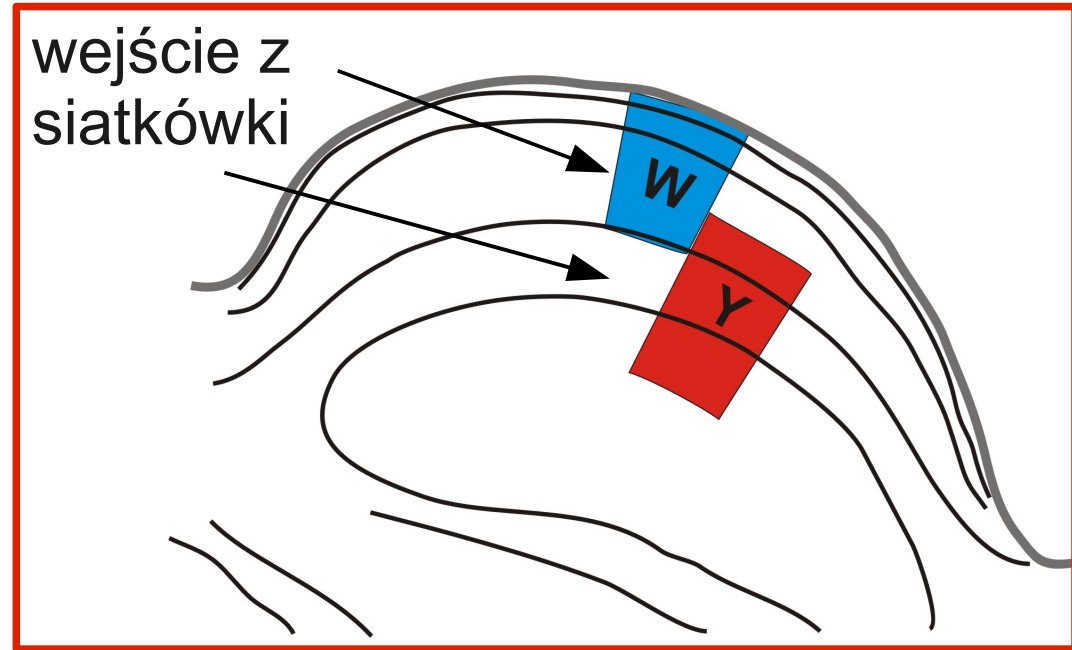


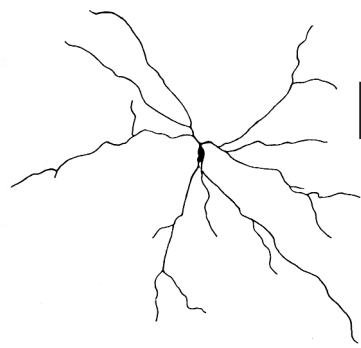
-  Kolankowata droga wzrokowa
-  Pozakolankowata droga wzrokowa

Wzgórek czwororaczy górny *Superior Colliculus*

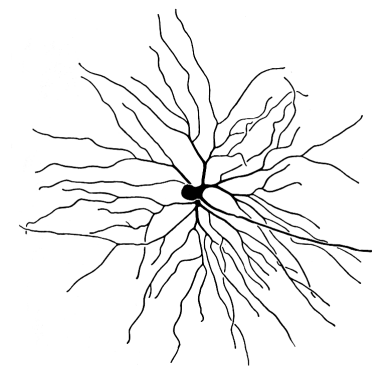


University of Wisconsin-Madison Brain Collection



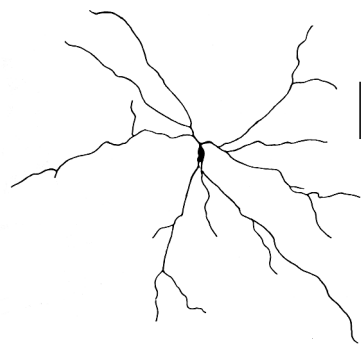


Droga W

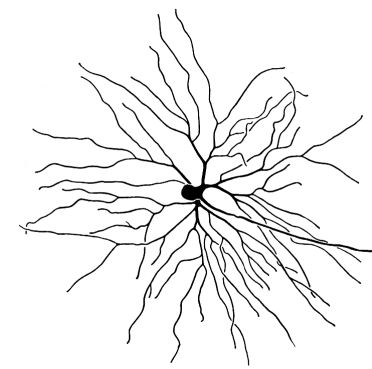


Droga Y

• ciała komórkowe	małe lub średnie	duże
• drzewa dendrytyczne	zróżnicowana morfologia	duże, promieniste
• aksony	cienkie	grube
• preferowana częstość bodźca	niska przestrzenna, niska czasowa	niska przestrzenna, wysoka czasowa
• preferowana prędkość bodźca	niska	wysoka
• funkcja	pomocnicza w widzeniu, niezwiązana z widzeniem centralnym	percepcja szybkich ruchów bodźca



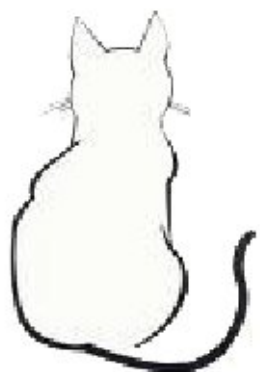
Droga W



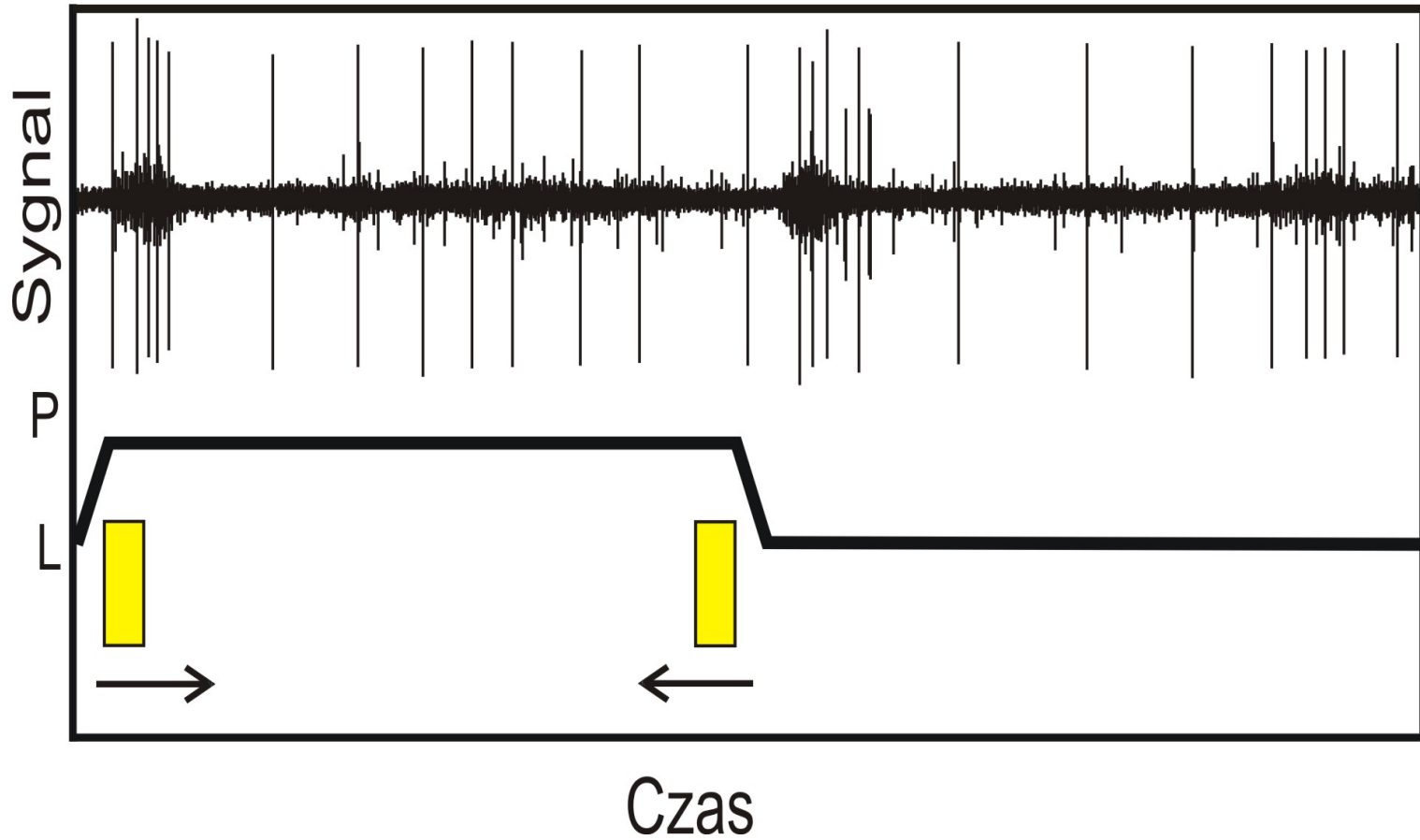
Droga Y

• ciała komórkowe	małe lub średnie	duże
• drzewa dendrytyczne	zróżnicowana morfologia	duże, promieniste
• aksony	cienkie	grube
• preferowana częstość bodźca	niska przestrzenna, niska czasowa	niska przestrzenna, wysoka czasowa
• preferowana prędkość bodźca	niska	wysoka
• funkcja	pomocnicza w widzeniu, niezwiązana z widzeniem centralnym	percepcja szybkich ruchów bodźca

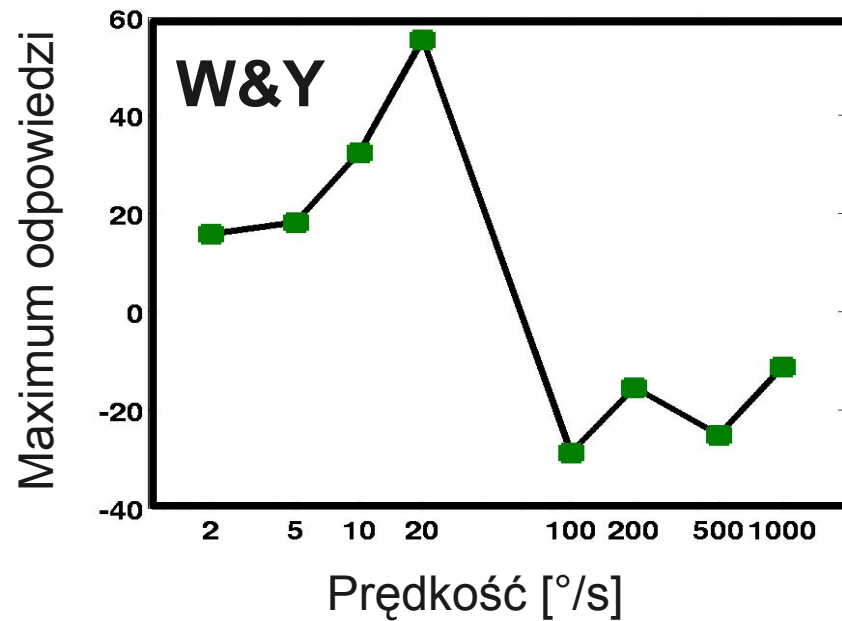
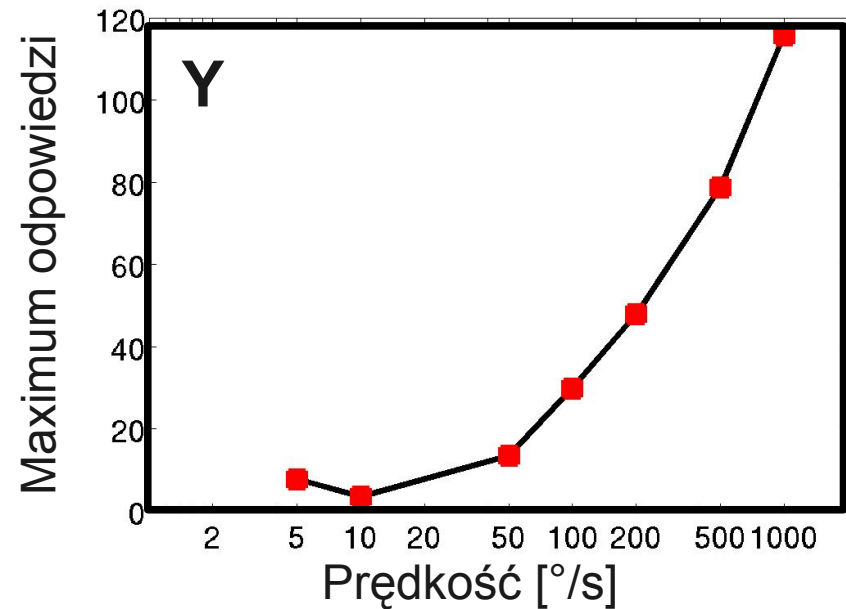
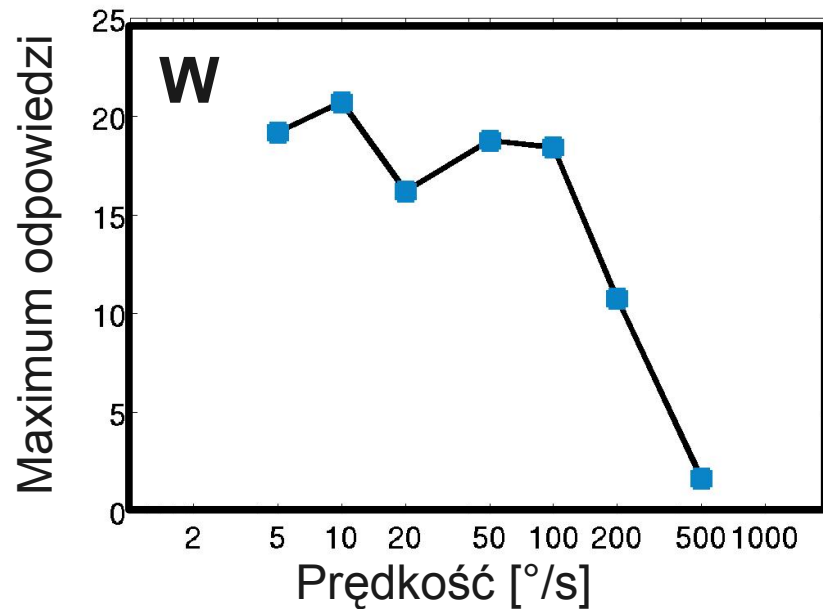
Opis doświadczenia



Dane elektrofizjologiczne

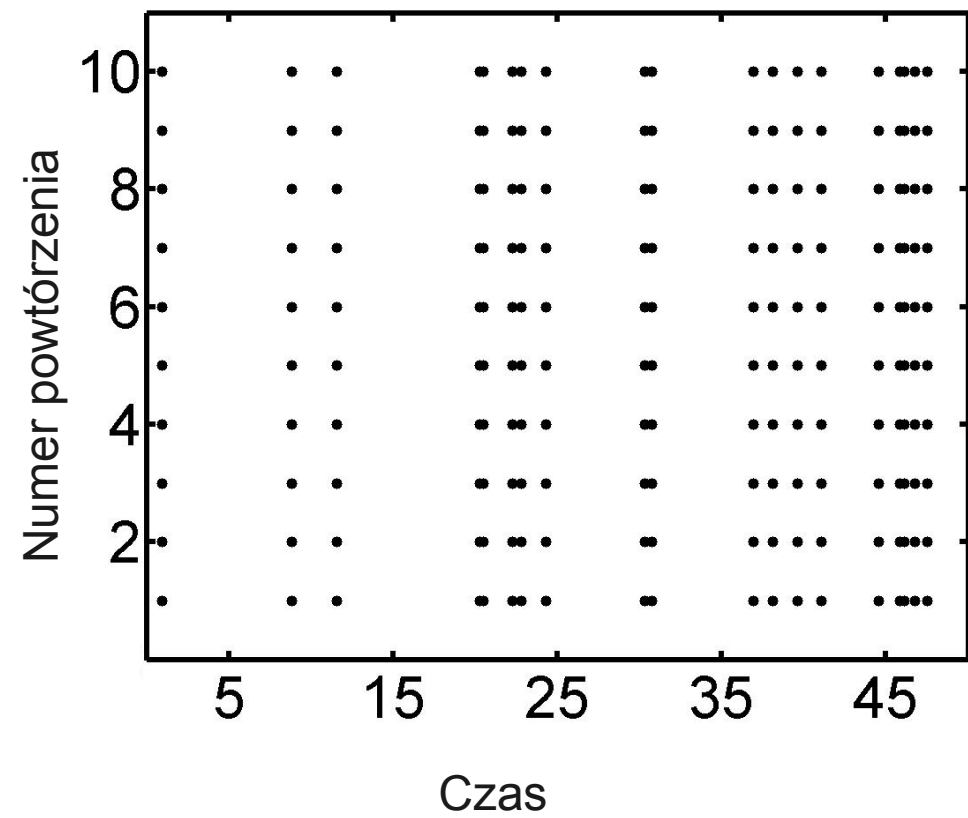


Komórki SC - preferencja prędkości



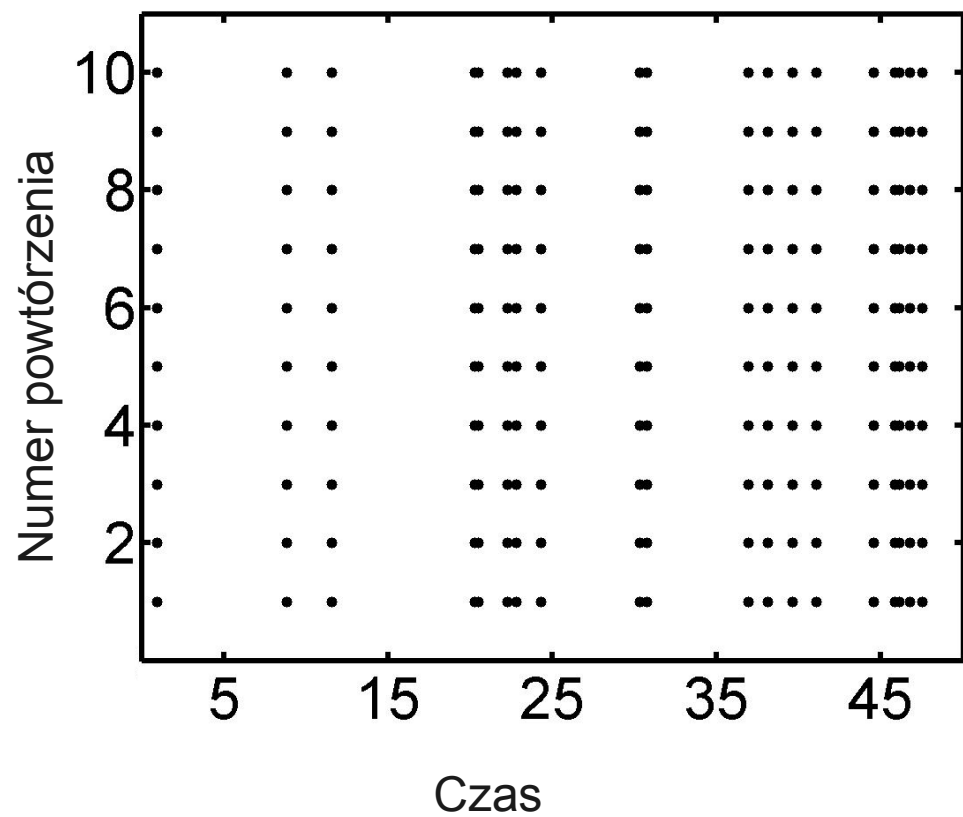
Zmienność

Odpowiedź precyzyjna

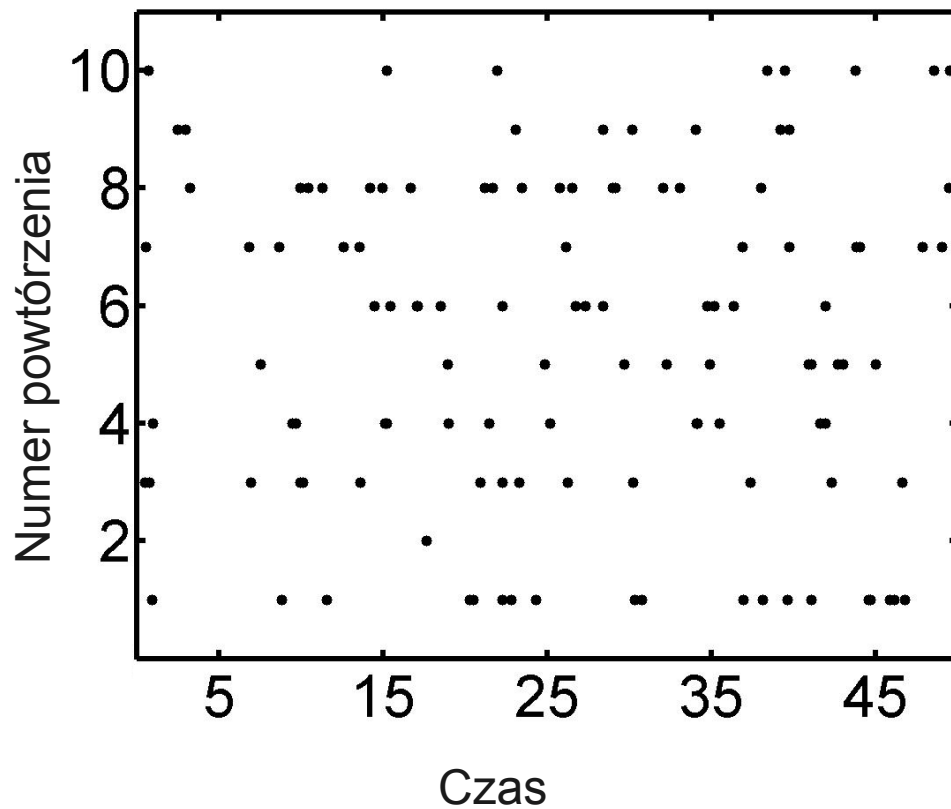


Zmienność

Odpowiedź precyzyjna



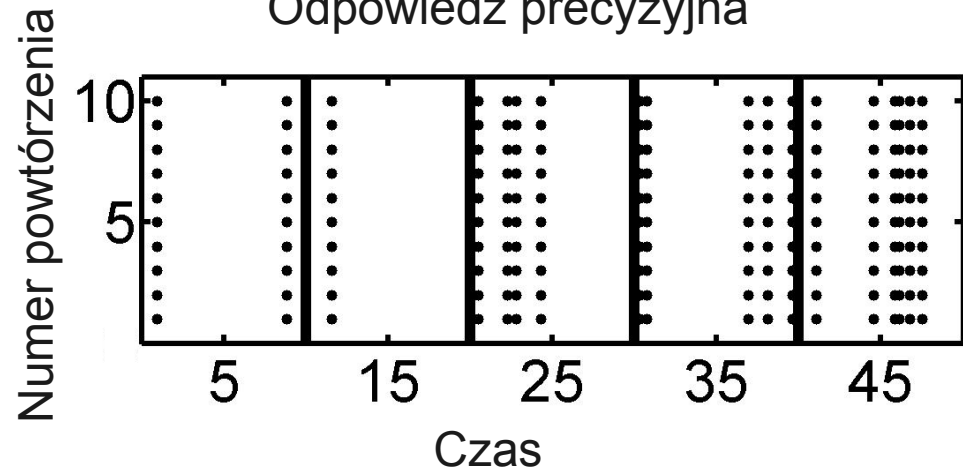
Odpowiedź zmienna



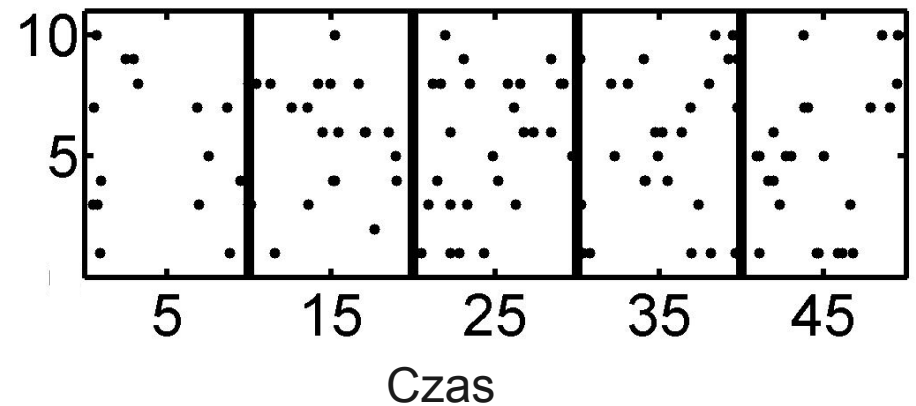
Zmienność

Współczynnik Fano (**FF**) to wariancja liczby iglic podzielona przez ich średnią

Odpowiedź precyzyjna



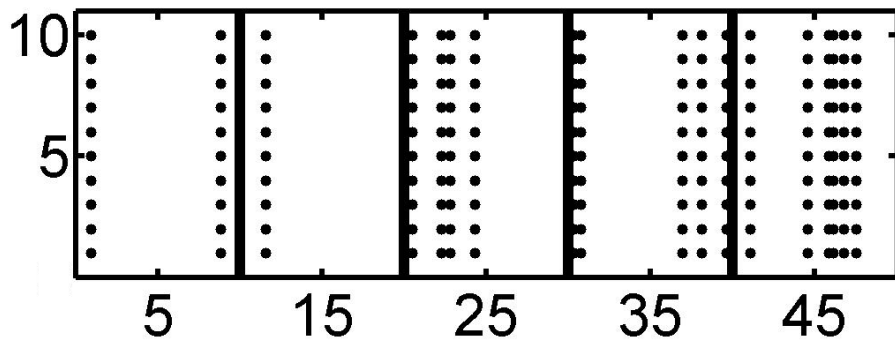
Odpowiedź zmienna



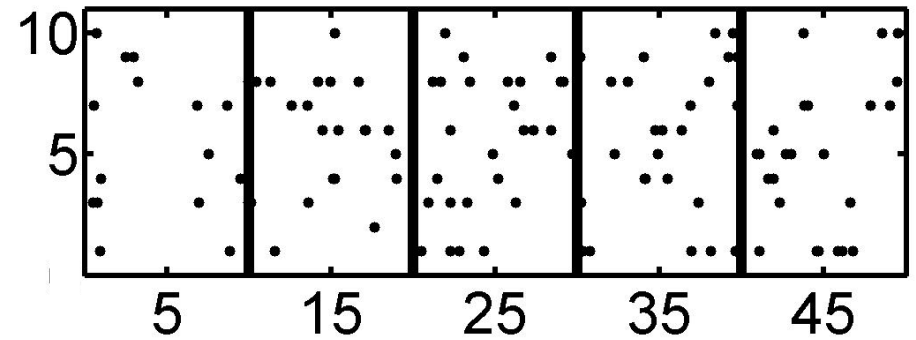
Zmienność

Współczynnik Fano (**FF**) to wariancja liczby iglic podzielona przez ich średnią

Odpowiedź precyzyjna



Odpowiedź zmienna

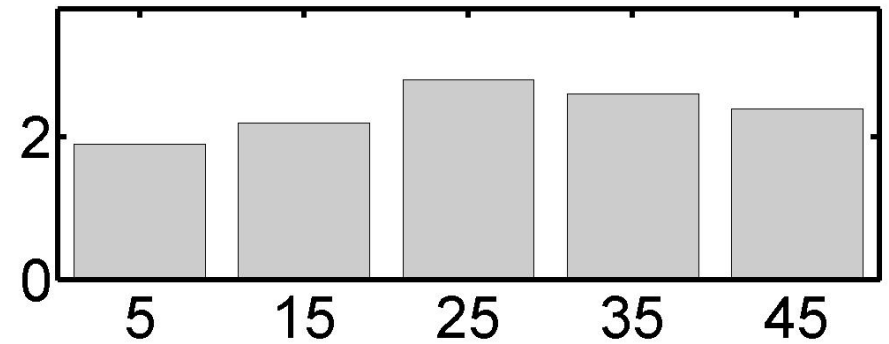
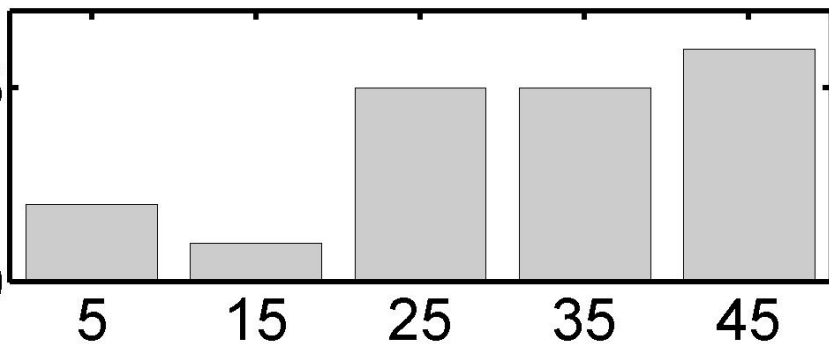


Numer powtórzeń

Częstość [Hz]

Czas

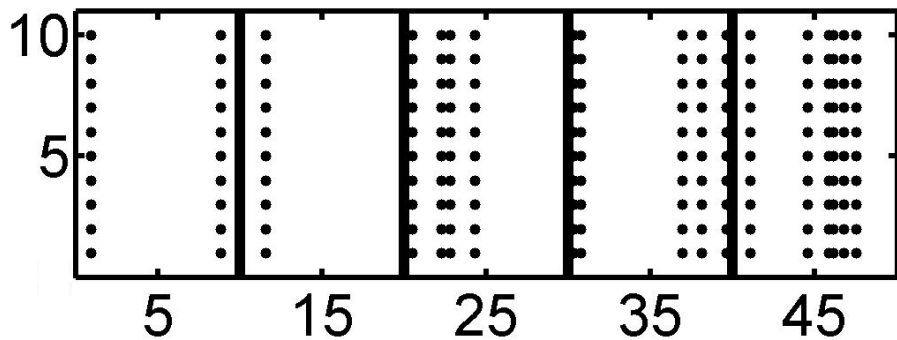
Czas



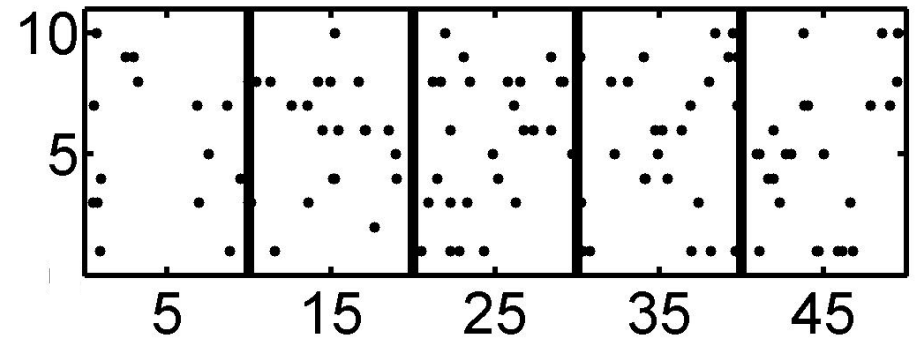
Zmienność

Współczynnik Fano (**FF**) to wariancja liczby iglic podzielona przez ich średnią

Odpowiedź precyzyjna



Odpowiedź zmienna

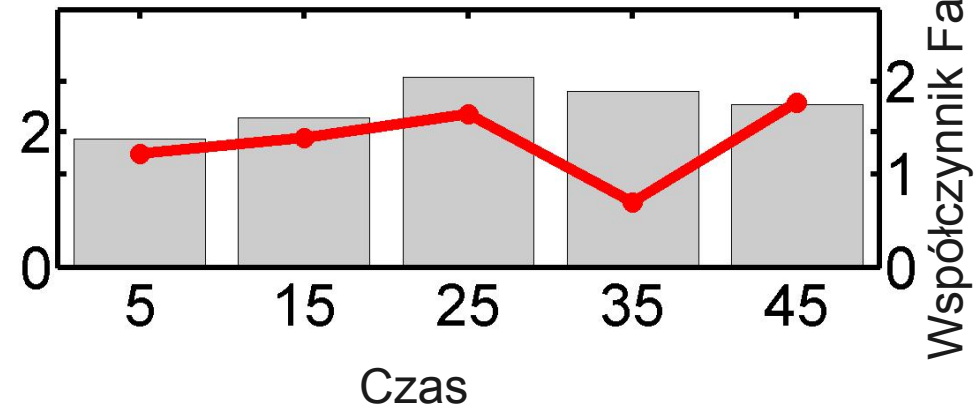
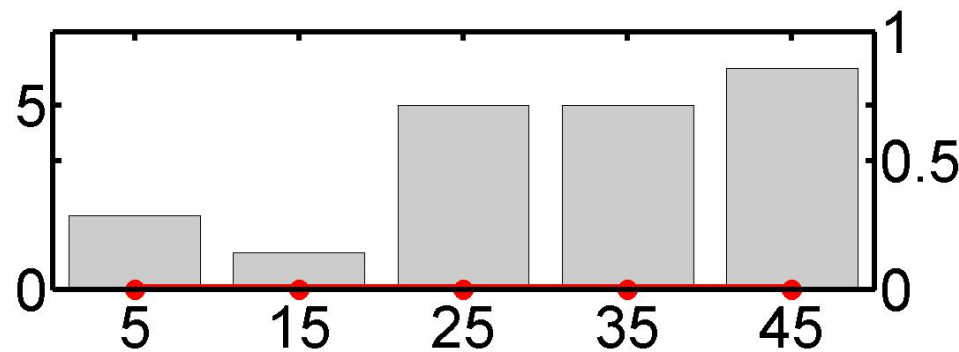


Numer powtórzeń

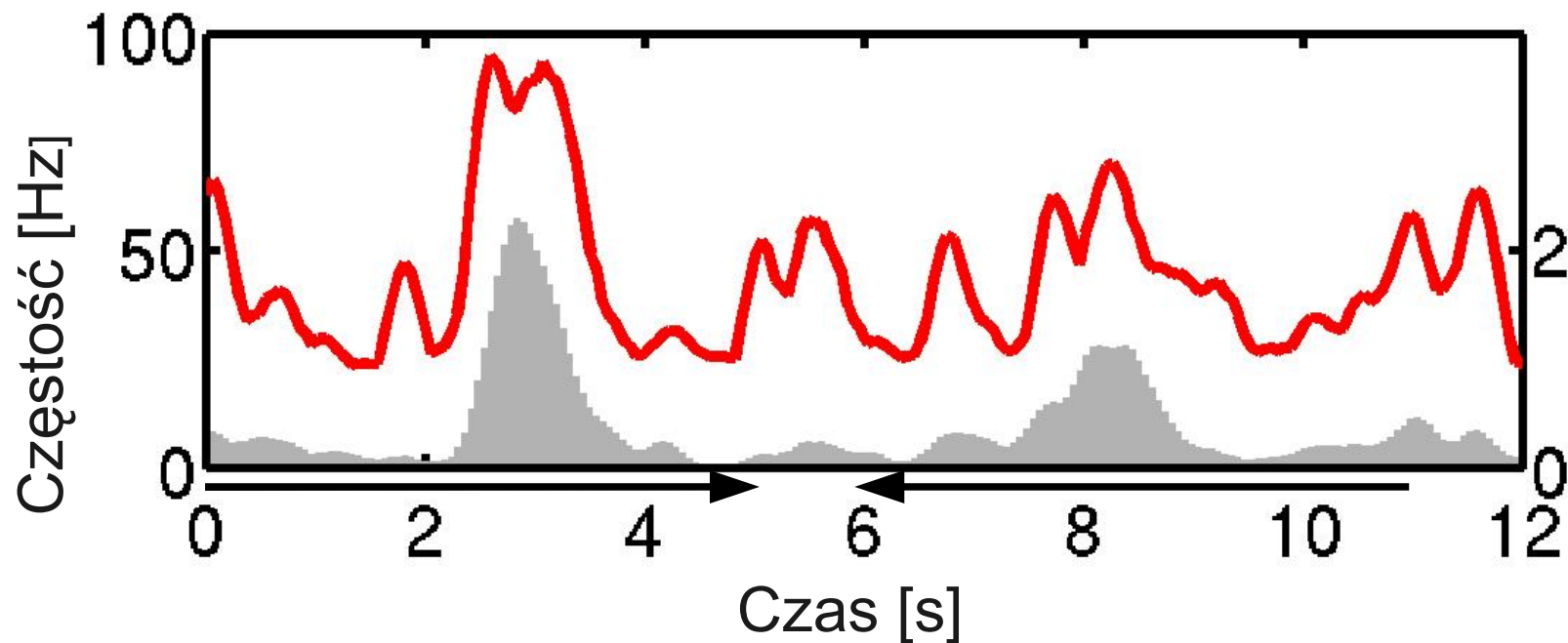
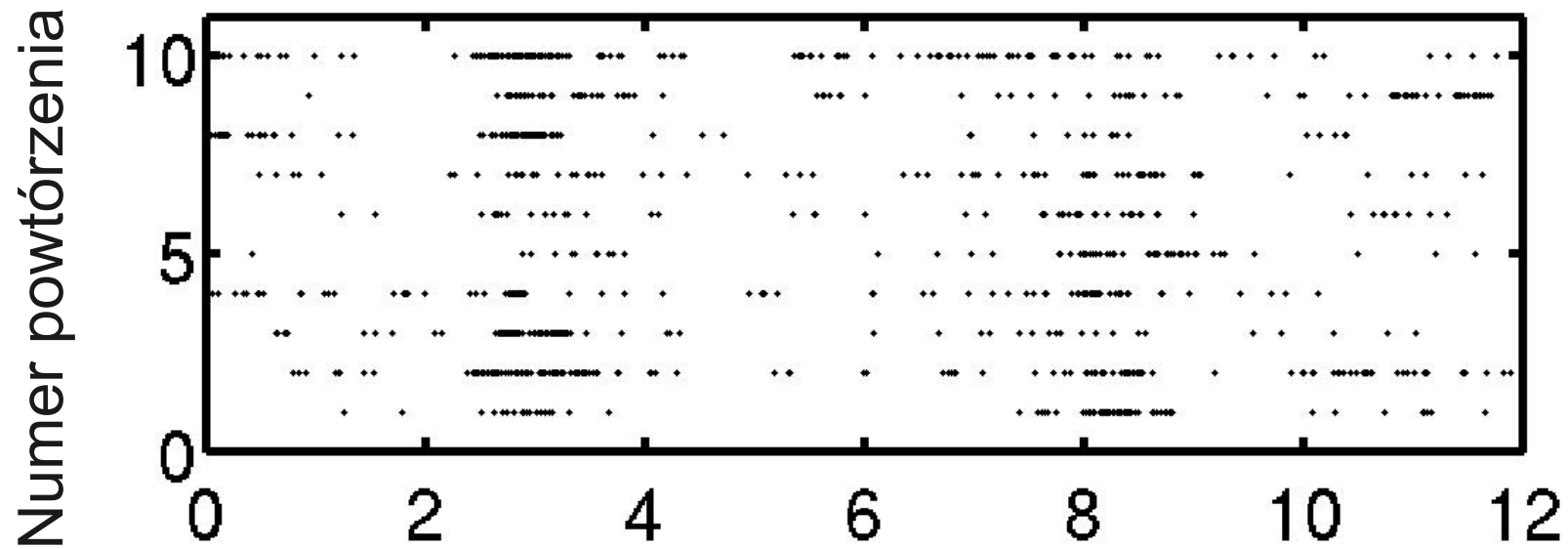
Częstość [Hz]

Czas

Współczynnik Fano

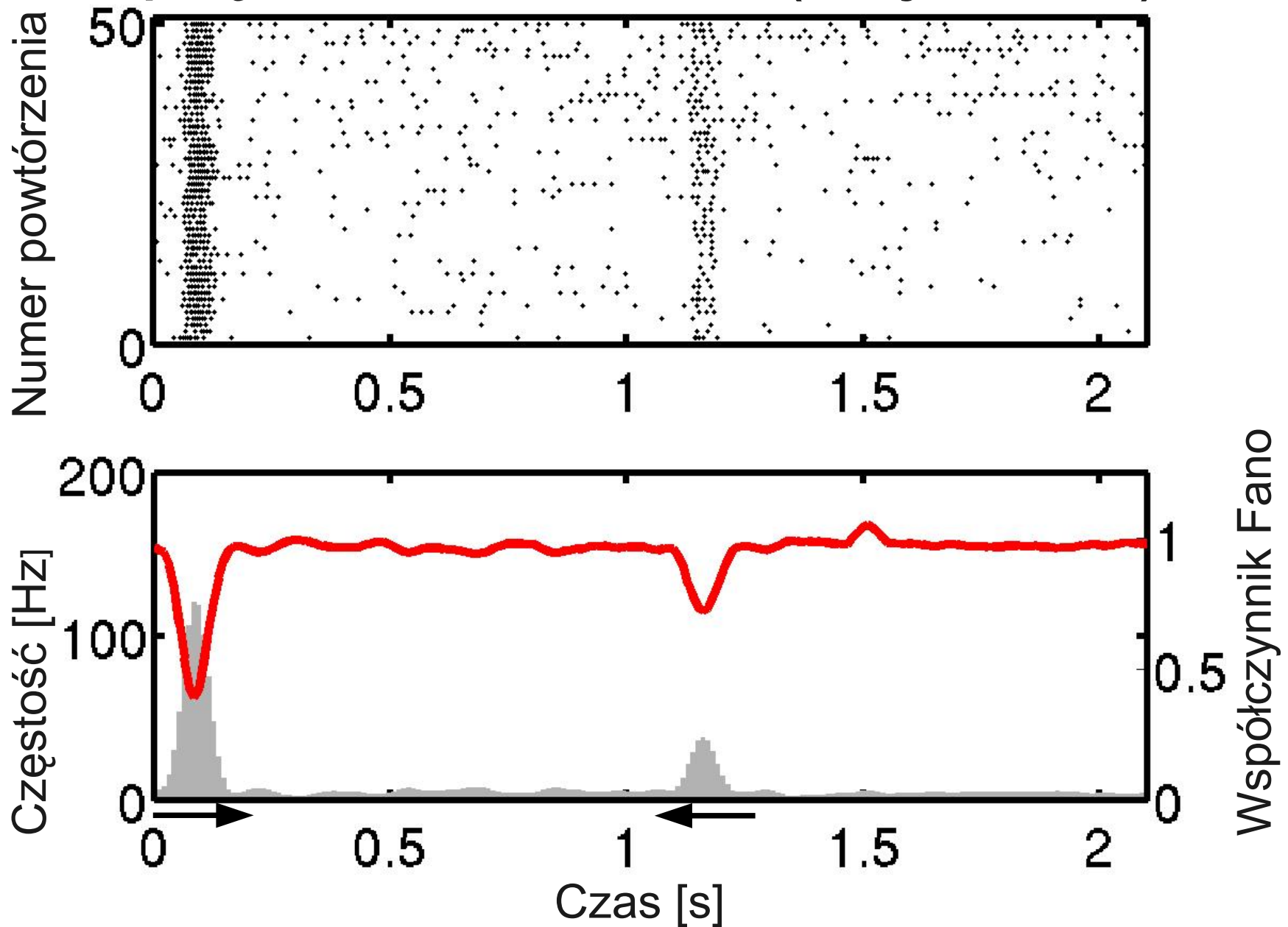


Odpowiedź pobudzająca na niską prędkość bodźca (wejście **W**)

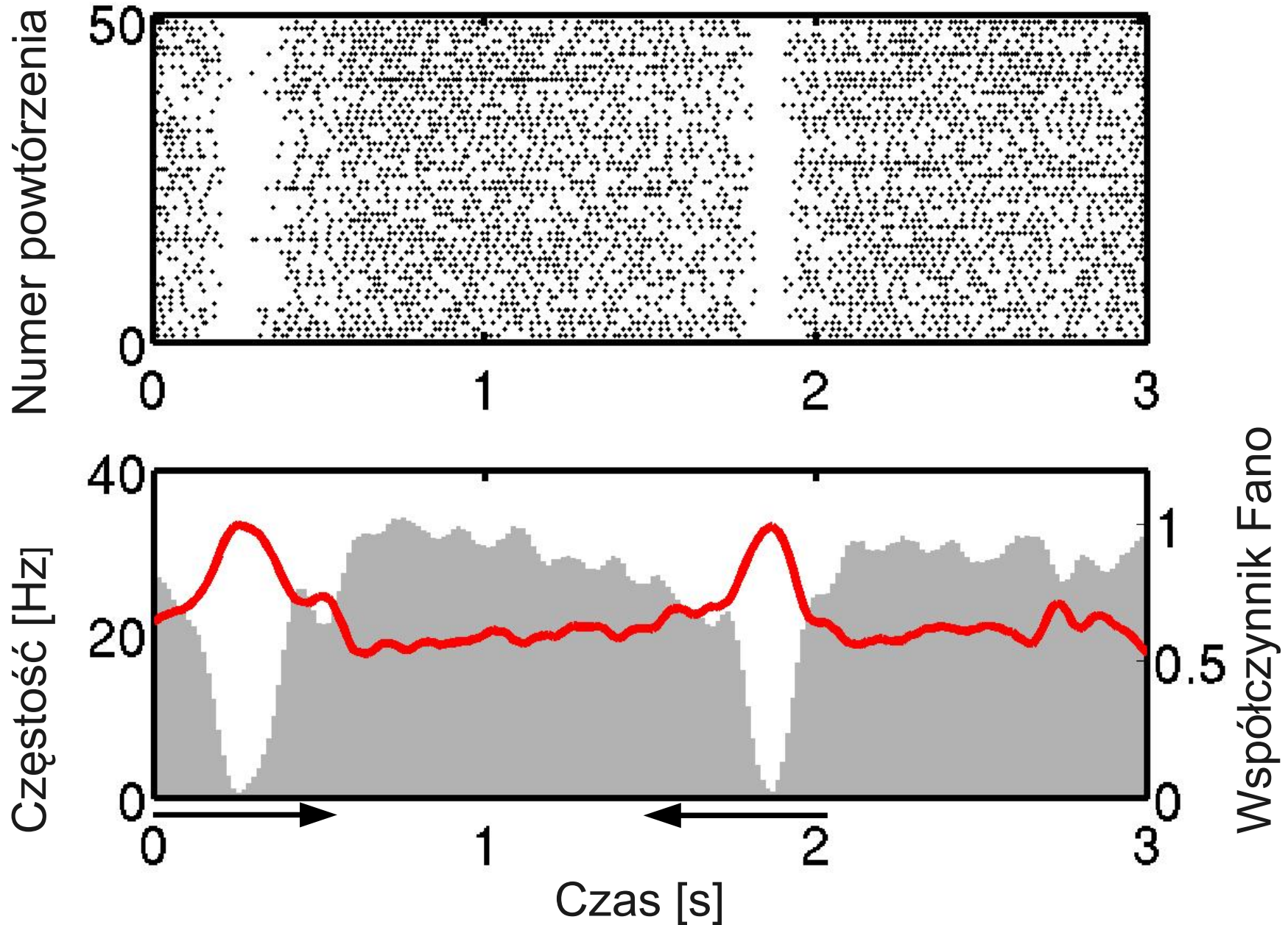


Współczynnik Fano

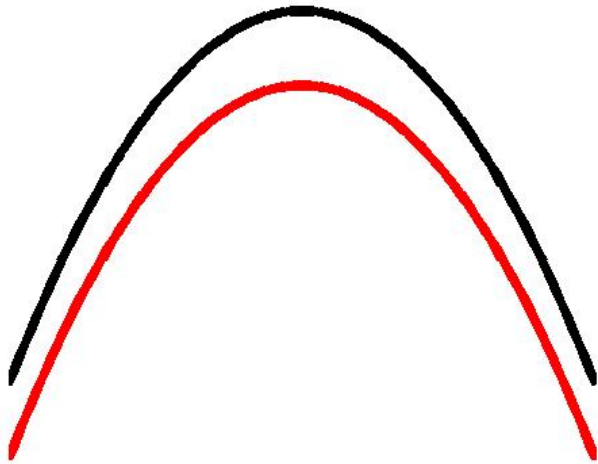
Odpowiedź pobudzająca na wysoką prędkość bodźca (wejście Y)



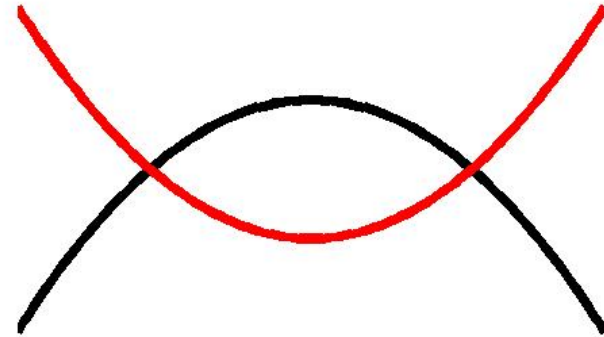
Odpowiedź hamująca na wysoką prędkość bodźca (wejście **W&Y**)



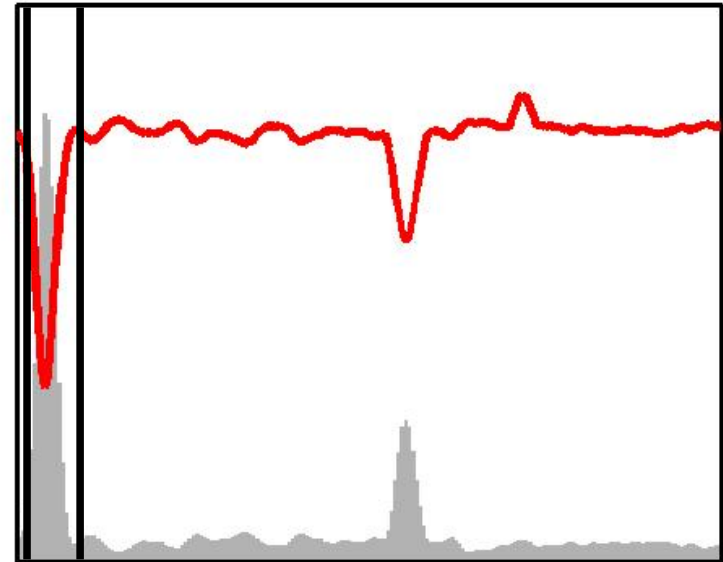
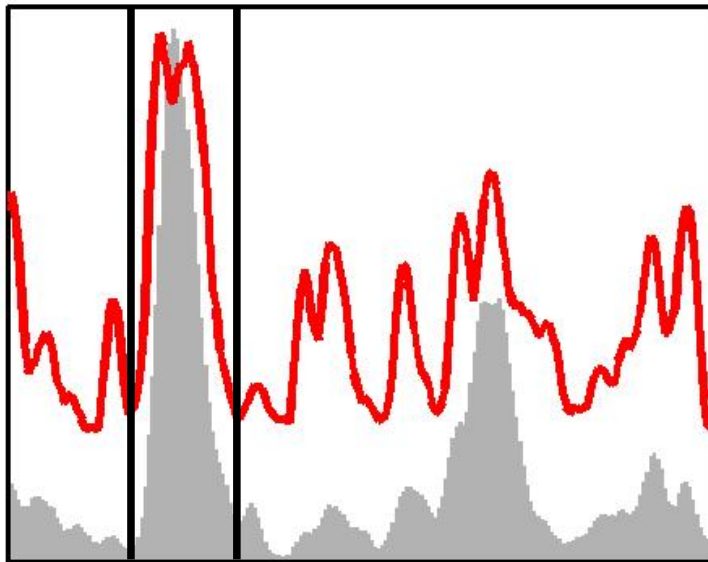
Korelacja pomiędzy intensywnością odpowiedzi a zmiennością



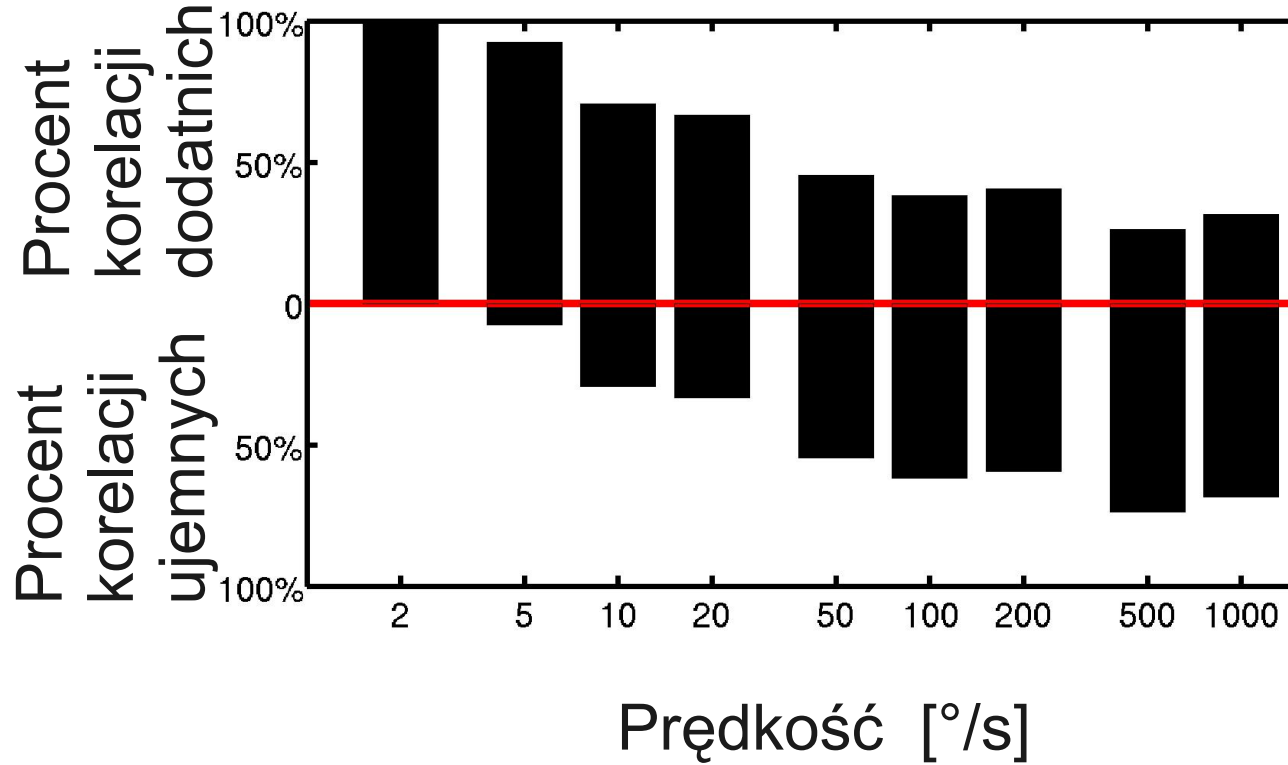
Korelacja dodatnia



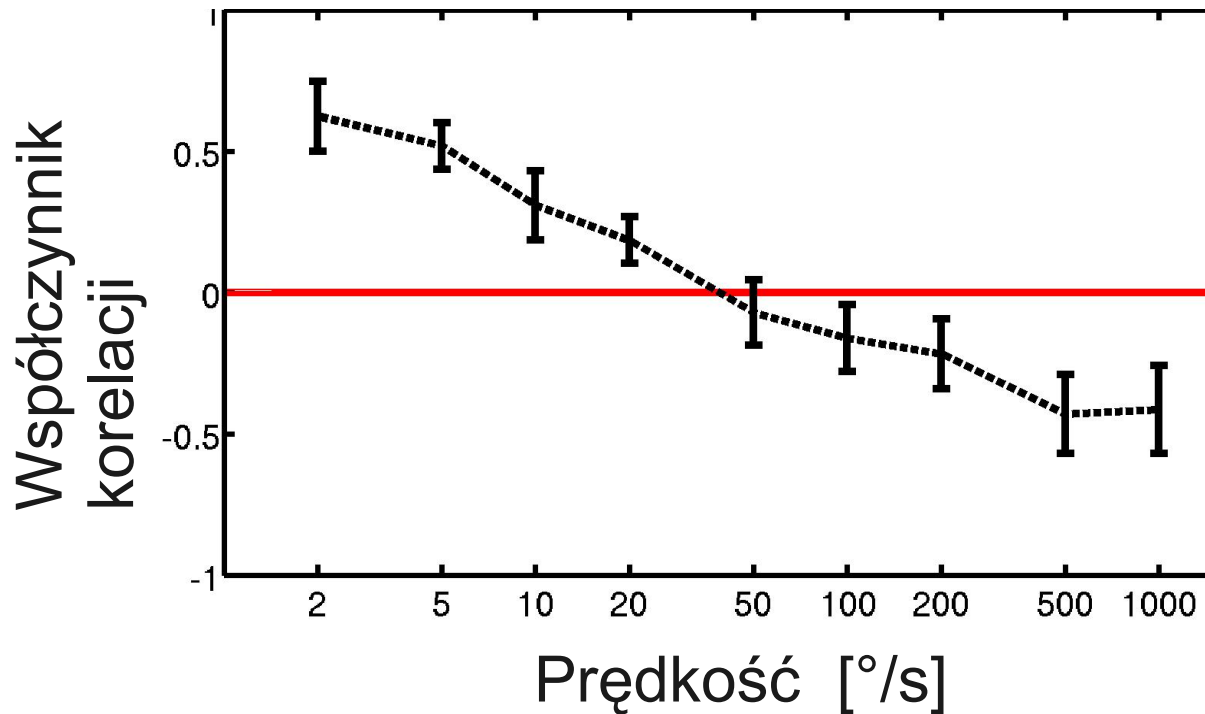
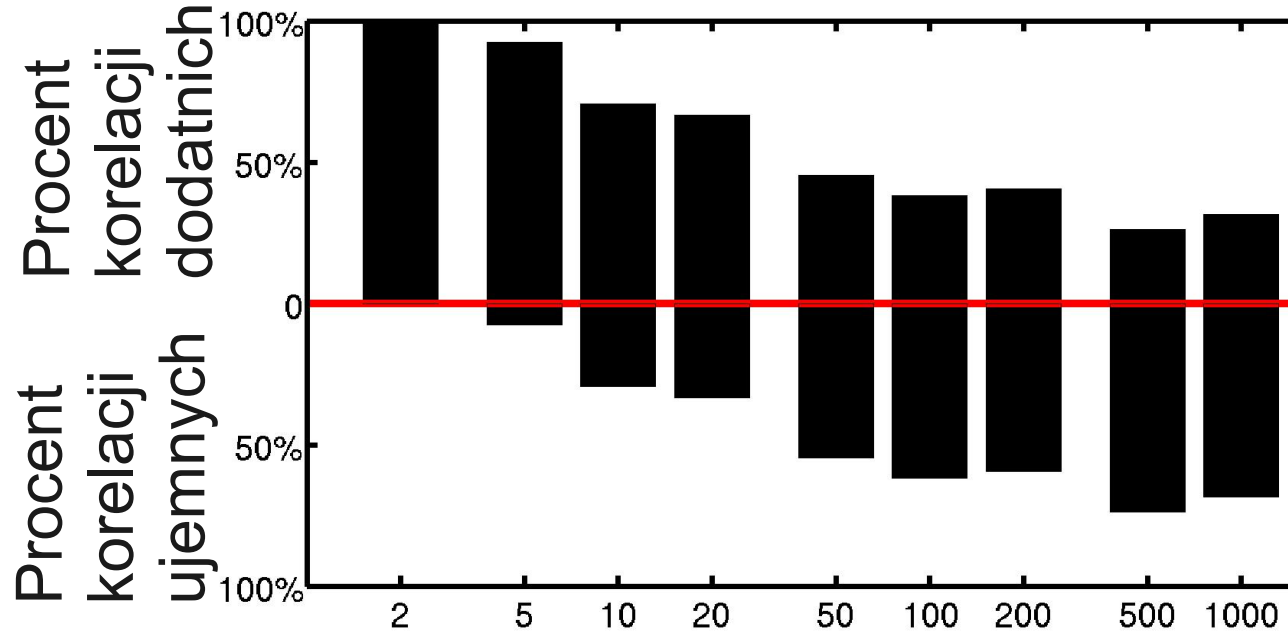
Korelacja ujemna



Korelacje dla całej populacji komórek



Korelacje dla całej populacji komórek

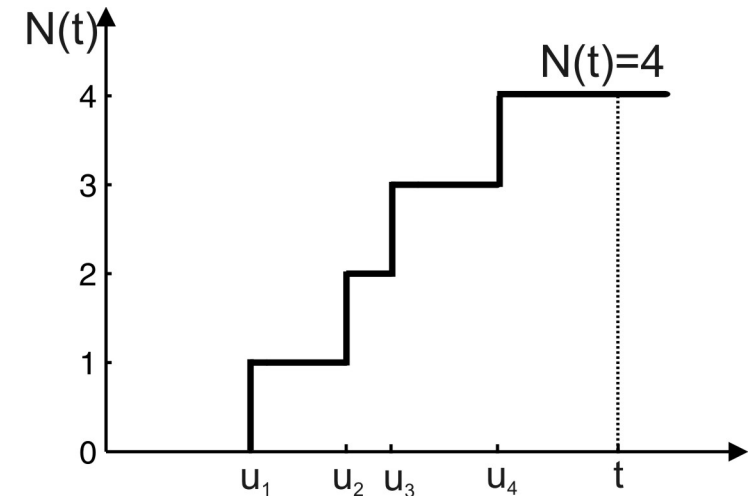


Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

Cel: jak najwierniejszy opis
prawdopodobieństwa wygenerowania
iglicy w danej chwili czasu t

Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

Cel: jak najwierniejszy opis prawdopodobieństwa wygenerowania iglicy w danej chwili czasu t



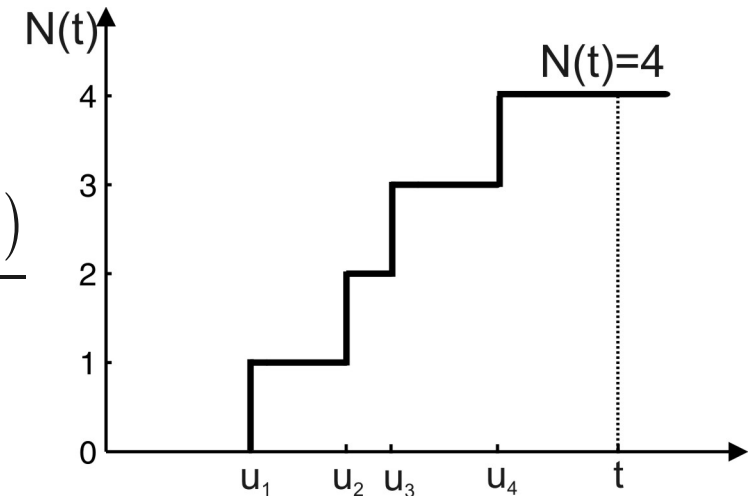
Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

Cel: jak najwierniejszy opis prawdopodobieństwa wygenerowania iglicy w danej chwili czasu t

Warunkowa intensywność:

$$\lambda(t/H_t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Pr(N(t + \Delta t) - N(t) = 1 / H_t)}{\Delta t}$$

$$H_t = \{[u_1, u_2, \dots, u_j] \cap u_j \leq t \cap N(t) = j\}$$

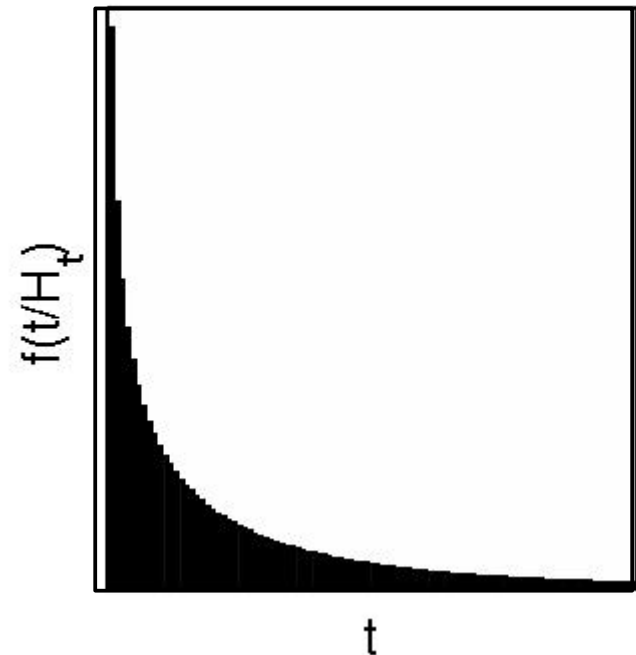


Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

Cel: jak najwierniejszy opis prawdopodobieństwa wygenerowania iglicy w danej chwili czasu t

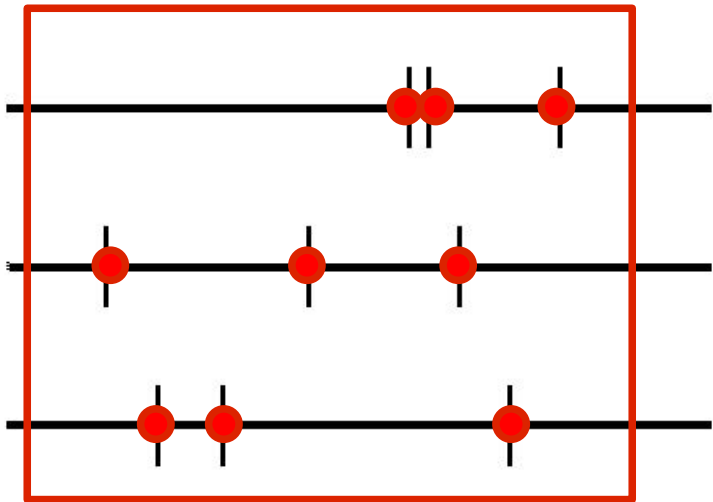
Warunkowa intensywność:

$$\lambda(t/H_t) = \frac{f(t/H_t)}{1 - \int_{\hat{t}}^t f(u/H_u) du}$$



Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

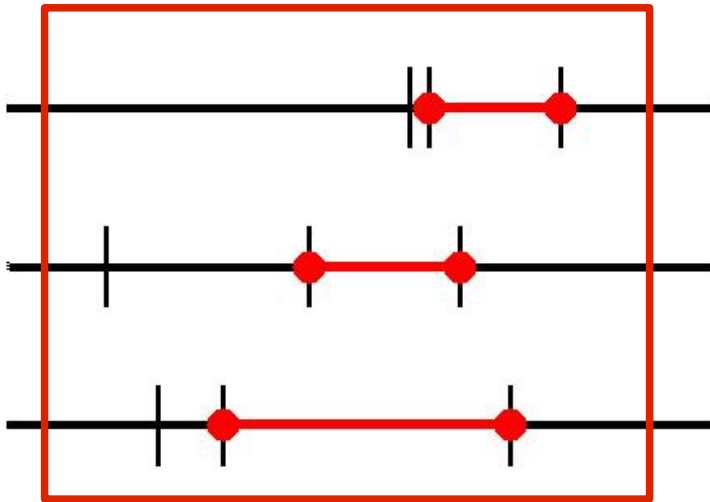
Niejednorodny proces Poissona (IP)



- $\lambda(t/H_t) = r(t)$
- $f(t) = r(t) \exp\left[-\int_0^t r(u) du\right]$
- FF = 1

Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

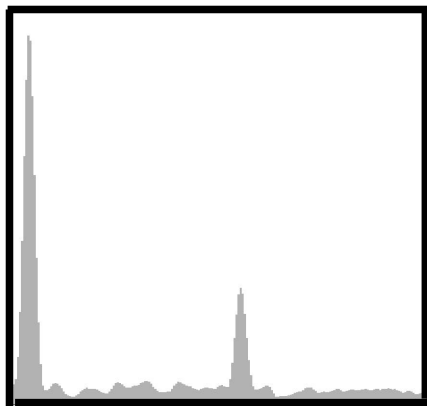
Niejednorodny proces Markowa dla interwałów (IMI)



- $\lambda(t/H_t) = \lambda(t/\tau) = g(t) \cdot h(\tau)$
- $f(t/\tau) = \lambda(t/\tau) \exp\left[-\int_{\hat{t}}^t \lambda(u/\tau) du\right]$
- FF = ?

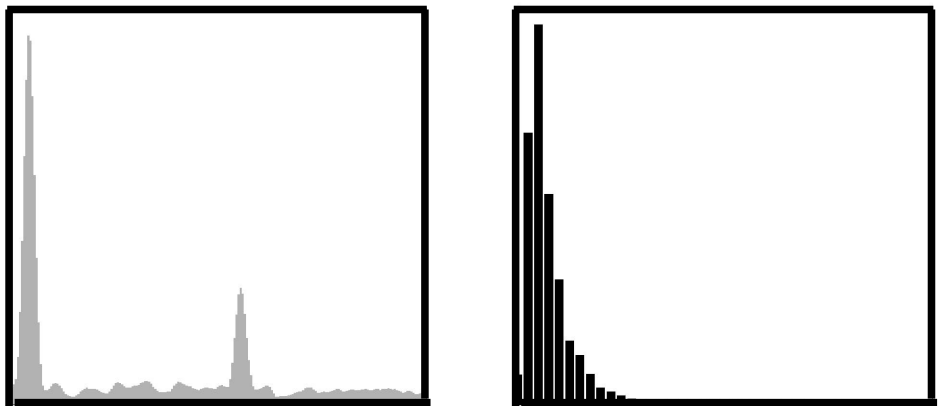
Modele stochastyczne rejestrowanych odpowiedzi

- Niejednorodny proces Poissona (IP)



$$\lambda(t/H_t) = r(t)$$

- Niejednorodny proces Markowa dla interwałów (IMI)



$$\lambda(t/H_t) = g(t) h(\tau)$$

Twierdzenie o przeskalowaniu czasu (ang. *Time-Rescaling Theorem*):

Niech $0 < u_1 < u_2 < \dots < u_{n-1} < u_n < T$ będą czasami realizacji procesu punktowego o danej funkcji warunkowej intensywności $\lambda(t/H_t)$ spełniającej warunek $\lambda(t/H_t) > 0$ dla każdego $t \in (0, T]$.

Dla $k=1, 2, \dots, n$ zdefiniujemy transformację:

$$\Lambda(u_k) = \int_0^{u_k} \lambda(u/H_u) du$$

Zakładając, że $\Lambda(u_k) < \infty$ dla każdego $t \in (0, T]$; wówczas przeskalowane czasy realizacji procesu punktowego $\Lambda(u_k)$ są opisane procesem Poissona o stałej, równej jeden, częstości impulsacji.

Twierdzenie o przeskalowaniu czasu (ang. *Time-Rescaling Theorem*):

Niech $0 < u_1 < u_2 < \dots < u_{n-1} < u_n < T$ będą czasami realizacji procesu punktowego o danej funkcji warunkowej intensywności $\lambda(t/H_t)$ spełniającej warunek $\lambda(t/H_t) > 0$ dla każdego $t \in (0, T]$.

Dla $k=1, 2, \dots, n$ zdefiniujemy transformację:

$$\Lambda(u_k) = \int_0^{u_k} \lambda(u/H_u) du$$

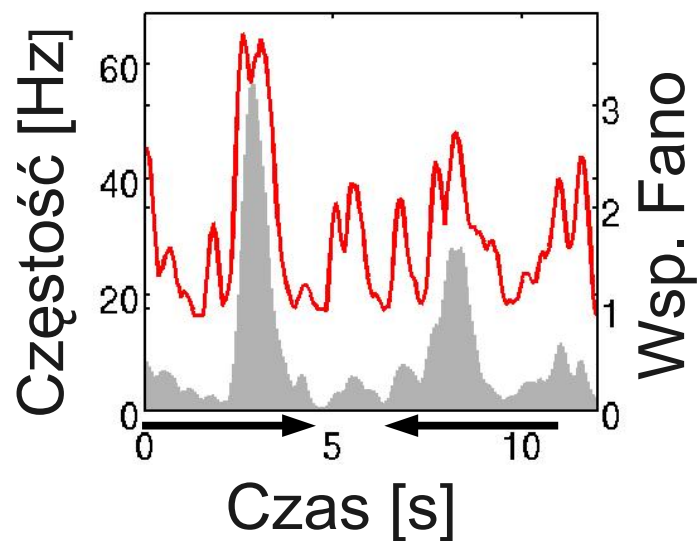
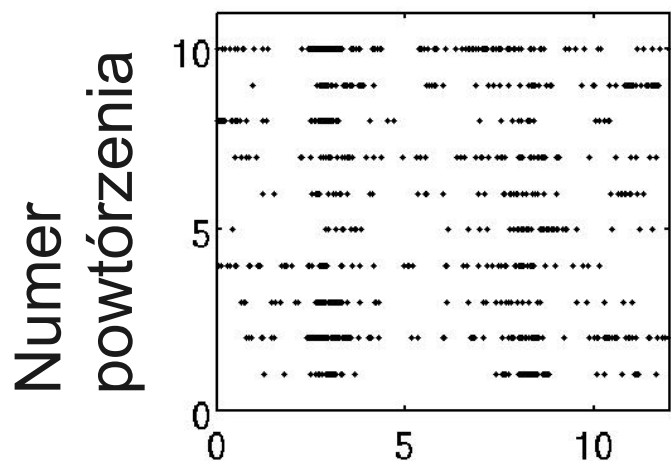
Zakładając, że $\Lambda(u_k) < \infty$ dla każdego $t \in (0, T]$; wówczas przeskalowane czasy realizacji procesu punktowego $\Lambda(u_k)$ są opisane procesem Poissona o stałej, równej jeden, częstości impulsacji.

$$\tau_k = \Lambda(u_k) - \Lambda(u_{k-1})$$

$$z_k = 1 - \exp(-\tau_k)$$

Modele odpowiedzi pobudzającej na niską prędkość bodźca (wejście **W**)

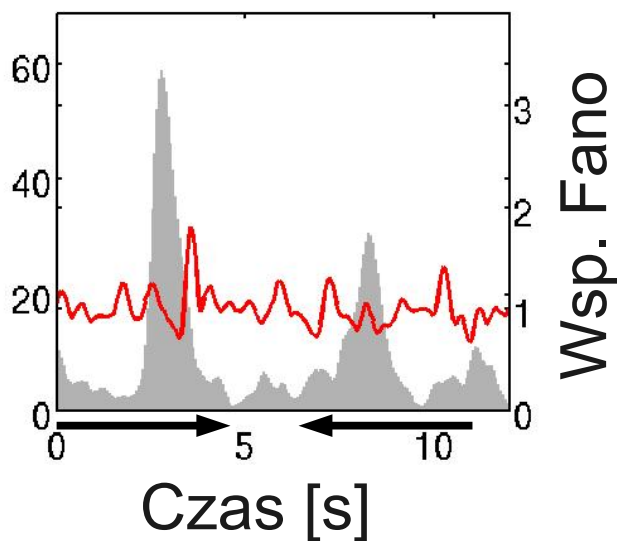
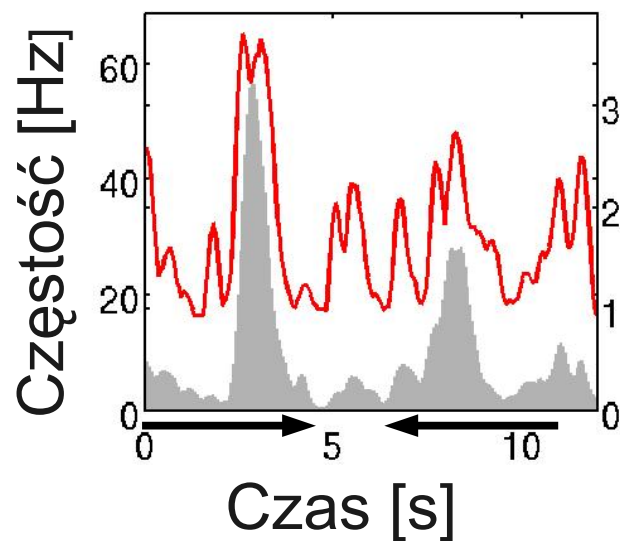
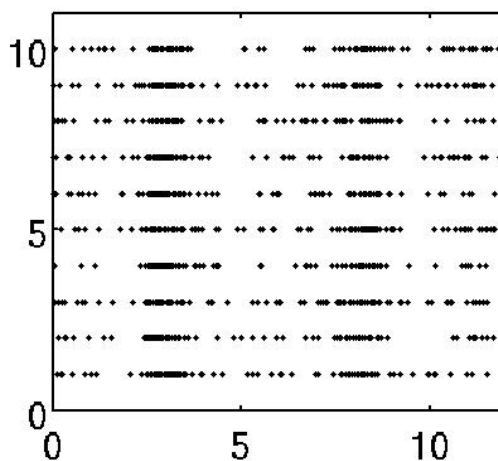
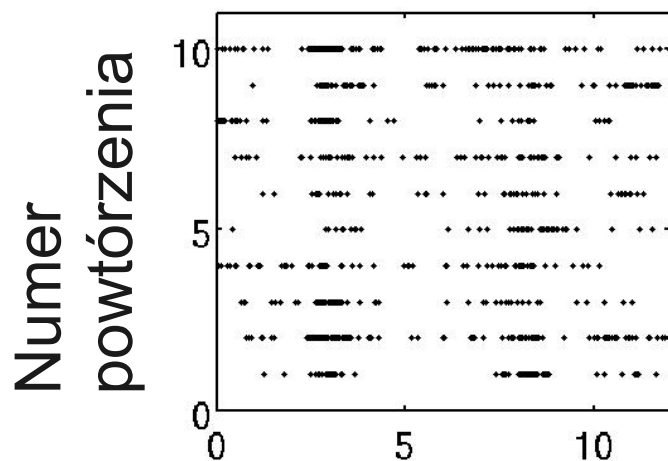
EXP



Modele odpowiedzi pobudzającej na niską prędkość bodźca (wejście **W**)

EXP

Model IP



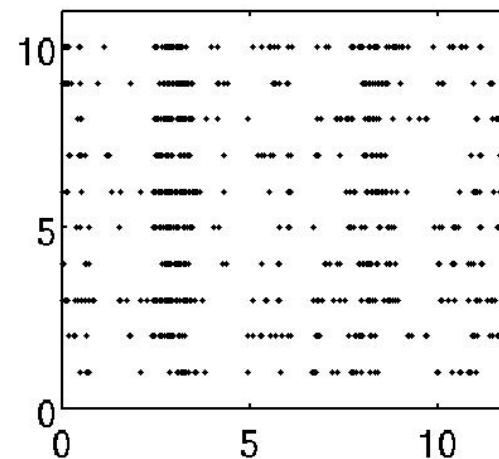
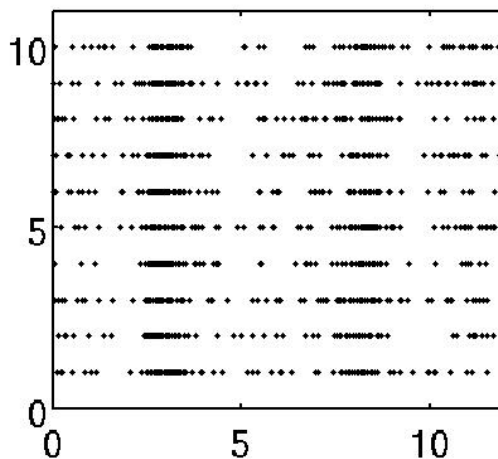
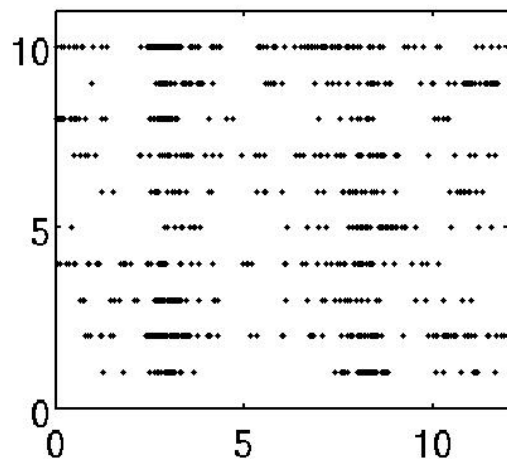
Modele odpowiedzi pobudzającej na niską prędkość bodźca (wejście **W**)

EXP

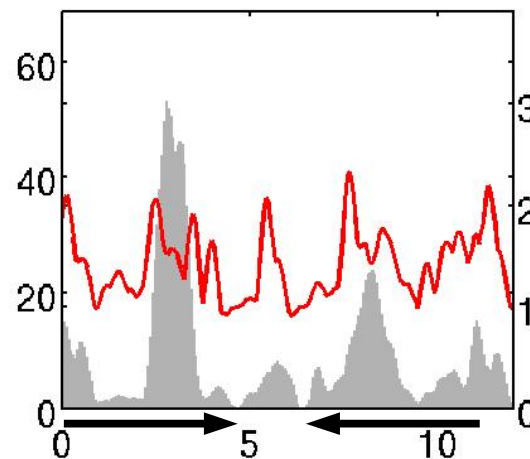
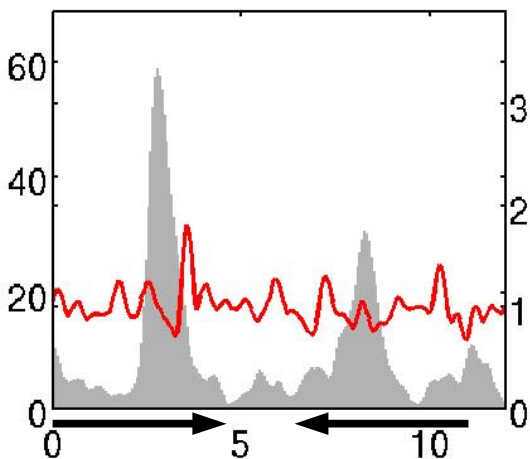
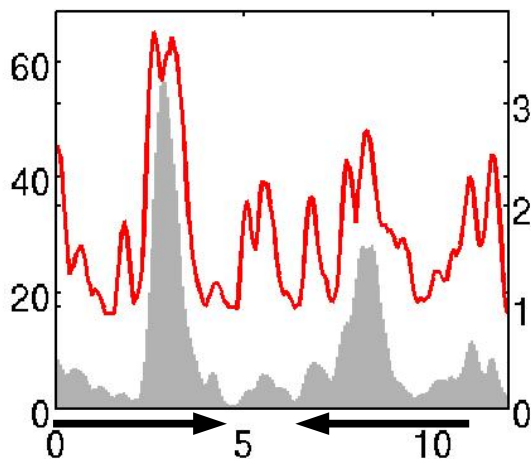
Model IP

Model IMI

Numer powtórzeń



Częstość [Hz]



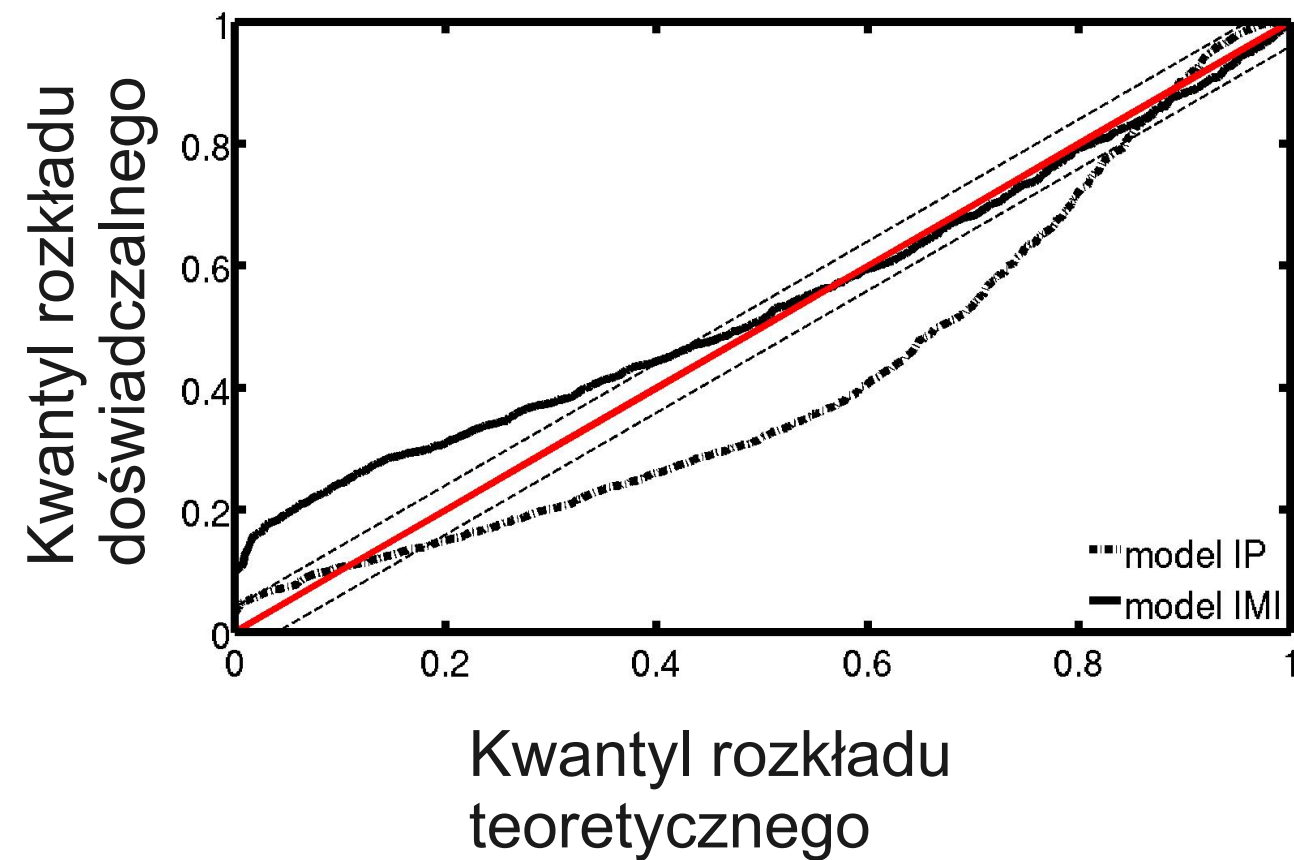
Czas [s]

Czas [s]

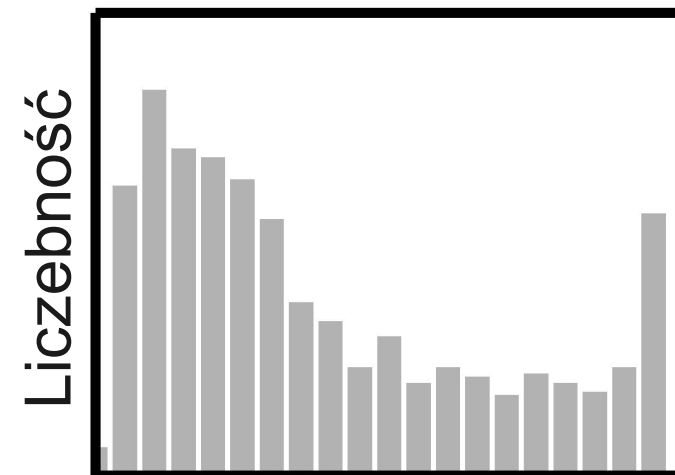
Czas [s]

Wsp. Fano

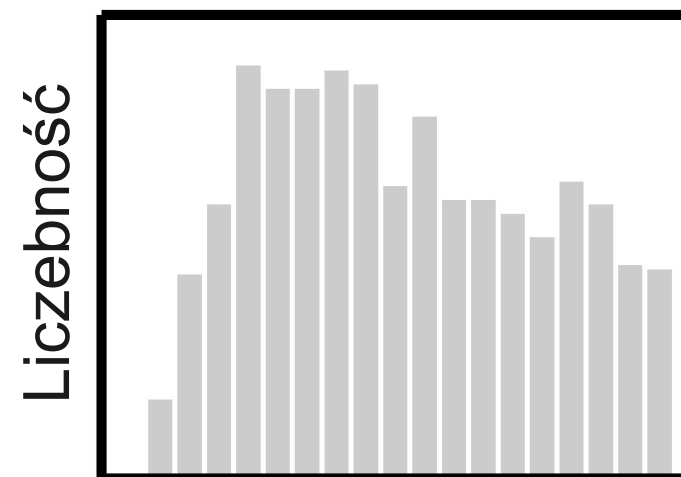
Jakość dopasowania modelu (wejście **W**)



Model IP



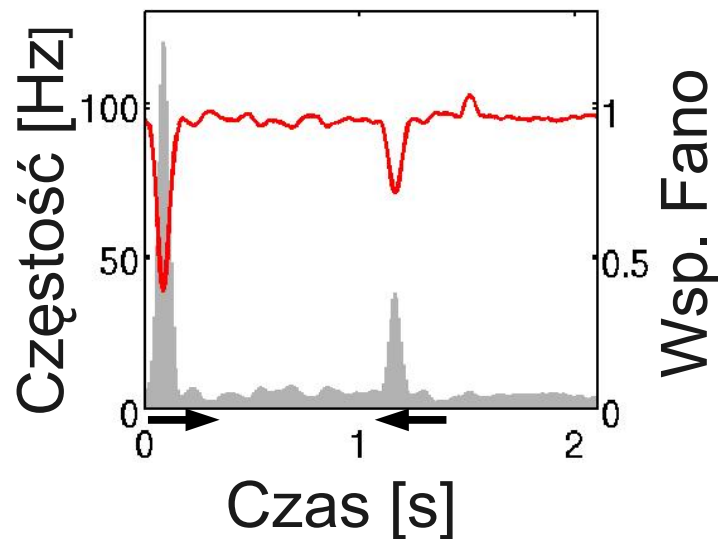
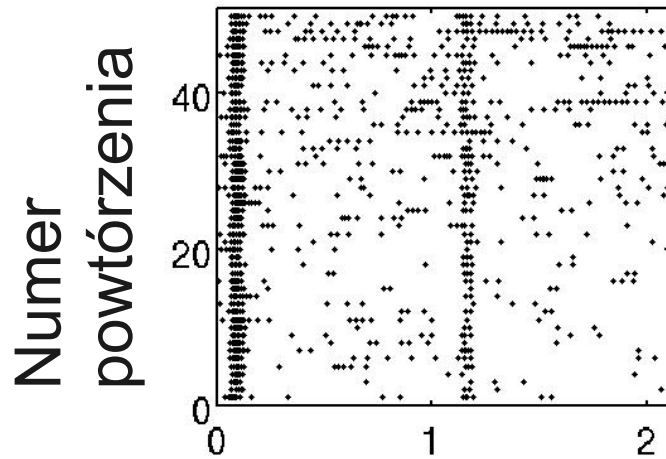
Model IMI



Długość odcinka

Modele odpowiedzi pobudzającej na wysoką prędkość bodźca (wejście Y)

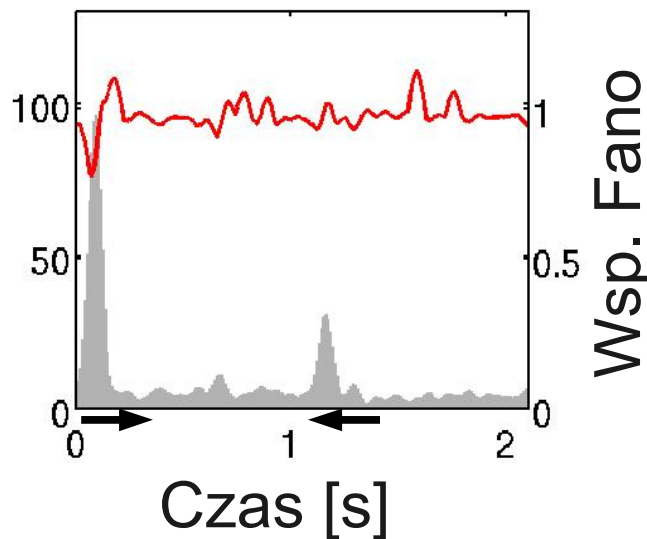
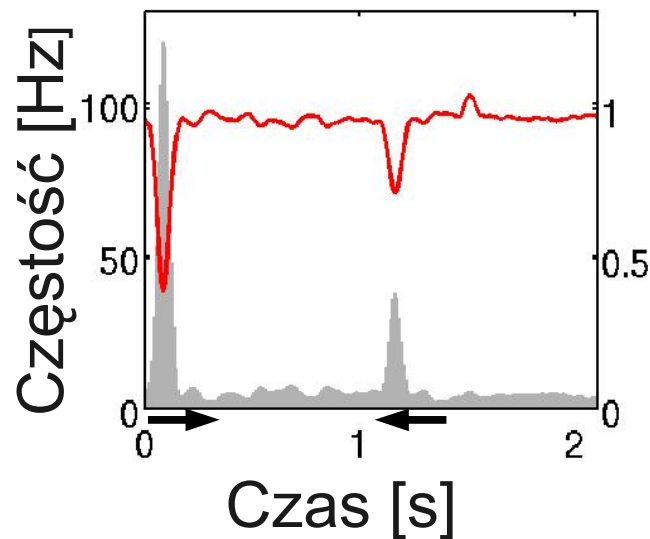
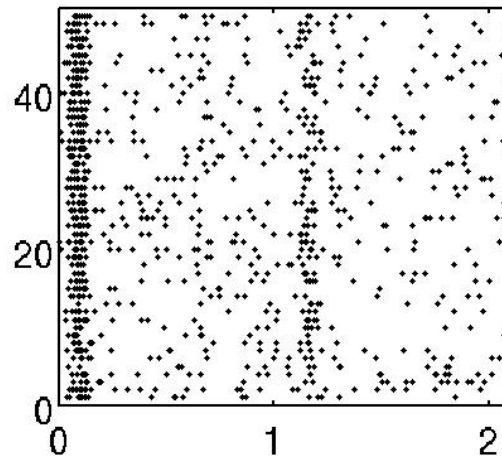
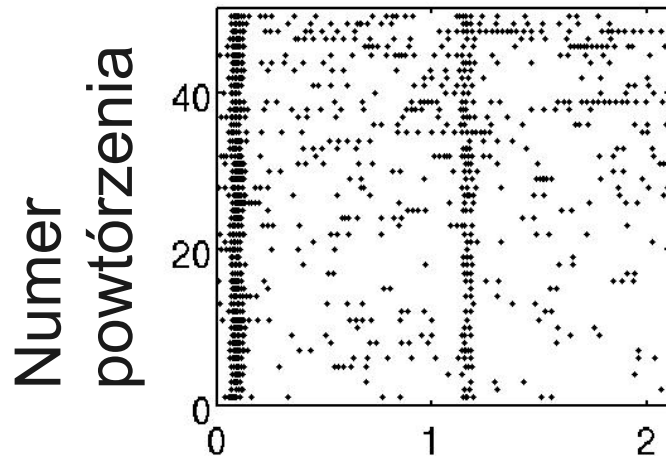
EXP



Modele odpowiedzi pobudzającej na wysoką prędkość bodźca (wejście Y)

EXP

Model IP



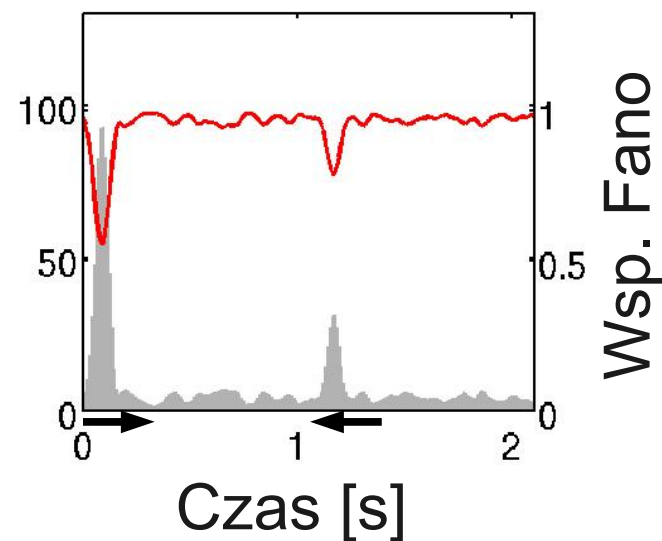
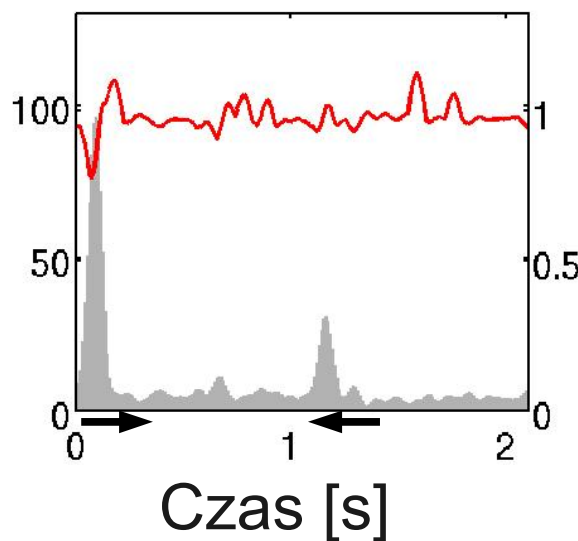
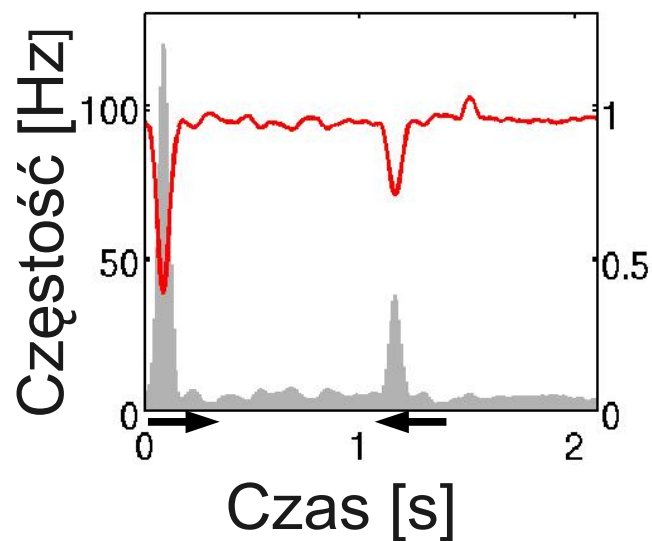
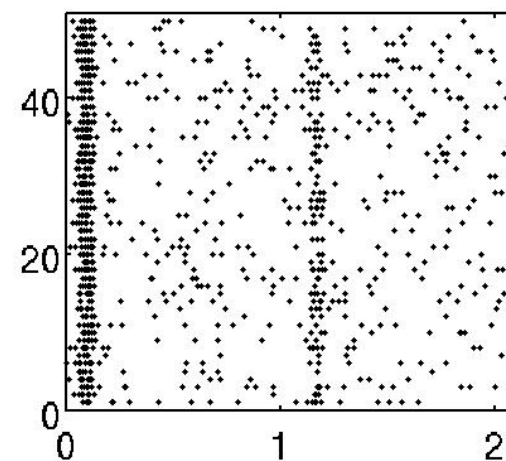
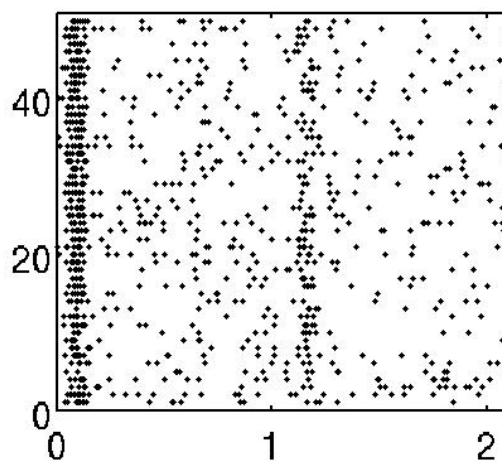
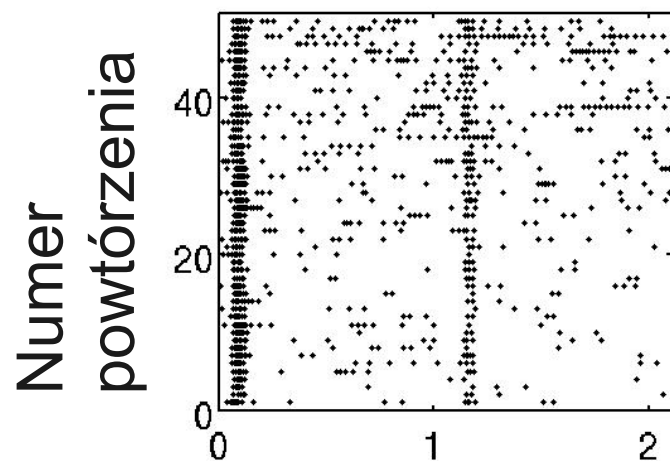
Wsp. Fano

Modele odpowiedzi pobudzającej na wysoką prędkość bodźca (wejście Y)

EXP

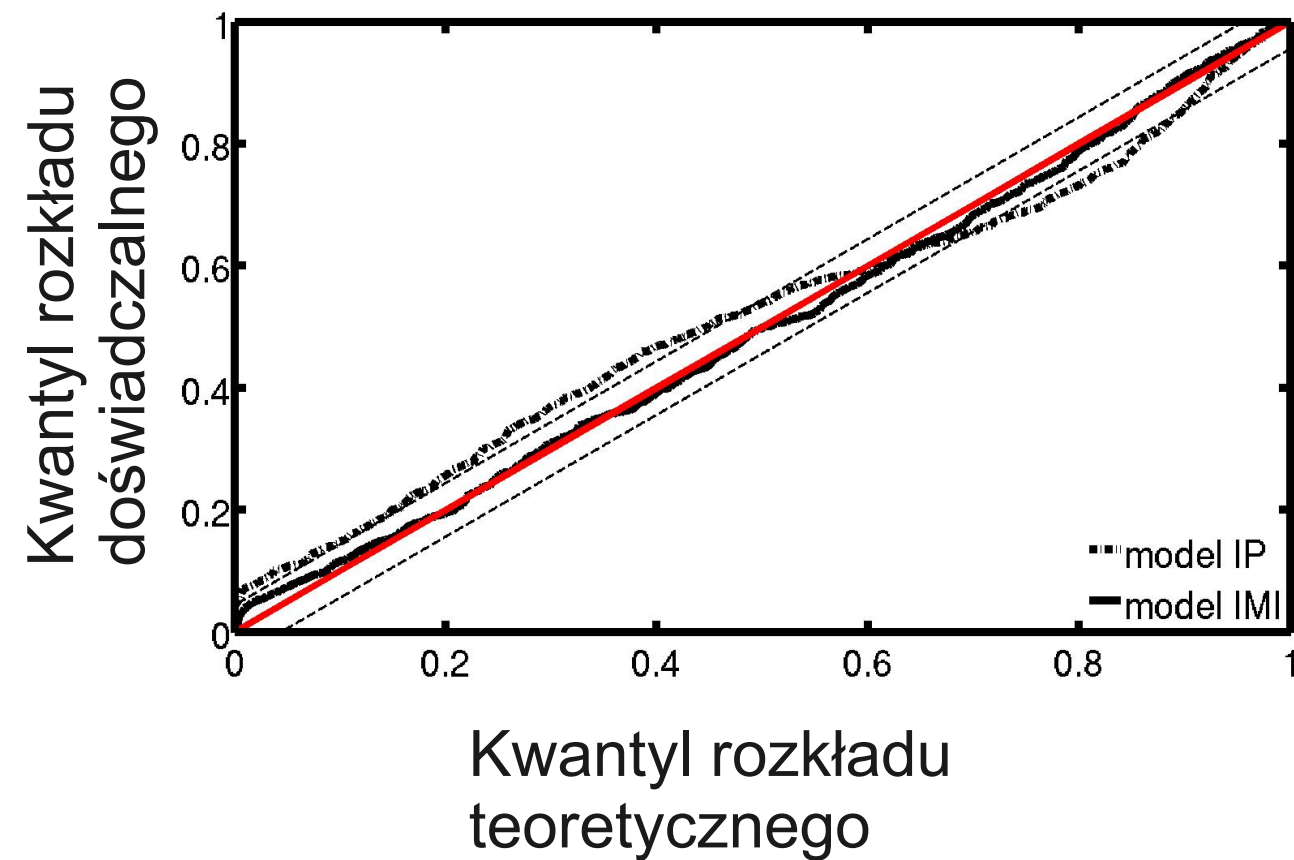
Model IP

Model IMI

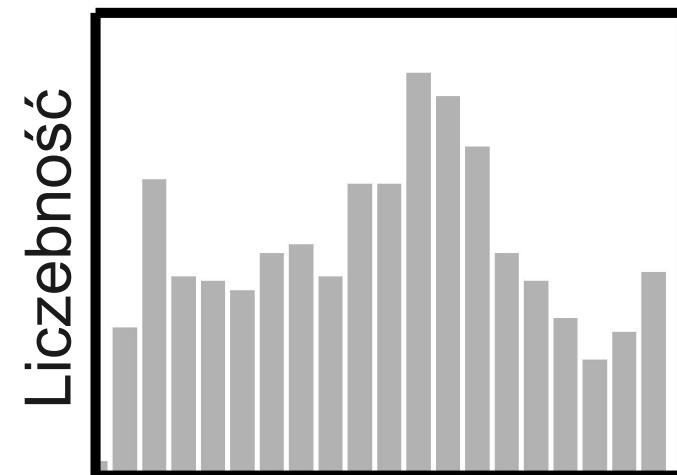


Wsp. Fano

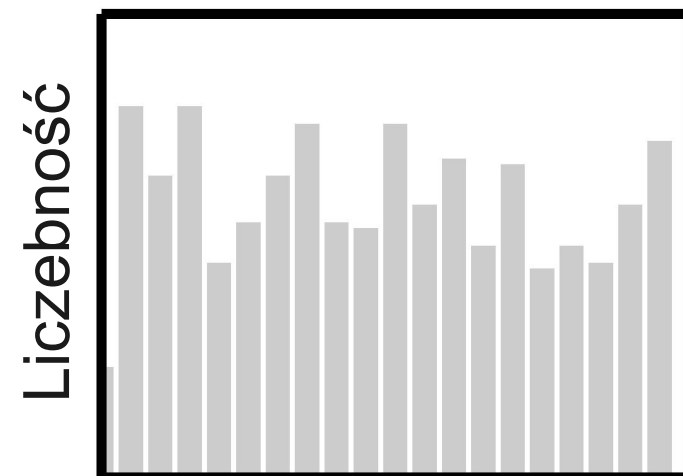
Jakość dopasowania modelu (wejście Y)



Model IP



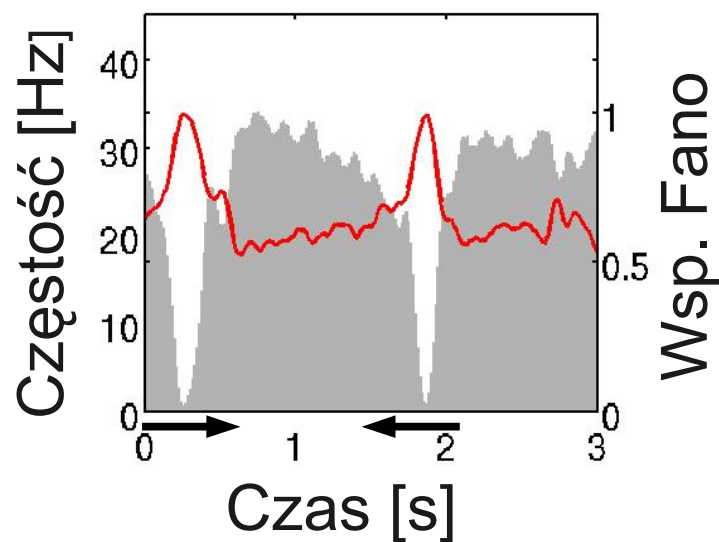
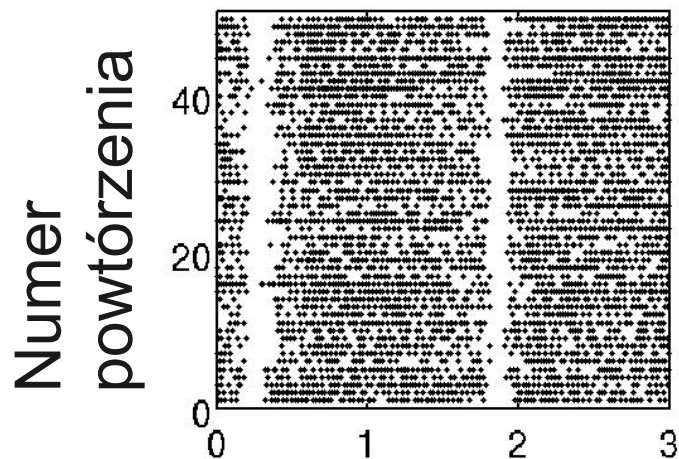
Model IMI



Długość odcinka

Modele odpowiedzi hamującej na wysoką prędkość bodźca (wejście **W&Y**)

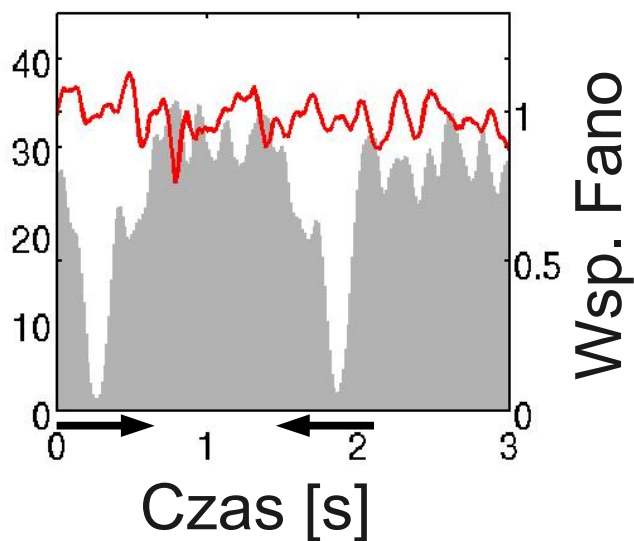
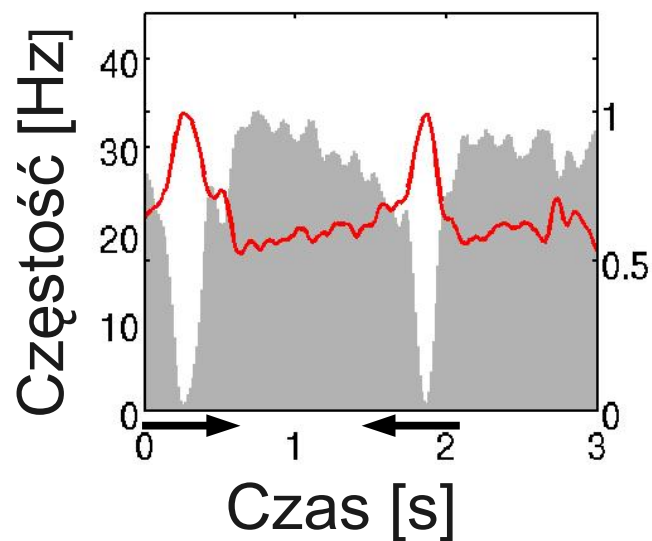
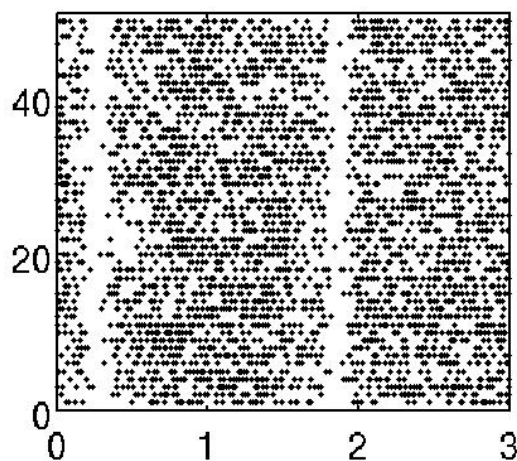
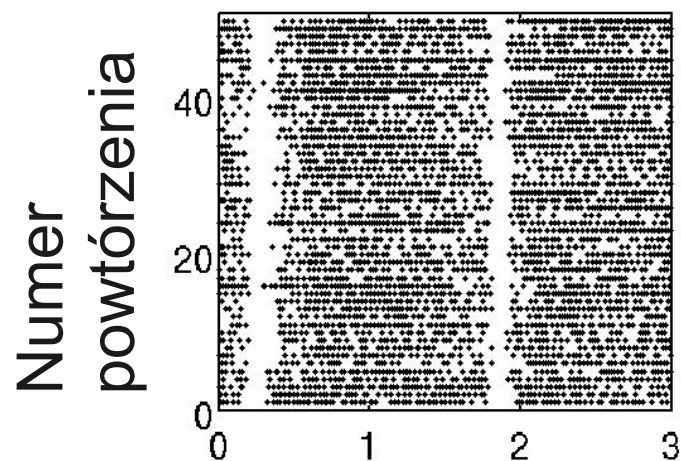
EXP



Modele odpowiedzi hamującej na wysoką prędkość bodźca (wejście **W&Y**)

EXP

Model IP



Wsp. Fano

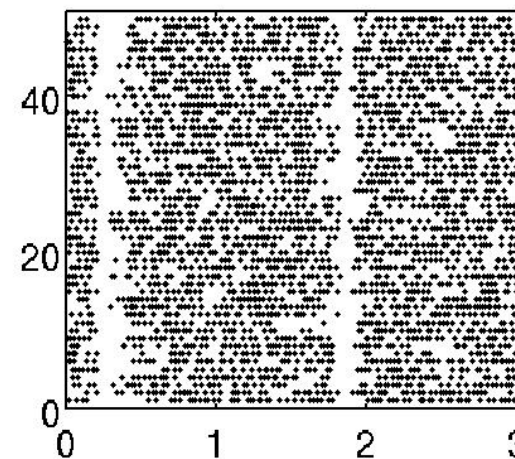
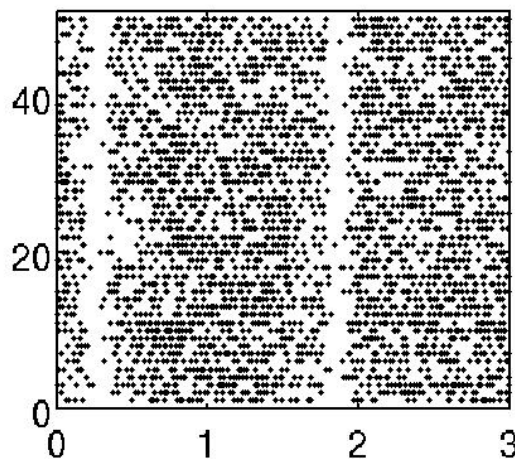
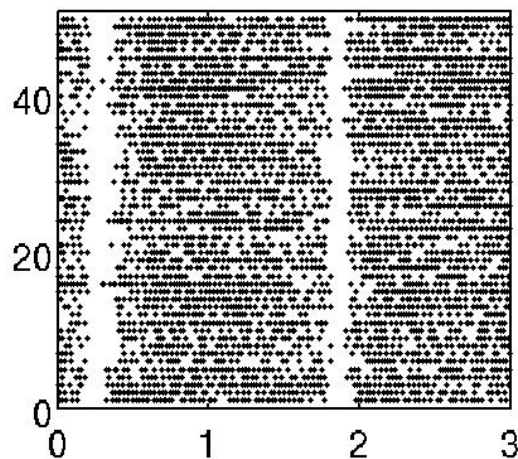
Modele odpowiedzi hamującej na wysoką prędkość bodźca (wejście **W&Y**)

EXP

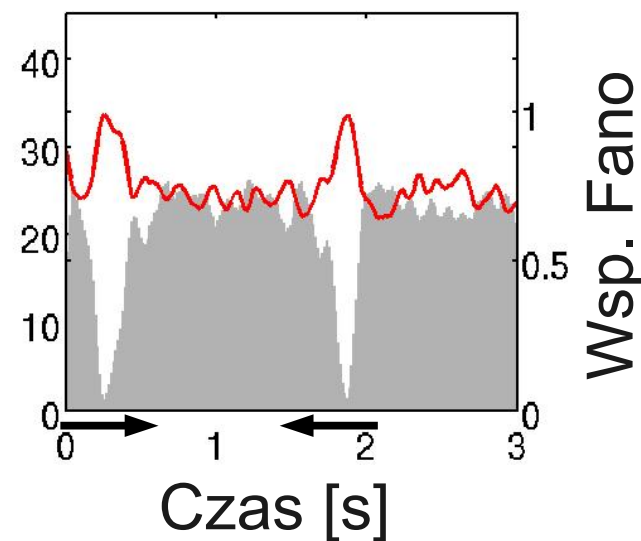
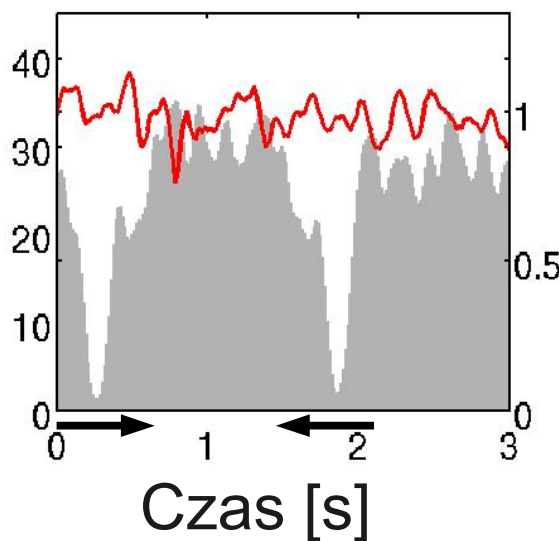
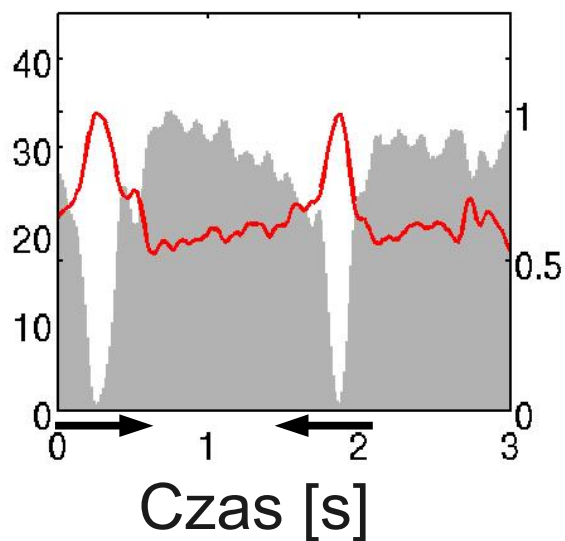
Model IP

Model IMI

Numer powtórzeń

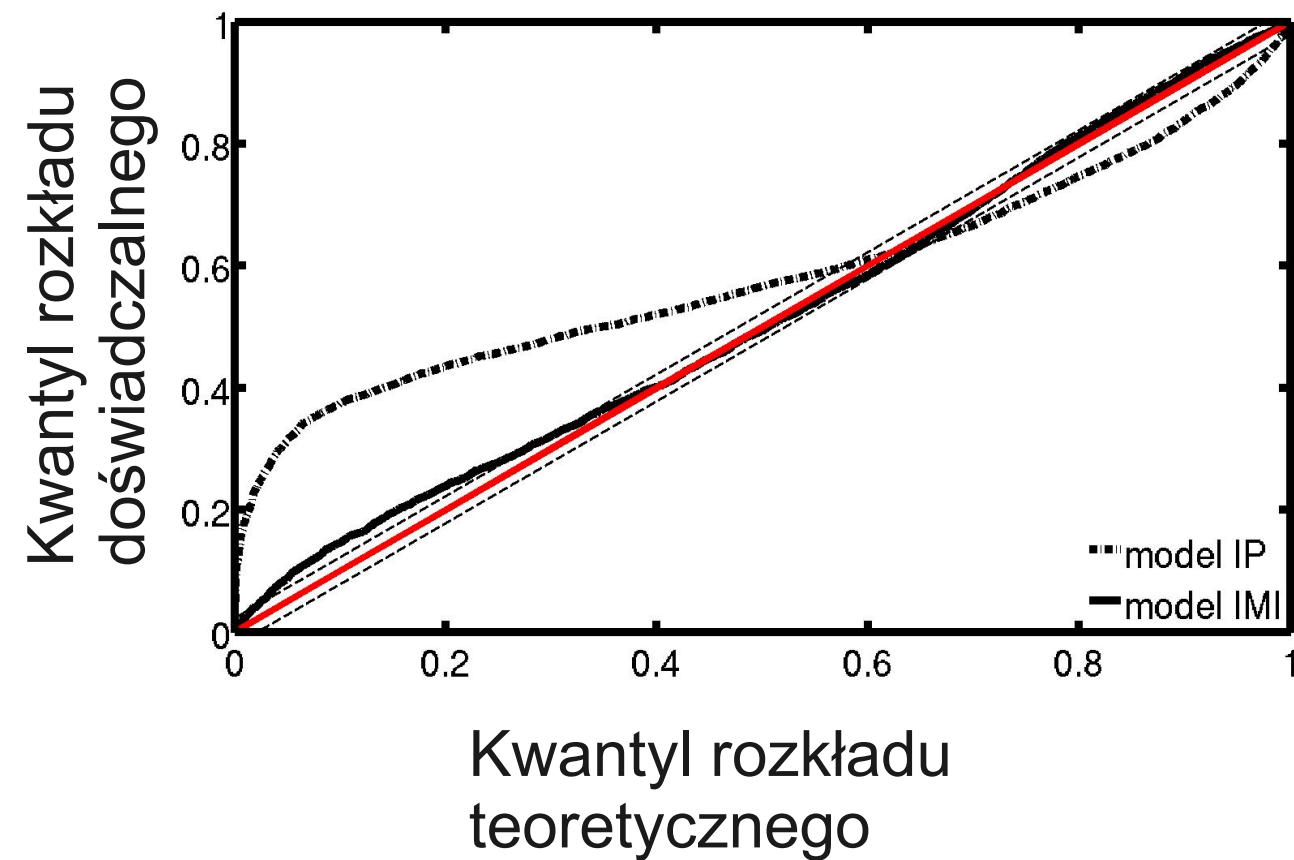


Częstość [Hz]

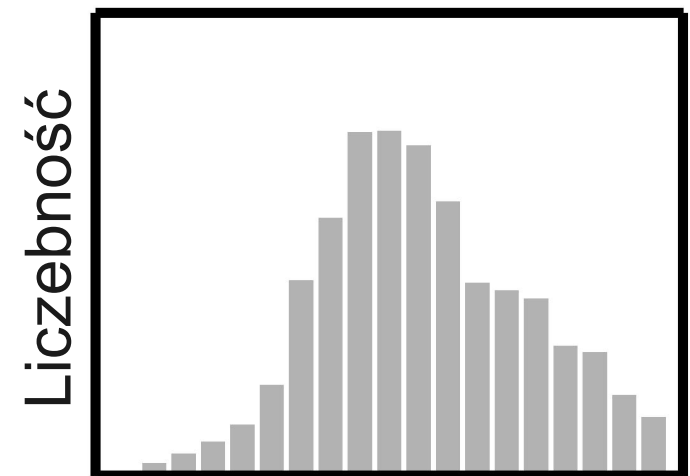


Wsp. Fano

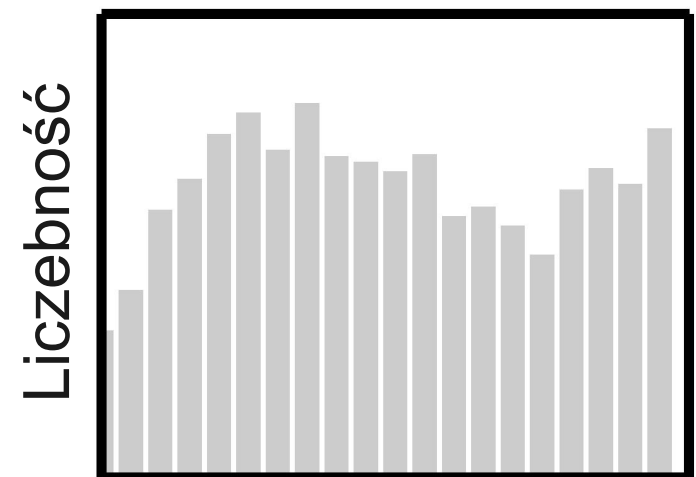
Jakość dopasowania modelu (wejście **W&Y**)



Model IP

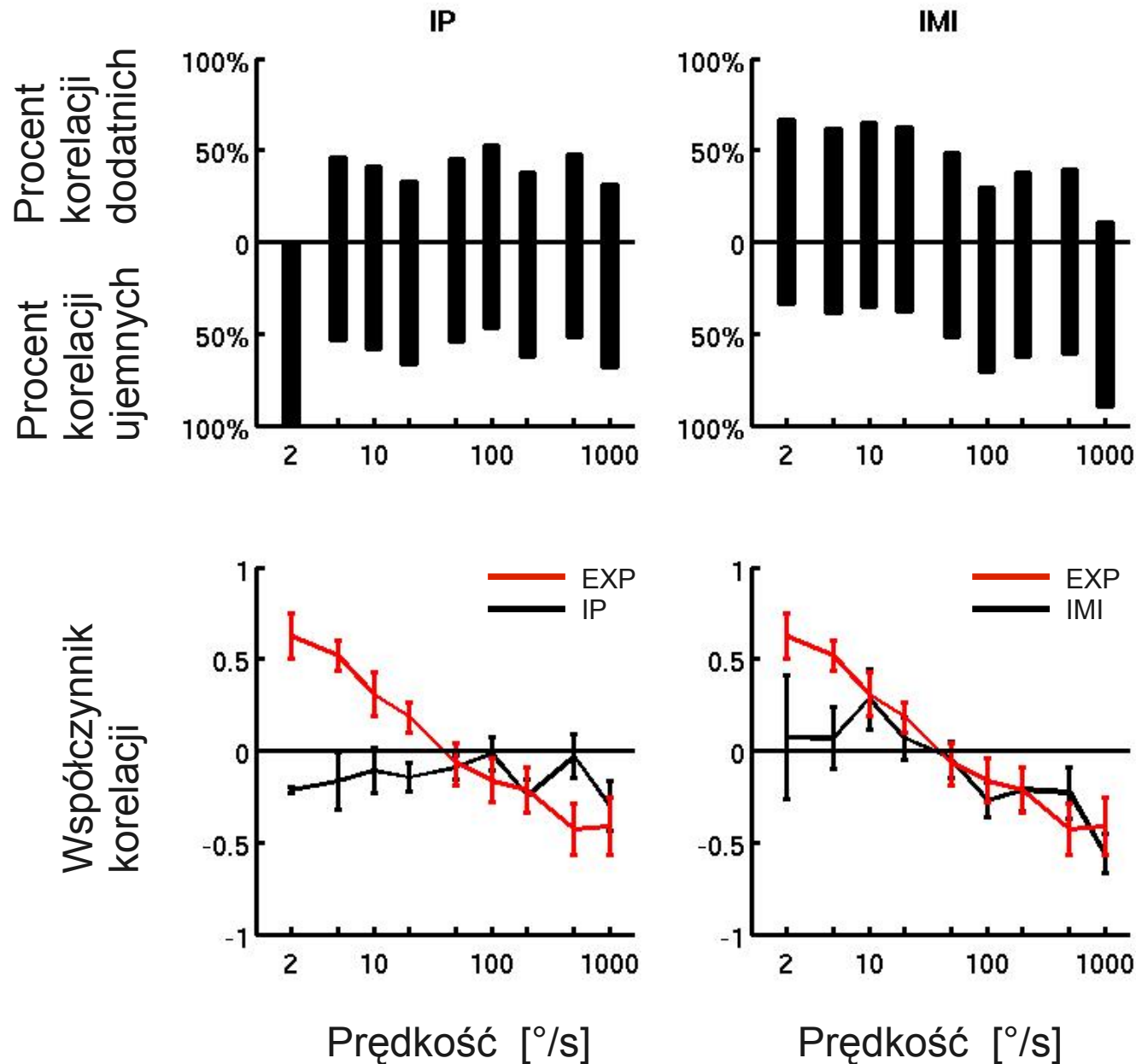


Model IMI



Długość odcinka

Korelacje dla całej populacji komórek - modele



Podsumowanie

- komórki kanału W - wzrost zmienności odpowiedzi przy wzroście jej intensywności
- komórki kanału Y - spadek zmienności odpowiedzi przy wzroście jej intensywności

Podsumowanie

- komórki kanału W - wzrost zmienności odpowiedzi przy wzroście jej intensywności
- komórki kanału Y - spadek zmienności odpowiedzi przy wzroście jej intensywności
- model IP nie oddaje zależności pomiędzy częstością generacji potencjałów czynnościowych a współczynnikiem Fano obserwowanych dla danych doświadczalnych

Podsumowanie

- komórki kanału W - wzrost zmienności odpowiedzi przy wzroście jej intensywności
- komórki kanału Y - spadek zmienności odpowiedzi przy wzroście jej intensywności
- model IP nie oddaje zależności pomiędzy częstością generacji potencjałów czynnościowych a współczynnikiem Fano obserwowanych dla danych doświadczalnych
- model IMI oddaje dobrze te zależności w przypadku kanału Y ale jest niewystarczający w przypadku komórek należących do kanału W

Referencje

Mochol G, Wójcik D K, Wypych M, Wróbel A, Waleszczyk WJ.

„Variability of visual responses of superior colliculus neurons depends on stimulus velocity”.

Journal of Neuroscience 2010, 30:3199-3209

Wójcik DK, Mochol G, Jakuczun W, Wypych M, Waleszczyk WJ.

“Direct estimation of inhomogeneous Markov interval models of spike-trains”.

Neural Computation 2009, 21: 2105-2113.