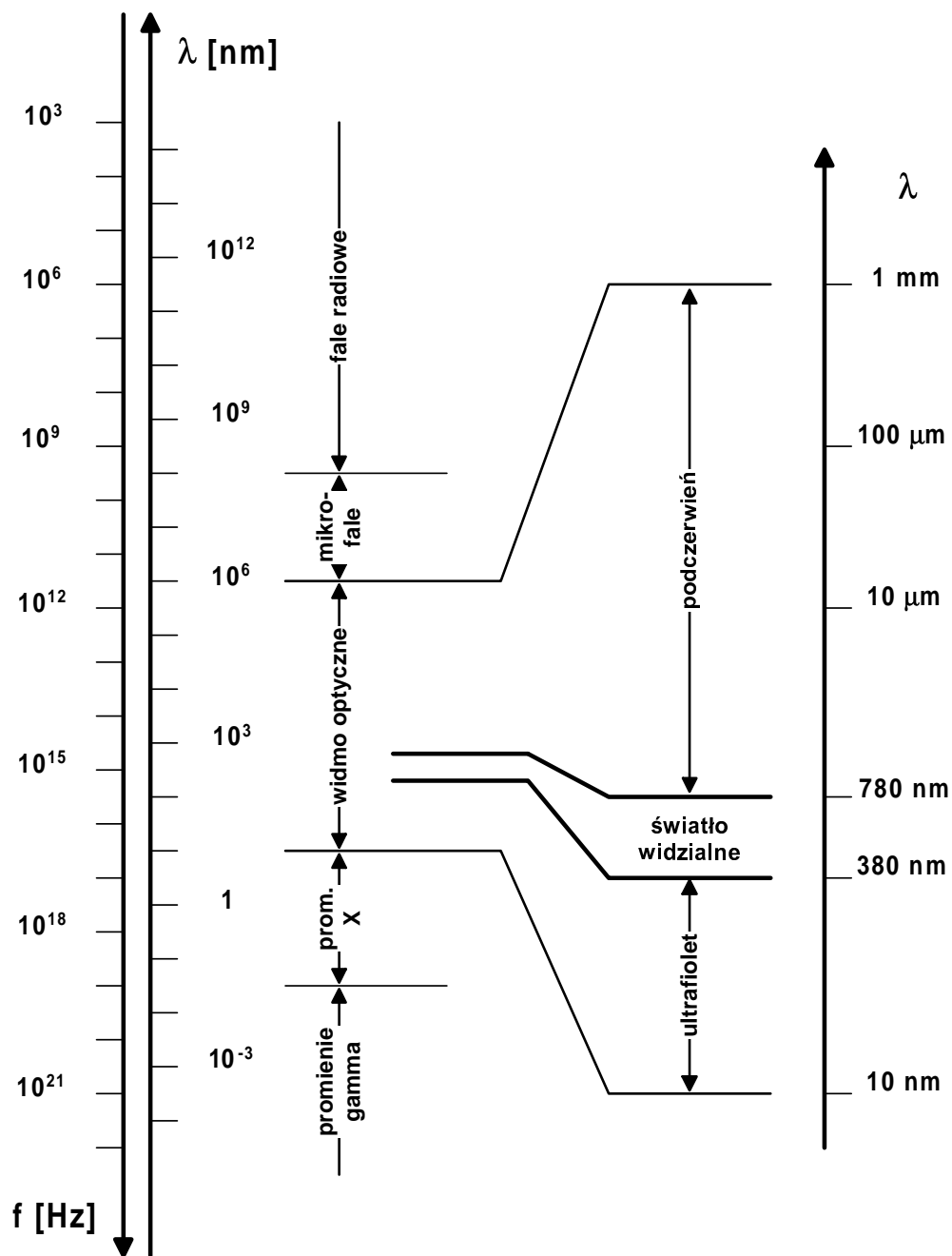
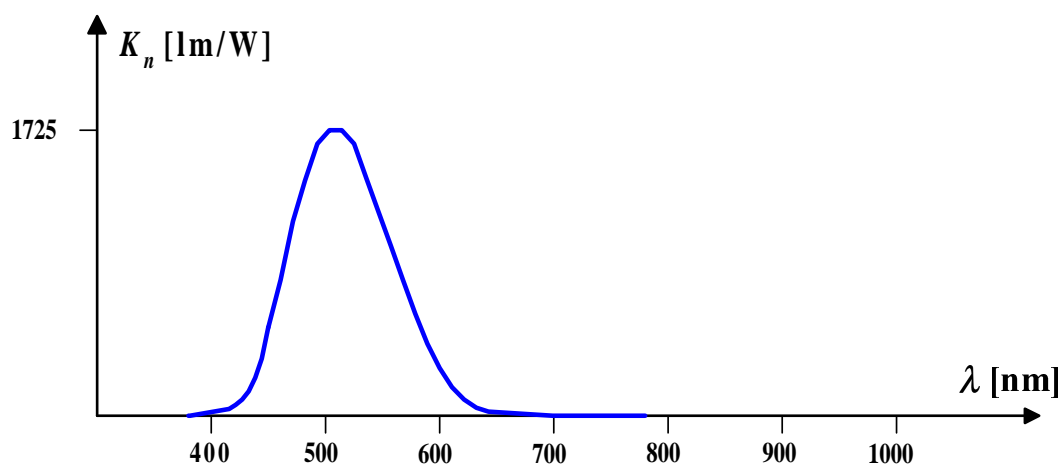
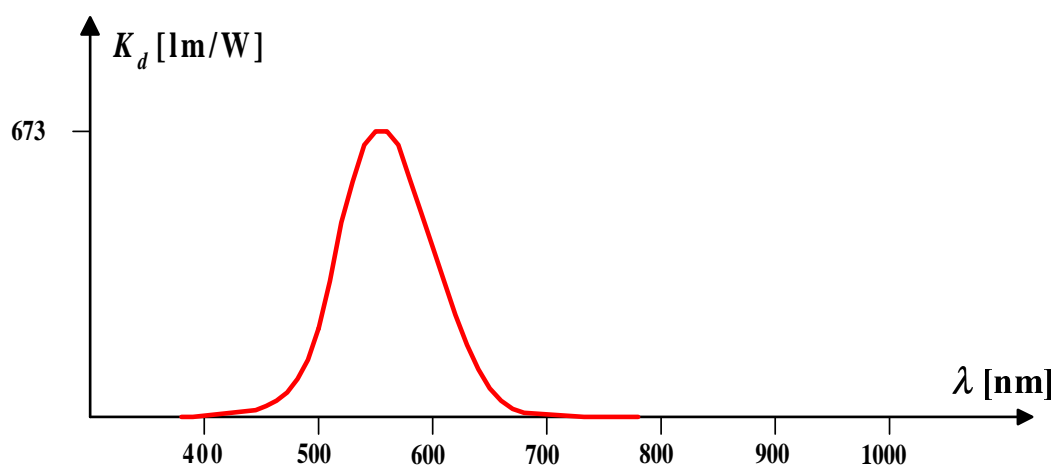


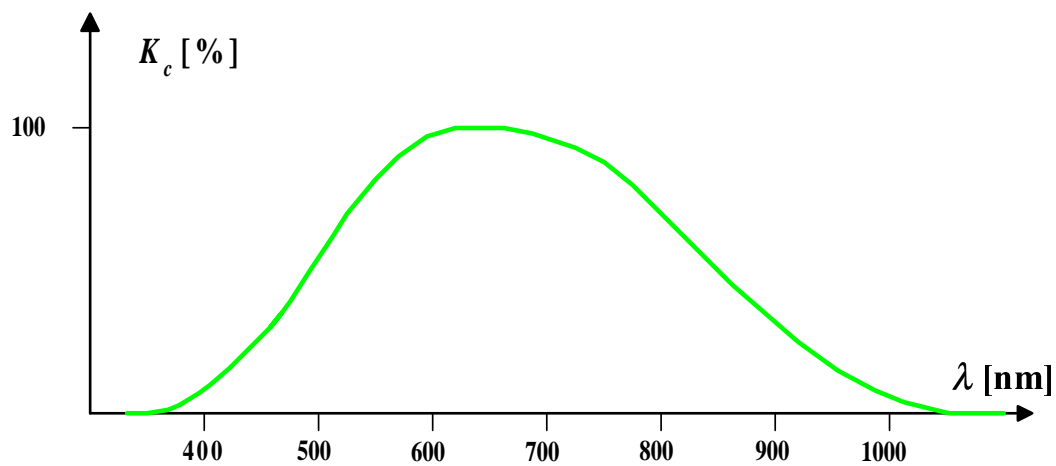
# Światło widzialne a widmo elektromagnetyczne



# Wrażliwość oka ludzkiego na promieniowanie elektromagnetyczne



# Wrażliwość kamery CCD na promieniowanie elektromagnetyczne



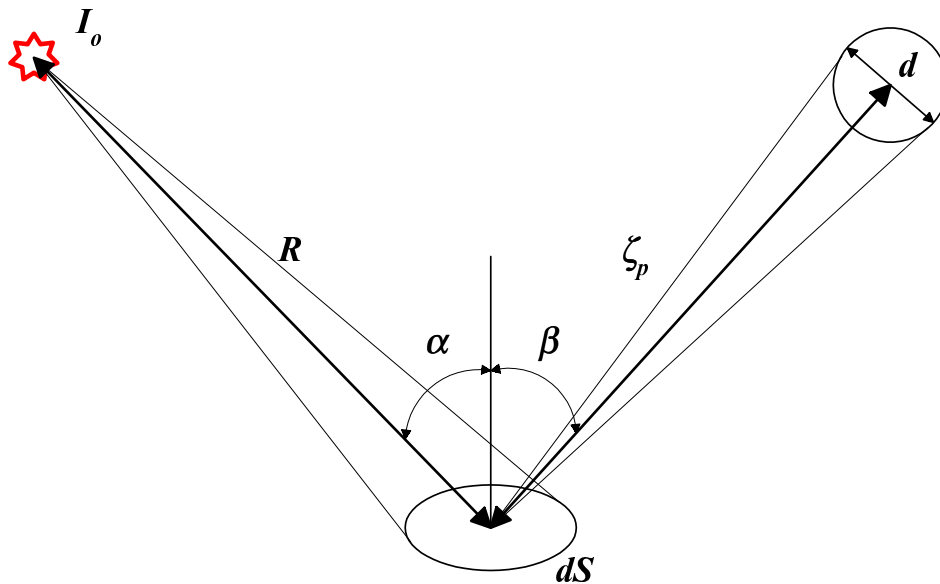
$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

$$\Phi_\lambda = \frac{d\Phi}{d\lambda}$$

$$\Phi = \int \Phi_\lambda(\lambda) d\lambda$$

$$\Phi_{w\lambda}(\lambda) = K(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda)$$

## Tworzenie obrazu (1)



$$E_S = \frac{d\Phi_0}{dS} = \frac{I_0 d\omega}{dS} = \frac{I_0 \cos \alpha}{R^2} \left[ l_x = \frac{cd \cdot sr}{m^2} \right]$$

$$L_S = \frac{r}{\pi} E_S = \frac{r}{\pi} I_0 \frac{\cos \alpha}{R^2} [cd]$$

$$E_A = \frac{d\Phi_A}{dA} = \frac{r}{4} I_0 \frac{\cos \alpha}{R^2} \left( \frac{d}{l} \right)^2 \cos^4 \theta$$

## Tworzenie obrazu (2)

$$E_S = \frac{d\Phi_0}{dS} = \frac{I_0 d\omega}{dS} = \frac{I_0 \cos \alpha}{R^2} \left[ l x = \frac{cd \cdot sr}{m^2} \right]$$

$$L_S = \frac{r}{\pi} E_S = \frac{r}{\pi} I_0 \frac{\cos \alpha}{R^2} [cd]$$

$$\frac{dA \cos \theta}{\left(\frac{l}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{dS \cos \beta}{\left(\frac{\zeta}{\cos \theta}\right)^2}$$

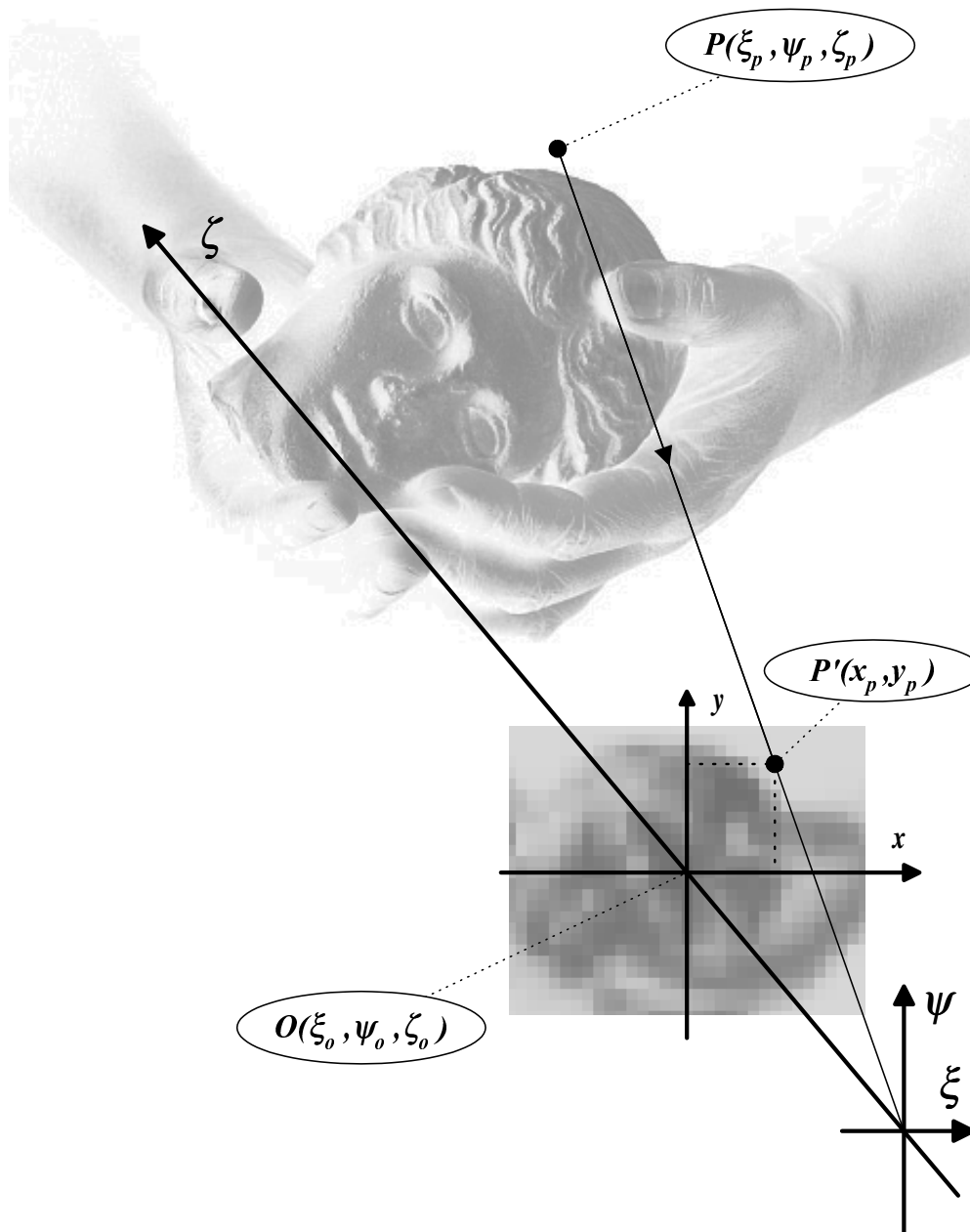
$$\frac{dS}{dA} = \frac{\cos \theta}{\cos \beta} \left(\frac{\zeta}{l}\right)^2$$

$$\Omega = \frac{\pi d^2 \cos \theta}{4 \left(\frac{\zeta}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{\zeta}\right)^2 \cos^3 \theta$$

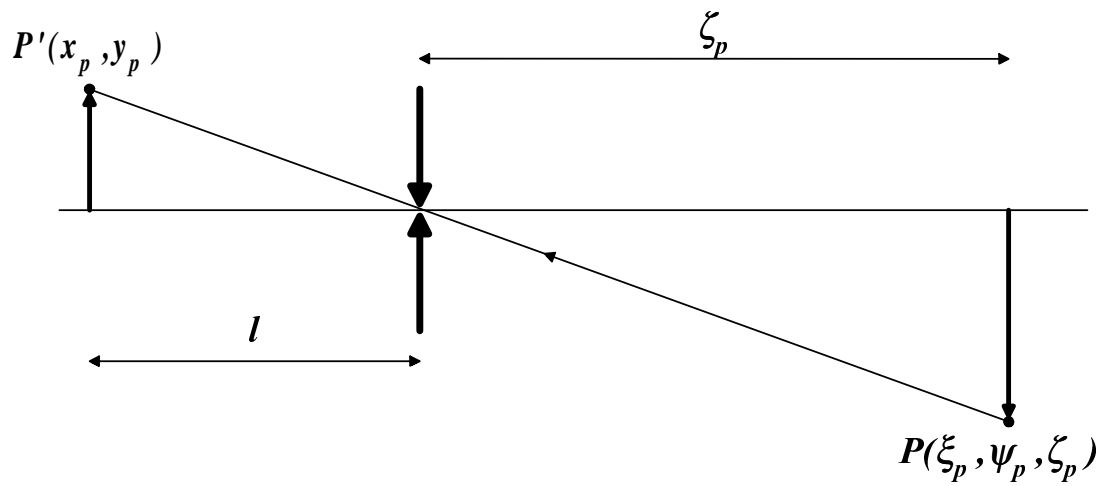
$$E_A = \frac{d\Phi_A}{dA} = L_S \frac{dS}{dA} \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{\zeta}\right)^2 \cos^3 \theta \cos \beta = L_S \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cos^4 \theta$$

$$E_A = \frac{r}{4} I_0 \frac{\cos \alpha}{R^2} \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cos^4 \theta$$

# Projekcja perspektywiczna

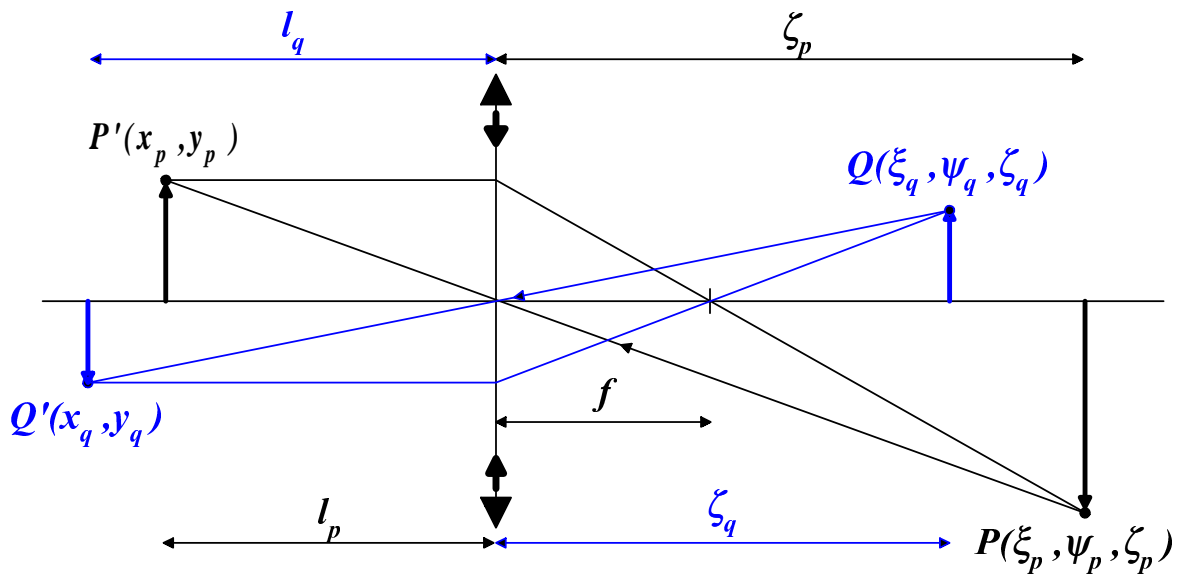


# Projekcja perspektywiczna



$$m = \frac{x_p}{\xi_p} = \frac{y_p}{\psi_p} = \frac{l}{\zeta_p}$$

## Ogniskowanie obiektywu



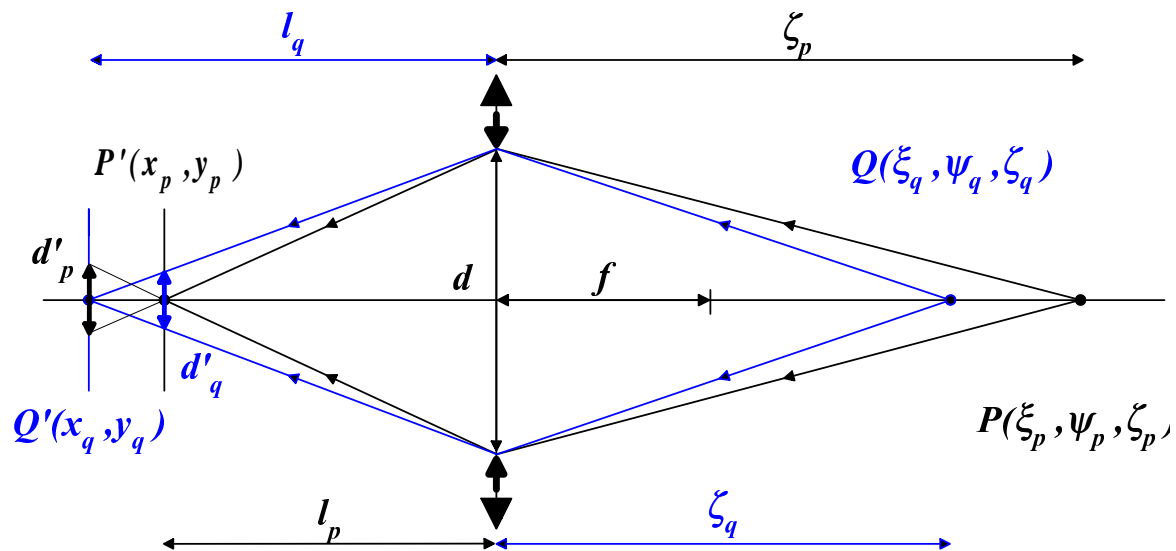
$$\frac{1}{l} + \frac{1}{\zeta} = \frac{1}{f}$$

$$l = \frac{f\zeta}{\zeta - f}$$

$$m = \frac{l}{\zeta} = \frac{f}{\zeta - f}$$



## Głębina ostrości



$$d'_p = d \frac{l_q - l_p}{l_p} = \frac{fd}{\zeta_q - f} \left(1 - \frac{\zeta_q}{\zeta_p}\right)$$

$$d'_q = d \frac{l_q - l_p}{l_q} = \frac{fd}{\zeta_p - f} \left(\frac{\zeta_p}{\zeta_q} - 1\right)$$

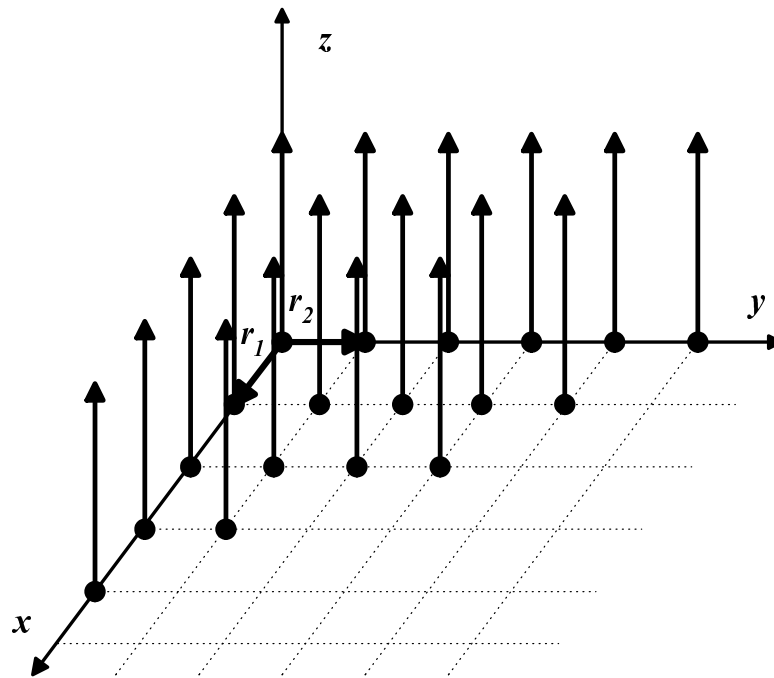
# Dyskretyzacja i kwantyzacja obrazów

$$f : R \times R \rightarrow R$$

$$f : (x, y) \mapsto f(x, y)$$

$$\begin{array}{ccc} f : R \times R \rightarrow R & \xrightarrow{\text{dyskretyzacja}} & f_d : I \times I \rightarrow R \\ \downarrow \text{kwantyzacja} & & \downarrow \text{kwantyzacja} \\ f_k : R \times R \rightarrow I & \xrightarrow{\text{dyskretyzacja}} & g : I \times I \rightarrow I \end{array}$$

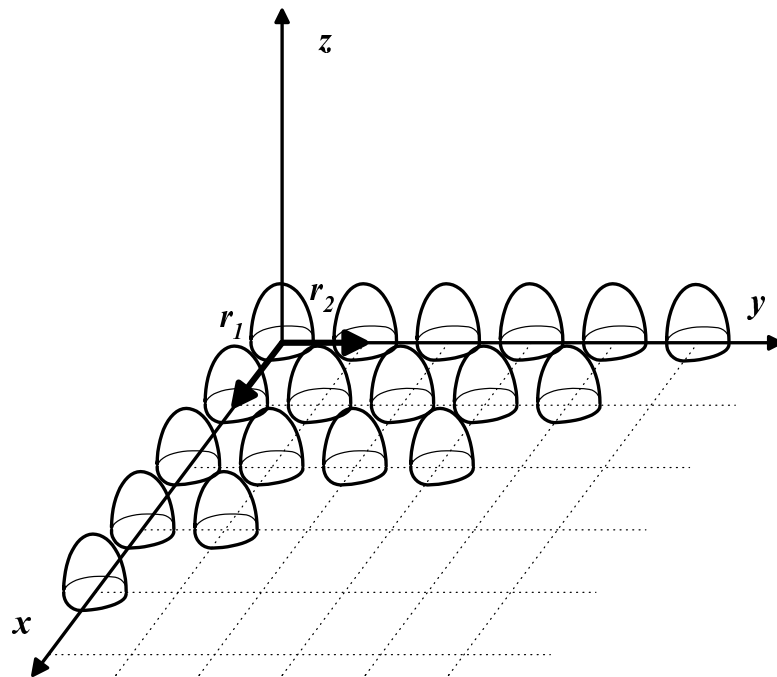
# Idealny przetwornik obrazowy



$$\begin{cases} \delta(v, w) = 0 \Leftrightarrow (v, w) \neq (0, 0) \\ \int_{R \times R} \delta(v, w) dv dw = 1 \end{cases}$$

$$\int_{R \times R} f(x, y) \delta(v - x, w - y) dx dy = f(v, w)$$

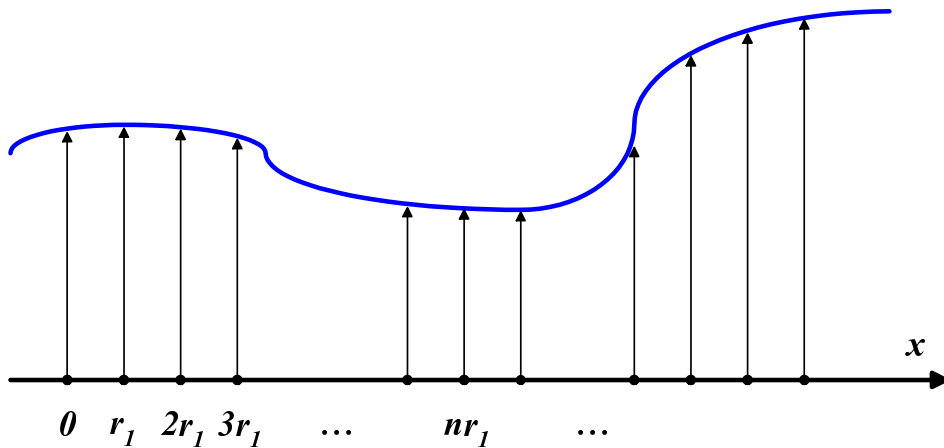
# Rzeczywisty przetwornik obrazowy



$$g(v, w) = \int_{R \times R} f(x, y) \gamma(v - x, w - y) dx dy$$

$$g(v, w) = \int_{R \times R} f(x, y) \gamma_1(v, w, x, y) dx dy$$

# Próbkowanie jednowymiarowej funkcji obrazu



$$f_d(x) = \sum_n f(nr_1)\delta(x - nr_1)$$

$$f_d(x) = f(x) \sum_n \delta(x - nr_1)$$

$$F_d(u) = F(u) * \frac{1}{r_1} \sum_n \delta(u - \frac{n}{r_1})$$

$$F(u) * \delta(u - \frac{n}{r_1}) = F(u - \frac{n}{r_1})$$

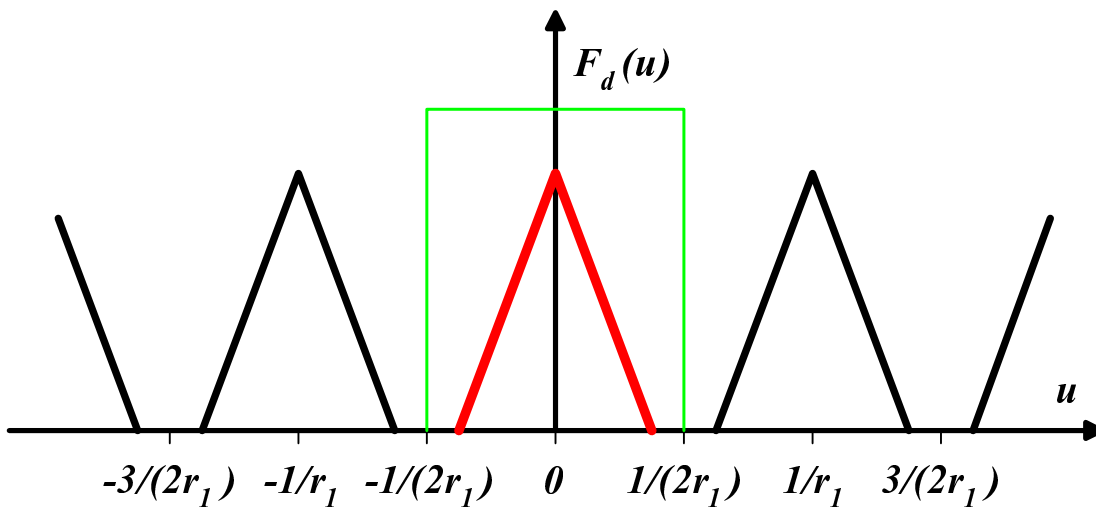
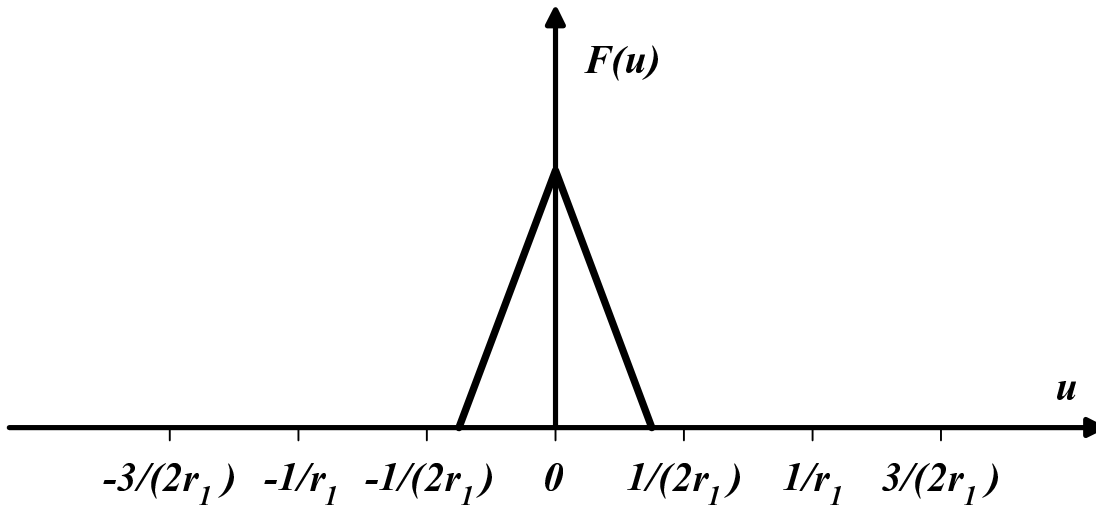
$$F_d(u) = \frac{1}{r_1} \sum_n F(u - \frac{n}{r_1})$$

$$F(u) = 0 \quad dla \quad |u| > \frac{1}{2 r_1}$$

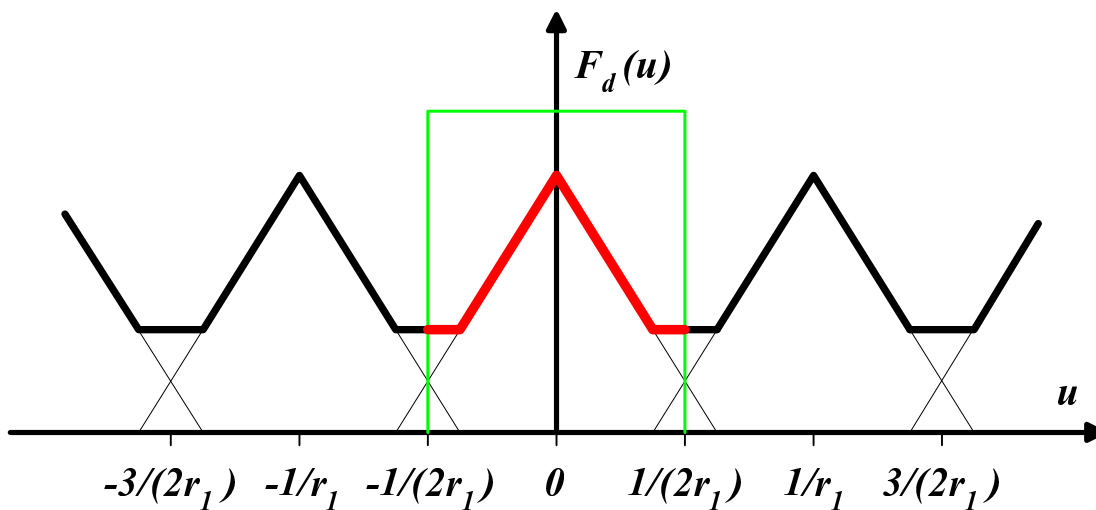
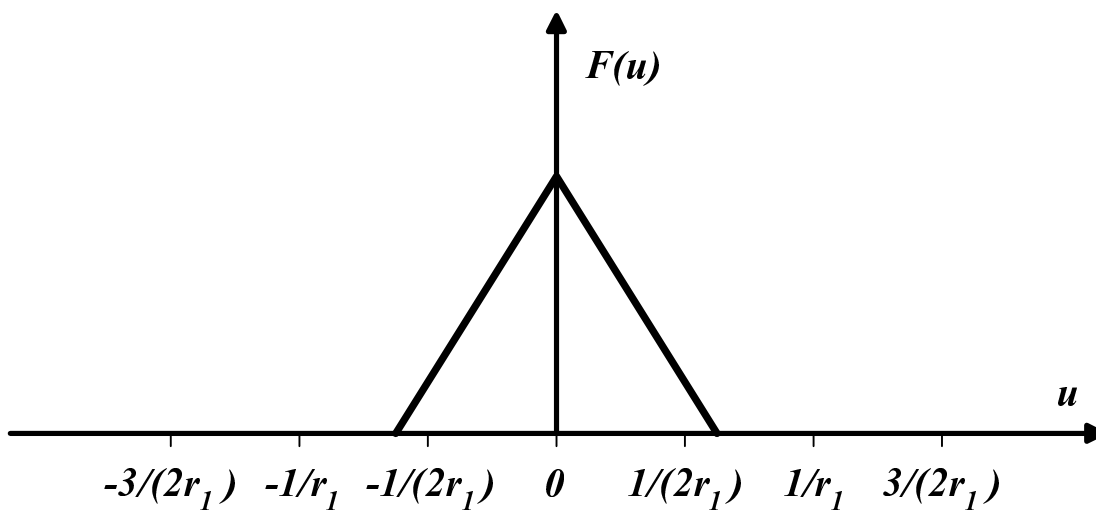
$$G(u) = \begin{cases} 1 & dla \quad |u| < \frac{1}{2 r_1} \\ 0 & dla \quad |u| \geq \frac{1}{2 r_1} \end{cases}$$

$$f(x) = \mathcal{F}^{-1}[F_d(u)G(u)]$$

# Widmo funkcji obrazu o ograniczonym paśmie



## Widmo funkcji obrazu o niedostatecznie ograniczonym paśmie





## Twierdzenie o próbkowaniu (Shannon)

Funkcja  $f(r)$ , której transformata Fouriera znika poza ograniczonym obszarem częstotliwości przestrzennych może być w całości odtworzona ze swoich wartości na siatce punktów:

$$\{(mr_1 + nr_2) \mid m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$$

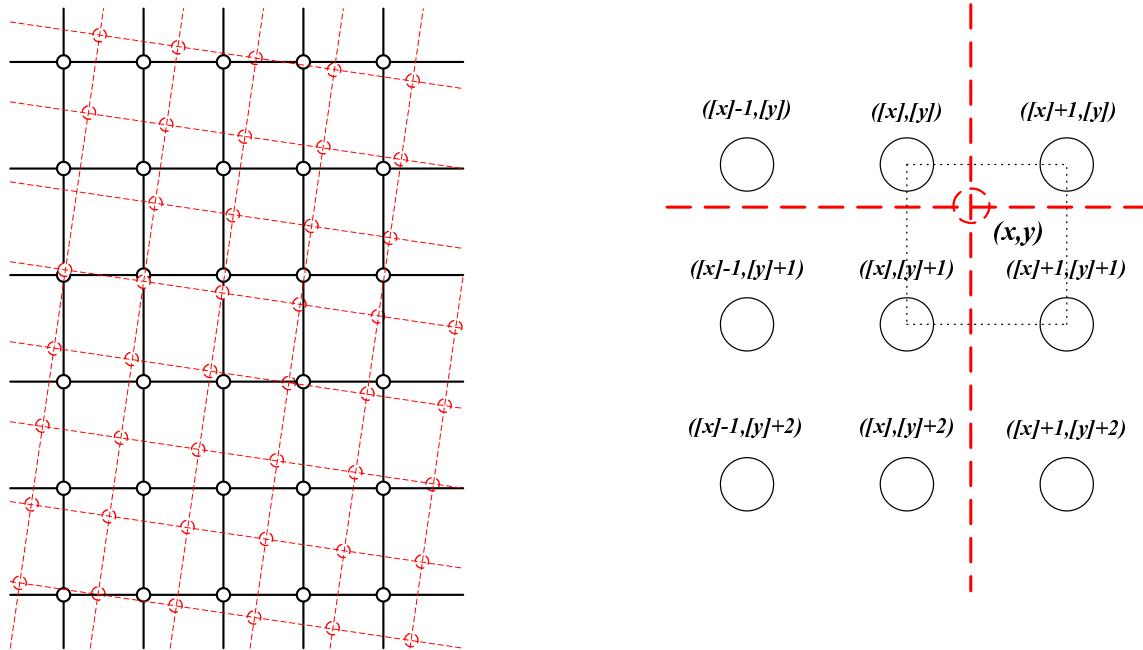
pod warunkiem, że wektory wyznaczające siatkę próbkowania  $(r_1, r_2)$  są dostatecznie małe by zapewnić rozłączność obrazów widma  $F(w)$  na siatce punktów:

$$\{(pw_1 + qw_2) \mid p, q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$$

odpowiadających siatce próbkowania w dziedzinie częstotliwości przestrzennych:

$$(r_i, w_j) = \begin{cases} 0 & \text{dla } i \neq j \\ 1 & \text{dla } i = j \end{cases}$$

## Wtórne próbkowanie (*resampling*)

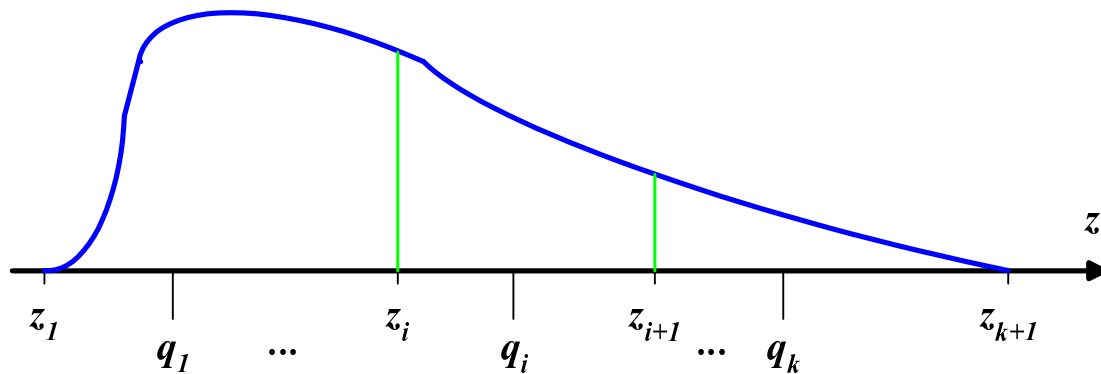


$$\begin{aligned} \bar{f}(x, y) = & x_u(y_u f(x_c + 1, y_c + 1) + \\ & - (1 - y_u) f(x_c + 1, y_c)) + \\ & + (1 - x_u)(y_u f(x_c, y_c + 1) + \\ & - (1 - y_u) f(x_c, y_c)) \end{aligned}$$

$t_c = [t]$  – część całkowita współrzędnej  $t$ ,

$t_u = t - [t]$  – część ułamkowa współrzędnej  $t$ ,

## Optymalna kwantyzacja



$$\varepsilon = \sum_{i=1}^k \int_{z_i}^{z_{i+1}} (z - q_i)^2 p(z) dz$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_i} = (z_i - q_{i-1})^2 p(z_i) - (z_i - q_i)^2 p(z_i)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial q_i} = -2 \int_{z_i}^{z_{i+1}} (z - q_i) p(z) dz$$

$$z_i = \frac{q_{i+1} + q_i}{2}, \quad i = 2..k$$

$$q_i = \frac{\int_{z_i}^{z_{i+1}} zp(z)dz}{\int_{z_i}^{z_{i+1}} p(z)dz}, \quad i = 1..k$$

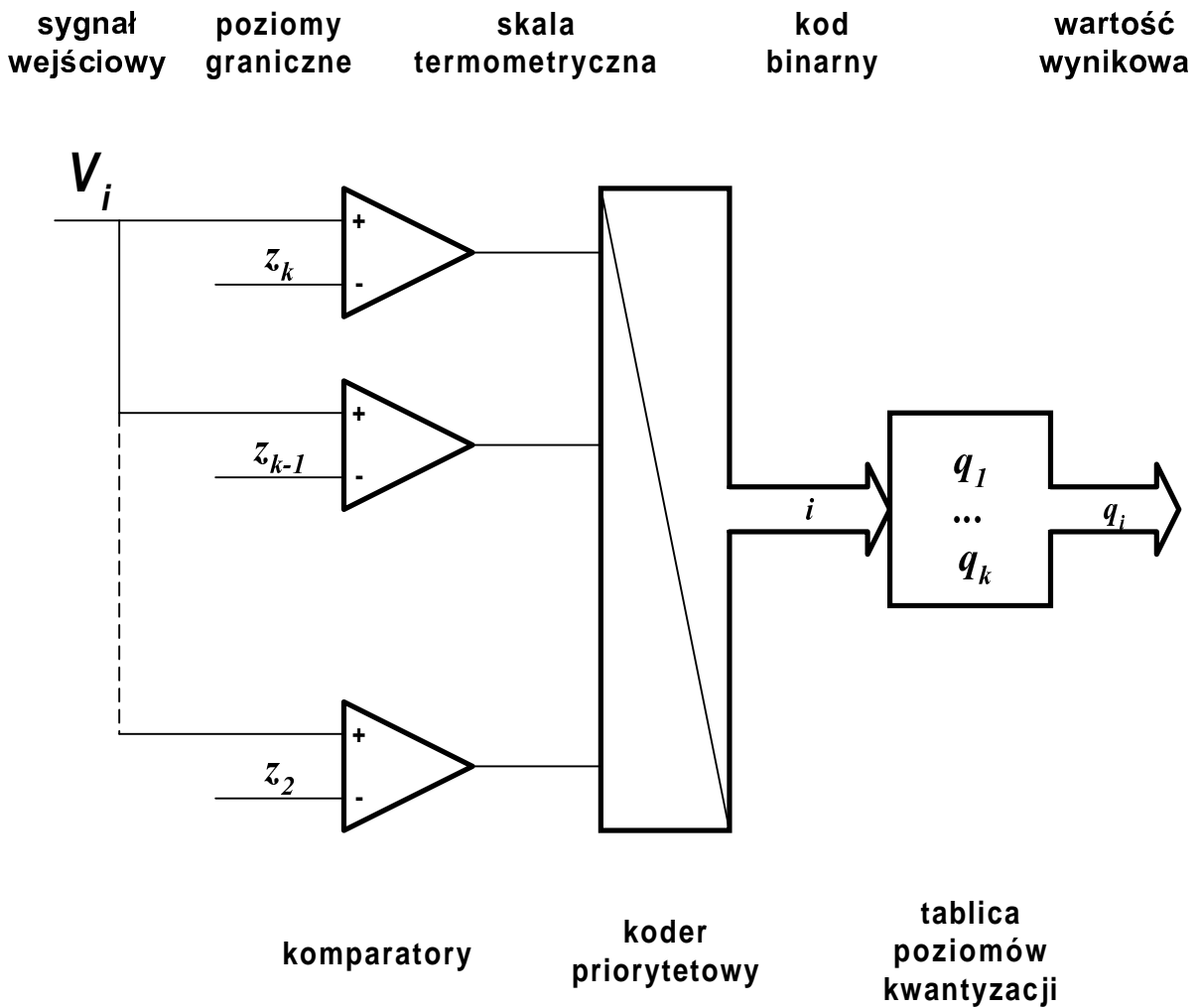
$$z_i = \frac{q_{i-1} + q_i}{2}, \quad i = 2..k$$

$$q_i = \frac{z_i + z_{i+1}}{2}, \quad i = 1..k$$

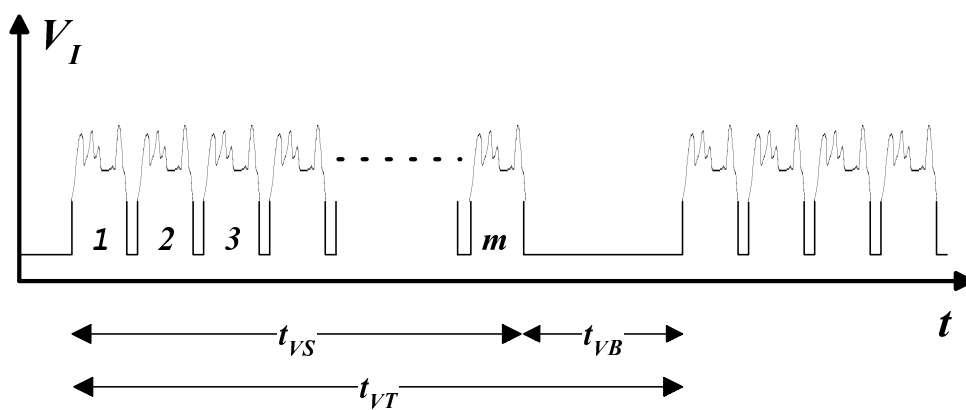
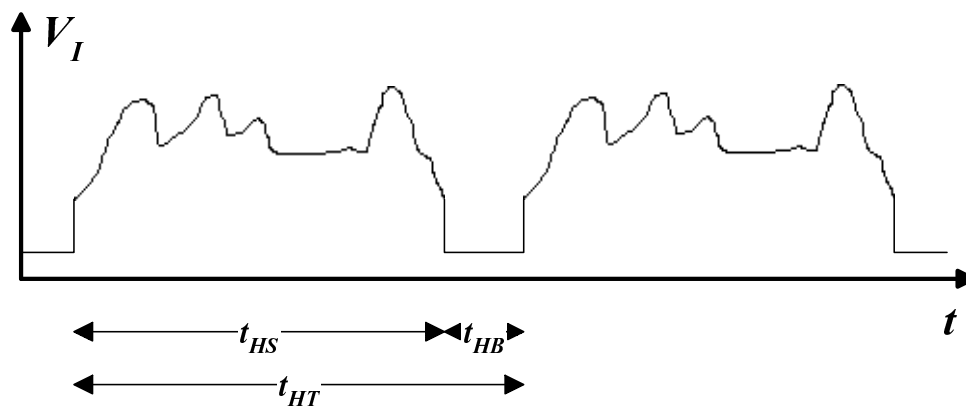
**Kwantyzacja dla  $p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}}$**

Poziom decyzyjny		Wartość wyjściowa	
z1	$-\infty$	q1	-2.733
z2	-2.401	q2	-2.069
z3	-1.844	q3	-1.618
z4	-1.437	q4	-1.256
z5	-1.099	q5	-0.9424
z6	-0.7996	q6	-0.6568
z7	-0.5224	q7	-0.3881
z8	-0.2582	q8	-0.1284
z9	+ 0.0	q9	+0.1284
z10	+0.2582	q10	+0.3881
z11	+0.5224	q11	+0.6568
z12	+0.7994	q12	+0.9424
z13	+1.099	q13	+1.256
z14	+1.437	q14	+1.618
z15	+1.844	q15	+2.069
z16	+2.401	q16	+2.733
z17	$+\infty$		

# Realizacja kwantyzacji w przetworniku analogowo–cyfrowym typu *flash*



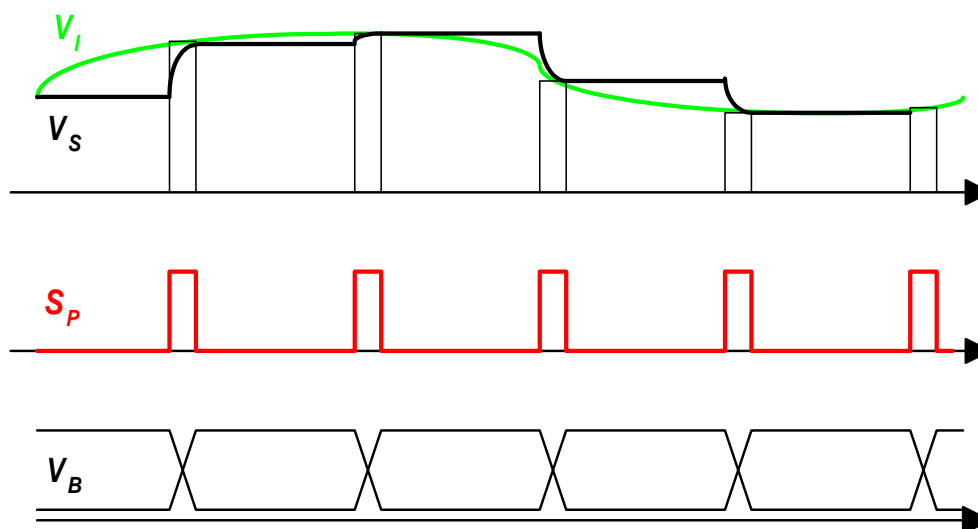
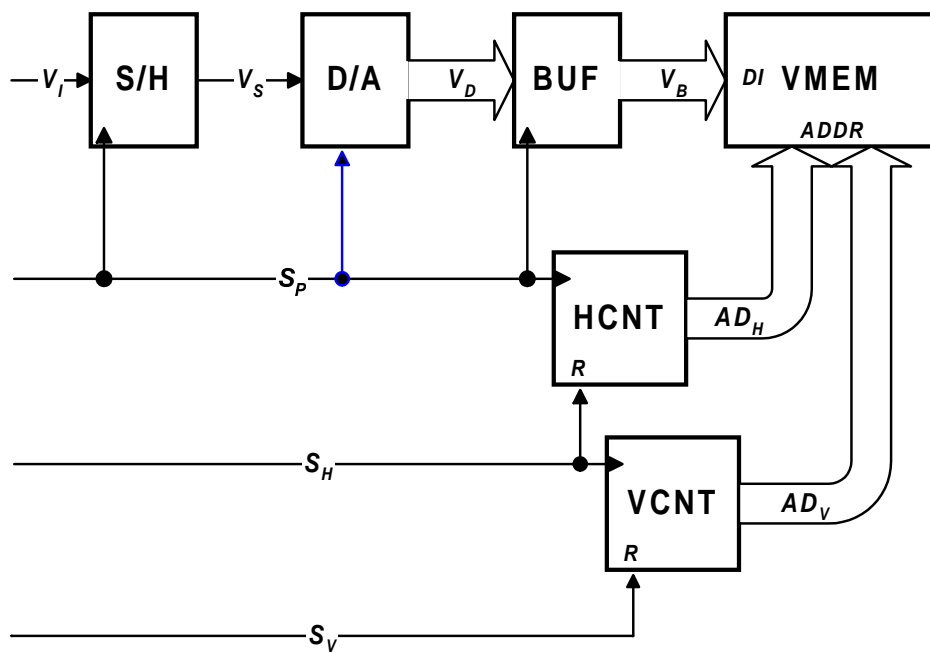
## Sygnał wizyjny z kamery



$$t_{HT} = 64\mu s \quad t_{HS} = 52\mu s$$

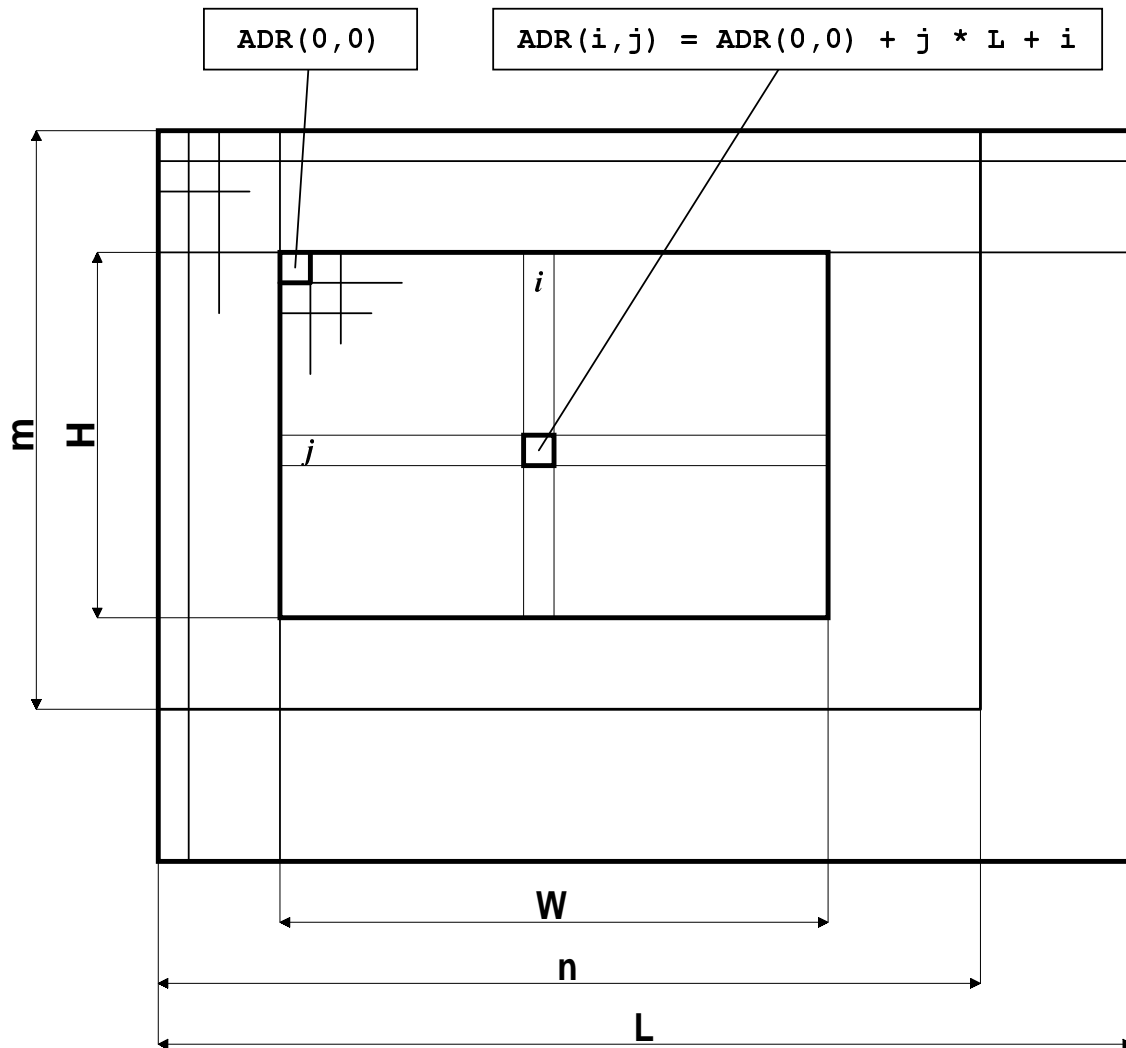
$$t_{VT} = 20ms \quad m = 312.5$$

## Zasada działania *Frame Grabber-a*





# Bufor obrazu



$$n = \frac{t_{HT}}{t_{PS}}$$