

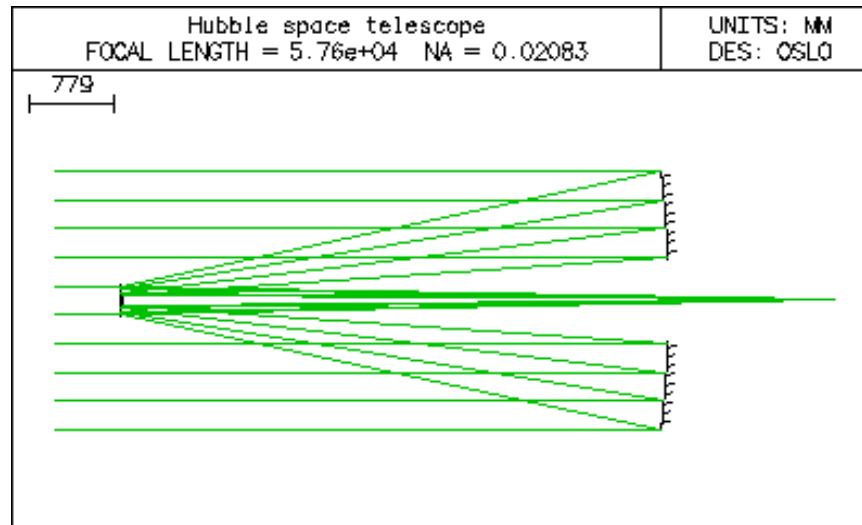
# Zobrazování s apodizací

**Apodizace** = prostorově proměnná změna amplitudy světla ve výstupní pupile.

## Způsoby apodizace:

- Zmenšení amplitudy na okraji výstupní pupily (zavádí se záměrně – umožňuje zmenšení degradace obrazu způsobené optickými vadami).
- Zmenšení amplitudy ve středu výstupní pupily (vynucené konstrukcí – vede ke zvýšení vedlejších maxim v difrakčním obrazci).

## Příklad apodizace vynucené konstrukcí (centrální clonění u teleskopu)



# Výpočet účinku apodizace

## I. Gaussovská apodizace

$$P(R_p) = P_0 \exp\left[-(quR_p)^2\right]$$

q ... koeficient,  
u ... obrazová apertura

Difrakční integrál:

$$a(R') = K \int_0^1 \exp\left[-(quR_p)^2\right] J_0(2\pi R' R_p) R_p dR_p$$

$R_p, (R')$  ... válcová souřadnice v pupile (obrazové rovině)

Řešení (per partes):

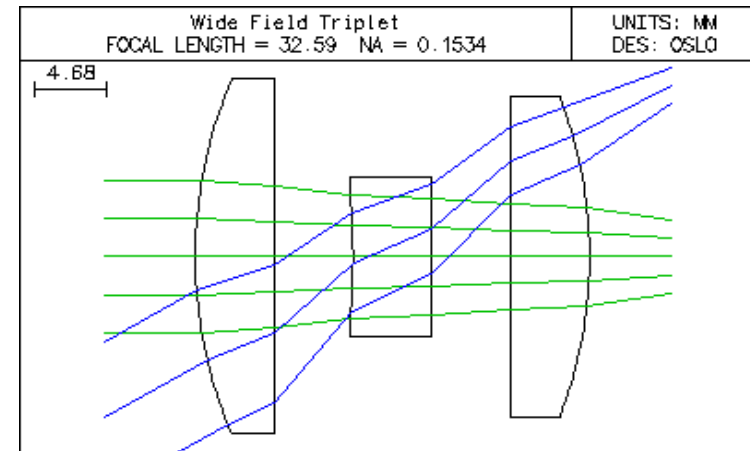
$$a(R') = K \left\{ \exp\left[-(qu)^2\right] \sum_{m=1}^{\infty} (qu)^{2(m-1)} \frac{2^{(m-1)} J_m(2\pi R')}{(2\pi R')^m} \right\}$$

# Analýza apodizace v programu OSLO

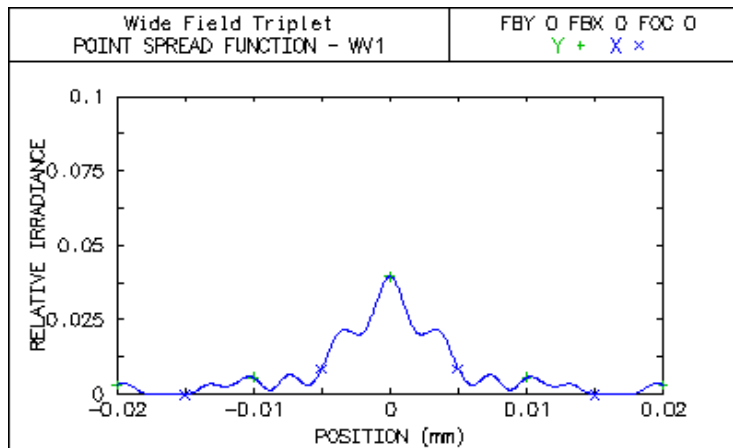
## Triplet – Gaussovská apodizace

### Účinek gaussovské apodizace:

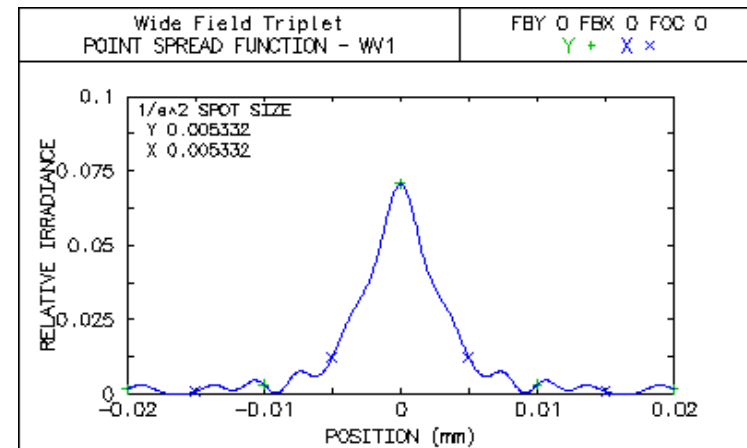
- Rozšíření difrakčního obrazce ☹️
- Potlačení vedlejších oscilací ☺️  
(zmenšení vlivu optických vad)



Bez apodizace



Gaussovská apodizace



# Výpočet účinku apodizace

## II. Centrální clonění

Pupilová funkce:

$$P(R_p) = \begin{cases} 0 & \text{pro } 0 < R_p < m \\ 1 & \text{pro } m \leq R_p \leq 1 \\ 0 & \text{pro } 1 \leq R_p < \infty \end{cases}$$

Difrakční integrál:

$$a(R') = K \int_m^1 J_0(2\pi R' R_p) R_p dR_p$$

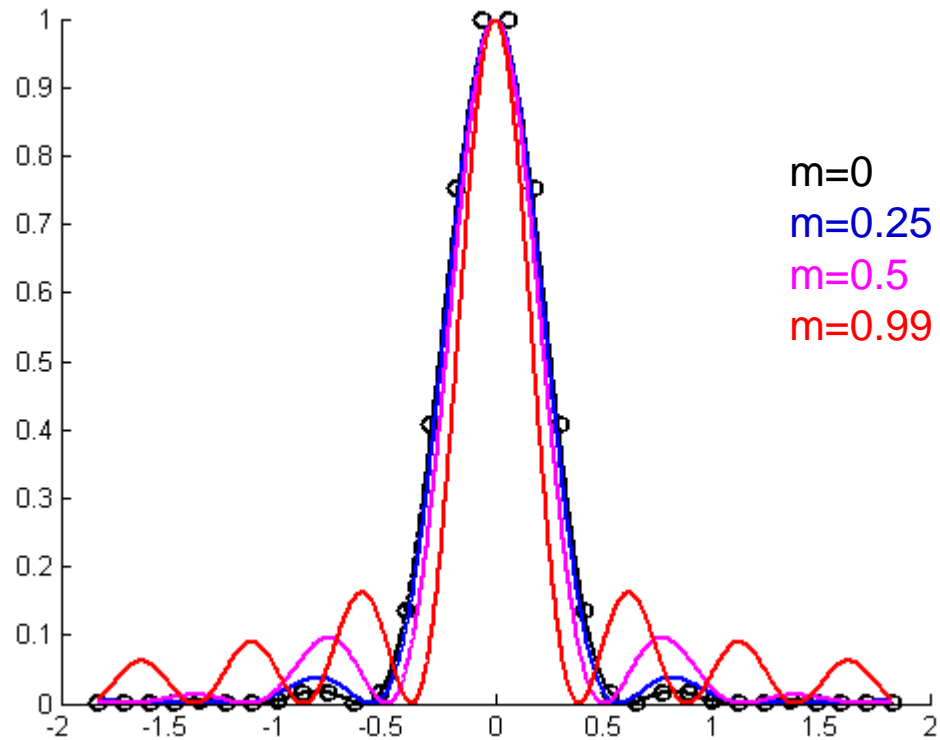
Řešení:

$$a(R') = K \left[ \frac{J_1(2\pi R')}{2\pi R'} - \frac{m^2 J_1(2\pi R' m)}{2\pi R' m} \right]$$

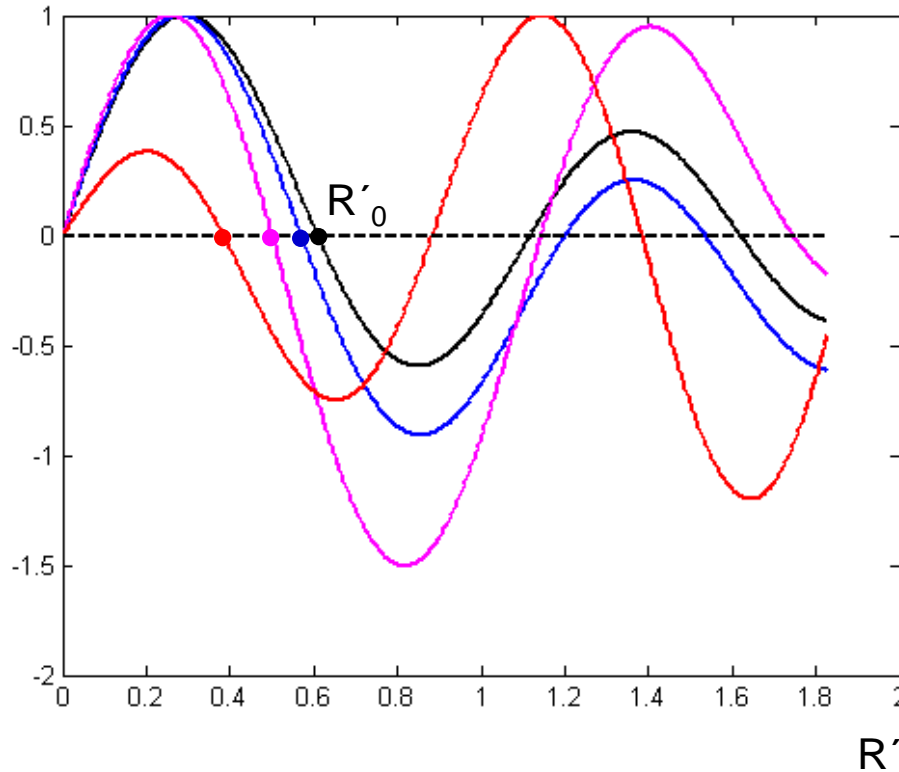
Normovaná intenzita:

$$I_N(R') = \frac{1}{1-m^2} \left[ \frac{2J_1(2\pi R')}{2\pi R'} - \frac{2m^2 J_1(2\pi R' m)}{2\pi R' m} \right]$$

# Demonstrace centrálního clonění



# Poloměr difrakčního obrazce u centrálního clonění



- $m=0$        $R'_m=0.61$
- $m=0.25$      $R'_m=0.56$
- $m=0.5$       $R'_m=0.5$
- $m=0.99$      $R'_m=0.38$

Poloměr centrálního disku

$$r'_0 = R'_m \frac{\lambda}{NA'}$$

Nulové body difrakčního obrazu

$$J_1(2\pi R') - mJ_1(2\pi m R') = 0$$

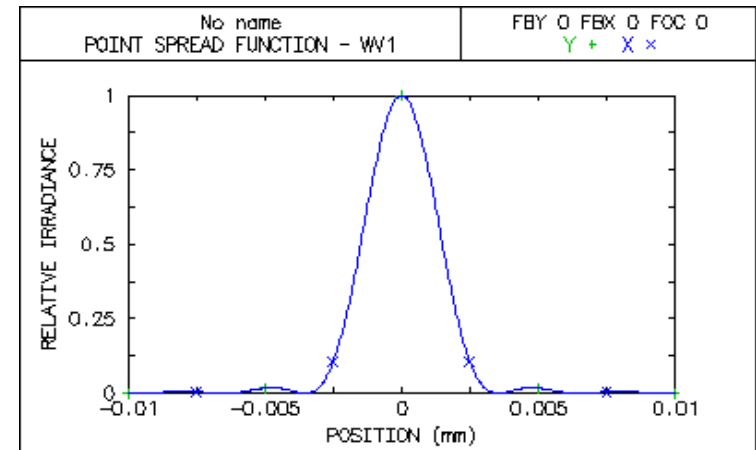
# Analýza apodizace v programu OSLO

## „Perfect Lens“ – centrální clonění

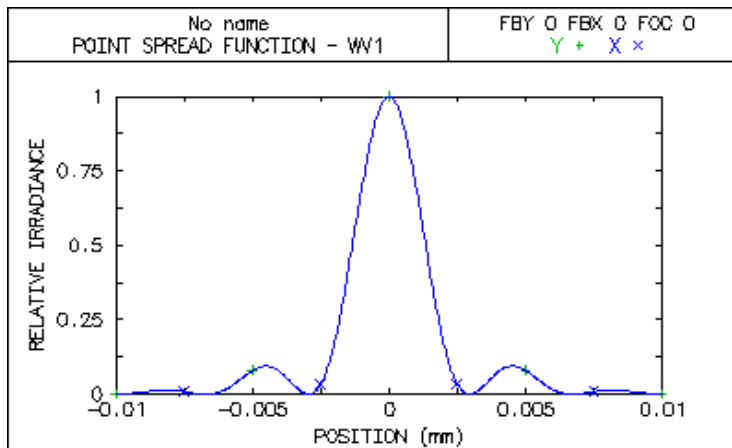
### Účinek centrálního clonění:

- Zúžení centrálního disku 😊
- Zvýšení intenzity ve vedlejších maximech 😞

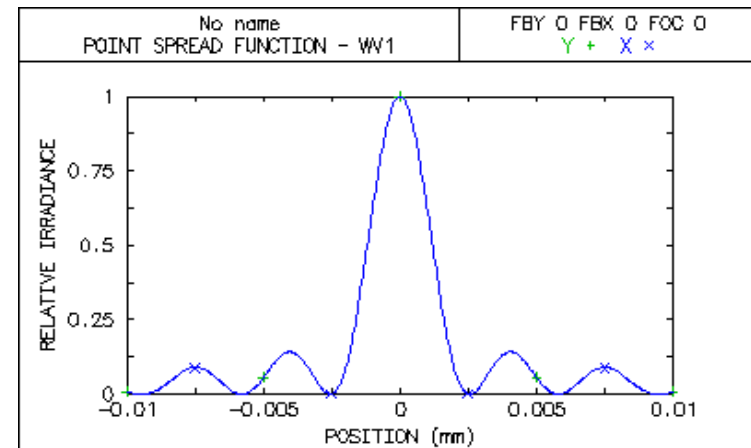
Bez clonění:  $m=0$  (Airyho disk)



Clonění:  $m=0.5$



Clonění:  $m=0.75$



## Fokusace difrakтивní čočkou

### Funkce propustnosti čočky

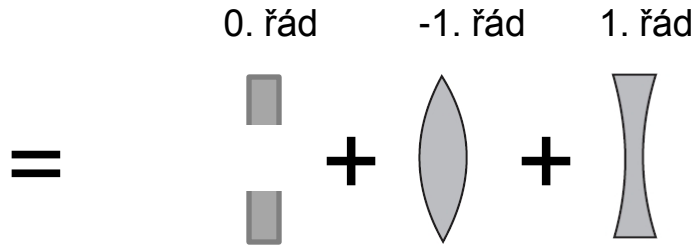
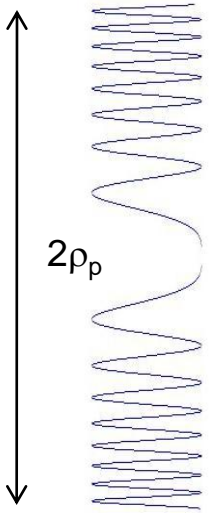
$$t(x_p, y_p) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[ \alpha (x_p^2 + y_p^2) \right] \right\}$$

### Pupilová funkce čočky

$$P(x_p, y_p) = \begin{cases} 1 & \text{pro } x_p^2 + y_p^2 \leq \rho_p^2 \\ 0 & \text{pro } x_p^2 + y_p^2 > \rho_p^2 \end{cases}$$

### Komplexní amplituda světla za difrakтивní čočkou

$$a = a_0 + a_{-1} + a_1$$



$$a_0 \propto \int \int_{-\infty}^{+\infty} P(X_p, Y_p) t(X_p, Y_p) \exp \left[ -i \frac{k \rho_p^2 (X_p^2 + Y_p^2)}{2z'} \right] \exp [i 2\pi (X_p X' + Y_p Y')] dX_p dY_p$$

$$a_{\pm 1} \propto \frac{1}{4} \int \int_{-\infty}^{+\infty} P(X_p, Y_p) \exp \left[ -i \frac{k \rho_p^2}{2} \left( \frac{1}{z'} \pm \frac{2\alpha}{k} \right) (X_p^2 + Y_p^2) \right] \exp [i 2\pi (X_p X' + Y_p Y')] dX_p dY_p$$

$$X_p = x_p / \rho_p, \quad Y_p = y_p / \rho_p$$

$$X' = x' \rho_p / (\lambda z'), \quad Y' = y' \rho_p / (\lambda z')$$

### Ohnisková vzdálenost difrakтивní čočky

$$f'_{-1} = \frac{\pi}{\lambda \alpha}, \quad f'_{+1} = -\frac{\pi}{\lambda \alpha}$$