

# Utrujanje – delni faktorji $\gamma_{Mf}$

Metoda, ki dopušča razvoj poškodb:

**počasna rast razpoke** (konstrukcijski detajli, material, nivo napetosti)

**možnost prerazporeditve obtežbe**

**omogočen dostop za kontrolo in popravila**

Metoda, ki izključuje nastanek večjih poškodb:

konstrukcijski detajli in nivoji napetosti, ki zagotavljajo polno življenjsko dobo konstrukcije – nivo zanesljivosti enak, kot pri mejnem stanju nosilnosti

Metoda za oceno	Razred posledic	
	Majhne posledice	Velike posledice
metoda, ki dopušča razvoj poškodb	1,00	1,15
Metoda, ki izključuje nastanek večjih poškodb	1,15	1,35

Delni faktorji za trdnost utrujanja  $\gamma_{Mf}$

## Utrujanje – račun razlik napetosti $\Delta\sigma$ in $\Delta\tau$

- Nominalna razlika napetosti (standardni detajli)
- Modificirana nominalna razlika napetosti (standardni detajli s koncentracijami napetosti zaradi geometrije detajla, ki niso upoštevane v S-N krivuljah):  $k_f\Delta\sigma$ ,  $k_f\Delta\tau$
- Geometrijska razlika napetosti (velik gradient napetosti ob zunanjem robu zvara – za detajle v preglednici B.1)

# Utrujanje – račun razlik napetosti $\Delta\sigma$ in $\Delta\tau$

Koeficient koncentracije  $k_f = k_1$  za vozlišča paličnih nosilcev iz votlih profilov

Vrsta vozlišča		Pasovi	Vertikale	Diagonale
Vozlišče z režo	K vozlišče	1,5	1,0	1,3
	N / KT vozlišče	1,5	1,8	1,4
Vozlišče s preklopom	K vozlišče	1,5	1,0	1,2
	N / KT vozlišče	1,5	1,65	1,25

Okrogli votli profili

Vrsta vozlišča		Pasovi	Vertikale	Diagonale
Vozlišče z režo	K vozlišče	1,5	1,0	1,5
	N / KT vozlišče	1,5	2,2	1,6
Vozlišče s preklopom	K vozlišče	1,5	1,0	1,3
	N / KT vozlišče	1,5	2,0	1,4

Pravokotni votli profili

## Utrujanje – račun razlik napetosti $\Delta\sigma$ in $\Delta\tau$

- $\gamma_{Ff} = 1,0$
- $\Delta\sigma$  in  $\Delta\tau$  izračunana na osnovi pogoste obtežne kombinacije -  $\psi_1 Q$
- napetosti v osnovnem materialu ob kritičnih detajlih
- napetosti v zvarih samo, če so z  $\Delta\sigma$  in  $\Delta\tau$  neposredno obremenjeni
- v nekaterih primerih potreben izračun glavnih napetosti (kombinacija  $\Delta\sigma$  in  $\Delta\tau$  )

## Utrujanje – račun razlik napetosti $\Delta\sigma$ in $\Delta\tau$

$$\Delta\sigma \leq 1,5 f_y \quad \Delta\tau \leq 1,5 f_y / \sqrt{3}$$

Pri detajlih brez zvarov in pri detajlih, ki so jim bile z žarjenjem odpravljene zaostale napetosti se lahko uporabi reducirana razlika napetosti:

$$\Delta\sigma = \left| \Delta\sigma_{nat} \right| + 0,60 \left| \Delta\sigma_{tlak} \right|$$

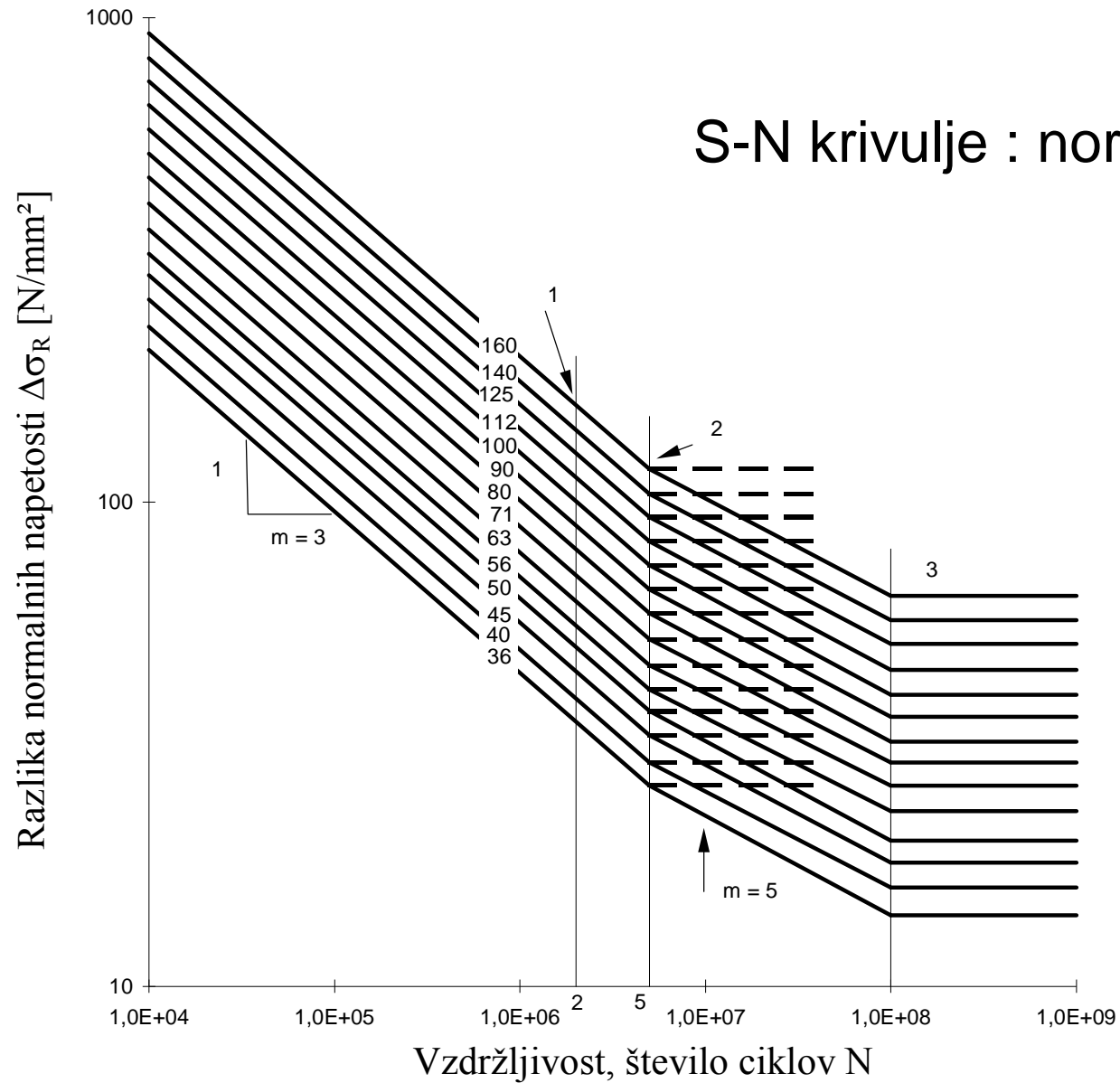
# Kontrola odpornosti na utrujanje

- Konstantna razlika napetosti

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma}{\Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \qquad \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau}{\Delta \tau_R / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

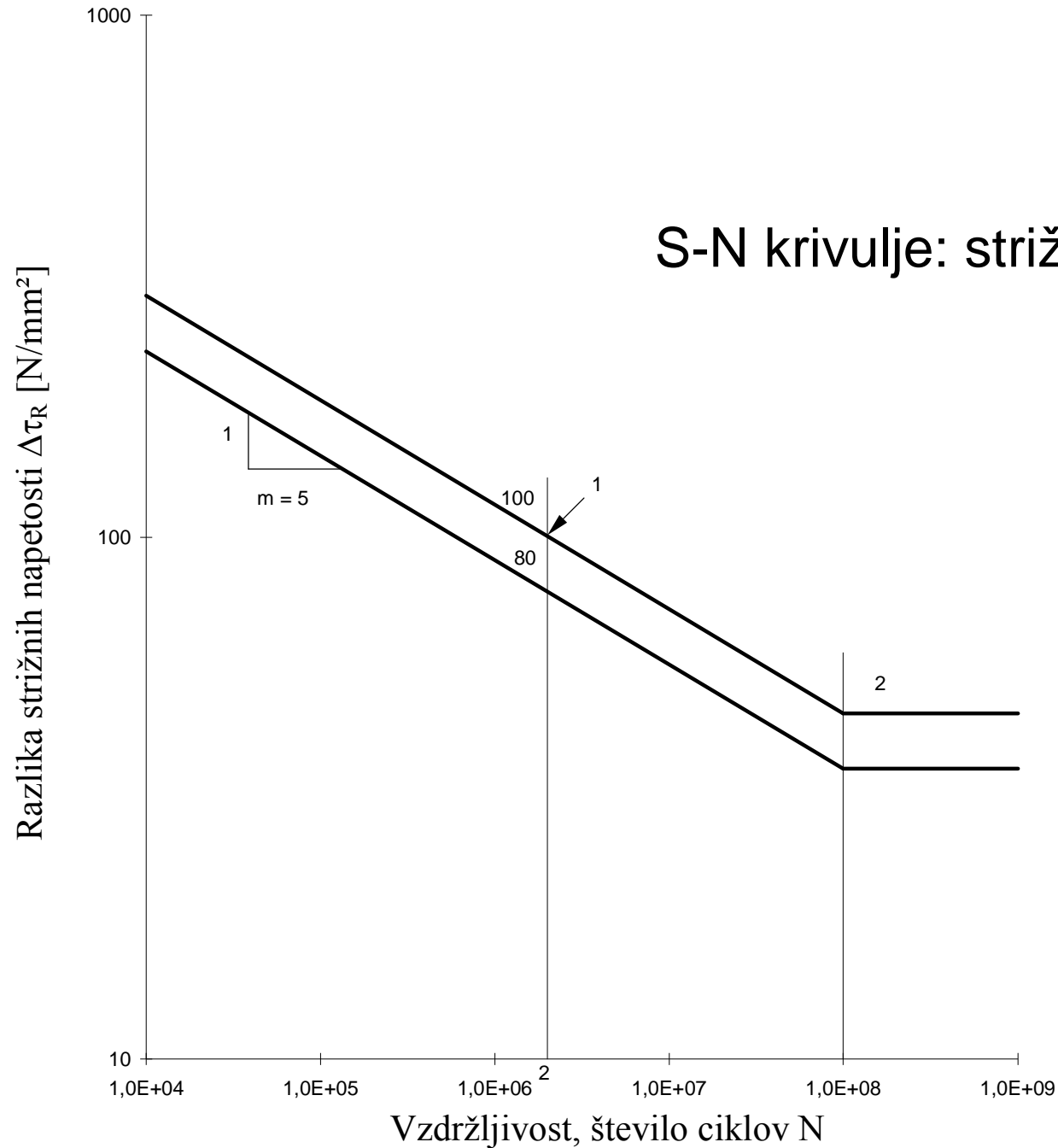
$$\left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma}{\Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau}{\Delta \tau_R / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1,0$$

# S-N krivulje : normalne napetosti



- 1 Kategorija detajla  $\Delta\sigma_C$
- 2 Trajna trdnost utrujanja pri konstantni amplitudi  $\Delta\sigma_D$
- 3 Spodnja meja razlike napetosti  $\Delta\sigma_L$

## S-N krivulje: strižne napetosti



- 1 Kategorija detajla  $\Delta\tau_C$
- 2 Spodnja meja razlike napetosti  $\Delta\tau_L$



# Kontrola odpornosti na utrujanje

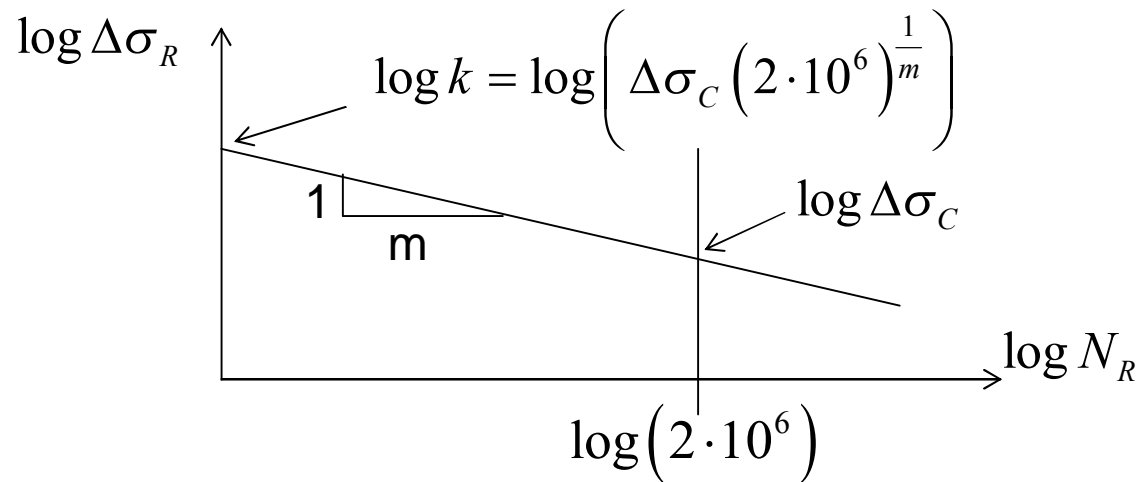
- Spremenljive razlike napetosti: Minerjevo pravilo linearne akumulacije poškodb

$$D_{d\sigma} + D_{d\tau} \leq 1,0$$

$$D_{d\sigma} = \sum \frac{n_{\sigma i}}{N_{R\sigma i}} \quad D_{d\tau} = \sum \frac{n_{\tau i}}{N_{R\tau i}}$$

# Kontrola odpornosti na utrujanje

- Račun največjega dopustnega števila ciklov  $N_R$



$$\log \Delta\sigma_R = -\frac{1}{m} \log N_R + \log k$$

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \cdot 10^6$$

# Račun največjega dopustnega št. ciklov $N_R$

- Normalne razlike napetosti

$$\text{pri } N \leq 5 \cdot 10^6 \quad N_{Ri} = 2 \cdot 10^6 \left[ \frac{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i} \right]^3$$

$$\text{pri } 5 \cdot 10^6 < N \leq 10^8 \quad N_{Ri} = 1,086 \cdot 10^6 \left[ \frac{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i} \right]^5$$

$$\text{pri } N > 10^8 \quad \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i \leq \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf} = 0,405 \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$$

lahko vpliv  $\Delta\sigma_i$  zanemarimo

# Račun največjega dopustnega št. ciklov $N_R$

- Strižne razlike napetosti

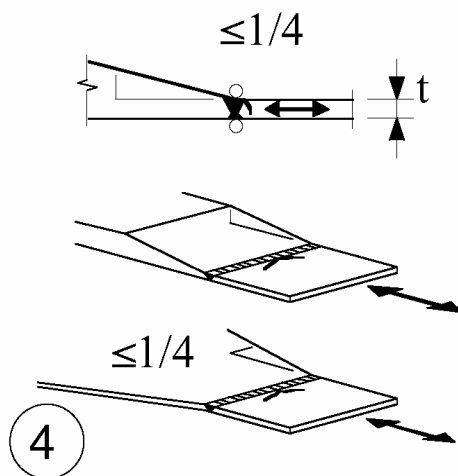
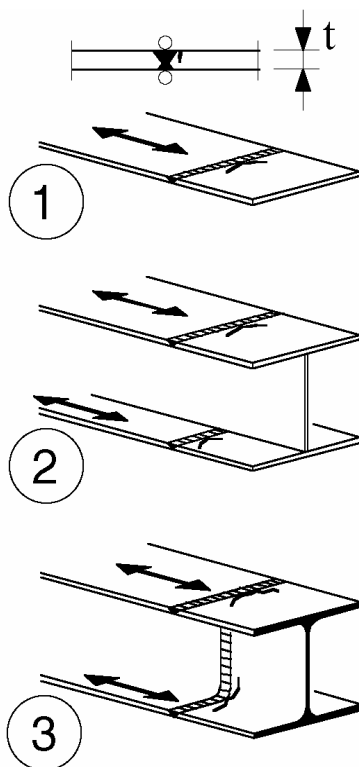
$$\text{pri } N \leq 10^8 \quad N_{Ri} = 2 \cdot 10^6 \left[ \frac{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\tau_i} \right]^5$$

$$\text{pri } N > 10^8 \quad \gamma_{Ff} \Delta\tau_i \leq \Delta\tau_L / \gamma_{Mf} = 0,457 \Delta\tau_C / \gamma_{Mf}$$

lahko vpliv  $\Delta\tau_i$  zanemarimo

# Kontrola odpornosti na utrujanje

- Vpliv debeline pločevin na trdnost utrujanja



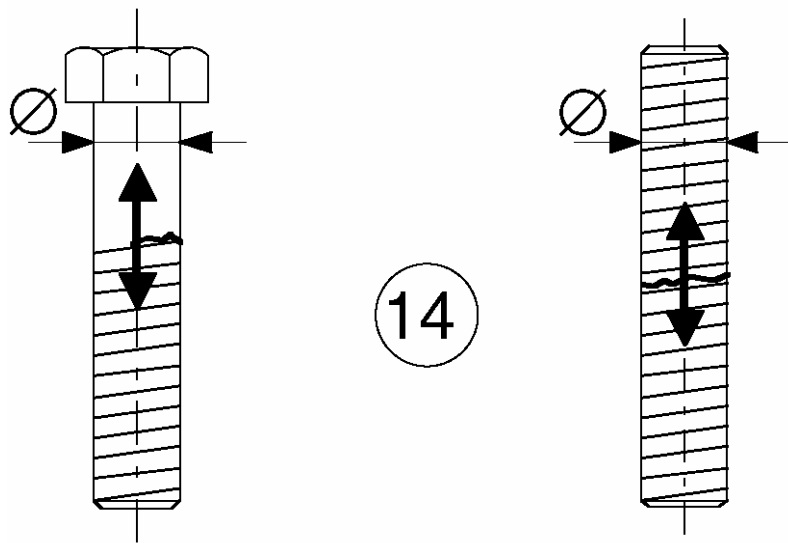
$$\Delta\sigma_{C,Red} = k_s \Delta\sigma_C$$

$$k_s = \left( \frac{25}{t(mm)} \right)^{0,2}$$

pri  $t > 25 \text{ mm}$

# Kontrola odpornosti na utrujanje

- Vpliv premera vijaka na trdnost utrujanja



$$\Delta\sigma_{C,Red} = k_s \Delta\sigma_C$$

$$k_s = \left( \frac{30}{\phi(mm)} \right)^{0,25}$$

pri  $\phi > 30$  mm