

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

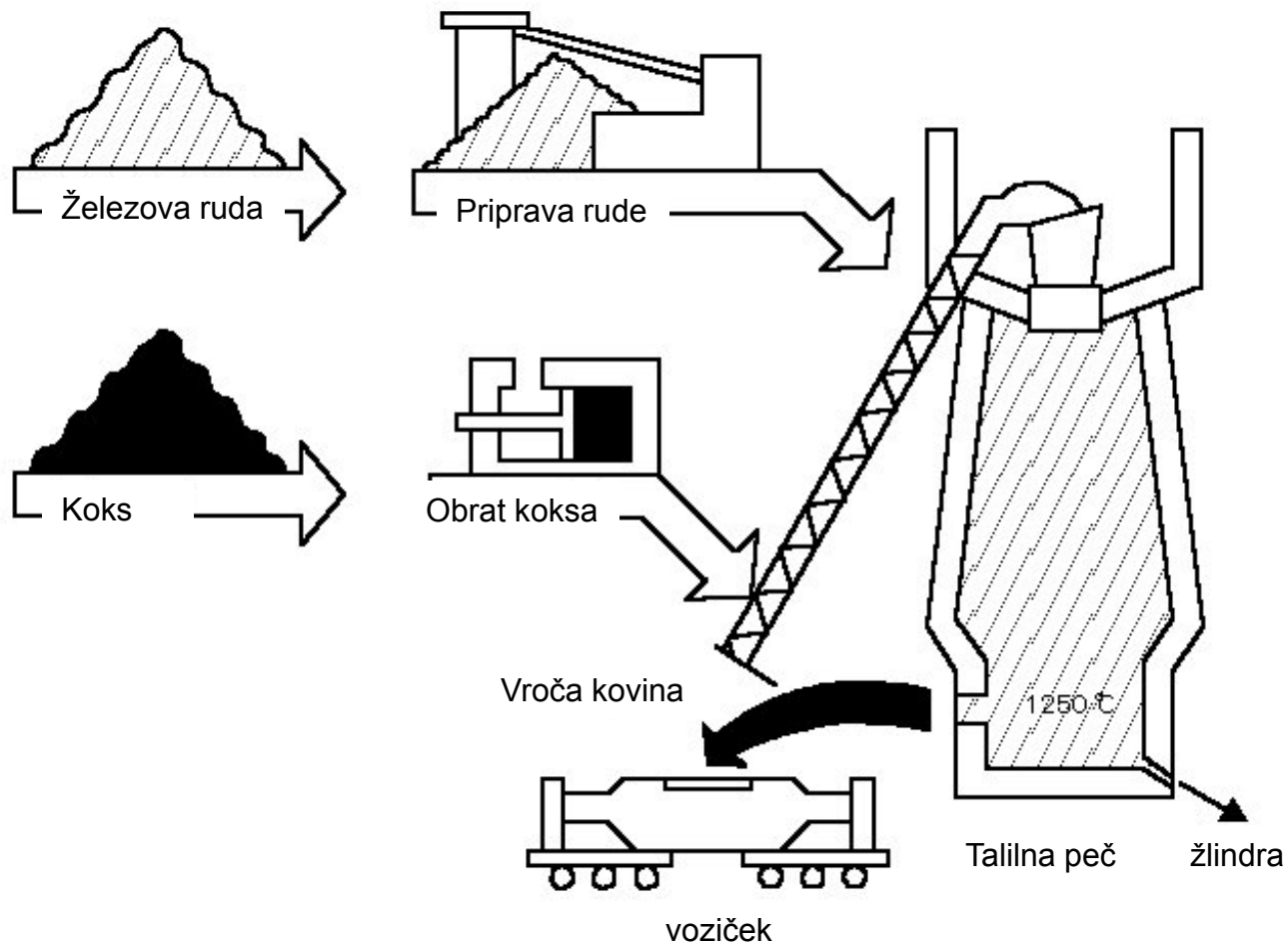


Katedra za metalne konstrukcije

JEKLENE KONSTRUKCIJE I

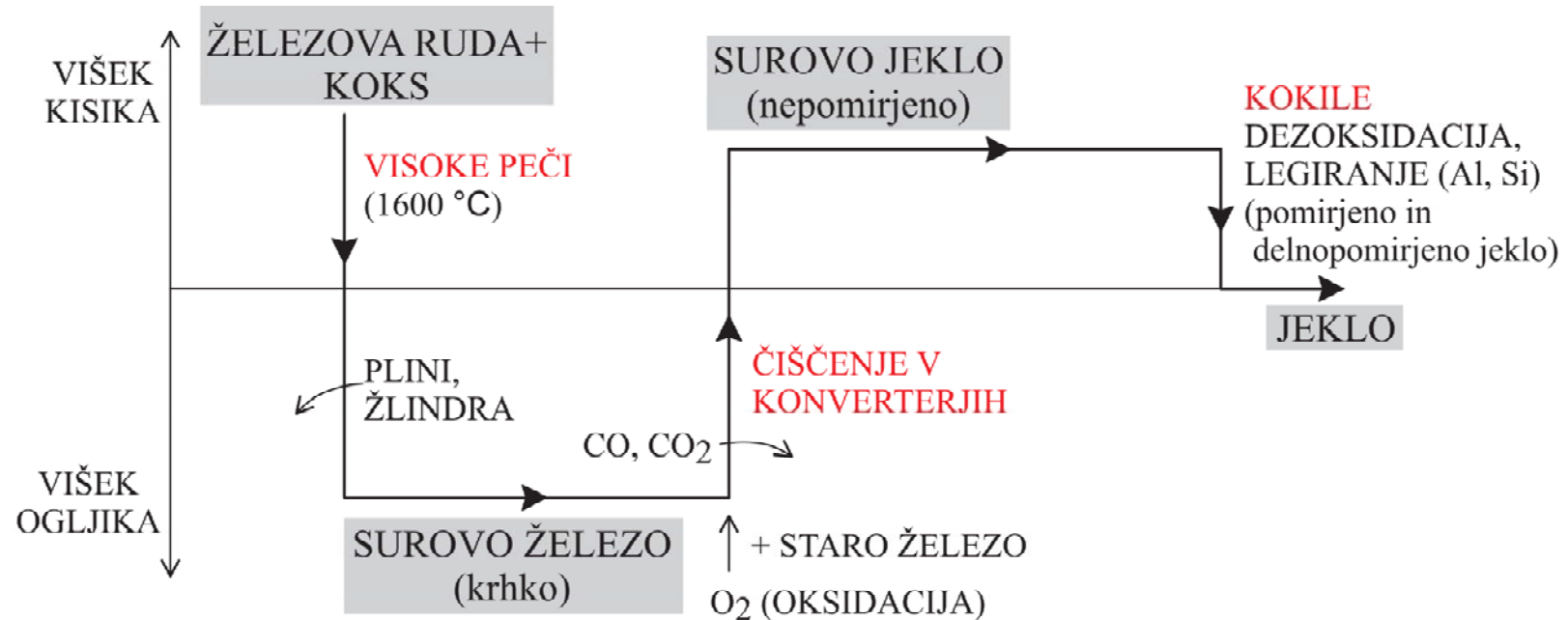
2.0 MATERIAL

prof. dr. Darko Beg
Sodelavci: Blaž Čermelj



Taljenje železove rude in koksa v visoki peči

Proizvodnja jekla v visokih pečeh

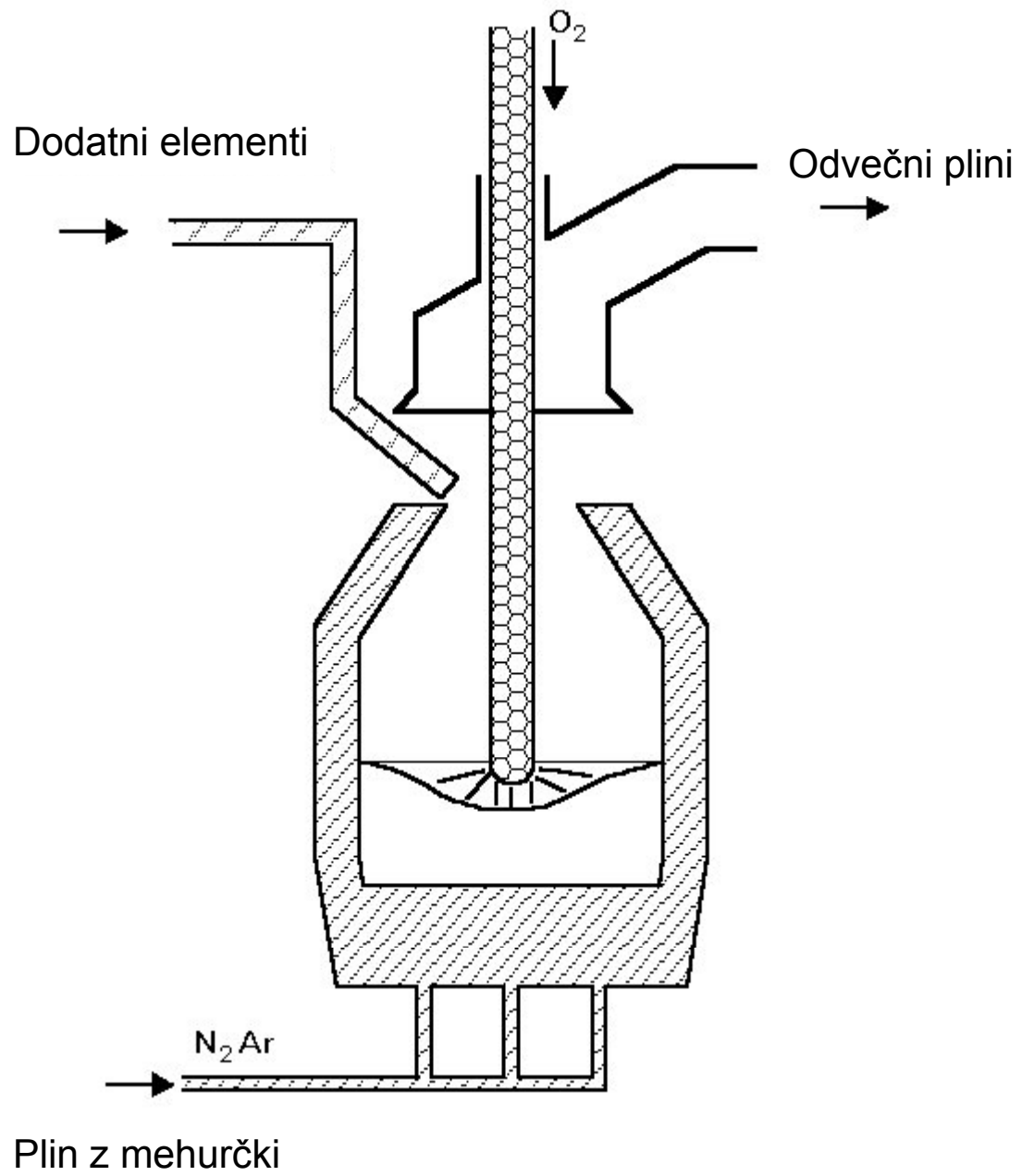


SUROVO JEKLO (nepomirjeno – O₂) ni primerno za konstrukcijska jekla. Zato ga je potrebno pomiriti → DEZOKSIDACIJA.

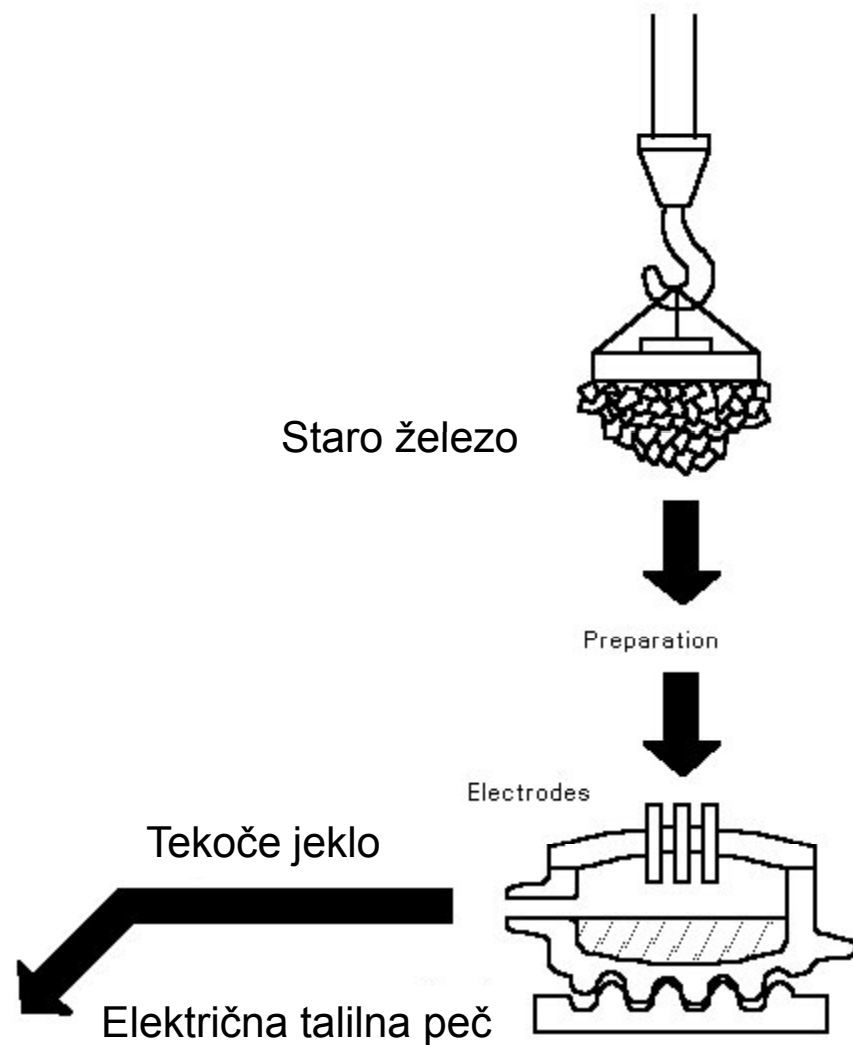
Dezoksidacijo pospešujemo z dodatkom Al in Si.



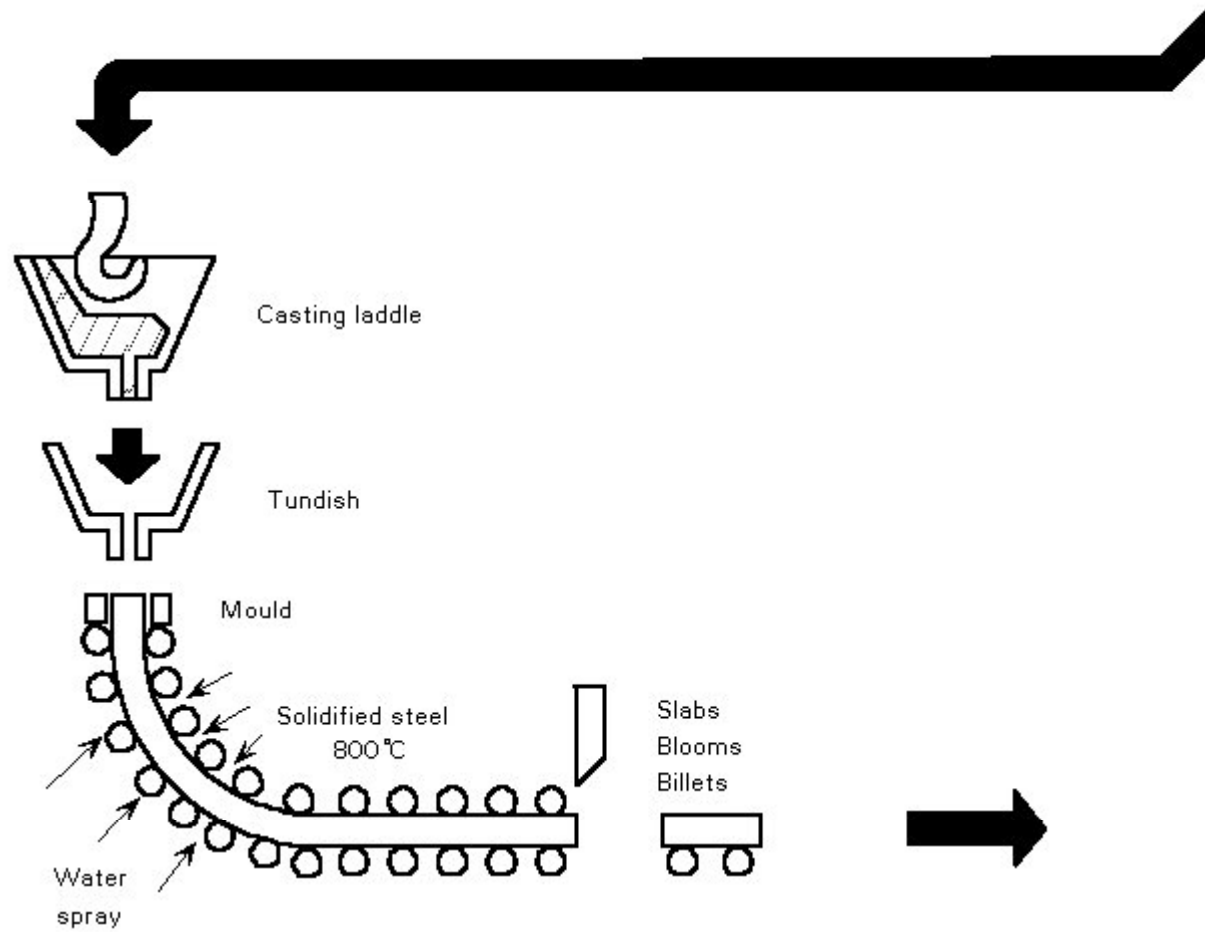
**SPECIALNO POMIRJENA,
POMIRJENA JEKLA**



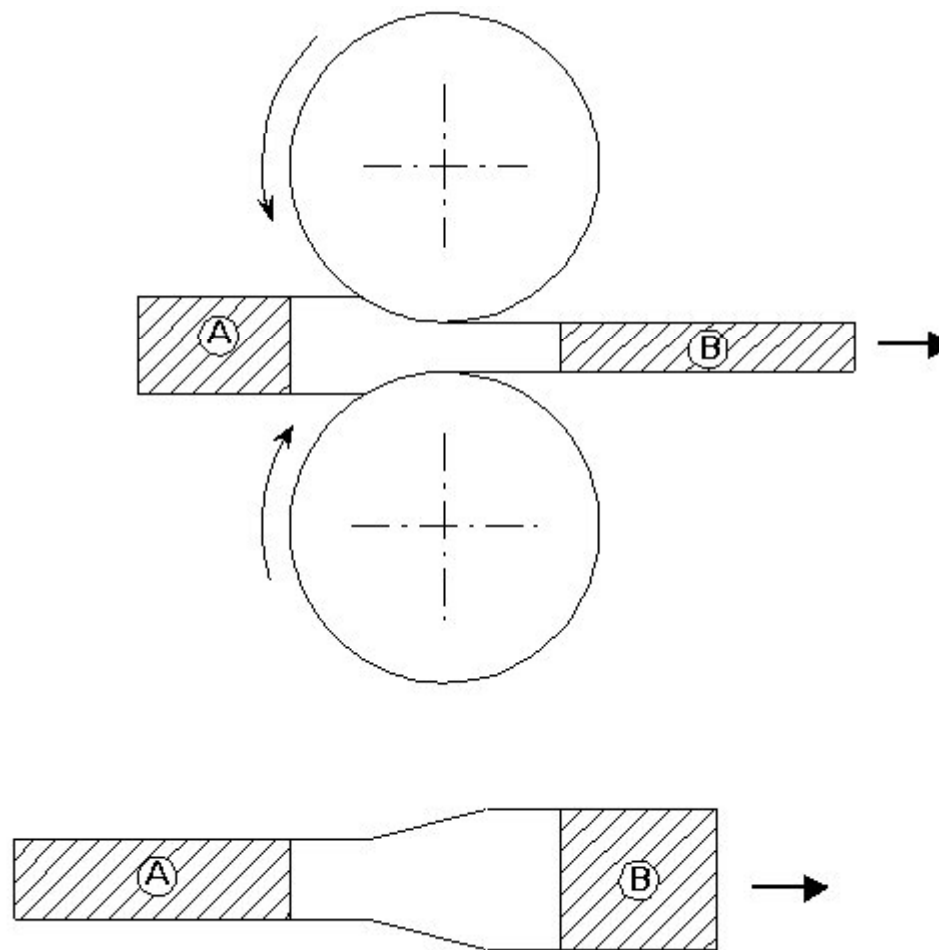
Konverter



Električna talilna peč

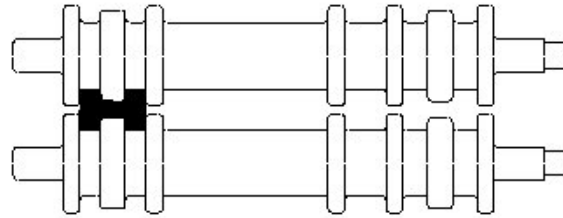


Kontinuirni liv

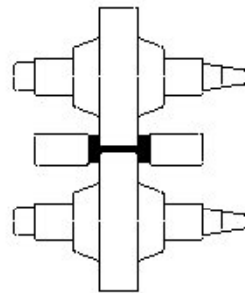


Section volume is equal at (A) and (B)

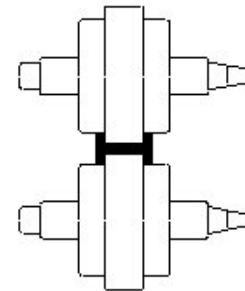
Vročé valjanje pločevine



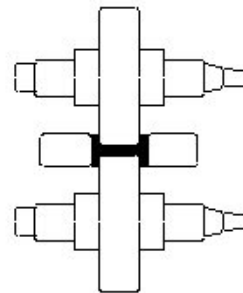
Primary rolls



Horizontal and vertical
roughing rolls

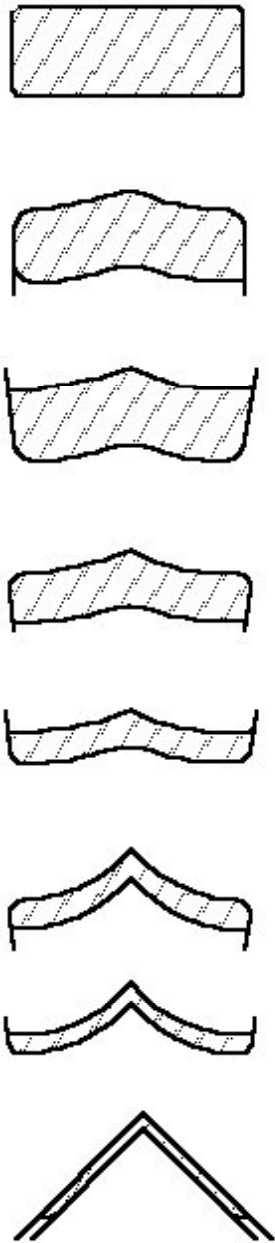


Edging rolls



Horizontal and vertical
finishing rolls

Zaporedje valjev za izdelavo vročevaljanih profilov



Izdelava vroče valjanega kotnika

Kemijska sestava

- Surovo železo ≥ 4 % C.
- Jeklo ≤ 1 % C.
- Konstrukcijska jekla $\leq 0,25$ % C.

- C – ogljik:
 - poveča trdnost in trdoto;
 - zmanjša duktilnost, žilavost in varivost.

Ostali elementi

- Mn – mangan: - poveča trdnost;
 - zmanjša neugodne vplive žvepla, ker ga veže v MnS, ki je manj škodljiv kot žveplo.
- P – fosfor: - poveča trdnost in trdoto;
 - zmanjša žilavost in duktilnost;
 - poveča odpornost napram atmosferski koroziji;
 - močno segregira;
- S – žveplo: - zelo neugoden element;
 - zmanjša duktilnost, žilavost in varivost;
 - zmanjšuje kvaliteto površine;
 - močno segregira.
- Al – aluminij: - dezoksidant (pomirjena jekla);
 - zmanjša velikost kristalnih zrn (večja trdnost in žilavost);
- Si – silicij: - dezoksidant.

Ostali legirni elementi

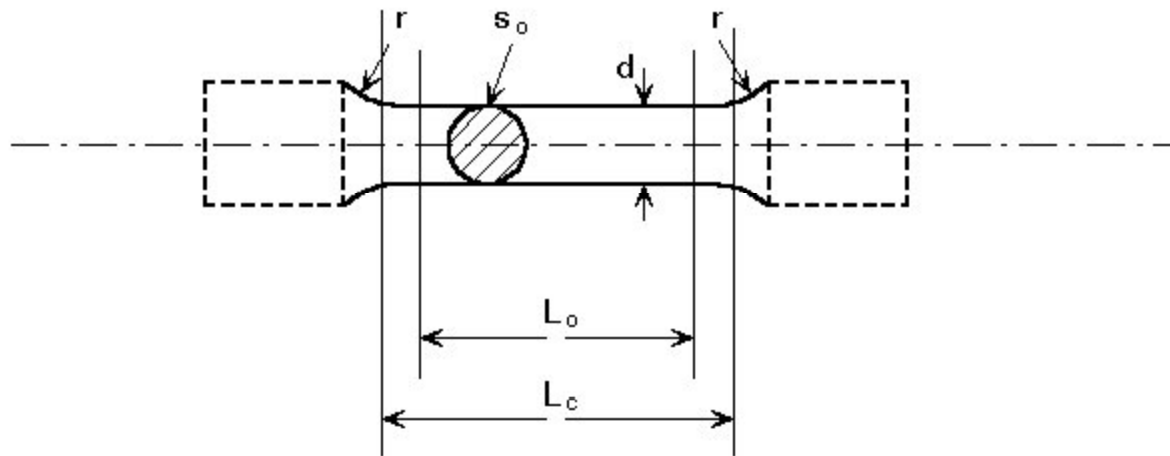
- Cr – krom.
 - Cu – baker.
- } povečana odpornost na atmosfersko korozijo

- Mo – molibden.
 - Nb – niobij.
 - Ni – nikelj.
 - Ti – titan-
 - V – vanadij.
- } večja trdnost
} uporaba v majhnih količinah

Ogljikovo število (Carbon equivalent):

- mera za duktilnost in varivost jekla

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}.$$

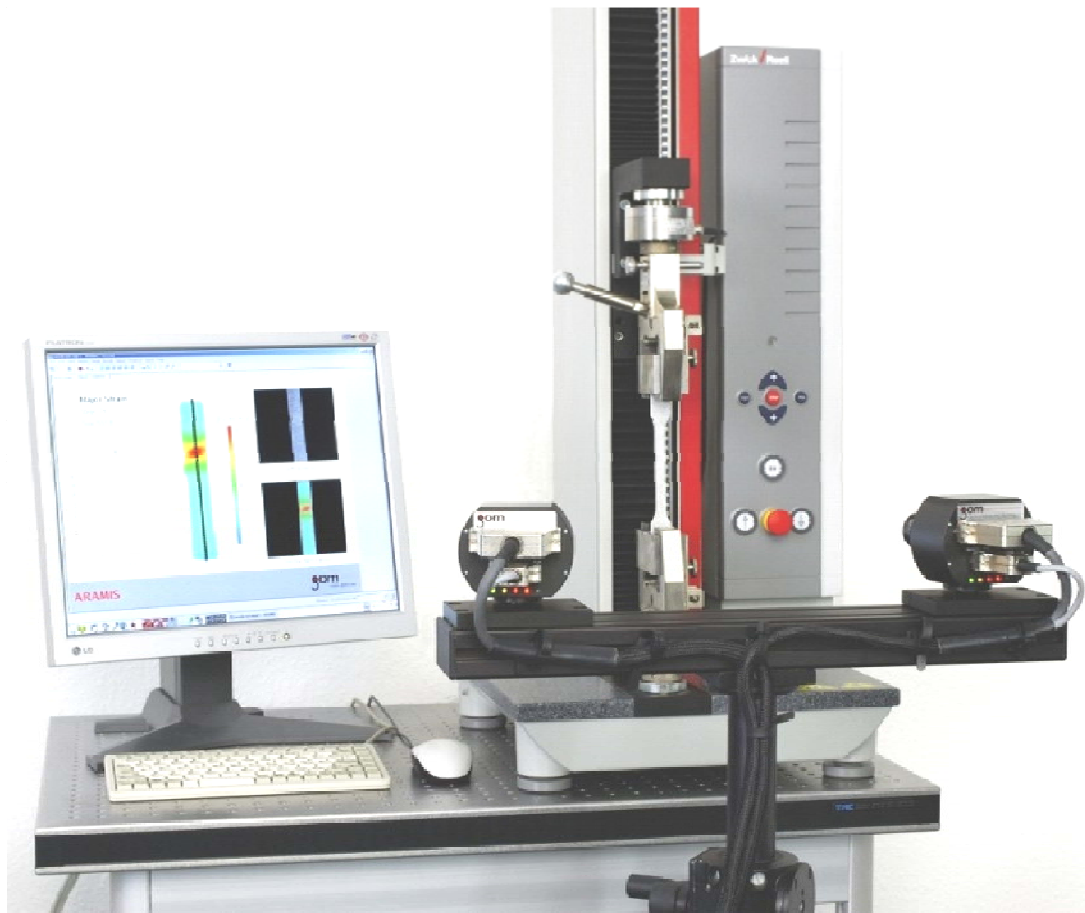


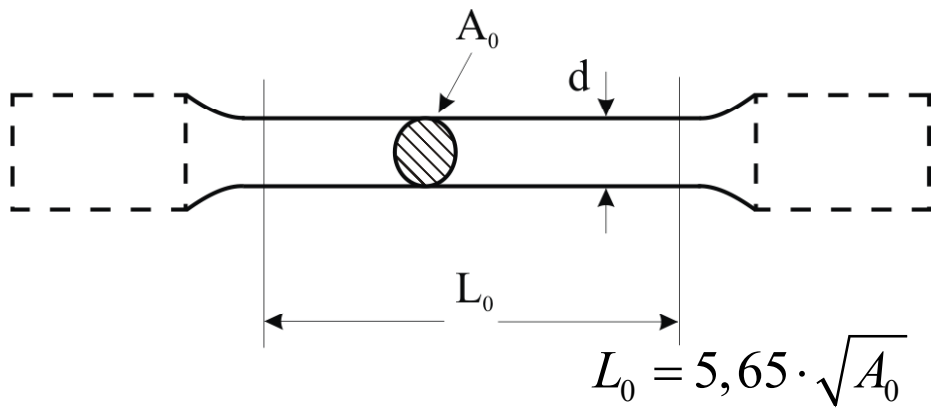
- L_o = Gauge length
- L_c = Parallel length
- r = Transition radius
- s_o = Original cross-section area
- d = Gauge length diameter

Note : For proportional test specimens, $L_o = 5,65 \sqrt{s_o}$

Oblika preizkušanca za standardni natezni test jekla

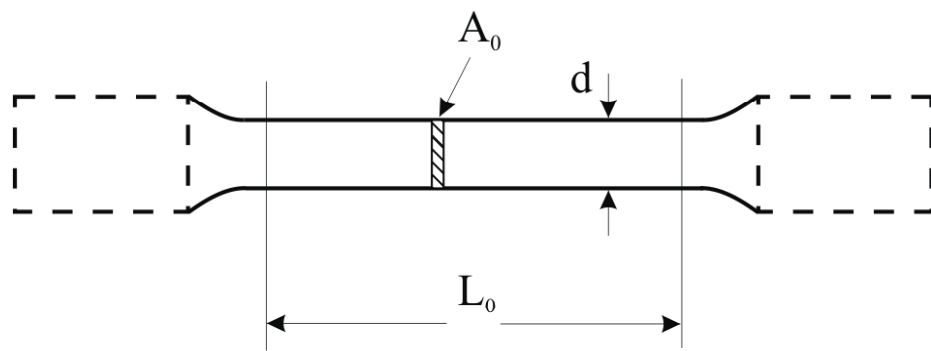
Standardni natezni test

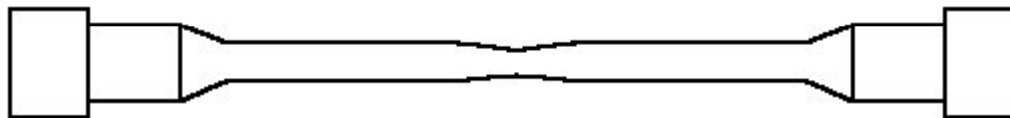




$$L_0 = 5 \cdot d$$

$$L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{A_0}$$





Porušitev preizkušanca pri nateznem testu



Ocena vrednosti materialnih karakteristik

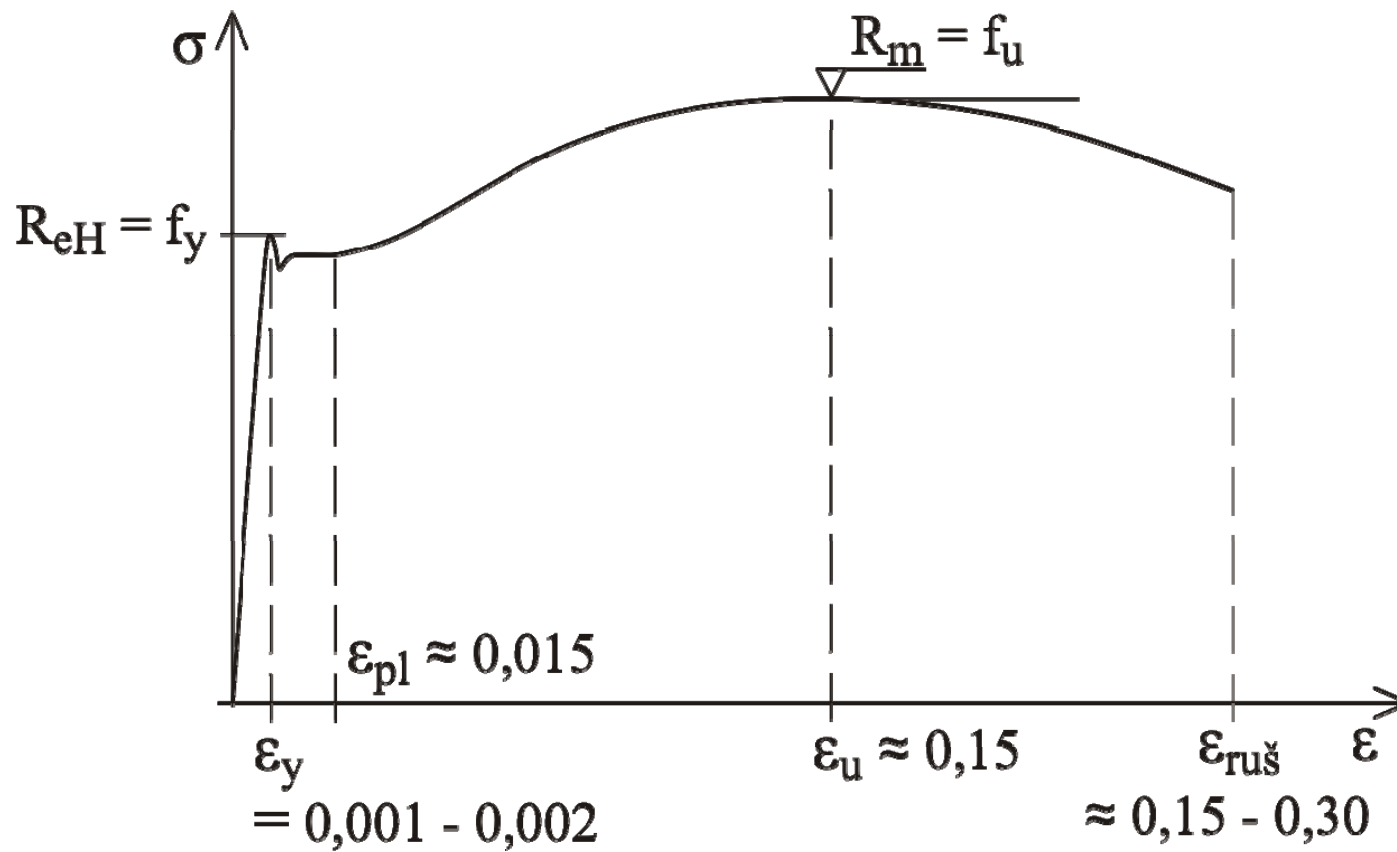
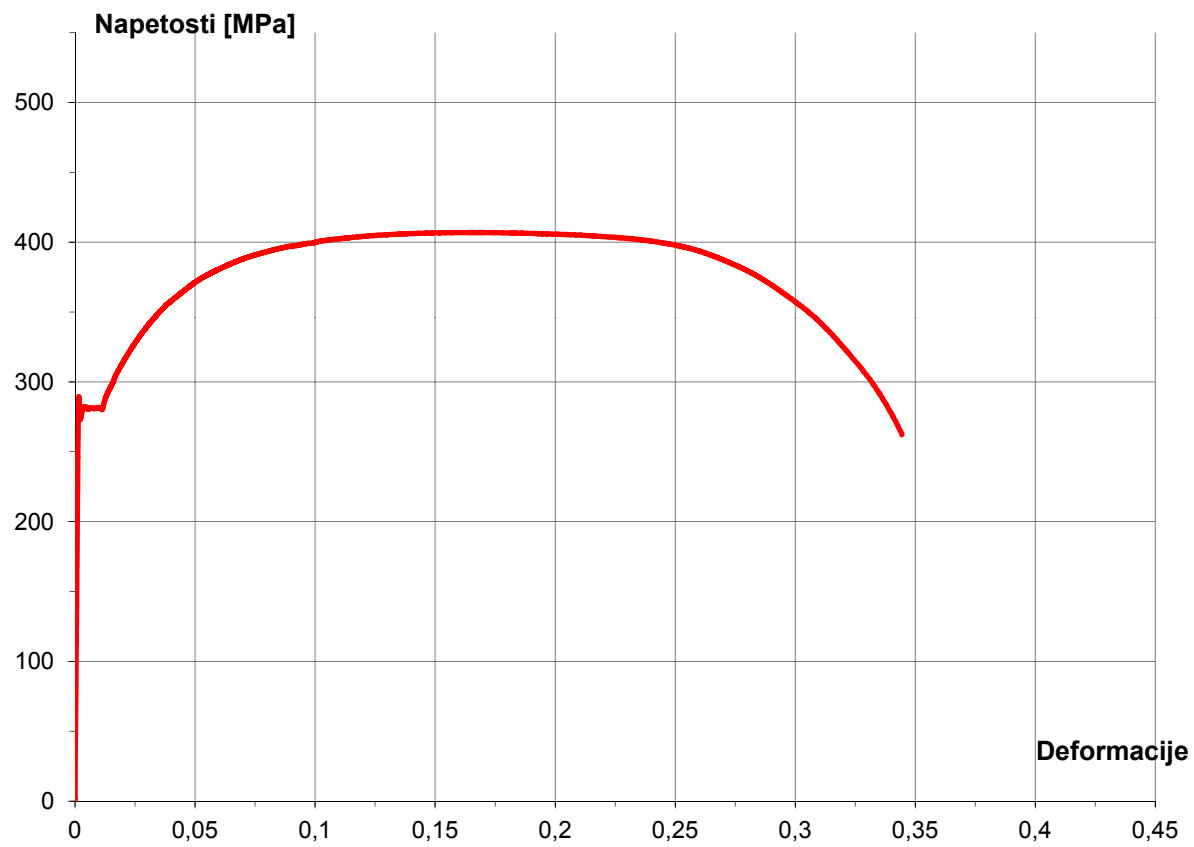
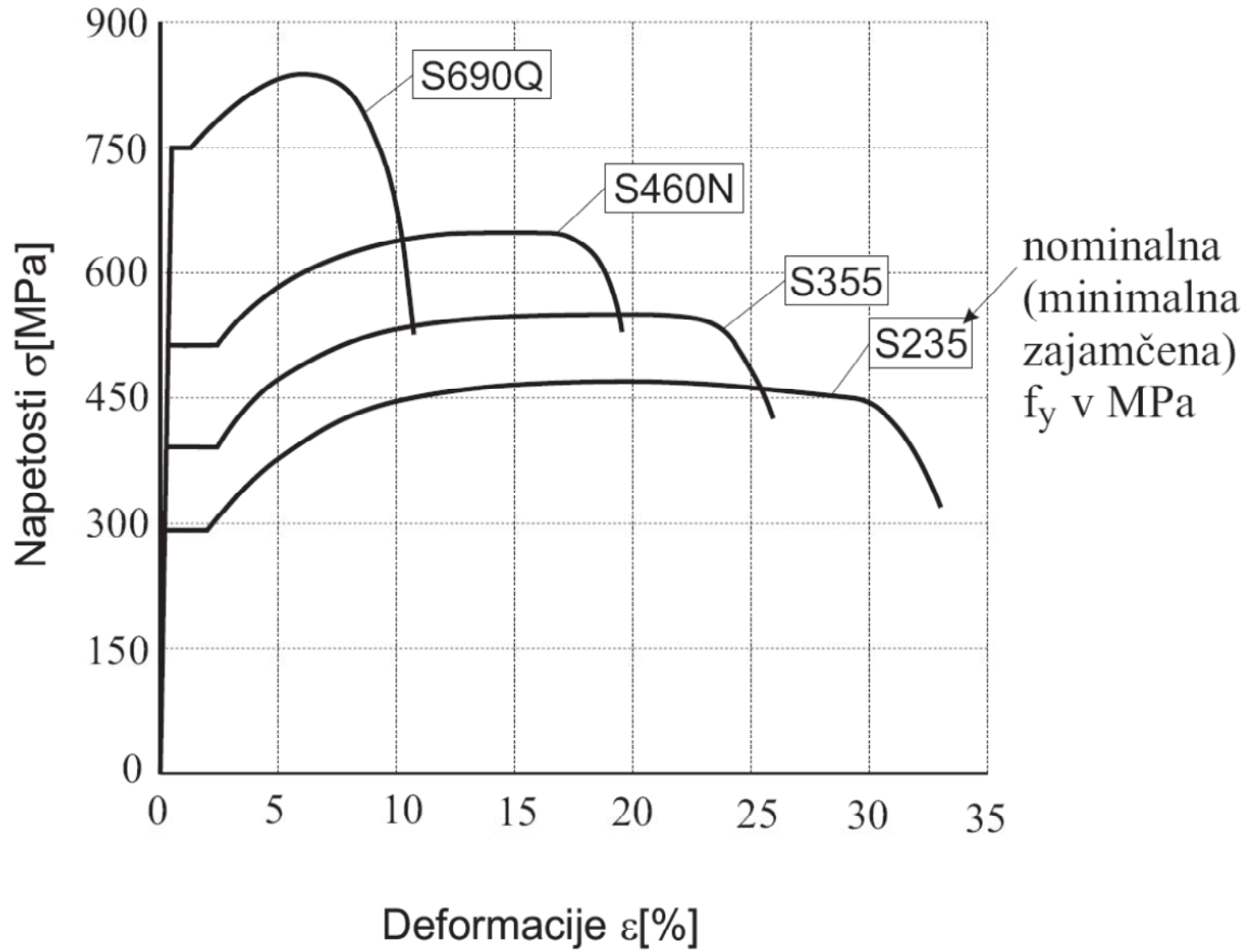


Diagram σ - ϵ za mehko konstrukcijsko jeklo

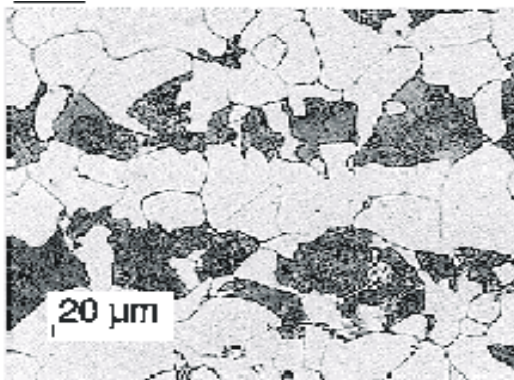


Krivulje σ - ε



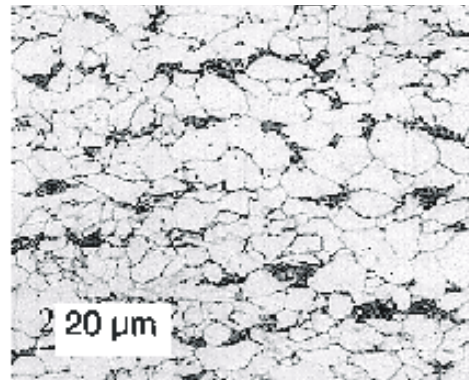
Proizvodnja visoko trdnih jekel ($f_y > 355$ MPa)

Normaliziranje



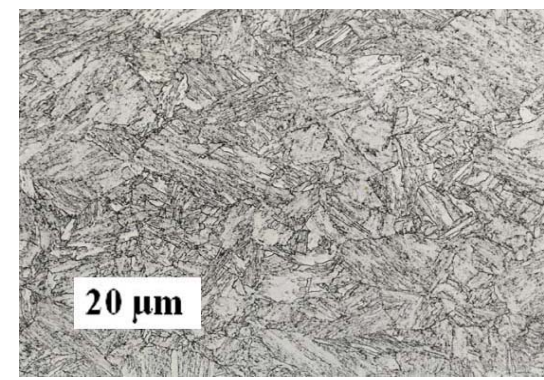
Do 460 MPa
EN10025-3

Termo
Mehanska
Obdelava



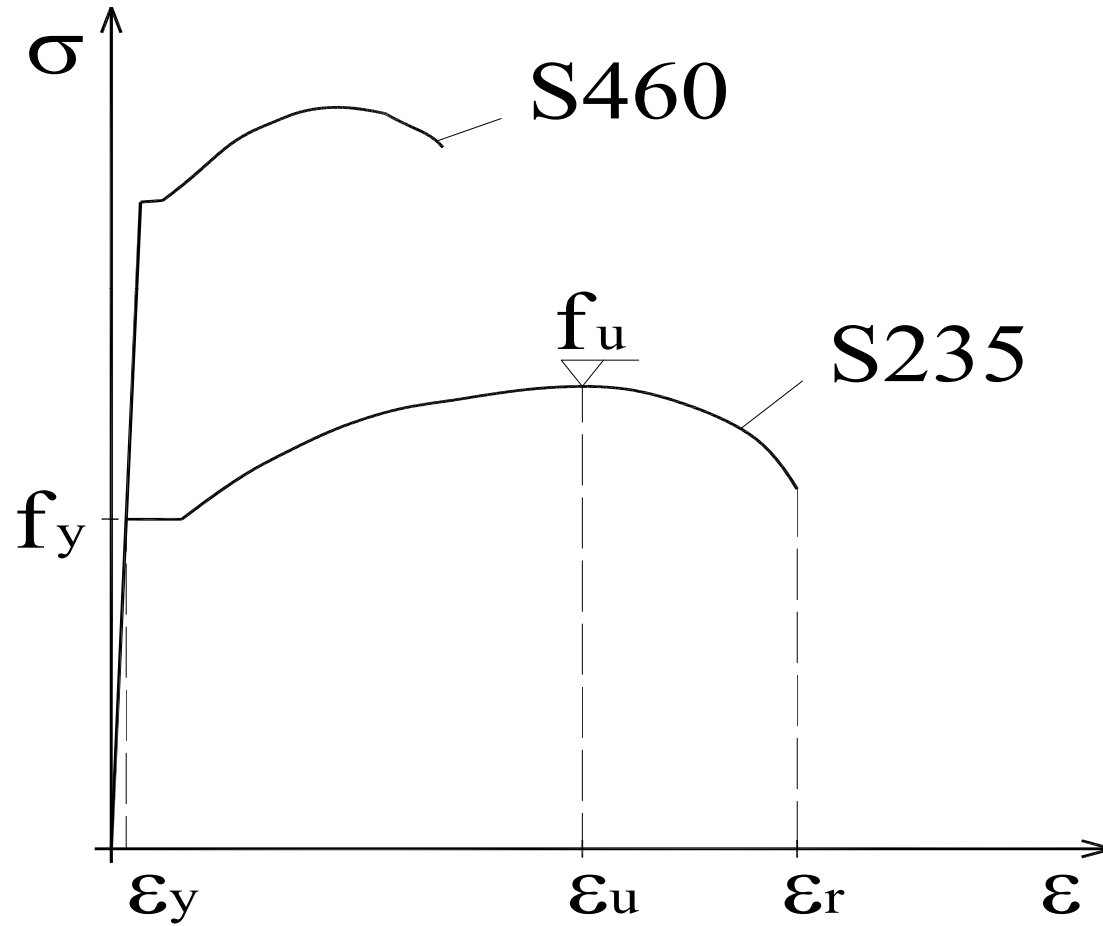
Do 460 MPa
EN10025-4

Kaljenje (Q)
+
popuščanje



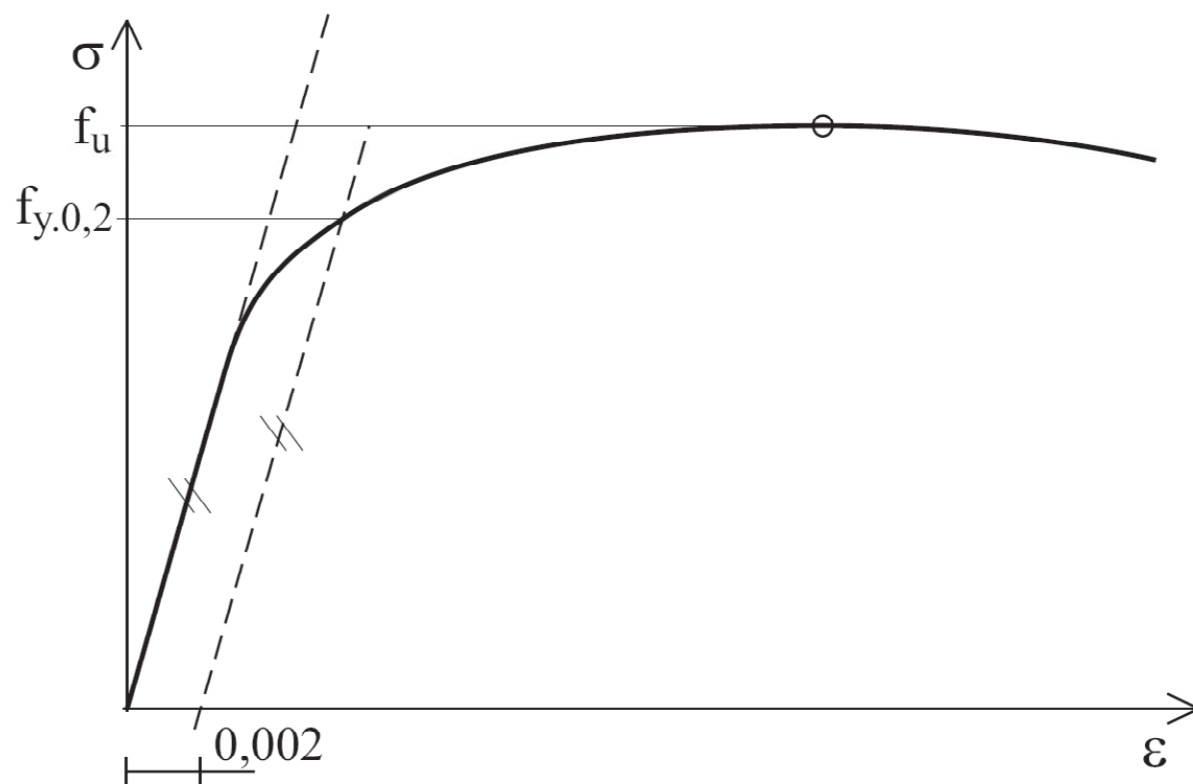
Do 960 MPa
EN10025-6

Duktilnost

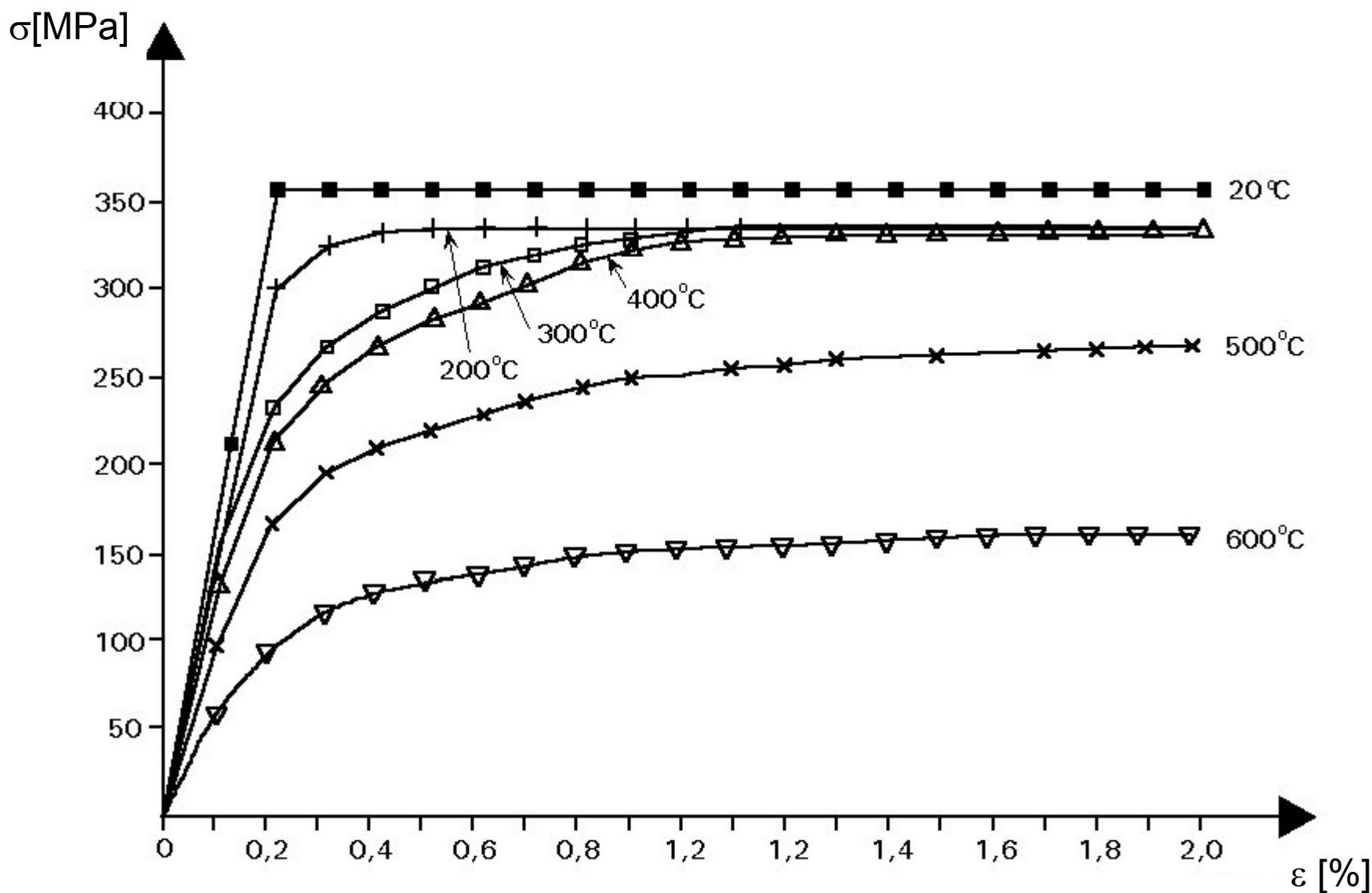


1. $\frac{f_u}{f_y} \geq 1,10$
2. $\epsilon_r \geq 15\%$
3. $\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \geq 15$

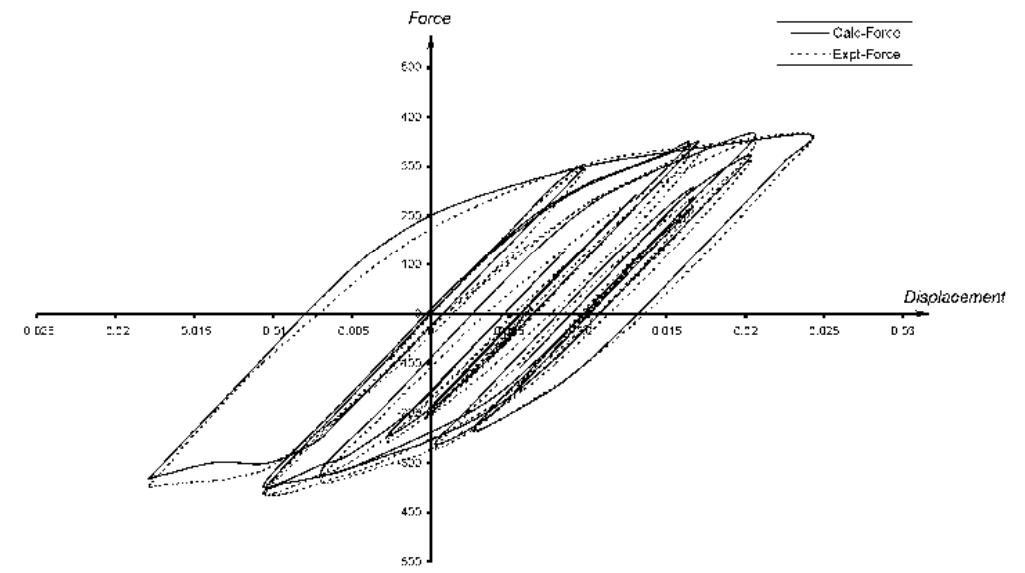
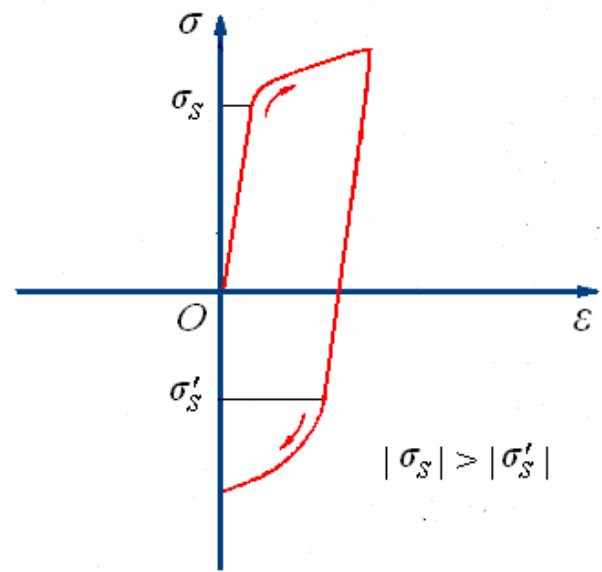
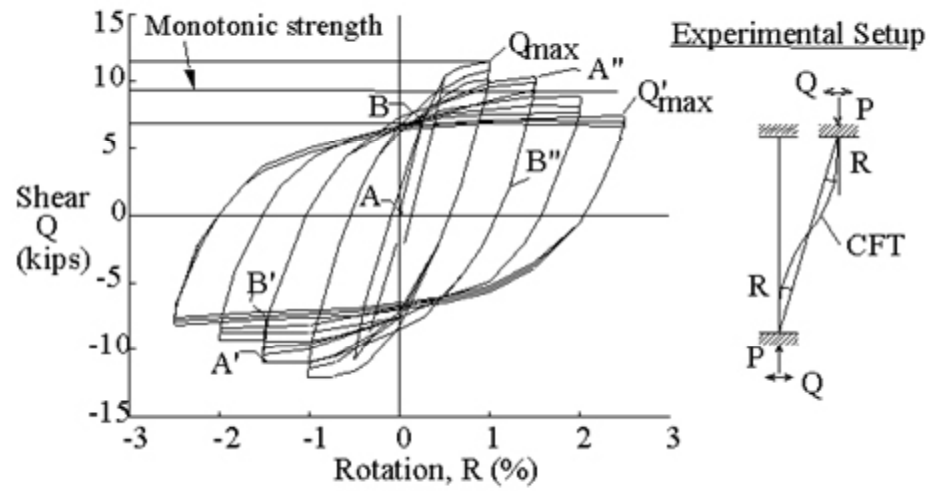
Definicija napetosti na meji tečenja



Vpliv temperature na mehanske lastnosti konstrukcijskega jekla



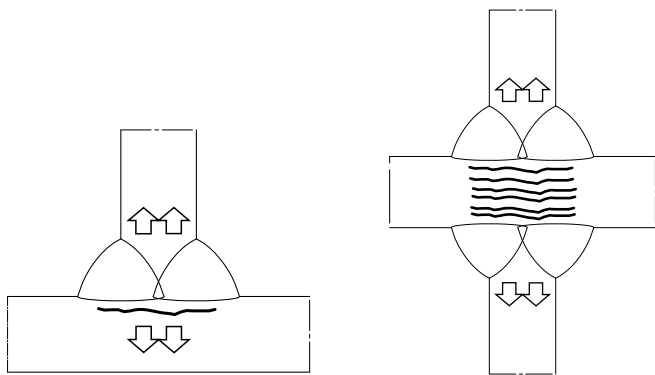
Bauschingerjev efekt – ciklična obtežba



Izbira materiala glede na lamelarni lom (SIST EN 1993-1-10)

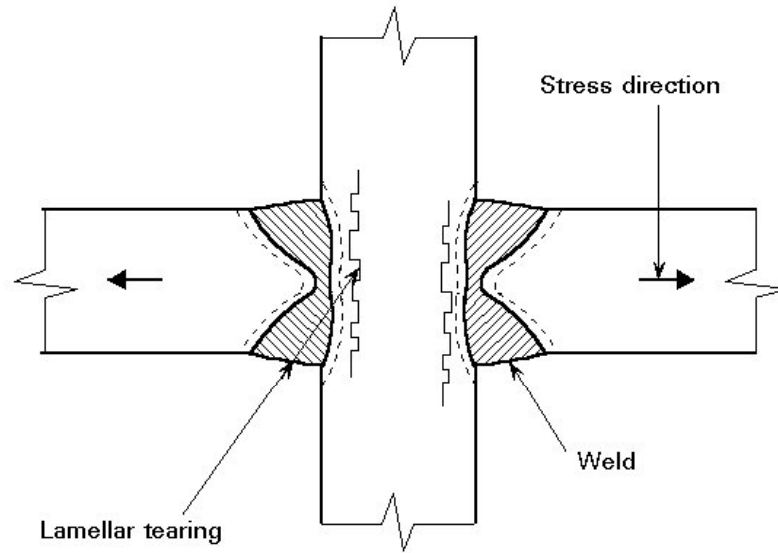
Lamelarni lom se pojavi v obliki razpok, vzporednih površini pločevine. Povzročajo ga varilne deformacije, kadar so ovirane v smeri debeline pločevine. Za nastanek lamelarnega loma ni potrebna zunanja obtežba v smeri debeline pločevine. Preprečimo ga z:

- ustreznim konstrukcijskim oblikovanjem (malo Z točk);
- izbiro materiala, odpornega na lamelarni lom (SIST EN 10164).

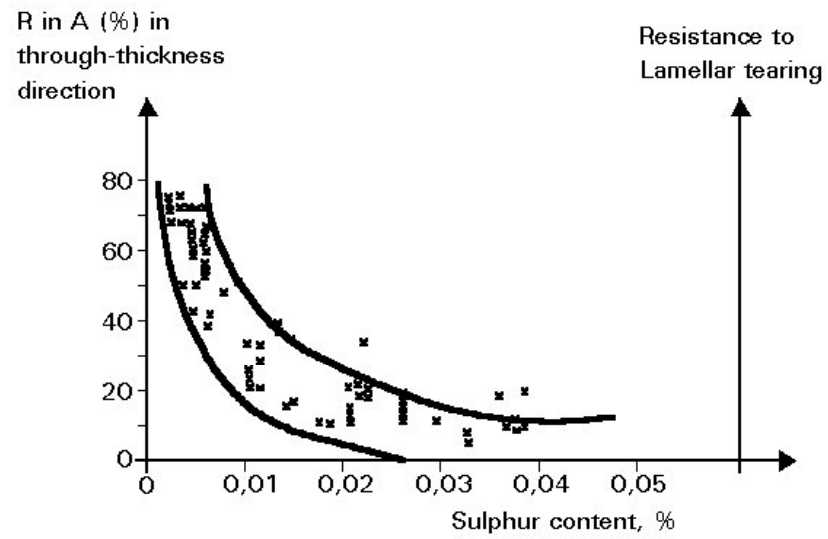


Slika 3.1: Lamelarni lom

$s \geq 30\text{mm}$ - kontrola na lamelarni lom obvezna (parameter Z + SIST EN 10164 ali ultrazvočna kontrola). Pri dinamično obremenjenih konstrukcijah obvezna ultrazvočna kontrola (slovenski NA)



(a) Description of lamellar tearing (schematic)



(b) Effect of sulphur content on the through-thickness ductility

Figure 5 Lamellar tearing

Preglednica 3.6: Izbira razreda kvalitete po EN 10164

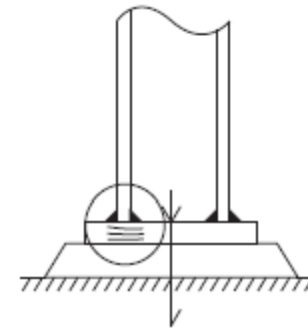
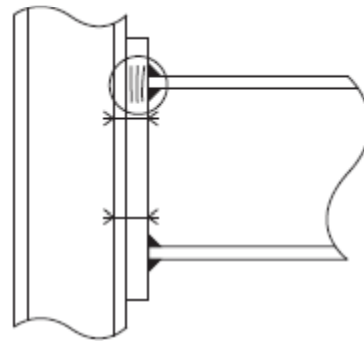
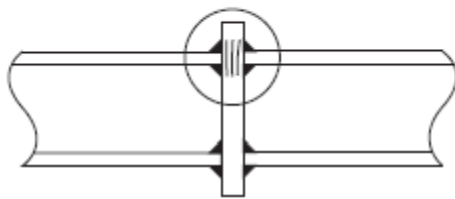
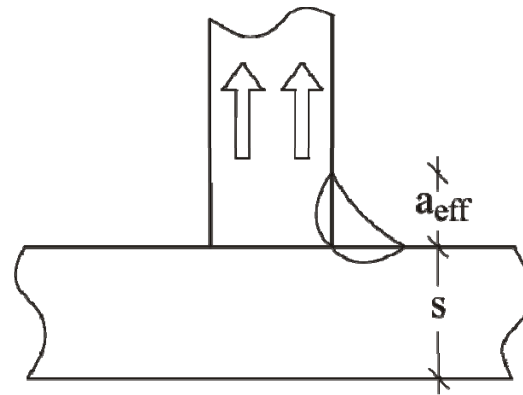
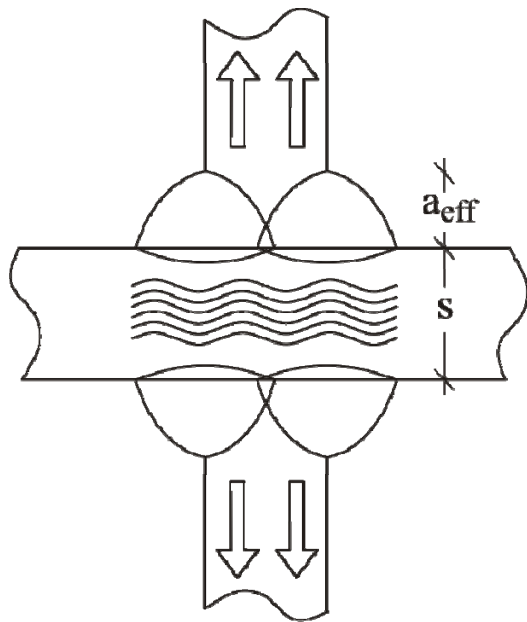
Ciljna vrednost Z_{Ed} po EN 1993-1-10	Zahtevana vrednost Z_{Rd} , izražena s projektnimi Z -vrednostmi po EN 10164
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35



Slika 3.2: Efektivna višina zvara pri krčenju.

Parametri, ki vplivajo na vrednost parametra Z_{Ed}

a)	višina zvara, pomembna za nastanek deformacij od krčenja	efektivna višina zvara a_{eff}	debelina kotnega zvara	Z_i
		$a_{eff} \leq 7\text{mm}$	$a = 5\text{ mm}$	$Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10\text{mm}$	$a = 7\text{ mm}$	$Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20\text{mm}$	$a = 14\text{ mm}$	$Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30\text{mm}$	$a = 21\text{ mm}$	$Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40\text{mm}$	$a = 28\text{ mm}$	$Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50\text{mm}$	$a = 35\text{ mm}$	$Z_a = 15$
	$50 < a_{ef}$	$a > 35\text{ mm}$	$Z_a = 15$	
b)	oblika in lega zvarov v T, X in L spojih			$Z_b = -25$
		L (vogalni) spoji		$Z_b = -10$
		enovarkovni kotni zvar $Z_a = 0$ ali kotni zvar z $Z_a > 1$ z navarjenim materialom nizke trdnosti		$Z_b = -5$
		večvarkovni kotni zvari		$Z_b = 0$
		delno in polno penetrirani zvari	z ustreznim vrstnim redom varjenja, da se zmanjša vpliv krčenja 	$Z_b = 3$
		delno in polno penetrirani zvari		$Z_b = 5$
		L (vogalni) spoji		$Z_b = 8$
c)	vpliv debeline materiala s na oviranje krčenja	$s \leq 10\text{mm}$		$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20\text{mm}$		$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30\text{mm}$		$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40\text{mm}$		$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50\text{mm}$		$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60\text{mm}$		$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70\text{mm}$		$Z_c = 15^*$
	$70 < s$		$Z_c = 15^*$	
d)	oviranje krčenja zaradi ostalih delov konstrukcije	majhno oviranje:	prosto krčenje mogoče (npr. T spoji)	$Z_d = 0$
		srednje veliko oviranje:	prosto krčenje ovirano (npr. diafragme škatlastih nosilcev)	$Z_d = 3$
		močno oviranje:	prosto krčenje ni mogoče (npr. vzdolžne ojačitve ortotropnih plošč)	$Z_d = 5$
e)	vpliv predgrevanja		brez predgrevanja	$Z_e = 0$
			predgrevanje $\geq 100^\circ\text{C}$	$Z_e = -8$
* Dovoljeno zmanjšanje za 50% za material, tlačno obremenjen v smeri debeline s pretežno statično obtežbo.				

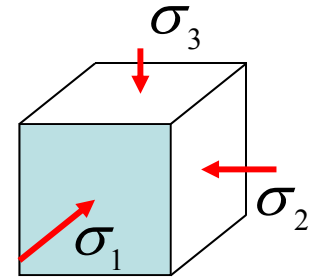


Problem lamelnega loma pri različnih konstrukcijskih izvedbah

Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

Misesov pogoj plastičnega tečenja:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \leq f_y$$



$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – glavne napetosti – $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

f_y – napetost tečenja pri enoosnem nateznem preizkusu

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3\tau_{xy}^2 + 3\tau_{yz}^2 + 3\tau_{zx}^2} \leq f_y$$

Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \leq f_y$$

$$\alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad \beta = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1 - \alpha)^2 + (\alpha - \beta)^2 + (\beta - 1)^2 \right]} = \sigma_1 \phi \leq f_y$$

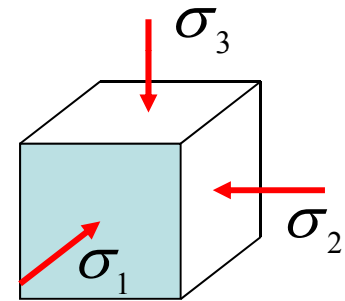
$$\sigma_1 \leq \frac{f_y}{\phi}$$

Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-\alpha)^2 + (\alpha-\beta)^2 + (\beta-1)^2 \right]} = \sigma_1 \phi \leq f_y$$

Hidrostatsko napetostno stanje:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3, \quad \alpha = 1, \quad \beta = 1$$



$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-1)^2 + (1-1)^2 + (1-1)^2 \right]} = \sigma_1 0 \leq f_y$$

$$\sigma_1 \leq \frac{f_y}{0} = \infty$$

Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

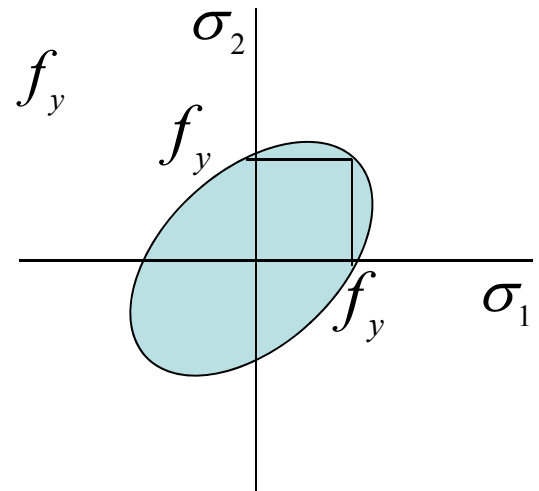
$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-\alpha)^2 + (\alpha-\beta)^2 + (\beta-1)^2 \right]} = \sigma_1 \phi \leq f_y$$

Ravninsko napetostno stanje – tanke pločevine:

$$\sigma_1 = \sigma_2, \sigma_3 = 0, \alpha = 1, \beta = 0$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-1)^2 + (1-0)^2 + (0-1)^2 \right]} = \sigma_1 1 \leq f_y$$

$$\sigma_1 \leq \frac{f_y}{1} = f_y$$





Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-\alpha)^2 + (\alpha-\beta)^2 + (\beta-1)^2 \right]} = \sigma_1 \phi \leq f_y$$

Ravninsko deformacijsko stanje – debele pločevine:

$$\sigma_1 = \sigma_2, \sigma_3 = 0.5\sigma_1, \alpha = 1, \beta = 0.5$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-1)^2 + (1-0.5)^2 + (0.5-1)^2 \right]} = \sigma_1 0.5 \leq f_y$$

$$\sigma_1 \leq \frac{f_y}{0.5} = 2f_y$$

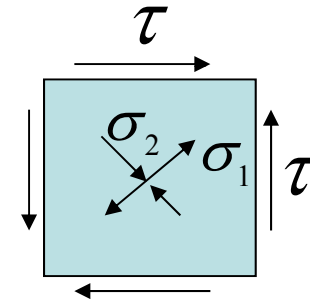


Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-\alpha)^2 + (\alpha-\beta)^2 + (\beta-1)^2 \right]} = \sigma_1 \phi \leq f_y$$

Čisti strig:

$$\sigma_1 = -\sigma_2, \quad \alpha = -1, \quad \beta = 0$$



$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-(-1))^2 + ((-1)-0)^2 + (0-(-1))^2 \right]} = \sigma_1 \sqrt{3} \leq f_y$$

$$\sigma_1 \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \tau_y$$

Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

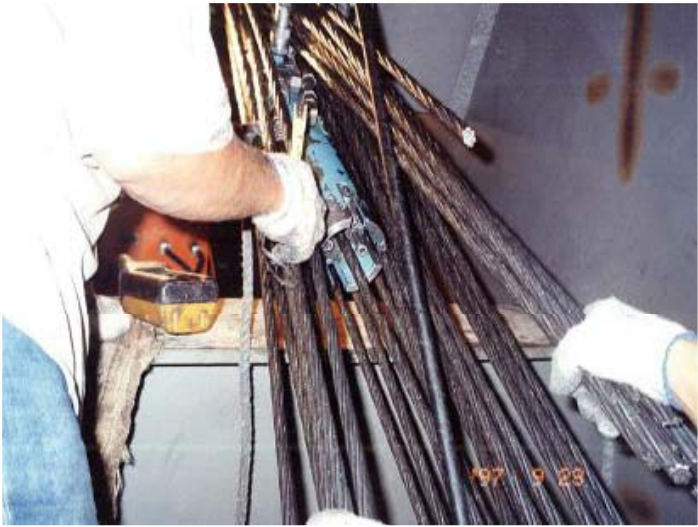
$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-\alpha)^2 + (\alpha-\beta)^2 + (\beta-1)^2 \right]} = \sigma_1 \phi \leq f_y$$

Vlečenje žice:

$$\sigma_1 = -2\sigma_2 = -2\sigma_3, \quad \alpha = -0.5, \quad \beta = -0.5$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{\frac{1}{2} \left[(1-(-0.5))^2 + ((-0.5)-0)^2 + (0-(-0.5))^2 \right]} = \sigma_1 1.89 \leq f_y$$

$$\sigma_1 \leq 0.53 f_y$$



Vpliv prostorskega napetostnega stanja na mehanske lastnosti jekla

Prostorsko napetostno stanje lahko povzroči:

$$\sigma_1 > f_y$$

- zvišanje trdnosti (bočni pritisk vijakov!!);
- zmanjšanje deformabilnosti (lomna žilavost debelih pločevin!!).

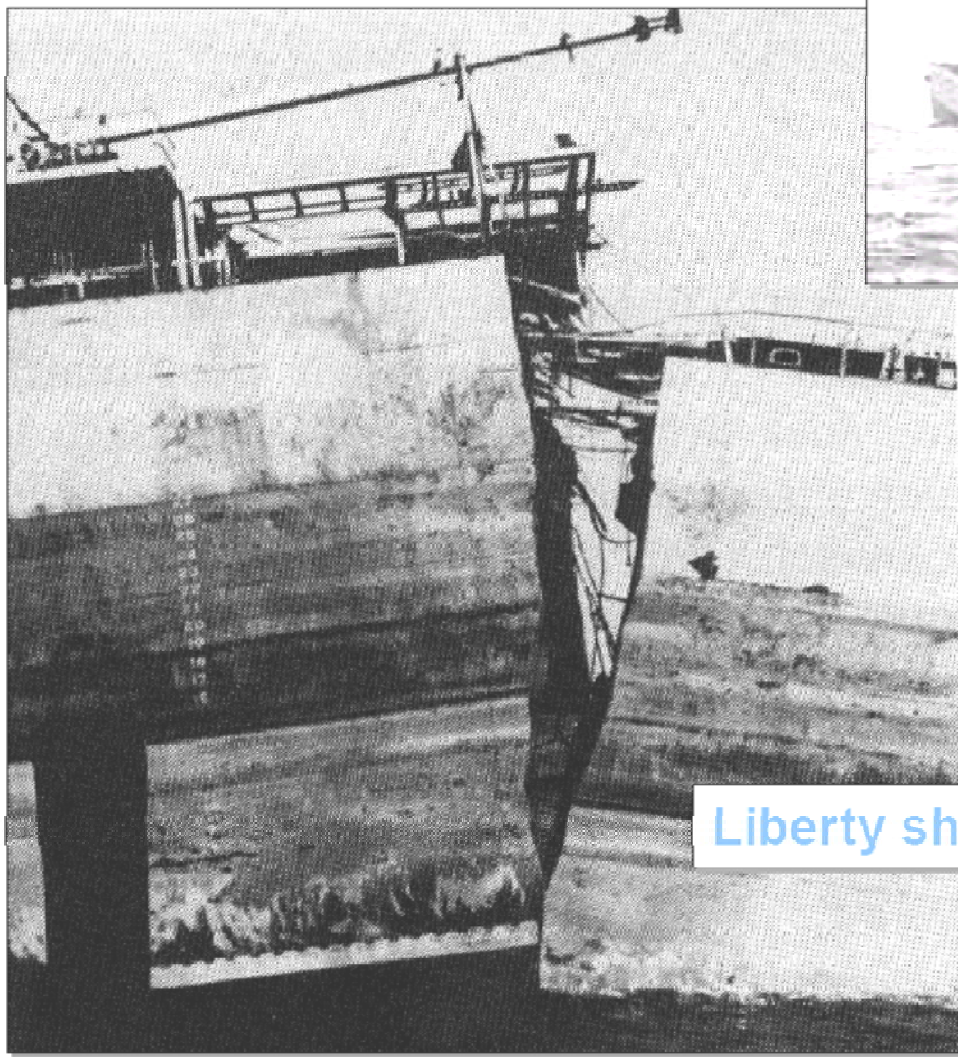
Splošno o žilavosti

- Žilavost je odpornost proti krhkemu lomu, ki se zgodi pri majhnih deformacijah.
- Definicija lomne žilavosti: energija, potrebna za tako povečanje razpoke, da se površina razpoke poveča za enoto površine. Merimo jo v J/cm^2 .

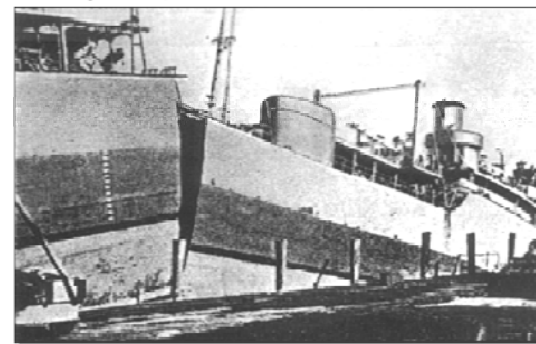
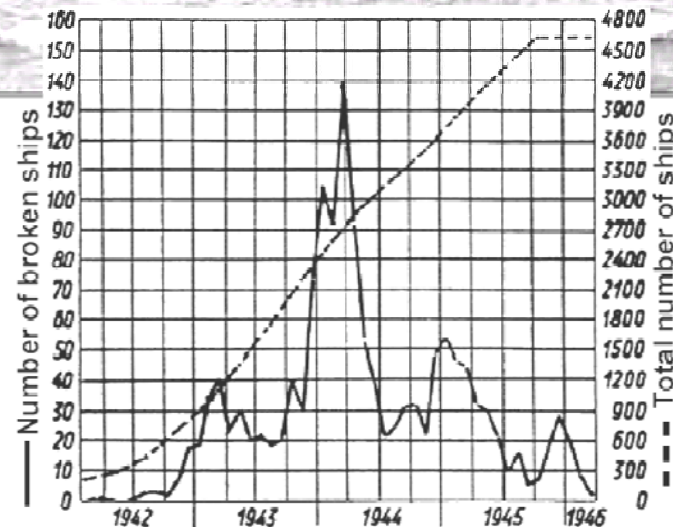
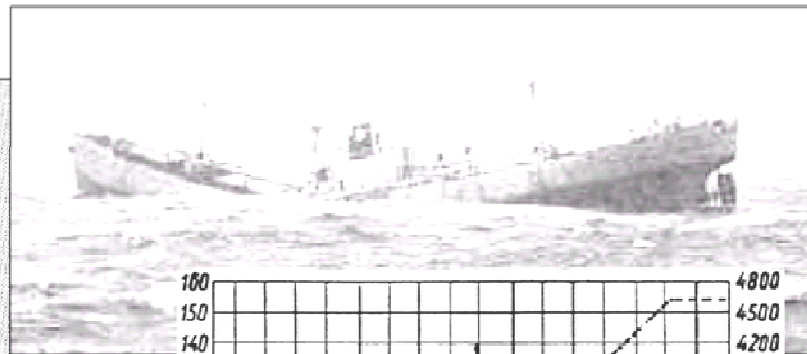
Vplivni parametri:

- Temperatura – nižja temperatura zmanjša žilavost.
- Debelina – večja debelina zmanjša žilavost – prostorsko napetostno stanje.
- Hitrost obremenjevanja – višja hitrost – nižja žilavost.
- Kemijska sestava (S, C).

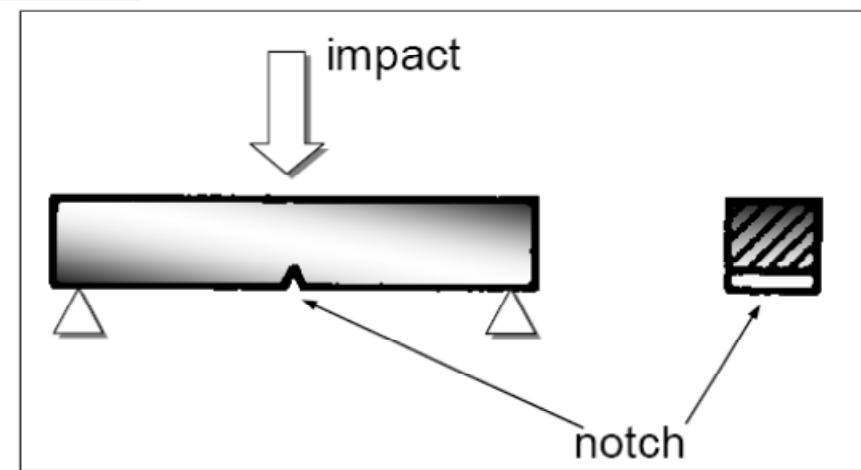
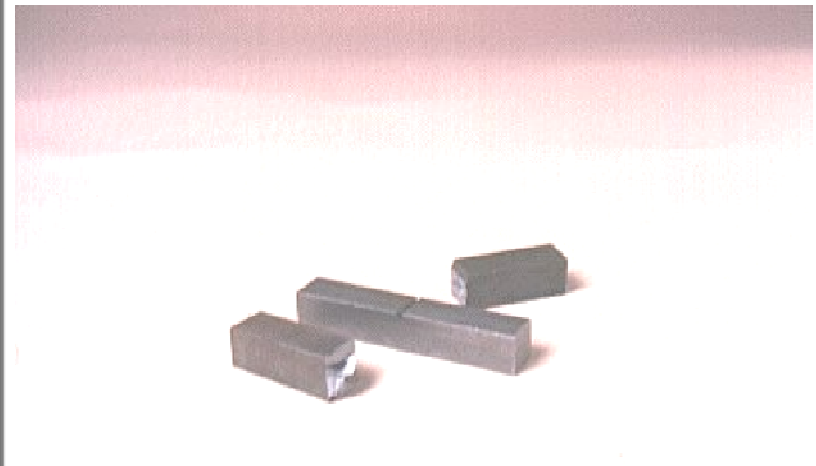
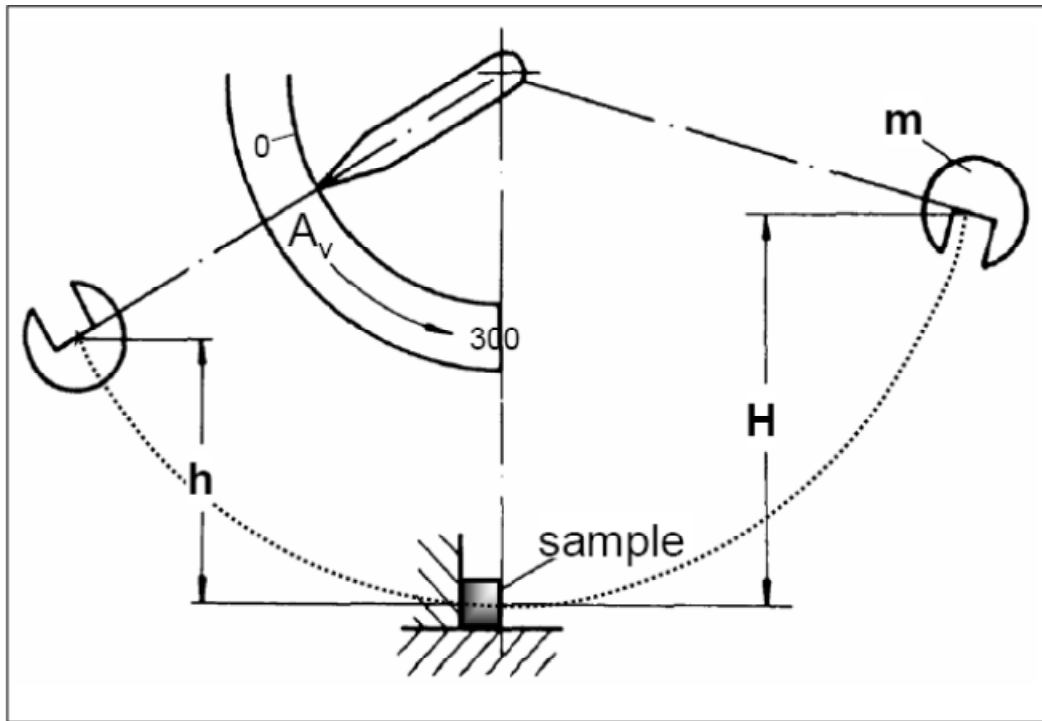
Problem žilavosti – nizke temperature

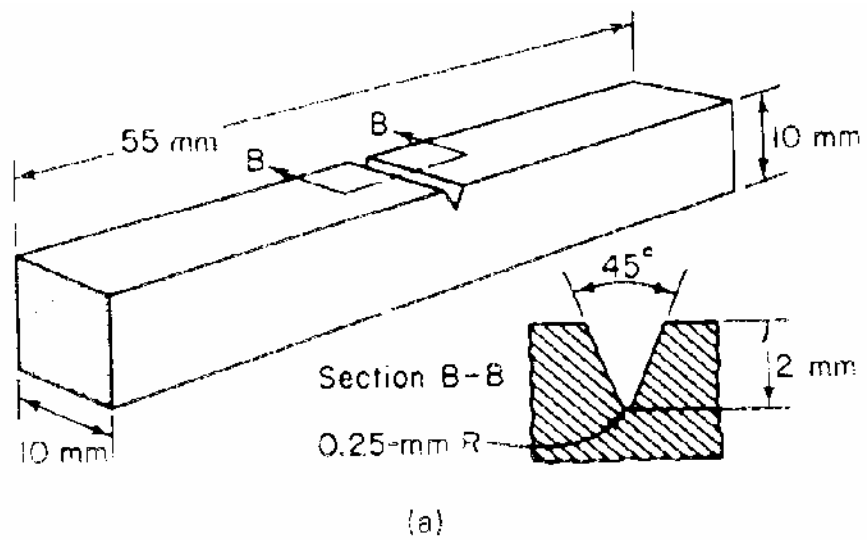


Liberty ships



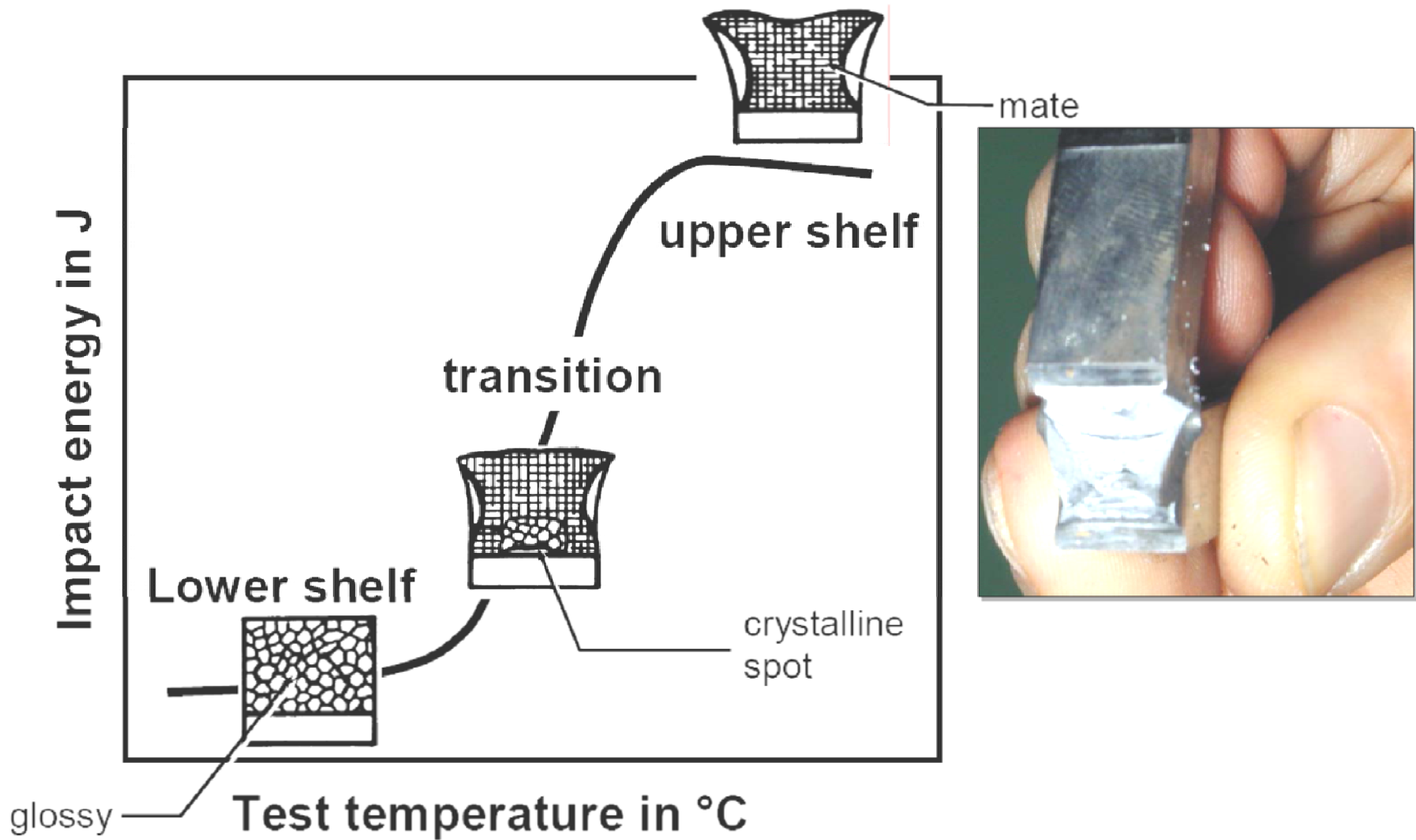
Toughness: ductile to brittle transition temperature



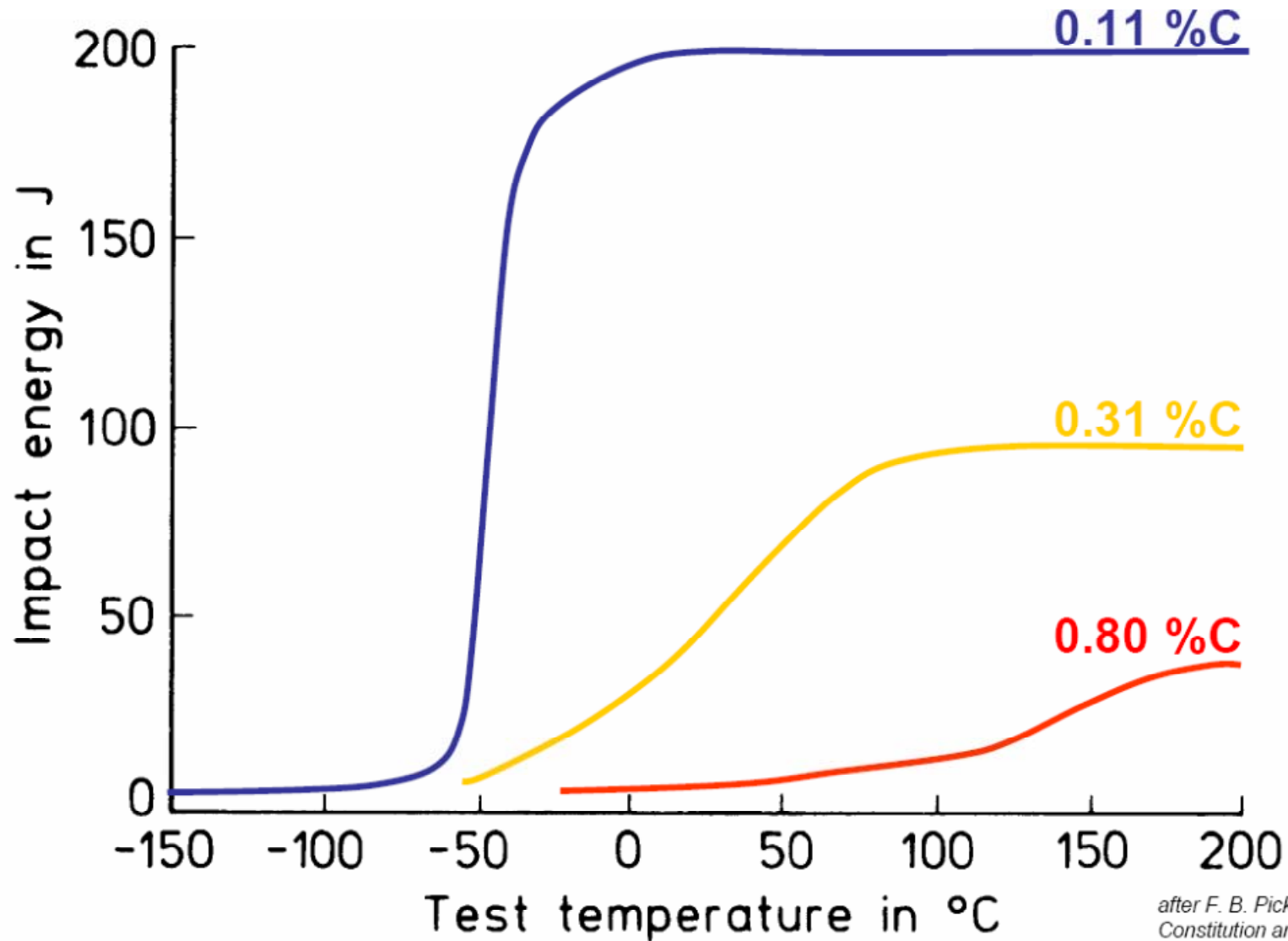


Nihalo za Charpy-V test

Impact transition curve



Effect of carbon content on toughness



after F. B. Pickering in
*Constitution and Properties
of Steels*, p. 55, VCH 1992

Izbira materiala glede na lomno žilavost (SIST EN 1993-1-10)

Preglednica 2.1: Največje dovoljene debeline elementov t v mm

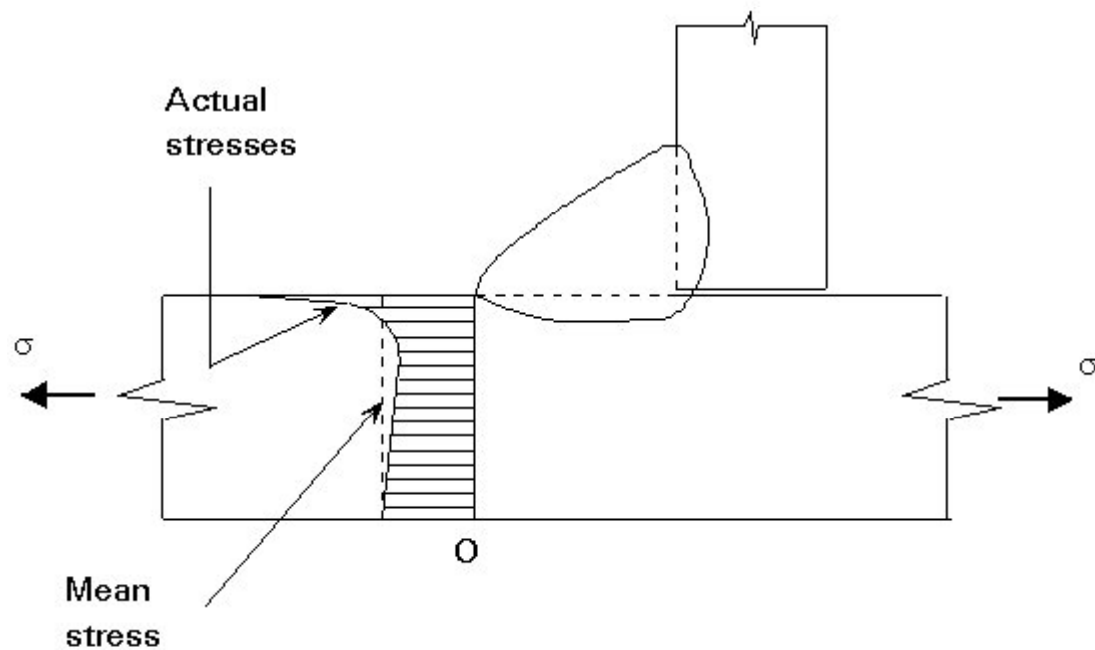
Kval. jekla	pod-kval.	Charpy energija CVN		Referenčna temperatura T_{Ed} [°C]													
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
		pri T [°C]	J_{min}	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$						
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65

S420	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100

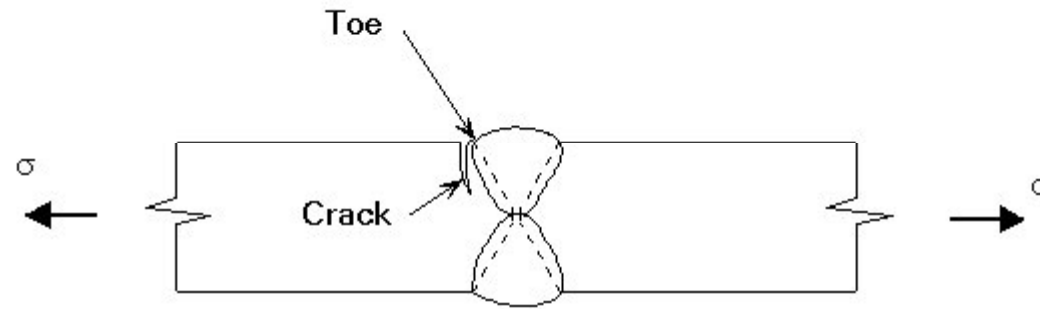
Kontrola utrujanja



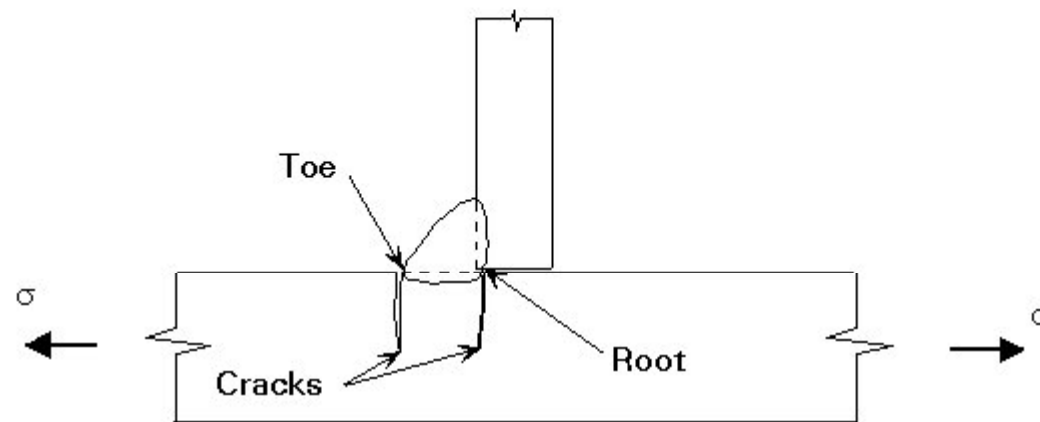
Tipična razporeditev napetosti ob korenu zvara



Koncentracija napetosti ob zvarih

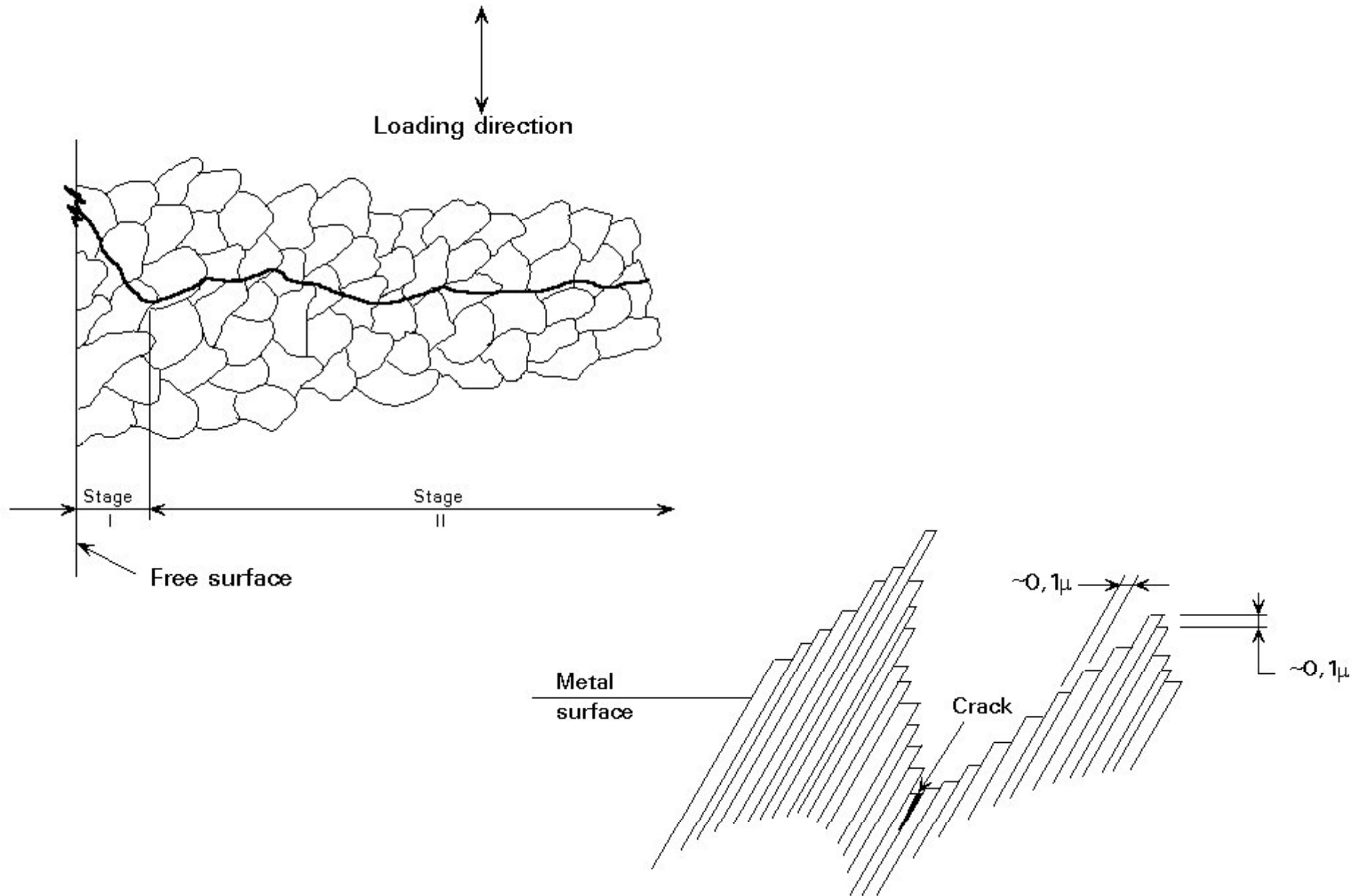


Butt weld (Full penetration)

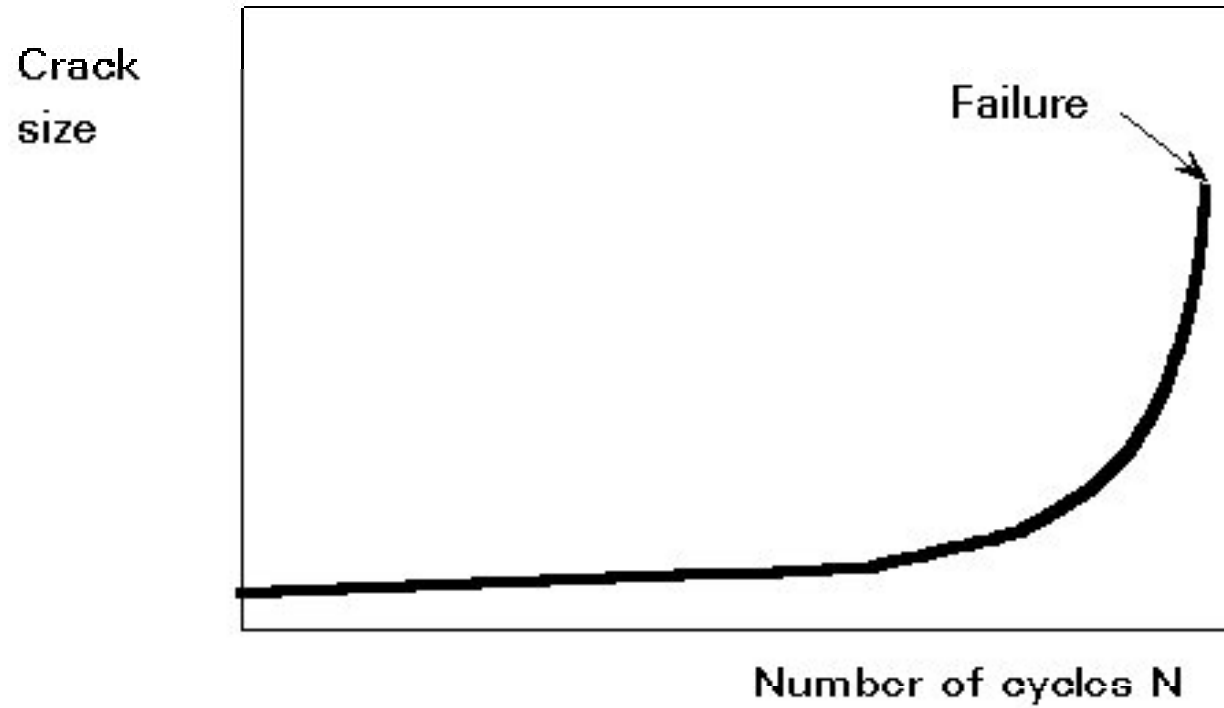


Fillet weld

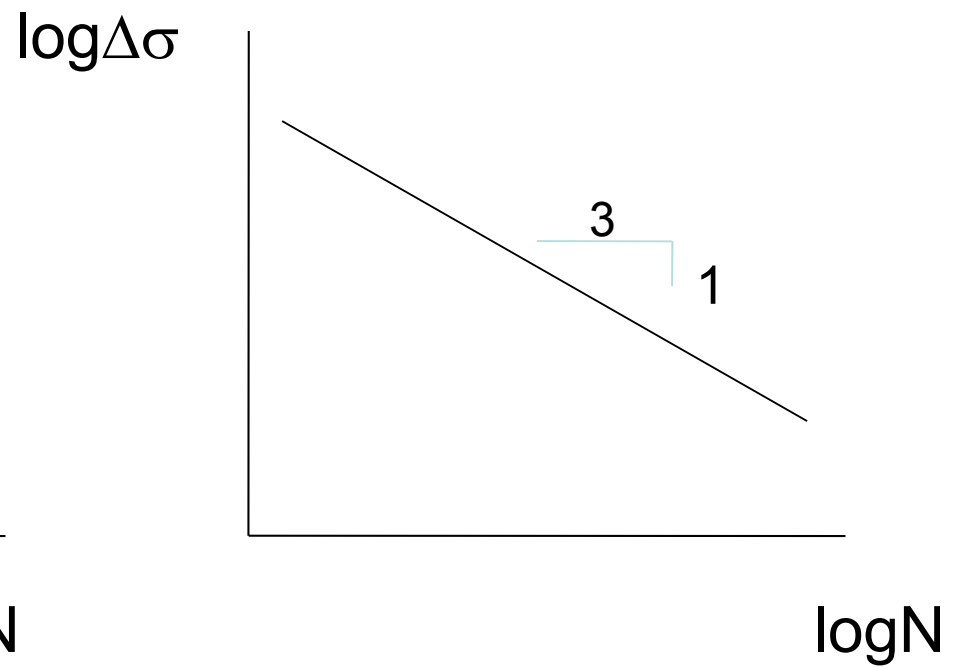
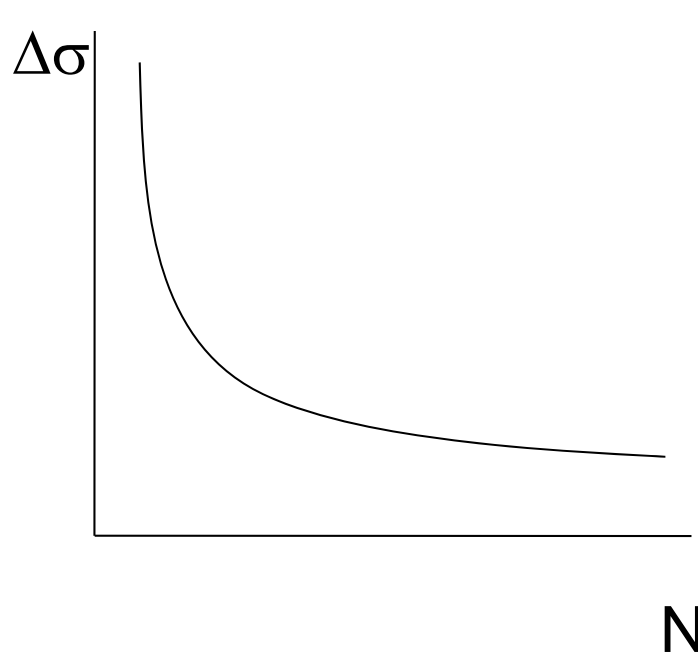
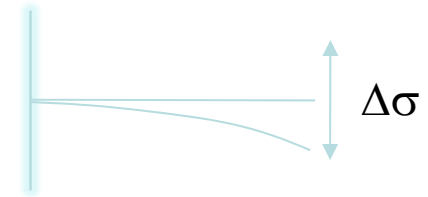
Širjenje razpoke



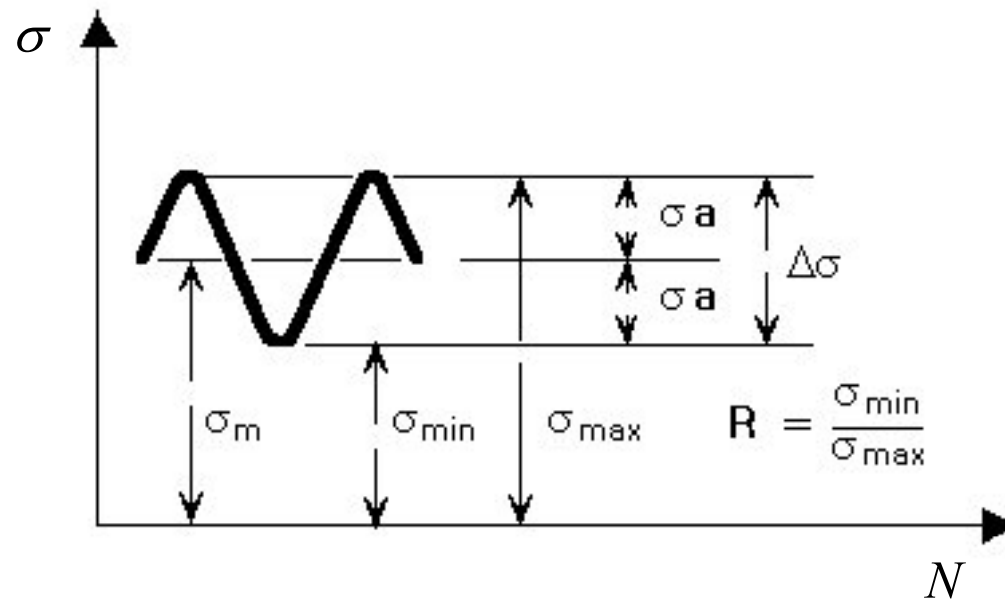
Širjenje razpoke



Wohler-jeva krivulja visokocikličnega utrujanja



Konstantna amplituda napetosti

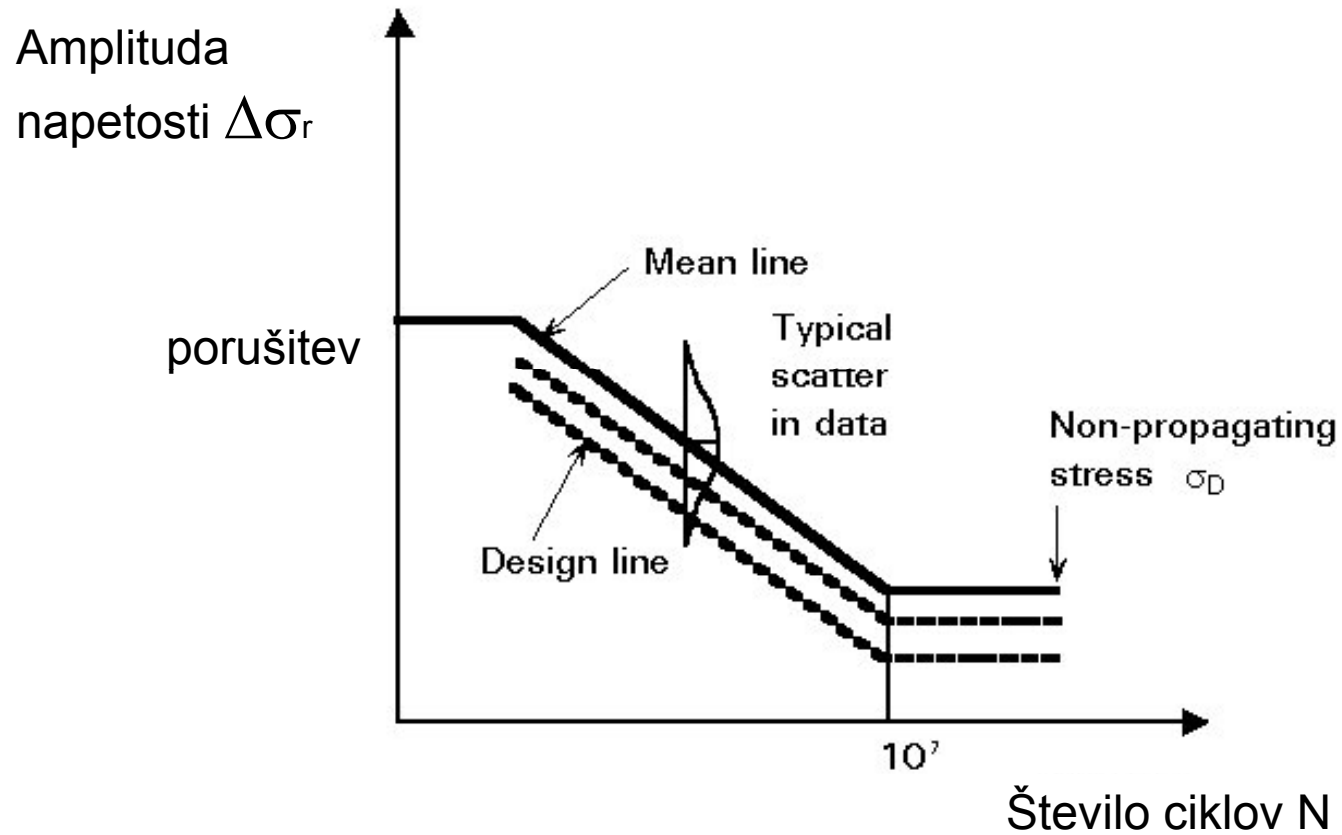


$$N = a / \Delta\sigma_R^m$$

ali

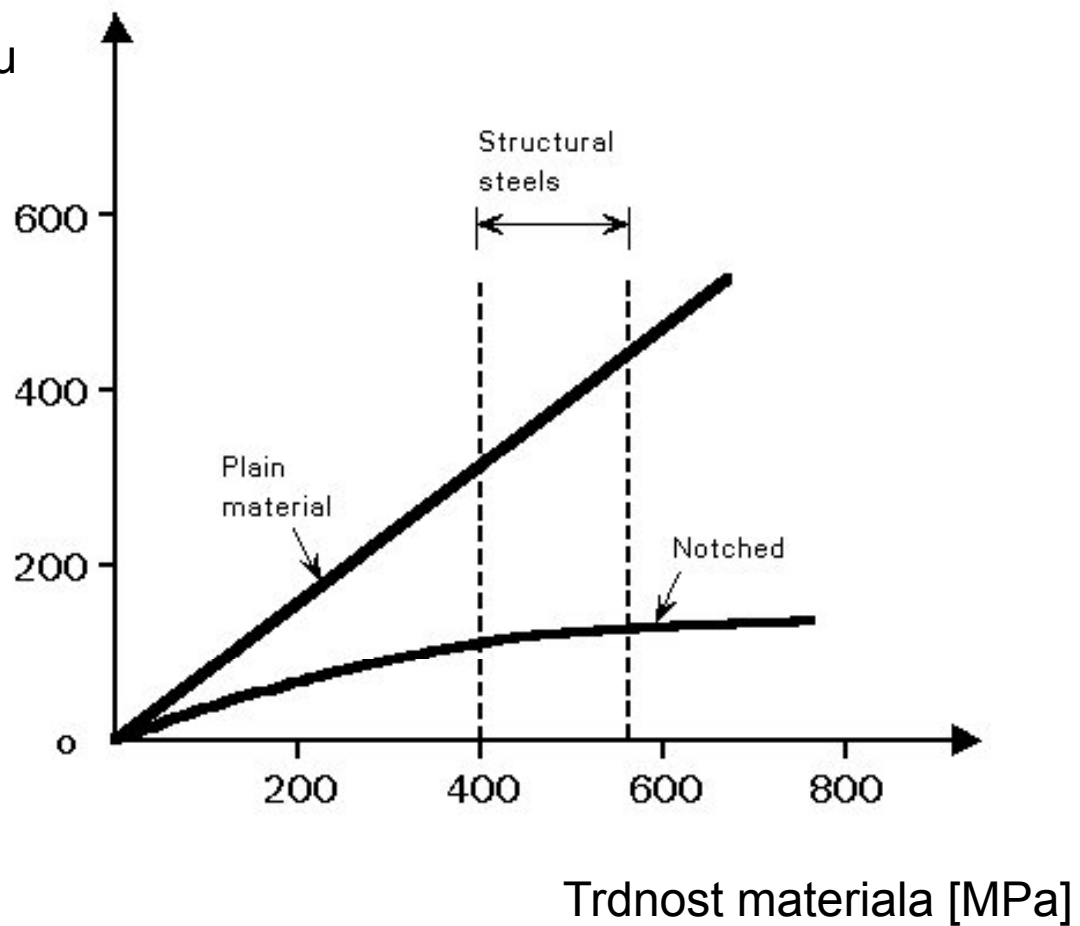
$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R$$

$\Delta\sigma$ -N krivulja za konstantno amplitudo napetosti

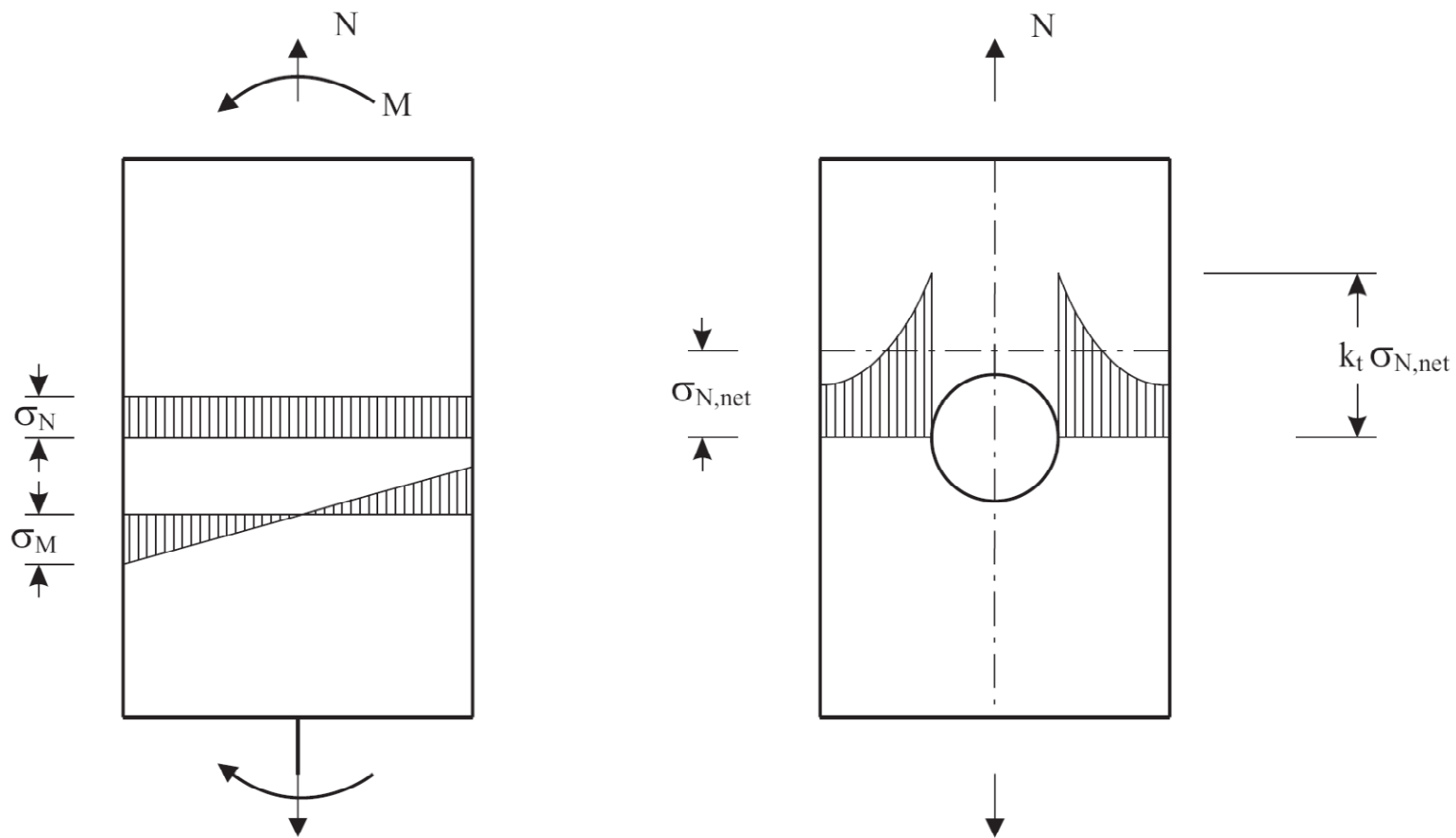


$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R$$

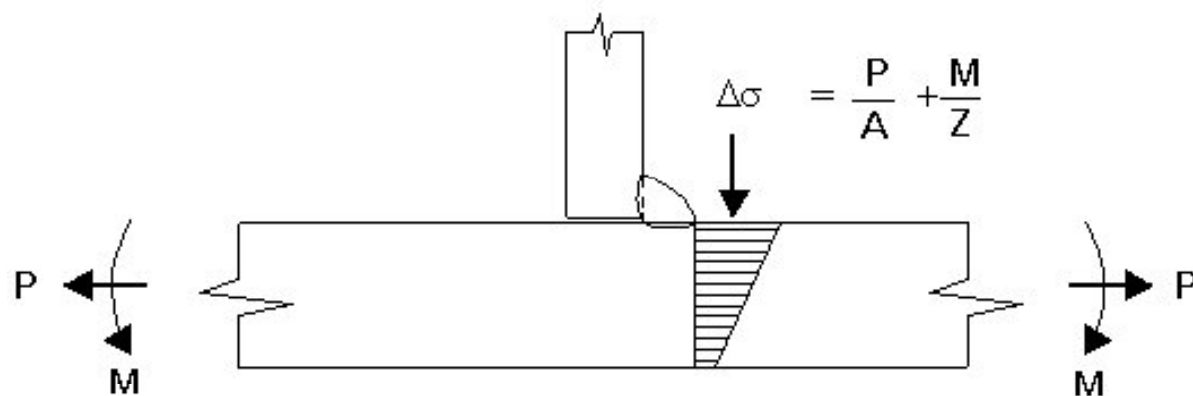
Nosilnost po utrujanju
z milijon ciklov [MPa]



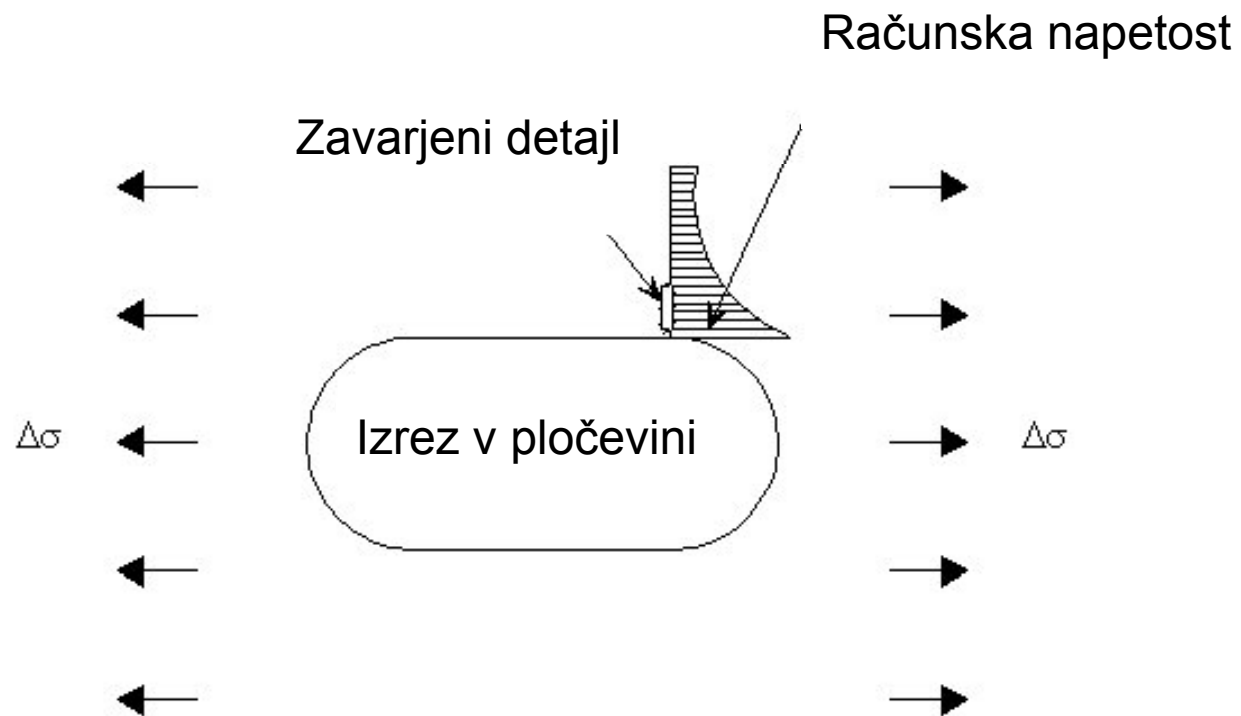
Nosilnost konstrukcijskega jekla po utrujanju z milijon ciklov



Nominalne napetosti in koncentracija napetosti zaradi izreza v pločevini

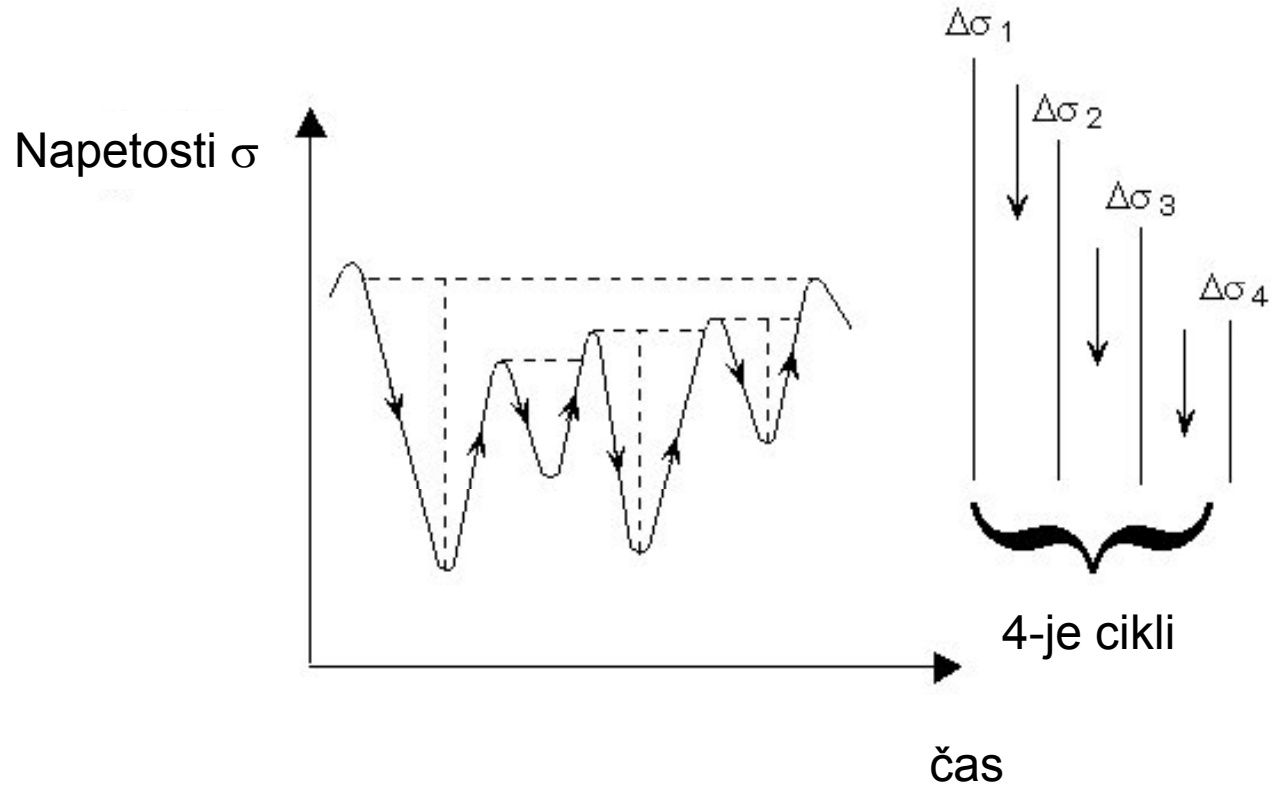


Določitev parametra napetosti za širjenje razpoke



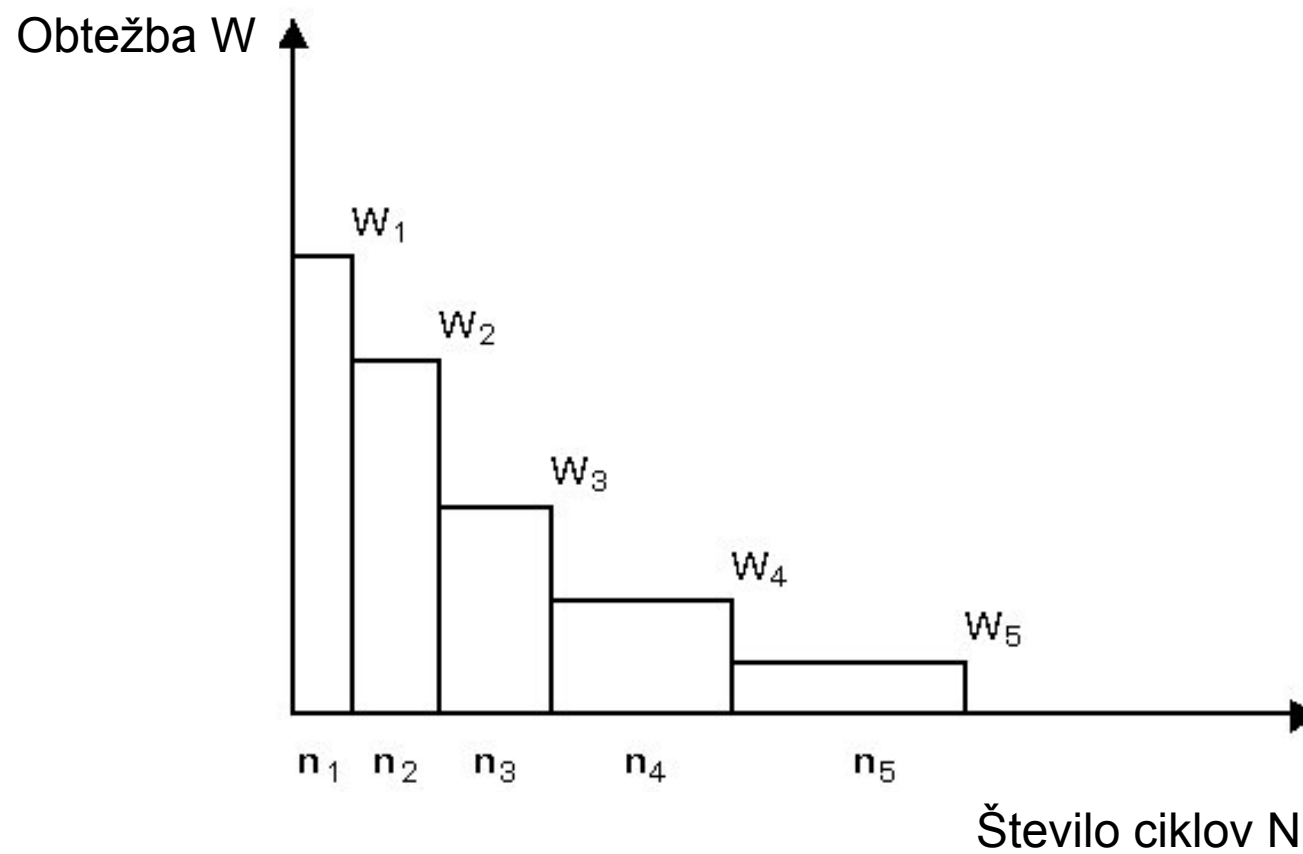
Določitev parametra napetosti za nastanek razpoke zaradi koncentracije napetosti

Utrujanje s spremenljivo amplitudo napetosti



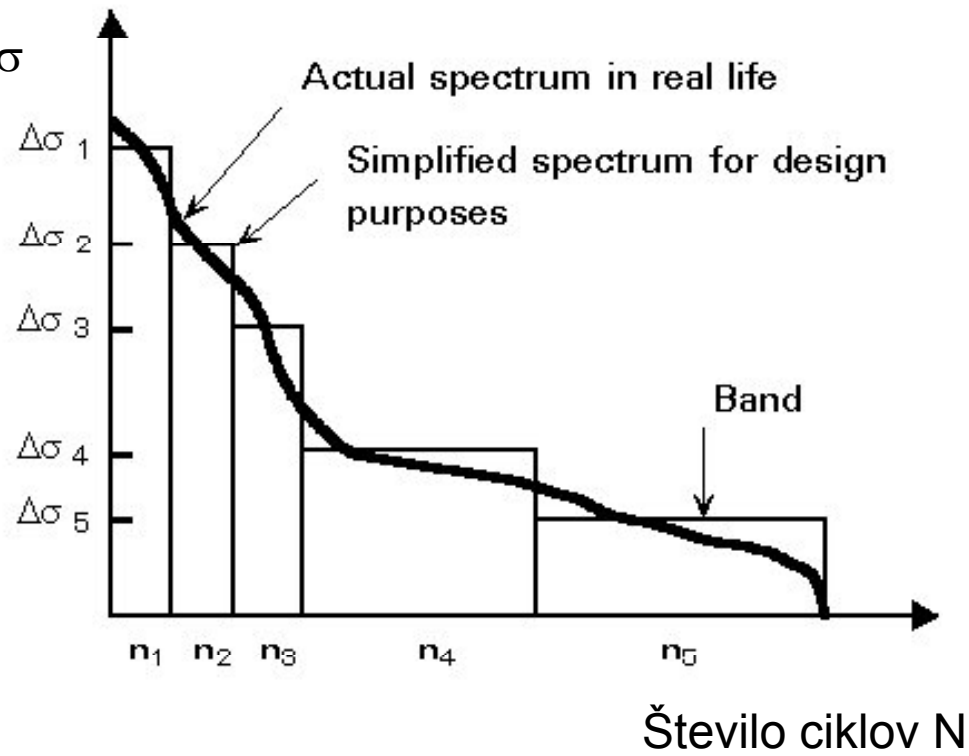
Utrujanje s spremenljivo amplitudo napetosti in spekter napetosti

Spekter obtežbe

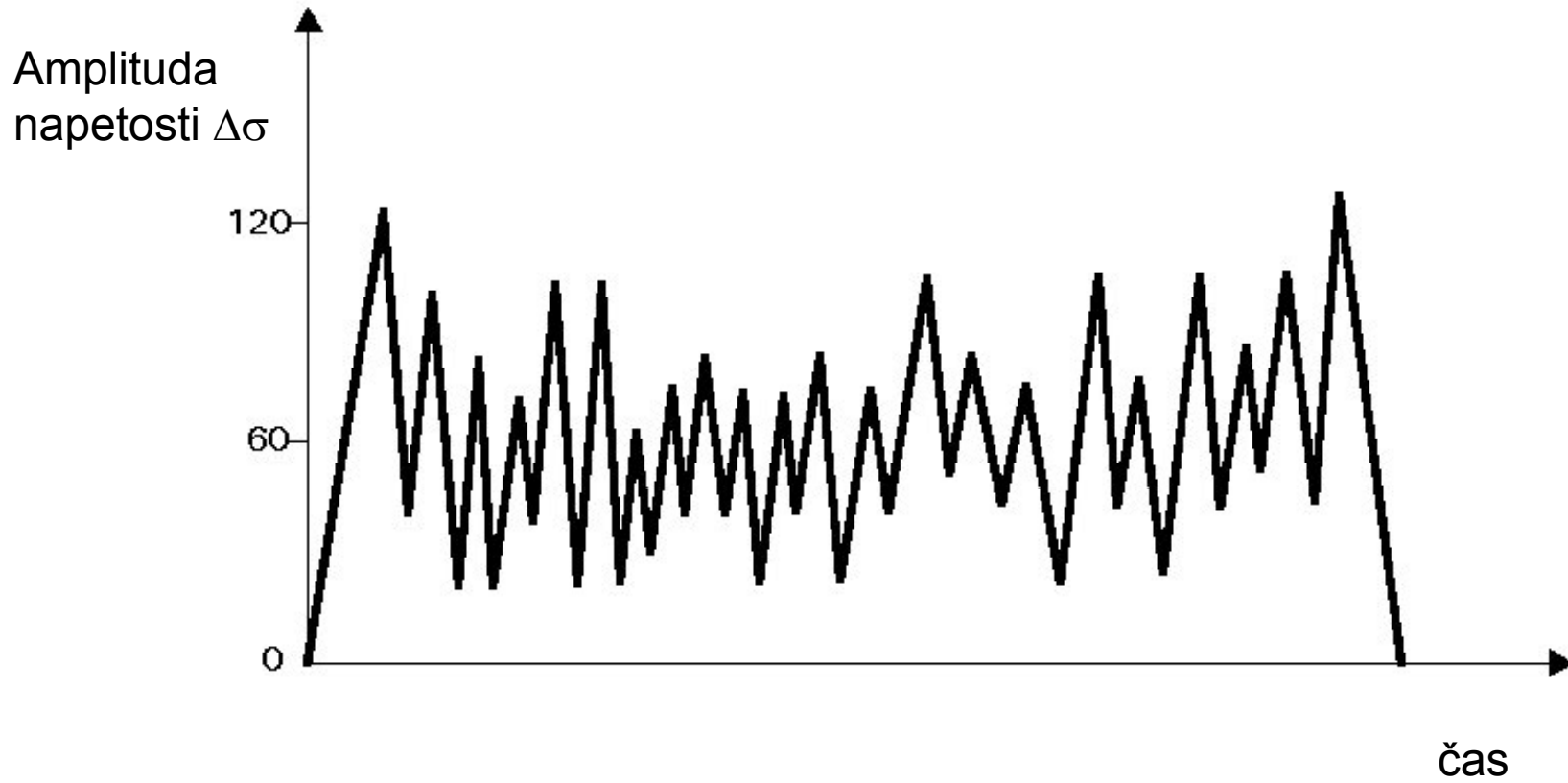


Spekter obtežbe

Amplituda
napetosti $\Delta\sigma$



Primer: **rezervoar** - spremenljiva amplituda obtežbe



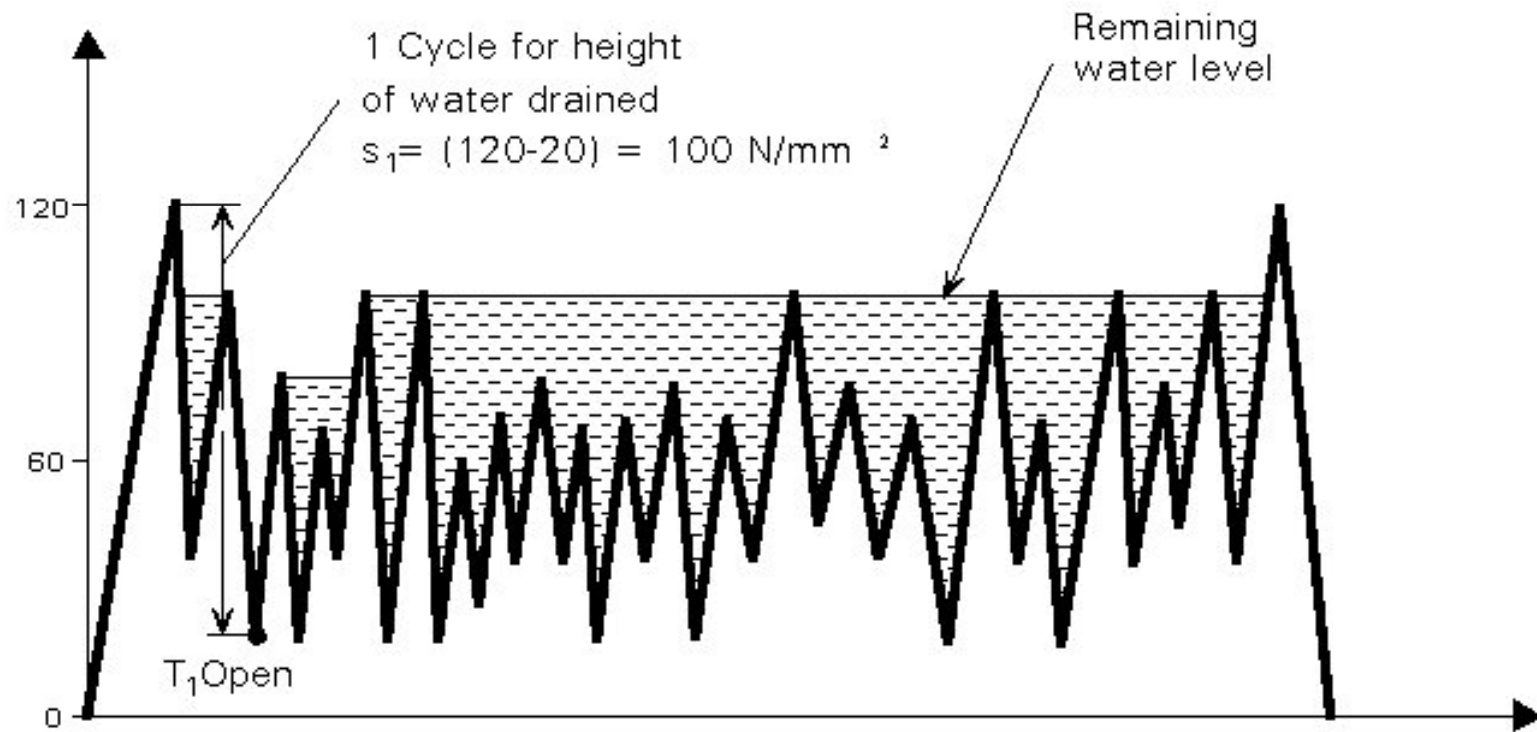


Figure 30b Position after draining T_1 - 1 cycle $S_1 = 100 \text{ N/mm}^2$

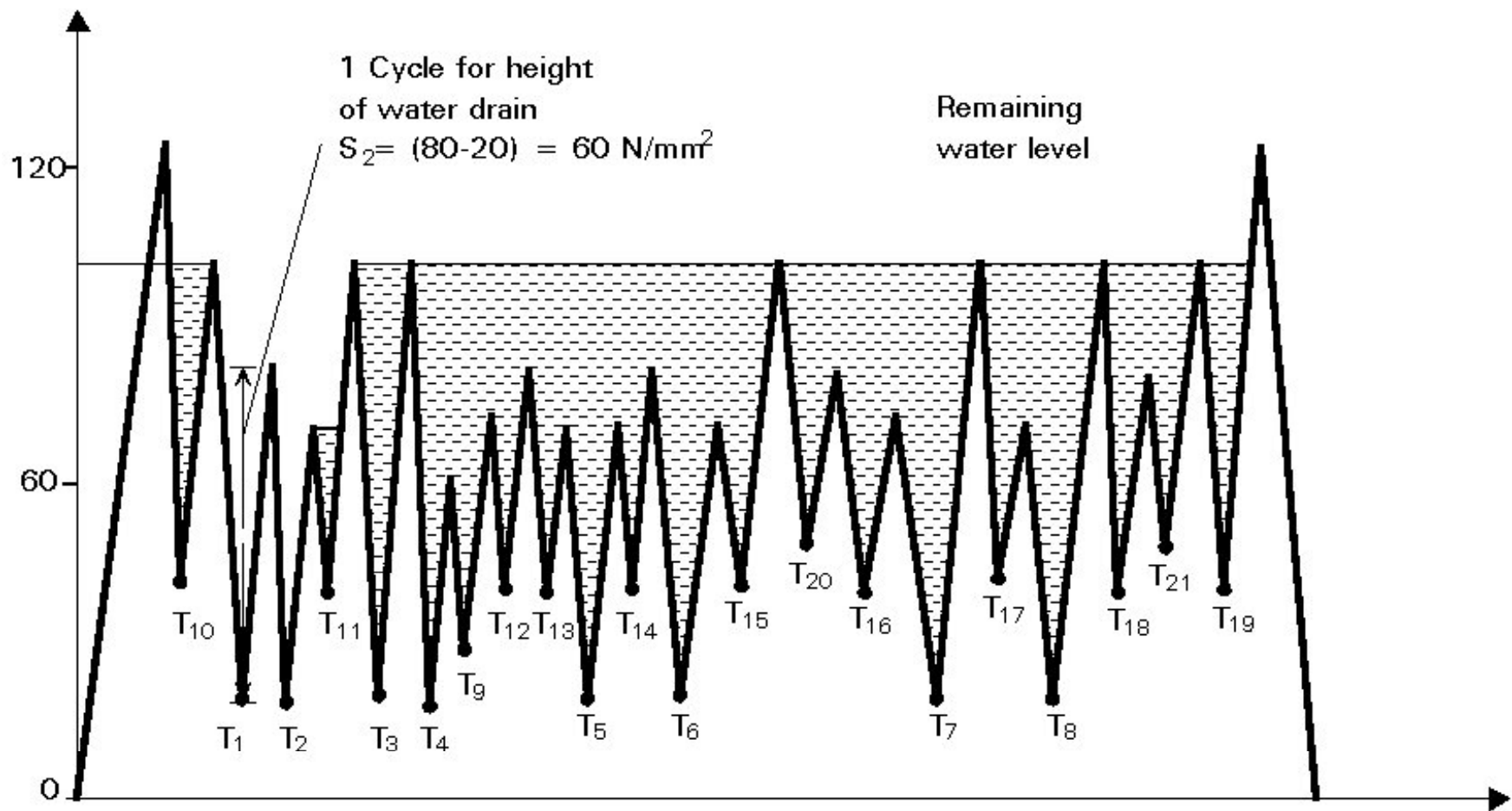
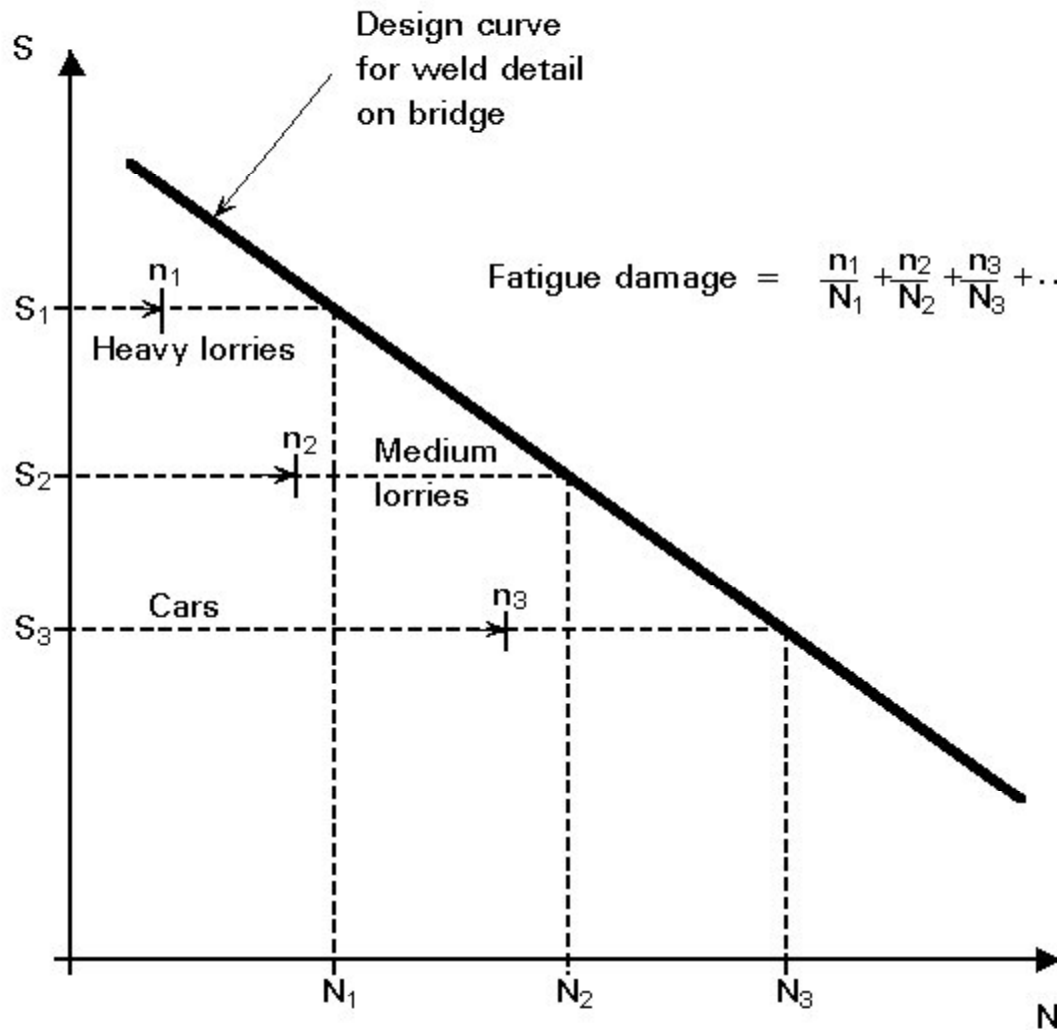


Figure 30c Position after draining T_2 - 1 cycle $S_2 = 60 \text{ N/mm}^2$

Akumulacija poškodb



$$\text{Fatigue damage} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots$$

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots = 1$$

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

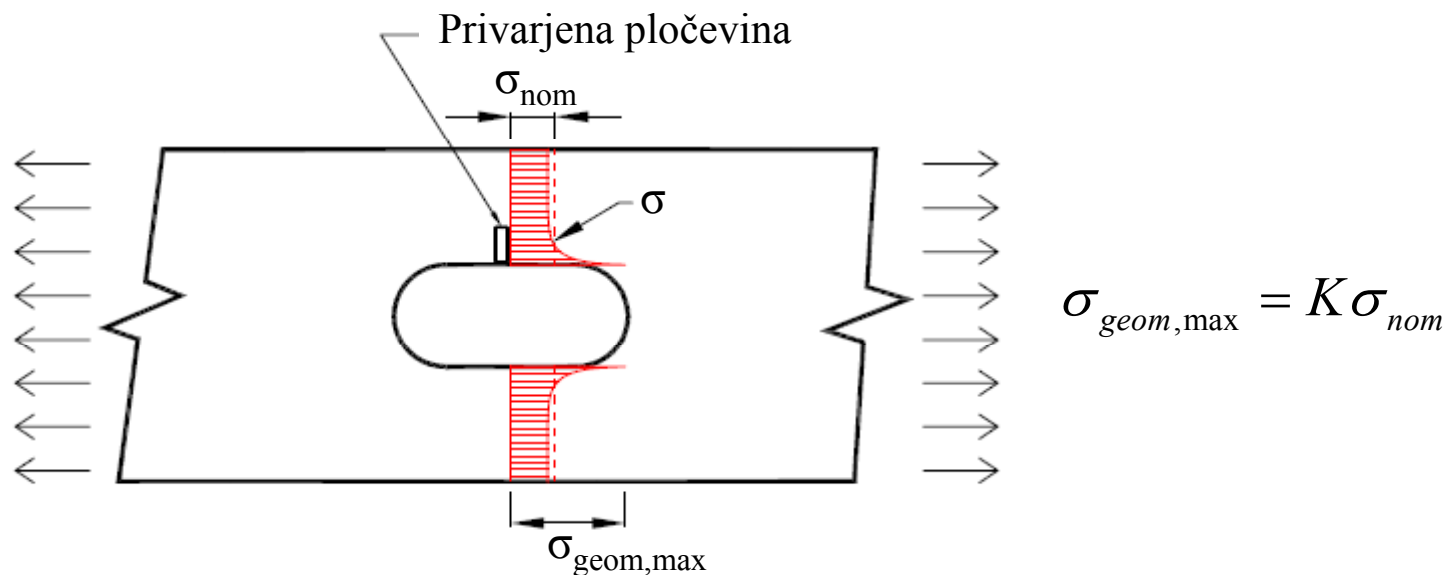
$$\Delta\sigma \leq 1,5 f_y \quad \Delta\tau \leq 1,5 f_y / \sqrt{3}$$

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

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

(SIST) EN 1993-1-9: Utrujanje

- Za standardne konstrukcijske detajle – metoda razlik **nominalnih** napetosti.
- Nestandardni konstrukcijski detajli – metoda razlik **geometrijskih** napetosti.



- Utrujanje spojev, v katerih se stikujejo votli profili.

Kontrola utrujanja

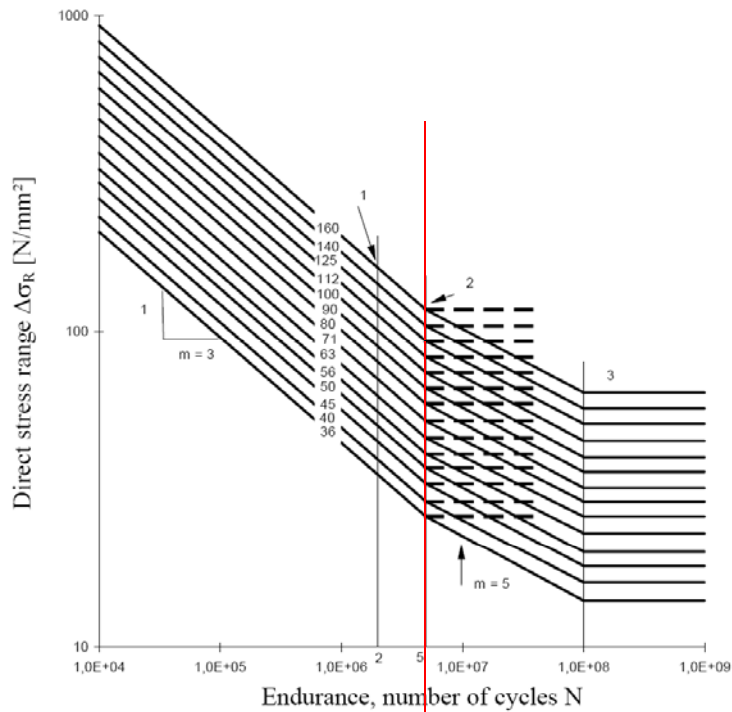
Dva pristopa za zagotavljanje odpornosti na utrujanje glede na razred posledic (porušitve):

Metoda za oceno	Razred posledic	
	Majhne posledice	Velike posledice
Metoda, ki dopušča razvoj poškodb	$\gamma_{Mf} = 1,00$	$\gamma_{Mf} = 1,15$
Metoda, ki izključuje nastanek večjih poškodb	$\gamma_{Mf} = 1,15$	$\gamma_{Mf} = 1,35$

Parcialni obtežni varnostni faktor za utrujanje: $\gamma_{Ff} = 1,00$

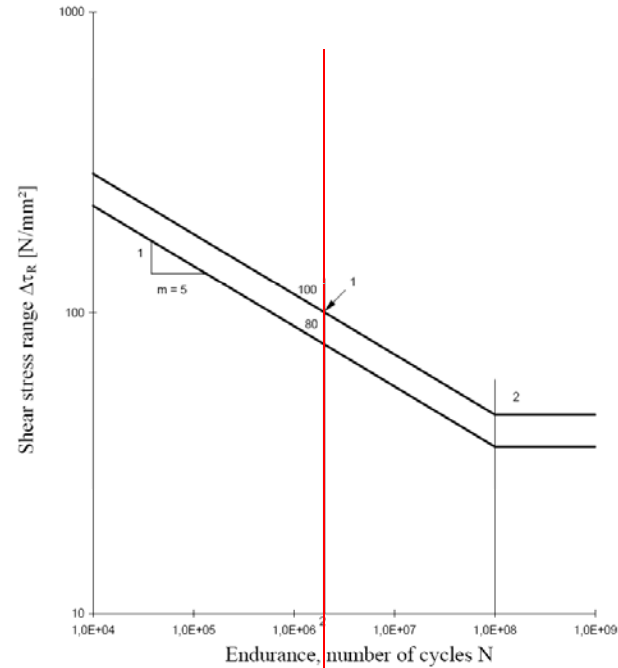
Trdnost utrujanja – S-N krivulje

■ Normalne napetosti



$\Delta\sigma_C$ pri 2×10^6 ciklov

■ Strižne napetosti



$\Delta\tau_C$ pri 2×10^6 ciklov

Kategorija detajla – pomeni referenčno vrednost trdnosti utrujanja $\Delta\sigma_C$ in $\Delta\tau_C$ pri 2 milijonih ciklov (v N/mm^2).

Kontrola odpornosti na utrujanje

- Konstantna amplituda napetosti

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

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

Kontrola odpornosti na utrujanje

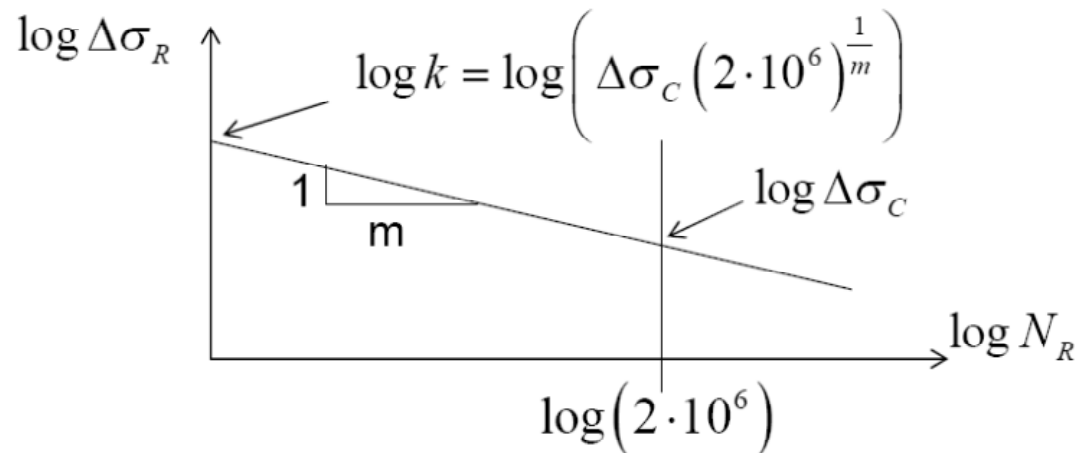
- Spremenljiva amplituda napetosti: Minerjevo pravilo linearne akumulacije poškodb.

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

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

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 števila 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 števila ciklov N_R

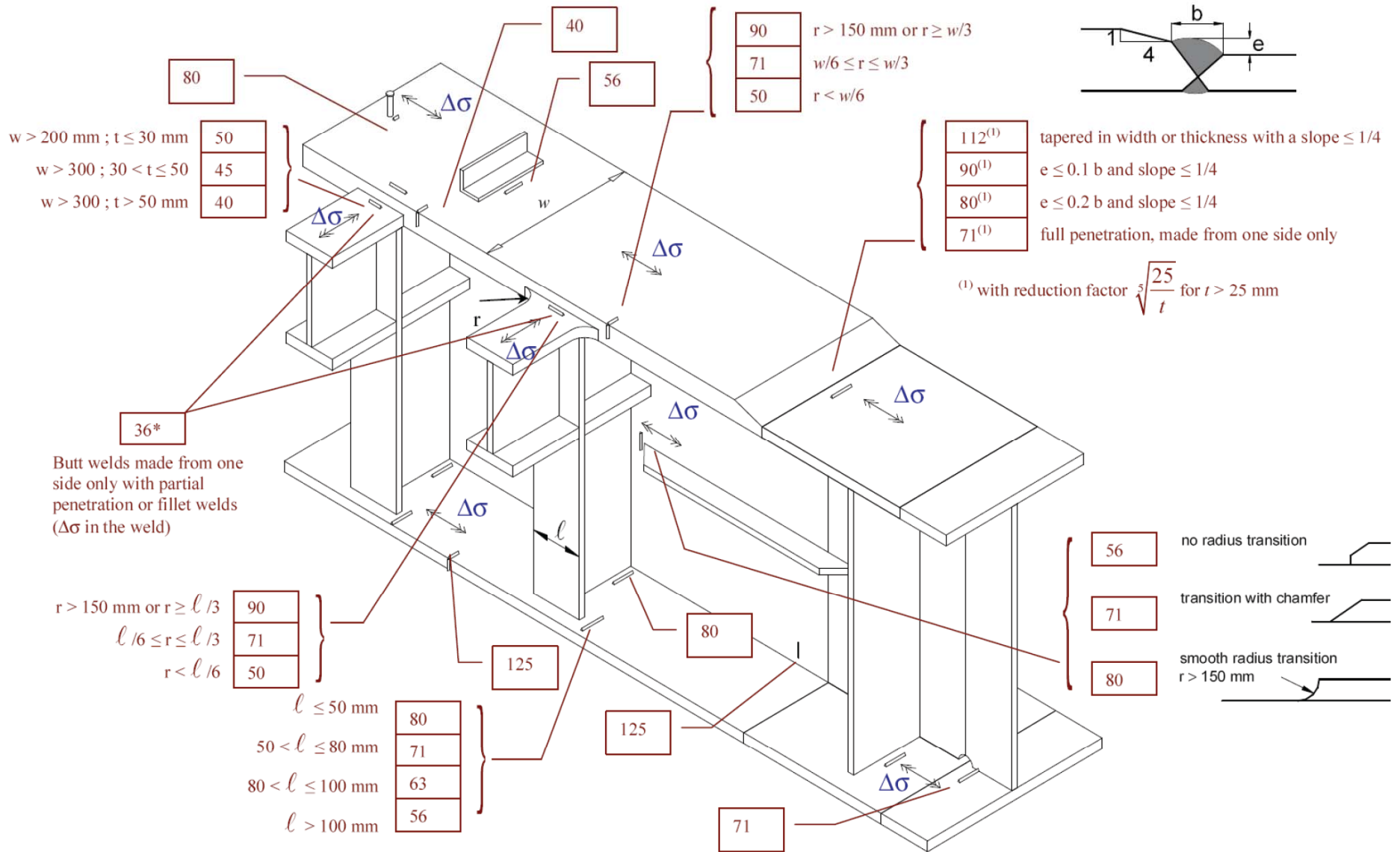
- Strižne razlike napetosti

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

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


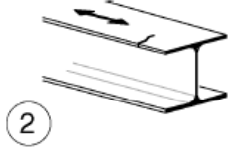
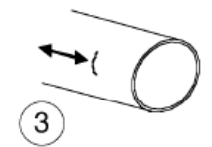


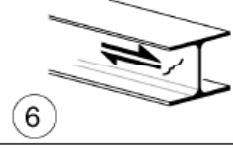
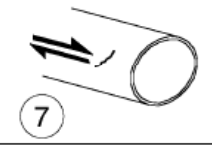
lahko vpliv $\Delta\tau_i$ zanemarimo

Kategorije detaljov



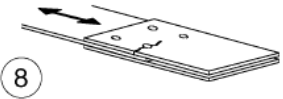
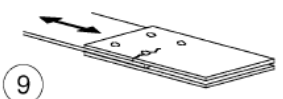
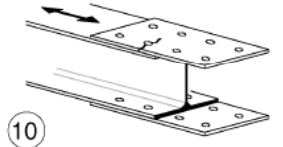
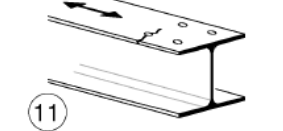
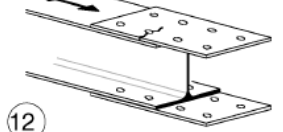
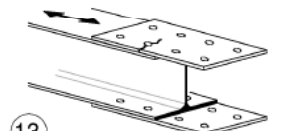
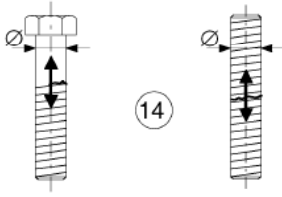
Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.1: Elementi brez konstrukcijskih detajlov in vozlišča z mehanskimi spoji

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
160	<p>OPOMBA Krivulja trdnosti utrujanja za kategorijo 160 je najvišja možna. Noben detajl ne more doseči višje trdnosti utrujanja, ne glede na število ciklov.</p>   	<p><u>Valjani in ekstrudirani izdelki:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Pločevine in trakovi; 2) vročevaljani profili; 3) Brezšivni votli profili, pravokotni ali okrogli. 	<p><u>Detajli 1) do 3):</u></p> <p>Ostri robovi in površinske napake popravljene z brušenjem dokler niso odpravljene ali pa je dosežen gladek prehod.</p>
140		<p><u>Mehansko ali plamensko rezane pločevine:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 4) Material, rezan avtomatsko plamensko ali mehansko, z naknadno obdelavo. 5) Material, razrezan avtomatsko plamensko z gladko in pravilno površino rezanja ali ročno plamensko z naknadno obdelavo, s katero so odstranjene robne nepravilnosti. Avtomatsko plamensko rezanje s kvaliteto reza v skladu z EN 1090. 	<p>4) Vse vidne robne nepravilnosti odstranjene. Območja rezanja pobrušena ali zunanja plast materiala odstranjena in vsi ostružki odstranjeni. Zareze od strojev, npr. od brušenja, so dovoljene le v smeri, vzporedni s smerjo napetosti.</p> <p><u>Detajla 4) in 5):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Navznoter obrnjeni vogali izboljšani z brušenjem (naklon $\leq 1/4$) ali analizirani z ustreznimi faktorji koncentracije napetosti. -Brez popravil s povarjenjem.
125			
100 m = 5	 	<p>6) in 7) Valjani in ekstrudirani proizvodi kot pri detajlih 1), 2), 3)</p>	<p><u>Detajla 6) in 7):</u></p> <p>$\Delta\tau$ izračunan s: $\tau = \frac{V S(t)}{I t}$</p>

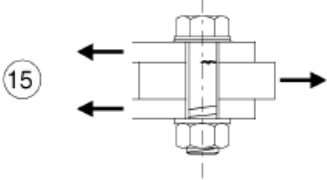
Za detajle 1 – 5, izdelane iz vremensko odpornega jekla, uporabi naslednjo nižjo kategorijo.

Kategorije detajlov po 1993-1-9

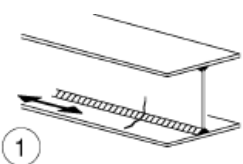
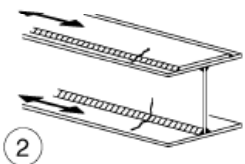
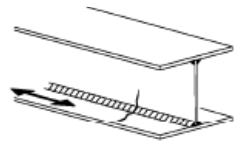
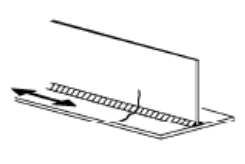
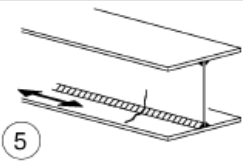
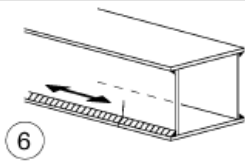
112		8) Simetrični dvostranski preklonni spoj s prednapetimi vijaki.	8) $\Delta\sigma$ se izračuna za bruto prečni prerez.	Za vijaçene spoje (Detalji 8) do 13)) v splošnem: Robna razdalja: $e_1 \geq 1,5 d$
		8) Simetrični dvostranski preklonni spoj s prednapetimi injeciranimi vijaki.	8) ... bruto prečni prerez.	
90		9) Dvostranski preklonni spoj z vijaki s toènim naleganjem.	9) ... neto prečni prerez.	Robna razdalja: $e_2 \geq 1,5 d$ Razmak: $p_1 \geq 2,5 d$ Razmak: $p_2 \geq 2,5 d$ Detajliranje v skladu z EN 1993-1-8, Slika 3.1
		9) Dvostranski preklonni spoj z injeciranimi vijaki, ki niso prednapeti.	9) ... neto prečni prerez.	
		10) Enostranski preklonni spoj s prednapetimi vijaki.	10) ... bruto prečni prerez.	
		10) Enostranski preklonni spoj z injeciranimi prednapetimi vijaki.	10) ... bruto prečni prerez.	
80		11) Konstrukcijski elementi z luknjami, obremenjeni upogibno ali z osno silo.	11) ... neto prečni prerez.	
			12) Enostranski preklonni spoj z vijaki s toènim naleganjem.	12) ... neto prečni prerez.
50			12) Enostranski preklonni spoj z injeciranimi vijaki, ki niso prednapeti.	12) ... neto prečni prerez.
		13) Enostranski ali dvostranski spoj z navadnimi vijaki v običajno velikih luknjah. Obtežba ne spreminja smeri delovanja.	13) ... neto prečni prerez.	
50	vpliv velikosti za $\phi > 30\text{mm}$: $k_s = (30/\phi)^{0,25}$		14) Vijaki in navojne palice z valjanim ali vrezanim navojem v nategu. Pri večjih premerih (sidni vijaki) se vpliv velikosti upošteva s koeficientom k_s .	14) $\Delta\sigma$ se izračuna v računskem prerezu vijaka. Potrebno je upoštevati upogib in natezno silo od ekscentričnega kontaktnega tlaka. Pri prednapetih vijakih se lahko upošteva reducirana razlika napetosti.

Kategorije detajlov po 1993-1-9

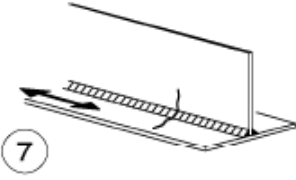
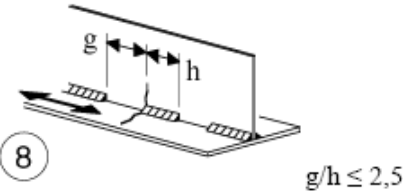
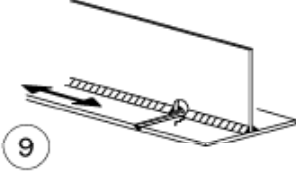
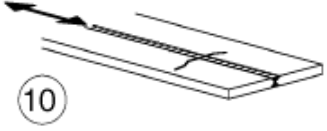

Preglednica 8.1 (nadaljevanje): Elementi brez konstrukcijskih detajlov in vozlišča z mehanskimi spoji

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
100 m=5		<p>Vijaki z eno ali dvema strižnima ravninama</p> <p>Navoji izven strižne ravnine</p> <p>15)</p> <p>- vijaki s točnim naleganjem</p> <p>- običajni vijaki brez obtežbe, ki spreminja smer (trdnostni razredi vijakov 5.6, 8.8 ali 10.9)</p>	<p>15)</p> <p>$\Delta\tau$ izračunana glede na prerez stebra vijaka.</p>

Preglednica 8.2: Varjeni prečni prerezi

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
125	 	<p><u>Neprekinjen vzdolžni zvar:</u></p> <p>1) Dvostranski avtomatski čelni zvar.</p> <p>2) Avtomatski kotni zvar. Konci dodatnih lamel preverjeni glede na detajl 6) ali 7) v preglednici 8.5.</p>	<p><u>Detajla 1) in 2):</u></p> <p>V zvaru niso dovoljene prekinitve varjenja, razen kadar gre za popravilo zvara, opravljeno s strani specialista in z ustrezno kontrolo, ki zagotovi pravilno izvedbo popravila.</p>
112	 	<p>3) Dvostranski avtomatski kotni ali čelni zvari, ki vsebuje prekinitve varjenja.</p> <p>4) Enostranski avtomatski čelni zvar, narejen s pomočjo neprekinjenega podkorenskega traku, ki ne vsebuje prekinitve varjenja.</p>	<p>4) Kadar ta detajl vsebuje prekinitve varjenja, se upošteva kategorija detajla 100.</p>
100	 	<p>5) Ročni kotni ali čelni zvar.</p> <p>6) Enostranski ročni ali avtomatski čelni zvar, predvsem pri škatlastih nosilcih</p>	<p>5), 6) Pomembno je dobro naleganje med pasnico in stojino. Rob stojine mora biti pripravljen na tak način, da se lahko doseže polna penetracija zvara brez nevarnosti preboja.</p>

Kategorije detajlov po 1993-1-9

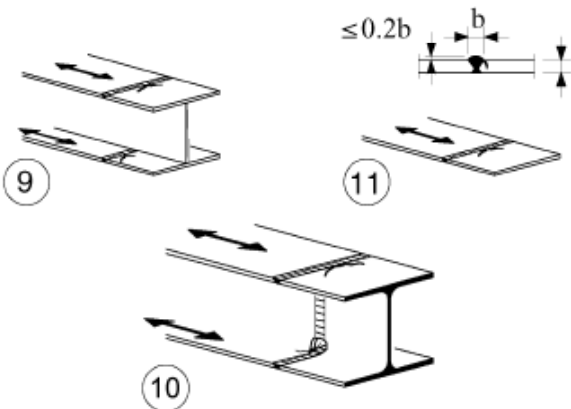
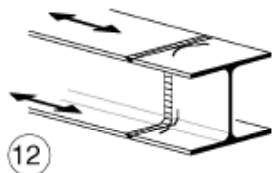
100		7) Popravljen avtomatski ali ročni kotni ali čelni zvar kategorij 1) do 6).	7) Izboljšanje z brušenjem s strani specialista, da se odstranijo vsi vidni znaki popravila, in ustrezna verifikacija, lahko povrnejo začetno kategorijo.
80		8) Prekinjeni vzdolžni kotni zvari.	8) $\Delta\sigma$ temelji na vzdolžnih napetostih v pasnici.
71		9) Vzdolžni čelni, kotni ali prekinjeni zvari z luknjo za lažjo izvedbo prečnih zvarov, katere višine ne presega 60 mm. Za luknje z višino, večjo od > 60 mm glej detajl 1) v preglednici 8.4	9) $\Delta\sigma$ temelji na vzdolžnih napetostih v pasnici.
125		10) Vzdolžni čelni zvar, obojestransko pobrušen v vzdolžni smeri do ravnine pločevine, 100% neporušne preiskave	
112		10) Brez brušenja in brez prekinjanja varjenja	
90		10) S prekinjanjem varjenja	
140		11) Avtomatski vzdolžni (šivni) zvar brez prekinjanja varjenja, pri votlih profilih	11) Brez napak izven toleranc iz EN 1090. Debelina stene $t \leq 12,5$ mm.
125		11) Avtomatski vzdolžni (šivni) zvar brez prekinjanja varjenja, pri votlih profilih	11) Debelina stene $t > 12,5$ mm.
90		11) S prekinjanjem varjenja	
Za detajle 1 do 11, izdelane robotsko, veljajo kategorije za avtomatsko varjenje.			

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.3: Prečni čelni zvari



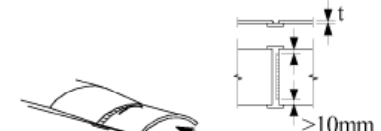
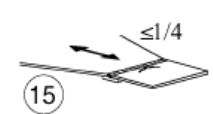
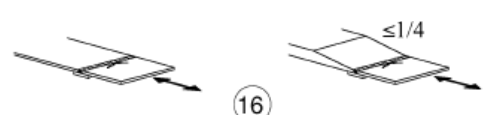
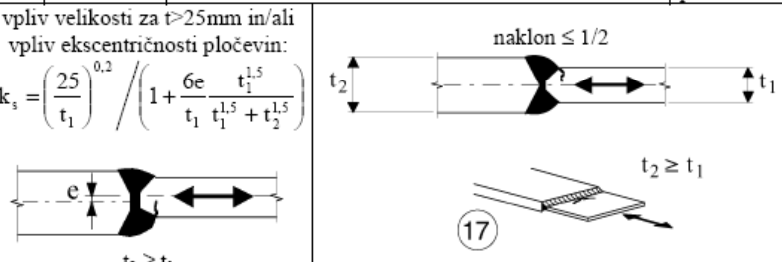
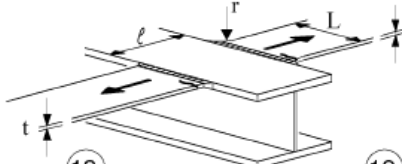
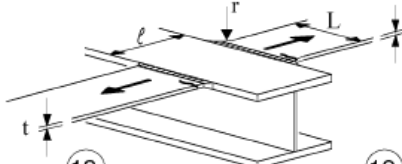
Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve
112		<p><u>Brez podkorenskega traku:</u></p> <p>1) Prečni spoji v pločevinah. 2) Spoji v pasnicah in stojinah polnostenskih nosilcev pred sestavo nosilcev. 3) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov brez lukenj v stojini za lažjo izvedbo zvarov. 4) Prečni spoji v pločevinah s spremenljivo višino ali širino, z nagibom $\leq 1/4$.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vsi zvari pobrušeni v smeri puščice do ravnine pločevine. - Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine. - Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami. <p><u>Detajl 3):</u> Nanaša se na valjane profile, ki so prerežani in ponovno zvarjeni.</p>
90		<p>5) Prečni spoji v pločevinah. 6) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov brez lukenj v stojini za lažjo izvedbo zvarov. 7) Prečni spoji v pločevinah s spremenljivo višino ali širino, z nagibom $\leq 1/4$. Prehod zvarov mora biti strojno obdelan, da je brez zarez.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nadvišanje zvara ne presega 10% širine zvara, z gladkim prehodom v površino pločevine. - Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine. - Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami. <p><u>Detajla 5 in 7:</u> Zvari izdelani v horizontalni legi.</p>
90		<p>8) Kot detajl 3), vendar z luknjo v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vsi zvari pobrušeni v smeri puščice do ravnine pločevine. - Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine. - Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami. - Valjani profili z enakimi dimenzijami brez razlik zaradi toleranc.

Kategorije detajlov po 1993-1-9

80	<p>vpliv velikosti za $t > 25\text{mm}$:</p> $k_s = (25/t)^{0.2}$		<p>9) Prečni spoji v varjenih polnostenskih nosilcih brez lukenj za lažje varjenje.</p> <p>10) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov z luknjami v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</p> <p>11) Prečni spoji v pločevinah, valjanih profilih ali varjenih polnostenskih nosilcih.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nadvišanje zvara ne presega 20% širine zvara, z gladkim preходом v površino pločevine. - Zvar ni pobrušen - Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine. - Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami. <p><u>Detajl 10:</u> Višina nadvišanja zvara ne sme presegati 10% širine zvara, z gladkim preходом v površino pločevine.</p>
63			<p>12) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov brez lukenj v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine. - Obojestransko varjeni zvari.

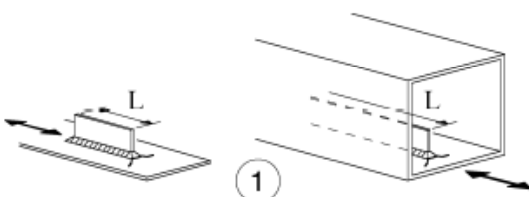
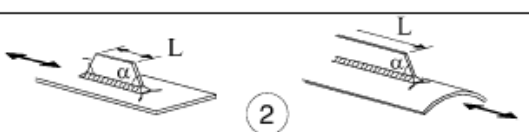
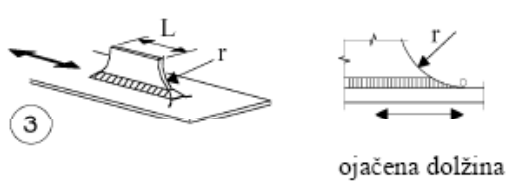
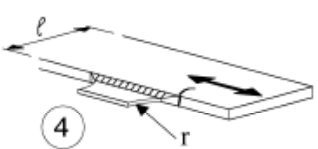
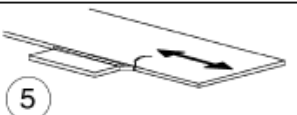
Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.3 (nadaljevanje): Prečni čelni zvari

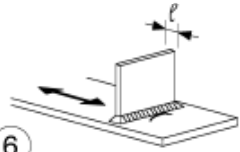
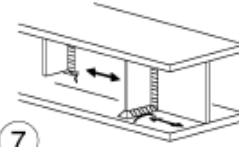
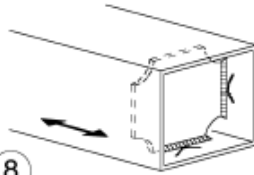
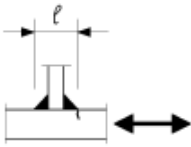
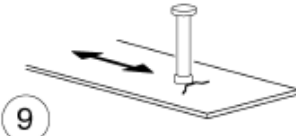
Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve
36		13) Čelni zvar, izdelan samo z ene strani.	13) Brez podkorenskega traku.
71		13) Čelni zvar, izdelan samo z ene strani, kadar je polna penetracija preverjena z ustrezno neporušno preiskavo.	
71	 	<u>S podkorenskim trakom:</u> 14) Prečni spoj. 15) Prečni čelni zvar s spremenljivo debelino ali širino z naklonom ≤ ¼. Velja tudi za zakrivljene pločevine.	<u>Detajla 14) in 15):</u> Kotni zvari za pritrjevanje pokorenskega traku se morajo kočati vsaj 10 mm od robov spajane pločevine. Ti zvari morajo ležati znotraj volumna prečnega zvara.
50		16) Prečni čelni zvar na stalnem podkorenskem traku, s spremenljivo debelino ali širino z naklonom ≤ ¼. Velja tudi za zakrivljene pločevine.	16) Kadar se zvar za pritrjevanje podkorenskega traku ne konča vsaj 10 mm od robov spajane pločevine, ali če dobrega naleganja podkorenskega traku ni mogoče doseči.
71		17) Prečni čelni zvar, različni debelini pločevin brez zveznega prehoda, težiščni liniji pločevin poravnani.	
Kot detajl 1 v pregl. 8.5		18) Prečni čelni zvar pri sekajočih se pasnicah.	<u>Detajla 18) in 19):</u>
Kot detajl 4 v Pregl. 8.4		19) Z radijem prehoda v skladu s preglednico 8.4, detajl 4.	Odpornost na utrujanje pasnice, ki poteka kontinuirno, se preveri glede na detajl 4 ali 5 v preglednici 8.4.

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.4: Varjeni priključki in ojačitve

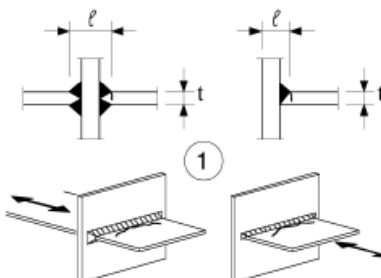
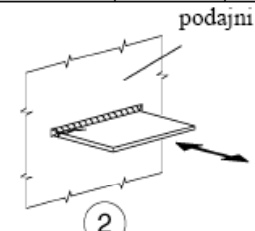
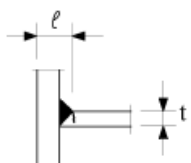
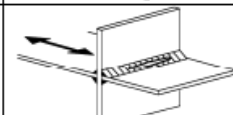
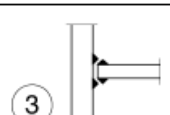
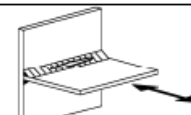
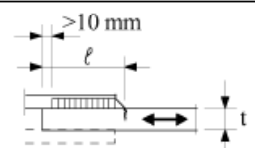
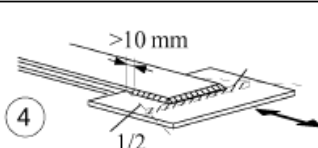
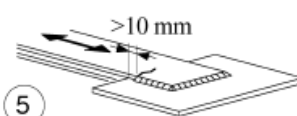
Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve	
80	$L \leq 50\text{mm}$		<p><u>Vzdolžni priključki:</u></p> <p>1) Kategorija detajla se spreminja glede na dolžino L priključka.</p>	<p>Debelina priključka mora biti manjša od njegove višine. V nasprotnem primeru glej preglednico 8.5, detajl 5 ali 6.</p>
71	$50 < L \leq 80\text{mm}$			
63	$80 < L \leq 100\text{mm}$			
56	$L > 100\text{mm}$			
71	$L > 100\text{mm}$ $\alpha < 45^\circ$		2) Vzdolžni priključek na pločevino ali cev.	
80	$r > 150\text{mm}$		3) Z vzdolžnimi kotnimi zvari privarjena priključna pločevina, z radijem prehoda na osnovno pločevino ali cev; zadnji del kotnega zvara je ojačen (polna penetracija); dolžina ojačitve zvara $> r$.	<p><u>Detajla 3) in 4):</u></p> <p>Gladek prehod z radijem r, narejenim z mehansko obdelavo ali s plamenskim rezanjem pred varjenjem, zatem brušenje zvara vzporedno smeri puščice, da se prečni zvar na robu povsem odstrani.</p>
90	$\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ ali $r > 150\text{mm}$		4) Priključna pločevina, privarjena na rob pločevine ali pasnice nosilca.	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$			L: dolžina priključka kot v detajlih 1, 2 ali 3
40			5) Varjeno, brez obdelave, brez radija prehoda.	

Kategorije detajlov po 1993-1-9

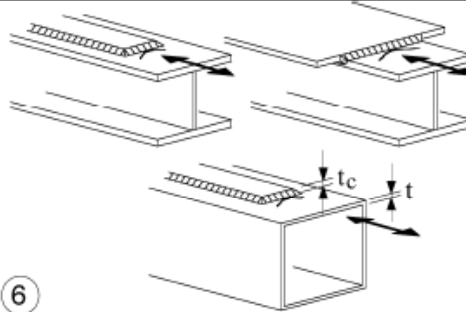
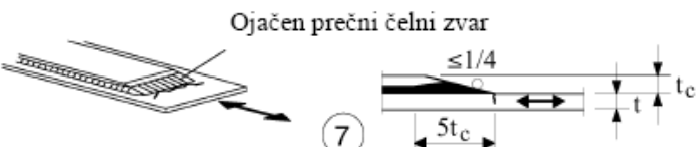
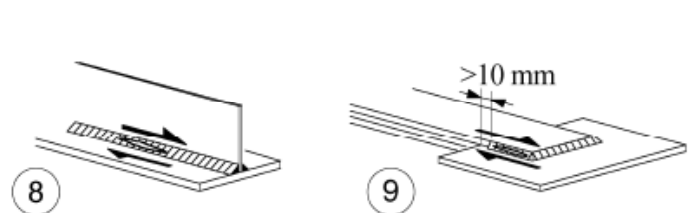
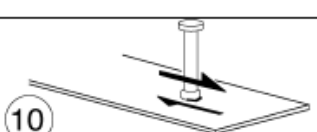


80	$\ell \leq 50\text{mm}$	 	<p><u>Prečni priključki:</u></p> <p>6) Varjeni na pločevino.</p> <p>7) Vertikalne ojačitve, privarjene na valjani ali varjeni nosilec.</p> <p>8) Diafragma škatlastega nosilca, privarjena na pasnico ali stojino. Ni mogoče izvesti pri manjših votlih profilih.</p> <p>Vrednosti veljajo tudi za obročne ojačitve.</p>	<p><u>Detajla 6) in 7):</u></p> <p>Konci zvara morajo biti pazljivo obrušeni, da se odstranijo vse zajede, ki bi lahko bile prisotne.</p> <p>7) $\Delta\sigma$ se izračuna z uporabo glavnih napetosti, če ojačitev ne sega do pasnice, glej levo ojačitev.</p>
71	$50 < \ell \leq 80\text{mm}$	 	<p>9) Vpliv varjenih strižnih čepov na osnovni material.</p>	
80				

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.5: Varjeni spoji, ki prenašajo obtežbo

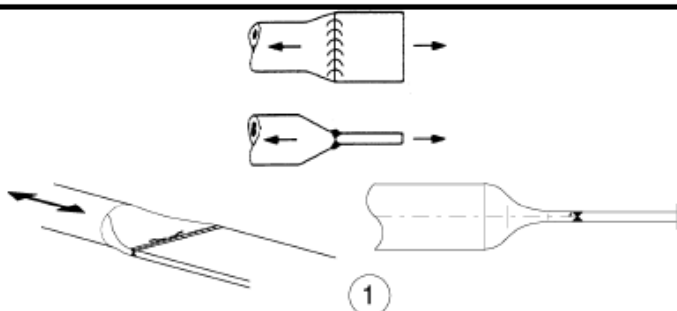
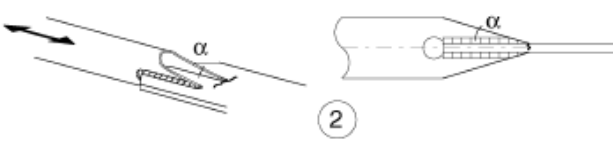
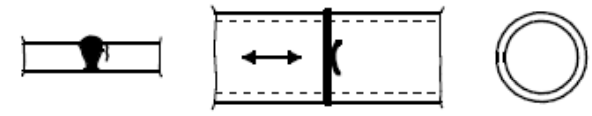
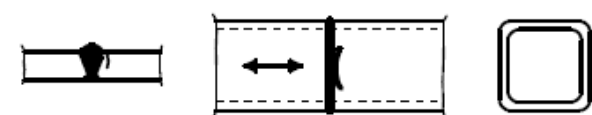
Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl		Opis	Zahteve
80	$l < 50 \text{ mm}$	vsi t [mm]		<p><u>X in T spoji:</u></p> <p>1) Porušitev ob robu čelnega zvara s polno penetracijo in vseh zvarov z delno penetracijo.</p> <p>2) Pri izračunu $\Delta\sigma$ uporabi modificirano nominalno napetost.</p> <p>3) Pri delno penetriranih zvarih sta potrebni dve ločeni kontroli. Nevarnost nastanka razpoke v korenu zvara se preveri z napetostmi, definiranimi v poglavju 5. Za $\Delta\sigma_w$ se uporabi kategorija 36*, za $\Delta\tau_w$ pa kategorija 80. Nevarnost nastanka razpoke ob robu zvara se preveri s pomočjo razlike napetosti $\Delta\sigma$ v priključeni (obremenjeni) pločevini.</p>
71	$50 < l \leq 80$	vsi t		
63	$80 < l \leq 100$	vsi t		
56	$100 < l \leq 120$	vsi t		
56	$l > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$ $l > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$	<p>2) Porušitev ob robu zvara, s koncentracijami napetosti ob robovih priključene pločevine zaradi podajnosti panela.</p> <p>3) Porušitev v korenu delno penetriranih ali kotnih zvarov T spojev in polno penetriranih čelnih zvarov T spojev.</p> <p><u>Preklopni varjeni spoji:</u></p> <p>4) Preklopni spoji s kotnimi zvari.</p> <p><u>Preklopni varjeni spoji:</u></p> <p>5) Preklopni spoji s kotnimi zvari.</p>	
Kot detajl 1 v pregl. 8.5	<p>podajni panel</p>  			
36*	  			
Kot detajl 1 v pregl. 8.5	  <p>sodelujoč prerez osnovne pločevine: naklon = 1/2</p>			
45*				

Kategorije detajlov po 1993-1-9

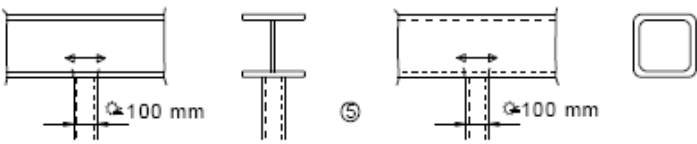
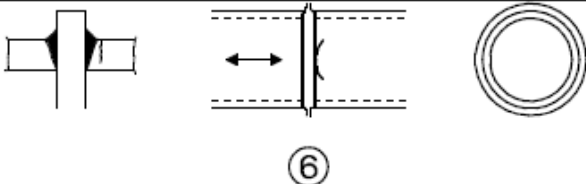
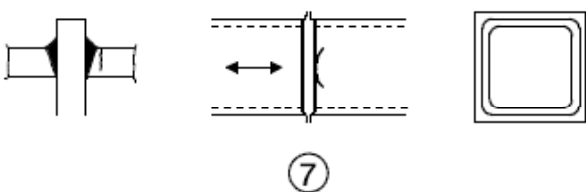
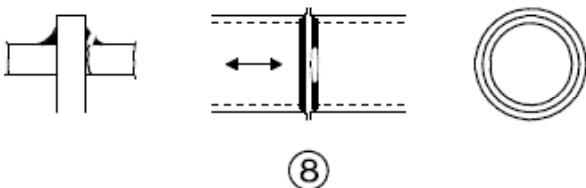
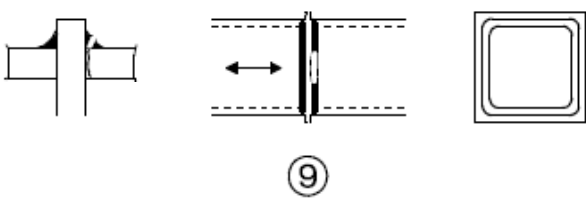
	$t_c < t$	$t_c \geq t$	 <p>6</p>	<p><u>Dodatne lamele pri valjanih in varjenih nosilcih:</u></p> <p>6) Konci enojnih ali večkratnih lamel s čelnimi zvari ali brez njih.</p>	6) Če je dodatna lamela širša od pasnice, je prečni čelni zvar potreben. Ta zvar je potrebno pazljivo pobrusiti, da se odstranijo morebitne zajede. Najmanjša dolžina lamel je 300 mm. Pri krajših priključkih glej detajl 1).	
56*	$t \leq 20$	-				
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$				
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$				
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$				
36	-	$t > 50$				
56	<p>Ojačen prečni čelni zvar</p>  <p>7</p>		<p>7) Dodatne lamele pri valjanih in varjenih nosilcih.</p> <p>5t_c je najmanjša dolžina ojačitve zvara.</p>	7) Prečni čelni zvar mora biti pobrušen, da se ustvari gladek prehod v pločevino. Če je t _c > 20mm, mora biti čelni rob pločevine pobrušen v naklonu <math>< 1/4</math>.		
80	 <p>8</p> <p>9</p>		<p>8) Neprekinjeni kotni zvari za prenos strižnega toka, npr. iz stojine v pasnico varjenega polnostenskega nosilca.</p> <p>9) Kotni zvari v preklonih spojih.</p>	<p>8) Δt se določi na osnovi debeline (korenske mere) zvara.</p> <p>9) Δt se določi na osnovi debeline (korenske mere) zvara ob upoštevanju celotne dolžine zvara. Zvar se konča več kot 10 mm od roba pločevine, glej tudi 4) in 5).</p>		
glej EN 1994-2 (90 m=8)	 <p>10</p>		<p><u>Varjeni strižni čep:</u></p> <p>10) Pri sovprežnih elementih</p>	10) Δt se določi na osnovi nominalnega prečnega prereza čepa.		
71	 <p>11</p>		11) Spoj med cevjo in prirobnico, izdelan z delno penetriranim čelnim zvarom z vsaj 80% penetracijo.	11) Zunanji rob zvara pobrušen. $\Delta \sigma$ se izračuna v cevi.		
40	 <p>12</p>		12) Spoj med cevjo in prirobnico, izdelan s kotnimi zvari.	12) $\Delta \sigma$ se izračuna v cevi.		

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.6: Votli profili (t ≤ 12,5 mm)

Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve
71	 <p>1</p>	1) Spoj cev-pločevina, cev je sploščena, čelni X zvar	1) $\Delta\sigma$ izračunana v cevi. Velja samo za cevi s premerom, manjšim od 200 mm.
71	 <p>2</p>	2) Spoj cev-pločevina, cev zarezana in privarjena na vstavljeno pločevino. Luknje na koncu zarez.	2) $\Delta\sigma$ izračunana v cevi. Strižna odpornost zvarov mora biti preverjena glede na preglednico 8.5, detajl 8).
63		$\alpha > 45^\circ$	
71	 <p>3</p>	<u>Prečni čelni zvari:</u> 3) Čelni varjeni spoj med okroglima votlima profiloma.	<u>Detajla 3) in 4):</u> - Nadvišanje zvara ne presega 10% širina zvara, z gladkim prehodom v površino pločevine. - Varjeno v horizontalni legi, prekontrolirati, da je obseg nepravilnosti v zvarih v skladu s tolerancami iz EN1090. - Razvrsti za 2 kategoriji detajlov višje, če je t > 8 mm.
56	 <p>4</p>	4) Čelni varjeni spoj med pravokotnima votlima profiloma.	

Kategorije detajlov po 1993-1-9

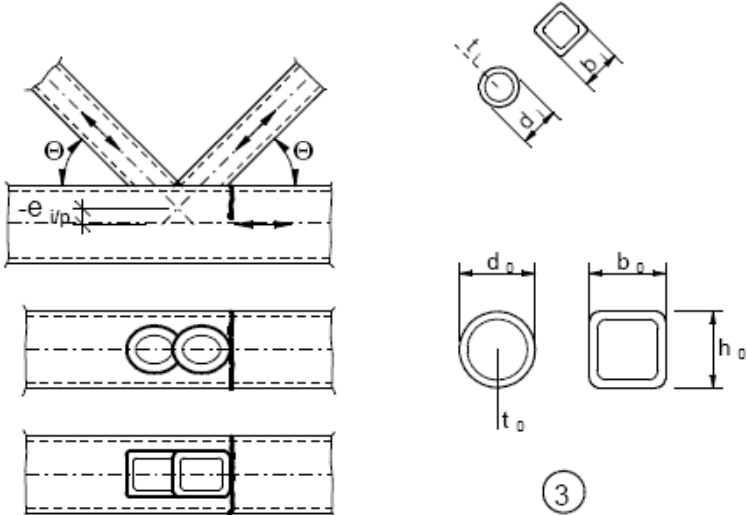
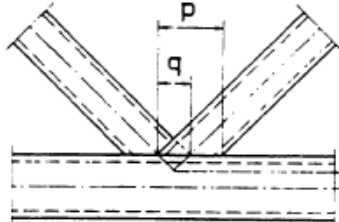
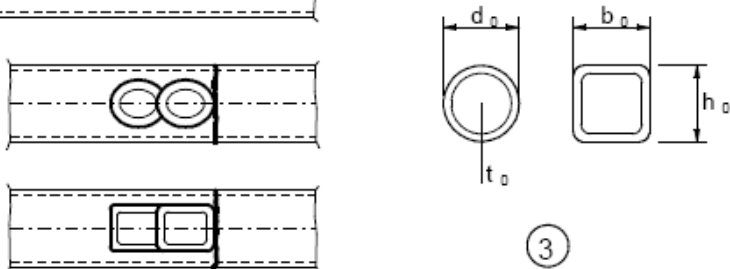
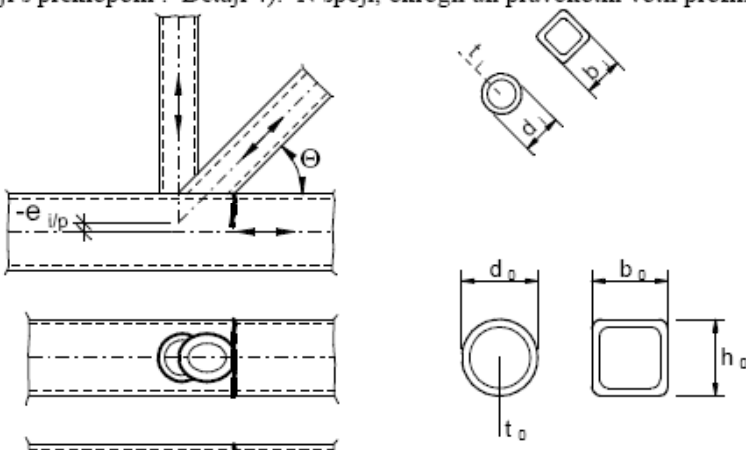
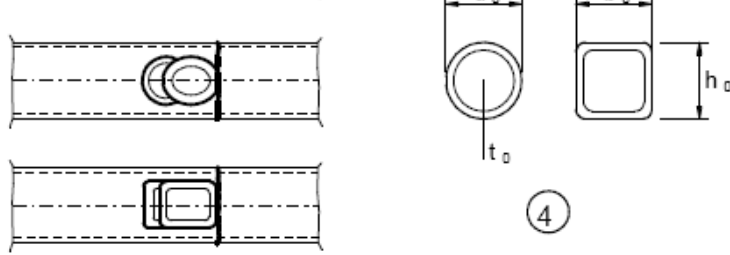
71		<p><u>Varjeni priključki:</u></p> <p>5) Okrogli ali pravokotni votli profili, s kotnimi zvari privarjeni na druge profile.</p>	<p>5)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zvari ne prenašajo obtežbe. - Širina vzporedno delovanju napetosti $l \leq 100$ mm. - Za ostale primere glej pregl. 8.4.
50		<p><u>Čelni varjeni spoji v profilih:</u></p> <p>6) Okrogli, votli profili, spoji s čelnimi zvari z vmesno čelno pločevino.</p>	<p><u>Detajla 6) in 7):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Zvari prenašajo obtežbo. - prekontrolirati, da je obseg nepravilnost v zvarih v skladu s tolerancami iz EN1090.
45		<p>7) Pravokotni votli profili, spoji s čelnimi zvari z vmesno čelno pločevino.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Razvrsti za 1 kategorijo detajlov višje, če je $t > 8$ mm.
40		<p>8) Okrogli, votli profili, spoji s kotnimi zvari z vmesno čelno pločevino.</p>	<p><u>Detajla 8) in 9):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Zvari prenašajo obtežbo. - Debelina stene $t \leq 8$ mm.
36		<p>9) Pravokotni votli profili, spoji s kotnimi zvari z vmesno čelno pločevino.</p>	

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.7: Vozlišča paličnih nosilcev

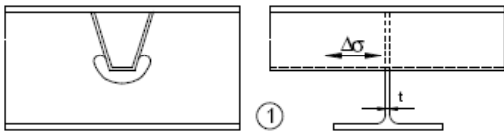
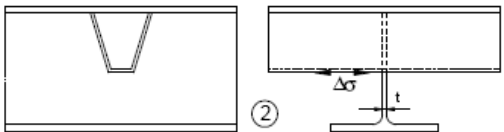

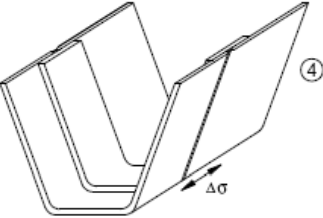
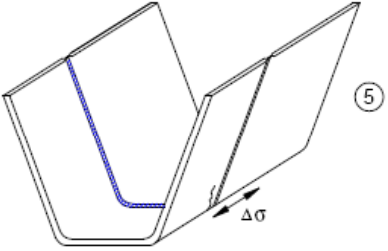
Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Zahteve
90 m=5	<p>Spoji z režo: Detajl 1): K in N spoji, okrogli votli profili:</p>	<p><u>Detajla 1) in 2):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Potrebno je izvršiti ločeno kontrolo za pasove in polnilne palice. - Za vmesne vrednosti razmerja t_o/t_i velja linearna interpolacija med kategorijami detajlov. - Kotni zvari so dovoljeni za priključevanje polnilnih palic z debelino stene $t \leq 8$ mm. - t_o in $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $d_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_i/b_o \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_i/d_o \leq 1,0$ - $b_o \leq 200$ mm - $d_o \leq 300$ mm - $-0,5h_o \leq e_{i/p} \leq 0,25h_o$ - $-0,5d_o \leq e_{i/p} \leq 0,25d_o$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_o$ ali $\leq 0,02d_o$ <p>[$e_{o/p}$ je ekscentričnost v smeri izven ravnine paličja]</p> <p><u>Detajl 2):</u> $0,5(b_o - b_i) \leq g \leq 1,1(b_o - b_i)$ in $g \geq 2t_o$</p>
45 m=5	<p>Spoji z režo: Detajl 2): K in N spoji, pravokotni votli profili:</p>	
71 m=5	<p>Spoji z režo: Detajl 1): K in N spoji, okrogli votli profili:</p>	
36 m=5	<p>Spoji z režo: Detajl 2): K in N spoji, pravokotni votli profili:</p>	

Kategorije detajlov po 1993-1-9

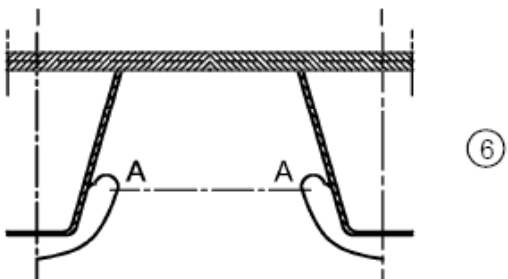
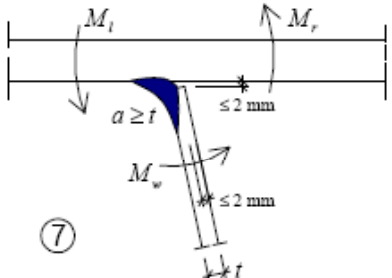
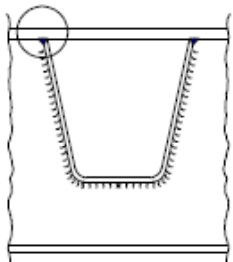
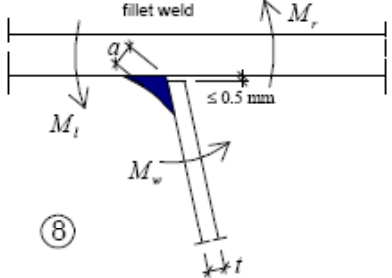
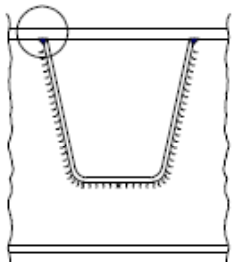
<p>71 m=5</p>	<p>$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$</p>	<p>Spoji s preklpom : Detajl 3): K spoji, okrogli ali pravokotni votli profili:</p> 	<p>Detajla 3) in 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> - 30 % ≤ preklp ≤ 100 % - preklp = (q/p) × 100 % - Potrebno je izvršiti ločeno kontrolo za pasove in polnilne palice. - Za vmesne vrednosti razmerja t_0/t_i velja linearna interpolacija med kategorijami detajlov. - Kotni zvari so dovoljeni za priključevanje polnilnih palic z debelino stene $t \leq 8$ mm. - t_0 in $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_0/t_0 \times t_0/t_i \leq 25$ - $d_0/t_0 \times t_0/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_i/b_0 \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$ - $b_0 \leq 200$ mm - $d_0 \leq 300$ mm - $-0,5h_0 \leq e_{vp} \leq 0,25h_0$ - $-0,5d_0 \leq e_{vp} \leq 0,25d_0$ - $e_{op} \leq 0,02b_0$ or $\leq 0,02d_0$ <p>[e_{op} je ekscentričnost v smeri izven ravnine paličja]</p> <p>Definicija za p in q:</p> 
<p>56 m=5</p>	<p>$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$</p>		
<p>71 m=5</p>	<p>$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$</p>	<p>Spoji s preklpom : Detajl 1): N spoji, okrogli ali pravokotni votli profili:</p> 	
<p>50 m=5</p>	<p>$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$</p>		

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.8: Ortotropne plošče – zaprte vzdolžne ojačitve

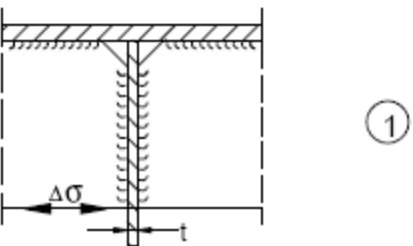
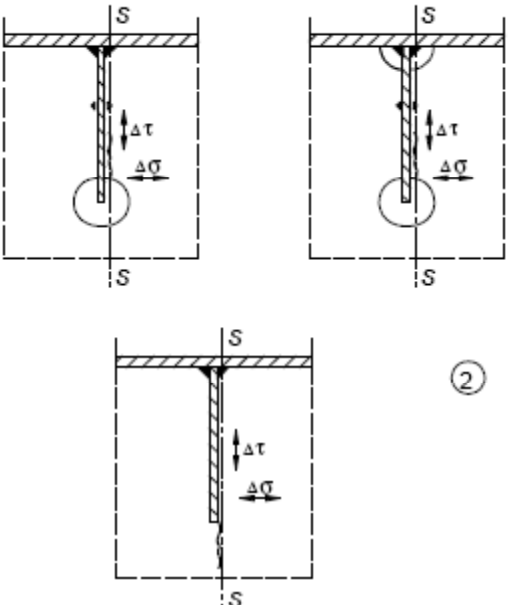
Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl		Opis	Zahteve
80	$t \leq 12\text{mm}$		1) Kontinuirna vzdolžna ojačitev, z dodatnim izrezom v prečnem nosilcu.	1) Kontrola temelji na razliki normalnih napetosti $\Delta\sigma$ v vzdolžni ojačitvi.
71	$t > 12\text{mm}$			
80	$t \leq 12\text{mm}$		2) Kontinuirna vzdolžna ojačitev, brez dodatnega izreza v prečnem nosilcu.	2) Kontrola temelji na razliki normalnih napetosti $\Delta\sigma$ v vzdolžni ojačitvi.
71	$t > 12\text{mm}$			
36			3) Vzdolžna ojačitev prekinjena s prečnim nosilcem (in nanj z obeh strani privarjena).	3) Kontrola temelji na razliki normalnih napetosti $\Delta\sigma$ v vzdolžni ojačitvi.
71			4) Spoj v vzdolžni ojačitvi, čelni zvar s polno penetracijo in z jeklenim podkorenskim trakom.	4) Kontrola temelji na razliki normalnih napetosti $\Delta\sigma$ v vzdolžni ojačitvi. Začasni zvari za pritrnitev podkorenskega traku se morajo nahajati znotraj volumna čelnega zvara.
112	Kot detajl 1, 2, 4 v pregl. 8.3		5) Obojestranski čelni zvar s polno penetracijo, brez podkorenskega traku.	5) Kontrola temelji na razliki normalnih napetosti $\Delta\sigma$ v vzdolžni ojačitvi.
90	Kot detajl 5, 7 v pregl. 8.3			
80	Kot detajl 9, 11 v pregl. 8.3			

Kategorije detajlov po 1993-1-9

71		6) Kritični prerez v prečnem prerezu zaradi izrezov.	6) Kontrola temelji na razliki napetosti v kritičnem prerezu, upošteva se Vierendeelov računski model nosilca z luknjami. OPOMBA Če se razlika napetosti določi v skladu z EN 1993-2, 9.4.2.2(3), se lahko uporabi kategorija detajla 112.	
71		$\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$ 	<u>Zvar med osnovno pločevino in trapezno ali V vzdolžno ojačitvijo</u> 7) Čelni zvar z delno penetracijo, kjer velja $a \geq t$	7) Kontrola temelji na razliki napetosti zaradi upogiba osnovne pločevine.
50			8) Kotni zvar ali čelni zvar z delno penetracijo, ki ne zadošča kriterijem za detajl 7)	8) Kontrola temelji na razliki napetosti zaradi upogiba osnovne pločevine.

Kategorije detajlov po 1993-1-9

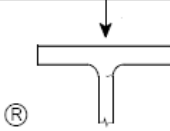
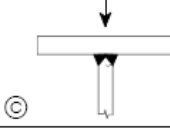
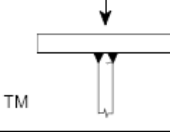
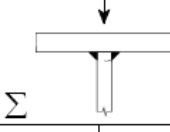
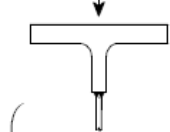
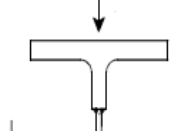
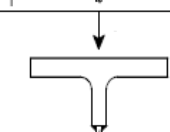
Preglednica 8.9: Ortotropne pločevine – odprte vzdolžne ojačitve

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl		Opis	Zahteve
80	$t \leq 12\text{mm}$		1) Priključek vzdolžne ojačitve na prečni nosilec.	1) Kontrola temelji na razliki normalnih napetosti $\Delta\sigma$ v vzdolžni ojačitvi.
71	$t > 12\text{mm}$			
56			2) Priključek kontinuirne vzdolžne ojačitve na prečni nosilec. $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{net,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,net,s}}$	2) Kontrola temelji na kombiniranem (ekvivalentnem) vplivu strižne razlike napetosti $\Delta\tau$ in normalne razlike napetosti $\Delta\sigma$ v stojini prečnega nosilca (prerez s-s): $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2} \right)$

Preveri tudi razliko napetosti med vzdolžnimi ojačitvami v skladu z EN 1993-2.

Kategorije detajlov po 1993-1-9

Preglednica 8.10: Spoj med zgornjo pasnico in stojino nosilcev žerjavne proge

Kategor. detajla	Konstruksijski detajl	Opis	Zahteve
160		1) Valjani I- ali H-profil	1) Navpična tlačna razlika napetosti $\Delta\sigma_{vert}$ v stojini od obtežbe koles
71		2) Čelni zvar s polno penetracijo (T spoj)	2) Navpična tlačna razlika napetosti $\Delta\sigma_{vert}$ v stojini od obtežbe koles
36*		3) Čelni zvar z delno penetracijo ali čelni zvar z delno penetracijo, ki se v skladu z EN 1993-1-8 šteje za učinkovito polnpenetriran zvar	3) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{vert}$ (kritični prerez – korenska mera) od obtežbe koles
36*		4) Kotni zvari	4) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{vert}$ (kritični prerez – korenska mera zvara) od obtežbe koles
71		5) Pasnica v obliki T-profila s čelnim zvarom s polno penetracijo	5) Navpična tlačna razlika napetosti $\Delta\sigma_{vert}$ v stojini od obtežbe koles
36*		6) Pasnica v obliki T-profila s čelnim zvarom z delno penetracijo ali s čelnim zvarom z delno penetracijo, ki se v skladu z EN 1993-1-8 šteje za učinkovito polnpenetriran zvar	6) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{vert}$ (kritični prerez – korenska mera) od obtežbe koles
36*		7) Pasnica v obliki T-profila s kotnimi zvari	7) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{vert}$ (kritični prerez – korenska mera) od obtežbe koles

Vrste konstrukcijskih jekel

Običajna (mehka) nelegirana konstrukcijska jekla, ki trdnost dosega na račun večje vsebnosti ogljika in izkazujejo zmerno lomno žilavost (SIST EN 10025-2)

Normalizirana drobnozrnata konstrukcijska jekla imajo povečano lomno žilavost in pri kasnejši toplotni obdelavi (npr. krivljenje debelejših pločevin) ne izgubijo z normalizacijo pridobljenih mehanskih lastnosti (SIST EN 10025-3: N jekla)

Termomehansko obdelana drobnozrnata jekla, ki jim drobnozrnata struktura omogoča višjo trdnost (f_y do 460 MPa), veliko lomno žilavost in odlično varivost (SIST EN 10025-4: M jekla).

Konstrukcijska jekla z izboljšano odpornostjo proti atmosferski koroziji (vremensko odporna jekla). To so običajna konstrukcijska jekla, ki jim je z dodatnim legiranjem zagotovljena povečana korozijska odpornost (SIST EN 10025-5: W jekla).

Drobnozrnata mikrolegirana jekla visoke trdnosti, izdelana s postopkom kaljenja in popuščanja (poboljšana jekla) s trdnostmi v razponu $f_y = 460$ MPa (S460) do $f_y = 960$ MPa. SIST EN 1993-1-1 dopušča uporabo jekel z napetostjo tečenja do 460 MPa, SIST EN 1993-1-12 pa vpeljuje tudi jekla višje trdnosti do $f_y = 690$ MPa (SIST EN 10025-6: Q jekla).

Označevanje jekel

S XXX YY(H)

- **S** oznaka za konstrukcijsko jeklo
- **XXX** nazivna (najmanjša garantirana) napetost tečenja v MPa za debeline do 16 mm
- **YY** razred lomne žilavosti, določen s Charpy-V testom (npr. JR, J0, J2, K2, N, NL, M, ML, Q, QL, QL1)
- **H** samo pri votlih profilih – dodatna oznaka za votli profil, brez oklepajev.

SIST EN 1993-1-1: Materiali

Preglednica 3.1: Nominalne vrednosti napetosti tečenja f_y in natezne trdnosti f_u za vroče valjana konstrukcijska jekla

Standard in kvaliteta jekla	Nominalna debelina elementa t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540

Preglednica 3.1(*nadaljevanje*): Nominalne vrednosti napetosti tečenja f_y in natezne trdnosti f_u za vroče valjana konstrukcijska jekla

Standard in kvaliteta jekla	Nominalna debelina elementa t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Preglednica 3.1:(*nadaljevanje*): Nominalne vrednosti napetosti tečenja f_y in natezne trdnosti f_u za votle profile

Standard in kvaliteta jekla	Nominalna debelina elementa t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 65$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Največje dovoljene debeline elementov t v mm

kvaliteta jekla	pod-kvaliteta	Charpy energija CVN		referenčna temperatura T_{Ed} [°C]						
		pri T [°C]	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
				$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$						
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30

JUS C. B0.500	DIN 17100	Euronorm 25-72	Evropski Standard EN 10025: 1990	Evropski Standard EN 10025: 1993
-	-	Fe 360 A	-	-
Č 0361	RSt 37-2	Fe 360 B	Fe 360 B	S 235 JR
Č 0362	St 37-3 U	Fe 360 C	Fe 360 C	S 235 J0
Č 0363	St 37-3 N	Fe 360 D	Fe 360 D	S 235 J2
-	-	Fe 430 A	-	-
Č 0451	St 44-2	Fe 430 B	Fe 430 B	S 275 JR
Č 0452	St 44-3 U	Fe 430 C	Fe 430 C	S 275 J0
Č 0453	St 44-3 N	Fe 430 D	Fe 430 D	S 275 J2
Č 0561	-	Fe 510 B	Fe 510 B	S 355 JR
Č 0562	St 52-3 U	Fe 510 C	Fe 510 C	S 355 J0
Č 0563	St 52-3 N	Fe 510 D	Fe 510 D	S 355 J2
-	-	Fe 510 DD	Fe 510 DD	S 355 K2

Euronorm 113-72	Osnutek Evropskega Standarda pr EN 10113	Evropski Standard EN 10113: 1993
Fe E 275 KG N	Fe E 275 KG N	S 275 N
Fe E 275 KT N	Fe E 275 KT N	S 275 NL
Fe E 275 KG TM	Fe E 275 KG TM	S 275 M
Fe E 275 KT TM	Fe E 275 KT TM	S 275 ML
Fe E 355 KG N	Fe E 355 KG N	S 355 N
Fe E 355 KT N	Fe E 355 KT N	S 355 NL
Fe E 355 KG TM	Fe E 355 KG TM	S 355 M
Fe E 355 KT TM	Fe E 355 KT TM	S 355 ML
Fe E 420 KG N	Fe E 420 KG N	S 420 N
Fe E 420 KT N	Fe E 420 KT N	S 420 NL
Fe E 420 KG TM	Fe E 420 KG TM	S 420 M
Fe E 420 KT TM	Fe E 420 KT TM	S 420 ML
Fe E 460 KG N	Fe E 460 KG N	S 460 N
Fe E 460 KT N	Fe E 460 KT N	S 460 NL
Fe E 460 KG TM	Fe E 460 KG TM	S 460 M
Fe E 460 KT TM	Fe E 460 KT TM	S 460 ML