

Tretji del

Tretji del

Bočna zvrnitev

Izbočenje pločevine (stojina, pasnica)

Kontrola vertikalnih in horizontalnih pomikov

Utrujanje materiala

Bočna zvrnitev

TEORIJA

Poljudno o bočni zvrnitvi

Konstruktivske rešitve

Razlaga bočne zvrnitve

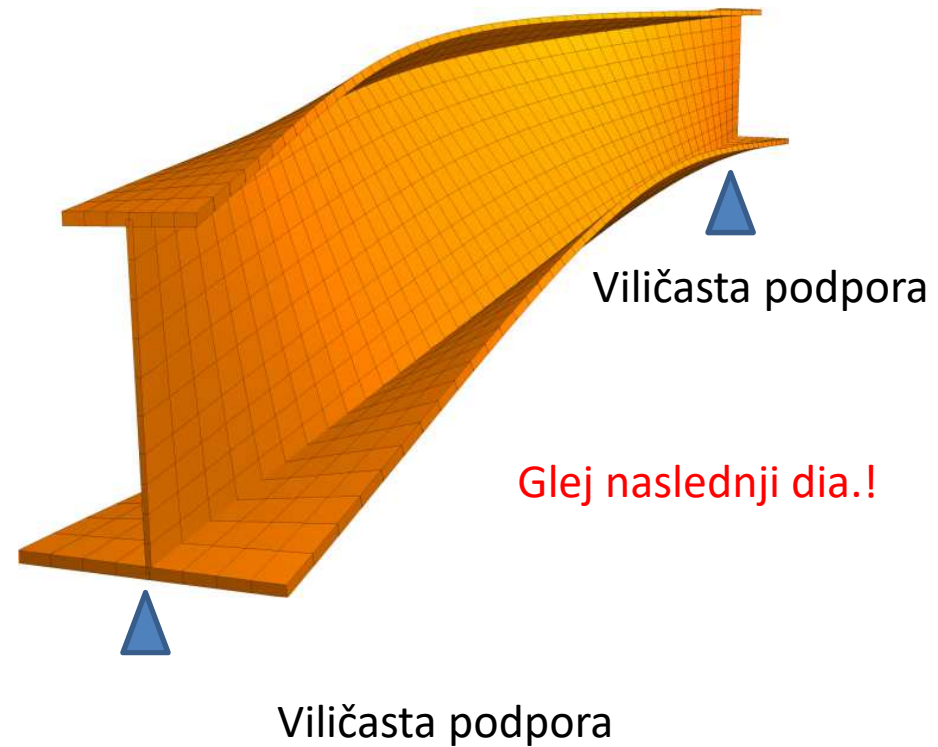
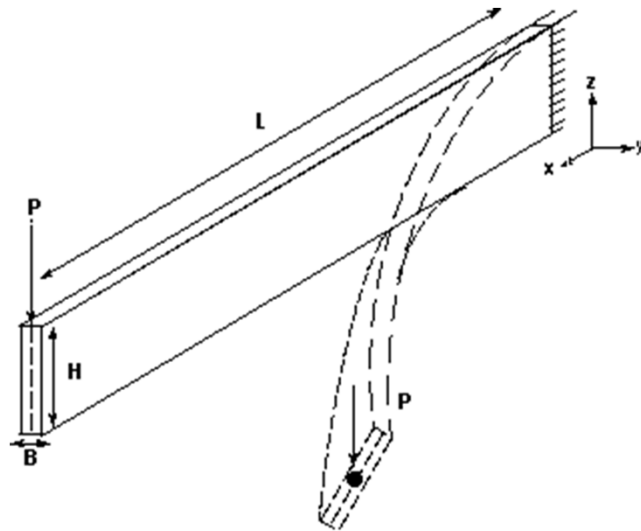
Bočna zvrnitev je nevarna pri vitkih upogibno obremenjenih dolgih nosilcih, kjer ima prečni prerez majhen TORZIJSKI vztrajnostni moment.

Pri bočni zvrnitvi so deformacije upogibne in torzijske.

Glej naslednje diapozitive!

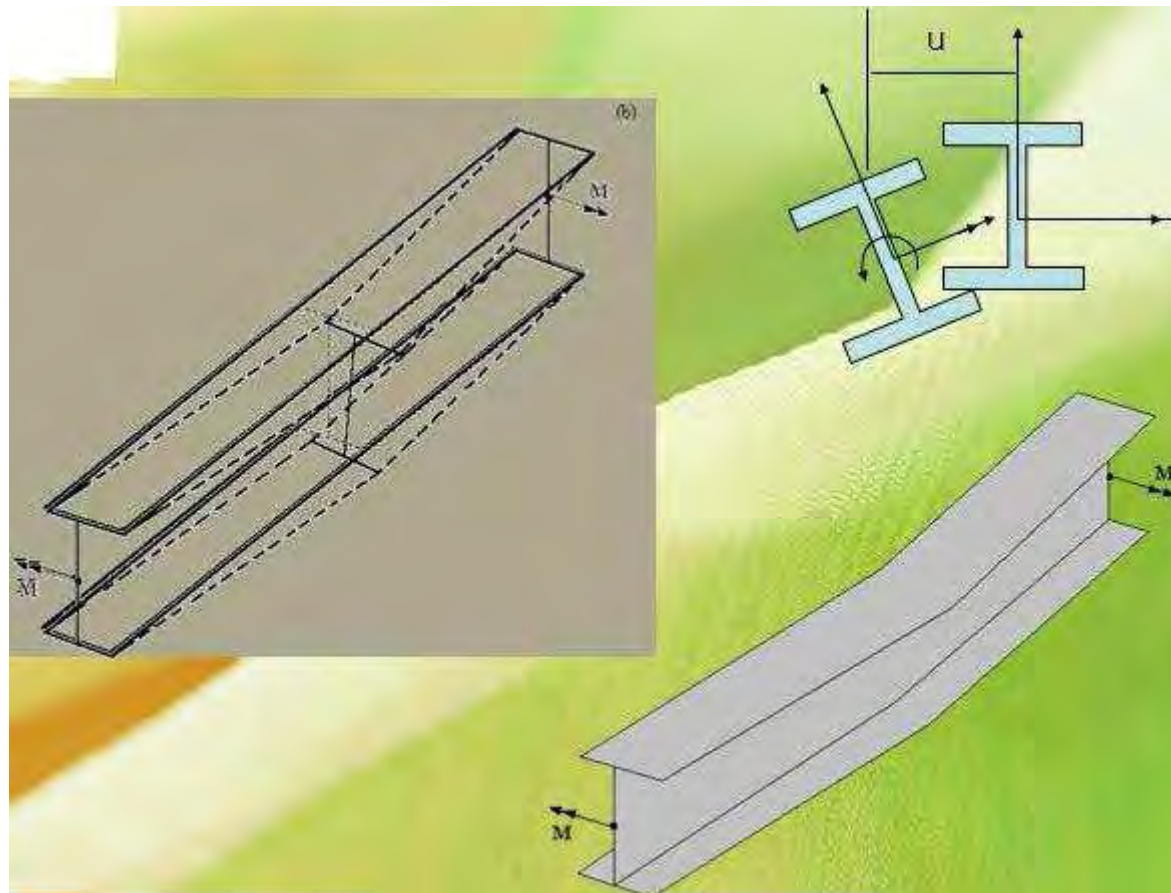
Bočna zvrnitev

Upogibne in torzijske deformacije



Bočna zvrnitev

Upogibne in torzijske deformacije



Bočna zvrnitev:

- viličasta podpora,
- destabilizirajoči položaj obremenitve,
- stabilizirajoči položaj obremenitve

Zagotavljanje ustreznega
podpiranja → rebra

Glej naslednji diapozitiv!

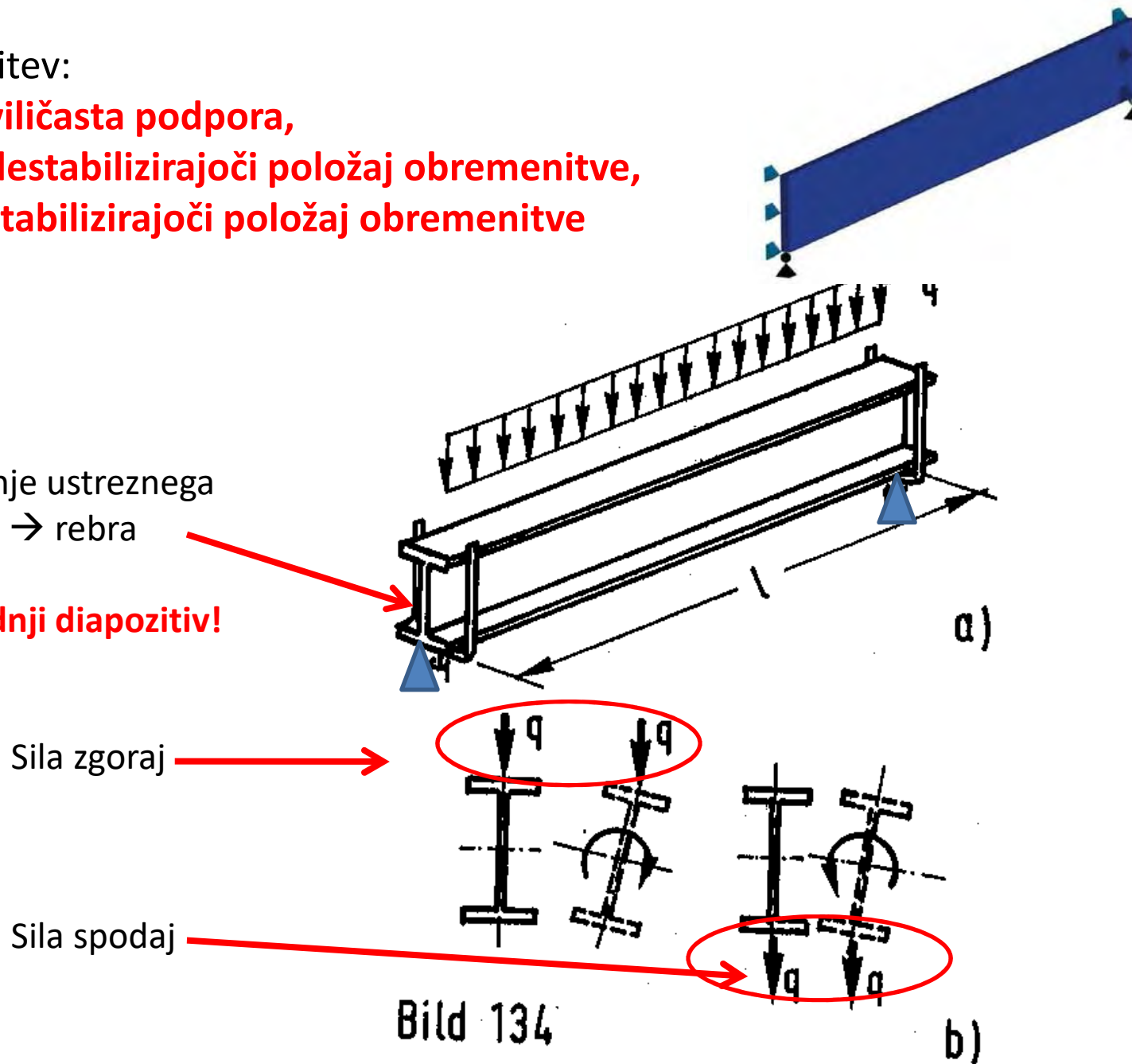


Bild 134

Rebra za podpiranje pri bočni zvrnitvi

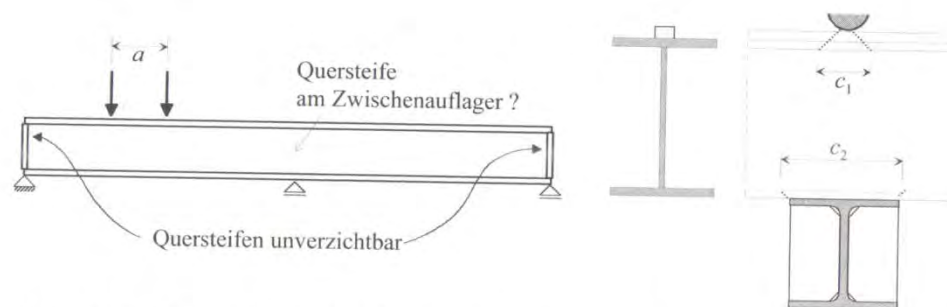


Abb. 7-8 Sind Quersteifen im Mittelauflegerbereich notwendig?



Abb. 7-9 Nicht grundsätzlich empfehlenswert: Zwischenaufleger ohne Quersteife

Kritični moment za bočno zvrnitev

Odvisen je od več togosti: $E \cdot I_z$, $G \cdot I_t$, $E \cdot I_\omega$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{k_z L} \sqrt{EI_z GI_t + \frac{\pi^2 EI_z EI_\omega}{(k_\omega L)^2}}$$

- I_z – vztrajnostni moment okoli šibke osi,
- I_t – torzijski vztrajnostni moment pri enakomerni torziji,
- I_ω – torzijski vztrajnostni moment pri ovirani torziji,
- L – razmak med bočnimi podporami (bočno podprt celoten prerez ali vsaj tlačni pas),

$E \cdot I_z$ – upogibna togost prereza- šibka os

$G \cdot I_t$ – torzijska togost prereza

$E \cdot I_\omega$ - torzijska togost prereza pri ovirani torziji



mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

Porušitev nosilca

Vzrok: bočna zvrnitev



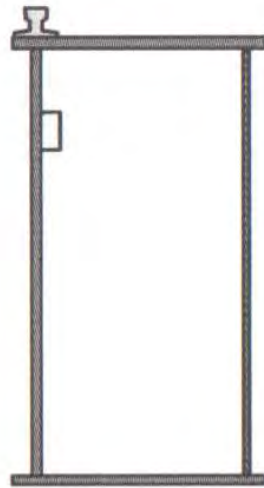
Zmanjševanje nevarnosti bočne zvrnitve

- a) Uporaba prečnega prereza z velikim torzijskim vztrajnostnim momentom (npr. škatlasti prečni prerezi)

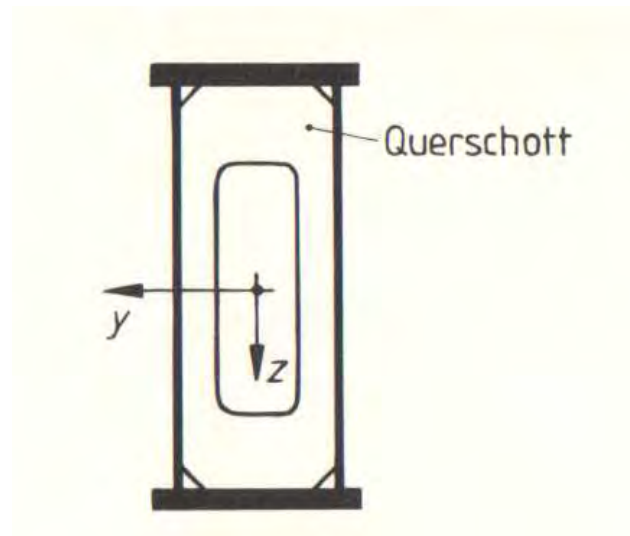
- b) Ojačitev tlačene pasnice

- c) Stransko podpiranje tlačene pasnice

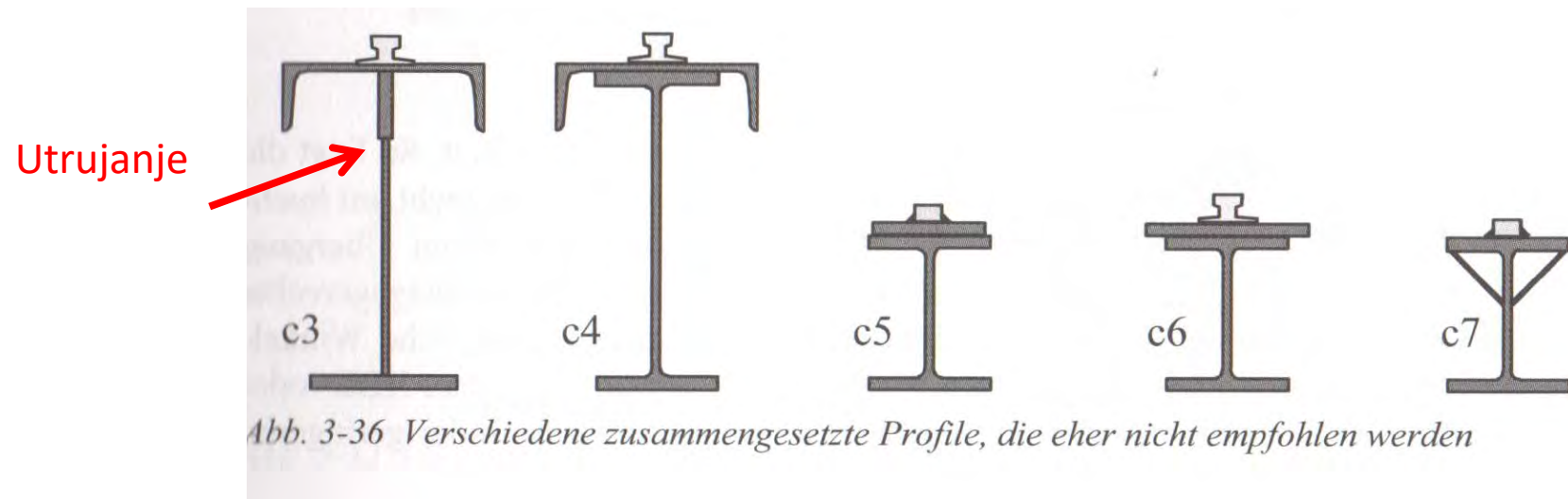
a) Škatlasti prečni prerez brez in z diafragmo



e



b) Ojačena tlačena pasnica



Detajl - utrujanje

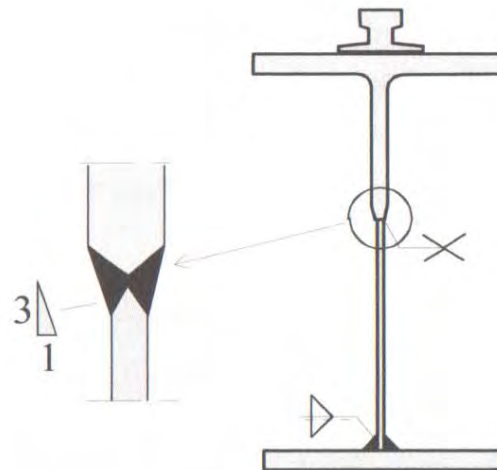
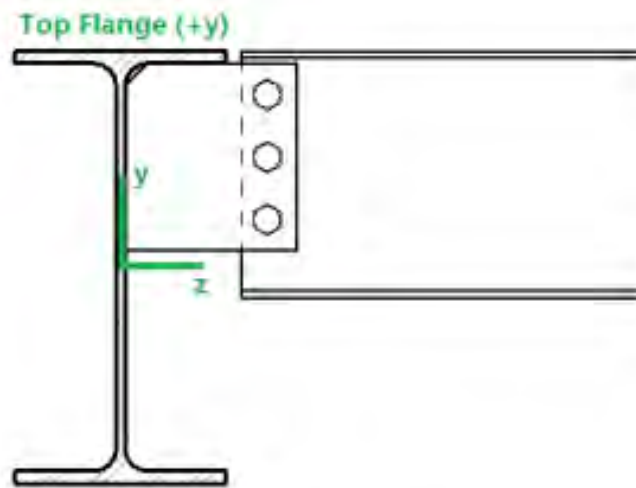
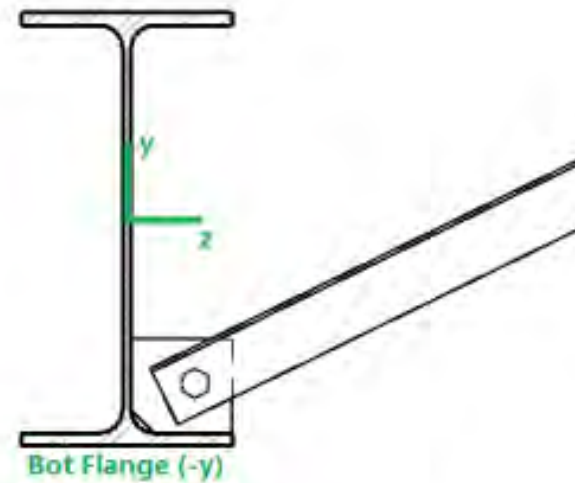


Abb. 3-35 Kranbahnträger mit halbiertem Walzprofil als Obergurt (c2)

c) Stransko podpiranje tlačene pasnice

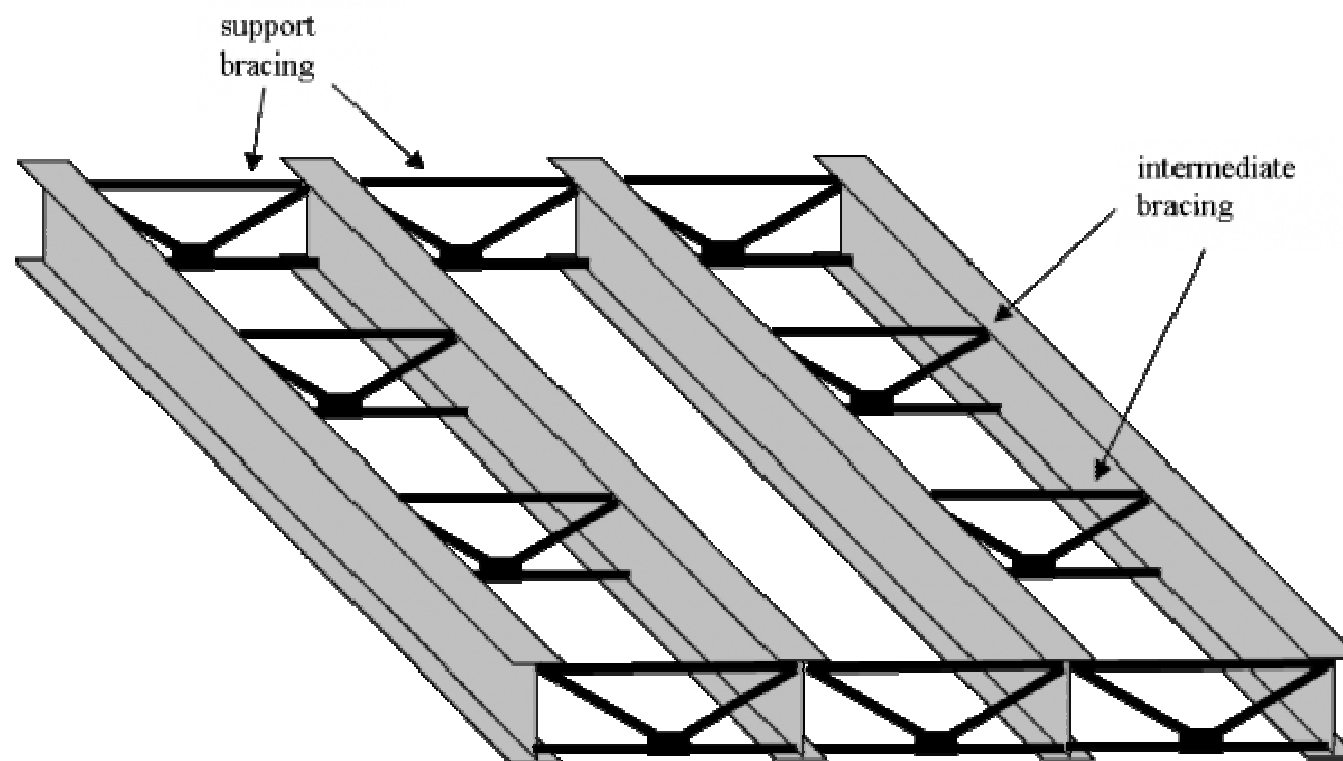


L_{comp-top} Bracing prevents lateral movement of beam's top flange



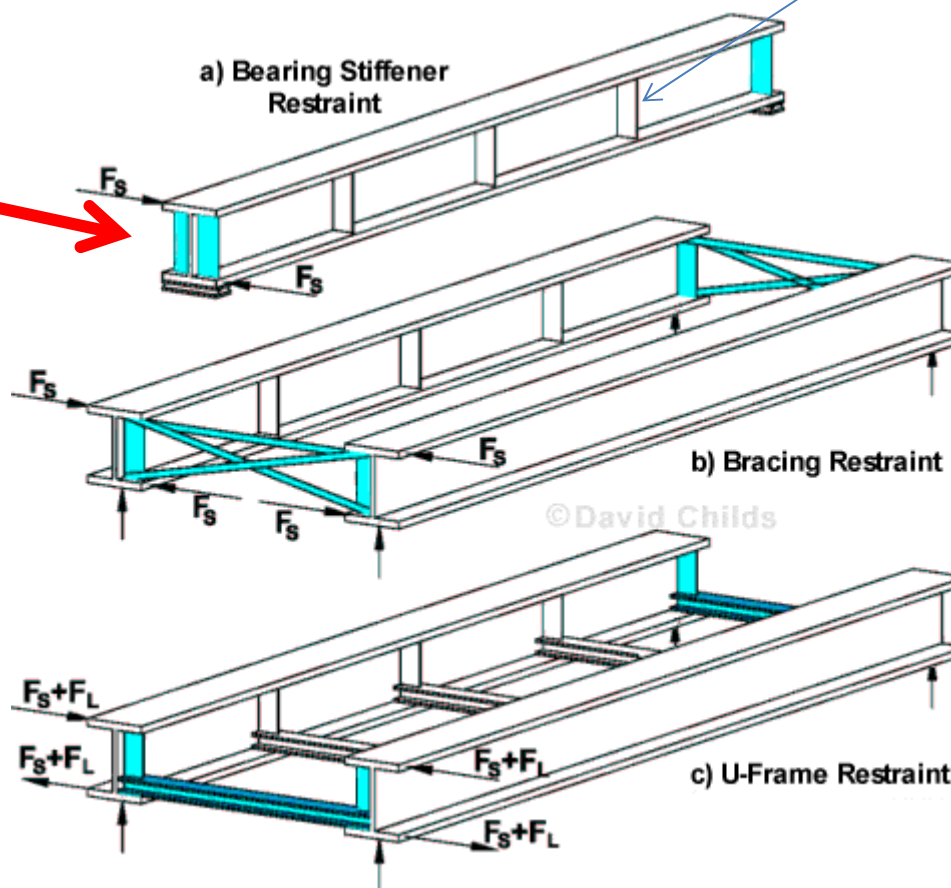
L_{comp-bot} Bracing prevents lateral movement of beam's bottom flange

Stransko podpiranje tlačene pasnice



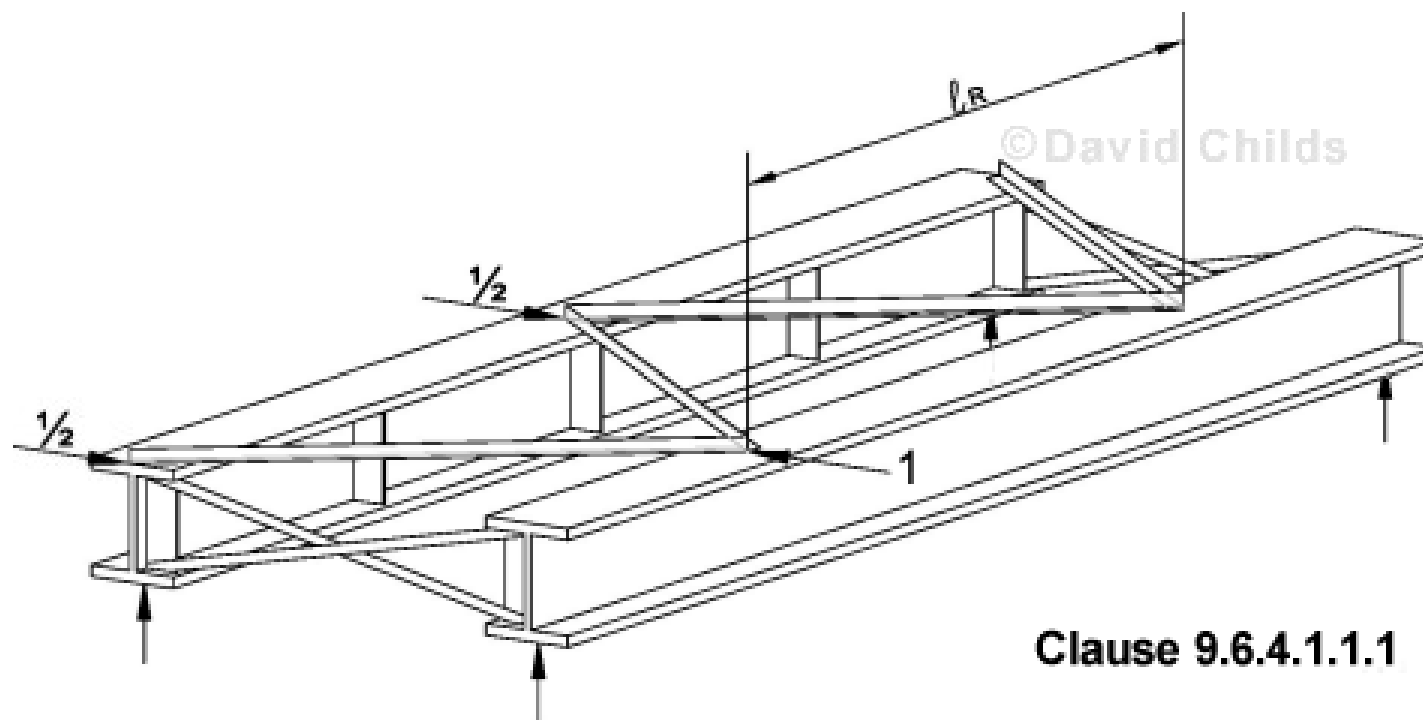
Rebri nad podporo

Izbočitev stojine



Stransko podpiranje tlačene pasnice

Podpiranje nad podporo







mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

Stransko podpiranje žerjavne proge

3 Planung von Krananlagen und Konstruktion von Kranbahnträgern

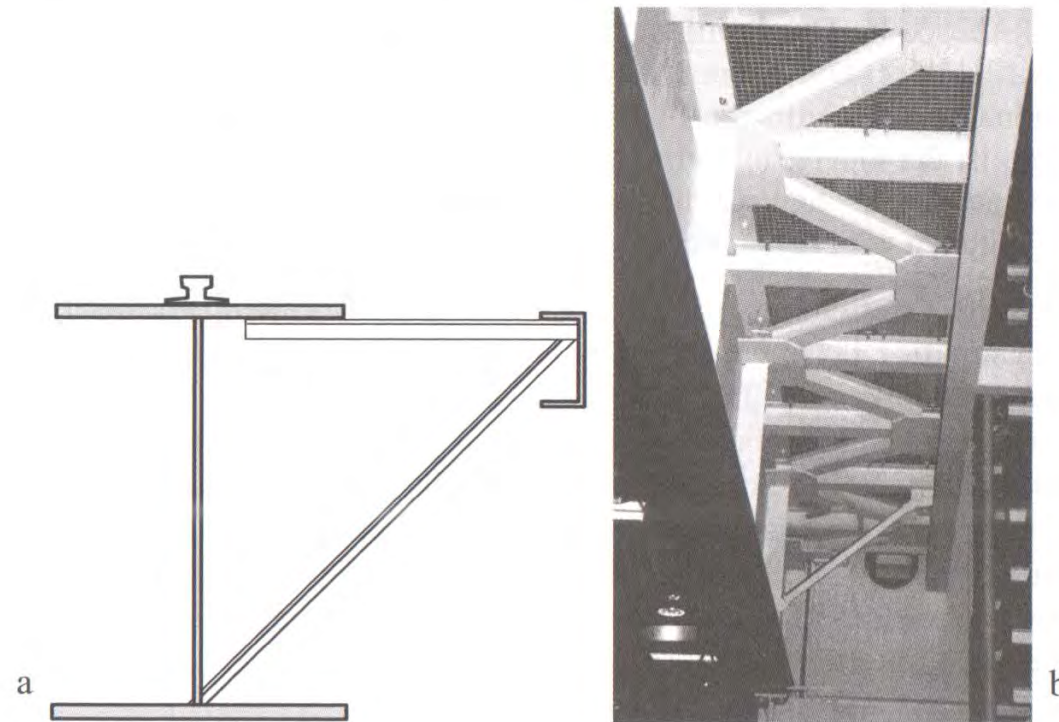


Abb. 3-38 Vollwandiger Kranbahnträger mit Horizontalverband (a, b); Rechenmodell (c)

Stransko podpiranje žerjavne proge



Abb. 3-39 Benachbarte Kranbahnträger bilden einen Horizontalverband (Atlas Ward GmbH)

Rebri nad podporo:

- 1) Lokalni vnos sile
- 2) Členkasti tip podpore pri bočni zvrnitvi

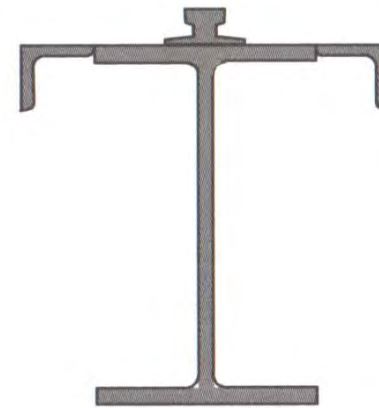
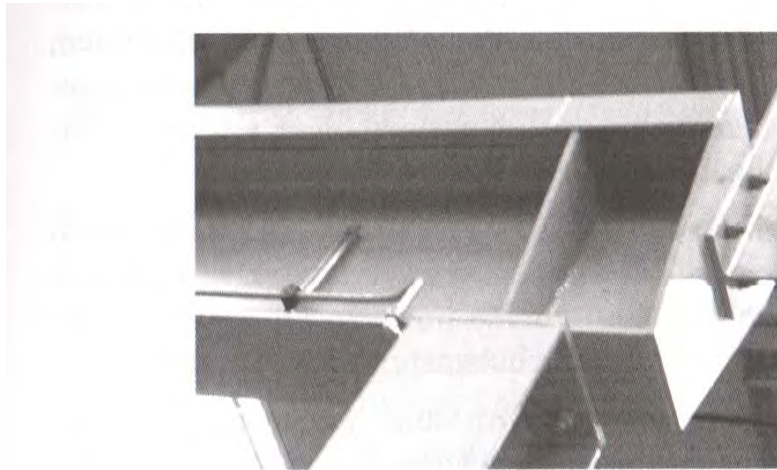


Abb. 3-34 Mit Winkeln verstärkte Walzprofile (c1). Die Schweißnaht am Winkel muss durchlaufend sein.

Rebri nad podporo, bočno držanje z vijakom

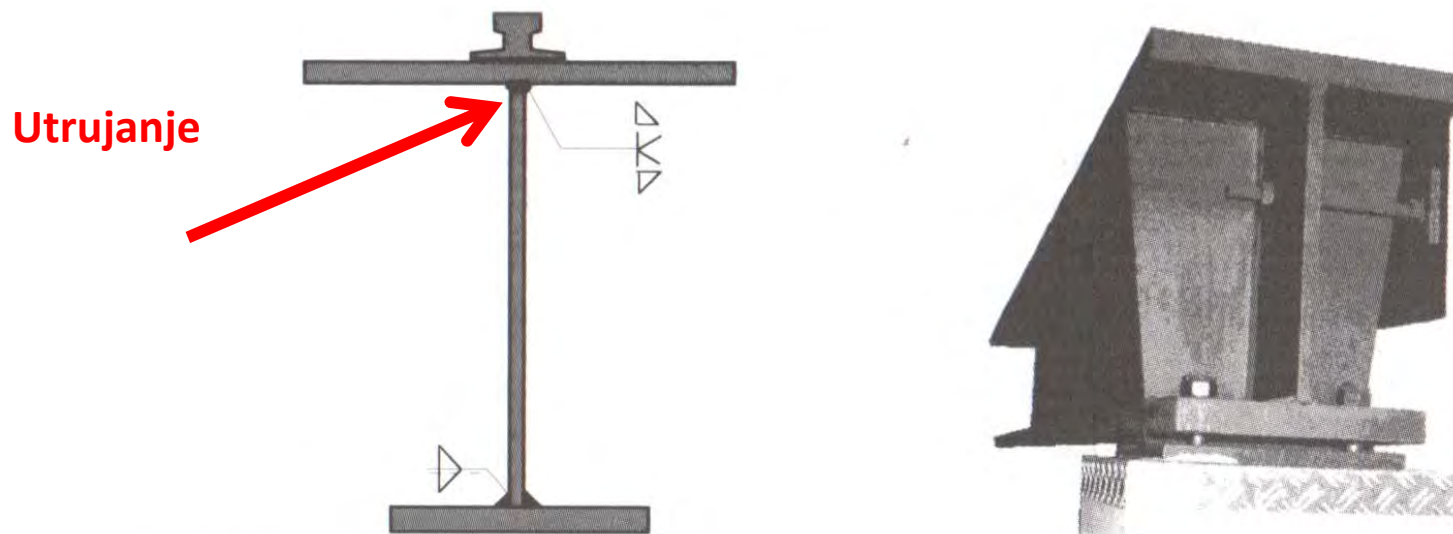


Abb. 3-32 I-Schweißprofile

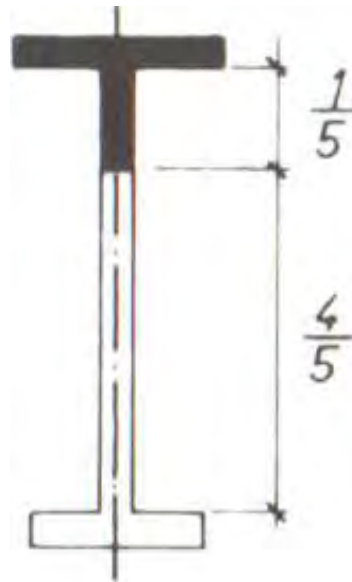
SIST EN 1993-6:2007

Bočna zvrnitev Izračun

EC 3-6 → SIST EN 1993-6:2007; Žerjavne proge

Metoda izračuna (1):

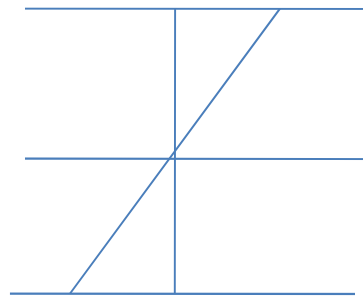
1) Bočna zvrnitev po EC 3-6, Poglavje 6.3.2.3 (uklon tlačene pasnice z delom stojine)



Metoda izračuna (2):

2) Bočna zvrnitev:

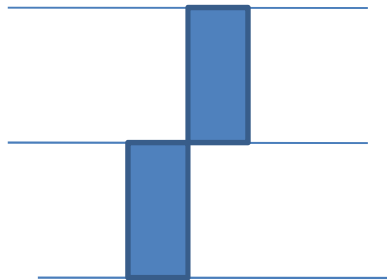
- teorija drugega reda (TDR)
- imperfekcija
- ovirana torzija
- linearno napetostno stanje v prerezu



Metoda izračuna (3):

3) Bočna zvrnitev po EC 3-6, Dodatek A

- teorija drugega reda
- imperfekcija
- ovirana torzija
- popolna plastifikacija prečnega prereza



Razlaga pojmov:

- Teorija prvega, drugega, tretjega reda
- Imperfekcija
- Ovirana torzija

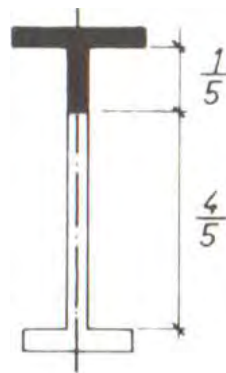
SLEDI KASNEJE!

Prva metoda

Nadomestna palica

1)Bočna zvrnitev po EC 3-6,
Poglavje 6.3.2.3
(uklon tlačene pasnice z delom
stojine)

Metoda, ki jo zaradi enostavnosti najpogosteje
uporabljamo v praksi .

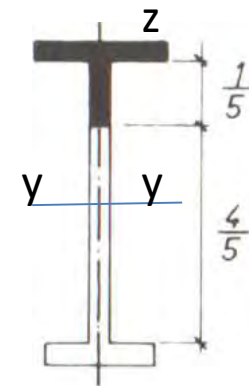


Opis postopka – nadomestna palica

A_{Og} Površina zgornje pasnice (tlačna pasnica + 1/5 stojine)

$i_{z,Og}$ Vztrajnostni radij zgornje pasnice za vertikalno os

$M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ Notranje veličine (obremenitve) nadomestne palice

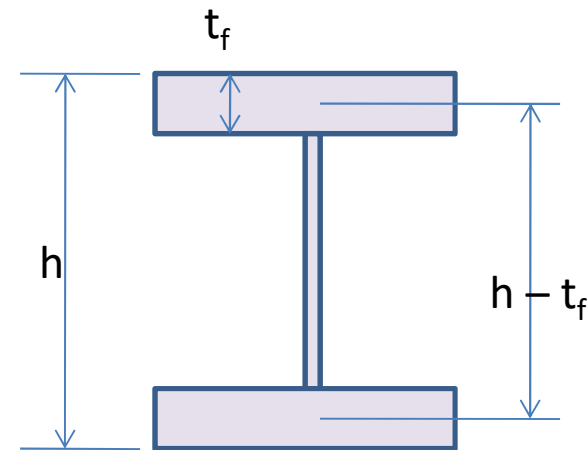


Upogibni moment $M_{y,Ed}$ nadomestimo z dvojico sil, ki delujeta v pasnicah

$$N_{Og,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{h - t_f}$$

Dvojica sil

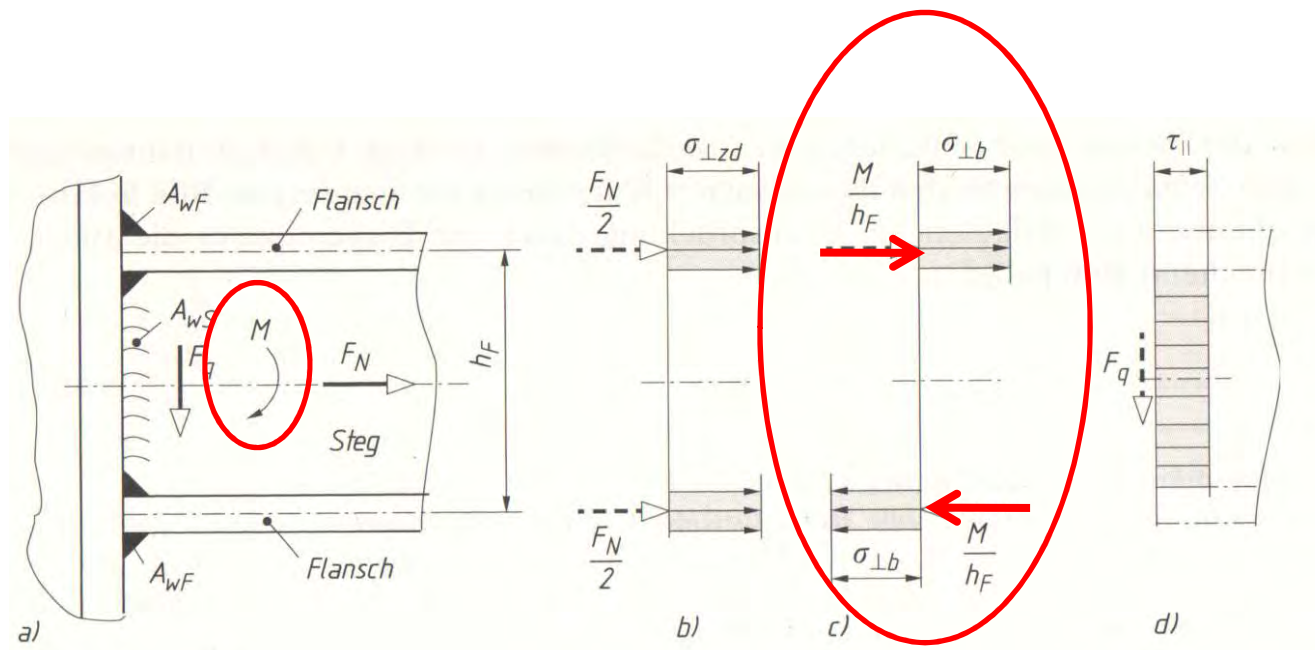
$h - t_f$ razdalja med težiščema pasnice



Glej tudi naslednji diapozitiv!

Določitev tlačne sile v pasnici zaradi upogibnega momenta (M_y)

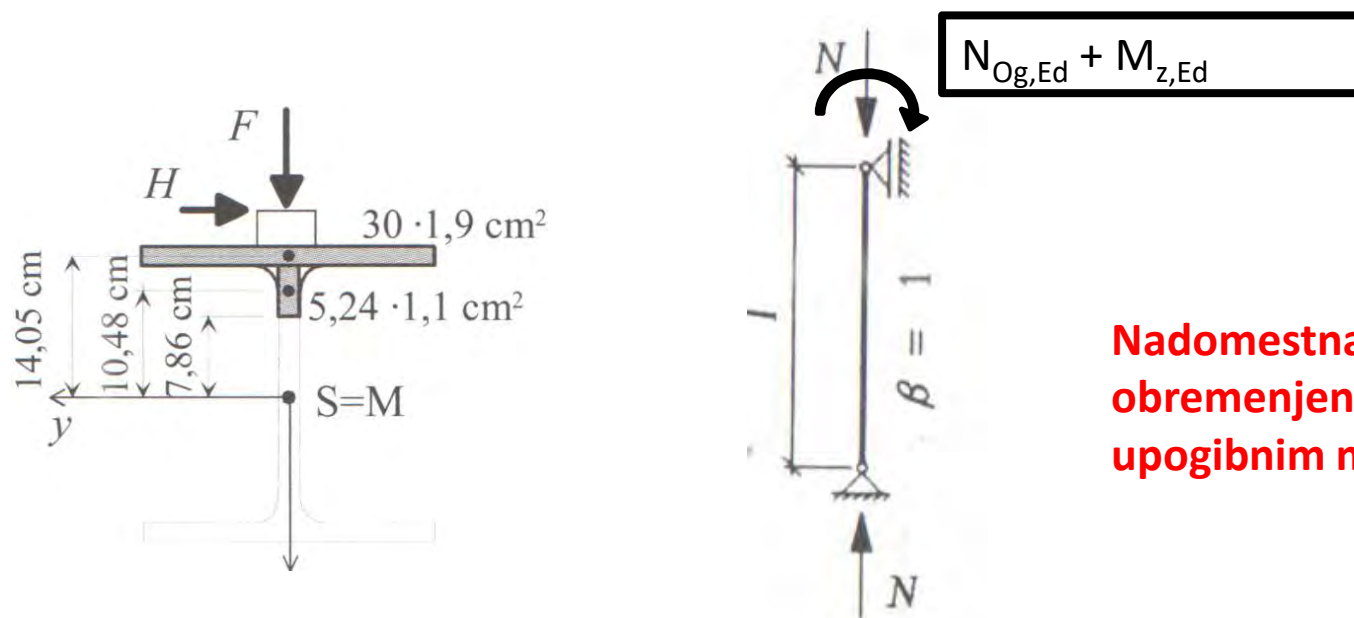
$$\text{Dvojica sil } N_{M_y} = M_y / h_F$$



$$N_{M_y} \rightarrow N_{Og,Ed} \text{ - v izračunu}$$

Obremenitve nadomestne palice:

- tlačna osna sila ($N_{Og,Ed}$) in
- upogibni moment ($M_{z,Ed}$)

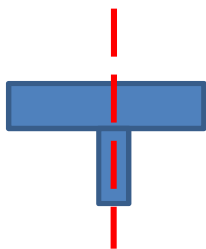


Prečni prerez
nadomestne palice

**Nadomestna palica
obremenjena s tlačno silo in
upogibnim momentom.**

Statične vrednosti prečnega prereza najdeš v prvem delu.

Formula za kontrolo bočne zvrnitve



EN 1993-1-1: 2005 (E)

Poglavje 6.3.2.3 (1) in poenostavljene formula (6.62)

$$\frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} + \frac{k_{zz} \cdot M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_{Og,z} \cdot f_y} \leq 1$$

Naslednji diapozitiv

(4) Members which are subjected to combined bending and axial compression should satisfy:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

where N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$ are the design values of the compression force and the maximum moments about the y-y and z-z axis along the member, respectively

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ are the moments due to the shift of the centroidal axis according to 6.2.9.3 for class 4 sections, see Table 6.7,

χ_y and χ_z are the reduction factors due to flexural buckling from 6.3.1

χ_{LT} is the reduction factor due to lateral torsional buckling from 6.3.2

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} are the interaction factors

Izračun osne sile in uklonske dolžine

14.6 Bauteilnachweis: Biegedrillknicken (BDK)

14.6.1 Verfahren nach EC 3-6, Kap. 6.3.2.3 (1) für EK 1

- Nachweisprinzip: knickender Obergurt, siehe Abschnitt 12.4.1.
- Schnittgrößen des Ersatz-Druckstabs

$$N_{Og,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{h - t_f} = \frac{14\,790 \text{ kNcm}}{(30 - 1,9) \text{ cm}} = 526 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 23,7 \text{ kNm} \quad (\text{siehe Abschnitt 14.3})$$

- Knicklänge des Druckstabs: Zweifeldträger $L_{cr} = 0,85 \cdot l = 0,85 \cdot 6 \text{ m} = 5,1 \text{ m}$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_{z,Og} \cdot \lambda_1} = \frac{510 \text{ cm}}{8,06 \text{ cm} \cdot 93,9} = 0,67$$

Uklonska dolžina, dve polji

Izračun korekcijskih faktorje za uklon (χ_z) in upogib (k_{zz})

$$\frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} + \frac{k_{zz} \cdot M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_{Og,z} \cdot f_y} \leq 1$$

- Knicklinie: Das Walzprofil wird wegen der angeschweißten Flachstahlschiene wie ein Schweißprofil behandelt. Knicklinie c nach Tab. 12.2.
- Imperfektionsbeiwert $\alpha = 0,49$ nach Tab. 12-3
- $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,67 - 0,2) + 0,67^2] = 0,84$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,84 + \sqrt{0,84^2 - 0,67^2}} = 0,74$$

- Für die Querschnittsklassen 1 und 2 gilt nach EC 3-1-1, Anhang B

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} \right)$$

$$= 0,9 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,67 - 0,6) \cdot \frac{526 \cdot \gamma_{M1}}{0,74 \cdot 62,8 \cdot 23,5} \right) = 1,25 \text{ für } \gamma_{M1} = 1,1$$

$$= 1,22 \text{ für } \gamma_{M1} = 1,0$$

jedoch:

$$k_{zz} \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{526 \cdot 1,0}{0,74 \cdot 62,8 \cdot 23,5} \right) = 1,5$$

Uklon palice obremenjene z osno silo in upogibnim momentom

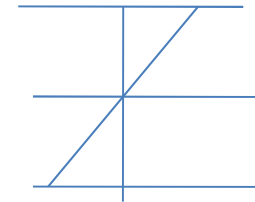
- Nachweis: (mit $k_{zz} = 1,25$)

$$\frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} + \frac{k_{zz} \cdot M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_{Og,z} \cdot f_y} \leq 1$$

$$\frac{526 \cdot \gamma_{M1}}{0,74 \cdot 62,8 \cdot 23,5} + \frac{1,25 \cdot 2370 \cdot \gamma_{M1}}{435 \cdot 23,5} = \gamma_{M1} \cdot (0,48 + 0,29) = \gamma_{M1} \cdot 0,77 \leq 1 \quad (\checkmark)$$

Linearno napetostno stanje

Druga metoda



TDR, imperfekcija, ovirana torzija

Izpis iz ustreznega računalniškega programa (TDR)

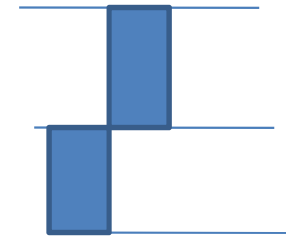
Kontrola napetosti
Upoštevamo: imperfekcijo, TDR, ovirano torzijo
Linearno napetostno stanje

14.6.3 BDK-Nachweis als Spannungsnachweis nach Th.II.O.

- Knickspannungslinie c ; Ersatzimperfektion nach Tab. 12-4: $v = l/400 = 1,5 \text{ cm}$
- Spannungen an der oberen Flanschecke berechnet mit der Software BTII [153] unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion Theorie II. Ordnung.
- Vertikale Radlasten im Schubmittelpunkt angesetzt, siehe Abb. 11-1.
- EK1: $\sigma_{x,Ed} = 16,3 \text{ kN/cm}^2 < f_{y,d} = 23,5 \text{ kN/cm}^2 / \gamma_{M0}$ (✓)
(Stelle $x = 2,52 \text{ m}$)
- EK5: $\sigma_{x,Ed} = 19,1 \text{ kN/cm}^2 < f_{y,d} = 23,5 \text{ kN/cm}^2 / \gamma_{M0}$ (✓)
(Stelle $x = 2,28 \text{ m}$)
- Maximale Auslastung: $\frac{19,1}{23,5} \cdot \gamma_{M0} = 0,81 \cdot \gamma_{M0}$ (horizontal) (Ausnutzung)

[153] BTII – Biegetorsionstheorie Version 03/2005; Friedrich & Lochner GmbH; Stuttgart 2005; www.frilo.de

Plastifikacija prečnega prereza



Tretja metoda

TDR, imperfekcija, ovirana
torzija, plastifikacija
prereza

Bočna zvrnitev po EN 1993-1-1 in EN 1993-6

(plastifikacija prečnega prereza)

- Notranje količine (NVM) izračunamo po TDR.
- Upoštevamo imperfekcijo in ovirano torzijo.

$$\bullet \text{ Nachweis: } \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^{2,0} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{pl,w,Rd}} \leq 1,0$$

Enačba 6.41 v EN 1993-1-1 dopolnjena z M_w členom iz EN 1993-6, dodatek A
Glej komentar v [1], str. 249

$M_{w,Ed} = T_{w,Ed}$ (EC3 oznaka) torzijski moment ovirane torzije

Glej naslednji diapozitiv!

EN 1993-1-1: 2005 (E)

(6) For bi-axial bending the following criterion may be used:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{x,Ed}}{M_{N,x,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad (6.41)$$

in which α and β are constants, which may conservatively be taken as unity, otherwise as follows:

- I and H sections:

$$\alpha = 2 ; \beta = 5n \quad \text{but } \beta \geq 1$$

- circular hollow sections:

$$\alpha = 2 ; \beta = 2$$

- rectangular hollow sections:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13n^2} \quad \text{but } \alpha = \beta \leq 6$$

where $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$

Annex A [informative] – Alternative assessment method for lateral-torsional buckling

A.2 Interaction formula

(1) Members that are subjected to combined bending and torsion should satisfy:

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{C_{m2} M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_w k_{tw} k_e T_{w,Ed}}{T_{w,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (A.1)$$

Moment zaradi ovirane torzije

$T_{w,Ed}$

is the design value of the warping torsional moment;

$T_{w,Rk}$

is the characteristic value of the warping torsional resistance moment;

Podatki

14.6.4 Alternative: BDK-Nachweis als Querschnittsnachweis

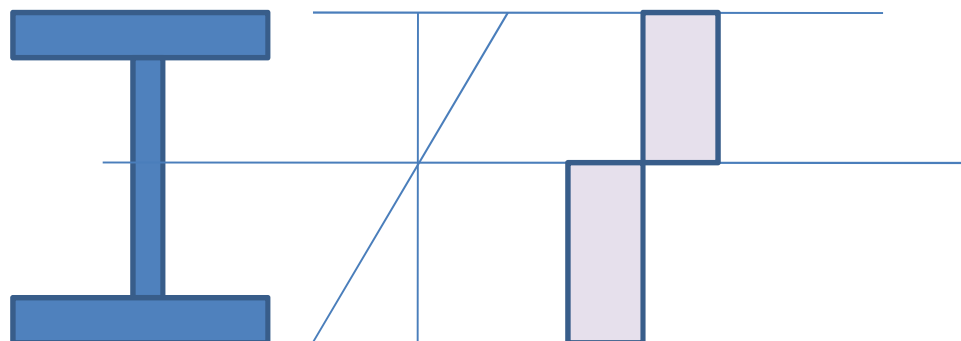
- Siehe Abschnitt 12.4.3.
- Knickspannungslinie c; Ersatzimperfektion nach Tab. 12-4: $v = l/400 = 1,5$ cm
- Wölbkrafttorsion Theorie II. Ordnung, berechnet mit BTII [153].
- EK5, Stelle $x = 2,28$ m:
 - $M_{y,Ed} = 130$ kNm
 - $M_{z,Ed} = 36,3$ kNm
 - $M_{w,Ed} = 3,96$ kNm²
- $M_{pl,y,Rd} = 450$ kNm/ χ_{M0} ; $M_{pl,z,Rd} = 204$ kNm/ χ_{M0} ; $M_{pl,w,Rd} = 28,2$ kNm²/ χ_{M0}

Dokaz nosilnosti

- Nachweis:
$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^{2,0} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{pl,w,Rd}} \leq 1,0$$
$$\left(\frac{130}{450 / \gamma_{M0}} \right)^{2,0} + \frac{36,3}{204 / \gamma_{M0}} + \frac{3,96}{28,2 / \gamma_{M0}} = 0,40 \text{ für } \gamma_{M0} = 1,0 (\checkmark)$$
$$= 0,45 \text{ für } \gamma_{M0} = 1,1$$
- Es ergibt sich eine geringere Auslastung als beim Spannungsnachweis in Abschnitt 14.5.3, da plastische Querschnittsreserven ausgenutzt werden.

Primerjava metod

Metoda	Izkoriščenost	Opomba
1	77%	Nadomestna palica (pasnica in 1/5 stojine), linearno napetostno stanje
2	81 %	TDR, imperfekcija, ovirana torzija, linearno nap. stanje
3	40%	TDR, imperfekcija, ovirana torzija, plastifikacija prereza



Malo teorije

- **TPR – teorija prvega reda:**
 - mali pomiki,
 - ravnotežje na nedeformiranem telesu
(OSNOVNA STATIKA in TRDNOST, Kirchoffova teorija)
- **TDR - teorija drugega reda:**
 - mali pomiki,
 - ravnotežje na deformiranem telesu

a) OSNOVNA TRDNOST → UKLON, IZBOČITEV,
problem lastnih vrednosti, določimo le kritično obremenitev;

b) NATANČNEJŠI IZRAČUNI LINIJSKI IN PLOSKOVNIH KONSTRUKCIJ –
z računalniškimi programi in **dobrim teoretičnim znanjem** ;
Timošenkova metoda, Newton- Raphson
- **TTR - teorija tretjega reda:**
 - veliki pomiki,
 - ravnotežje na deformiranem telesu,
(SKRATKA BREZ POENOSTAVLJANJA RAČUNSKEGA MODELA,
Uporabno: za raziskave, ugotavljanje napake metode razvite po TPR in TDR)

TDR in Timošenkova metoda

- Eksaktna Timošenkova teorija nosilca
- Mali pomiki
- Upoštevamo vpliv strižnih sil na pomik nosilca
- Uporabno za skeletne konstrukcije npr. hale

Običajno prerečunamo po TDR in Timošenko



mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

Običajno prerečunamo po TDR in Timošenko



mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

TDR – Newton- Raphson metoda

- Veliki pomiki
- Obremenitev delimo v več korakov
- **Osna sila in veliki pomiki izdatno vplivajo na velikost upogibnega momenta**
- Uporabno za vitke konstrukcije (npr. teleskopske ročice dvižnih delovnih ploščadi in avtožerjavov ...)

TDR in Newton- Raphson metoda



mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

TDR in Newton- Raphson
metoda



TDR in Newton- Raphson metoda



mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

Napake in delni varnostni faktorji

Vrste napak

1. Napaka računskega modela (zanemaritve in poenostavitve v teoriji)
2. Zaokrožitvene napake (veliki sistemi enačb, **slabo pogojene matrike- dvomljivi rezultati**)
3. **Nenatančno poznavanje obtežb (predvsem zato potrebujemo varnostne faktorje)**

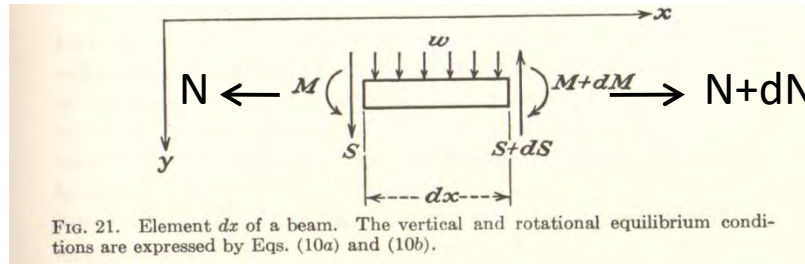
Zaradi naštetih napak potrebujemo varnostne faktorje (γ_F, γ_M).

Teorija drugega reda

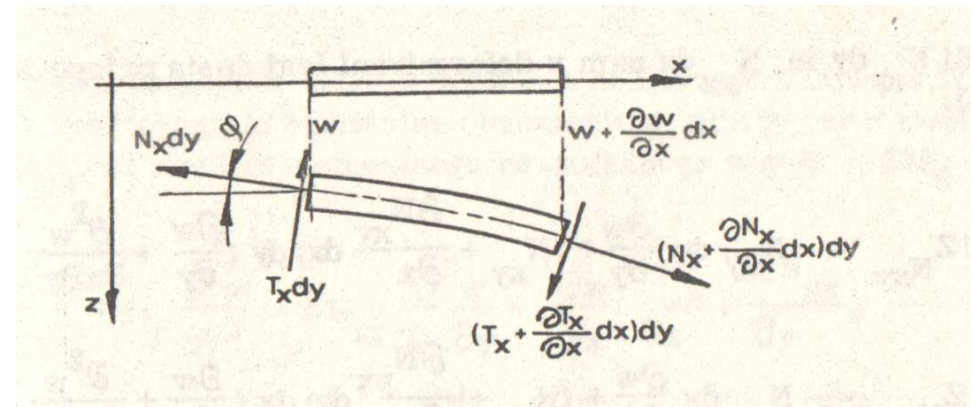
TDR

Teorija drugega reda -TDR

Pri teoriji drugega reda nastavljamo ravnotežne enačbe na deformiranem nosilcu (telesu).



TPR
N ne vpliva na M



TDR
N vpliva na M

Imperfekcija

Globalna imperfekcija

Npr. – napake pri montaži

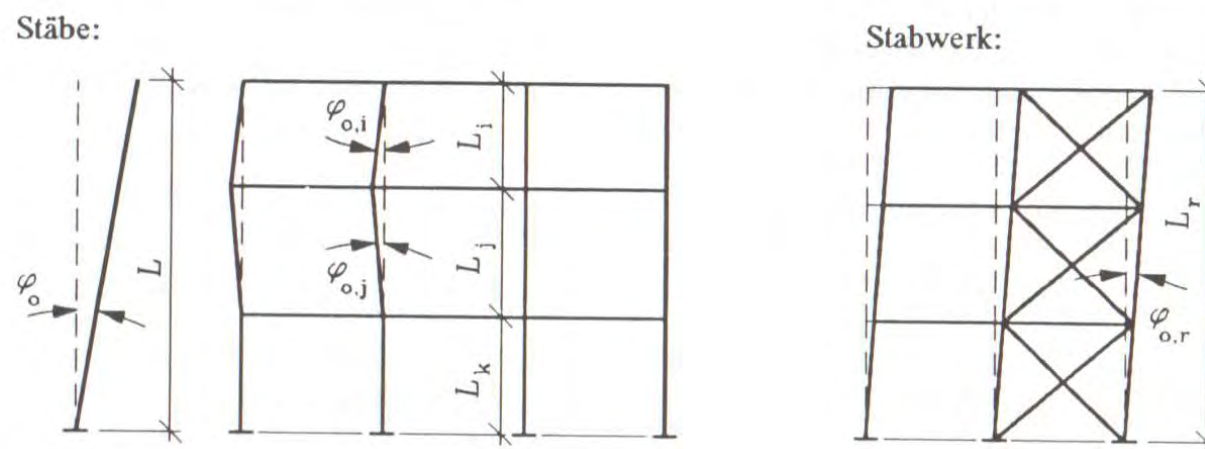


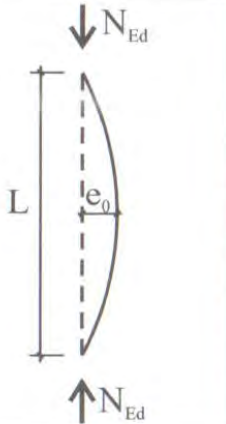
Abb. 8.8a Winkel der Vorverdrehung φ_o bei Stäben und Stabwerken

Lokalna imperfekcija

Npr. – os profila ni ravna

Lokalne nadomestne nepopolnosti

Oblika in amplituda lokalnih nepopolnosti posameznih elementov je podana na *Sl. 3-8*.

	uklonska krivulja po <i>Sl. 3-25</i>	elastična analiza	plastična analiza
		e_0 / L	e_0 / L
	a_0	1 / 350	1 / 300
	a	1 / 300	1 / 250
	b	1 / 250	1 / 200
	c	1 / 200	1 / 150
d	1 / 150	1 / 100	

Sl. 3-8. Projektne vrednosti amplitude lokalnih nepopolnosti

Lokalna imperfekcija na žerjavni progi

- Imperfekcija (za naš primer $v = L/400$) v vodoravni ravnini žerjavne proge

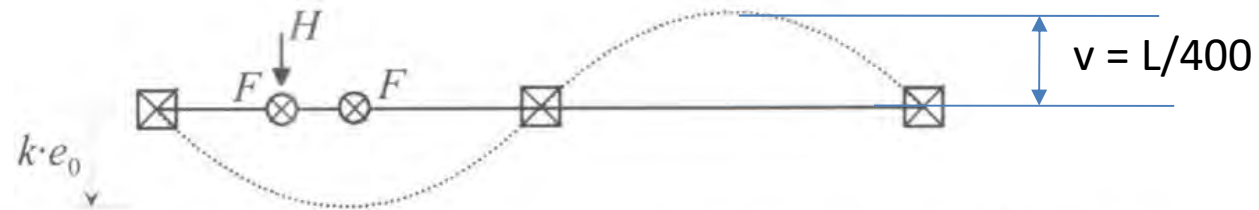
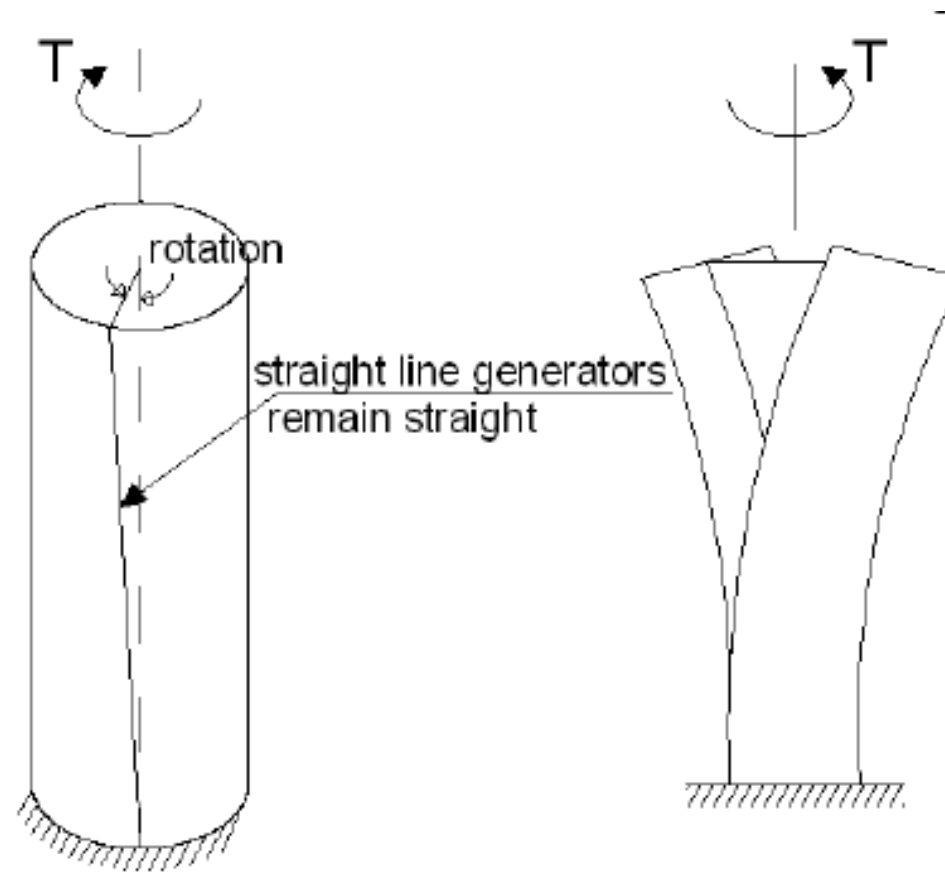


Abb. 12-4 Ansatz der Ersatzimperfektion $k \cdot e_0$ in y -Richtung bei einem zweifeldrigen Kranbahnträger; Darstellung im Grundriss

TLORIS

Teorija
TORZIJA:
St. Venantova teorija in
ovirana torzija

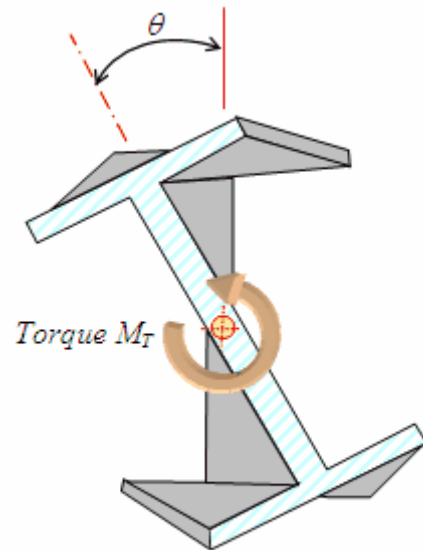
St. Venantova torzija in ovirana torzija



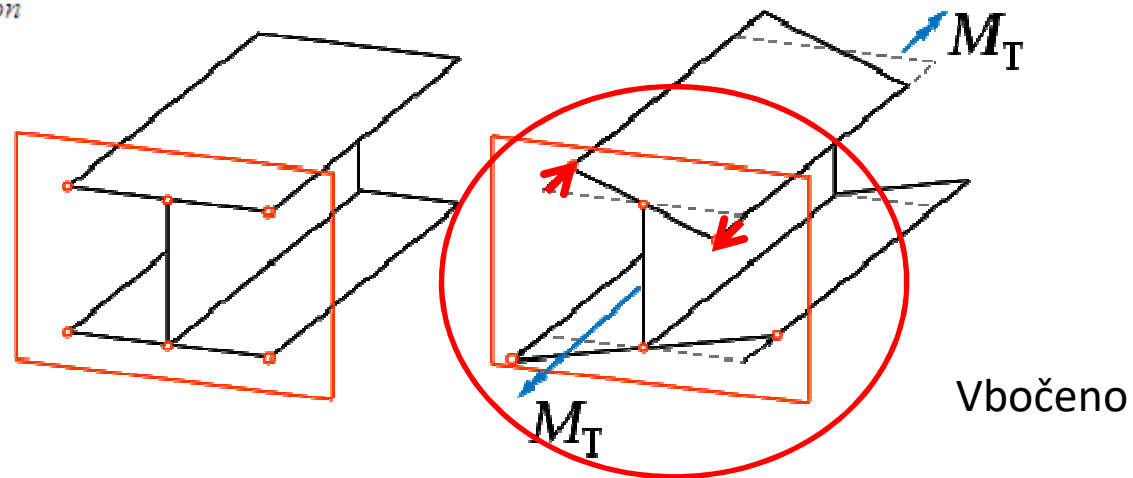
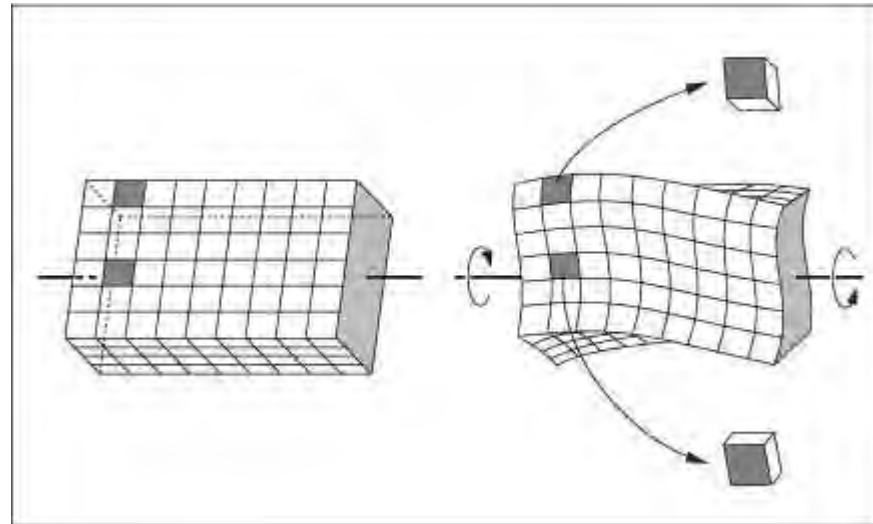
St. Venantova torzija:
prerez ostane ravninski

Ovirana torzija:
prerez se vboči

Vbočenje, Verwölbung, Warping



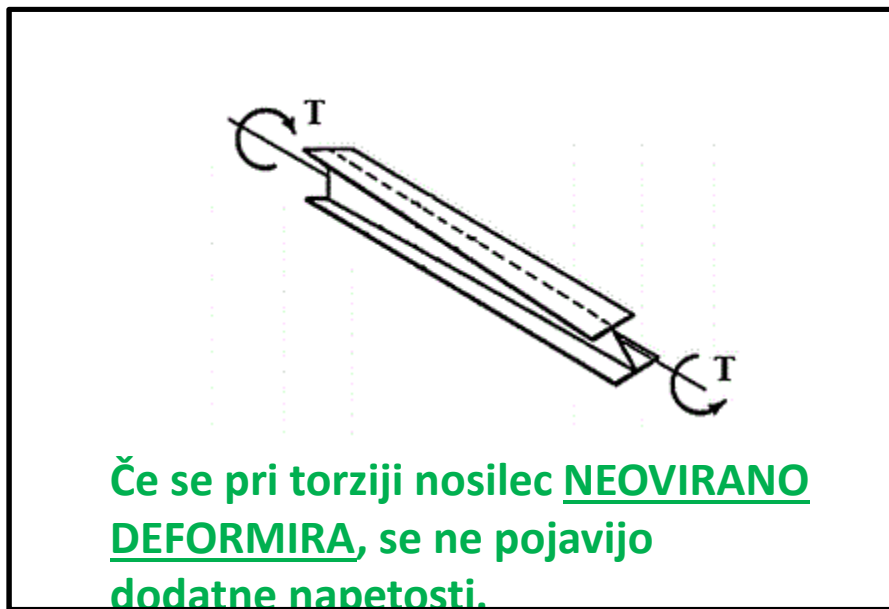
Example of torsion



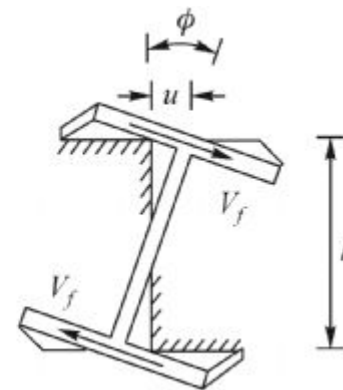
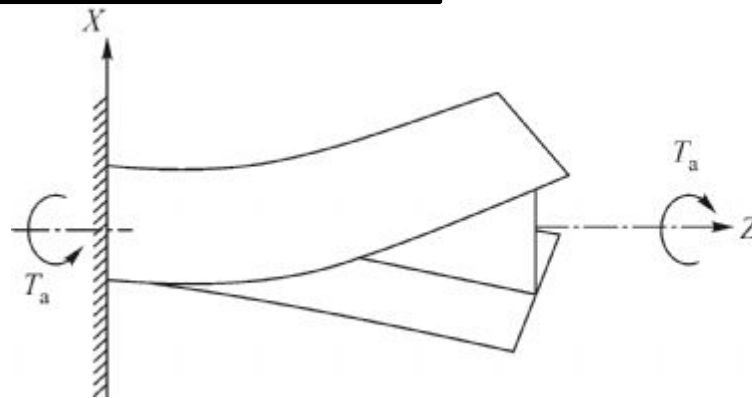
- Če se pri torziji nosilec NEOVIRANO DEFORMIRA, se ne pojavijo dodatne napetosti.
- Če so torzijske DEFORMACIJE OVIRANE (vpetja prereza, skok M_T), nastanejo dodatne napetosti.

Glej naslednji dia!

Ovirane in neovirane deformacije pri torziji

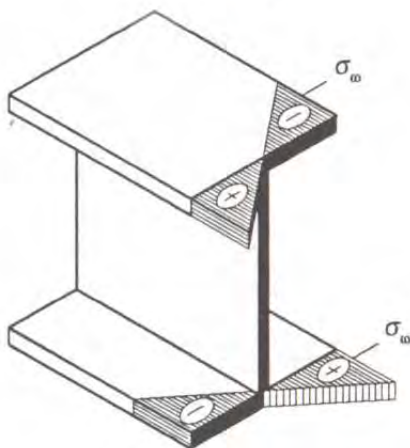


Če so torzijske DEFORMACIJE OVIRANE (vpetja prereza), nastanejo dodatne napetosti.



Dodatne normalne in tangencialne napetosti zaradi ovirane torzije

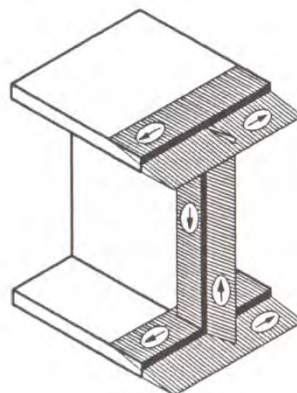
Normalspannungen infolge des positiven Wölbmoments M_{ω} :



$$\sigma_{\omega} = M_{\omega} \cdot w_M / I_{\omega}$$

Dodatne normalne napetosti zaradi **ovirane torzije**

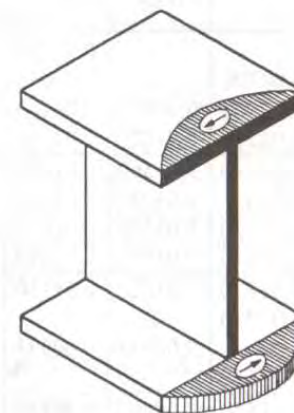
Schubspannungen infolge des positiven primären Torsionsmoments $M_{x,p}$:



im Steg: $\tau = M_{x,p} \cdot s / I_T$
 im Flansch: $\tau = M_{x,p} \cdot t / I_T$ (Maximalwert)

Osnovne tangencialne napetosti zaradi **St. Venantove torzije**

Schubspannungen infolge des positiven sekundären Torsionsmoments $M_{x,s}$:



$$\max \tau = M_{x,s} \cdot w_M \cdot (b / 4) / I_{\omega}$$

Dodatne tangencialne napetosti zaradi **ovirane torzije**

Občutljivost profilov na vbočenje

- **Občutljivi** profili so I, U in Z
 - Upoštevamo St. Venant-ovo in ovirano torzijo

- **Neobčutljivi** so:
 - L in T profili ter
 - okrogle, kvadratne in pravokotne cevi
 - Upoštevamo samo St. Venant-ovo torzijo

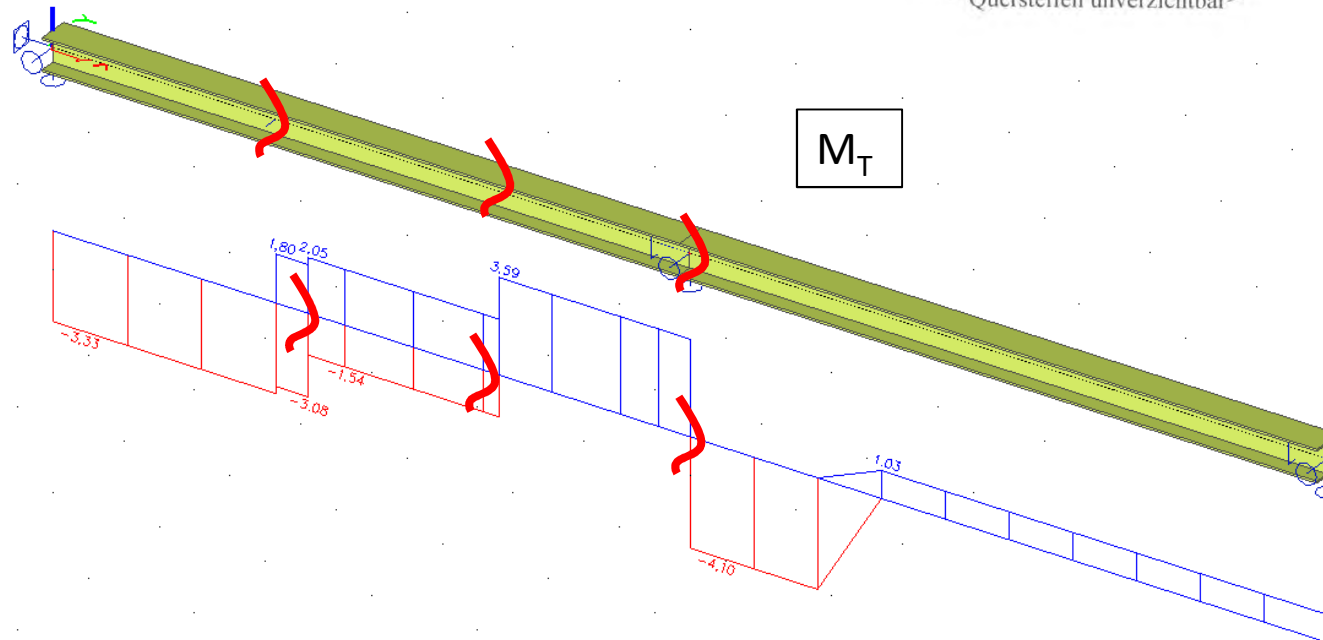
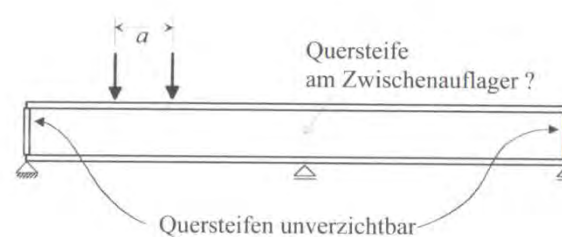
Dodatne napetosti nastanejo:

- Pri spremembi torzijskega momenta po osi nosilca
- Pri oviranju vbočenja (npr. vpetje, čelna plošča ...)



Mesta kjer nastane ovirana torzija:

- sprememba poteka M_T
- podpora



Izbočenje

Izbočenje stojine

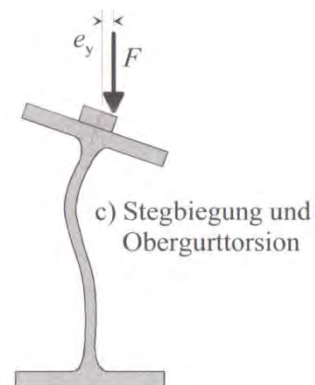
Vrste izbočenja stojine

SIST EN 1993-1-5:2007

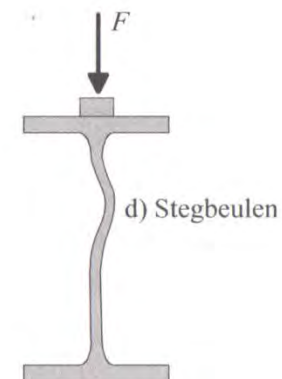
b)	Lokalno plastificiranje stojine neposredno pod koncentrirano silo	Crushing of the web
c)	Lokalno izbočenje stojine neposredno pod koncentrirano silo	Crippling of the web
d)	Izbočitev celotnega polja zaradi prečne sile	Buckling of the web



b)

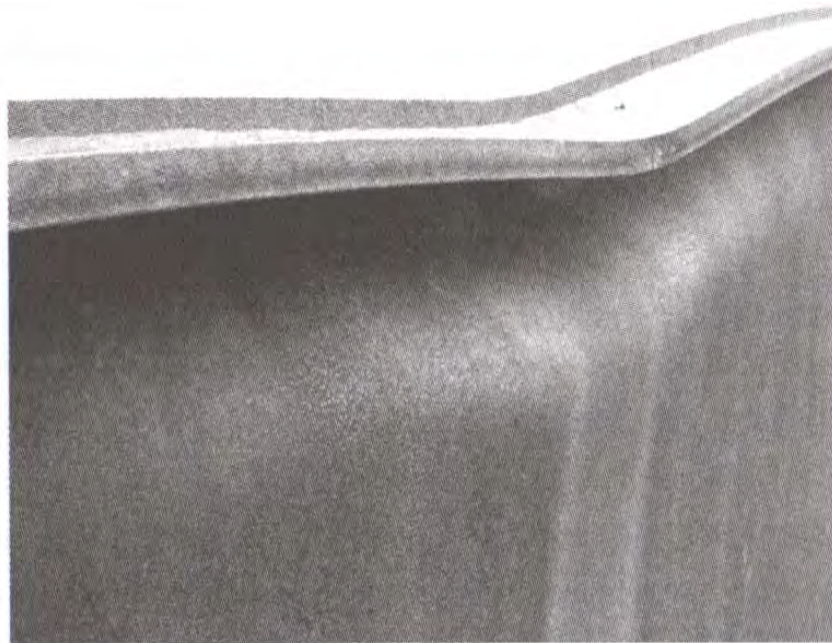


c)



d)

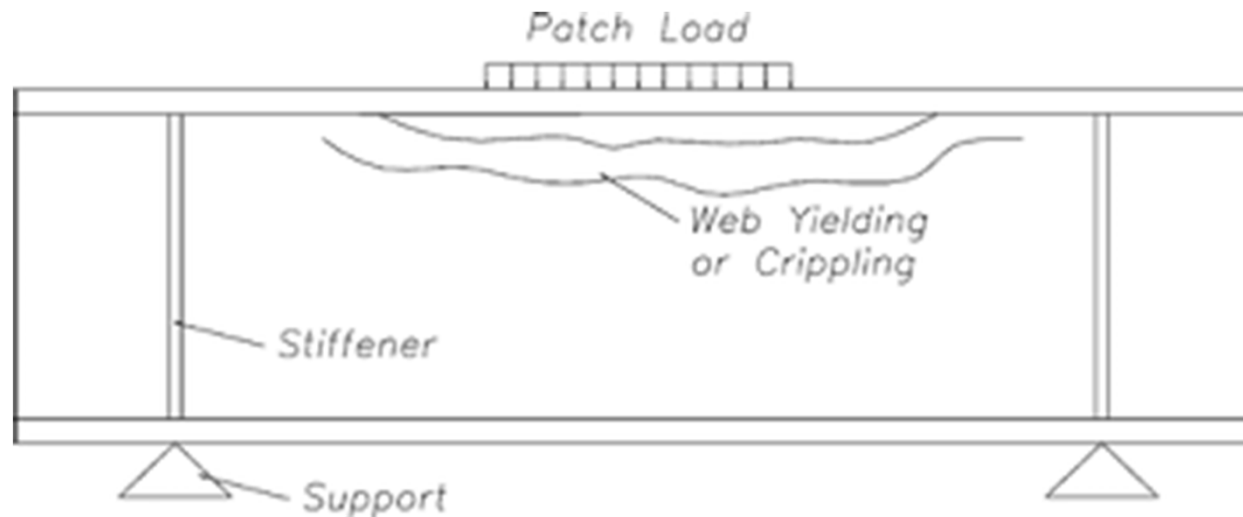
Izbočenje stojine zaradi kolesnega pritiska



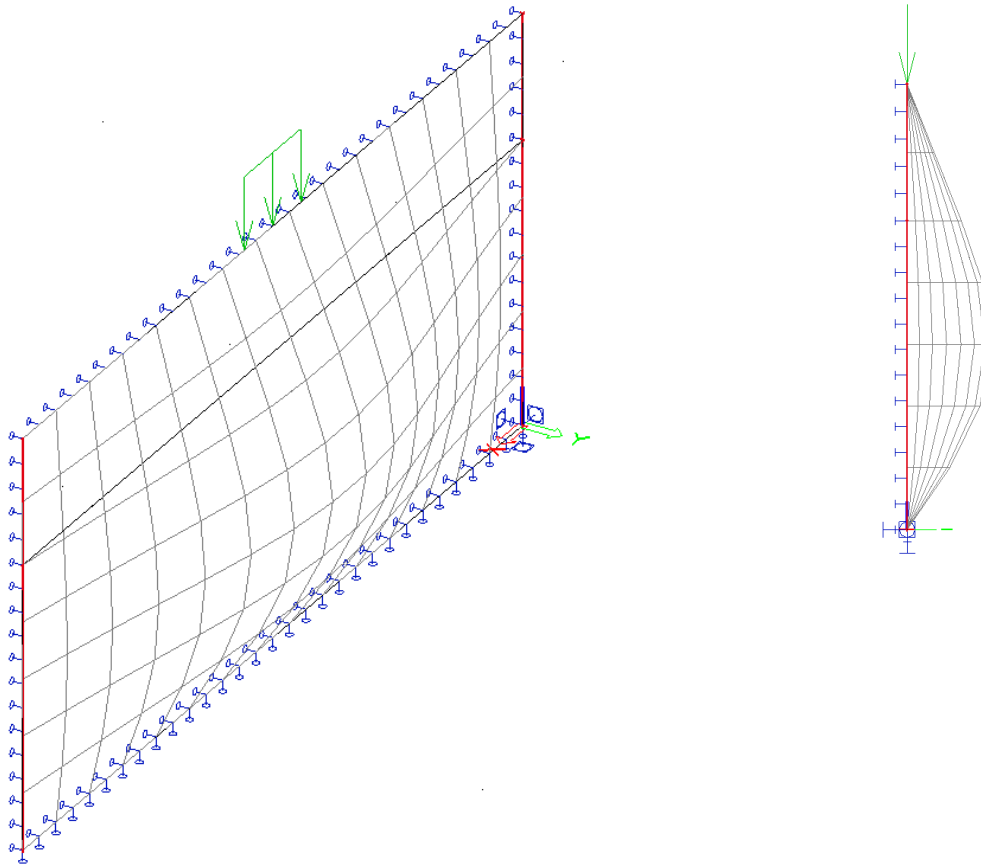
!bb. 7-1 Stegbeulen eines Kranbahnträgers unter der Radlast

Stojina:

plastična deformacija ali
lokalno izbičenje pod silo (Crippling)



Izbočenje stojine



Satasti nosilec

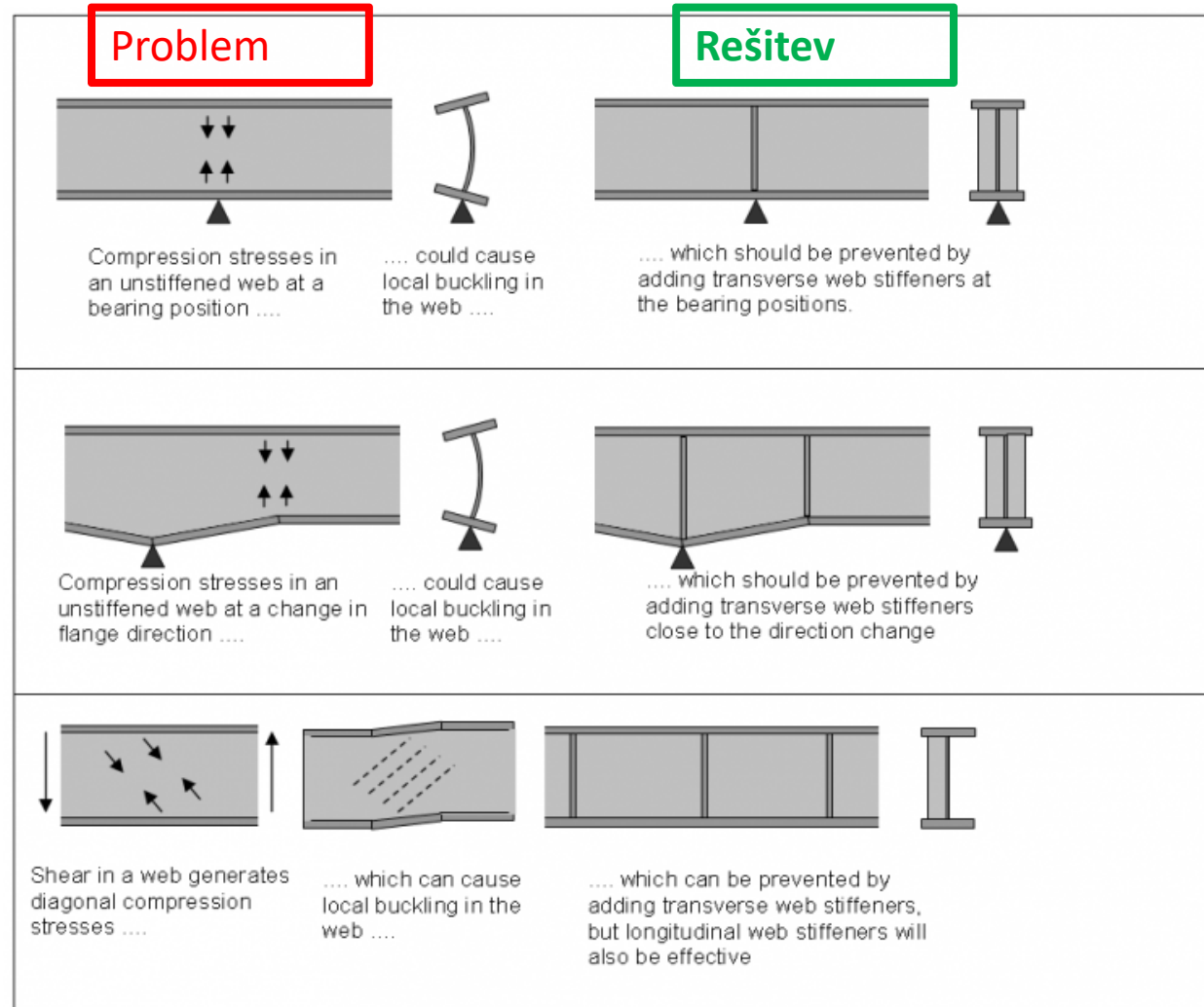


mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop

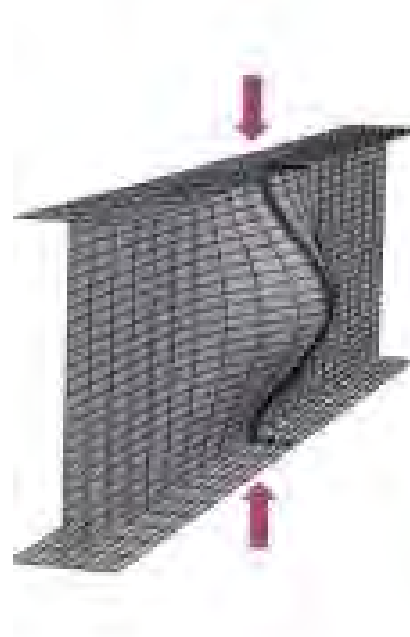
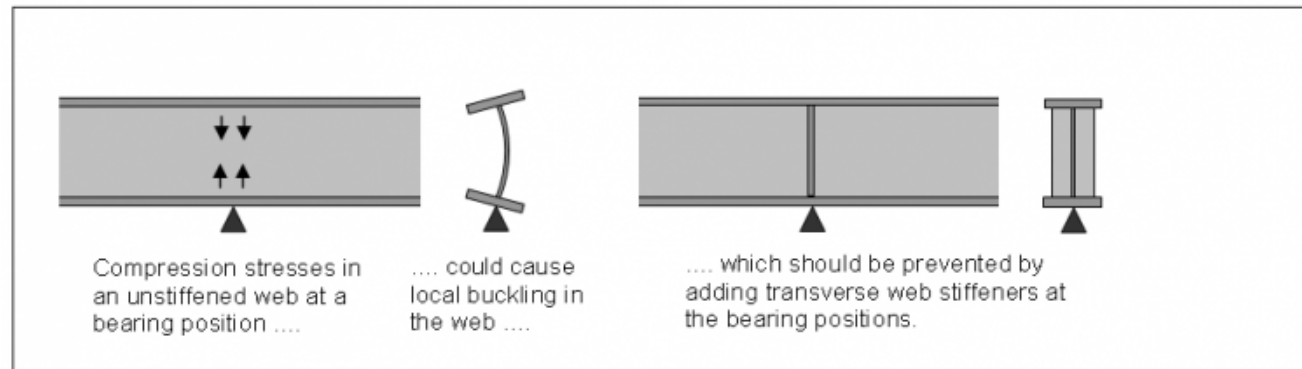
Povečanje nosilnosti pri izbočitvi

**OJAČITVE:
HORIZONTALNA IN
VERTIKALNA REBRA**

Izbočenje stojine in ojačitve



Izbočenje stojine nad podporo



Izbočitev zaradi striga

Ojačitev:

Vertikalna rebra

Diagonalna rebra

Izbočitev zaradi striga

Ojačitev z vertikalnimi rebri

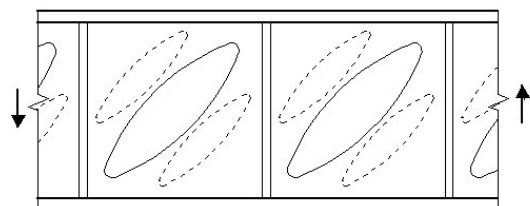
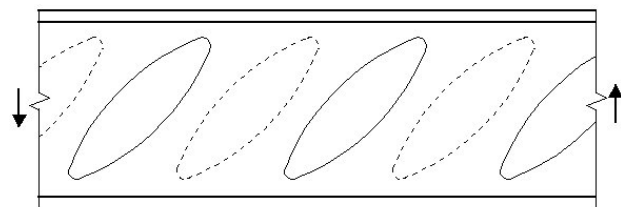
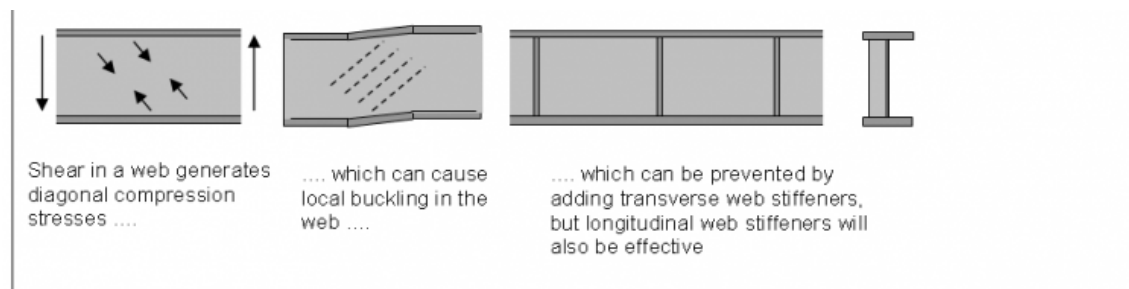
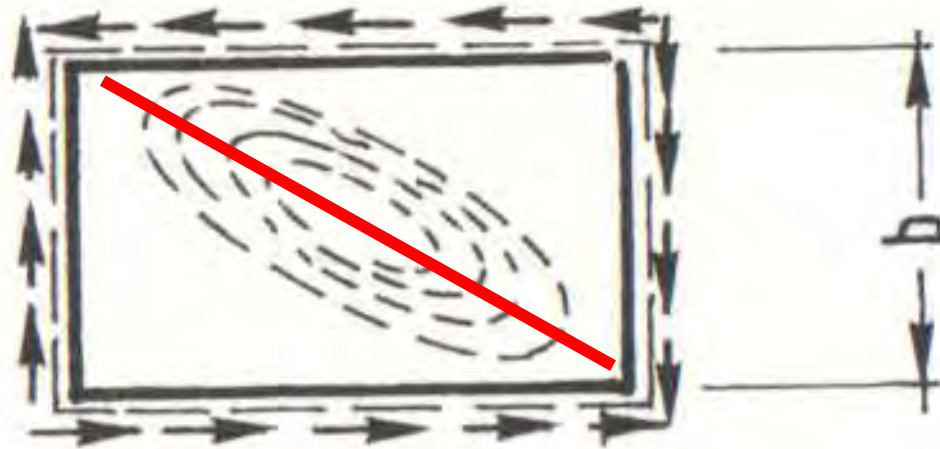


Figure 9 Buckling of slender web under shear

Izbočitev zaradi striga

Ojačitev z diagonalnim rebrom



Izbočitev zaradi striga – ojačitev vogala POŠEVNO REBRO

Zelo učinkovito- teoretično pravilno

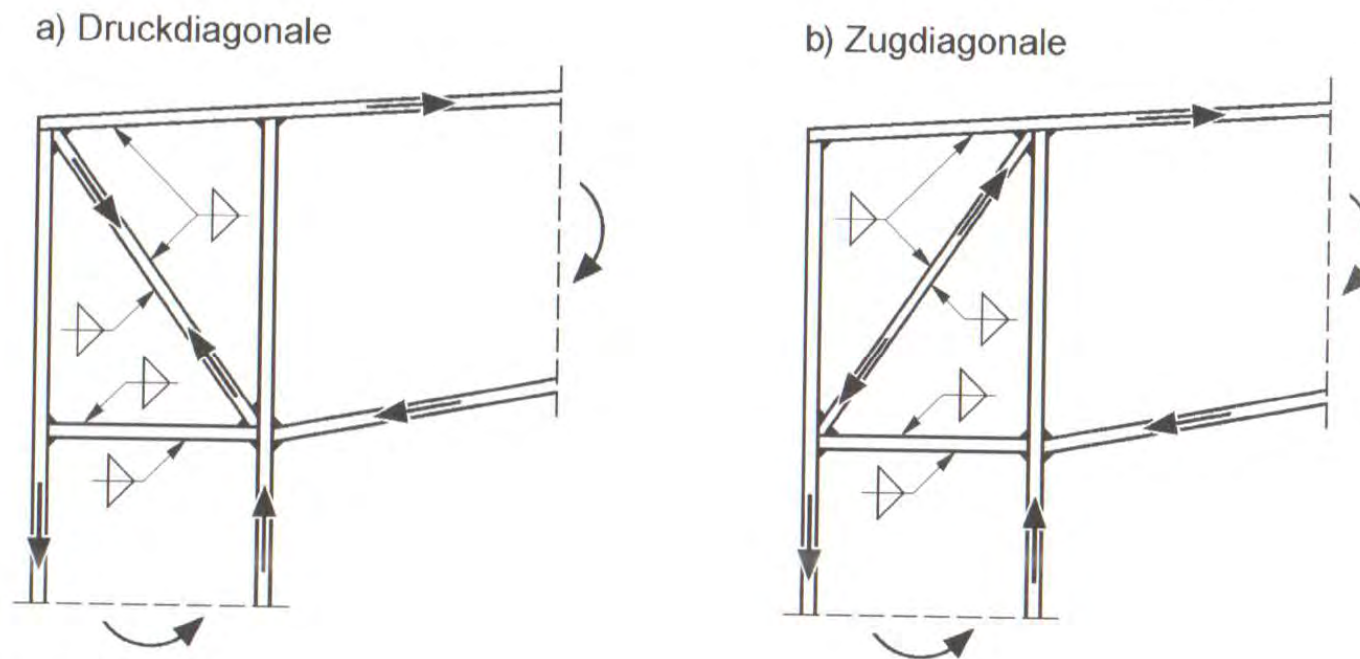
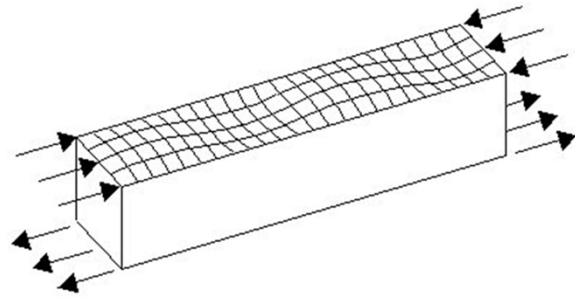


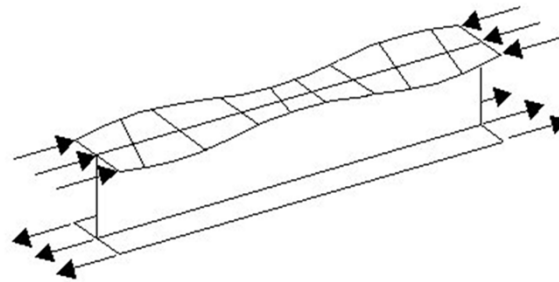
Bild 3.93 Rahmenecken mit schrägen Steifen

Izbočenje pasnice

Izbočenje tlačene pasnice škatlasti in I prečni prerez



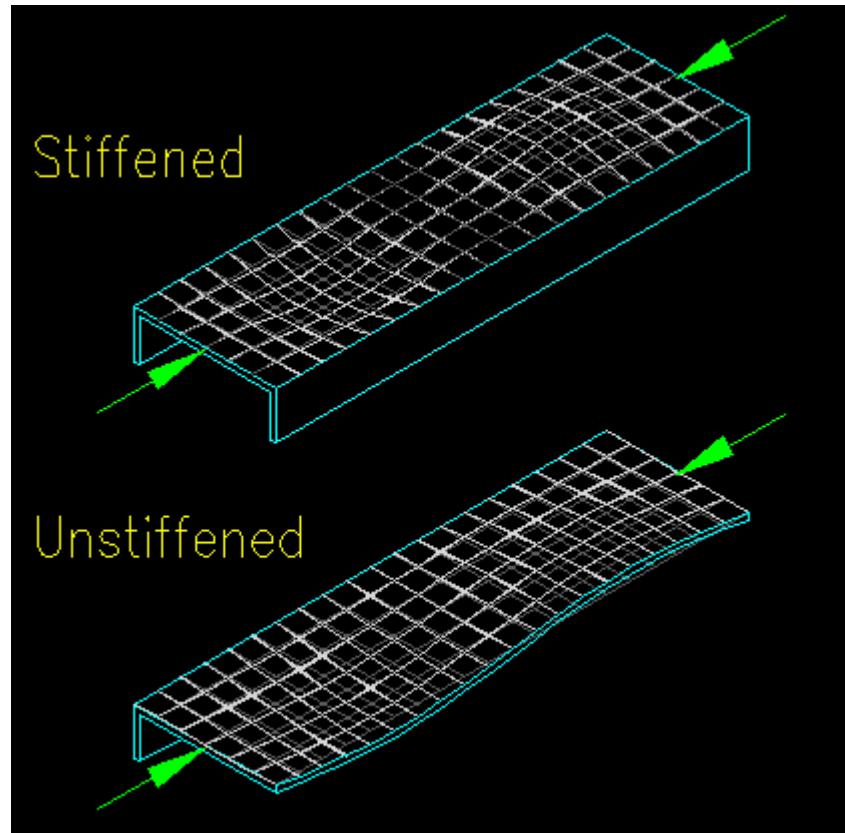
(a) Box girder



(b) Plate girder

Figure 7 Plate buckling of elements of members

Izbočenje pasnice



Pasnica škatlastega prereza

Pasnica – polovica I prereza

Lokalno izbočenje pasnice

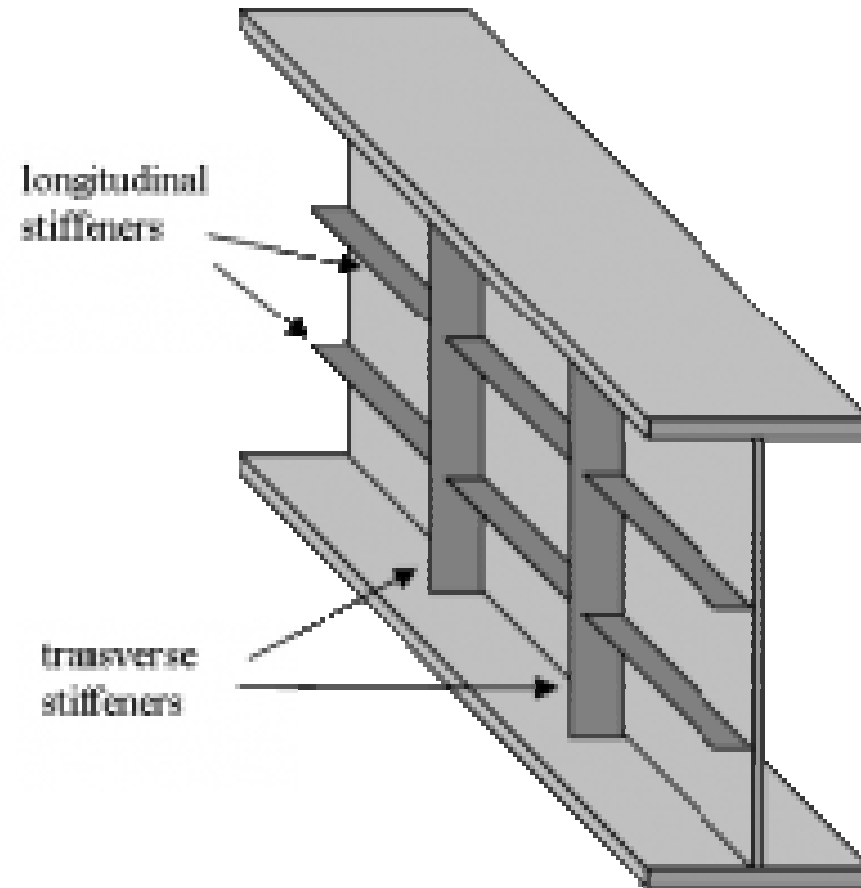


Lokalno izbočenje (tudi strig v stojini)



Ojačitve dolgih stojin

Ojačitev z vodoravnimi in navpičnimi rebri



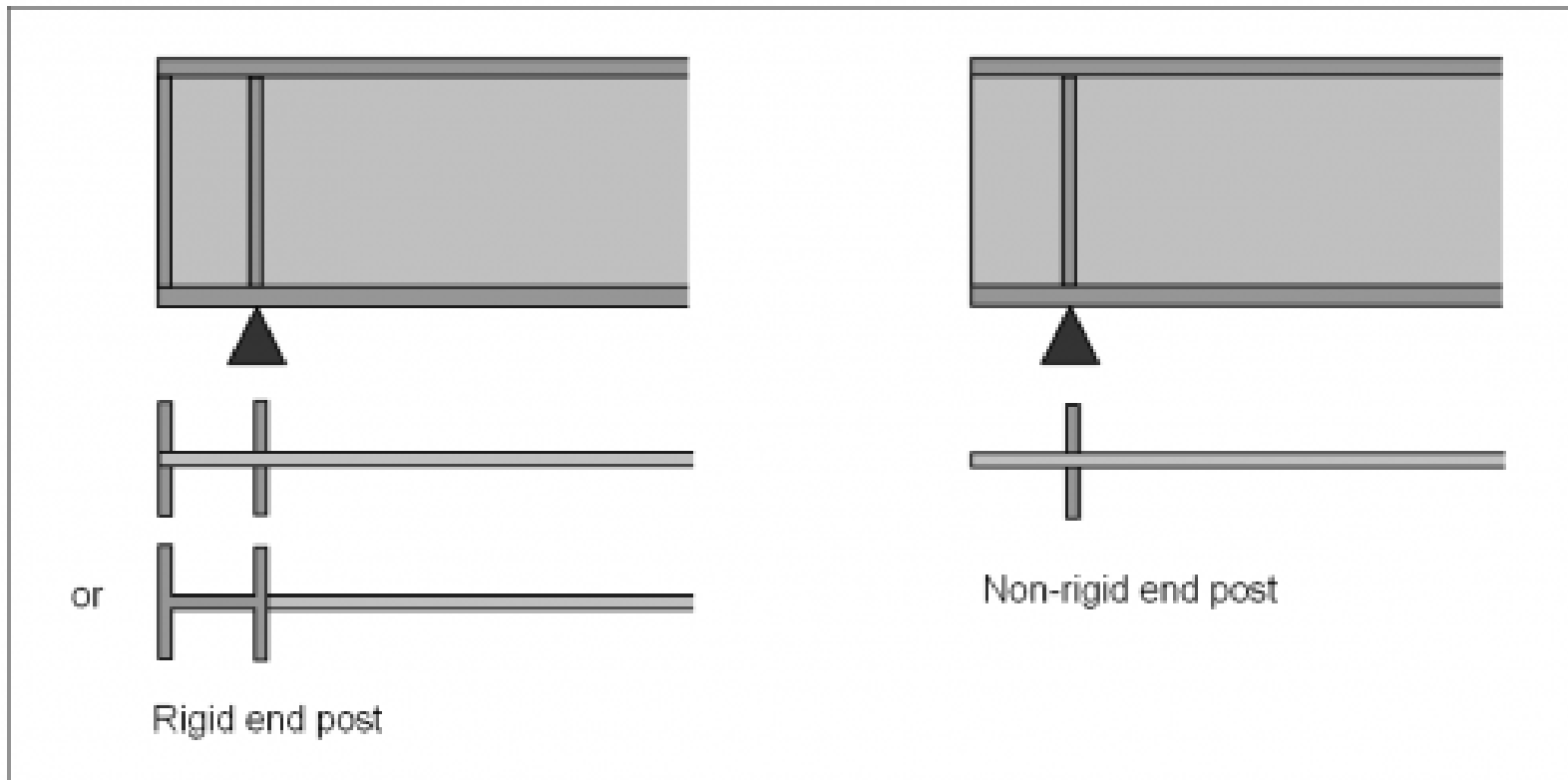
Vodoravna rebra so pri tlačnih obremenitvah učinkovitejša kot vertikalna.

Glej: Pristavec, Kramberger; Konstrukcije in naprave, drugi del, str. 129

Ojačitev stojine (proti izbočenju)

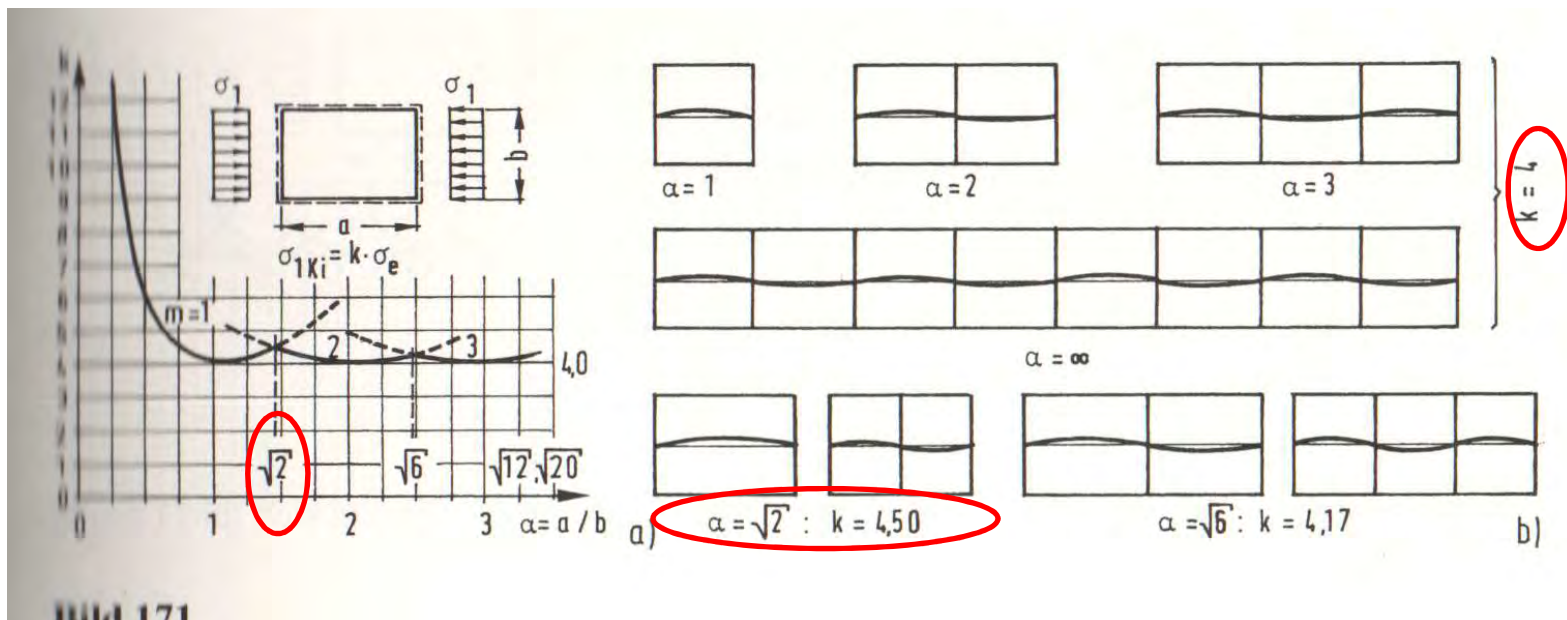


Toga in manj členkasta podpora



**Kam namestimo rebra,
da povečamo
nosilnost pri
izbočenju?**

Vir: Petersen: Stahlbau, 4. Auflage, str. 411



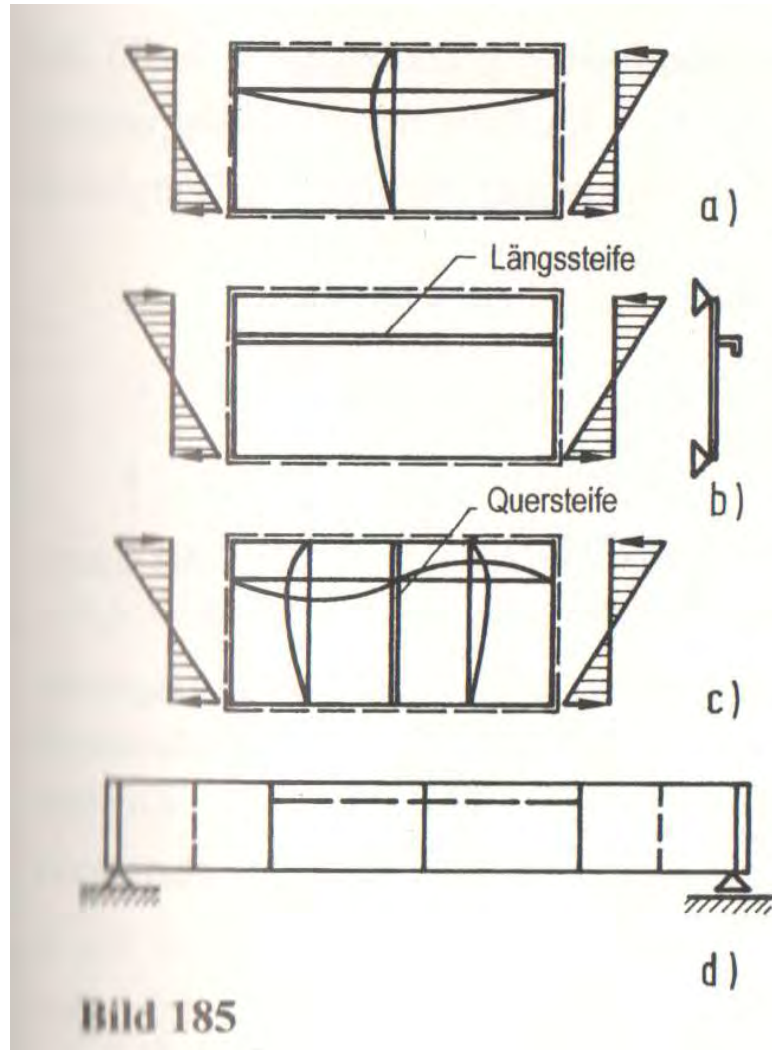
$$\alpha = \frac{a}{b}$$

$$\sigma_{1Ki} = k \sigma_e$$

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2$$

**Rebra ne smejo ležati v vozlišču izbočitvene oblike plošče.
 α ne sme biti celo število**

Vir: Petersen: Stahlbau, 4. Auflage, str. 424



Prečno rebro v tlačnem področju na višini $\frac{2}{3} b$ ali $\frac{3}{4} b$. (b je višina stene) **Močno** poveča nosilnost. Dia kasneje!

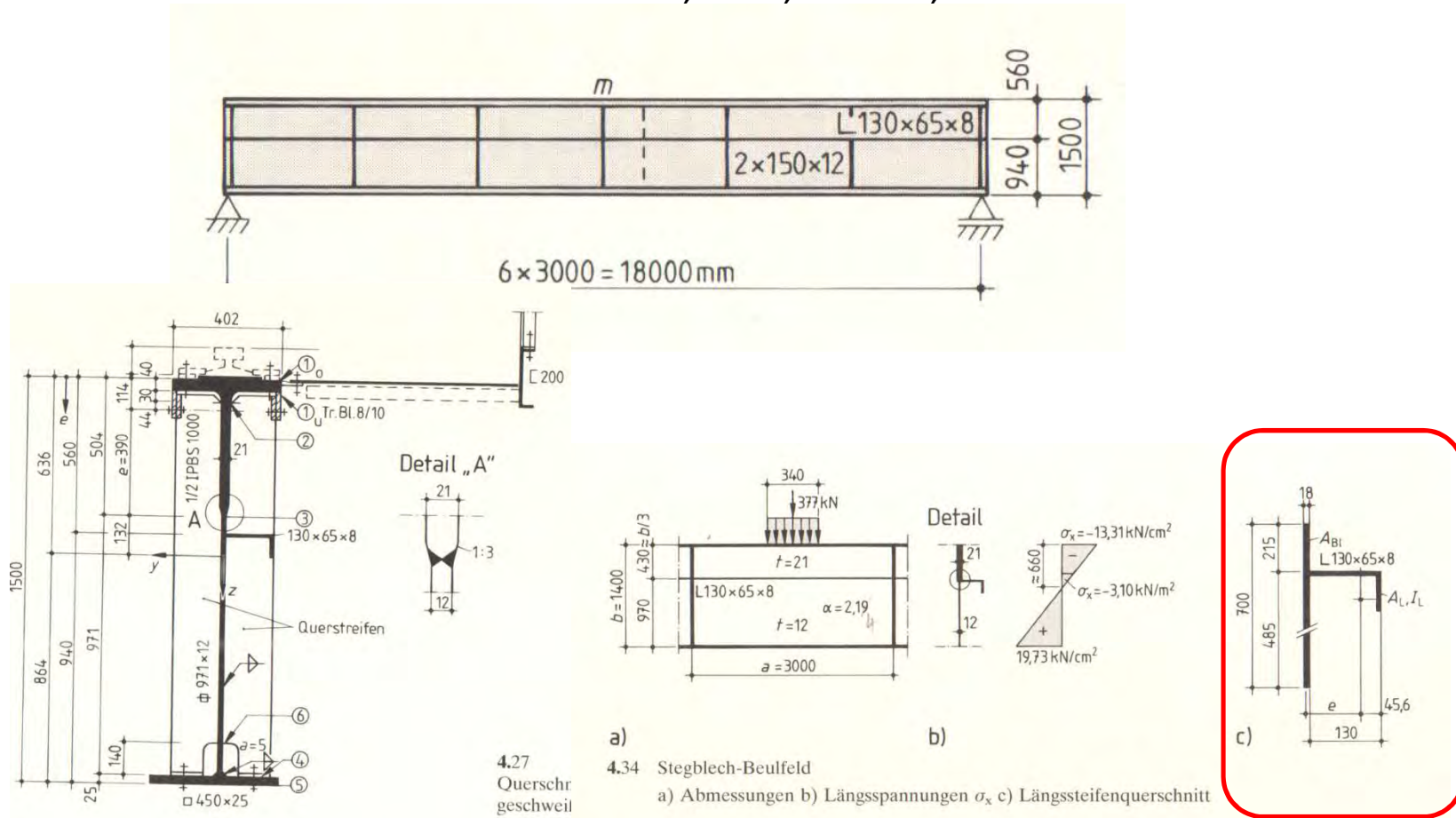
SAMO navpično rebro malo poveča nosilnost. Glej prejšnji dia! Če leži v vozlišču je, neučinkovito.

Nad podporo : strig, najučinkovitejše je diagonalno rebro. Učinkovito je tudi vertikalno rebro.

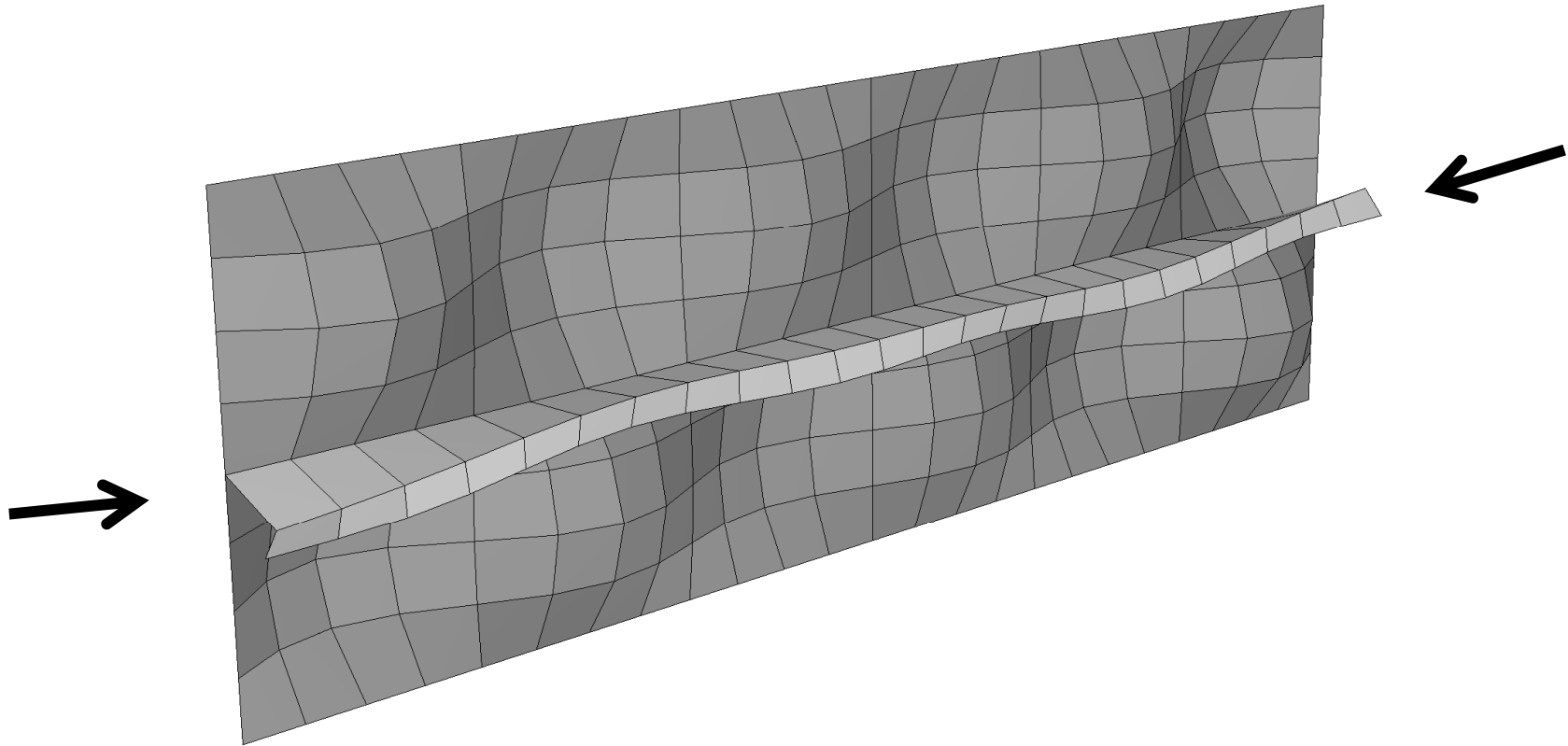
Način postavitve reber za prosto položeni nosilec (sl. d).

Žerjavna proga

Thiele: Stahlbau, Teil2, str. 157, Primer 4



Rebro ne sme ukloniti



Postavitev vzdolžnih reber in izbočeneje

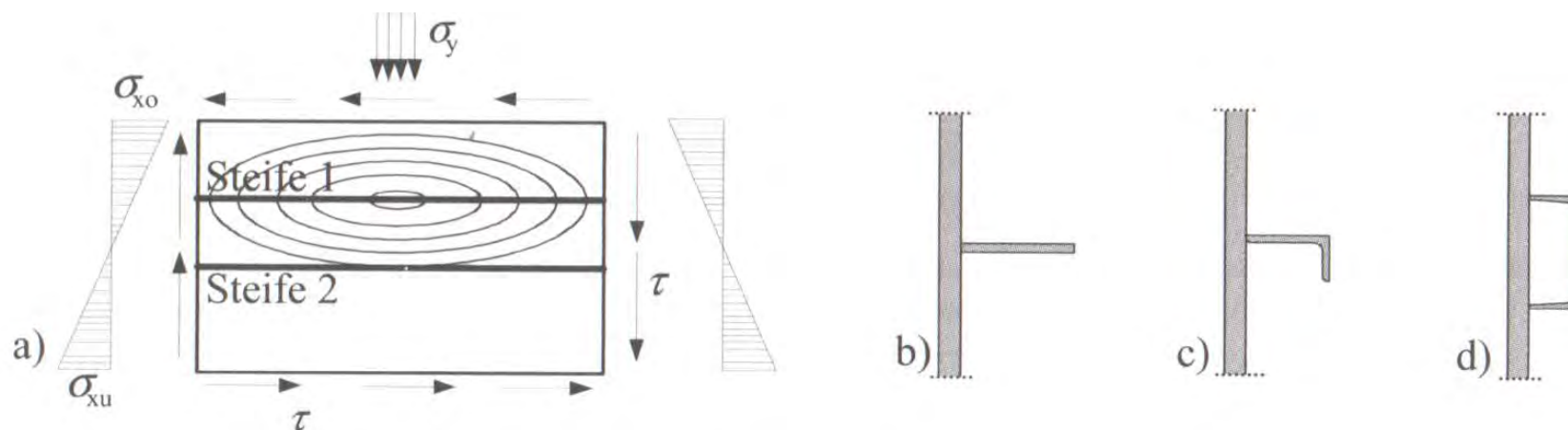


Abb. 7-7 a) Positionierung der Längssteifen; b) Längssteifen aus Flachstahl; c) Längssteifen aus Profilstahl; d) Profilstahl, der zusammen mit dem Stegblech einen geschlossenen Querschnitt bildet

Ojačenje škatlastega prereza

Dubbel, 18. izdaja, str. U 34

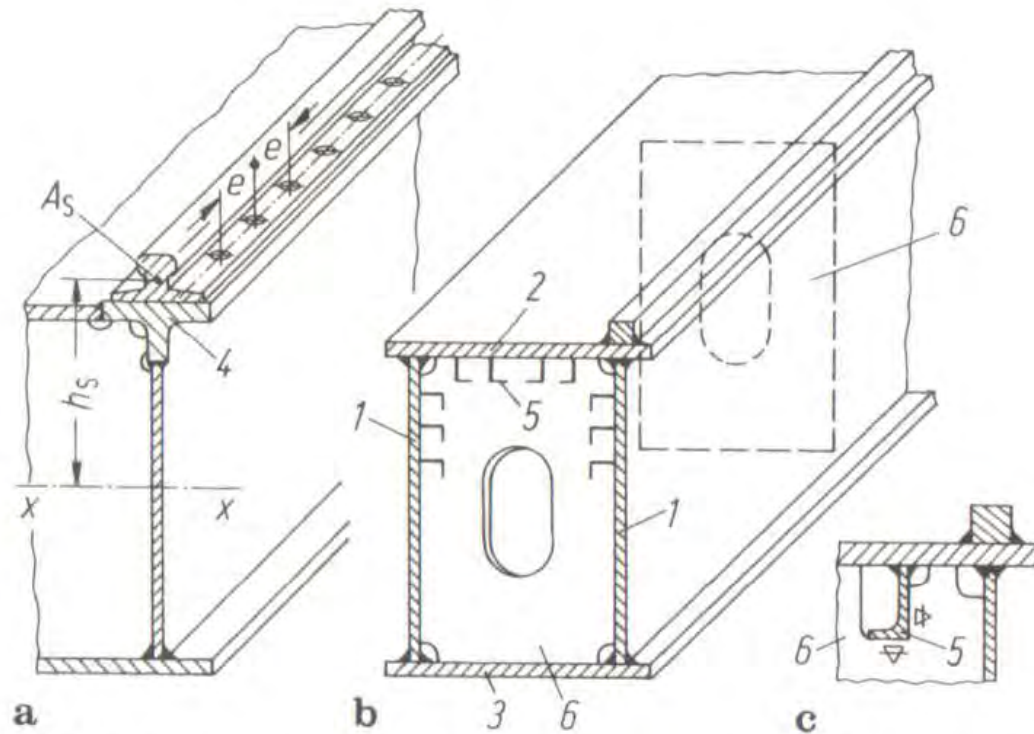


Bild 80. Kastenträgerquerschnitt (Erläuterungen im Text)

Računski model

Problem izbočenja zaradi N in My , Fz ter Vz

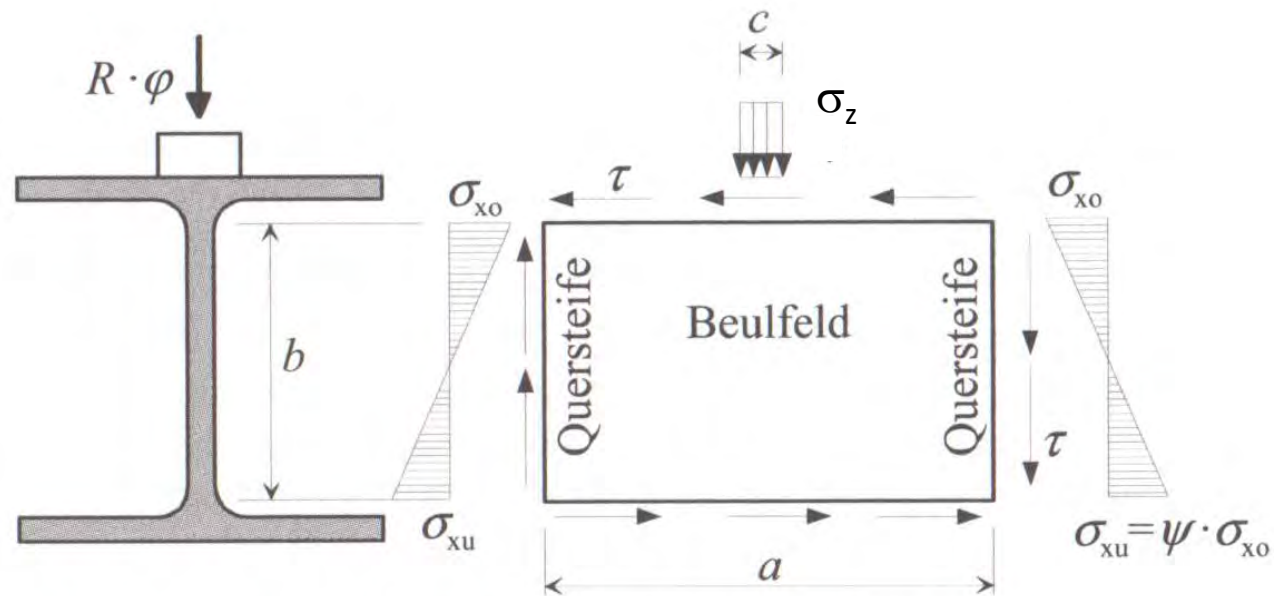
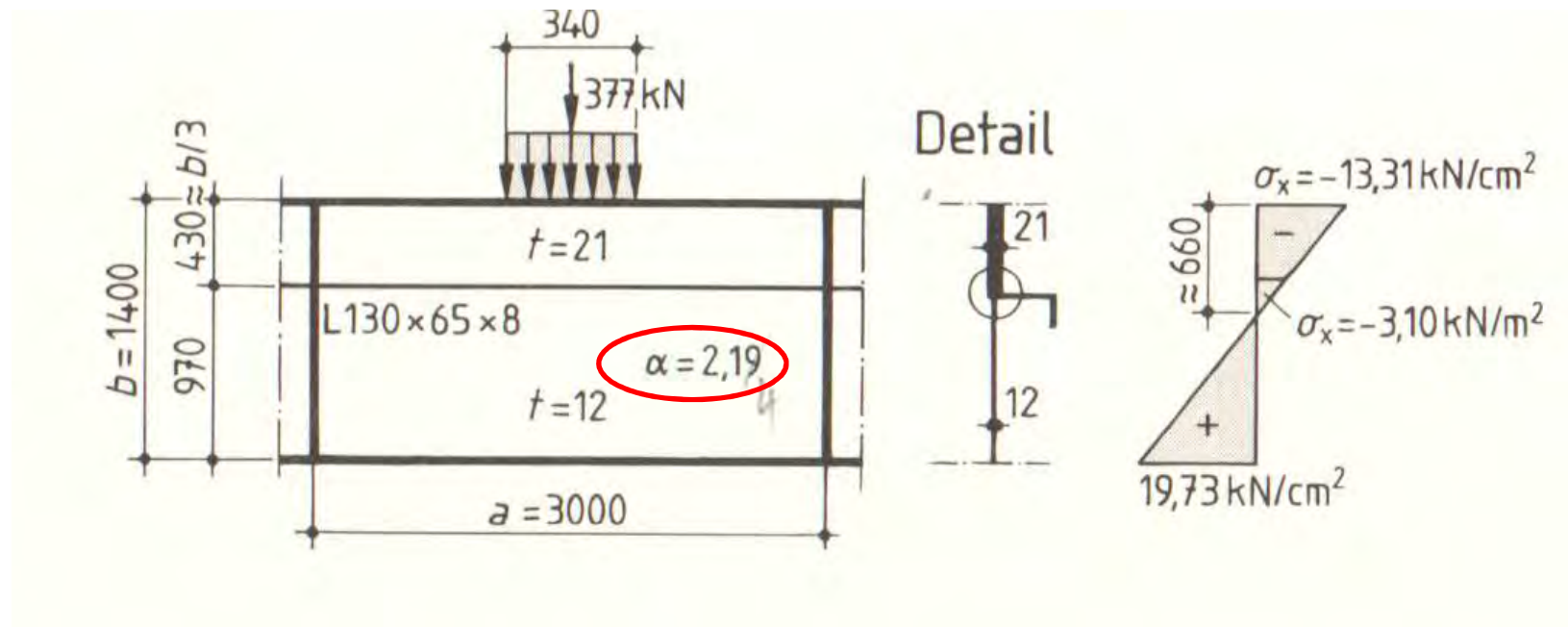


Abb. 7-2 Beulproblem des Kranbahnträgerstegs unter der Radlast

Računski model za kontrolo izbočenja z upoštevanjem kolesnega pritiska V POLJU



$$970/1400 = 0.69$$

$$2/3 = 0.67$$

Interakcija med kolesnim pritiskom, upogibom in strigom

Interakcija med:

- upogibnim momentom ($\sigma_{x,Ed}$)
- prečno silo (kolesni pritisk) ($\sigma_{z,Ed}$)
- strižno silo (τ_{Ed})

EN 1993-1-5: 2006 (E)

10 Reduced stress method

(1) The reduced stress method may be used to determine the **stress limits** for stiffened or unstiffened plates.

– $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ and τ_{Ed} are considered as acting together

ρ is the reduction factor depending on the plate slenderness $\bar{\lambda}_p$ to take account of plate buckling, see (5);

γ_{M1} is the partial factor applied to this method.

Projektna napetost

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 \leq 1 \quad (10.5)$$

Odpornost (nosilnost) pri izbočenju, mejna napetost pri izbočenju

Poružitvena hipoteza za dvoosno napetostno stanje

največjega preobraznega dela (Huber, Hencky, v. Mises)	$\sigma_p = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_y \sigma_z + 3 \tau_{zy}^2}$
--	---

Grafična predstavitev interakcije

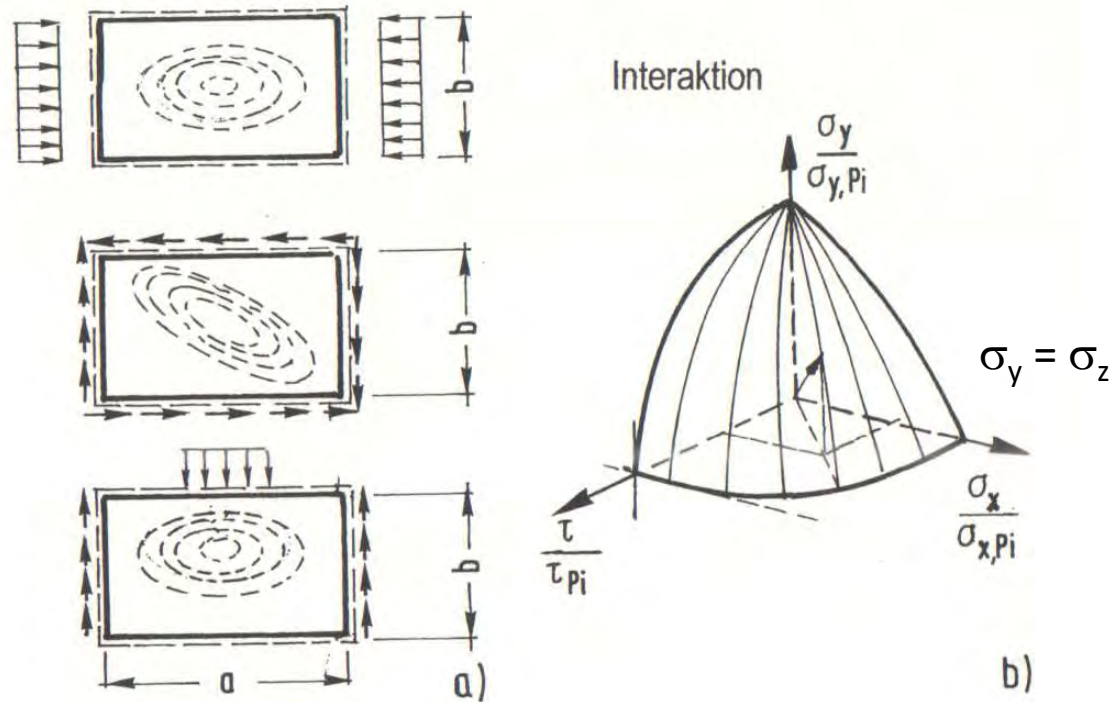
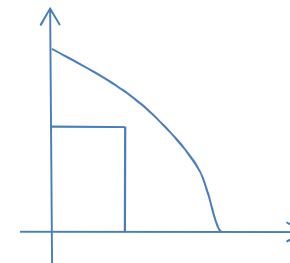


Bild 166



Kontrola vertikalnih in horizontalnih pomikov

Kombinacije za pomike

Kombiniramo karakteristične obtežbe. Glej podatke!

$$(\gamma_{F, ser} = 1.0)$$

Vertikalne sile na kolesih:

$$R_h = 57 \text{ kN (zaradi bremena)}$$

$$R_g = 18 \text{ kN (zaradi lastne teže žerjava)}$$

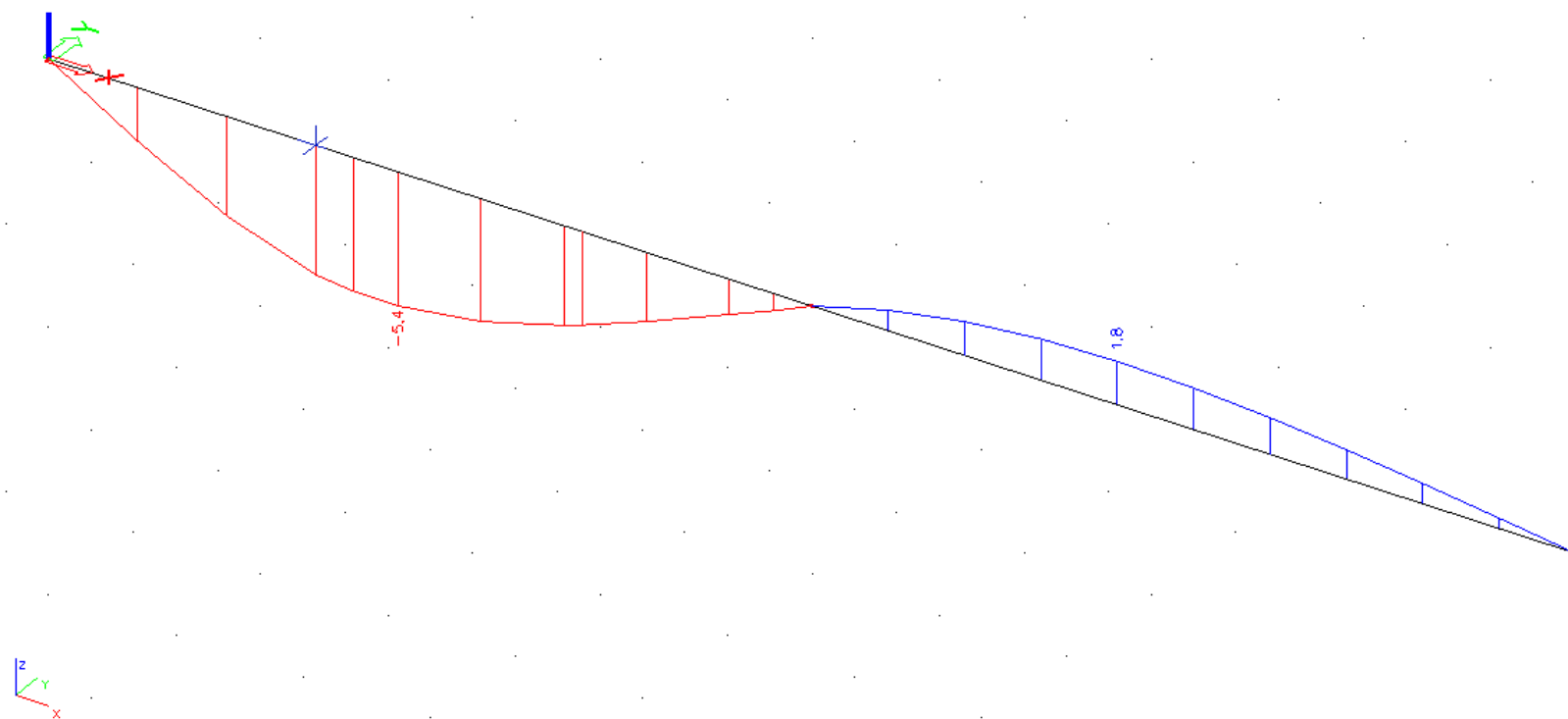
Horizontalne sile na kolesih:

$$H_1 = 20 \text{ kN, } H_2 = 0 \text{ (poševni tek)}$$

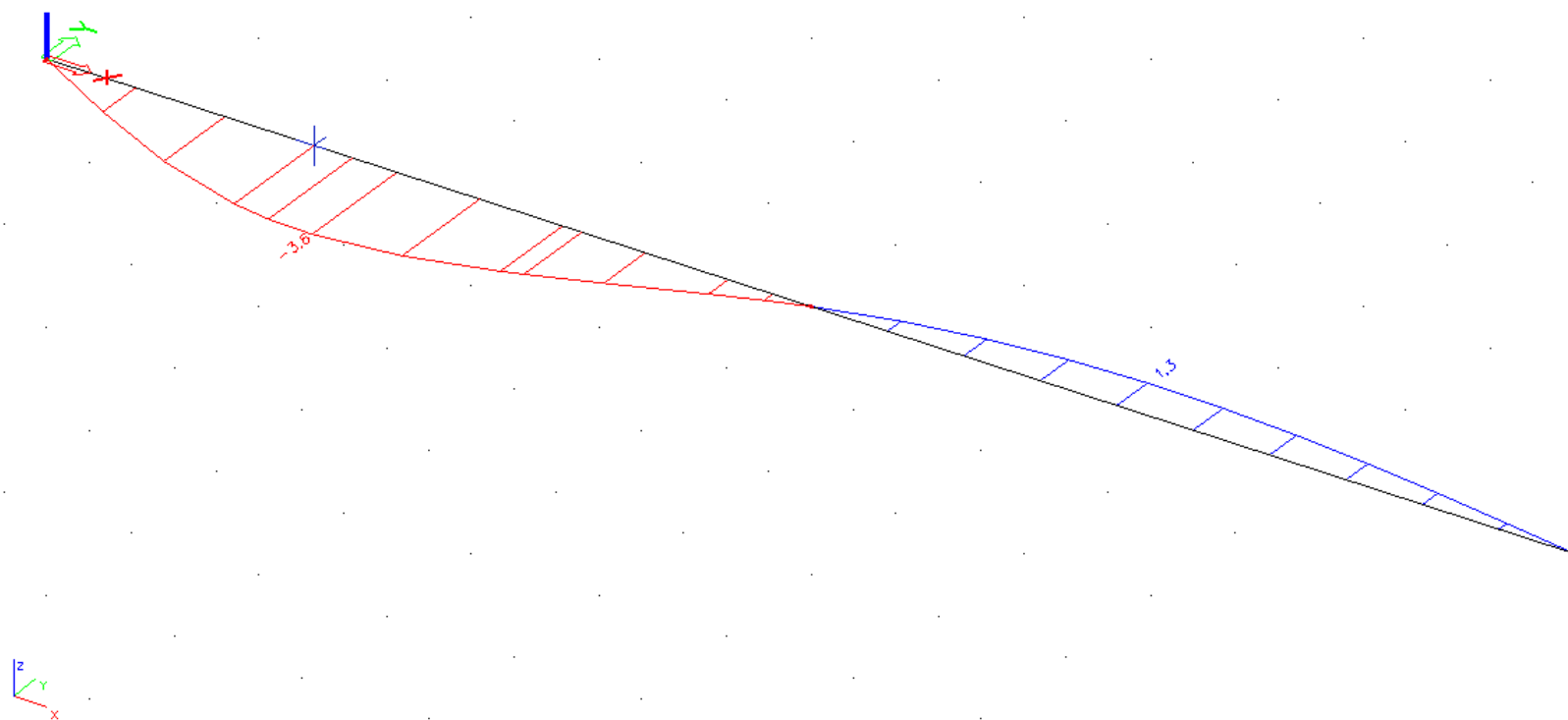
$$H_1 = -H_2 = H_M = 8.6 \text{ kN (pospeševanje / zaviranje)}$$

(Lastna teža ž.p. + LT žerjava + breme + poševni tek) · $\gamma_{F, ser}$)
v štirih pozicijah

Vertikalni pomiki Scia Engineer



Horizontalni pomiki zaradi poševnega teka; Scia Engineer



Kontrola pomikov

$L = 6 \text{ m}$ (eno polje)

Dopusti vertikalni pomik

$$f_{z,\text{dop}} = L/500 = 6000/500 = 12.0 \text{ mm}$$

$$u_z = 5.6 \text{ mm} < 12.0 \text{ mm}$$

Dopusti horizontalni pomik

$$f_{y,\text{dop}} = L/600 = 6000/600 = 10.0 \text{ mm}$$

$$u_y = 3.6 \text{ mm} < 10.0 \text{ mm}$$

Utrujanje materiala

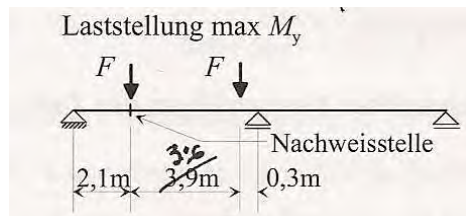
Žerjavna proga teče preko več podpor



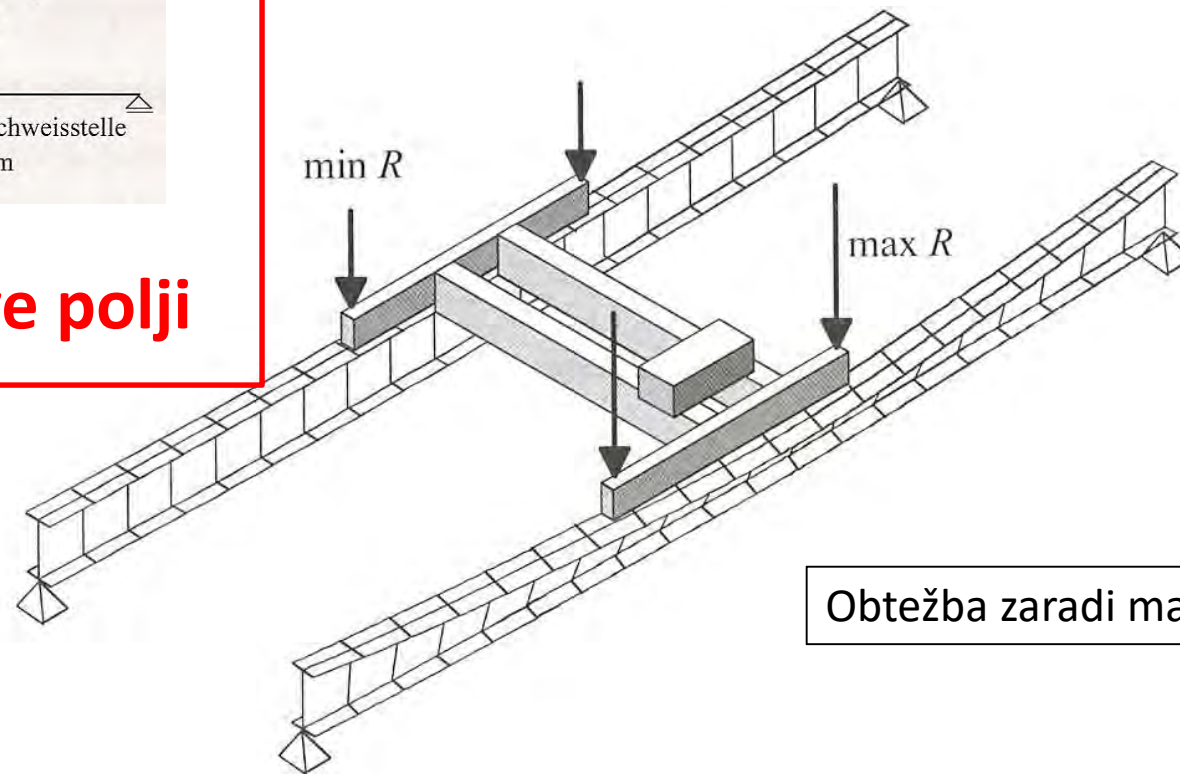
Utrujanje žerjavne proge z dvema poljema – računsko poenostavimo primer z dvema poljema

Utrujanje po EC3

Vir: Seeßelberg, Kranbahnen, Berlin, 2006, str. 289



Samo dve polji



Obtežba zaradi mačka

Podatki

- Žerjavna proga z dvema poljema: HEB 300, S235
- Tirnica 50×30 mm (obrabljena), privarjena z dvojnimi kotnim zvarom $a = 5$ mm (tirnice statično ne upoštevamo).
- Obremenitvena skupina žerjava: S_2
(EN 1991-3:2006, Annex B)
- Faktorji udarcev: $\varphi_{fat,1} = 1.05$ (LT),
 $\varphi_{fat,2} = 1.065$ (breme)
(EN 1991-3:2006, Table 2.4)

Karakteristične vrednosti kolesnih pritiskov. **Običajno poda proizvajalec žerjava.**

Karakteristične vrednosti kolesnih pritiskov (podatki):

$R_g = 18.0 \text{ kN}$ (zaradi teže žerjava)

$R_h = 57.0 \text{ kN}$ (zaradi teže bremena)

Kolesni pritisk

$$F = \varphi_{fat,1} \cdot R_g + \varphi_{fat,2} \cdot R_h = 1.05 \times 18.0 + 1.065 \times 57.0 = 79.6 \text{ kN}$$

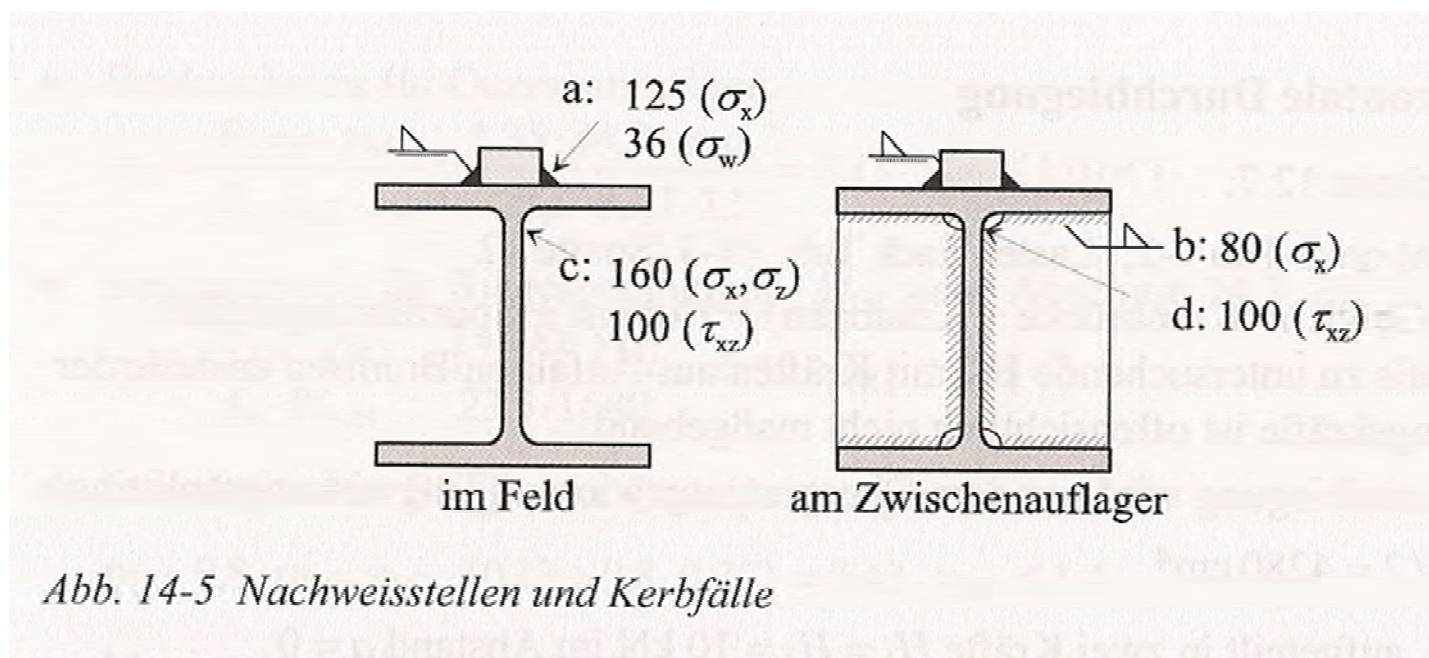
LT

breme

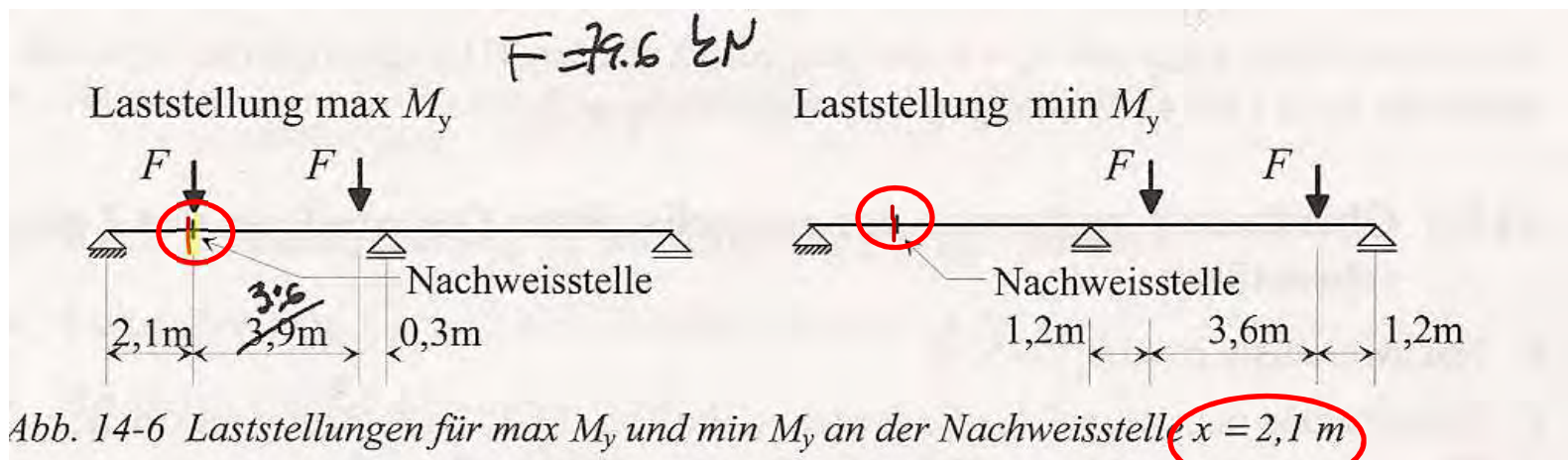
Obravnavani detajli, kategorije detajlov- trdnost utrujanja

V polju pod kolesom

Nad vmesno podporo



Statični sistem in izbrani prerez za dokaz

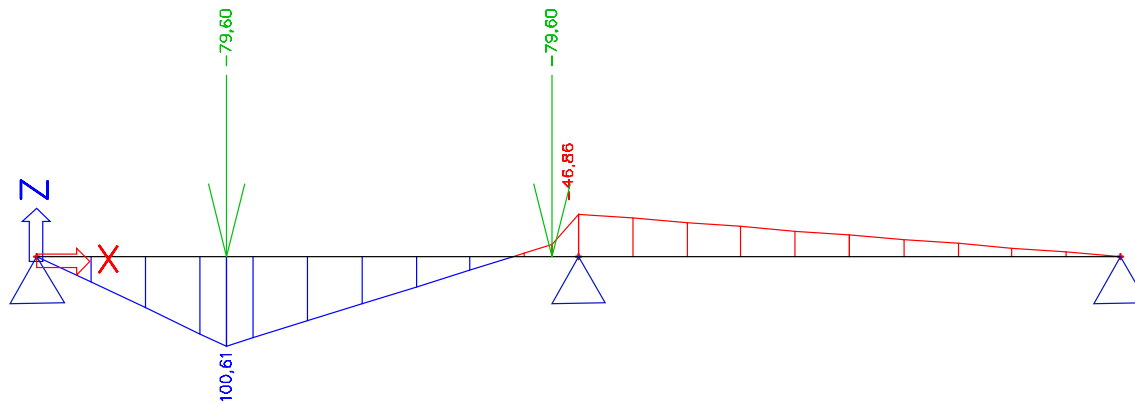


Žerjav v poziciji 1

Žerjav v poziciji 4

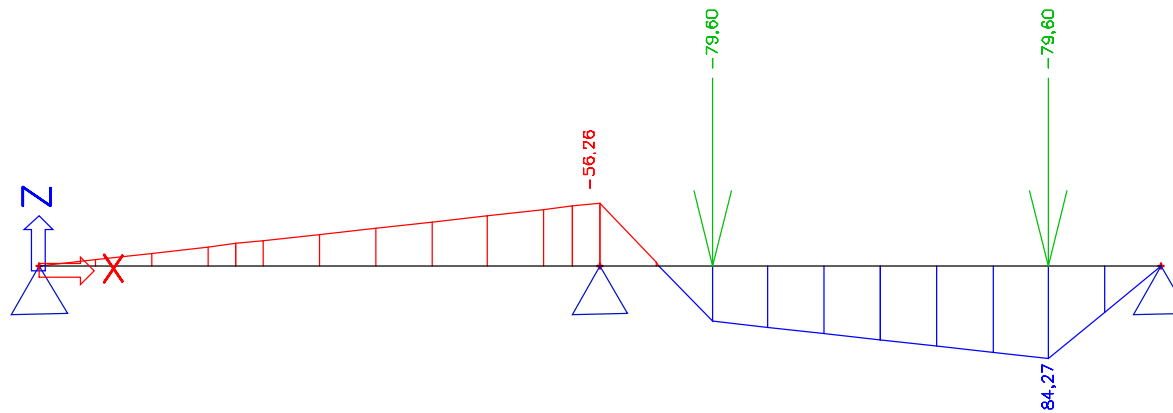
Moment M_y – Poz 1

- Izračunamo [kN,m]

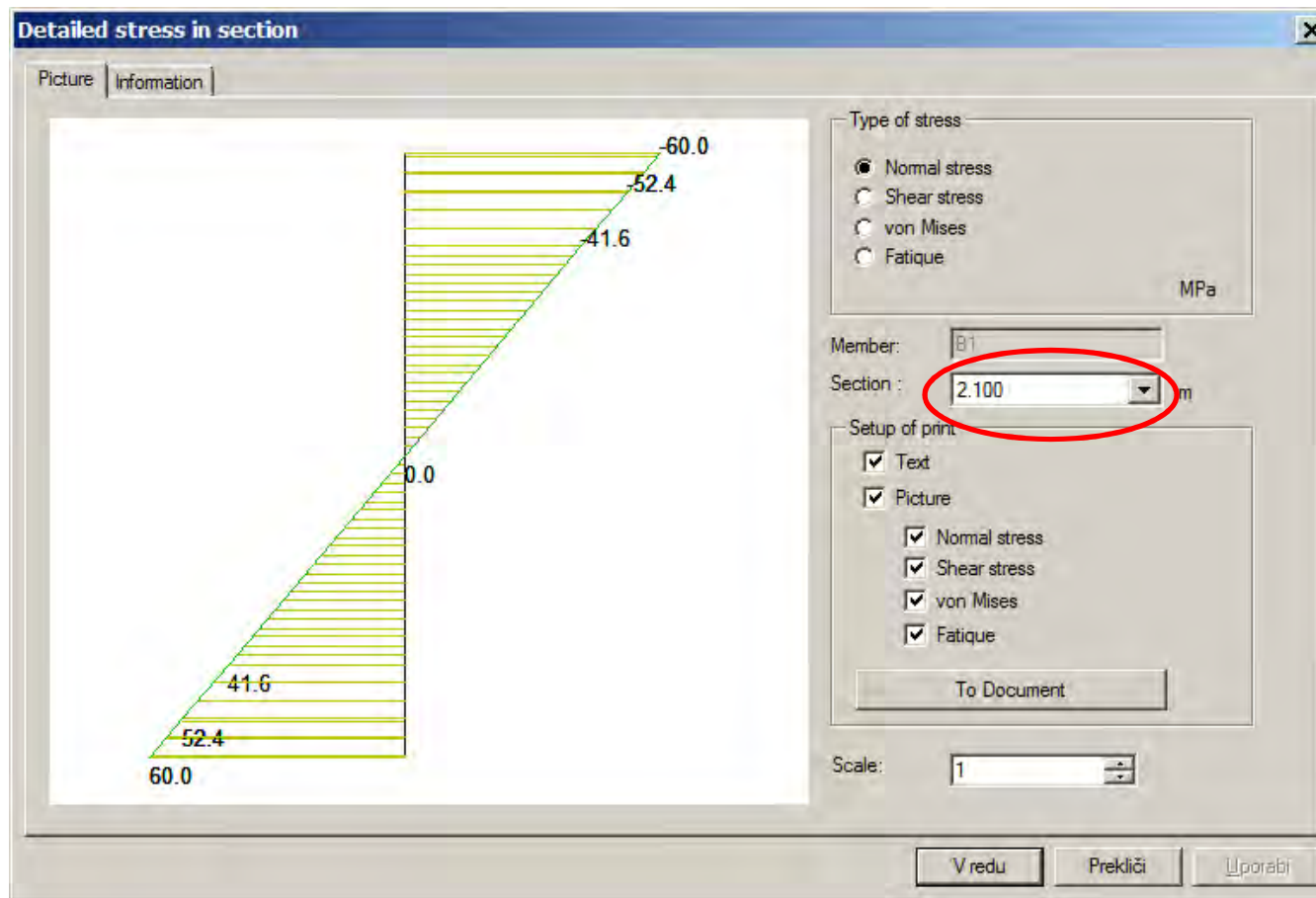


Moment M_y – Poz 4

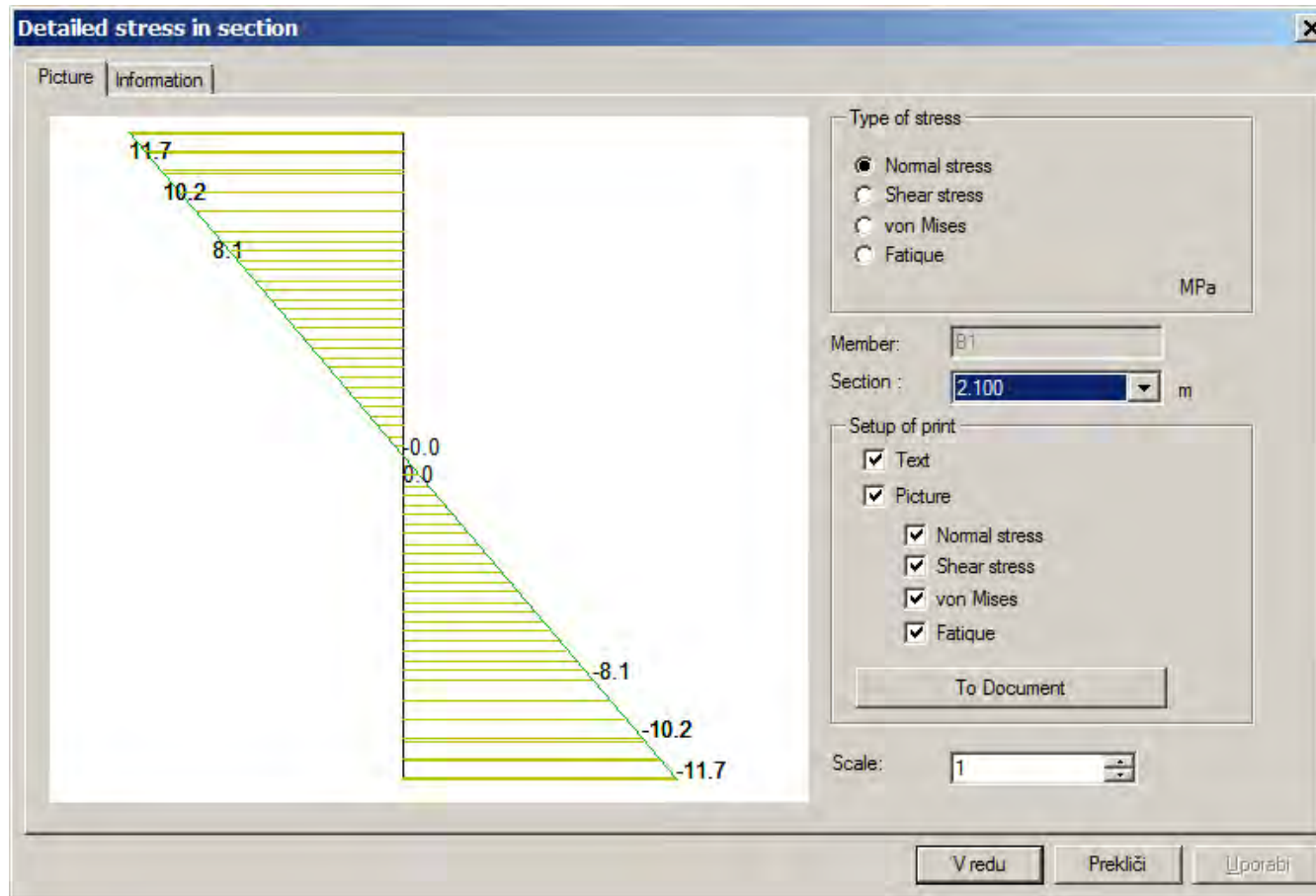
- Izračunamo [kN,m]



Maks. napetosti v prerezu $x=2.1\text{m}$



Min. napetosti v prerezu $x=2.1\text{m}$



Razlika napetosti $\Delta\sigma$

Podatki - izračunani

$$\sigma_{x,\text{maks}} = -60 \text{ MPa} \quad (\text{pozicija 1})$$

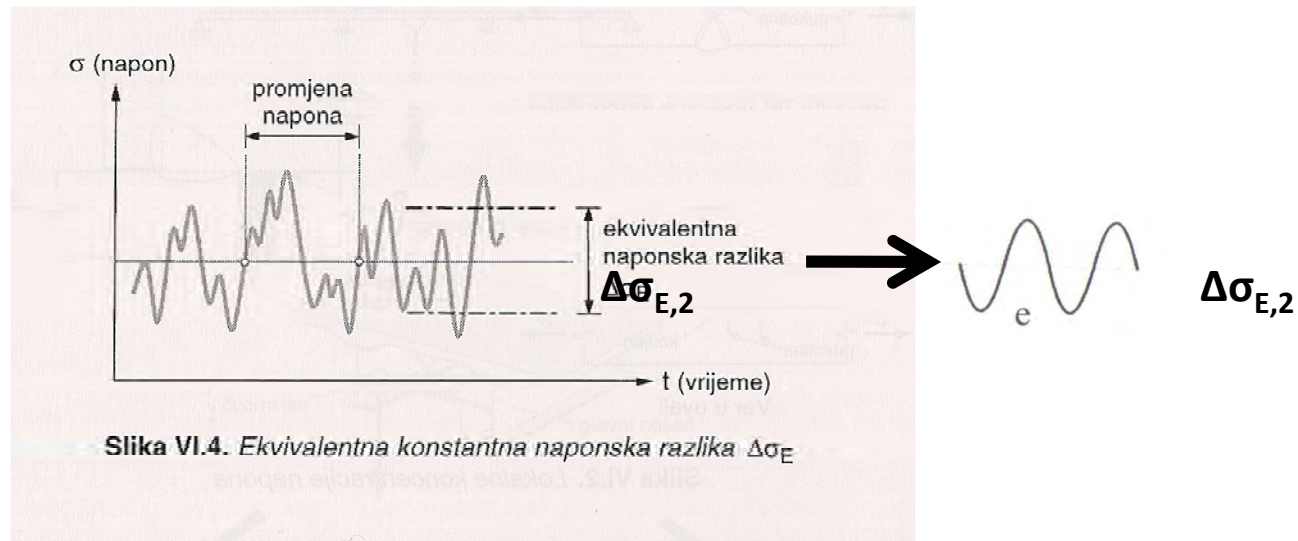
$$\sigma_{x,\text{min}} = 11.7 \text{ MPa} \approx 12.0 \text{ MPa} \quad (\text{pozicija 4})$$

Razlika napetosti

$$\Delta\sigma_x = | \Delta\sigma_{x,\text{maks}} - \Delta\sigma_{x,\text{min}} | = | -60 - 12 | = 72.0 \text{ N/mm}^2$$

Ekvivalentna razlika napetosti $\Delta\sigma_{E,2}$ “primerjalna napetost”

- Vezana na $N = 2 \times 10^6$ ciklov



$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma_x \quad (\text{ena\u010dba iz EC})$$

λ faktor ekvivalentnih po\u0161kodb

Faktor ekvivalentnih poškodb λ - EC

SIST EN 1991-3:2006

Table 2.12 — λ_1 -values according to the classification of cranes

Classes S	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
normal stresses	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
shear stresses	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

NOTE 1: In determining the λ -values standardized spectra with a gaussian distribution of the load effects, the Miner rule and fatigue strength S-N lines with a slope $m = 3$ for normal stresses and $m = 5$ for shear stress have been used.

NOTE 2: In case the crane classification is not included in the specification documents of the crane indications are given in Annex B.

(7) The damage equivalent dynamic impact factor φ_{fat} for normal conditions may be taken as:

$$\varphi_{\text{fat},1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} \quad \text{and} \quad \varphi_{\text{fat},2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} \quad (2.19)$$

Izračun ekvivalentne razlike napetosti

$$\Delta\sigma_{E,2}$$

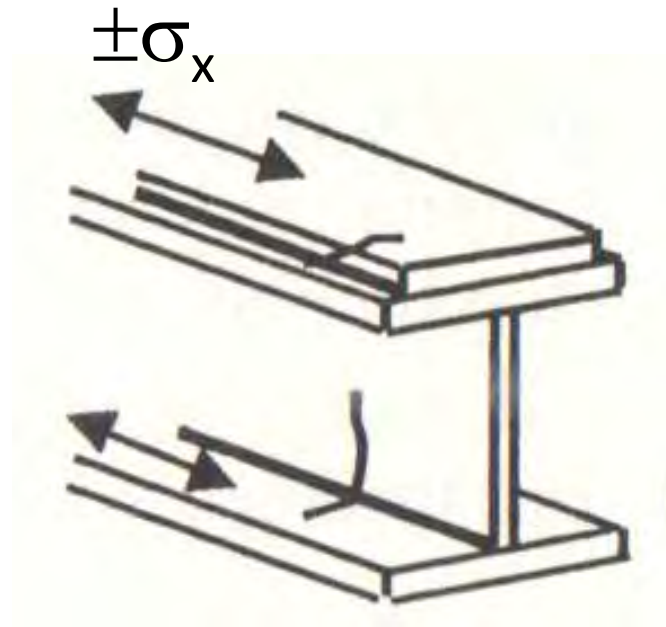
$$\Delta\sigma_x = 72.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (izračunamo)}$$

$$\lambda = 0.315 \text{ (Iz tabele 2.12)}$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma_x$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 0.315 \cdot 72.0 = \underline{\underline{23.0 \text{ MPa}}}$$

Trdnost utrujanja za upogibno napetost v pasnici σ_x s privarjeno tirnico



Detajl (a) pasnica s privarjeno tirnico

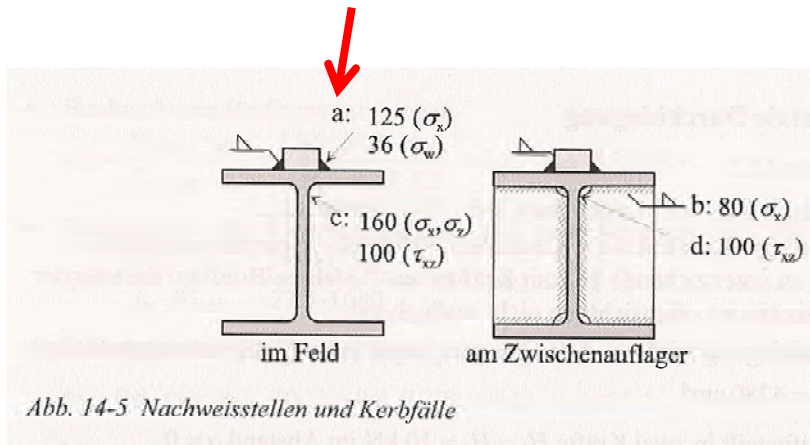


Abb. 14-5 Nachweisstellen und Kerbfälle

Trdnost utrujanja
 $\Delta\sigma_c = 125 \text{ MPa}$
 Vezana na $N = 2 \times 10^6$ ciklov

Tab. 13-6 Übersicht über Kerbsituationen (in Klammern $\Delta\sigma_c$)

Detailgruppe	Beispiele	
Konstruktionsdetails ungeschweißt Riss	Walzprofile (125)	breitgeschnittene Bleche (125)
Längsnähte Riss an der Schweißnaht	Durchgehende Längsnaht (100, 125)	Unterbrochene Längsnaht (80)
Querstöße Riss am Schweißnahtfuß	Nähte nicht geschliffen (80 - 90) ... mit Wurzelunterlage (50 - 71) Nähte geschliffen (112)	
Angeschweißte Elemente Riss am Schweißnahtfuß	Quernaht (71 - 80)	Längsnaht (40 - 90)
Geschweißte Verbindungen Riss am Schweißnahtfuß	Verbindungen von sich kreuzenden Tragelementen (40 - 80)	Gurtlamelle (36 - 56*)

(* Siehe Anmerkung unterhalb Tab. 13-8.)

271

EC3 1-9, Tab. 8.2 -tip 2

Dokaz nosilnosti pri utrujanju

Podatki – izračunani

$\Delta\sigma_{E,2} = 23.0$ MPa (ekvivalentna obremenitev detajla)

$\Delta\sigma_C = 125.0$ MPa (trdnost utrujanja, kategorija detajla)

Vezano na $N = 2 \times 10^6$ ciklov

Delni varnosti faktorji (EN 1991-3)

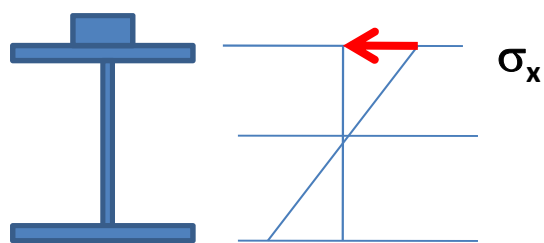
$\gamma_{Ff} = 1.0$ za obremenitev

$\gamma_{Mf} = 1.0$ za material

Dokaz nosilnosti pri utrujanju

Globalna upogibna napetost σ_x

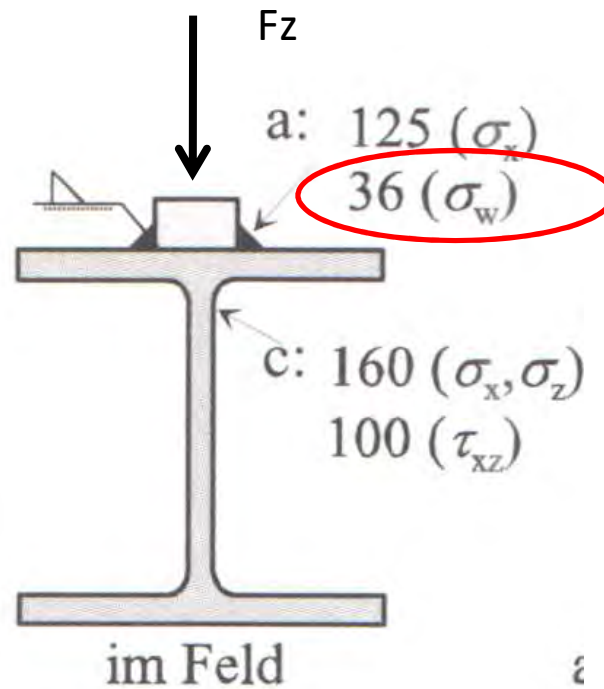
$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} = \frac{1.0 \cdot 23}{125.0 / 1.0} = 0.21 \leq 1$$



Dinamična nosilnost
 $\Delta\sigma_C = 125 \text{ MPa}$

Kolesni pritisk

Utrujanje – kolesni pritisk



Dinamična nosilnost za
kotni zvar

14.9.2.2 Lasteinleitungsspannungen Schienenschweißnaht

- Nachweisstelle a, Abb. 14-5, σ_w
- Kehlnahtdicke der Schienenschweißnaht $a_w = 5 \text{ mm}$
- Auf 87,5 % abgenutzte Schiene: $h = 0,875 \cdot 4 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm}$
- Lastausbreitung an der Flanschoberkante wie beim Beulnachweis, Abschnitt 14.7.3.1: $s_s = 9,0 \text{ cm}$
- Spannungen an der Schweißnahtunterkante infolge Radlast $F = 79,6 \text{ kN}$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{c \cdot 2 \cdot a_w} = \frac{79,6 \text{ kN}}{9 \text{ cm} \cdot 2 \cdot 0,5 \text{ cm}} = 8,8 \text{ kN/cm}^2 \quad ; \quad \tau_{\perp} = 0$$

$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2} = \sqrt{8,8^2 + 0^2} = 8,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{EC 3-1-9, Kap. 5})$$

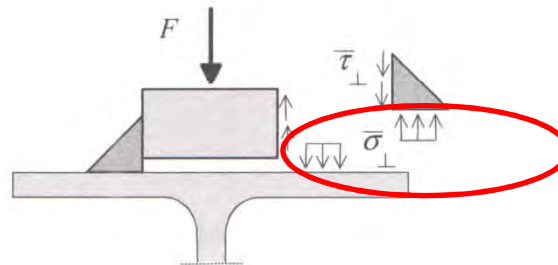


Abb. 14-7 Lasteinleitungsspannungen an der Schienenschweißnaht

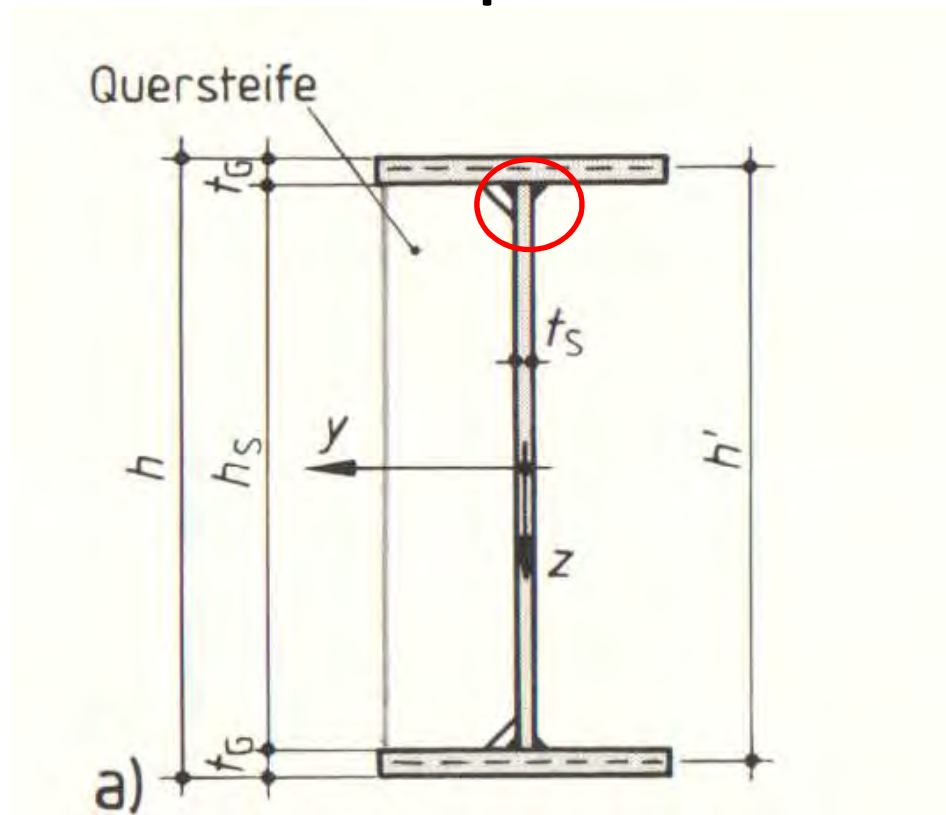
- Da jede Kranüberfahrt zu zwei Spannungsspitzen führt, wird die Beanspruchungsklasse von S_2 auf S_3 erhöht. (Abschnitt 13.5.3, Tab. 13-2)
- Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{E,2}$ und Bezugswert $\Delta\sigma_c$
Schadensäquivalenter Beiwert für Klasse S_3 : $\lambda = 0,397$ (Tab. 13-5)
 $\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma_x = 0,397 \cdot 8,8 = 3,5 \text{ kN/cm}^2$ ←
- Kerbklasse 36 für σ_w (Abb. 14-5): Bezugswert $\Delta\sigma_c = 3,6 \text{ kN/cm}^2$

- Nachweis

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} = \frac{1,0 \cdot 3,5}{3,6 / 1,15} = 1,12 \quad (\text{Auslastung } 112 \%) \Rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Die Schweißnaht muss auf $a_w = 6$ mm aufgedickt werden. (Die erforderliche Schweißnahtdicke nach DIN 4132 beträgt 5 mm, siehe Beispiel 8-1.)

Kontrola polnostenskega varjenega I prereza



Dinamična nosilnost za kolesni pritisk

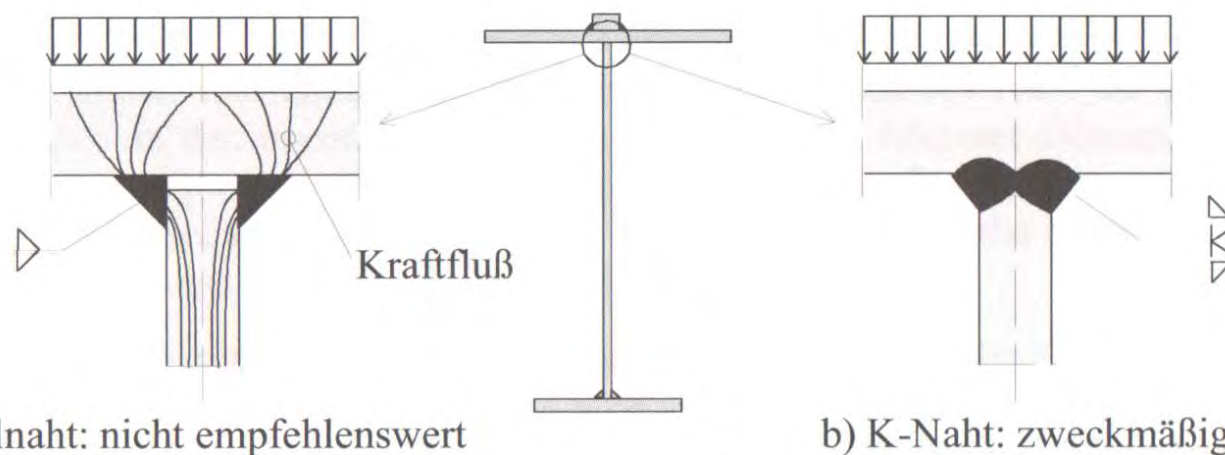
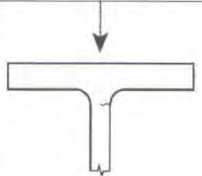
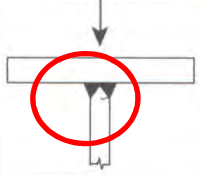
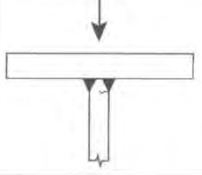
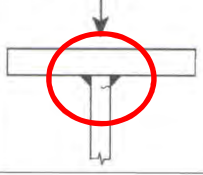


Abb. 3-33 Ausführung der oberen Halsnaht beim I-Schweißprofil

Izvedba zgornjega zvara na stiku stojina/pasnica

- a) Kotni zvari niso primerni zaradi utrujanja
- b) K zvar - priporočljiv

**Tab. 13-7 Auswahl wichtiger Kerbfälle für Lasteinleitungsspannungen am oberen Steg-
rand nach EC 3-1-9, Tab. 8.10**

Kerbgruppe	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
160		Gewalztes I- oder H-Profil	Vertikale Druckspannungen im Steg infolge Radlasten
71		Voll durchgeschweißte Stumpfnäht am T-Stoß (DHV-Naht)	Vertikale Druckspannungen im Steg infolge Radlasten
36*		Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte am T-Stoß (DHY Naht mit Kehlnaht verstärkt)	Spannungen in der Schweißnaht infolge vertikalen Drucks aus den Radlasten
36*		Kehlnähte	Spannungen in der Schweißnaht infolge vertikalen Drucks aus den Radlasten

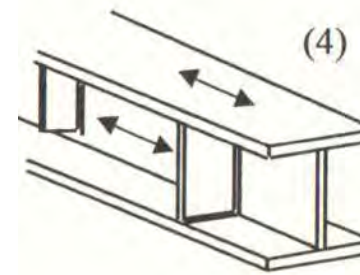
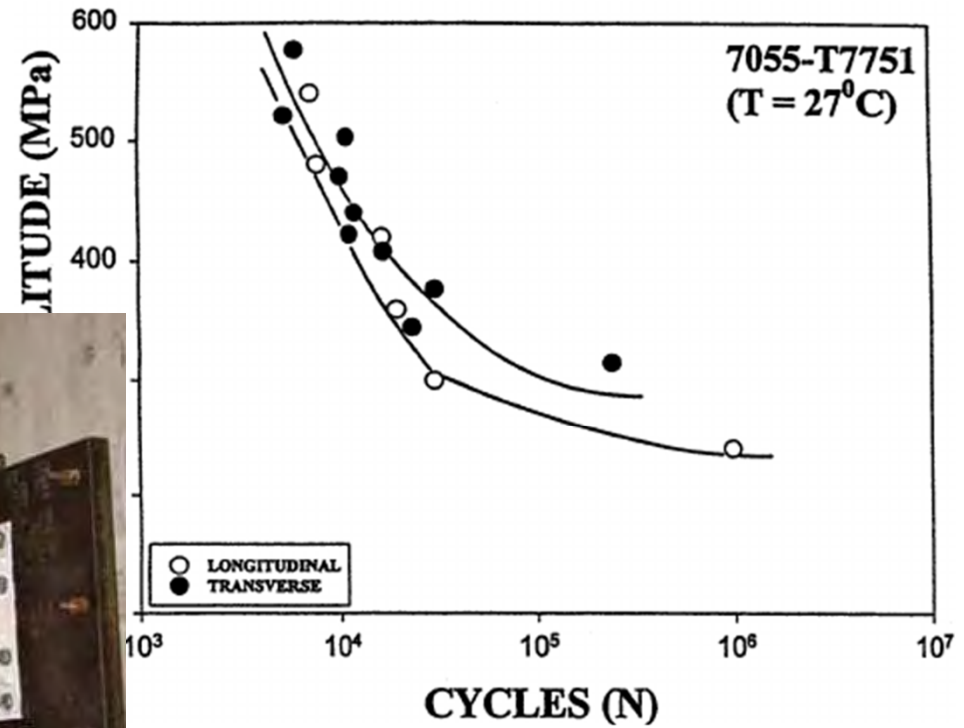
* Siehe Anmerkung unterhalb Tab. 13-8.

Teorija o utrujanju

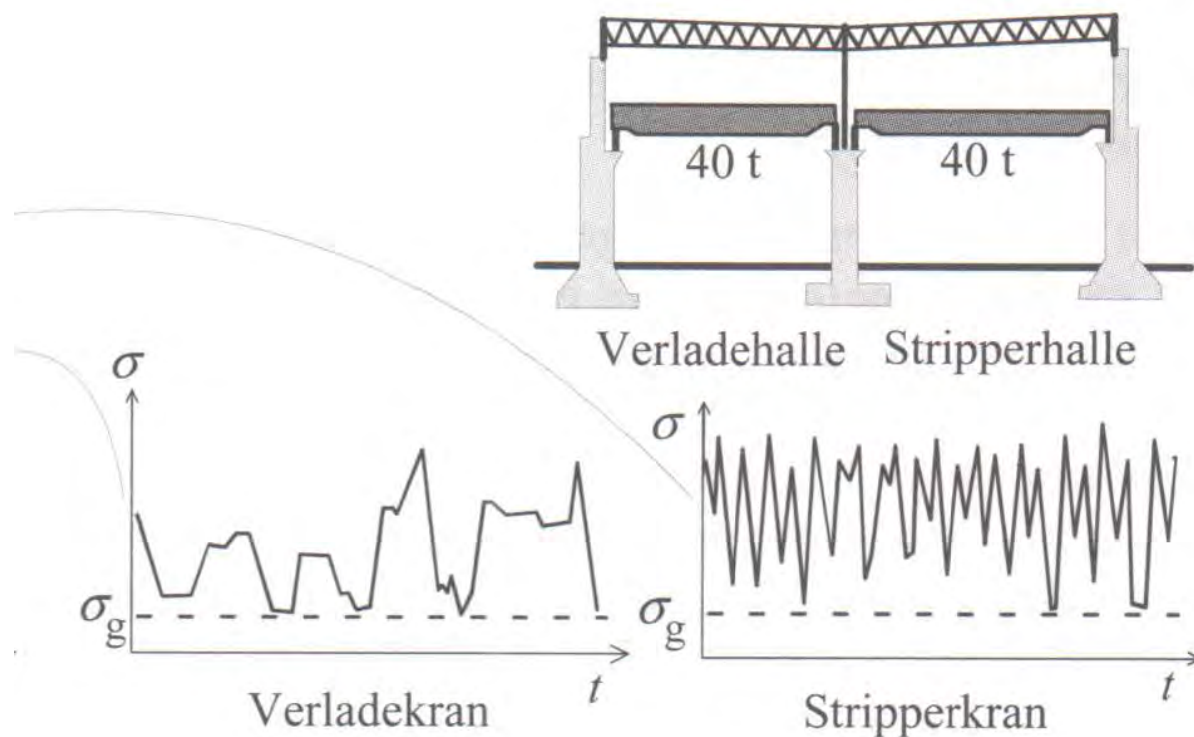
Pojmi iz teorije utrujanja:

- Poskusi na realnih detajlih (upoštevamo: velikost, zarezne učinke, zaostale napetosti ...)
- Pogostost največje obremenitve
- Akumulacija poškodb (Palmgren-Miner)
- Wöhlerjevi normirani diagrami

Poskusi na realnih detajlih



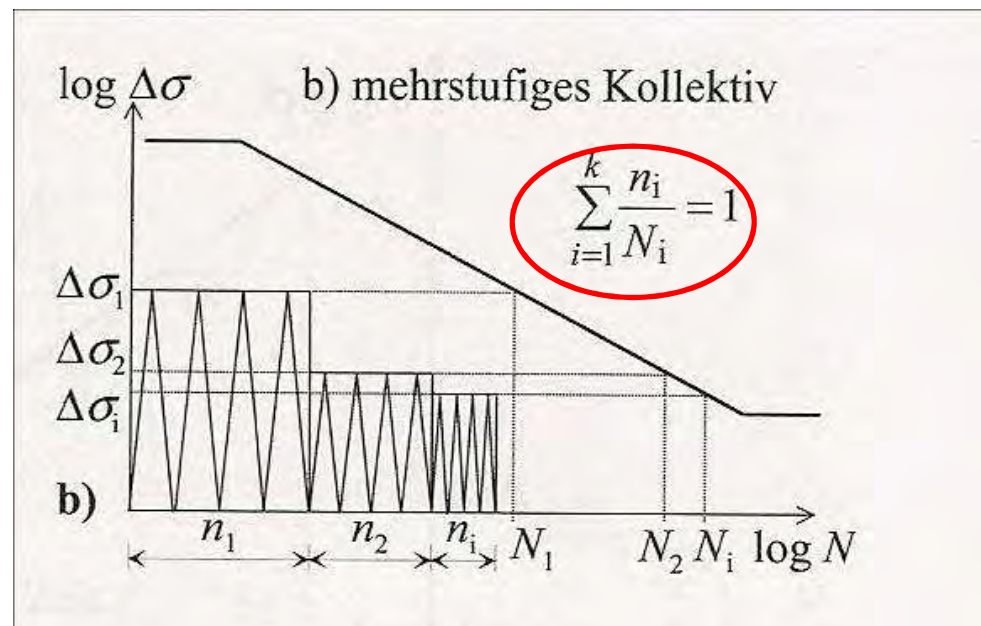
Pogostost največje obremenitve. Zelo zanimiv in pomemben podatek



Skladišče
manjša
pogostost

Livarna- izvlačenje ingotov /večja
pogostost

Seštevanje delnih poškodb



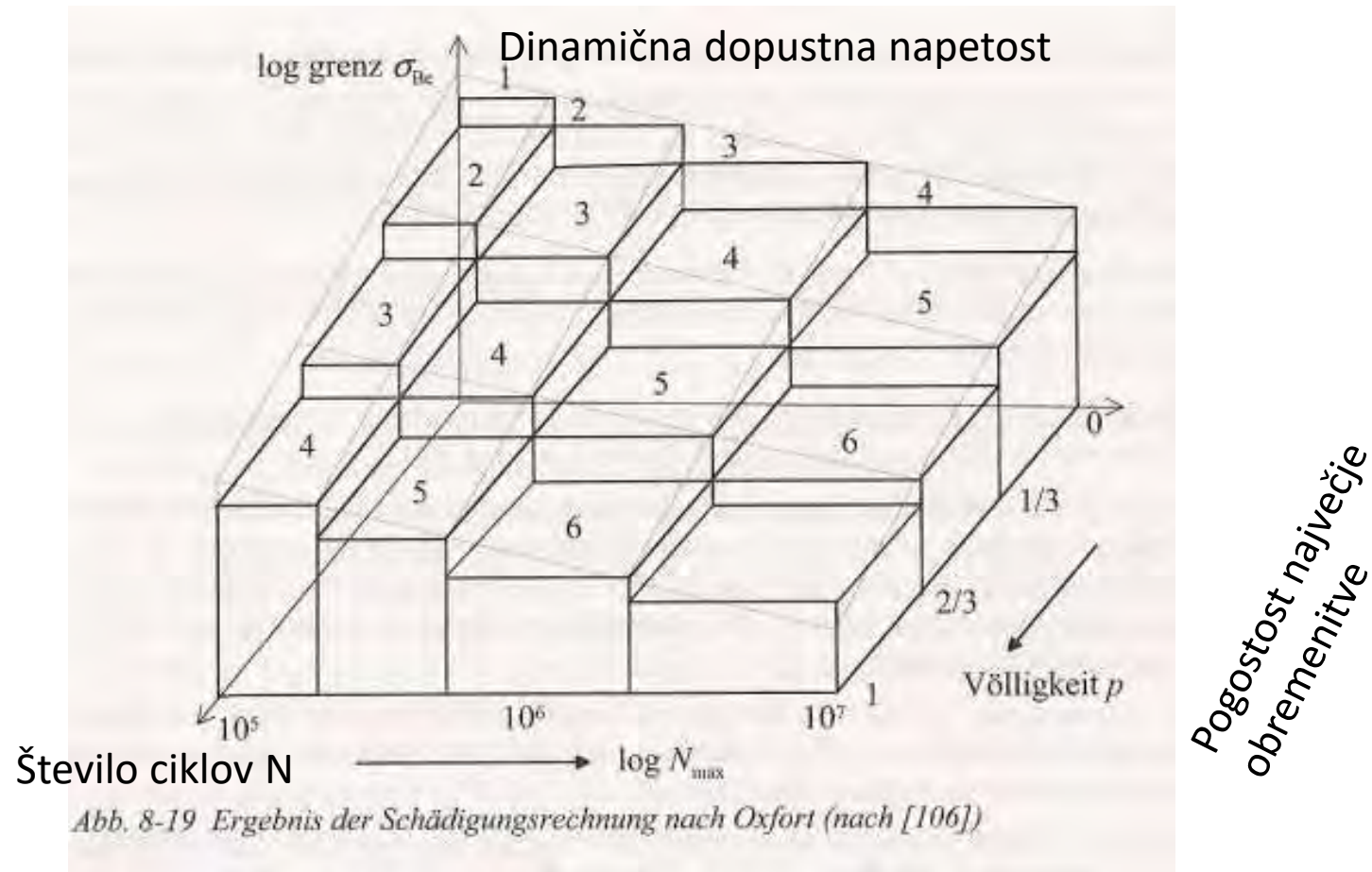
$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots \leq 1$$

Zveza med:

- številom obremenitvenih ciklov N ,
- pogostostjo največje obremenitve p in
- dinamično dopustno napetostjo (trdnost utrujanja)

Zveza med:

številom obremenitvenih ciklov N ,
pogostostjo največje obremenitve p in
dinamično dopustno napetostjo (trdnost utrujanja)

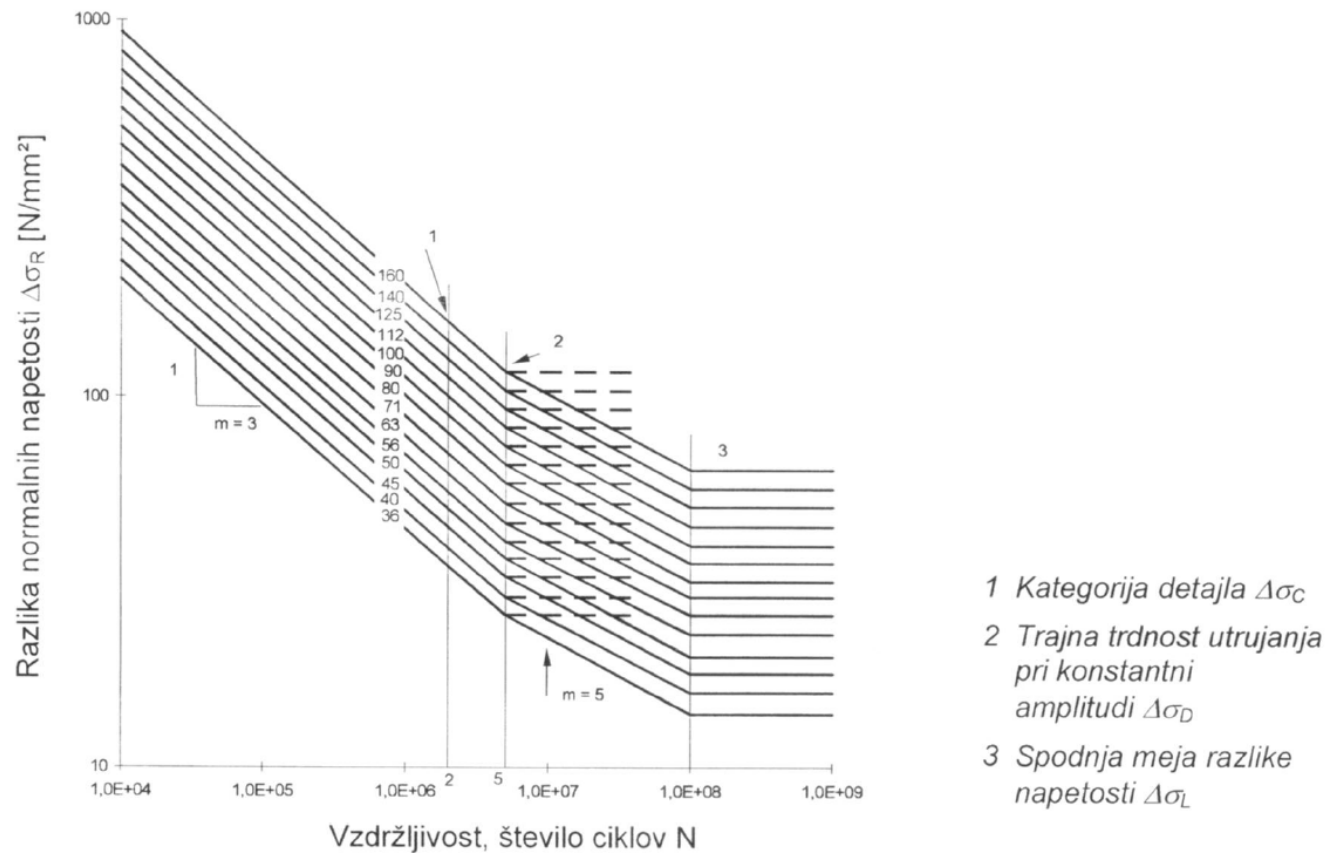


DIN 15018 – EC 3 prevzel

Izveček EC3

4	Storage cranes - with intermiffend operation	HC2	S4
5	Storage cranes, spreader bar cranes, scrap yard cranes -with continuous operation	HC3, HC4	S6 ,S7
6	Workshop cranes	HC2, HC3	S3,S4
7	Overhead travelling cranes, ram cranes - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S6, S7
8	Casting cranes	HC2, HC3	S6, S7
9	Soaking pit cranes	HC3, HC4	S7, S8
10	Stripper cranes, charging cranes	HC4	S8, S9

Normirane Wöhlerjeve krivulje EC3



Slika 7.1: Krivulje trdnosti utrujanja za razlike normalnih napetosti

POMEN – iz EC3

$$\Delta\sigma_c$$

1.3.3.2 Kategorija konstrukcijskega detajla: Številčna oznaka posameznega konstrukcijskega detajla za navedeno smer delovanja spremenljivih napetosti z namenom, da se razloči, katera krivulja trdnosti utrujanja se uporabi za oceno odpornosti proti utrujanju (številka kategorije konstrukcijskega detajla označuje referenčno trdnost utrujanja $\Delta\sigma_c$ in N/mm²).

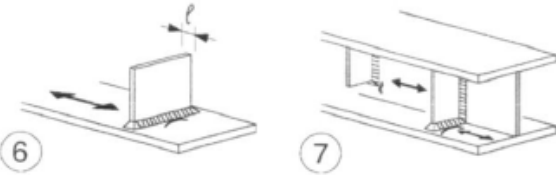
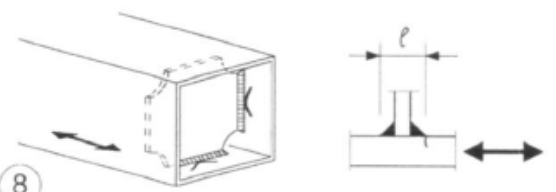
$$\Delta\sigma_D$$

1.3.3.3 Trajna trdnost utrujanja pri konstantni amplitudi: Mejna vrednost normalne ali strižne razlike napetosti, pod katero preskusi pri konstantni amplitudi napetosti ne pokažejo razvoja poškodb zaradi utrujanja. Pri spremenljivi amplitudi napetosti morajo biti vse razlike napetosti pod to mejno vrednostjo, da ne bo prišlo do razvoja poškodb zaradi utrujanja.

$$\Delta\sigma_L$$

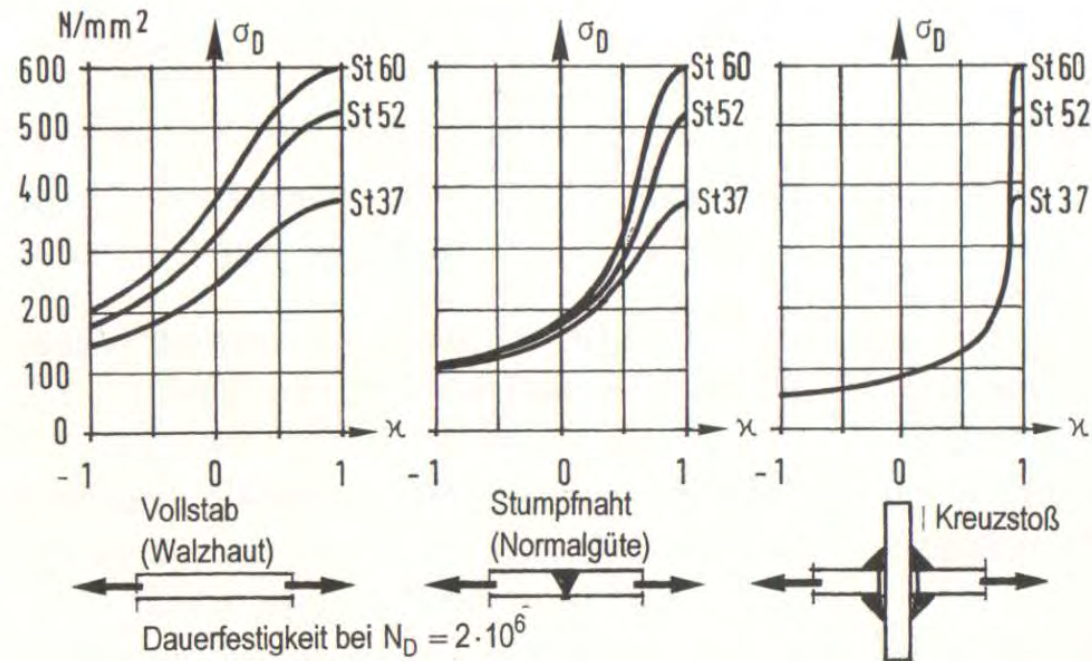
1.3.3.4 Spodnja meja utrujanja: Mejna vrednost, pod katero razlike napetosti projektnega spektra ne prispevajo k izračunani akumulaciji poškodb.

Preglednica 8.4: Varjeni priključki in ojačitve

Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve
80	$\ell \leq 50 \text{ mm}$ 	<p><u>Prečni priključki:</u></p> <p>6) varjeni na pločevino</p> <p>7) navpične ojačitve, privarjene na valjani ali varjeni nosilec</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>8) diafragma škatlastega nosilca, privarjena na pasnico ali stojino</p> <p>Ni mogoče izvesti pri manjših votlih profilih.</p> <p>Vrednosti veljajo tudi za obročne ojačitve.</p>	

Vpliv velikosti zarezne učinka na dinamično nosilnost

Bild 73



Vsak zvar predstavlja velik zarezni učinek

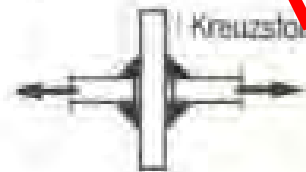
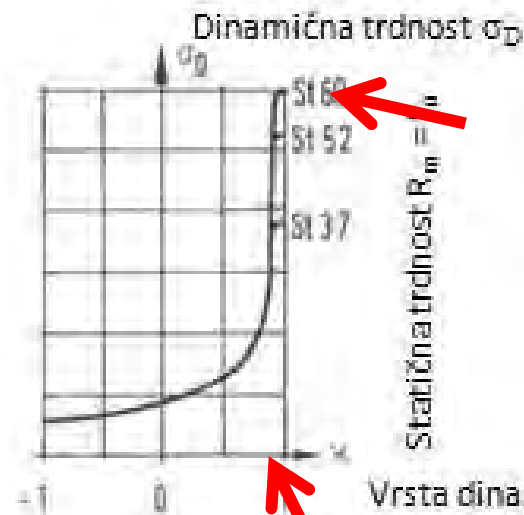
Vpliv kvalitete materiala na trdnost utrujanja. Vsa jekla $f_y < 700$ MPa imajo enako dinamično nosilnost.

Povzetek 1

Dinamična trdnost pri velikih zareznihih učinkih in zaostalih napetosti

je NEODVISNA od:

- vrste materiala (St37, St 52...)
- vrste dinamične obremenitve (izmenična, utripna...)

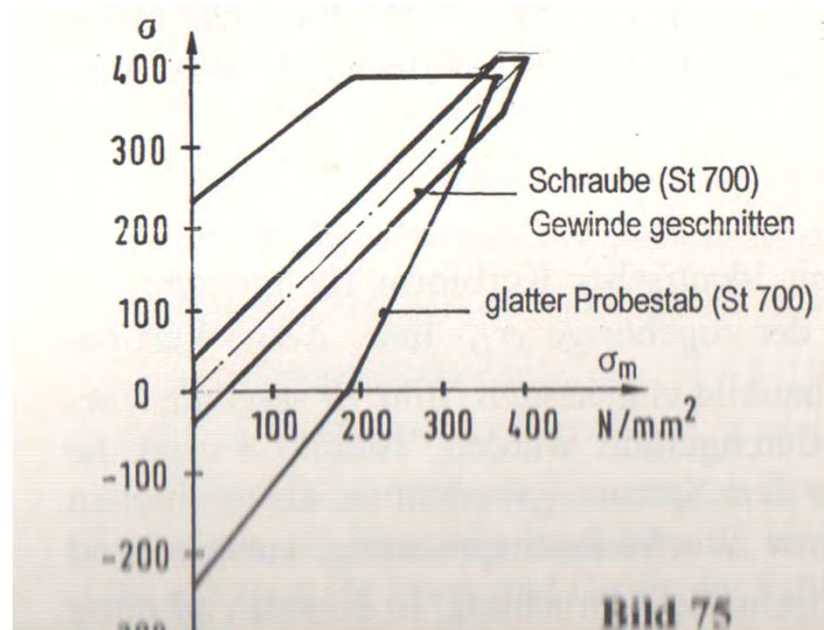


Vrsta dinamične obremenitve

Veliki zarezni učinki

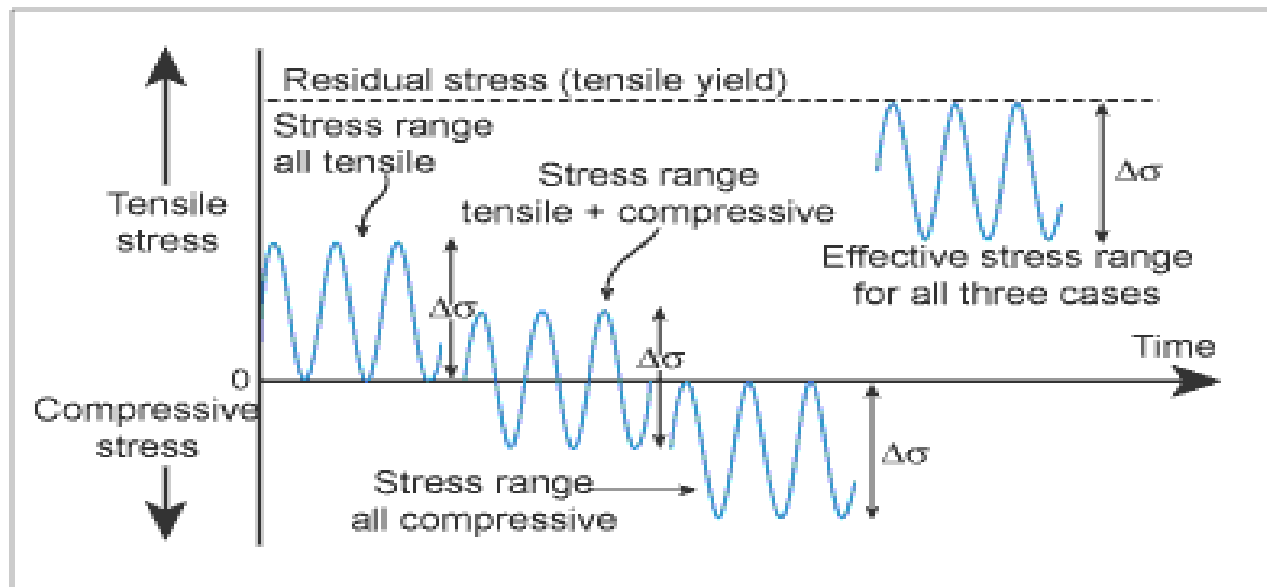
Faktorji, ki ne vplivajo na trdnost utrujanja so:

- Vrsta napetosti (nateg, upogib...) – zanima nas samo $\Delta\sigma$



Faktorji, ki ne vplivajo na trdnost utrujanja so:

- Vrata dinamične obremenitve (utripno, izmenično ...) – zaradi velikih zaostalih napetosti se vse dogaja na meji tečenja



Nekaj napak zaradi utrujanja



mag. Anton Pristavec - Kontrola nosilnosti
žerjavne proge – 3. sklop



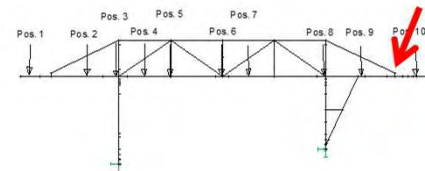
Iz prakse

Togi spoj zatege $\approx \Phi 600 \times 10$ in
glavnega nosilca

Razpoka zaradi utrujanja –
dolžina razpoke ≈ 150 mm

poškodba, ni se zlomilo \rightarrow sanacija

**Sanacija z vrtanjem lukenj na
koncu razpoke - po zgornjem
diapozitivu**



8.2.2017

Poglavje 3.8_april_2011/verzija-2007

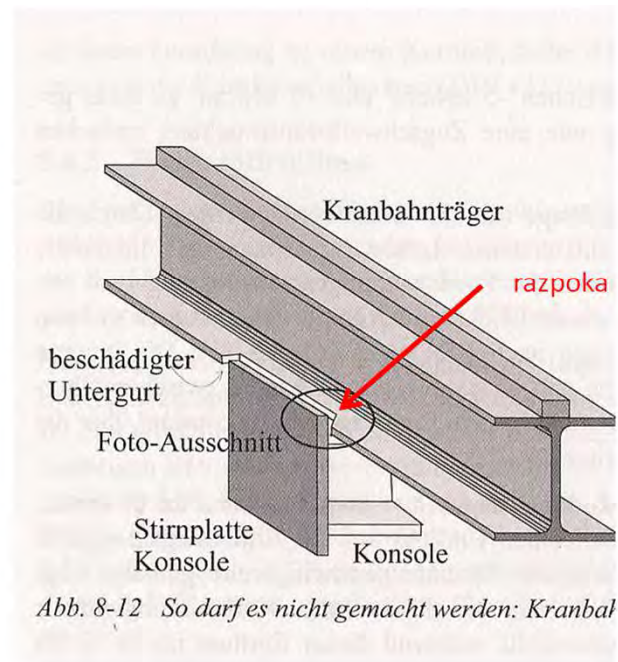
156

Izvedba s sornikom (čisti členek)



Napaka pri montaži

Utrujanje in praksa



20.1.2015

26

Kotni zvar: razpoke zaradi utrujanja

