

Uvod v konstruiranje in dimenzioniranje nosilnih aluminijastih konstrukcij po Evrokod 9

Anton Pristavec

Viri in standardi

Projektiranje aluminijastih konstrukcij

- SIST EN 1999-1-1 (EC 9) – splošna pravila
Izdelava in montaža
- SIST EN 1090-1: Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij;
Zahteve za ugotavljanje skladnosti sestavnih delov konstrukcij
- SIST EN 1090-3: Tehnične zahteve za izvedbo aluminijaste
konstrukcije (določanje strogosti zahtev pri izdelavi in montaži,
razredi izdelave EXC1, ...)

Literatura

- Laufs, Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9;
Berechnung und Konstruktion, Beuth Verlag GmbH, 2015

- EXC1: enostavni objekti, v katerih se ljudje običajno ne zadržujejo (npr. steklenjaki v kmetijstvu),
- EXC2: stavbe,
- EXC3: mostovi, zahtevnejši inženirski objekti,
- EXC4: izjemni objekti (npr. zahtevnejši mostovi, termoelektrarne, jedrske elektrarne ...).

 DOMOV	<h2 style="text-align: center;">SIST EN ISO 5817:2014</h2>										
<p style="text-align: center;">Dobrodošli Podatki za naročanje in dostavo Pogosto zastavljena vprašanja</p>											
 KATALOG	<table border="0"> <tr> <td><i>Oznaka standarda:</i></td> <td>SIST EN ISO 5817:2014</td> </tr> <tr> <td><i>Koda projekta:</i></td> <td>00121579</td> </tr> <tr> <td><i>Organizacija:</i></td> <td>SIST</td> </tr> <tr> <td><i>Naslov (angleški):</i></td> <td>Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections (ISO 5817:2014)</td> </tr> <tr> <td><i>Naslov (slovenski):</i></td> <td>Varjenje - Talilno zvarjeni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (varjenje s snopom izključeno) - Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti (ISO 5817:2014)</td> </tr> </table>	<i>Oznaka standarda:</i>	SIST EN ISO 5817:2014	<i>Koda projekta:</i>	00121579	<i>Organizacija:</i>	SIST	<i>Naslov (angleški):</i>	Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections (ISO 5817:2014)	<i>Naslov (slovenski):</i>	Varjenje - Talilno zvarjeni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (varjenje s snopom izključeno) - Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti (ISO 5817:2014)
<i>Oznaka standarda:</i>	SIST EN ISO 5817:2014										
<i>Koda projekta:</i>	00121579										
<i>Organizacija:</i>	SIST										
<i>Naslov (angleški):</i>	Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections (ISO 5817:2014)										
<i>Naslov (slovenski):</i>	Varjenje - Talilno zvarjeni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (varjenje s snopom izključeno) - Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti (ISO 5817:2014)										

Primerjava konstruiranja jeklenih in aluminijastih konstrukcij

ZAKONI STATIKE IN TRDNOSTI SO ENAKI.

**Aluminijastih konstrukcij ni težje
konstruirati in variti kot jeklene.**

Upoštevati moramo le drugačnost.

Dokaz nosilnosti in uporabnosti
Al-konstrukcij (EC 9)
je enak ali zelo podoben kot pri
jeklenih konstrukcijah (EC 3).

Prednosti uporabe Al in zlitin

- Ugodno razmerje: trdnost / specifična gostota
- Zelo dobra korozijska obstojnost v relativno pH nevtralnih medijih (voda)
- dobra obdelovalnost, preoblikovanje, utrjevanje (hladno, toplo)
- Dobra absorpcija energije npr. pri trku

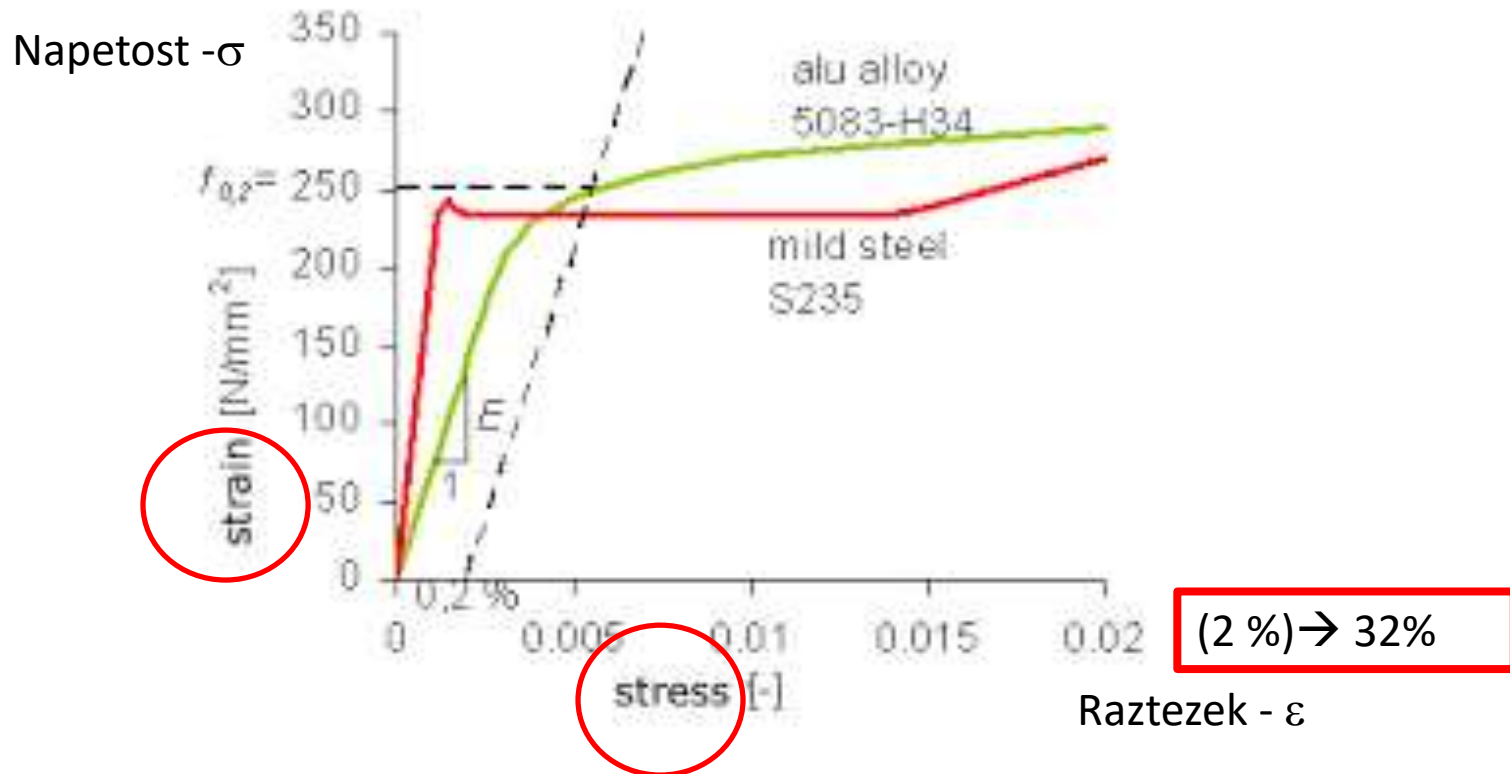
Slabosti uporabe Al in zlitin

- Slaba odpornost pri požaru
- Majhna odpornost proti utrujanju

Primerjava lastnosti aluminija in jekla

	Aluminij (Al)	Jeklo (S)	Razmerje Al/S
Modul elastičnosti E (MPa)	70 000	210 000	1/3
Strižno modul G (MPa)	27 000	81 000	1/3
Poissonovo število ν	0.3	0.3	1
Linearna temp. razteznost α_T (K⁻¹)	23·10⁻⁶	12·10⁻⁶	≈1/2
Specifična gostota ρ (kg/m³)	2700	7850	≈1/3
Tališče – čisti Al – železo (°C)	660	1530	varjenje
Tališče – zlitine (°C)	660 ... 500	≈1500 (S235-0.22% C)	≈1/2
Tališče oksidne plasti (°C)	2040	-	-

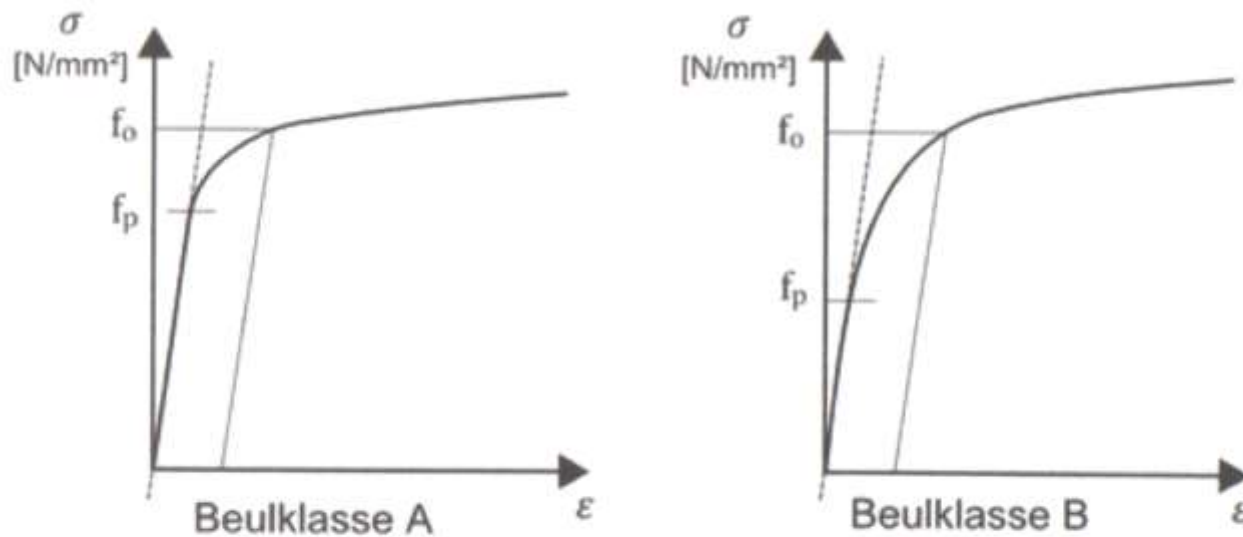
σ - ε diagram (jeklo / Al zlitina)



Mehanske lastnosti (trdnost in raztezek) so približno enake.
Meja tečenja ($f_{0.2}$) ni izrazita.

Po EC 9 - uklonska razreda A in B

Glej mejo proporcionalnosti!



bb. 3-3 *Beulklasse in Abhängigkeit der Proportionalitätsgrenze*

Mehanske lastnosti po EC9

Ekstrudirani profili

EN 1999-1-1: 2007 (E)

Table 3.2b - Characteristic values of 0,2% proof strength f_o and ultimate tensile strength f_u (unwelded and for HAZ), min elongation A , reduction factors $\rho_{o, haz}$ and $\rho_{u, haz}$ in HAZ, buckling class and exponent n_p for wrought aluminium alloys - Extruded profiles, extruded tube, extruded rod/bar and drawn tube

Alloy EN- AW	Product form	Temper	Thick- ness t mm 1) 3)	f_o 1)	f_u 1)	A 5) 2)	$f_{o, haz}$ 4)	$f_{u, haz}$ 4)	HAZ-factor 4)		BC 6)	n_p 7)
				N/mm ²		%	N/mm ²		$\rho_{o, haz}$	$\rho_{u, haz}$		
5083	ET, EP, ER/B	O / H111, F, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
6060	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET, EP, ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP, ET, ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
EP	$3 < t \leq 25$		150	195	8	0,43			0,56	A	18	

Product form

Key:	SH	- Sheet (EN 485)	ER/B	- Extruded Rod and Bar (EN 755)
	ST	- Strip (EN 485)	DT	- Drawn Tube (EN 754)
	PL	- Plate (EN 485)	FO	- Forgings (EN 586)
	ET	- Extruded Tube (EN 755)	1)	See Annex C: C2.2.2(2)
	EP	- Extruded Profiles (EN 755)	2)	Only simple, solid (open) extruded sections or thick-walled tubes over a mandrel (seamless)
			3)	See 4, Annex C and Annex D

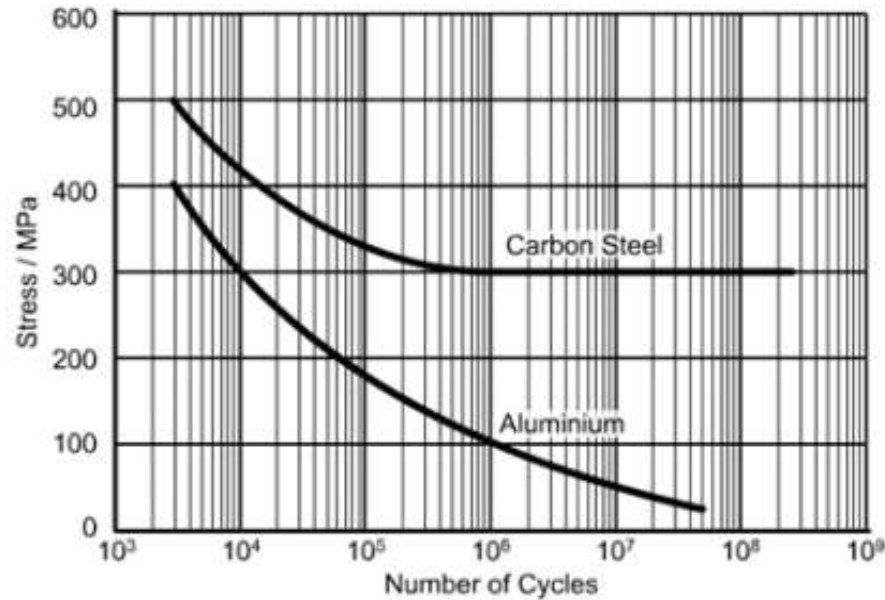
Sheet folija

Strip trak

Drawn Tube – vlečene cevi

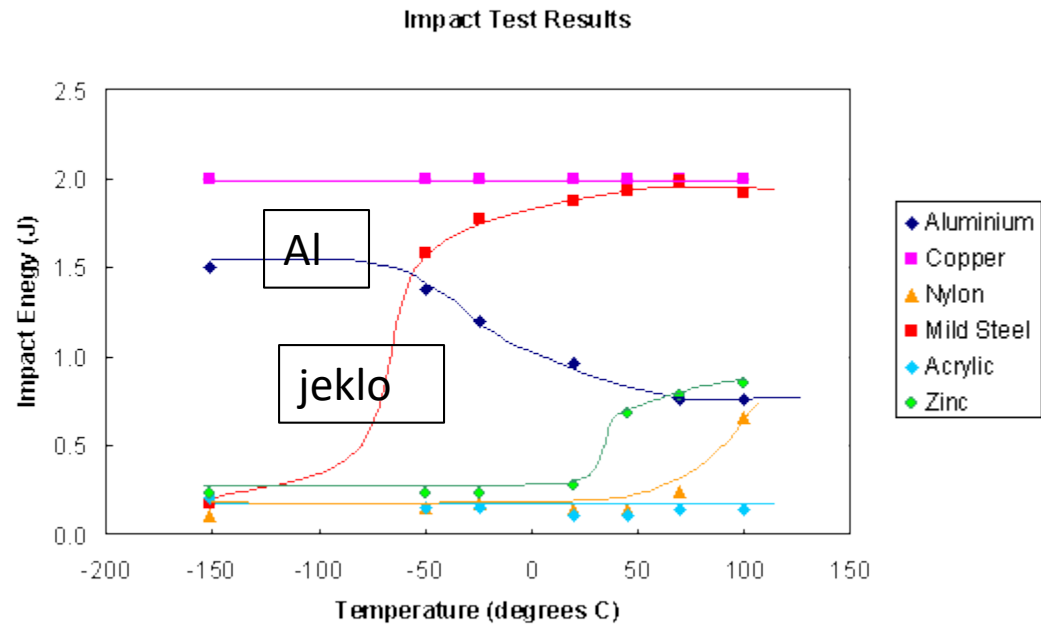
Forgings - odkovki

Wöhlerjev diagram (jeklo / Al)



Aluminij nima trajne dinamične trdnosti.

Udarna žilavost (jeklo / Al)

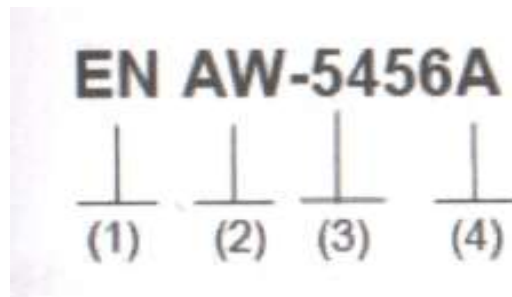


Področja uporabe AI

- v gradbeništvu (pontonski mostovi, fasade ...)
- vozila (osebni avtomobili, cisterne, tirna vozila ...)
- vesoljska tehnika

Označevanje aluminijevih zlitin

Numerični način po EN 573-T1



- (1) kratka označba standarda (EN)
- (2) zlitina za gnetenje (AW)
- (3) 1. število: glavni legirni element (npr. 5)
2.število: vrsta zlitine, zaporedna številka (npr. 456)
- (4) varianta

Alfanumerični način

EN 573-T2

(6) (6)
| |
EN AW-AlMg5Mn1(A)
| | | | |
(1) (2) (5) (7) (4)

- (1) kratka označba standarda
- (2) osnovni material in oblika dobave AW zlitina za gnetenje, AC zlitina za litje
- (4) varianta
- (5) glavni legirni element
- (6) količina legirnega elementa
- (7) naslednji legirni element

Legirne skupine in njihove glavne lastnosti:

Seriya	Legirni elementi	Utrjevanje v toplem	Varivo	Trdnost
1000-serija	Čisti aluminij, Al \geq 99.0%	Ne	Dobro	Majhna
2000-serija	Al + Cu (Mg, Pb, Bi)	Da	Slabo	Odlična
3000-serija	Al + Mn (Mg)	Ne	Dobro	Majhna
4000-serija	Al + Si	Ne	-	-
5000-serija uporablja (EC)	Al + Mg (Mn)	Ne	Dobro	Dobra
6000-serija uporablja (EC)	Al + Mg + Si	Da	Dobro	Odlična
7000-serija uporablja (EC)	Al + Zn + (Mg) + (Cu)	Da	Slabo	Odlična
8000-serija	Al + drugi elementi , Li, Fe	Da	-	-

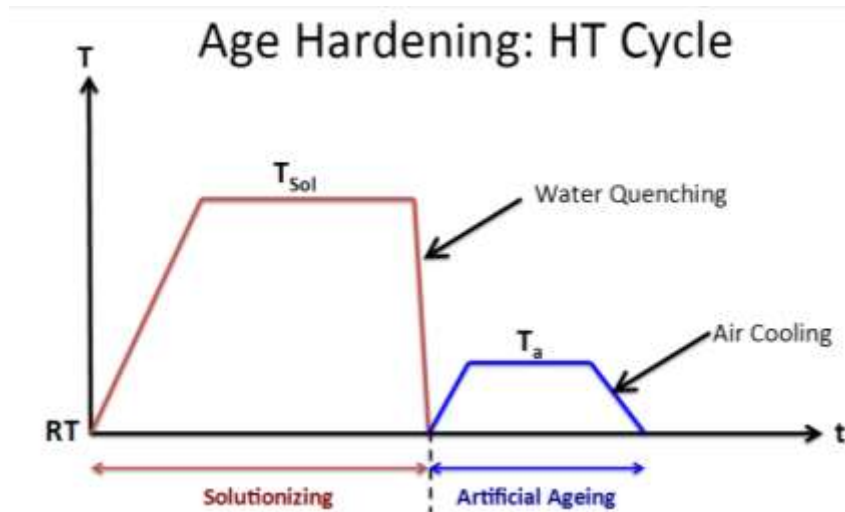
EC 9 uporablja za ekstrudirane profile le **rdeče** označene serije

Poboljšanje mehanskih lastnosti **VSEH KOVIN**

- **legiranje**
- **toplotna obdelava,**
- **hladna deformacija**

Staranje Al-zlitin

- **Naravno staranje** : pri $\approx 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, nekaj dni
- **Umetno staranje** : pri 100 do 200 $^{\circ}\text{C}$, med 4 in 48 ur



Homogenizacijsko žarjenje, topljenje legirnih elementov ($\approx 550\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Gašenje,- hitro ohlajanje, prenasičeno stanje zlitine

Staranje - Izločanje legirnega elementa, zakalitev

Zadržanje staranja

- Pri nizki temperaturi (okrog 0 °C in manj) se staranje ne pojavlja. To izkoriščamo včasih pri kovicah (npr. pri gradnji letal).

(2) The values of $f_{o,haz}$ and $f_{a,haz}$ in Table 3.2 are valid from the following times after welding, providing the material has been held at a temperature not less than 10°C:

- 6xxx series alloys 3 days
- 7xxx series alloys 30 days.

NOTE 1 If the material is held at a temperature below 10°C after welding, the recovery time will be prolonged. Advice should be sought from manufacturers.

Oznake stanja Al-zlitine za gnetenje

Simbol	Opis
F	Kot proizvedeno: lito, gneteno (hladno ali toplo utrjeno vendar brez ugotavljanja mehanskih lastnosti)
O	Mehko žarjeno – najmanjša možna trdnost
T	Toplotna obdelava – utrjeno (T4 naravno starano, T6 umetno starano)
H	Hladno deformirano- utrjeno

Primeri:

EN AW 5083-0	Mehko žarjeno
EN AW 5083-0/H111	Mehko žarjeno in hladno utrjeno zaradi obdelave –izdelave (npr. upogibanje)
EN AW 5754-H14	Utrjeno samo z deformacijo(1), srednje velika trdnost (4)
EN AW 6061-T4	Utrjevanje s toplotno obdelavo, naravno starano
EN AW 7020-T6	Utrjevanje s toplotno obdelavo, umetno starano

Zmanjšanje mehanskih lastnosti v TVP zaradi varjenja

TVP – toplotno vplivno področje

Mehčanje v TVP nastane pri:

–Toplotno utrjenih zlitinah

(6xxx, 7xxx T4, T6 ...)

–Hladno utrjenih zlitinah

(3xxx, 5xxx, 8xxx, Hx.)

Trdnost lahko ponovno povečamo
s ponovnim staranjem ali
hladno deformacijo.
(Če je tehnološko možno.)

Zmanjšanje trdote in trdnosti v TVP pri hladno utrjeni Al-zlitini

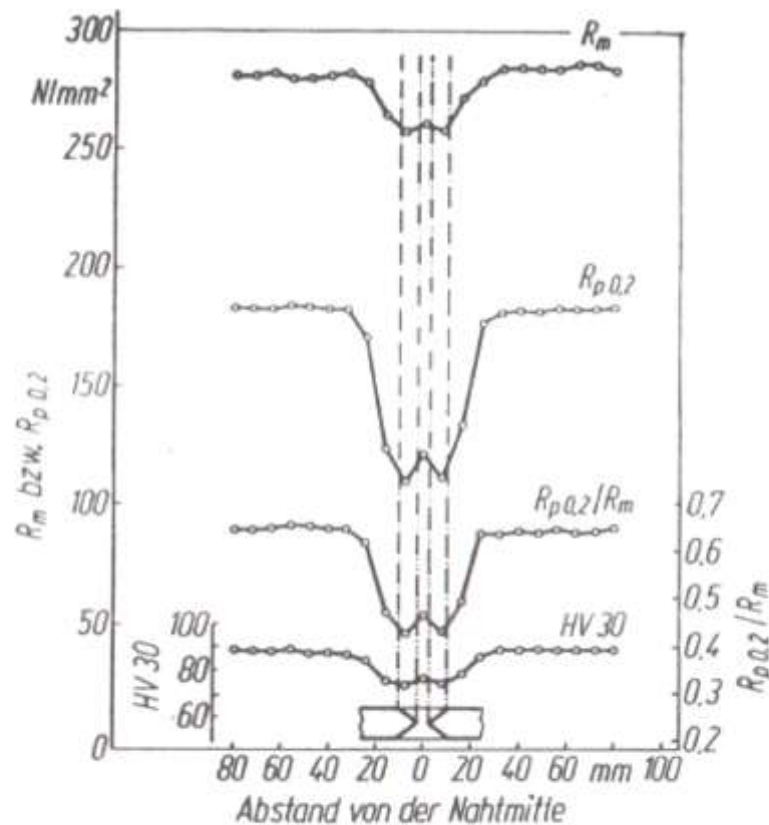
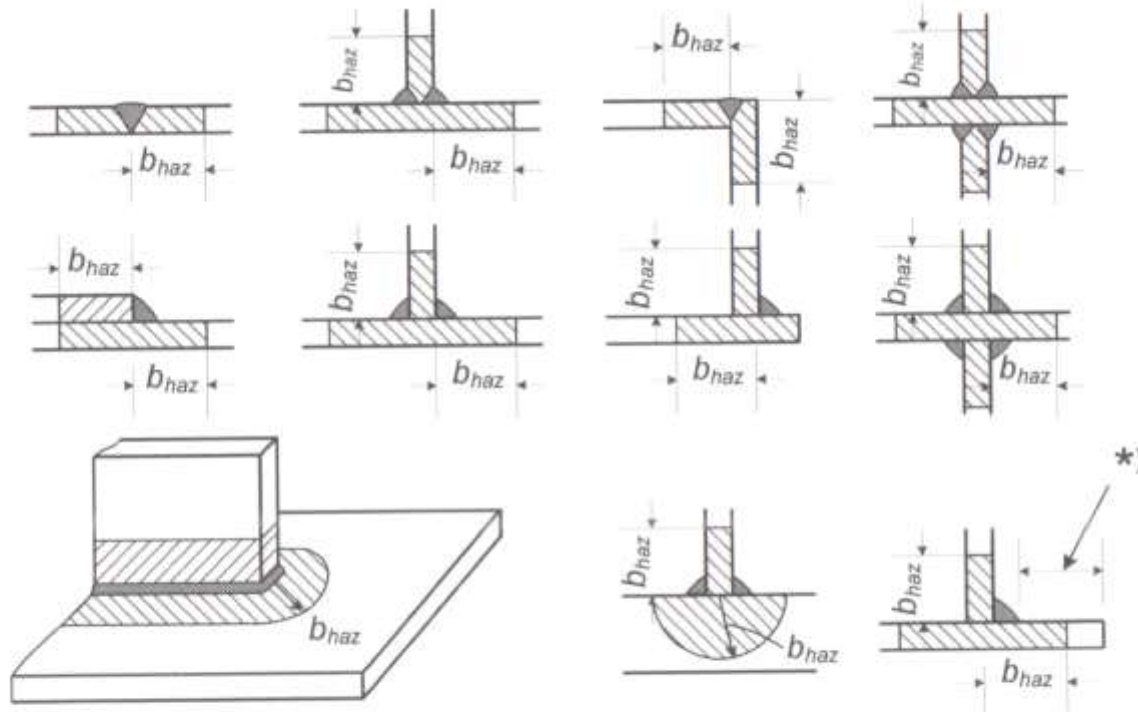


Abb. 3-4 Härte- und Festigkeitsabfall in der WEZ bei einer kaltverfestigten Aluminiumlegierung [24]

Oblika in velikost TVP po SIST EN 1999-1-1



*) Wenn der Abstand weniger als $3b_{haz}$ beträgt, ist anzunehmen, dass sich die WEZ über die volle Breite der Teilfläche ausdehnt

Abb. 3-5 Ausdehnung der Wärmeeinflusszone nach DIN EN 1999-1-1:2014-3, Bild 6.6 ([N1], S. 75)

Računski model v EC9, ki upošteva mehčanje v TVP

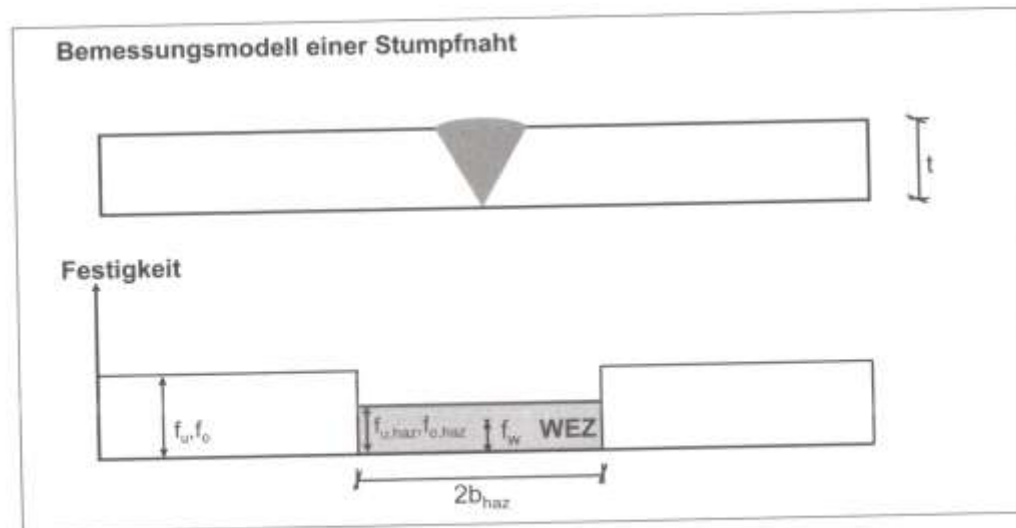


Abb. 3-7 Ansatz der Festigkeiten im Grundmaterial (f_u, f_o), in WEZ ($f_{o,HAZ}, f_{u,HAZ}$) und Schweißnaht (f_w) für die Bemessung nach DIN EN 1999-1-1

Upoštevamo mehanske lastnosti v:

- Osnovnem materialu f_u, f_o
- TVP $f_{u,HAZ}, f_{o,HAZ}$
- Zvaru f_w

EC 9

Da imamo pri dimenzioniranju le eno mejno vrednost (f_0), upoštevamo mehčanje v TVP tako, da zmanjšamo debelino pločevine (t_{eff}).

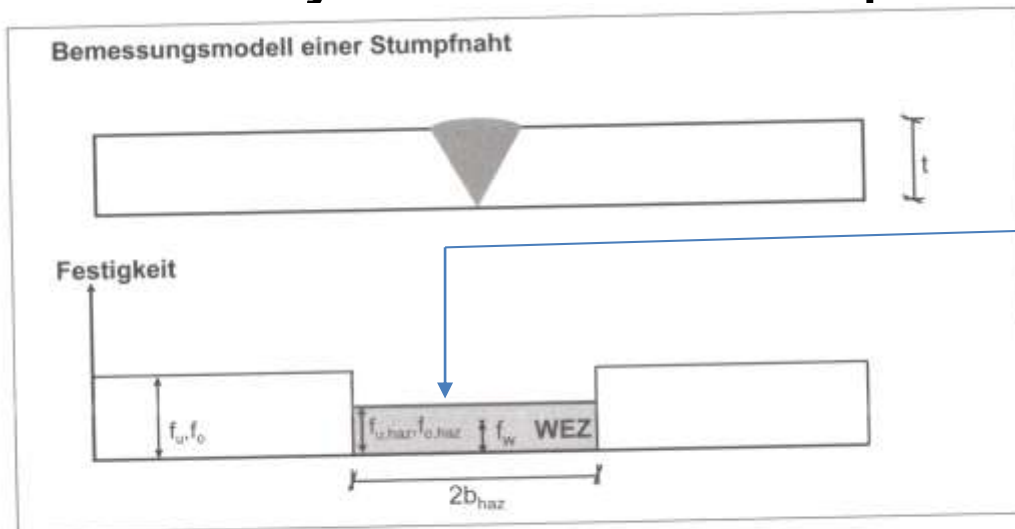


Abb. 3-7 Ansatz der Festigkeiten im Grundmaterial (f_u, f_0), in WEZ ($f_{0, \text{HAZ}}, f_{u, \text{HAZ}}$) und Schweißnaht (f_w) für die Bemessung nach DIN EN 1999-1-1

$$t_{\text{eff}} = \rho_{0, \text{HAZ}} \cdot t$$

$$\rho_{0, \text{HAZ}} = \frac{f_0}{f_{0, \text{HAZ}}}$$

Izguba povečane trdnosti utrjenih zlitin (Utrjeno: toplotno ali hladno) EC9

Alloy EN- AW	Product form	Temper	Thick- ness t mm 1) 3)	f_o 1)	f_u 1)	A 5) 2)	$f_{o,haz}$ 4)	$f_{u,haz}$ 4)	HAZ-factor 4)		BC 6)	n_p 7)
				N/mm ²		%	N/mm ²		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	ET, EP,ER/B	O / H111, E, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
			EP	$3 < t \leq 25$	150	195			8	0,43	0,56	A

Posebnosti pri uporabi Al zlitin

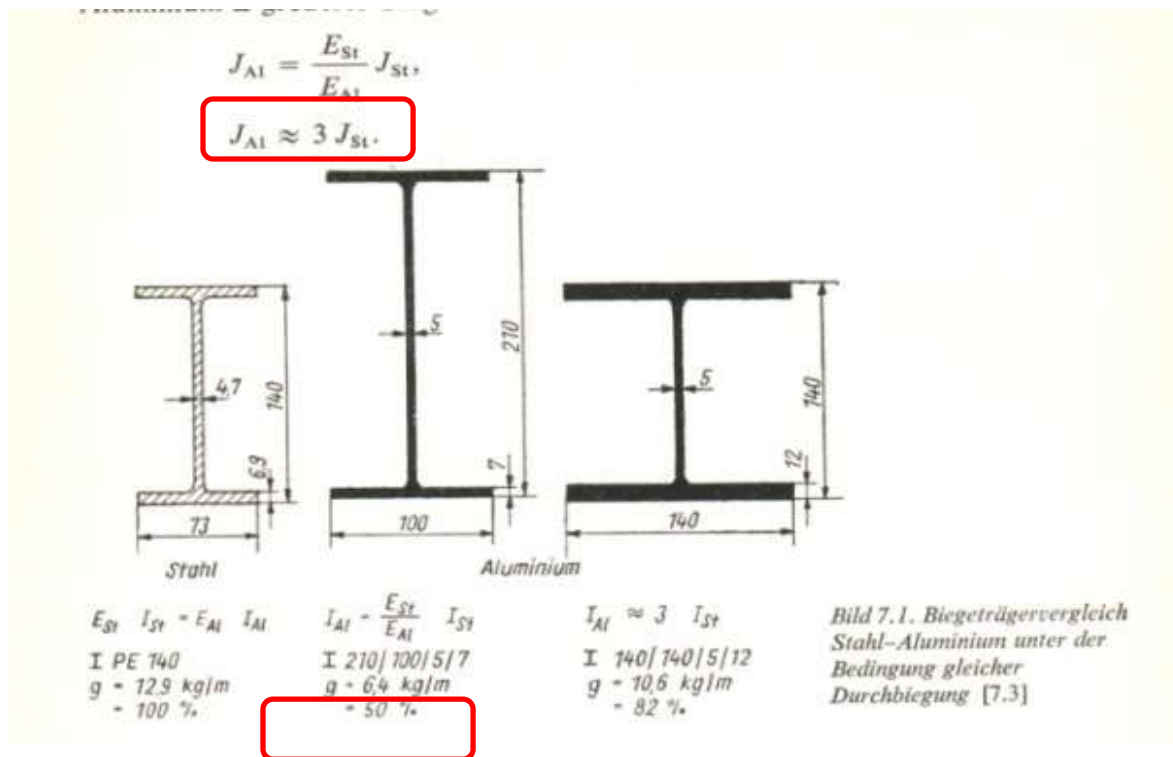
Posebnosti pri uporabi Al zlitin

- Modul elastičnosti (E) (trikrat manjši kot pri jeklu)
- Specifična masa (ρ) (trikrat manjša kot pri jeklu)
- Lažje oblikovanje/izdelava prečnih prerezov (stiskanje/ekstrudiranje)
- Al je dražji kot jeklo

Konstruiranje glede na specifično gostoto (ρ) in modul elastičnosti (E)

Konstruiranje glede na specifično gostoto (ρ) in modul elastičnosti (E)

Zagotavljanje **enakih pomikov** (S_{xxx}/Al) - **togosti**



Konstruiranje glede na izdelavo

Konstruiranje glede na izdelavo

Ekstrudirani profili – manj varjenja

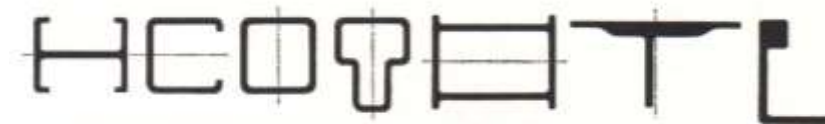
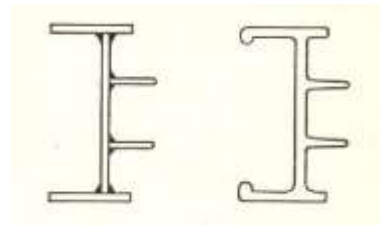
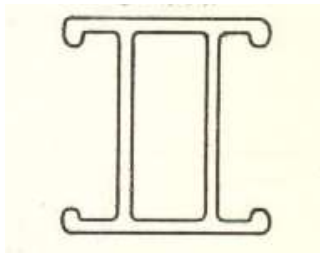
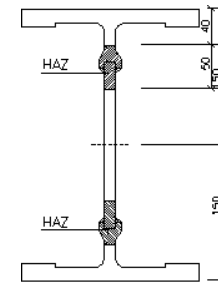


Bild 8.28 Beispiele für Strangpreßprofile aus Leichtmetall



Sxxx

Al



Uporaba polizdelkov:

- Zvar v področju manjših napetosti
- Priprava varilnih robov
- Odebelitev v TVP

Konstruiranje glede na izdelavo

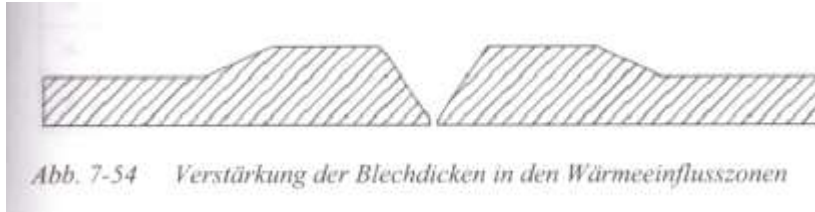


Abb. 7-54 Verstärkung der Blechdicken in den Wärmeeinflusszonen

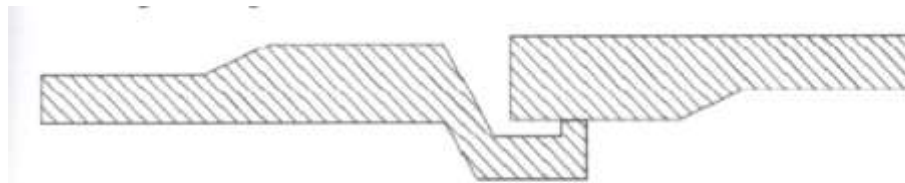


Abb. 7-55 Beispiel für eine Schweißbadsicherung

Običajni postopki varjenja Al-zlitin

- **MIG**
- **TIG**
- Laser, elektronski curek, plazma

SIST EN 1999-1-1 obravnava MIG in TIG

TIG obločno varjenje z volframovo elektrodo v nevtralnem (inertnem) plinu

DSPORT
DESIGNING TECHNOLOGY

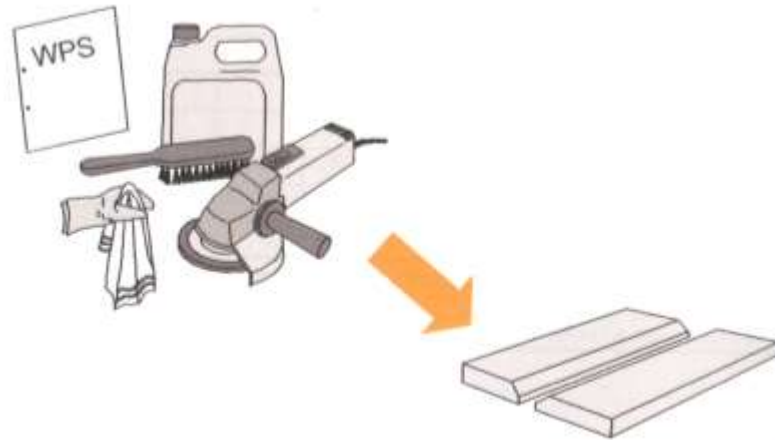
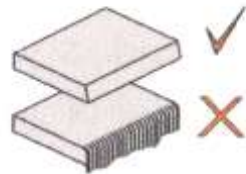


Priprava zvarnega roba



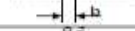
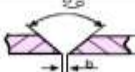
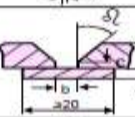
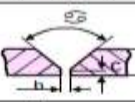
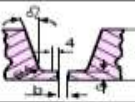
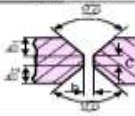
- Kot je večji kot pri jeklu
- **Čistoča roba**
- **Preboj oksidne plasti - problem**


Priprava zvarnega roba

WPS: Welding Procedur Specification, Popis varilnega postopka



Priprava zvarnega roba

Edge Preparation For MIG Welding						
Work-piece Thickness [t]	Welding Method	Joint from Cross - Section	Dimen- sions	Gap	Web Height	Edge Height
			a ; β Degrees	b	c	h
up to 4	One - Sided		-	-	-	-
2 to 4	One - Sided		-	0 to 2	-	-
4 to 16	Double - Sided		-	0 to 3	-	-
6 to 20	One - Sided or Double - Sided		50 to 70	0 to 2	up to 2	-
> 6	One - Sided		15 to 30	3 to 7	2 to 4	-
> 10	Double - Sided		50 to 70	-	2 to 6	-
> 10	One - Sided		up to 10	0 to 1	2 to 4	-
> 10	Double - Sided		50 to 70	0 to 2	3 to 4	$\frac{t-c}{2}$



Edge Preparation for MIG Welding

4202.03.03

Dokaz nosilnosti zvara po EC 9

SIST EN 1999-1-1 (EC 9)

- Nosilnost zvarjenega spoja moramo dokazati
 - v osnovnem materialu in
 - V TVP
- Podatki (f_o in f_u) za osnovni material in TVP so podani v tabeli 3.2 (glej naslednje dia)
- Kvaliteta izdelave in montaže mora ustrezati 1090-3
- Dodajni material je določen s standardom EC 9 Tabela 8.8 (glej naslednje dia)
- Obremenitev je pretežno statična (ni utrujanja)

Tabela 3.2

Alloy EN- AW	Product form	Temper	Thick- ness t mm 1) 3)	f_o 1)	f_u 1)	A 5) 2)	$f_{o,haz}$ 4)	$f_{u,haz}$ 4)	HAZ-factor 4)		BC 6)	n_p 7)
				N/mm ²		%	N/mm ²		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	ET, EP,ER/B	O / H111, E, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
			EP	$3 < t \leq 25$	150	195			8	0,43	0,56	A

Dodajni material in meja tečenja f_w

EN 1999-1-1:2007 (E)

Table 8.8 - Characteristic strength values of weld metal f_w

Characteristic strength	Filler metal	Alloy								
		3103	5052	5083	5454	6060	6005A	6061	6082	7020
f_w [N/mm ²]	5356	-	170	240	220	160	180	190	210	260
	4043A	95	-	-	-	150	160	170	190	210

Primerjava meje tečenja (EN AW 6082 T6)

(EN 1999-1-1, Tab. 3.2b)

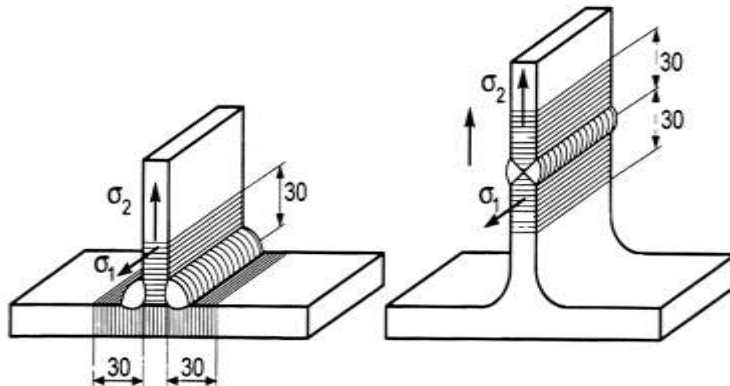
Meja tečenja

Osnovni material:

(EN AW 6082 T6)

$f_0 = 260 \text{ MPa}$, (osnovni mat.)

$f_{u,HAZ} = 185 \text{ MPa}$ (TVP)



(EN 1999-1-1, Tab. 8.8)

Meja tečenja

Dodajni material:

5356 (MIG)

$f_w = 210 \text{ MPa}$

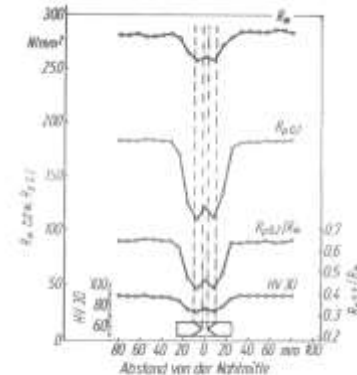


Abb. 3-4 Härte- und Festigkeitsabfall in der WEZ bei einer kaltschweißigen Aluminiumlegierung [24]

Utrujanje

Utrujanje

Dokaz nosilnosti pri utrujanju je po EC standardih enoten za vse konstrukcije in materiale

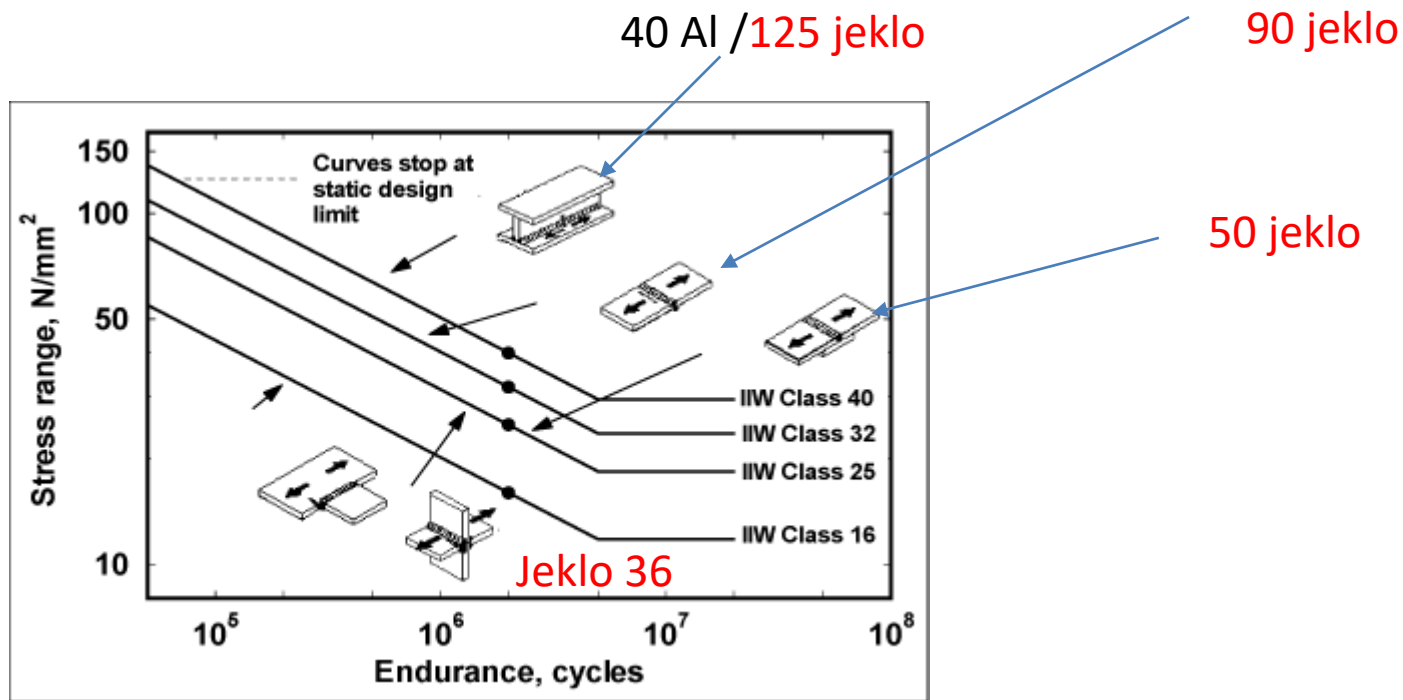
Jeklo / aluminij enak postopek

Al zlitine imajo manjšo trdnost utrujanja

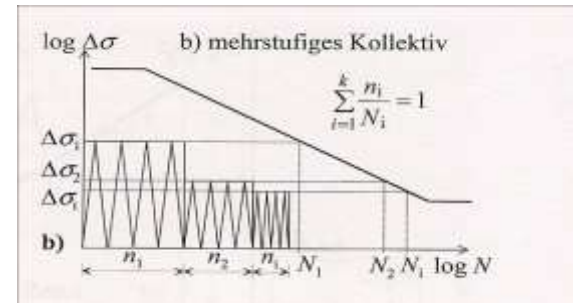
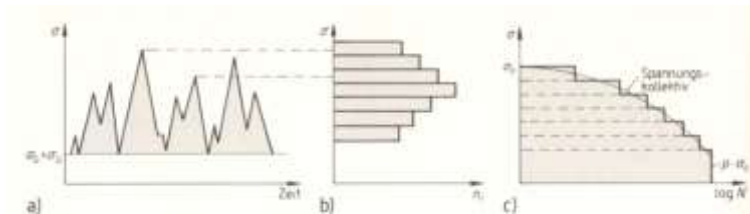
Dinamične obremenitve, utrujanje

Kategorija detajla (Al / jeklo)

- SIST EN 1999-1-3



Postopek pri analizi utrujanja



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

Palmgren-Minerjevo pravilo

Zvari

Sočelni spoji

**Zvari na nosilnih delih morajo biti
praviloma polno prevarjeni.**

Neprevarjeni zvari so dovoljeni le na sekundarnih in neobremenjenih delih.

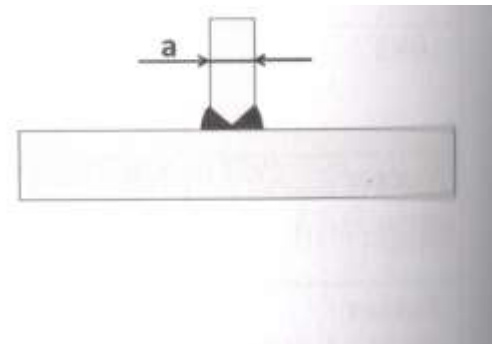
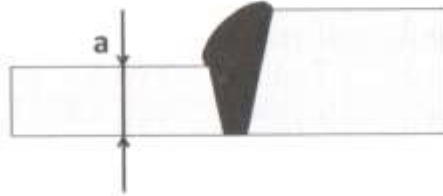
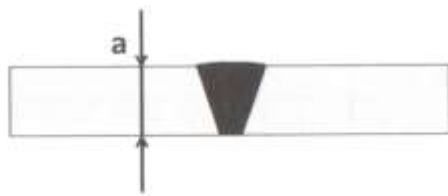
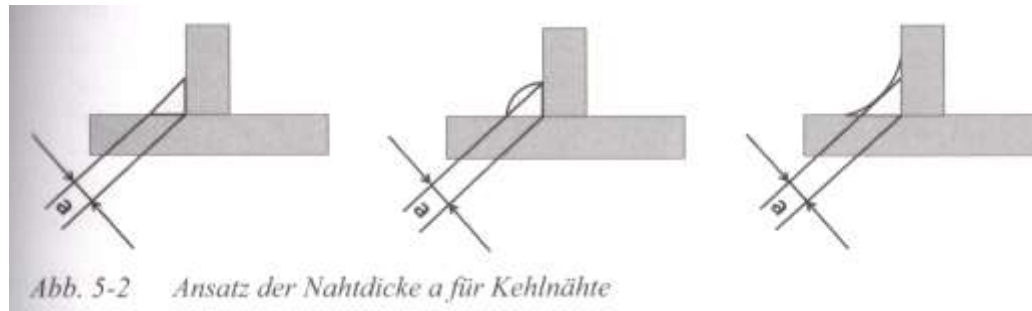


Abb. 5-1 Ansatz der Nahtdicke a für Stumpfnähte

Kotni zvari

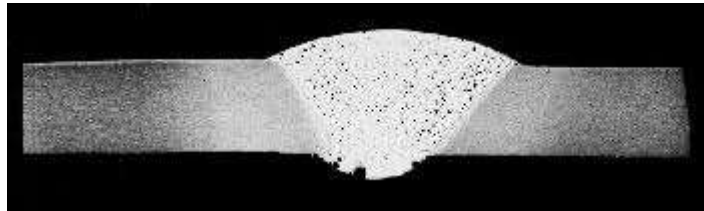
Kotni zvar je nosilen, če velja $L_w > 8 \cdot a$



Napake pri varjenju Al - zlitin

- Poroznost
- Razpoke v vročem
- Razpoke zaradi napetostne korozije

Napake: poroznost in razpoke



Poroznost v zvaru

Običajno je vzrok vodik.

Izvori vodika so:

- ogljikovodiki (barva, ostanki olja in masti, nečistoče)
- aluminijev oksid (absorbira vlago)
- atmosferska vlaga (vlažen zrak, nečisti zaščitni plin)

Vzroki za nastanek razpok

- Razpoke v vročem (izcejanje nečistoč in zaostale napetosti pri ohlajanju zvara)
- Razpoke zaradi napetostne korozije (napetosti in korodirno sredstvo)

Občutljivost na razpoke

- Razpoke v zvarih Al-zlitin nastanejo zaradi **neprimerne dodajnega materiala.**

Primerne kombinacije osnovi/dodajni material najdete v EN 14532-2.

Kombinacije osnovi/dodajni material za Al konstrukcije EN 1999-1-1

EN 1999-1-1:2007 (E)

Table 8.8 - Characteristic strength values of weld metal f_w

Characteristic strength	Filler metal	Alloy								
		3103	5052	5083	5454	6060	6005A	6061	6082	7020
f_w [N/mm ²]	5356	-	170	240	220	160	180	190	210	260
	4043A	95	-	-	-	150	160	170	190	210

Razpoke v vročem

Razpoke v vročem → 2xxx (slaba varivost)

Razpoke v vročem:

- izcejanje nečistoč pri ohlajanju,
- napetosti pri krčenju povzročijo nastanek razpoke

Razpoke zaradi napetostne korozije

→ 7xxx (Mg, Zn: slaba varivost)

O napetostni koroziji:

Napetostno korozijsko pikanje je posledica delovanja

- napetosti in
- korodirnega medija v konici razpoke.

Napetosti so zunanje ali notranje (zaostale napetosti).

Razpoka teče preko kristalov.

Dimensioniranju varjenih aluminijevih konstrukcij po EC 9

Dimenzioniranje

Pri nosilnih konstrukcijah moramo dokazati:

- **nosilnost prereza,**
- **nosilnost konstrukcijskega elementa,**
- **uporabnost (pomiki, lastne frekvence ,
resonanca)**
- **stojnost.**

Razredi kompaktnosti (1 do 4)

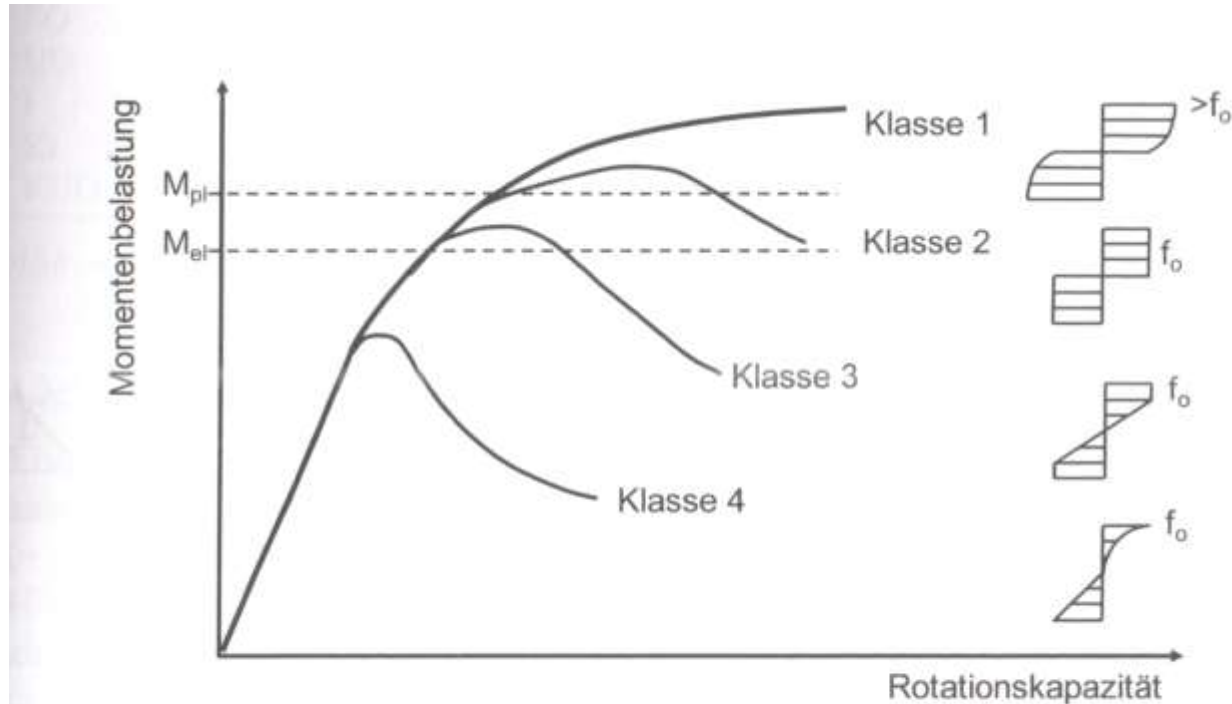


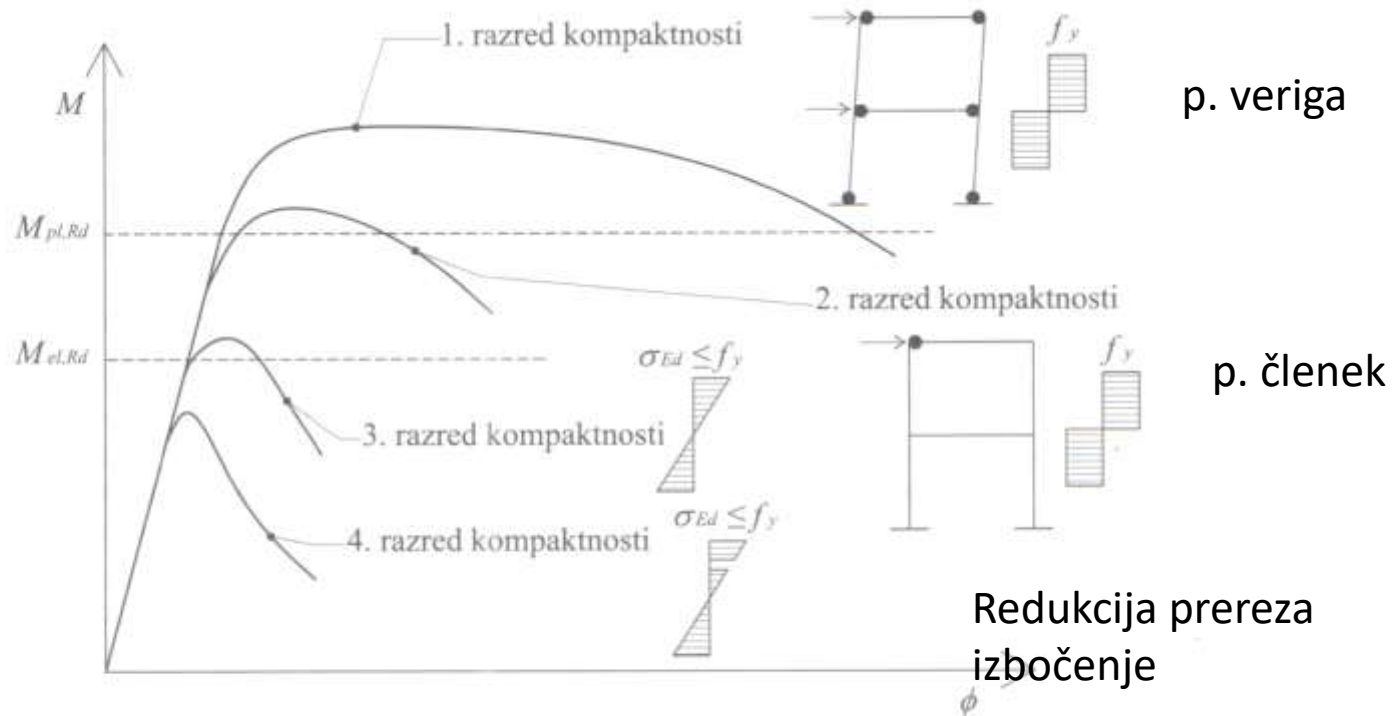
Abb. 4-1 Prinzip der Querschnittsklassifizierung nach DIN EN 1999-1-1, 6.1.4.2

Razred kompaktnosti (RK)

- **RK1:** duktilni prečni prerezi, teorija P-P, največja rotacijska kapaciteta, plastični členki in verige
- **RK2:** omejena rotacijska kapaciteta, lokalna izbočitev, teorija E-P
- **RK3:** ne prekoračimo f_o , klasična trdnost, teorija E-E
- **RK4:** vitki prečni prerezi, lokalno izbočenje nastane pred dosegom meje tečenja (f_o), sodelujoči (zmanjšani) prečni prerezi, (E-E)

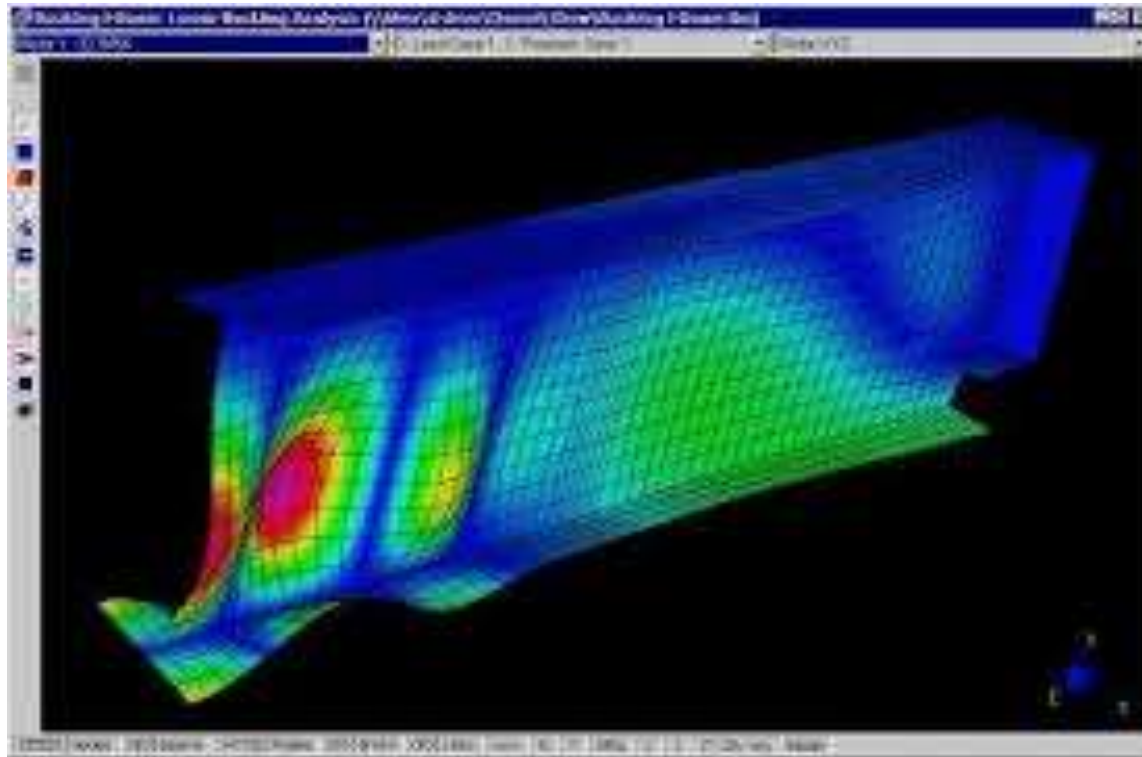
Plastični členki in plastična veriga

Diagram za jeklo



Sl. 3-13. Diagrami moment-rotacija za štiri razrede kompaktnosti

Izbočenje stojine in pasnic, redukcija prereza



Pri RK4 upoštevamo izbočenja posameznih delov prečnega prereza z **zmanjšanjem debeline dela ($t_{w,eff}$)**, redukcija prereza

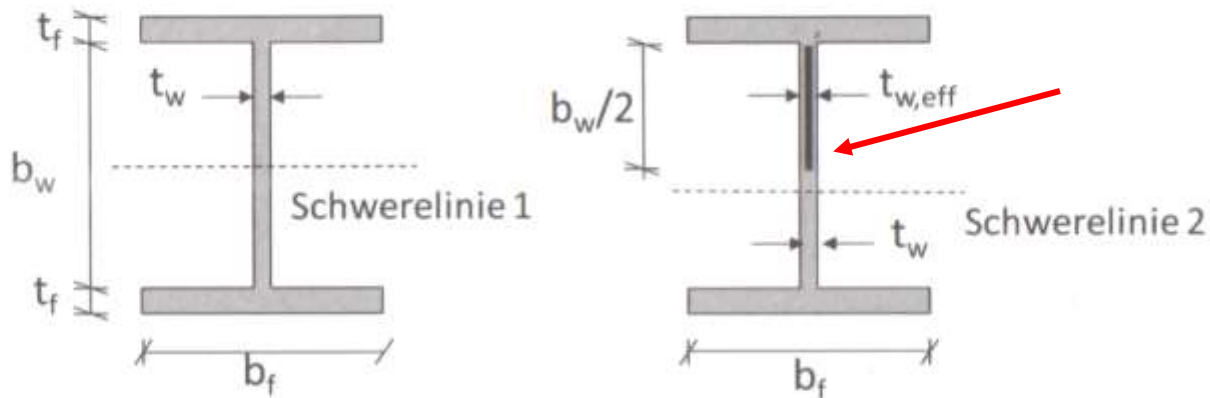


Abb. 4-6 Wirksamer Querschnitt eines Biegeträgers mit Steg der Klasse 4

Reducirani prečni prerez

Redukcija debelin v prečnem prerezu zaradi:

- Varjenja
- Nevarnosti lokalne izbočitve

Sodelujoči prečni prerez varjenega upogibnega nosilca s stojino v 4. razredu kompaktnosti

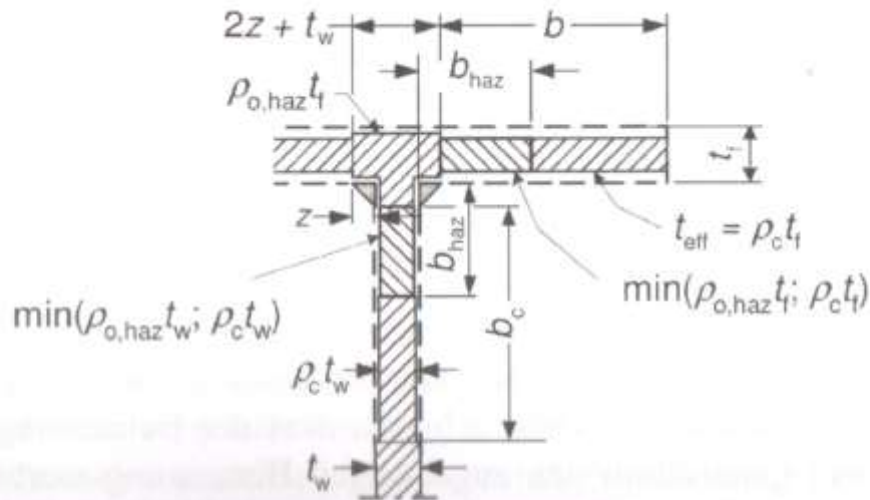


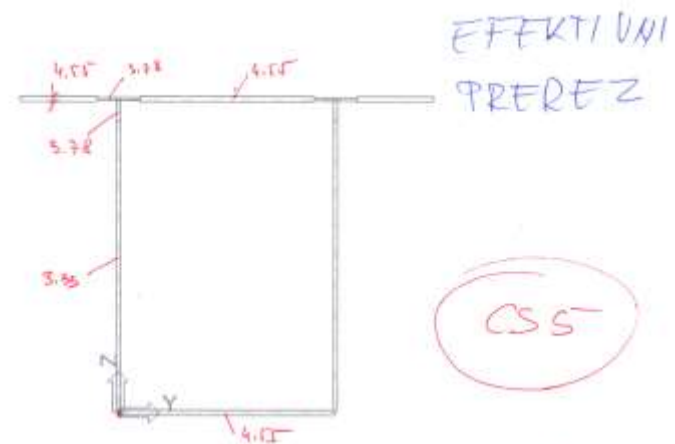
Abb. 4-7 Wirksame Dicken in einem Querschnitt der Klasse 4 mit Schweißnähten
DIN EN 1999-1-1:2014-3, Bild 6.9 ([N1], S. 84)

Primer **varjenega vitkega prečnega prereza** (RK4)

U profil s privarjeno pasnico

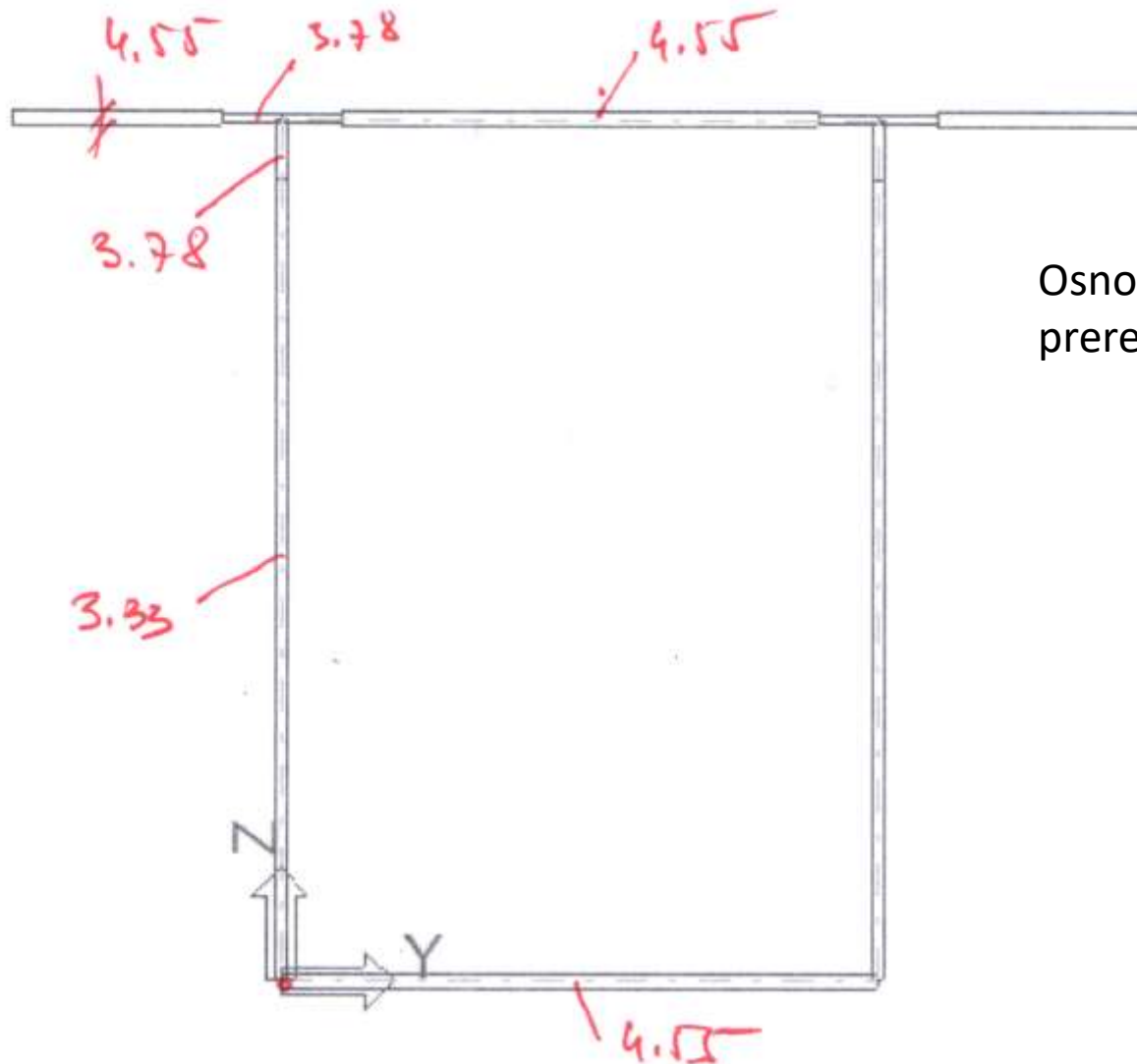


Osnovni prečni
prerez $t = 6 \text{ mm}$



Reducirani prečni prerez

Efektivni prerez



Osnovni prečni
prez t = 6 mm

Nosilnost prečnega preza po EC 9

(5) For the resistance the following yield criterion for a critical point of the cross-section may be used unless other interaction formulae apply, see 6.2.7 to 6.2.10.

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o / \gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o / \gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o / \gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_o / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq C \quad (6.15)$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{and} \quad \frac{\sqrt{3} \tau_{Ed}}{f_o / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.15 \text{ a, b, c})$$

where:

$\sigma_{x,Ed}$ is the design value of the local longitudinal stress at the point of consideration

$\sigma_{z,Ed}$ is the design value of the local transverse stress at the point of consideration

τ_{Ed} is the design value of the local shear stress at the point of consideration

$C \geq 1$ is a constant, see NOTE 2

NOTE 1 The verification according to 6.2.1(5) can be conservative as it only partially allow for plastic stress distribution, which is permitted in elastic design. Therefore it should only be performed where the interaction on the basis of resistances cannot be performed.

NOTE 2 The constant C in criterion (6.15) may be defined in the National Annex. The numerical value $C = 1,2$ is recommended.

Nosilnost prečnega preza po EC 9

Natezna obremenitev

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{o,Rd} , N_{u,Rd})$$

$$N_{o,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1}$$

Kontrola tečenja po elementu konstrukcije

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

Lokalna kontrola v kritičnem prerezu

Vrsta prečnega prereza (osnovni, reducirani)

- A_g : osnovni prečni prerez (gross c.s.) ali reducirani prerez zaradi mehčanja v TVP
- A_{net} : odštete luknje, redukcija zaradi mehčanja v TVP v področju lukenj
- Ker je prerez v nategu ni redukcije zaradi izbočitve (RK4)

Ostale vrste obremenitve (V,M) prečnega prereza

- Logika dokaza nosilnosti je enaka kot pri N.
- Če je potrebno, moramo upoštevati še efekt izbočitve.