

**Vaja 1:**

**Dinamična trdnost**

## Kazalo

1 Definicija naloge.....	3
2 Opis preizkuševališča.....	3
3 Preračun.....	4
4 Preračuni ostalih meritev.....	14
5 Zaključek.....	19
6 Literatura.....	20

## 1 Definicija naloge

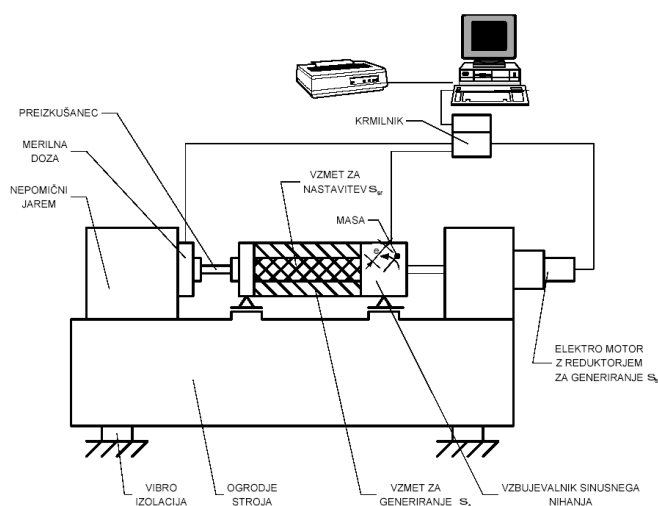
Za material DIN C35 je potrebno določiti Wöhlerjevo krivuljo. Izračunati moramo trajno dinamično trdnost materiala za izmenično obremenitev. Potrebno je določiti vpliv zarez na trajno dinamično trdnost materiala. Wöhlerjevo krivuljo je potrebno določiti za 10%, 50% in 90% verjetnost preživetja preizkušanca po Weibullovi dvoparametrični metodi.

### Zahteve naloge

- Opisati je potrebno preizkuševališče (narisati merilno verigo in shemo preizkuševališča z vsemi bistvenimi mehanskimi elementi in merilno opremo), potek preizkusa dinamične trdnosti in pojasniti rezultate, dobljene med preizkusom.
- Za oba tipa preizkušancev je potrebno določiti in narisati Wöhlerjevo krivuljo za 10%, 50% in 90% verjetnost preživetja za primer Weibullove dvoparametrične porazdelitve verjetnosti ter izračunati trajnodinamično trdnost materiala.
- Ugotoviti je potrebno, kolikšno je relativno znižanje dinamične trdnosti jekla pri preizkušancu z zarezo.

## 2 Opis preizkuševališča

Shema:



Stroj za preizkušanje trajnodinamične trdnosti oziroma naše preizkuševališče se nahaja v strojnem laboratoriju, ta pa je kleti naše fakultete. Pulzorni stroj je zelene, kovinske barve dolg okoli pet metrov in širok približno en meter. Ima zelo masivno zasnovano konstrukcijo, tako da cel ton tehta okoli pet ton. Namen tako masivnega ohišja je, da zaduši oziroma ublaži nastalo nihanje, ki se pojavi med preizkušanjem.

Preizkus se je začel s tem, da je asistent z ogomnim ključem vpel preizkušane v čeljust pulzirnega stroja. Preden smo pričeli z obremenjevanjem nam je asistent podrobno razložil potek, delovanje in sestavne dele pulzirnega stroja (elektromotor, vzmeti, ogrodje, ekscentrična masa, elektromotor za generiranje srednje vrednosti). Prav tako smo si ogledali krmilnik in računalniški program, potreben za nadziranje poteka preizkusa.

Sam preizkus je trajal kakih pet minut. Po vklipu stroja se je razločno videlo nihajočo vzmet, ki obremenjuje preizkušane, dokler se ta ne prelomi. Na splošno se je delovanje stroja slišalo kot konstantno brnenje, katerega je na koncu prekinil glasen pok, ki je pomenil dokončen zlom preizkušanca. Po poku se je stroj zaustavil, na računalniku pa smo si lahko odčitali končne meritve.

Tako smo uspešno prelomili preizkušane, katerega smo si tudi natančneje zatem ogledali. Za nazorno predstavo nam je asistent pokazal še druge primere polomljenih preizkušancev na katerih se je razločno videlo potek trajnega in trenutnega zloma. Razlika je v tem, da trenutni zlom poteka pod kotom 45°, trajni zlom pa je gladek in raven po celem prerezu.

Zanimivo mi je bilo spoznanje, da z našim pulzirnim strojem lahko preizkušamo tudi druge vrste in oblike materialov, kot so recimo umetne vezi med kostmi, vodniki za železnice ... Za konec smo se sprehodili po laboratoriju in si ogledali razne strojniške rešitve mehanizmov

### 3 Preračun

#### 3.1 Postopek za določevanje Wöhlerjevih krivulj

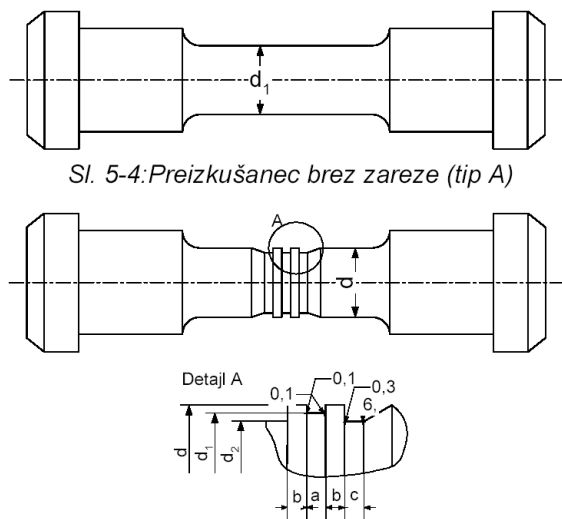
Opravili smo preizkus trajno dinamične trdnosti za dva tipa preizkušancev na dveh različnih napetostnih nivojih. Sprva smo obremenjevali preizkušane TIP-A pri 19kN in 17kN, zatem pa še preizkušane TIP-B pri 19kN in 17kN. Preizkušanca sta si medseboj različna, da bomo lahko določili faktor zarezne učinka. Omeniti je potrebno, da se preizkušanca med seboj razlikujeta po zarezi in sicer ima zarezo samo TIP-B. Tako smo dobili meritve, na podlagi katerih bomo prišli do zahtevanih zahtev v definiciji naloge.

Za oba tipa preizkušancev (TIP-A, TIP-B) smo opravili po dvajset meritev pri obeh obremenitvah (19kN, 17kN), ter tako skupno dobili 80 meritev:

TIP-A-19kN	TIP-A-17kN	TIP-B-19kN	TIP-B-17kN
31144	230194	10235	72350
26798	269813	12291	77261
28587	214551	11736	79749
27850	223787	13452	63851
29570	207706	10795	70606
29348	235952	12063	77934
25026	200203	13365	76423
29993	230938	8557	73539
29868	185867	9855	77779
27621	296815	12678	61692
28726	206654	12174	90694
29887	254398	11076	73178
31786	184325	12644	67495
30612	282988	11415	74615
27433	240561	12674	87063
27869	213744	13257	87406
29944	204901	11747	74295
27615	237265	12509	71386
29532	266498	11966	68295
26801	221978	11591	82543

#### 3.2 Oblika preizkušanca in izračun obremenitvenih napetosti

Preizkuse izvajamo z dvema vrstama preizkušancev. V prvo skupino preizkušancev (A) spadajo gladki preizkušanci, v drugo skupino pa spadajo preizkušanci z zarezo. S temi simuliramo učinek zareze oz. inicialne razpoke na dinamično trdnost.



Sl. 5-4: Preizkušavec brez zareze (tip A)

Ker tako poznamo geometrijo preizkušancev in obremenjevalne sile lahko izračunamo prerez A in napetosti  $\sigma$ .

Preizkušavec brez zareze TIP-A

$$d_1 = 8,4 \text{ mm}$$

$$F_1 = 19 \text{ kN}$$

$$F_2 = 17 \text{ kN} \quad A_A$$

$$A_A = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi \times 8,4^2}{4} = 55,418 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{A1} = \frac{F_1}{A_A} = \frac{19000}{55,418} = 342,851 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{A2} = \frac{F_2}{A_A} = \frac{17000}{55,418} = 306,761 \text{ MPa}$$

Preizkušavec z zarezo TIP-B

$$d_2 = 8,4 \text{ mm}$$

$$F_1 = 19 \text{ kN}$$

$$F_2 = 17 \text{ kN}$$

$$A_B = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi \times 8,4^2}{4} = 55,418 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{B1} = \frac{F_1}{A_B} = \frac{19000}{55,418} = 342,851 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{B2} = \frac{F_2}{A_B} = \frac{17000}{55,418} = 306,761 \text{ MPa}$$

### 3.3 Weibullova dvoparametrična statistična metoda za določitev 10%, 50% in 90% verjetnosti preživetja preizkušancev

Namen te statistične obdelave, je da bomo določili verjetnosti preživetja preizkušancev za 10%, 50% in 90% s katerimi bomo lahko narisali Wöhlerjeve krivulje kot zahtevano v definiciji naloge.

Zgled:

- Izbermo si meritve za preizkušavec TIP-A pri 19kN iz prvega stolpca na strani 3, ter jih razvrščene po velikosti prepisemo v spodnjo tabelo v drugi stolpec (**Št.nihajev Ni**).
- Vsakemu rezultatu v tabeli dodelimo vrednost ranga, ki je enaka položaju v tabeli in je zapisana v prvem stolpcu (**Rang i**)

- Z Bernardovo formulo ocenimo kumulativno verjetnost, ki pripada določenemu številu nihajev, na osnovi razsežnosti vzorca in ranga, po formuli, kjer je  $i$  določen rang in  $n$  celotno število meritev:

$$P_i = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad \text{Primer: } i=5, n=20 \quad P_5 = \frac{5 - 0,3}{20 + 0,4} = 0,23039$$

Rezultate zapišemo v tretji stolpec (**Kumulativna verjetnost  $P_i$** )

- izračunamo logaritmizirane vrednosti vseh nihajev po enačbi  $x = \ln(N_i)$  in jih prepisemo v četrti stolpec  **$x = \ln(N_i)$**

Primer:  $i=5 \quad x = \ln(27615) = 10,22611$

- izračunamo še vrednosti  $y = \ln[-\ln(1 - P_i)]$  in jih prepisemo v peti stolpec ( **$y = \ln[-\ln(1 - P_i)]$** )

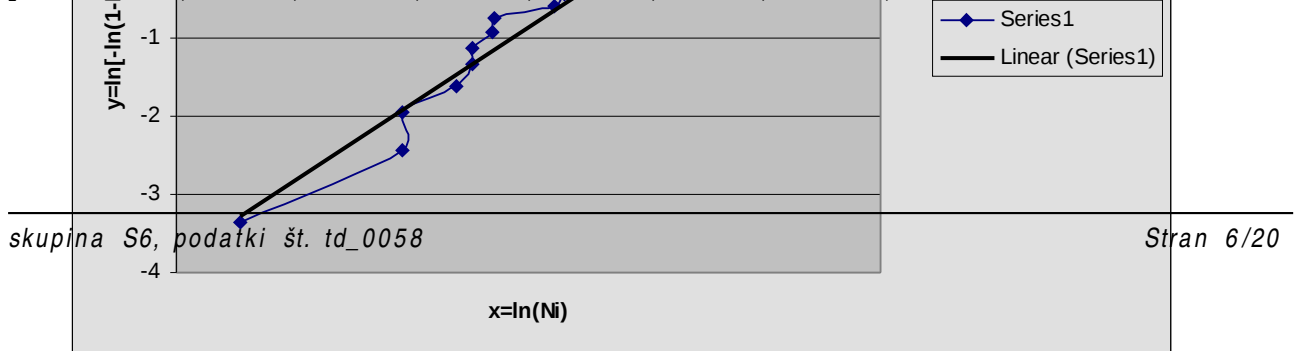
Primer:  $i=5 \quad y = \ln[-\ln(1 - 0,23039)] = -1,33989$

Rang $i$	Št. Nihajev $N_i$	Kumulativna verjetnost $P_i$	$x = \ln(N_i)$	$y = \ln[-\ln(1 - P_i)]$
1	25026	0,034313725	10,12767056	-3,354802509
2	26798	0,083333333	10,19608254	-2,441716399
3	26801	0,132352941	10,19619448	-1,952137671
4	27433	0,181372549	10,21950195	-1,608807204
5	27615	0,230392157	10,22611438	-1,339891087
6	27621	0,279411765	10,22633163	-1,115695152
7	27850	0,328431373	10,23458825	-0,920953918
8	27869	0,37745098	10,23527024	-0,746689513
9	28587	0,426470588	10,26070735	-0,587084006
10	28726	0,475490196	10,26555791	-0,438053654
11	29348	0,524509804	10,28697968	-0,296508894
12	29532	0,573529412	10,2932297	-0,159920103
13	29570	0,62254902	10,29451561	-0,026021058
14	29868	0,671568627	10,30454295	0,107442983
15	29887	0,720588235	10,30517888	0,24300008
16	29944	0,769607843	10,30708425	0,383882124
17	29993	0,818627451	10,3087193	0,534855821
18	30612	0,867647059	10,32914737	0,704227134
19	31144	0,916666667	10,34637689	0,910235093
20	31786	0,965686275	10,36678122	1,21556827

### 3.4 Določitev parametrov $\beta$ in $\eta$ Weibullove porazdelitve verjetnosti z grafično metodo

Enačbo za popis kumulativne funkcije porazdelitve preoblikujemo tako, da lahko popišemo porazdelitveni zakon s premico  $y = ax + b$ , kjer je  $y = \ln[-\ln(1 - P_i)]$ ,  $x = \ln(N_i)$ ,  $a = \beta$  in  $b = -\beta \ln(\eta)$

Ker hočemo določiti parametra  $a$  in  $b$  oziroma  $\beta$  in  $\eta$  moramo  $x$  in  $y$  vrednosti iz zgornje tabele vnesti v Weibulloy verjetnostni papir oziroma kar narišemo graf in odčitamo enačbo premice z potrebnimi parametri.



Dobimo:

$$a=19,685$$

$$b=-202,64$$

Sledi:

$$\beta=a=19,685$$

$$\eta = \exp\left(-\frac{b}{\beta}\right) = \exp(-(-202,64/19,685)) = 29558,67$$

Od tod se verjetnost preživetja preizkušancev izračuna po enačbi:  $N_{i\%} = \exp\left[\frac{\ln[-\ln(1-F(x))] - b}{a}\right]$

Tako dobimo:

$$N_{90\%} = \exp\left[\frac{(\ln(-\ln 0,9) + 202,64)}{19,685}\right] = 26365,55$$

$$F(x) = P_{\text{porušitve}}$$

$$1 - F(x) = P_{\text{preživetja}}$$

$$N_{50\%} = \exp\left[\frac{(\ln(-\ln 0,5) + 202,64)}{19,685}\right] = 29013,42$$

$$N_{10\%} = \exp\left[\frac{(\ln(-\ln 0,1) + 202,64)}{19,685}\right] = 30837,96$$

**Analogno velja ta postopek še za vse ostale meritve zapisane na strani 3.**

### 3.5 Wöhlerjeve krivulje

Analogno dobimo:

	<b>N10%</b>	<b>N50%</b>	<b>N90%</b>	<b><math>\sigma</math></b>
<b>TIP-A-19kN</b>	30837,9552	29013,418	26365,555	342,851
<b>TIP-A-17kN</b>	268780,268	233404,52	187041,54	306,761
<b>TIP-B-19kN</b>	13412,7964	11943,826	9956,2408	342,851

**TIP-B-17kN** 84729,385 76247,523 64616,721 306,761

Sedaj lahko narišemo Wöhlerjeve krivulje tako, da na x os nanesemo št. nihajev ( $N_i$ ) na y os pa napetost  $\sigma$ . Vse naslednje štiri Wöhlerjeve krivulje imajo tako x, kot y os v logaritemski skali.









### 3.6 Faktor zareznege učinka $k$ in $\sigma_{TDT}$

Prepišemo:

<b>TIP-A</b>		<b>TIP-B</b>	
<b>N1,90%</b>	26365,5549	<b>N1,90%</b>	9956,2408
<b>N2,90%</b>	187041,544	<b>N2,90%</b>	64616,721
<b>N1,50%</b>	29013,4181	<b>N1,50%</b>	11943,826
<b>N2,50%</b>	233404,525	<b>N2,50%</b>	76247,523
<b>N1,10%</b>	30837,9552	<b>N1,10%</b>	13412,796
<b>N2,10%</b>	268780,268	<b>N2,10%</b>	84729,385
<b>NTDT,i%</b>	2000000	<b>NTDT,i%</b>	2000000

V razporednici pomeni  $N_{1;90\%}$   $N_{90\%}$  za  $\sigma_1$  oziroma pri 19kN

Analogno prepisemo še vse ostale meritve.

$N_{TDT,i\%}$  v razporednici pomeni trajno dinamično trdnost za naš material (DIN C35) in je za vse verjetnosti preživetja enaka; to je  $2 \times 10^6$

Faktor zarezne učinka  $k$  se izračuna po enačbi:

$$k_{i\%} = \frac{\sigma_{TDT(i\%,A)}}{\sigma_{TDT(i\%,B)}} > 1$$

Da lahko sploh izračunamo faktor zarezne učinka moramo prej poznati še  $\sigma_{TDT}$ , ki jo lahko izračunamo po enačbi:

$$\left(\frac{N_{1;i\%}}{N_{TDT,i\%}}\right) = \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{TDT;i\%}}\right)^m$$

$$\sigma_{TDT;i\%} = \frac{\sigma_1}{\left(\frac{N_{1;i\%}}{N_{TDT,i\%}}\right)^{\frac{1}{m}}}$$

To enačbo lahko rešimo, če poznamo še naklon premice  $m$ . Tega lahko določimo:

$$m_{i\%} = \frac{\ln\left(\frac{N_{1;i\%}}{N_{2;i\%}}\right)}{\ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}$$

### Primer izračuna $k$ za 90% verjetnost preživetja preizkušanca:

- Za TIP-A velja:

$$N_{1,90\%} = 26365,55$$

$$N_{2,90\%} = 187041,54$$

$$\sigma_1 = 342,851$$

$$\sigma_2 = 306,761$$

$$N_{TDT,i\%} = 2000000$$

$$m_{90\%} = \frac{\ln\left(\frac{26365,55}{187041,54}\right)}{\ln\left(\frac{342,851}{306,761}\right)} = -17,62$$

$$\sigma_{TDT;90\%} = \frac{342,851}{\left(\frac{26365,55}{2000000}\right)^{\frac{1}{-17,62}}} = 268,15$$

- Za TIP-B velja:

$$N_{1,90\%} = 9956,24$$

$$N_{2,90\%} = 64616,72$$

$$m_{90\%} = \frac{\ln\left(\frac{9956,24}{64616,72}\right)}{\ln\left(\frac{342,851}{306,761}\right)} = -16,81$$

$$\sigma_1=342,851$$

$$\sigma_2=306,761$$

$$N_{TDT,i\%}=2000000$$

$$\sigma_{TDT;90\%} = \frac{342,851}{\left(\frac{9956,24}{2000000}\right)^{\frac{1}{-16,81}}} = 250,12$$

Faktor zareznega učinka k:

$$k_{90\%} = \frac{268,15}{250,12} = 1,07 > 1$$

Analogno sledi:

TIP-A		
	m	$\sigma$ TDT
90%	-17,6150772	268,15078
50%	-18,7455793	273,54743
10%	-19,4660272	276,70884

TIP-B		
	m	$\sigma$ TDT
90%	-16,8149237	250,11955
50%	-16,6665496	252,15715
10%	-16,5719936	253,48354

Faktor zareznega učinka k	
90%	1,07
50%	1,08
10%	1,09

## 4 Preračuni ostalih meritev

Analogno sledi:

TIP-A-19kN	TIP-A-17kN	TIP-B-19kN	TIP-B-17kN
31144	230194	10235	72350
26798	269813	12291	77261
28587	214551	11736	79749
27850	223787	13452	63851
29570	207706	10795	70606
29348	235952	12063	77934
25026	200203	13365	76423
29993	230938	8557	73539
29868	185867	9855	77779
27621	296815	12678	61692
28726	206654	12174	90694
29887	254398	11076	73178
31786	184325	12644	67495

Vaja 1: Dinamična trdnost

---

30612	282988	11415	74615
27433	240561	12674	87063
27869	213744	13257	87406
29944	204901	11747	74295
27615	237265	12509	71386
29532	266498	11966	68295
26801	221978	11591	82543









## 5 Zaključek

Po vseh opravljenih preračunih so nam meritve dale zelene rezultate.

Ugotavljam, da relativno znižanje dinamične trdnosti materiala DIN C35 z zarezo znaša:

verjetnost preživetja	zarezni učinek
90%	1,07
50%	1,08
10%	1,09

- 90% verjetnost preživetja materiala

Trajna dinamična trdnost pri preizkušancu brez zareze znaša 268,15 MPa, pri preizkušancu z zarezo pa 250,12 Mpa, kar pomeni razliko 18 Mpa oziroma 6,7% znižanje trajno dinamične trdnosti

- 50% verjetnost preživetja materiala

Analogno dobimo tu razliko napetosti ki znaša 21,4 Mpa oziroma pomeni 7,8% znižanje trajno dinamične trdnosti.

- 10% verjetnost preživetja materiala

Analogno dobimo tu razliko napetosti ki znaša 23,2 Mpa oziroma pomeni 8,5% znižanje trajno dinamične trdnosti.

Splošno ocenjujem, da je povprečni faktor zarezne učinka okoli 7,5% ostale rezultate pa najbolje prikazujejo Wöhlerjeve krivulje. Tako prikazani (Wöhlerjeve krivulje, trajna dinamična trdnost, faktor zarezne učinka) rezultati se v praktičnem življenju veliko uporabljajo in so osnova konstruiranja in reševanja tehničnih problemov.

## 6 Literatura

- [1] Zapiski z vaj pri asistentu dr. Jerneju Klemencu
- [2] Dinamična trdnost (listi z potrebno teorijo-vaje)