**Prva auditorna vežba iz Upravljanja kvalitetom proizvoda 1**

**<u>JEDNOSTRUKA LINEARNA REGRESIJA I ANALITIČKI METOD</u>**

**(preporuke za izradu 1. i 2. samostalnog zadatka)**

**1. <u>Jednostruka linearna regresija</u>** (1. samostalni zadatak)

<u>Tekst:</u>

Istraživanjem međusobne zavisnosti između parametara kvaliteta konformnosti (tačnost obrade i habanje alata), na jednoj NUMA, došlo se do sledećih zavisnosti (tabela 1):

**TABELA 1**

| x [μm] | 26 | | | 29 | | | 33 | | | 39 | | | 43 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| y [μm] | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 21 |

Potrebno je:
(a) odrediti i nacrtati krivu regresije;
(b) proveriti adekvatnost jednačine regresije;
(c) odrediti interval poverenja u tački x = 43, za $P_{gs}$ = 95%.

<u>Rad:</u>

(a) <u>Određivanje i crtanje krive regresije</u>

Potrebno je prvo izračunati koeficijent korelacije, da bi se odredilo o kakvoj se regresiji radi. Za taj proračun, kao i za kasnija izračunavanja, formiramo pomoćnu tabelu (tabela 2, na narednoj strani).

Ukupan broj uzoraka iznosi:

$$n = \Sigma(1) = \Sigma(\mathrm{I}) = 15 .$$

Broj različitih vrednosti karakteristike **x** iznosi: m = 5.

Aritmetičke sredine karakteristika **x** i **y** su:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} f_j x_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m} f_i x_i = \frac{\Sigma(2)}{\Sigma(1)} = 34\ \mu\mathrm{m} \qquad \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} f_j y_j = \frac{\Sigma(\mathrm{II})}{\Sigma(\mathrm{I})} = 12.4\ \mu\mathrm{m}$$

Standardne devijacije (varijanse, disperzije):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\left(\sum_{i=1}^{m} x_i^2\right) - n\bar{x}^2\right)} = \sqrt{\frac{\Sigma(3)}{\Sigma(1)} - \bar{x}^2} = 6.26099\ \mu\mathrm{m}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_j - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\left(\sum_{j=1}^{n} y_j^2\right) - n\bar{y}^2\right)} = \sqrt{\frac{\Sigma(\mathrm{III})}{\Sigma(\mathrm{I})} - \bar{y}^2} = 5.30157\ \mu\mathrm{m}$$

Kovarijacija slučajnih tačaka:

$$C_{xy} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{ij}(x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y}) = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{ij}x_i y_j - n\cdot\bar{x}\cdot\bar{y}\right) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}\left(x_i\sum_{j=1}^{n} f_{ij}y_j\right) - \bar{x}\cdot\bar{y} = \frac{\Sigma(5)}{\Sigma(1)} - \bar{x}\cdot\bar{y} = 32.6\ \mu\mathrm{m}^2$$

Koeficijent korelacije:

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = 0.98213$$

Pošto je **0.95 ≤ 0.98213 = $r_{xy}$ ≤ 1** sledi da postoji praktično funkcionalna zavisnost između x i y i to ***linearna***.

**TABELA 2**

| KORELACIONA TABLICA | | $x_i$ i=(1, ... , m) 26 | 29 | 33 | 39 | 43 | $f_j$ ( I ) | $f_j \cdot y_j$ ( II ) | $f_j \cdot y_j^2$ ( III ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $y_j$ j=(1, ... , n) | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 16 |
| | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 25 |
| | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 36 |
| | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 64 |
| | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 81 |
| | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 100 |
| | 11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 11 | 121 |
| | 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 12 | 144 |
| | 13 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 13 | 169 |
| | 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 15 | 225 |
| | 16 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 16 | 256 |
| | 17 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 17 | 289 |
| | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 19 | 361 |
| | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 20 | 400 |
| | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 21 | 441 |
| fi | (1) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | Σ(1)= Σ(I)=15 | Σ(II)=186 | Σ(III)=2728 |
| $f_i x_i$ | (2) | 78 | 87 | 99 | 117 | 129 | Σ(2)=510 | | |
| $f_i x_i^2$ | (3) | 2028 | 2523 | 3267 | 4563 | 5547 | Σ(3)=17928 | | |
| $\sum_{j=1}^{n} f_{ij} y_j$ | (4) | 15 | 27 | 36 | 48 | 60 | Σ(4)=186 | | |
| $y_{ij} = x_i \sum_{j=1}^{n} f_{ij} y_j$ | (5) | 390 | 783 | 1188 | 1872 | 2580 | Σ(5)=6813 | | |
| $\bar{y}_i$ | (6) | 5 | 9 | 12 | 16 | 20 | | | |
| (videti izraz ispod tablice) | (7) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | Σ(7)=10 | | |
| $f_i - 1$ | (8) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | Σ(8)=10 | | |
| $s_{1i}^2$ | (9) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| $\hat{y}_i$ | (10) | 5.747 | 8.242 | 11.568 | 16.558 | 19.885 | | | |
| $(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$ | (11) | 0.558 | 0.575 | 0.186 | 0.312 | 0.013 | Σ(11)=1.6439 | | |
| $f_i(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$ | (12) | 1.674 | 1.724 | 0.559 | 0.935 | 0.040 | Σ(12)=4.9316 | | |
| $f_i(x_i - \bar{x})^2$ | (13) | 192 | 75 | 3 | 75 | 243 | | | |

$$\boxed{\sum_{j=1}^{f_i}\left(y_{ij} - \bar{y}_i\right)^2 = \left(f_i - 1\right)\cdot s_{1i}^2}$$

Potrebno je proveriti <u>signifikantnost</u> dobijenog koeficijenta regresije. Najpre određujemo računsku vrednost parametra t (**$t_r$**), prema sledećem obrascu:

$$t_r = |r_{xy}|\sqrt{\frac{n-2}{1-r_{xy}^2}} = 18.8165$$

Za **$P_{gs}$ = 0.95** i broj stepeni slobode **k = n – 2 = 15 – 2 = 13**, prema tab.IV, UKP M2 (koristimo tablice za Studentovu raspodelu, jer je n < 30), dobijamo teorijsku vrednost parametra t (**$t_t$**):

$$t_t = 2.16.$$

Upoređujemo računsku i teorijsku vrednost parametra t. Pošto je:

$$t_r = 18.8165 > t_t = 2.16$$

sledi da je **$r_{xy}$** <u>signifikantan</u>, tj. između odnosnih karakteristika postoji određena korelacija.

Opšti oblik krive regresije glasi:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x$$

pri čemu koeficijente $\mathbf{a_0}$ i $\mathbf{a_1}$ izračunavamo prema:

$$a_1 = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0.83163$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} = -15.8755$$

Tako dobijamo jednačinu regresije:

$$\hat{y} = -15.8755 + 0.83163 \cdot x$$

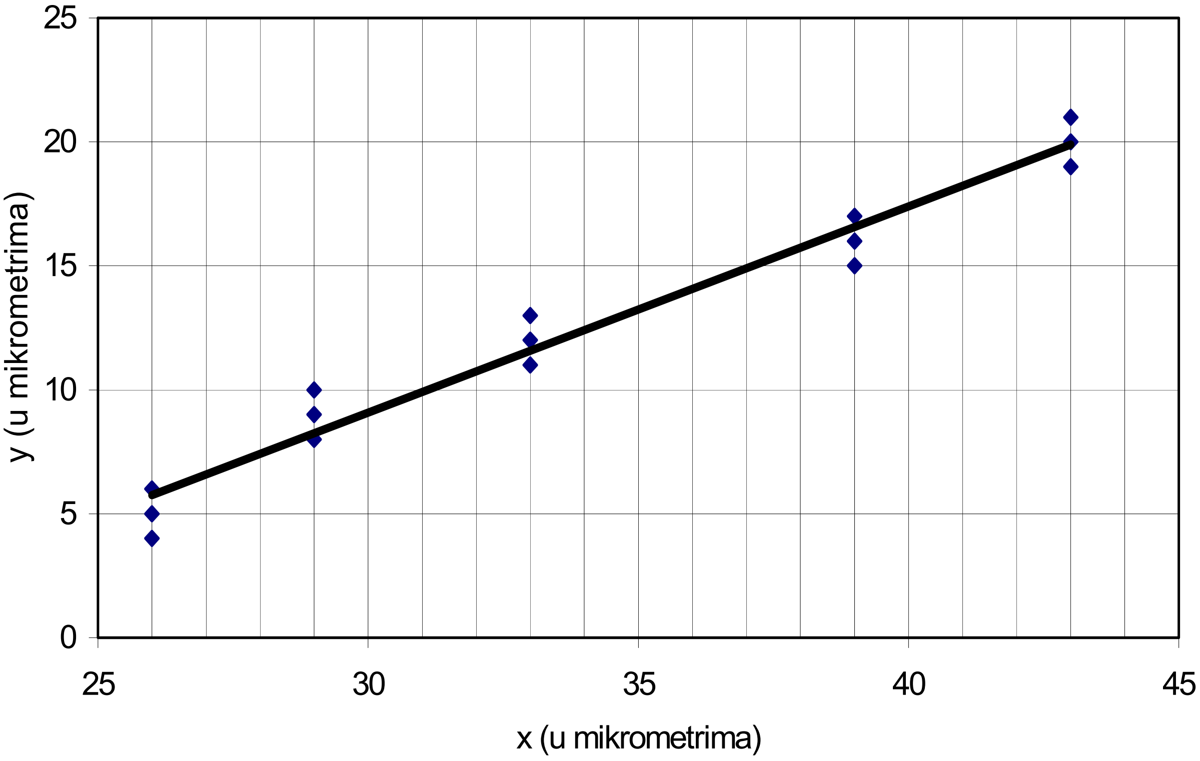
Vrednosti regresione funkcije u karakterističnim tačkama su izračunate i date u tabeli 3.

**TABELA 3**

| x [μm] | 26 | 29 | 33 | 39 | 43 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\hat{y}$ [μm] | 5.7470 | 8.2418 | 11.5684 | 16.5582 | 19.8847 |

Dijagram prave regresije prikazan je slikom 1.

Slika 1: Prava regresije



(b) Provera adekvatnosti jednačine regresije

Adekvatnost jednačine regresije proveravamo pomoću Fišerovog testa. Najpre izračunavamo računski Fišerov parametar (**$F_r$**), prema sledećem obrascu:

$$F_r = \frac{s_2^2}{s_1^2}$$

gde se nepoznate disperzije $s_2^2$ i $s_2^2$ računaju prema obrascima:

$$s_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m}(f_i - 1)\cdot s_{1i}^2}{\sum_{i=1}^{m}(f_i - 1)} = \frac{\Sigma(7)}{\Sigma(8)} = \frac{1}{1} = 1 \qquad s_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m} f_i(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{m-2} = \frac{\Sigma(12)}{m-2} = 1.6439$$

pri čemu su:

$$s_{1i}^2 = \frac{1}{f_i - 1}\sum_{j=1}^{f_i}(y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

$$S_{11}^2 = \frac{(4-5)^2 + (5-5)^2 + (6-5)^2}{3-1} = 1$$

$$S_{12}^2 = \frac{(8-9)^2 + (9-9)^2 + (10-9)^2}{3-1} = 1$$

$$S_{13}^2 = \frac{(11-12)^2 + (12-12)^2 + (13-12)^2}{3-1} = 1$$

$$S_{14}^2 = \frac{(15-16)^2 + (16-16)^2 + (17-16)^2}{3-1} = 1$$

$$S_{15}^2 = \frac{(19-20)^2 + (20-20)^2 + (21-20)^2}{3-1} = 1$$

Disperzija $s_1^2$ predstavlja ocenu nepoznate disperzije $\sigma_y^2$ rasporeda osnovnog skupa slučajnih veličina $y_j$. Ova disperzija je u vezi sa greškama postavke eksperimenta, ili greškama merenja – dakle sa greškama identifikacije parova karakteristika x i y.

Disperzija $s_2^2$ predstavlja ocenu nepoznate disperzije $\sigma_{\bar{y}}^2$ empirijskog niza $\bar{y}_i(i = 1,...,m)$ u odnosu na odgovarajuće regresione (modelske) vrednosti.

Tako dobijamo računsku vrednost Fišerovog parametra:

$$F_r = \frac{s_2^2}{s_1^2} = 1.6439$$

Teorijsku vrednost Fišerovog parametra (**$F_t$**) nalazimo na osnovu tab.X, UKP M2, za stepene slobode:

$$k_1 = m - 2 = 3 \text{ i } k_2 = \sum_{i=1}^{k} f_i - m = 15 - 5 = 10$$

kao i za zadatu vrednost praga značajnosti:

$$\alpha = 1 - P_{gs} = 1 - 0.95 = 0.05.$$

Tako dobijamo sledeću vrednost teorijskog Fišerovog parametra:

$$\mathbf{F_t = 3.71}.$$

Pošto je **$F_t$ > $F_r$** možemo zaključiti da se hipoteza o adekvatnosti linearne regresije prihvata.

(c) Određivanje intervala poverenja

Najpre ocenjujemo disperziju rasporeda osnovnog skupa u odnosu na respektivne vrednosti $\hat{y}_i$:

$$s_3^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m}(f_i - 1)\cdot s_{1i}^2 + \sum_{i=1}^{m}\left(\bar{y}_i - \hat{y}_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{m}(f_i - 1) + (m-2)} = \frac{\Sigma(7) - \Sigma(11)}{\Sigma(1) - m + m - 2} = \frac{10 - 1.6439}{13} = 0.64278\ .$$

Statističke granice tolerancije eksperimentalne veličine **y** se nalaze na sledećem rastojanju od regresione linije:

$$\Delta y = t_p \cdot \sigma_3\ .$$

Veličinu disperzije osnovnog skupa definišemo jednačinom: $\boldsymbol{\sigma_3 = \gamma \cdot s_3}$, a vrednost parametra $\gamma$ nalazimo prema jednačini:

$$\gamma = 1 + \frac{z_\alpha}{\sqrt{2\cdot n}} = 1 + \frac{1.96}{\sqrt{2\cdot 15}} = 1.35785$$

gde je $\mathbf{Z_\alpha = 1.96}$, prema tab.III, UKP M2, uz napomenu: $Z_\alpha$ = t iz pomenute tablice.

Vrednost parametra $\mathbf{t_p}$ određujemo na osnovu $P_{gs} = 2S(t_p,k) = 0.95$, prema tab.IV, UKP M2, za broj stepeni slobode: **k = 15 – 2 = 13**. Na osnovu tih podataka dobijamo:

$$t_p = 2.16$$

$$\Delta y = t_p \cdot \sigma_3 = t_p \cdot \gamma \cdot s_3 = 2.16 \cdot 1.35785 \cdot \sqrt{0.64278} = 2.35144\ .$$

Donja i gornja granica intervala poverenja za eksperimentalnu veličinu **y** određene su jednačinama:

$$DG_y = \hat{y} - \Delta y = -15.8755 + 0.8316x - 2.35144 = -18.2269 + 0.8316x$$

$$GG_y = \hat{y} + \Delta y = -15.8755 + 0.8316x + 2.35144 = -13.5240 + 0.8316x$$

Vrednosti granica intervala u tački x = 43 $\mu$m iznose:

$$DG_y = \hat{y}_{43} - \Delta y = 19.8847 - 2.3514 = 17.5333$$

$$GG_y = \hat{y}_{43} + \Delta y = 19.8847 + 2.3514 = 22.2361$$

odnosno, za x = 43 $\mu$m:

$$\mathbf{17.5333 < y_{43} < 22.2361.}$$

Granice intervala poverenja za regresionu karakteristiku $\hat{y}$ nalazimo prema:

$$GG_{\hat{y}} = \hat{y} + \Delta\hat{y} \qquad \Delta\hat{y} = \frac{t_p \cdot s}{\sqrt{n-2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{n^2\left(x - \bar{x}\right)^2}{n\sum_{i=1}^{m}\left(x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{m} x_i\right)^2}}$$

$$DG_{\hat{y}} = \hat{y} - \Delta\hat{y}$$

Prethodno je potrebno odrediti sledeću standardnu devijaciju, prema izrazu:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(y_{ij} - \hat{y}_i\right)^2}\ .$$

Kad se u taj izraz zamene konkretne vrednosti dobija se:

$$s=\sqrt{\frac{1}{15}\begin{bmatrix}(4-5.7469)^2+(5-5.7469)^2+(6-5.7469)^2\\+(8-8.2418)^2+(9-8.2418)^2+(10-8.2418)^2\\+(11-11.5684)^2+(12-11.5684)^2+(13-11.5684)^2\\+(15-16.5582)^2+(16-16.5582)^2+(17-16.5582)^2\\+(19-19.8847)^2+(20-19.8847)^2+(21-19.8847)^2\end{bmatrix}}=0.997719.$$

Ova vrednost disperzije omogućava da se izračuna vrednost širine intervala poverenja za regresionu karakteristiku $\hat{y}$, u okolini tačke **x = 43 μm**:

$$\Delta\hat{y}_{43}=\frac{2.16\cdot 0.997719}{\sqrt{15-2}}\cdot\sqrt{1+\frac{15^2(43-34)^2}{15\cdot\frac{\Sigma(3)}{3}-\left(\frac{\Sigma(2)}{3}\right)^2}}=0.6815,$$

pa odgovarajuće granice intervala iznose:

$$DG_{\hat{y}43}=\hat{y}_{43}-\Delta\hat{y}_{43}=19.8847-0.6815=19.2032$$

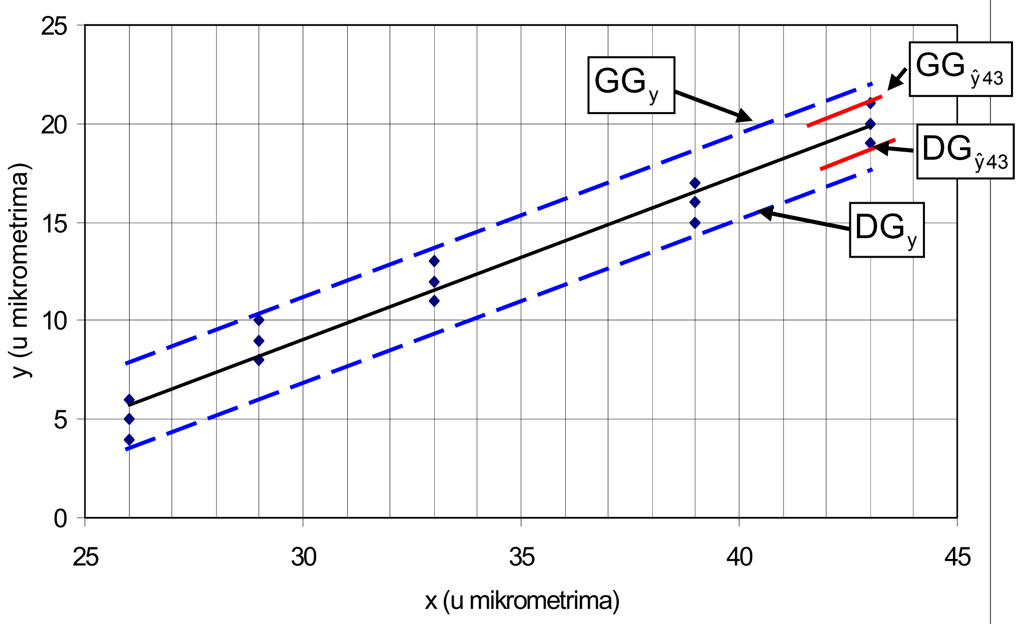
$$GG_{\hat{y}43}=\hat{y}_{43}+\Delta\hat{y}_{43}=19.8847+0.6815=20.5662$$

odnosno:

$$\mathbf{19.2032<\hat{y}_{43}<20.5662.}$$

Preostaje još samo da se na dijagramu regresione prave docrtaju dobijene granice intervala poverenja za eksperimentalnu (duž čitave regresione prave) i regresionu karakteristiku (samo u okolini tačke x = 43 μm).

Slika 2: Prava regresije sa ucrtanim intervalima poverenja



**2. <u>Analitički metod</u>** (2. samostalni zadatak)

**<u>DECEMBAR 2000, Gr1, Zad2</u>**

<u>Tekst:</u>

Na automatu se uzdužnim struganjem obrađuje otvor $x = \varnothing 25^{+0.06}_{-0.04}$ mm , dužine 60 mm, sa sledećim režimom: v = 60 m/min, s = 0.15 mm/o i a = 2 mm. Alat je regulisan na radnu meru $x_r$ = 25 mm. Ostali uslovi obrade su:

- Alat je regulisan metodom probnih komada sa $n_{PK}$ = 6, $\Delta_p$ = 0.015 mm i $\Delta_m$ = 0.01 mm;
- Slučajna greška: $\Delta_{sl}$ = 0.03 mm = const.;
- Otpor prodiranja: $F_2 = 300 \cdot a \cdot s^{0.6}$ [N];
- Krutost obradnog sistema u kritičnom preseku: $K_S = 3 \cdot 10^4$ N/mm;
- Temperaturna dilatacija noža: ΔL = 0.02 mm; i
- Zavisnost parametra habanja $B_L$ [mm] (širina pojasa habanja na leđnoj površini noža) od vremena rezanja t [min] data je obrascem: $B_L = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t^n$;
- Nož je izrađen od specijalnog materijala, čija postojanost iznosi više od 500 min; i
- Leđni ugao noža: $\alpha = 6^o 50$\`.

Potrebno je:

a) Skicirati krivu habanja alata ako je do prvog periodičnog regulisanja alata obrađeno ukupno 500 komada radnih predmeta;
b) Utvrditi novu vrednost $x_r$ pri kojoj se može obraditi maksimalna količina tačnih izradaka; i
c) Izračunati maksimalni broj komada iz prethodne tačke.

<u>Rad:</u>

**a) Ukupna greška obrade** se računa prema sledećem obrascu:

$$\Delta = \Delta_e + \Delta_h - \Delta_\theta + \sqrt{\Delta_{sl.}^2 + \Delta_p^2 + \Delta_m^2 + \Delta_n^2}\ .$$

**Greška usled elastičnih deformacija noža** se računa prema obrascu:

$$\Delta_e = \frac{2 \cdot F_2}{K_s} = \frac{2 \cdot C_2 a^{x_2} s^{y_2} k_{F_2}}{K_s} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0.15^{0.6}}{30000}\ ,$$

i iznosi:

$$\Delta_e = 0.0128 \text{ mm.}$$

**Greška usled toplotnih dilatacija noža** se računa prema obrascu:

$$\Delta_\theta = 2 \cdot \Delta l = 2 \cdot 0.02\ ,$$

i iznosi:

$$\Delta_\theta = 0.04 \text{ mm.}$$

**Greške postavljanja alata, metoda merenja i slučajna greška** su zadate, i iznose, sukcesivno:

$$\Delta_p = 0.015 \text{ mm},\ \Delta_m = 0.01 \text{mm},\ \Delta_{sl.} = 0.03 \text{ mm.}$$

**Greška metoda probnih komada** se računa prema obrascu:

$$\Delta_n = \frac{\Delta_{sl.}}{\sqrt{n_{PK}}} = \frac{0.03}{\sqrt{6}}\ ,$$

i iznosi:

$$\Delta_n = 0.01225 \text{ mm.}$$

**Ukupna slučajna greška** se računa prema obrascu:

$$\Delta_{II} = \sqrt{\Delta_{sl.}^2 + \Delta_p^2 + \Delta_m^2 + \Delta_n^2} = \sqrt{0.03^2 + 0.015^2 + 0.01^2 + 0.01225^2}\ ,$$

i iznosi:

$$\Delta_{II} = 0.0371\,\text{mm}.$$

Proveravamo sledeći uslov:

$$\Delta_\theta = 0.04 < \Delta_e + \Delta_{II} = 0.0128 + 0.0371 = 0.0499\,[\text{mm}].$$

Pošto vidimo da je pomenuti uslov ispunjen, a radi se o prostrugivanju, zaključujemo:

$$\Delta \le x_r - x_d\ ,$$

odnosno:

$$\Delta \le 25 - (25 - 0.04) \Rightarrow \Delta \le 0.04\ \text{mm}.$$

Kada se ovaj zaključak primeni na obrazac za izračunavanje ukupne greške obrade, dobija se vrednost **greške usled habanja noža**:

$$0.04 = 0.0128 + \Delta_h - 0.04 + 0.0371$$

koja iznosi:

$$\Delta_h = 0.0301\,\text{mm}.$$

Sada imamo sve podatke za izračunavanje **širine pojasa habanja na leđnoj površini noža**, preko obrasca:

$$B_L = \frac{B_r}{\text{tg}\alpha} = \frac{\frac{\Delta_h}{2}}{\text{tg}\alpha} = \frac{\frac{0.0301}{2}}{\text{tg}6°50`} = 0.1260\ \text{mm}.$$

**Vreme rezanja** određujemo prema sledećem obrascu:

$$t = \frac{D_{max} \cdot \pi \cdot l \cdot N}{s \cdot v} = \frac{25 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 500}{60 \cdot 1000 \cdot 0.15}\ ,$$

i ono iznosi:

$$t = 261.799\ \ \text{min}.$$

U izrazu koji daje vezu između $B_L$ i t nepoznat je koeficijent n, koji dobijamo sledećim transformacijama:

$$B_L = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t^n \Rightarrow \log B_L = n \cdot \log t + \log 4 - 5 \Rightarrow$$

$$n = \frac{\log 0.1260 - \log 4 + 5}{\log 261.8}\ ,$$

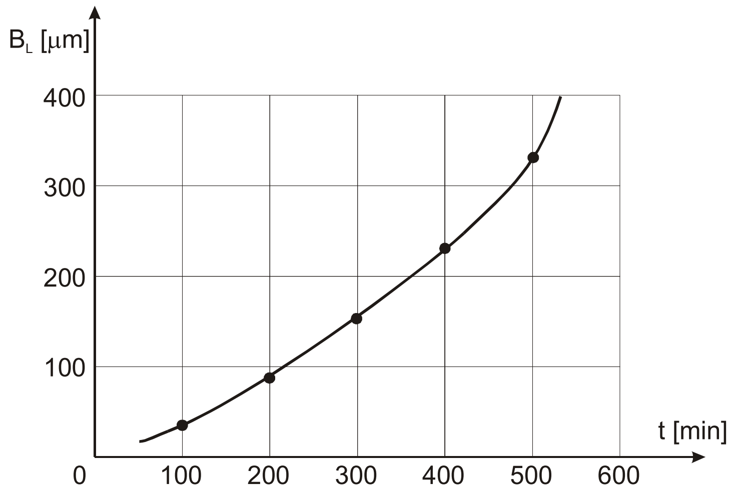
i koji iznosi:

$$n = 1.447\ .$$

Time jednačina habanja alata dobija konačan oblik:

$$B_L = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t^{1.447}\ ,$$

što se grafički može predstaviti kao na slici 3.




Slika 3: Grafički prikaz krive habanja noža.

**b) Nova radna mera** pri kojoj će biti napravljen maksimalan broj tačnih izradaka jednaka je gornjoj graničnoj meri i iznosi:

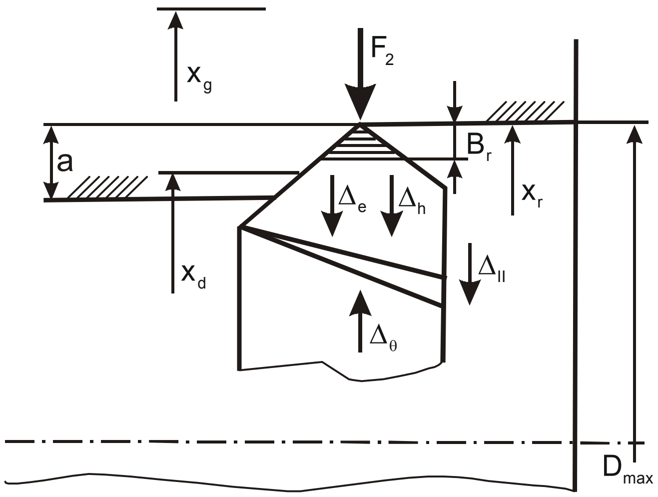
$$x_r^{nova} = x_g = 25.06\,\text{mm}.$$

Do ovog zaključka se može doći zato što je ispunjen uslov:

$$\Delta_\theta < \Delta_e + \Delta_{II}\,,$$

što znači da će se, tokom vremena, usled habanja noža, mera koja će se ostvarivati na radnom komadu pomerati od gornje ka donjoj graničnoj meri (pogledati sliku 4).

Slika 4: Greška obrade kod unutrašnjeg uzdužnog struganja.




**c)** Uslov za maksimalni broj komada ($N_{mac}$) iznosi:

$$\Delta_e + \Delta_{II} + \Delta_{h_{MAX}} - \Delta_\theta \le T \Rightarrow$$

$$0.0128 + 0.0371 + \Delta_{h_{MAX}} - 0.04 \le 0.1.$$

Tako dobijamo **grešku habanja koja odgovara maksimalnom broju izradaka**:

$$\Delta_{h_{MAX}} = 0.0901\,\text{mm}.$$

**Parametar leđnog habanja koji odgovara maksimalnom broju izradaka** iznosi:

$$B_{L_{MAX}} = \frac{B_{r_{MAX}}}{tg\alpha} = \frac{\Delta_{h_{MAX}}}{2 \cdot tg\alpha} = 0.3764\ \text{mm}.$$

Zatim određujemo **vreme rezanja** do prvog periodičnog regulisanja alata, koje odgovara maksimalnom broju komada:

$$t_{max} = \left(\frac{B_{L_{MAX}}}{4 \cdot 10^{-5}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{0.3764}{4 \cdot 10^{-5}}\right)^{\frac{1}{1.447}} = 557.3\ \text{min},$$

što odgovara napomeni iz teksta zadatka da se radi o veoma postojanom alatu.

Najzad, dobijamo **maksimalni broj komada**, iz jednačine:

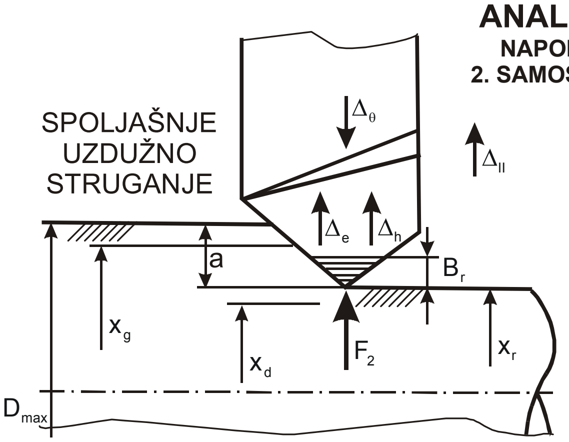
$$N_{max} = \frac{t_{max} \cdot v \cdot s}{D_{max} \cdot \pi \cdot l} = \frac{557.3 \cdot 60000 \cdot 0.15}{25 \cdot \pi \cdot 60} = 1064.36\ \text{komada}.$$

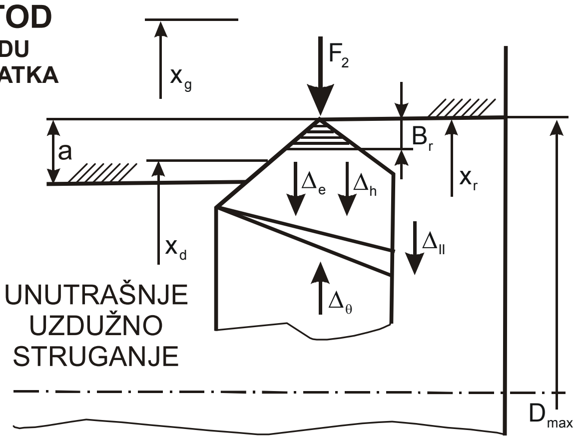
Maksimalni broj komada uvek zaokružujemo na prvi manji ceo broj, pa napokon dobijamo:

$$N_{max} = 1064\ \text{komada}.$$

# ANALITIČKI METOD

## NAPOMENE ZA IZRADU 2. SAMOSTALNOG ZADATKA




**OSNOVNI OBRAZAC**

$$\underbrace{\Delta}_{\text{UKUPNA GREŠKA}} = \underbrace{\Delta_e + \Delta_h - \Delta_\theta}_{\Delta_I\ \text{SISTEMATSKE GREŠKE}} + \underbrace{\sqrt{\Delta_{sl.}^2 + \Delta_p^2 + \Delta_m^2 + \Delta_n^2}}_{\Delta_{II}\ \text{SLUČAJNE GREŠKE}}$$

$\boxed{\Delta_e = \dfrac{2F_2}{K_s}}$ GREŠKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ELEMENATA OBRADNOG SISTEMA

$K_s \leftarrow$ krutost obradnog sistema u, sa stanovišta tačnosti obrade, kritičnom preseku

$F_2 = C_2 a^{x_2} s^{y_2} k_{F_2} \leftarrow$ otpor prodiranju noža

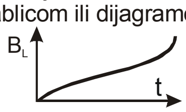
$\boxed{\Delta_h = 2 \cdot B_r}$ GREŠKA USLED HABANJA ALATA

Parametar habanja $B_r$ se može izraziti na više načina:

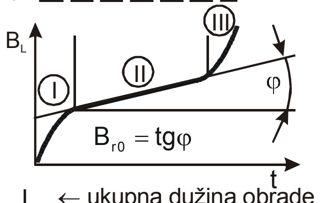
1. $\boxed{B_r = B_L \cdot tg\alpha}$

$B_L = f(t) \leftarrow$ Ova je zavisnost data jednačinom, tablicom ili dijagramom

| $B_L$ | | | |
|---|---|---|---|
| t | | | |




2. $\boxed{B_r = B_{rp} + B_{r0} \cdot L_{uk}}$




$L_{uk} \leftarrow$ ukupna dužina obrade do prvog regulisanja alata

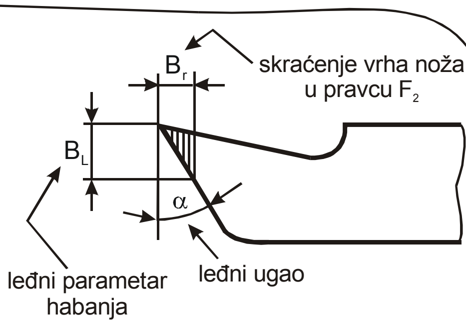
3. $\boxed{B_r = A \cdot t_{rez.}^k}$ A,k $\leftarrow$ koeficijenti

$t_{rez.} \leftarrow$ ukupno vreme rezanja

4.

| $B_r$ | | | |
|---|---|---|---|
| t | | | |

$\boxed{B_r = B_r(t)}$ Tablicom je zadata direktna zavisnost parametra habanja $B_r$ od vremena. Skicira se dijagram. Ako je tačka na linearnom delu krive, nepoznata koordinata se određuje linearnom interpolacijom.




Nepoznata u izrazima 1. do 4. ($B_r$ ili t) se određuje uvođenjem u sistem još jedne jednačine:

$$\boxed{L_{uk} = v \cdot t = \frac{D_{max} \cdot \pi \cdot l \cdot N}{s}}$$

N $\leftarrow$ broj komada do prvog regulisanja alata. Ako je ova veličina bila nepoznata zaokružuje se na prvi manji ceo broj!

$D_{max} = d + 2a \leftarrow$ spoljašnja obrada

$D_{max} = D \leftarrow$ unutrašnja obrada

GREŠKA USLED TOPLOTNIH DEFORMACIJA NOŽA

$\boxed{\Delta_\theta = 2 \cdot \Delta l}$

$\Delta l \leftarrow$ temperaturska dilatacija noža najčešće zadata

$\boxed{\Delta_{sl.} = 6 \cdot \dfrac{\overline{R}}{d_2}}$ SLUČAJNA GREŠKA

$\overline{R} \leftarrow$ aritmetička sredina raspona uzoraka; najčešće je zadata.

$d_2 \leftarrow$ parametar, određuje se pomoću tab.6, str.242, UKP metode II, za odgovarajući obim uzorka ($n_{uz}$).

$\boxed{\Delta_n = \dfrac{\Delta_{sl.}}{\sqrt{n_{PK}}}}$ GREŠKA METODE PROBNIH KOMADA

$n_{PK} \leftarrow$ broj probnih komada. Ako je ova veličina bila nepoznata, a dobije se rešenje manje od 5, mora se usvojiti: $n_{PK} \in (5...10)$.

$\Delta_p$ (GREŠKA POSTAVLJANJA ALATA) i $\Delta_m$ (GREŠKA METODA MERENJA) su zadate tekstom zadatka, ili se na osnovu zadatog mernog pribora određuju iz tab.6.3. (str.167) i tab.6.4 (str.168), UKP metode I.

Ako se u drugom delu zadatka traži maksimalan broj komada $N_{max}$, proveravamo uslov $\Delta_\theta < \Delta_e + \Delta_{II}$ (ukoliko ga već nismo proverili u prvom delu zadatka) i, ako je on ispunjen, tada maksimalni broj komada nalazimo iz jednačine: $\Delta$ = T.

**SA ČIME UPOREĐUJEMO UKUPNU GREŠKU?** RAZLIKUJEMO 4 SLUČAJA:

**(1)** Ako je dato $\Delta l$, a nije zadata radna mera $x_r$: $\mapsto \boxed{\Delta \le \dfrac{T}{2}}$

**(2)** Ako je $\Delta l$ = 0 i nije zadata radna mera $x_r$: $\mapsto \boxed{\Delta < T}$

**(3)** Ako je zadata radna mera i važi uslov: $\Delta_\theta < \Delta_e + \Delta_{II} \mapsto$ $\boxed{\Delta \le x_g - x_r}$ SP.STR. $\boxed{\Delta \le x_r - x_d}$ UN.STR.

**(4)** Ako je zadata radna mera i važi uslov: $\Delta_\theta > \Delta_e + \Delta_{II} \mapsto$ $\boxed{\Delta \le x_r - x_d}$ SP.STR. $\boxed{\Delta \le x_g - x_r}$ UN.STR.

*Ovaj slučaj nije realan, ne javlja se u praksi.*