

# Nepārtrauktas vides fizikas laboratorija

Darbs nr. 2

*Materiālu sabrukšana*

## Darba mērķi

1. Iepazīties ar galvenajiem plaisu mehānikas pamatjēdzieniem un to eksperimentālās noteikšanas metodēm.
2. Noteikt organiskā stikla kritisko sprieguma intensitātes koeficientu

## Darba uzdevumi

- Noteikt organiskā stikla kritisko sprieguma intensitātes koeficientu, izmantojot materiālu slogošanas mašīnu Zwick/Roell BDO-FB005TN.

## Teorijas apskats

Eksperimentāli var noteikt parauga potenciālo enerģiju  $W$  kā funkciju no plaisas garuma  $l$ . Ja slodze  $P$  tiek pielikta kādā parauga punktā, tad, nomērot punkta pārvietojumu  $u$  spēka virzienā, var noteikt parauga potenciālo enerģiju

$$W = -\frac{u * P}{2}$$

Palielinot plaisu  $l + dl$  enerģija izmainās

$$W + dW = -\frac{(P - dP) * (u + du)}{2} = \frac{1}{2}(-P * u - P * du + dP * u + dP * du)$$

Tāpēc enerģijas izmaiņa  $dW = \frac{1}{2}(dP * du + dP * u - P * du)$

Otrās kārtas bezgalīgi mazo lielumu atmet un iegūst.

$$dW = \frac{1}{2}(dP * u - P * du) \rightarrow \frac{dW}{dl} = \frac{1}{2}\left(\frac{dP}{dl} * u - P * \frac{du}{dl}\right)$$

Ievieš apzīmējumu  $c$ , kas ir materiāla kompliance jeb padēvīgums.

$$c = \frac{u}{P}$$

Izmantojot to, var pārveidot  $\frac{dW}{dl}$  izteiksmi

$$\begin{aligned}\frac{dc}{dl} &= \frac{d}{dl}\left(\frac{u}{P}\right) = \frac{\frac{dU}{dl}P - \frac{dP}{dl}u}{P^2} \\ \frac{dW}{dl} &= -\frac{1}{2}P^2 \frac{dc}{dl}\end{aligned}$$

Ievieš enerģijas atbrīvošanās ātrumu  $G$

$$G = -\frac{1}{2b}P^2 \frac{dc}{dl}$$

Izmantojot kritisko enerģijas atbrīvošanās ātrumu, kurš ir pie plaisas garuma pie kura materiāls saplīst var atrast kritisko spriegumu intensitātes koeficientu.

$$K_c = \sqrt{\frac{EG_c}{\beta}}$$

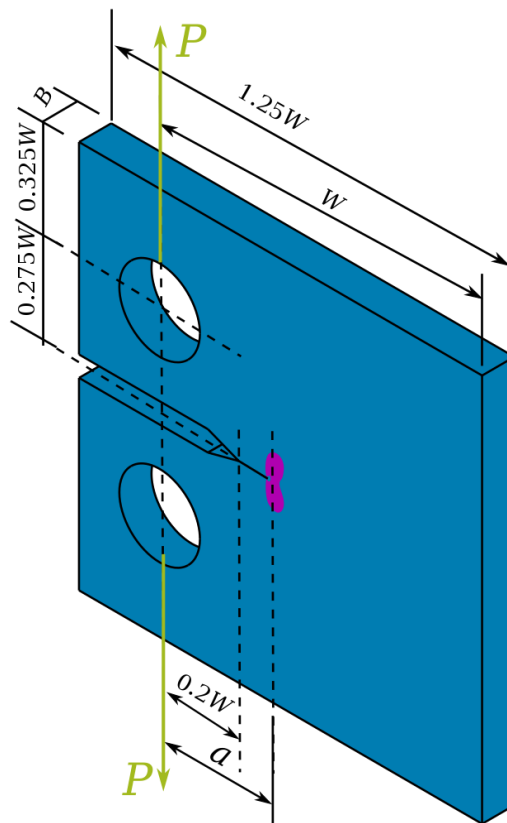
Darbā tiek izmantots kompaktais stiepes paraugs tāpēc var arī noteikt kompakta stiepes parauga spriegumu intensitātes koeficientu pēc tā ģeometrijas.

*Srawley* formula kompakta stiepes parauga spriegumu intensitātes koeficienta aprēķinam

$$K_I = \frac{P_c}{b\sqrt{z}} \frac{\left(2 + \frac{a}{z}\right) \left[0.886 + 4.64 \left(\frac{a}{z}\right) - 13.32 \left(\frac{a}{z}\right)^2 + 14.72 \left(\frac{a}{z}\right)^3 - 5.6 \left(\frac{a}{z}\right)^4\right]}{\left(1 - \frac{a}{z}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Formulas ierobežojumi ir

$$0.2 \leq \frac{a}{z} \leq 1$$



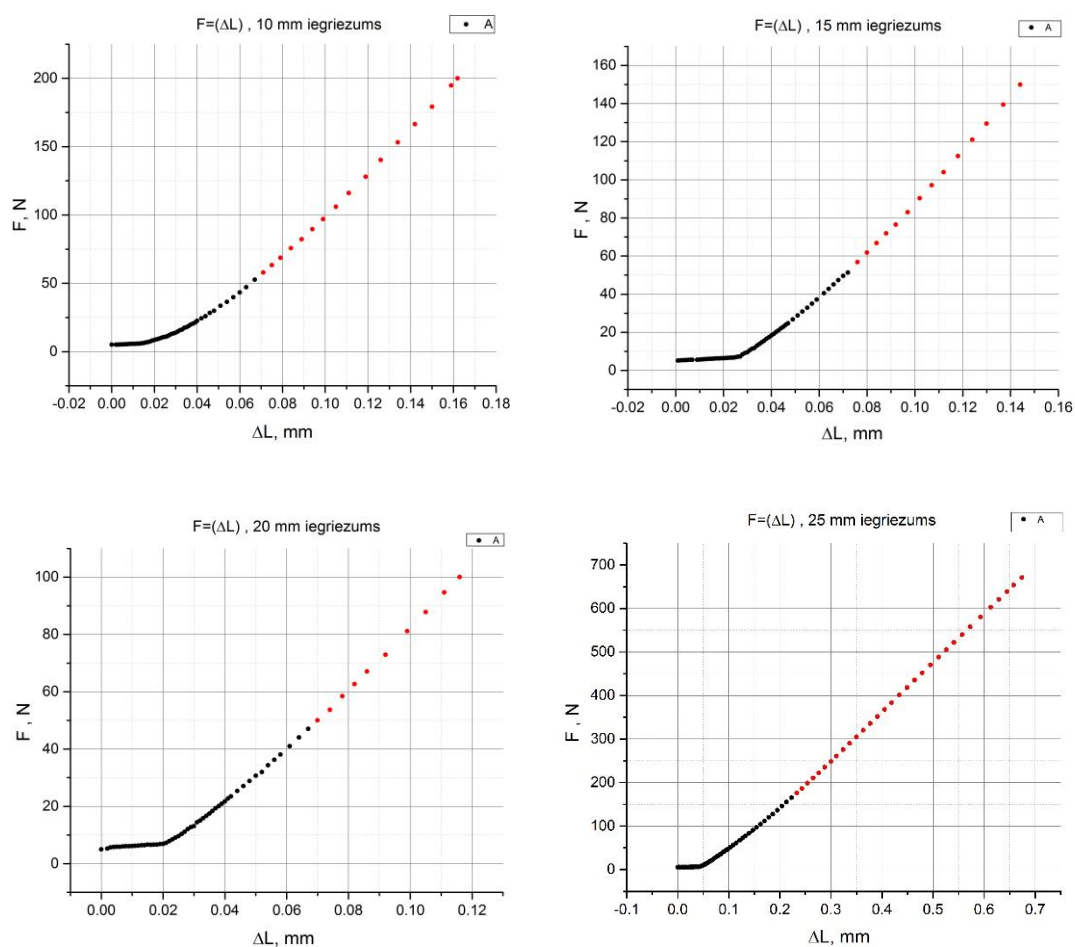
Attēls 2 Kompaktais stiepes paraugs

## Darba dati un to apstrāde

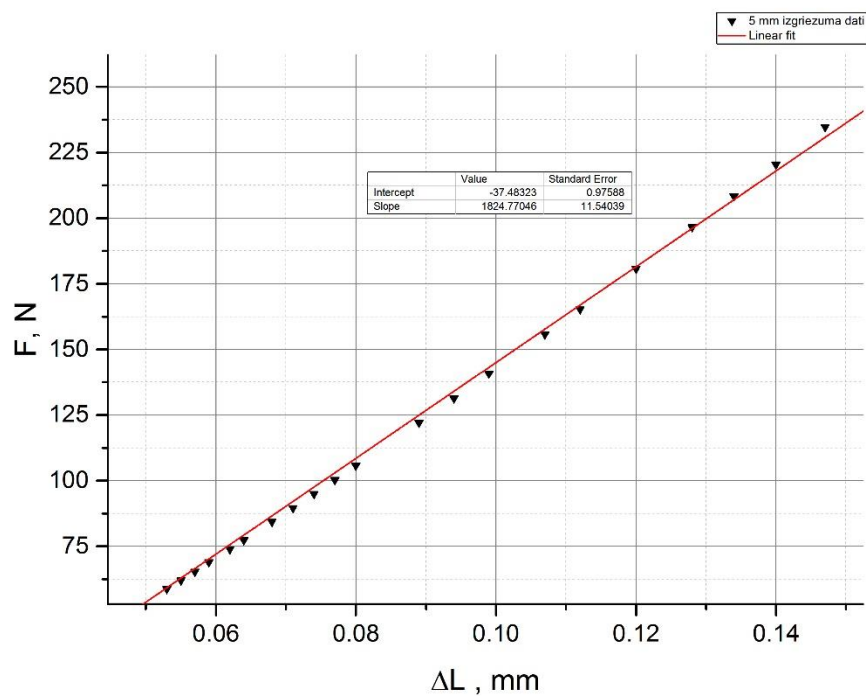
Tabula 1 Plaksnes mērījumi

Nr. P. K.	b, biezums (mm)	z, platums (mm)	$\Delta b^2$ , mm <sup>2</sup>	$\Delta z^2$ , mm <sup>3</sup>	$\epsilon_b$ , mm	$\epsilon_z$ , mm
1	5,66	65,08	4,00E-04	1,16E-02	0,03	0,14
2	5,63	65,17	1,00E-04	3,06E-04		
3	5,62	65,29	4,00E-04	1,05E-02		
4	5,65	65,21	1,00E-04	5,06E-04		
Vidējais	5,64	65,19				
Summa			1,00E-03	2,29E-02		

Darbā materiāla slogošana tika veikta izmantojot materiālu slogošanas mašīnu Zwick/Roell BDO-FB005TN un mašīnas dati tika filmēti ar kameru.



Attēls 1 No slogošanas iegūtie dati pie attiecīgajiem iegriezumiem.  
Sarkanie punkti tika izmantoti lineārai regresijai

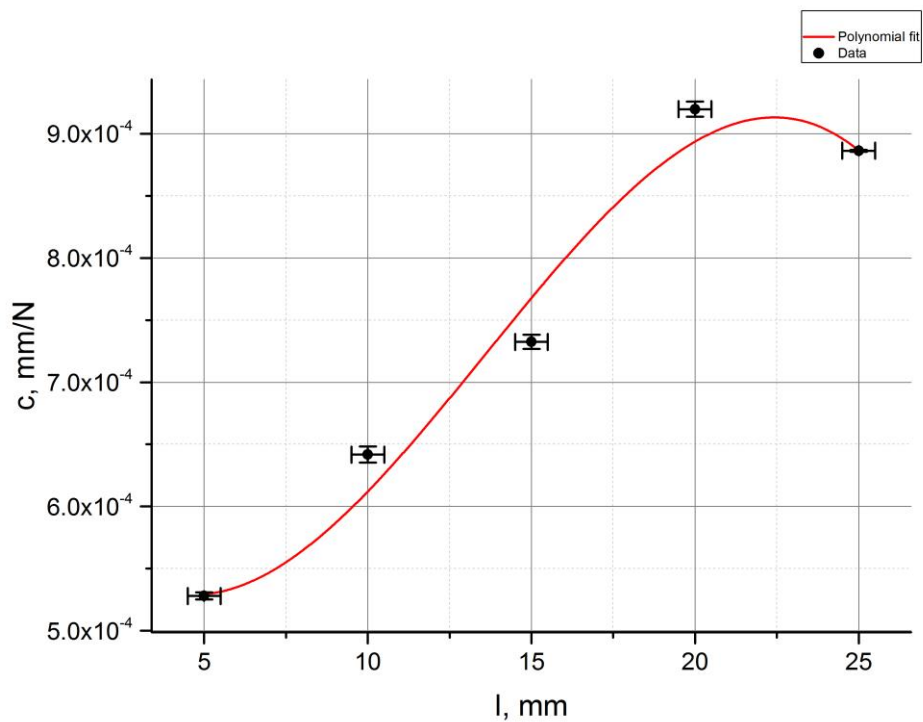


Grafiks 1 Piemērs lineārai regresijai, dati ir ņemti pie 5 mm iegriezuma.

Tabula 2 Lineārās regresijas rezultātu kopsavilkums

$l, \text{ mm}$	$k, \frac{\text{N}}{\text{mm}}$	Standartnovirze	$c, \frac{\text{mm}}{\text{N}}$	Standartnovirze
5	1893.56	9.92	5.28096E-4	1.47E-10
10	1558.28	15.72	6.41733E-4	2.64E-10
15	1365.04	10.70	7.32581E-4	3.93E-10
20	1087.29	7.17	9.19719E-4	7.78E-10
25	1128.34	1.03	8.86255E-4	6.96E-10

Iegūtās kompiānces vērtības no 2. tabulas tika izmantotas tālāk, lai noteiktu kompiānces atkarību no iegriezuma.



Grafiks 2 Eksperimenta dati (skat. 2. tabulu) aproksimēti ar 3. kārtas polinomu

Tabula 3 Trešās kārtas polinoma aproksimācijas rezultāti

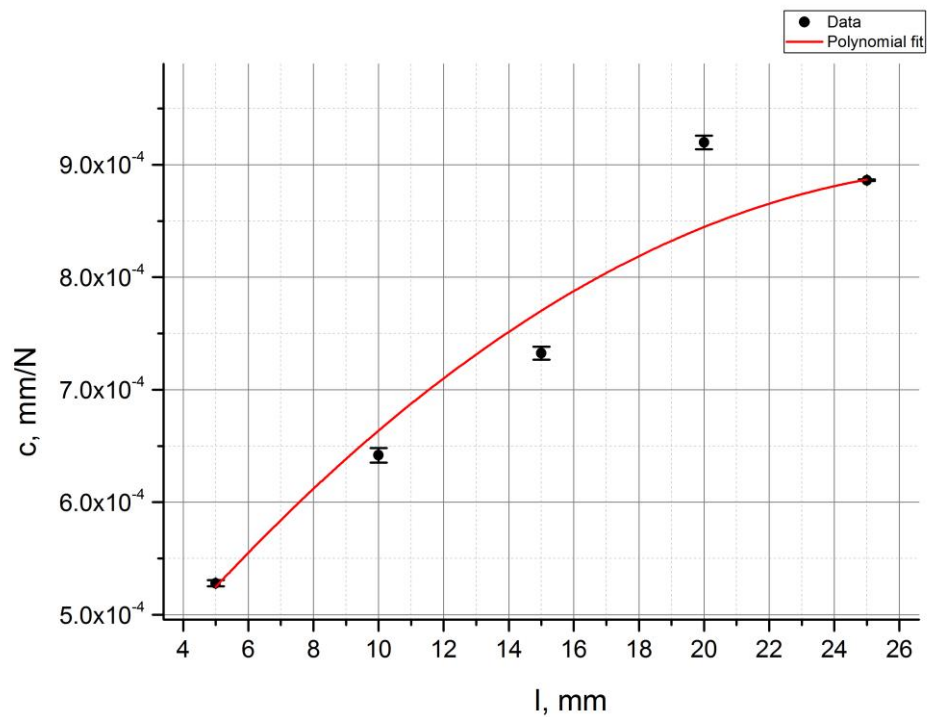
$y = B_0 + B_1 \cdot x^1 + B_2 \cdot x^2 + B_3 \cdot x^3$		
Koeficients	Vērtība	Standartnovirze
B0	6.23E-04	2.17E-04
B1	-4.33E-05	6.30E-05
B2	5.59E-06	4.79E-06
B3	-1.38E-07	1.05E-07

$$G_c = -\frac{P_c^2}{2b} \frac{dc}{dl} = -\frac{P_c^2}{2b} (B_1 + 2 \cdot B_2 l_0 + 3 \cdot B_3 l_0^2) \approx 864.293 \left( \frac{N}{m} \right)$$

Kļūda tiek noteikta ar parciālkļūdu metodi.  $\Delta G_c = 12653.751$

Junga modulis tiek ņemts  $E = 2.5 \text{ (GPa)}$  (no darba apraksta att. 24) un  $\beta = 1$ , jo plaisa tiek atvērta.

$$K_c = \sqrt{\frac{E G_c}{\beta}} = 1.47 \cdot 10^6 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}}\text{)}$$



Grafiks 3 Eksperimenta dati (skat. 2. tabulu) aproksimēti ar 2. kārtas polinomu

Tabula 4 Trešās kārtas polinoma aproksimācijas rezultāti

$y = B0 + B1*x^1 + B2*x^2$		
Koeficients	Vērtība	Standartnovirze
B0	3.53E-04	7.62E-05
B1	3.75E-05	1.41E-05
B2	-6.45E-07	4.53E-07

$$G_c = 208.195, \quad \Delta G_c = 1014.111$$

$$K_c = \sqrt{\frac{EG_c}{\beta}} = 0.72 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}}\text{)}$$

Var arī izmantot *Srawley* formula, lai iegūtu spriegumu intensitātes koeficientu. Tiek izmantots  $a = 1.3 \text{ (cm)}$ ,  $z = 6.5 \text{ (cm)}$ . No tā sanāk  $\frac{a}{z} = 0.2$ , kas atbilst formulas derīgajam diapazonam.

$$K_I = 1.88 \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}}\text{)}$$

Tāpēc, ka plaisa tiek atvērta var pieņemt, ka  $K_C = K_I$

## Rezultāti

Ar 2. kārtas polinomu :

$$K_c = 0.72 \pm 1.76 \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}, \quad r = 244\%$$

Ar 3. kārtas polinomu :

$$K_c = 1.47 \pm 10.08 \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}, \quad r = 685\%$$

*Srawley* formula :

$$K_I = 1.97 \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}$$

## Secinājumi

Oriģināli tika veikta lineārā regresija un 2. kārtas polinoma un 3. kārtas polinoma regresija, F vērtības un p vērtības tika salīdzinātas. P vērtības tika salīdzinātas pret 0.05, lineārai regresijai tā sanāca 0.00166 tādēļ tā tika atmesta. F vērtība bija mazāka 3. kārtas polinomam tāpēc tas vislabāk apraksta iegūtos datus. Nepieciešami vairāk mērījumi, lai pārlicinātos vai sakārība ir 2. kārtas polinoms vai 3. kārtas polinoms, jo kļūdas izmantojot polinoma aproksimācijas ir lielas. Pie 20 (mm) iegriezuma ir lēcens, kas liek domāt, ka ir jāizmanto trešās kārtas polinoms, lai pārlicinātos, ka tā ir rupja kļūda vajadzīgi mērījumi pie vairāk iegriezumiem.

Akrila stiklam Junga modulis ir ļoti atšķirīgs (Junga modulis akrila stiklam  $E = 2.4 - 3.4 \text{ (GPa)}$  [2]). Kā arī materiāla trauslums un plastiskums ir atkarīgs no akrila stikla uzbūves, kas ievēd lielu varianci iegūstamām kritiskā intensitātes koeficienta vērtībām. 2.kārtas polinomam spriegumu intensitātes koeficients ir robežās  $(0.707 - 0.841) \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}$  un 3.kārtas polinomam  $(1.440 - 1.714) \cdot 10^6 \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}$ . Laboratorijas aprakstā 2. tabulā ir minēts, ka akrila stiklam  $K_c = (0.7 - 1.6) \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}$  abi rezultāti ir literatūrā dotajā intervālā. *Srawley* formulas rezultāts visdrīzāk nesaskan ar literatūras datiem, jo formula knapi atbilst parauga ģeometrijai.

## Izmantotā literatūra

1. Laboratorijas darba apraksts
2. [http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d\\_417.html](http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html)