



Projekts:

Augstākā līmeņa fizikas studiju attīstība Latvijas Universitātē

Projekta līguma Nr.:

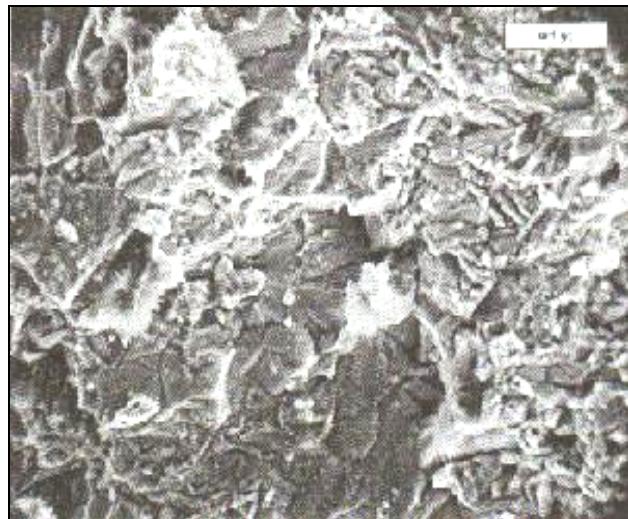
2005/0114/VPD1/ESF/PIAA/04/APK/3.2.3.2/0009/0063

LU Reģistrācijas Nr.: ESS 2005/7

Latvijas Universitāte
Fizikas un matemātikas fakultāte
Fizikas maģistra programma

Fizi5010 : Nepārtrauktas vides fizikas laboratorija
Laboratorijas darba apraksts, autors Vitauts Tamužs, Vilis Valdmanis,
korekcijas 2012: Sandris Lācis

Materiālu sabrukšana



Saturs

1	Darba mērķis	2
2	Ievads	2
3	Teorētiskais pamatojums	7
3.1	Plaisu mehānika - Griffitsa teorija	7
3.1.1	Sija ar iešķeltu galu - Vienkāršots, analītiski atrisinām modelis	12
3.2	Padevīguma eksperimentāla noteikšana	13
3.3	Spriegumu intensitātes koeficients (SIK) K un kritiskais spriegumu intensitātes koeficients SIK K_c	14
3.4	Kompaktais stiepes paraugs	19
3.5	Papildinformācija	21
4	Materiālu pārbaužu mašīna Zwick/Roell BDO-FB005TN	22
	Materiālu pārbaudes mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN galvenie tehniskie dati	22
4.1	Materiālu slogošanas mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN manuālās vadības režīms	26
4.1.1	Režīmu pārslēgšana	26
4.1.2	Programmēšanas režīma lietošana	27
4.2	Secība darbam ar materiālu slogošanas mašīnu Zwick/Roell BDO-FB005TN manuālās vadības režīmā	34
5	Darba uzdevums	39
6	Darba gaita	41
7	Kontroljautājumi	42
A	Testēšanas pārskata paraugs	45

1 Darba mērķis

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

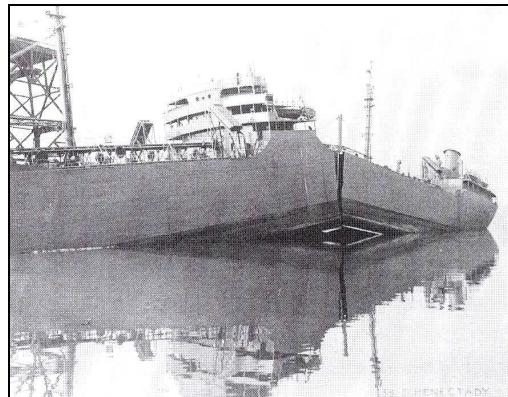
2 Ievads

Viena no galvenajām prasībām, kas tiek izvirzītas dažādām inženierkonstrukcijām ir tāda, ka šīs konstrukcijas nedrīkst sabrukt ekspluatācijas laikā. Projektējot dažadas konstrukcijas nepieciešams paredzēt visus iespējamos veidus, kādos šīs konstrukcijas var sabrukt un to ievērtēt attiecīgajos aprēķinos. Konstrukcijas galvenokārt var sabrukt sekojošu iemeslu dēļ: stabilitātes zudums, pārāk lielas elastīgās deformācijas, plastiskās deformācijas, plisu izplatīšanās un apkārtējās vides **ietekmē** (korozija).

Jebkura konstrukcija vai tās detaļa saplīsīs, ja tai pieliktās slodzes būs pārāk lielas. Galvenais cietvielu mehānikas uzdevums ir reālu konstrukciju elementu stiprības novērtējums reālos ekspluatācijas apstākļos. Šis uzdevums pastāv tikpat ilgi cik ilgi ir tikušas veidotas celtnes, jebkuras iekārtas vai mašīnas. Sākotnēji problēma tika risināta intuitīvi, balstoties uz pakāpeniski uzkrātu (un bieži vien negatīvu) pieredzi.



Att. 1: Dzelzceļa tilta sabrukšana Skotijā 1879. g.



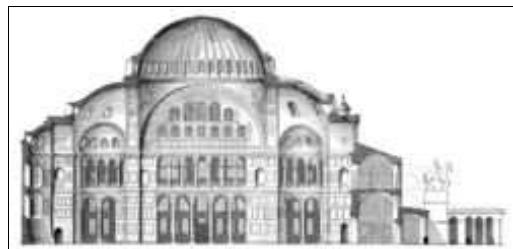
Att. 2: T2 tipa tankkuģa "Schenectady" katastrofa.

Tomēr arī šādā veidā ir radītas lieliskas celtnes, kuras cauri gadsimtiem saglabājušas savu stiprību, kaut arī to veidotājiem nav bijis nekāds priekšstats par jēdzieniem "spriegums" vai "deformācija". Taisnība, lielākā daļa agrākajos laikos

veidoto celtņu vai citu inženierkonstrukciju ir gājušas bojā, bet daudzās palikušajās vērojama pārāk smagnēja materiāla izlētošana.



Att. 3: Svētās Sofijas katedrāle Stambu-



Att. 4: Svētās Sofijas katedrāles šķērs-

griezums.

Modernā cietvielu mehānikā šo uzdevumu formulē sekojoši: ir dots kāds noteikts ķermenis, uz kuru darbojas noteiktas slodzes un šī ķermeņa robežas pārvietojas noteiktā veidā. Šādam ķermenim jānosaka pārvietojumu vektora un spriegumu tenzora lauki visiem tā punktiem. Pēc tam, kad šis uzdevums ir atrisināts rodas jautājums - kas notiks ar aplūkojamo ķermenzi: vai tas sabruks, vai nē. Elastības teorija pati par sevi atbildi uz šo jautājumu nesniedz. Protams, zinot spriegumu vērtības, var pieprasīt, lai katrā ķermeņa punktā izpildās stiprības nosacījumi t. i. kāda sprieguma tenzora komponenšu σ_{ij} funkcija nepārsniedz noteiktu vērtību. Vēl vairāk - var pieprasīt, lai attiecībā pret šo nosacījumu saglabātos noteikts drošības koeficients. Tad ar zināmu garantiju var apgalvot, ka konstrukcija ir droša. Bet vispār, prognozēt katastrofas ir nesalīdzināmi grūtāk, kā prognozēt evolucionāru notikumu attīstību. Tas attiecas uz jebkuru dzīves aspektu. Runājot par cietvielu mehāniku, tas nozīmē, ka daudz vieglāk ir paredzēt deformāciju attīstību pielikto slodžu rezultātā, nekā prognozēt, kad un pie kādām slodzēm notiks konstrukcijas saplīšana.

Tāpēc laika gaitā ir izveidota un attīstīta virkne teorētisku un eksperimentālu metožu, ar kuru palīdzību ir iespējams prognozēt un pārbaudīt visdažādāko konstrukciju, to struktūrelementu un izmantoto materiālu uzvedību visdažādāko ārējo slodžu iedarbības rezultātā.

Tomēr, neraugoties uz būtiskiem sasniegumiem drošu konstrukciju izveidē, inženierkonstrukciju sabrukšanas radītie zaudējumi tikai rūpnieciski attīstītās valstīs vien sastāda aptuveni 4 % no to nacionālā kopprodukta (The Economic Effects of Fracture in Europe. Study contract Nr. 320105 Comission of European Communities, 1991).



Att. 5: Raķešu šķidrās degvielas tvertnes sabrukšana iekšējā spiediena rezultātā.

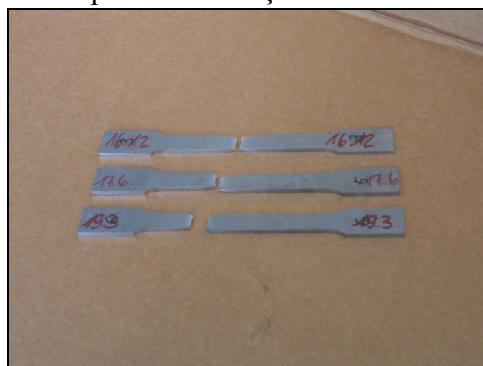
Att. 6: No kompozītmateriāla izveidotas helikoptera astes daļas sagrūšana vērpes rezultātā.



Att. 7: Atslānošanās plisa stiklaplasta auto atsperes vidusdaļā.



Att. 8: "Sendviča" paneļa daļas sabrukšana lieces rezultātā.



Att. 9: Standarta tērauda paraugī pēc stiepes pārbaudes.



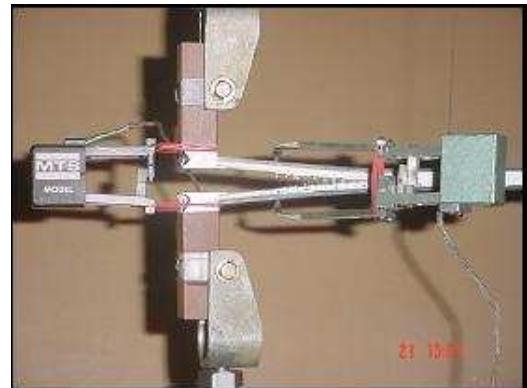
Att. 10: Dažādu kompozītmateriālu ciliindriski paraugī pēc lokālas noturības zuduma.



Att. 11: Dažādu kompozītmateriālu paraugī pēc stiepes pārbaudes.



Att. 12: Betona paraugī ar ogļplasta armatūras stiegrām.

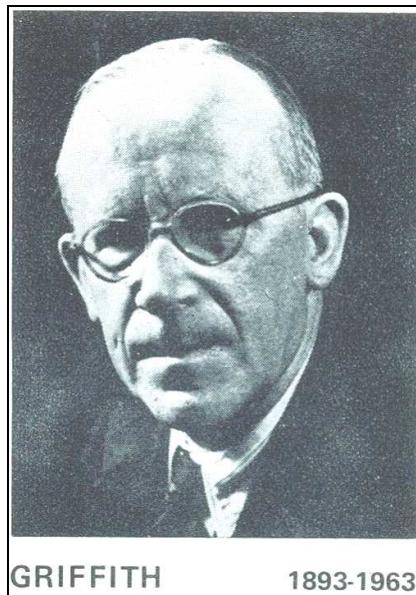


Att. 13: Stabilitātes zudums ar oglplasta aptinumu pastiprinātai betona kolonnai. Att. 14: Telpiski armēta oglplasta starpslāņu stiprības pārbaude.

3 Teorētiskais pamatojums

3.1 Plaisu mehānika - Griffitsa teorija

Angļu zinātnieks Deivids Griffits (1893.–1963.) 1920. gadā parādīja, ka plaisa materiālā var būt stabila, ja tās attīstībai nepieciešamā enerģija ir lielāka par enerģijas ieguvumu, plaisai augot [14]. Plaisa būs nestabila (augoša) pretējā gadījumā t.i., ja plaisai augot atbrīvosies vairāk enerģijas, nekā nepieciešams plaisas augšanai.



Att. 15: D. Griffits (1893.–1963.).

Šo enerģētisko apsvērumu rezultātā Griffits nāca pie secinājuma, ka materiāla izturība atkarīga no defektu (plaisu) lieluma materiālā. Intuitīvi ir skaidrs, ka šis secinājums ir pareizs, jo praksē mēs ļoti labi zinām sekojošo: ja kādu priekšmetu grib vieglāk pārlauzt, tad tajā vispirms izveido iegriezumu.

Precīzāku skaidrojumu plasisas izplatīšanās energijai var iegūt ļoti vienkārši. Ķermeņa potenciālā enerģija veidojas no divām daļām - enerģijas, kas uzkrāta materiālā, un pieliktās slodzes potenciālās enerģijas. Enerģija, kas uzkrāta materiālā tā deformēšanās rezultātā izsakās kā

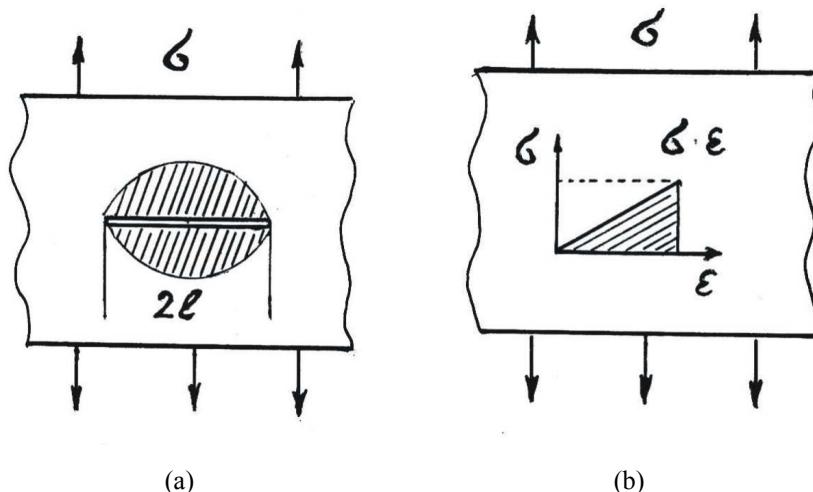
$$W_1 = \frac{1}{2} \int_V \sigma \cdot \varepsilon \cdot dV . \quad (1)$$

Šeit σ un ε ir attiecīgi spriegums un deformācija jebkurā materiāla punktā, V ir materiāla tilpums, koeficients $1/2$ parādās tāpēc, ka spriegums ir tieši proporcionāls

deformācijai. Otrā enerģijas daļa ir vienāda ar pieliktās slodzes P (spēka) radīto potenciālās enerģijas izmaiņu, mainoties slodzes pielikšanas punktam par pārvietojumu Δ . Šī izmaiņa ir $W_2 = P \cdot \Delta$, tātad sistēmas kopējā potenciālā enerģija ir

$$\Pi = W_1 + W_2 = \frac{1}{2} \int_V \sigma \cdot \varepsilon \cdot dV - P \cdot \Delta. \quad (2)$$

Aplūkosim plakanu plāksni (plāksnes biezums b) ar plaisu, kuras garums ir $2l$.



Att. 16:

Plāksne noslogota, pastiepjot to perpendikulāri plāsas virzienam ar spriegumu σ , pēc tam plāksnes malas nofiksētas (att. 16(a)). Ja plāsas nebūtu (att. 16(b)), tad plāksnē uzkrātā deformācijas enerģija būtu $W_1 = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot V}{2}$, kur V ir plāksnes tilpums, jeb, izsakot deformāciju ar spriegumu pēc Huka likuma $\sigma = E \cdot \varepsilon$, $W_1 = \frac{V \cdot \sigma^2}{2 \cdot E}$, kur E ir materiāla elastības modulis (Junga modulis). Papildus enerģija W_2 , kas nepieciešama plāsas izveidei, ir proporcionāla plāsas laukumam, tātad tās garumam $2l$ reizinātam ar plāksnes biezumu b , ja plāksnei viscaur ir nemainīgs biezums. Iegūstam

$$W_2 = p \cdot 4 \cdot l \cdot b, \quad (3)$$

kur p ir doto materiālu raksturojošs proporcionālītātes koeficients, bet koeficients 4 ievests tāpēc, ka plāsai ar garumu $2l$ ir divas virsmas. Savukārt ap plaisu materiāls būs atslogojies, jo radīsies brīvas virsmas, kurām nav pielikts spēks un materiāls to tuvumā netiks stiepts un nospriegots. Atslogotais plāksnes laukums būs

proporcionalis plāsas garuma kvadrātam (tas izriet no līdzības kritērijiem). Šoti aptuveni var pieņemt, ka atslogotais laukums ir vienāds ar πl^2 (iekrāsotais apgabals att. 16(a)). Tādā gadījumā plāksnes enerģija W_1 būs samazinājusies par

$$W'_1 = \frac{\pi \cdot l^2 \cdot b \cdot \sigma^2}{2 \cdot E}. \quad (4)$$

Enerģijas izmaiņa, plāsai palielinoties par Δl , ir vienāda ar

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 = -W'_1 + \Delta W_2 = 4 \cdot p \cdot \Delta l \cdot b - \frac{\pi}{E} \cdot l \cdot b \cdot \sigma^2 \cdot \Delta l. \quad (5)$$

Atkarībā no tā vai $\Delta W > 0$ vai arī $\Delta W < 0$, seko vai plāsa būs stabila, vai arī tā palielināsies. Sabrukšanas kritēriju iegūstam no nosacījuma $\Delta W = 0$:

$$4 \cdot p = \frac{\pi}{E} \cdot l \cdot \sigma^2, \quad (6)$$

vai arī

$$\sqrt{l \cdot \sigma} = \sqrt{\frac{4 \cdot p \cdot E}{\pi}} = C_{mat}, \quad (7)$$

kur C_{mat} ir materiālu raksturojoša konstante. Izteiksmi (6) var pārrakstīt, izmantojot citus apzīmējumus. Ar

$$G = \frac{1}{b} \frac{dW_2}{dl} = \frac{\pi}{E} \cdot l \cdot \sigma^2 \quad (8)$$

apzīmēsim **enerģijas atbrīvošanās ātrumu** (enerģija uz laukuma vienību $[\frac{J}{m^2}] = [\frac{N}{m}]$) [7] plāsai palielinoties un ar

$$G_c = \frac{1}{b} \frac{dW_1}{dl} = 4 \cdot p \quad (9)$$

apzīmēsim **kritisko energijas atbrīvošanās ātrumu** (tas raksturo tikai materiālu, kā redzams).

Viegli saprast, ka, ja $G < G_c$, plāsa ir stabila, bet līdz ko σ (tātad arī slodze) palielinās, tā, kolīdz G pārsniedz G_c , plāsa spontāni aug.

$$G \text{ dimensija ir } \left[\frac{J}{m^2} \right] = \left[\frac{N \cdot m}{m^2} \right] = \left[\frac{N}{m} \right].$$

Konstante C_{mat} ir atkarīga no parametra p un elastības modula E , tāpēc tā raksturo konkrēto materiālu. Vispārinot, tā tomēr ir atkarīga arī no plāsas ģeometrijas (atslogotā plāksnes laukuma konfigurācijas), teorijā to konstatētu, ja tiktu ievēroti gan objekta galīgie izmēri, gan objekta un plāsas precīzā forma.

Pats Griffits savā laikā pārbaudīja stikla kolbu stiprību atkarībā no iegrieztās plāisas lieluma l un ieguva eksperimentālu apstiprinājumu, ka

$$\sigma \cdot \sqrt{l} = C = \text{const.} \quad (10)$$

Konstante C raksturo materiāla pretestību plāisām un tās dimensija ir $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}^{3/2}} \right]$. Šo lielumu mēdz saukt par vienu Griffitsu.

Rodas sekojošs jautājums: kā eksperimentāli noteikt lielumu, kas raksturotu materiāla pretestību plāisas augšanai, bet kas nebūtu atkarīgs no plāisas ģeometrijas.

Vispirms aplūkojam metodi, kā eksperimentāli noteikt parauga potenciālo enerģiju W kā funkciju no plāisas garuma $W = W(l)$. Ja slodze P ir pielikta kādā parauga punktā, tad, nomērot šī punkta pārvietojumu u spēka virzienā, var noteikt parauga potenciālo enerģiju:

$$W = -\frac{u \cdot P}{2}. \quad (11)$$

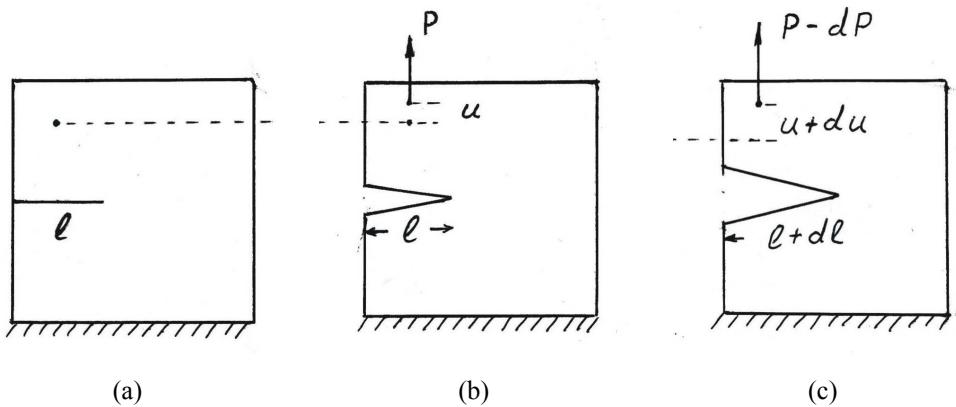
Aplūkojot lineāru sakarību, lielumi u un P ir savstarpēji proporcionāli un to attiecību $c = \frac{u}{P}$ sauc par parauga **padevīgumu** jeb **komplianci**.

Protams, lielumi u , P , c ir atkarīgi no parauga ģeometrijas, tai skaitā no plāisas garuma. Var viegli iegūt formulu kas apliecinā, ka, plāsai augot, ķermeņa potenciālās enerģijas maiņa ir saistīta ar komplianci. Uzsvērsim, ka visi iepriekšējie apgalvojumi izpildās tikai kvalitatīvi, jo, kaut arī ķermenī atslogotais laukums plāisas apkārtnē (att. 16(a) un 16(b)) ir proporcionāls plāisas garuma kvadrātam l^2 , tomēr tā kvantitatīvais novērtējums prasa sarežģītus aprēķinus. Bez tam jāievēro, ka aprakstot potenciālās enerģijas izmaiņas vienādojumu, mēs pieņemām, ka uz ķermeņa kontūras pieliktie spēki neveic darbu (uzdoti pārvietojumi, kuri procesa laikā nemainās). Tāpēc tagad aplūkosim enerģijas izmaiņu, atbrīvojoties no šī pieņēmuma.

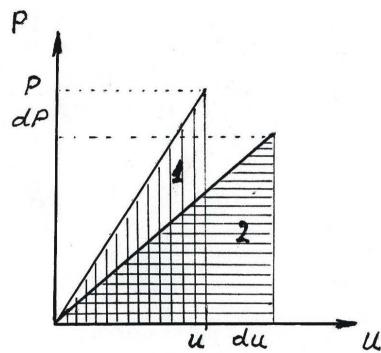
Ķermenim ar plāsu l (att. 17(a)) pielikts spēks P , kas izsauc pārvietojumu u (att. 17(b)). Palielinoties plāsai, mainās gan pieliktais spēks, gan pārvietojums spēka pielikšanas punktā (att. 17(c)).

Enerģija stāvoklī 17(b) (plāisas garums l) ir vienāda ar $W = -\frac{P \cdot u}{2}$ (nosvītrotais laukums 1 (att. 18)). Pie plāisas pieauguma, att. 17(c) stāvoklī ar plāisas garumu $l + dl$, enerģija ir vienāda ar iesvītroto laukumu 2 (att. 18)

$$W + dW = -\frac{(P - dP) \cdot (u + du)}{2}. \quad (12)$$



Att. 17:



Att. 18:

Enerģijas izmaiņa

$$dW = -\frac{P \cdot du - u \cdot dP}{2} + \frac{dP \cdot du}{2}. \quad (13)$$

Otrais saskaitāmais izteiksmē (13) ir otrās kārtas bezgalīgi mazs lielums un to atmet. Iegūst

$$\frac{dW}{dl} = -\frac{1}{2} \cdot P^2 \cdot \frac{d(\frac{u}{P})}{dl} = \boxed{\frac{P}{2}} \cdot \frac{dc}{dl}, \quad (14)$$

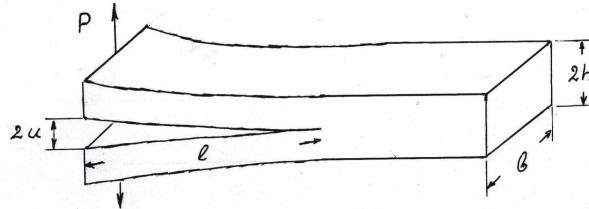
Ievērojot apzīmējumu (8),

$$G = -\frac{P^2}{2b} \cdot \frac{d c(l)}{dl}. \quad (15)$$

Izteiksmes (15) lietošanai nepieciešams zināt parauga padevīguma (kompliances) atkarību no plāna garuma.

3.1.1 Sija ar iešķeltu galu - Vienkāršots, analītiski atrisinām modelis

Visvienkāršākos gadījumos ir zināma analītiska izteiksme $c(l)$. Aplūkosim paraugu iešķeltas sijas (dubultkonsoles) formā, kā parādīts att. 19.



Att. 19:

Attēlā 19 attēlots gadījums, kad **spēks pielikts sijas galiem**. Šāda uzdevuma atrisināšanas gaitu var meklēt, piemēram, [13]. Vienai sijai ar garumu l , platumu b , augstumu h nolieku spēka P iedarbības rezultātā izsakās [3] kā

$$u_P = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot h^3 \cdot b/12} = \frac{4 \cdot P \cdot l^3}{E \cdot h^3 \cdot b}. \quad (16)$$

Iešķeltas sijas galu pavērums ir $2u = 2u_P$, jeb

$$2 \cdot u = \frac{8 \cdot P \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3}. \quad (17)$$

Tā kā

$$c = \frac{u}{P} = \frac{4 \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3}, \quad (18)$$

tad no (15) seko, ka

$$G = -\frac{P^2}{2b} \cdot \frac{dc(l)}{dl} = -\frac{P^2}{2b} \cdot \frac{12 \cdot l^2}{E \cdot b \cdot h^3} = -\frac{6 \cdot P^2 \cdot l^2}{E \cdot b^2 \cdot h^3}. \quad (19)$$

Eksperimentā nosaka “kritisko” spēku P_c pie kura plaisa sāk augt. Tam atbilst

$$G_c = \frac{6 \cdot P_c^2 \cdot l^2}{E \cdot b^2 \cdot h^3}. \quad (20)$$

Ja vienu siju izliec ar vienmērīgi sadalītu spēku P , kura lineārais sadalījuma blīvums $q = P/l$, tad nolieku izsakās [3] kā

$$u_q = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot h^3 \cdot b/12} = \frac{3 \cdot q \cdot l^4}{2E \cdot h^3 \cdot b}. \quad (21)$$

Atbilstoši

$$2 \cdot u = \frac{3 \cdot q \cdot l^4}{E \cdot b \cdot h^3} = \frac{3 \cdot \frac{P}{L} \cdot l^4}{E \cdot b \cdot h^3} = \frac{3 \cdot P \cdot l^4}{E \cdot b \cdot L \cdot h^3}, \quad (22)$$

kur L ir parauga kopējais garums, bet l ir iešķēluma garums.

Izsakām

$$c = \frac{u}{P} = \frac{3 \cdot l^4}{2 \cdot E \cdot b \cdot L \cdot h^3}, \quad (23)$$

un

$$G = -\frac{P^2}{2b} \cdot \frac{dc(l)}{dl} = -\frac{P^2}{2b} \frac{12 \cdot l^3}{2 \cdot E \cdot b \cdot L \cdot h^3}, = -\frac{3P^2 \cdot l^3}{E \cdot b^2 \cdot L \cdot h^3}, \quad (24)$$

“Kritiskais” spēks P_c saistās ar

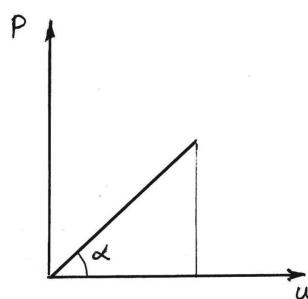
$$G_c = \frac{3 \cdot P_c^2 \cdot l^3}{E \cdot b^2 \cdot L \cdot h^3}. \quad (25)$$

Sarežģītākos gadījumos analītisks atrisinājums var nebūt pieejams, tad izteiksmi $c(l)$ var noteikt skaitliski, piemēram ar galīgo elementu metodi.

3.2 Padevīguma eksperimentāla noteikšana

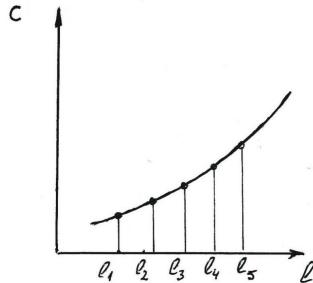
Izteiksmi $c(l)$ var iegūt arī eksperimentāli, izmērot paraugu padevīgumu pie dažādiem plaisiru garumiem.

Katram paraugam aprēķina (jālieto identiskas formas paraugi ar dažādu iegriezuma garumu l) tā padevību $c = \frac{u}{P}$, ko iegūst no samērītajiem lielumiem u un P . Iegūstam grafisku sakarību $c(l)$.

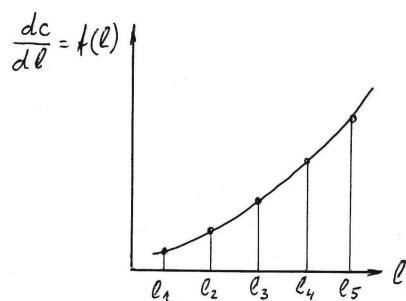


Att. 20: Atkarība $P(u)$, to izmanto, lai iegūtu $c(l) = \frac{u}{P} = k \cdot \operatorname{ctg} \alpha$.

No $c(l)$ pēc atvasināšanas iegūstam $dc/dl = f(l)$. Tā kā eksperimentālie dati ir datu punkti, tad bieži vispirms veic datu aproksimāciju ar kādu funkciju (piemēram, polinomu) un tad atvasina aproksimācijas funkciju.



Att. 21: Satkarība $c(l)$.



Att. 22: Atvasinājums $\frac{dc(l)}{dl} = f(l)$.

$$\text{Tālāk atrodam } G = \frac{P^2}{2b} \cdot f(l).$$

Lai noteiktu kritisko enerģijas atbrīvošanās ātrumu G_c ņem vienu paraugu, izmēra tā iegriezumu l_0 . No grafika atrod attiecīgo $f(l_0)$. Paraugu slogo līdz plaisa sāk augt. Tajā brīdī fiksē slodzi $P = P_c$.

No formulas

$$G_c = \frac{P_c^2}{2b} \cdot f(l_0) \quad (26)$$

iegūstam dotam materiālam kritisko enerģijas atbrīvošanās ātrumu.

3.3 Spriegumu intensitātes koeficients (SIK) K un kritiskais spriegumu intensitātes koeficients SIK K_c

Elastības teorijā ir izstrādātas metodes, kā noteikt spriegumu lauku dažādu iegriezumu apkārtnē. Šīs metodes ir pietiekoši sarežģītas, tāpēc šeit tās neaprakstīsim, interesenti var ar tām iepazīties patstāvīgi, piemēram [15], [12]. Atzīmēsim tikai,

ka attiecīgo elastības teorijas vienādojumu sistēmu, izmantojot kompleksu maiņīgo teoriju, jau 1909. gadā formulēja Tartu universitātes matemātikas katedras vadītājs Kolosovs.

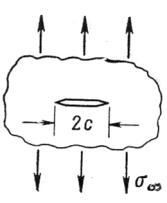
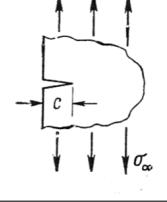
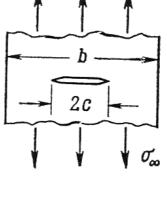
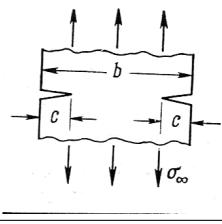
Risinājums rāda, ka, ja iegriezuma gals ir “asāks” (iegriezuma kontūra liekuma rādiuss mazāks), tad spriegumu līmenis iegriezuma gala apkārtnē ir lielāks. Ideāla iegriezuma gadījumā spriegums plaisas gala apkārtnē tiecas uz bezgalību apgriezti proporcionāli attāluma kvadrātsaknei no plaisas gala (att. 23)

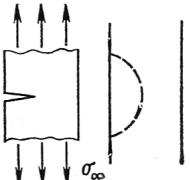
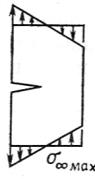
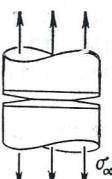
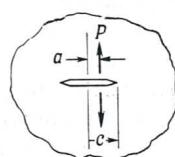
$$\sigma = \frac{K}{\sqrt{x}}. \quad (27)$$

Koeficientu K sauc par sprieguma intensitātes koeficientu (SIK). Tas ir atkarīgs no slodzes veida un parauga vai konstrukcijas ģeometrijas. Ir iegūti risinājumi visdažādākiem plaisu un paraugu formas gadījumiem un attiecīgie SIK publicēti rokasgrāmatās.

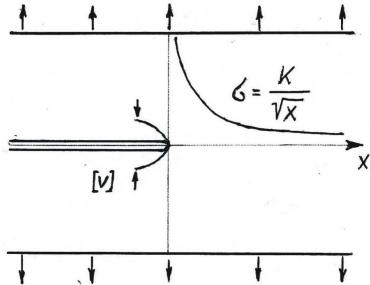
Dažās K izteiksmes dažādām paraugu un plaisu ģeometrijām redzamas tabulā 1.

Tabula 1: Pārbaudāmie paraugi un atbilstošās maksimālās slodzes vērtības.

Nr.	Parauga forma	Sprieguma intensitātes koeficients K
1.		$\sigma_\infty \cdot \sqrt{\pi \cdot c}$
2.		$1.1 \cdot \sigma_\infty \cdot \sqrt{\pi \cdot c}$
3.		$\approx \sigma_\infty \cdot \sqrt{\pi \cdot c} \sqrt{\frac{b}{\pi \cdot c} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot c}{b}}$
4.		$\sigma_\infty \cdot \sqrt{\pi \cdot c} \sqrt{\frac{b}{\pi \cdot c} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot c}{b}} \underset{\approx}{\cdot} \sqrt{1 + 0.2 \cdot \cos \frac{\pi \cdot c}{b}}$

Nr.	Parauga forma	Sprieguma intensitātes koeficients K
5.		$\approx 1.1 \cdot \sigma_\infty \cdot \sqrt{\pi \cdot c}$
6.		Sk. "Winne D. H., Wundt B. M., Application of the Griffith-Irwin Theory of Crack Propagation to Bursting Behavior of Discs Including Analytical and Experimental Studies, Trans. ASME, 80, 1643–1658 (1958)".
7.		Sk. "Irwin G. R., Kies J. A., Smith H. L., Fracture Strengths Relative to Onset and Arrest of Crack Propagation, Proc. ASTM, 58, 640–660 (1958)".
8.		$\frac{P}{t\sqrt{\pi \cdot c}} \cdot \sqrt{\frac{c+a}{c-a}}$

Plaisas gala atvērums $[v]$ savukārt ir proporcionāls kvadrātsaknes attālumam no plaisas gala (att. 23)



Att. 23:

$$[v] \propto \frac{K}{E} \cdot \sqrt{|x|}. \quad (28)$$

No izteiksmēm (28) un (27) novērtēsim enerģijas lielumu, kas atbrīvojas plaisai pieaugot par garumu Δl :

$$\beta \frac{K^2}{E} \cdot \Delta l \cdot b = \Delta \Pi, \quad (29)$$

no kurienes

$$\frac{1}{b} \frac{\Delta \Pi}{\Delta l} = G = \beta \frac{K^2}{E}. \quad (30)$$

Precīzākam izvedumam skatīt [15], bezdimensionālais koeficients $\beta = 1$ plakanam spriegumu stāvoklim un $\beta = 1 - \nu^2$ plakanam deformāciju stāvoklim (ν - Puasona koeficients materiālam).

Šī ir sakarība starp enerģijas atbrīvošanās ātrumu, plaisai augot, un sprieguma intensitātes koeficientu. Tātad, ja $G = G_c$ t.i. slodze ir tāda, ka enerģijas atbrīvošanās ātrums iegūst kritisko vērtību, tad arī spriegumu intensitātes koeficients (SIK) iegūst kritisko vērtību

$$K_c = \sqrt{\frac{E \cdot G_c}{\beta}}. \quad (31)$$

K un K_c dimensija ir Griffits, ko var vēlreiz iegūt no $\sqrt{E \cdot G_c}$ dimensijas $\left[\frac{N}{m^2} \frac{J}{m^2} \right]^{1/2} = \left[\frac{N^2}{m^3} \right]^{1/2} = \left[\frac{N}{m^{3/2}} \right] = [\text{Pa} \cdot m^{1/2}]$

Kritisko SIK materiālam K_c nosaka palielinot slodzi P līdz plaisa sāk augt pie $P = P_c$.

Tipiskie G_c un K_c lielumi dažiem materiāliem [10], [11], [9], [5] doti 2.tabulā.

Tabula 2: Materiālu īpašības

Nr.	Materiāls/marka	K_c , [MPa·m ^{1/2}]	G_c , [kN·m ⁻¹]
1.	Tērauds 20	101	46
2.	Tērauda sakausējums (4340) [5]	50	
3.	Alumīnijs AK4-1 (T1)	47	28
4.	Alumīnija sakausējums (7075)[5]	24	
5.	Titāns BT3-1	59	18
6.	Jūras ūdens ledus	0.1 - 0.14	
7.	Betons [5]	0.2 - 1.4	
8.	Granīts	1.17 ± 0.17	
9.	Marmors	0.58 ± 0.02	
10.	Epoksīda sveķi ЭД-5	1.47 ± 0.08	
11.	Stikls K-8	0.7 ± 0.02	
12.	Organiskais stikls [5]	0.7-1.6	
13.	Polistirēns [5]	0.7-1.1	
14.	Grafsīts	0.9	
15.	Dimants	9.6	
16.	Rubīns	2.5 - 3.4	

Papildus materiālu īpašības var atrast arī [16], šeit ievietojam nepārveidotu tekstu 24.attēla veidā.

3.4 Kompaktais stiepes paraugs

Kompaktais stiepes paraugs (att.25) tiek birži lietots spriegumu intensitātes koeficients noteikšanā.

Spriegumu intensitātes koeficients plaisas galā kompaktajam stiepes paraugam

Typical values of G_{Ic} and K_{Ic} for various materials are listed in Table 2, and it is seen that they vary over a very wide range from material to material. Some polymers can be very tough, especially when rated on a per-pound bases, but steel alloys are hard to beat in terms of absolute resistance to crack propagation.

Table 2: Fracture toughness of materials.

Material	$G_{Ic}(\text{kJm}^{-2})$	$K_{Ic}(\text{MNm}^2)$	$E(\text{GPa})$
Steel alloy	107	150	210
Aluminum alloy	20	37	69
Polyethylene	20 (J_{Ic})	—	0.15
High-impact polystyrene	15.8 (J_{Ic})	—	2.1
Steel — mild	12	50	210
Rubber	13	—	0.001
Glass-reinforced thermoset	7	7	7
Rubber-toughened epoxy	2	2.2	2.4
PMMA	0.5	1.1	2.5
Polystyrene	0.4	1.1	3
Wood	0.12	0.5	2.1
Glass	0.007	0.7	70

Att. 24: Materiālu īpašības no [16]

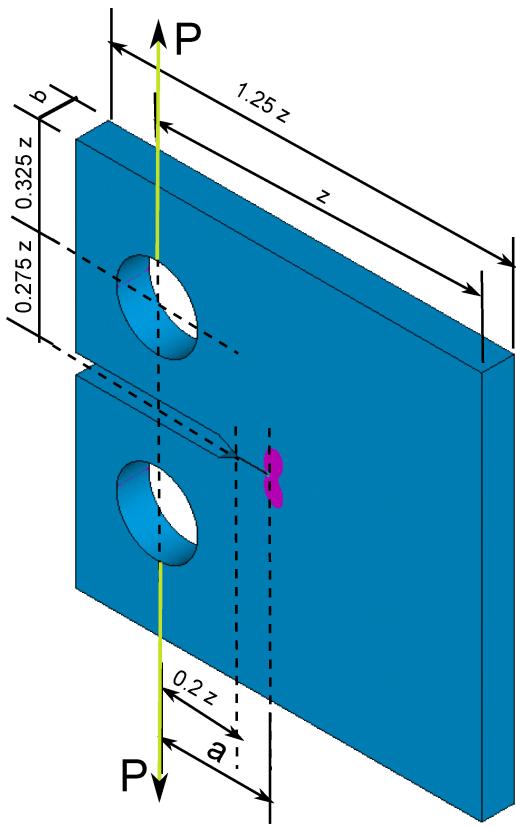
[12], [15] izsakās kā

$$\begin{aligned}
 K_I &= \frac{P}{b} \sqrt{\frac{\pi}{z}} \left[16.7 \left(\frac{a}{z} \right)^{1/2} - 104.7 \left(\frac{a}{z} \right)^{3/2} + 369.9 \left(\frac{a}{z} \right)^{5/2} \right. \\
 &\quad \left. - 573.8 \left(\frac{a}{z} \right)^{7/2} + 360.5 \left(\frac{a}{z} \right)^{9/2} \right] \\
 &= \frac{P \sqrt{\pi a}}{b z} \left[16.7 - 104.7 \left(\frac{a}{z} \right) + 369.9 \left(\frac{a}{z} \right)^2 \right. \\
 &\quad \left. - 573.8 \left(\frac{a}{z} \right)^3 + 360.5 \left(\frac{a}{z} \right)^4 \right] \tag{32}
 \end{aligned}$$

kur P ir pieliktā slodze, b ir parauga biezums, a ir plāisas garums un z ir parauga platumis atbilstoši att. 25. Sakarība (32) tika iegūta kā aproksimācija skaitliskās modelēšanas rezultātiem dažādām parauga ģeometrijām.

Grāmatā [15] minēti ierobežojumi parauga dimensijām, lai šī formula būtu droši pielietojama:

$$\begin{aligned}
 \frac{z}{4} &\leq b \leq \frac{z}{2} \\
 0.45z &\leq a \leq 0.55z
 \end{aligned} \tag{33}$$



Att. 25: Kompaktais stiepes paraugs - compact tension specimen

Strawley [17] piedāvā alternatīvu formulu

$$K_I = \frac{P}{b\sqrt{z}} \frac{(2 + \frac{a}{z}) \left[0.886 + 4.64 \left(\frac{a}{z} \right) - 13.32 \left(\frac{a}{z} \right)^2 + 14.72 \left(\frac{a}{z} \right)^3 - 5.6 \left(\frac{a}{z} \right)^4 \right]}{(1 - \frac{a}{z})^{\frac{3}{2}}} \quad (34)$$

kas derīga plašākam diapazonam $0.2 \leq \frac{a}{z} \leq 1$.

3.5 Papildinformācija

Diezgan izsmeļošu informāciju var atrast *Wikipedia* materiālos [3], [6], [5], [8], [7], [4], [2].

Dažas organiskā stikla (*PMMA: Polymethyl methacrylate*) materiāla īpašības var atrast *matbase.com* [1].

4 Materiālu pārbaužu mašīna Zwick/Roell BDO-FB005TN

Laboratorijas darba “Materiālu sabrukšana” veikšanai paredzēts izmantot Vāci-jā ražoto elektromehānisko materiālu pārbaudes mašīnu Zwick/Roell BDO-FB005TN (att. 26).

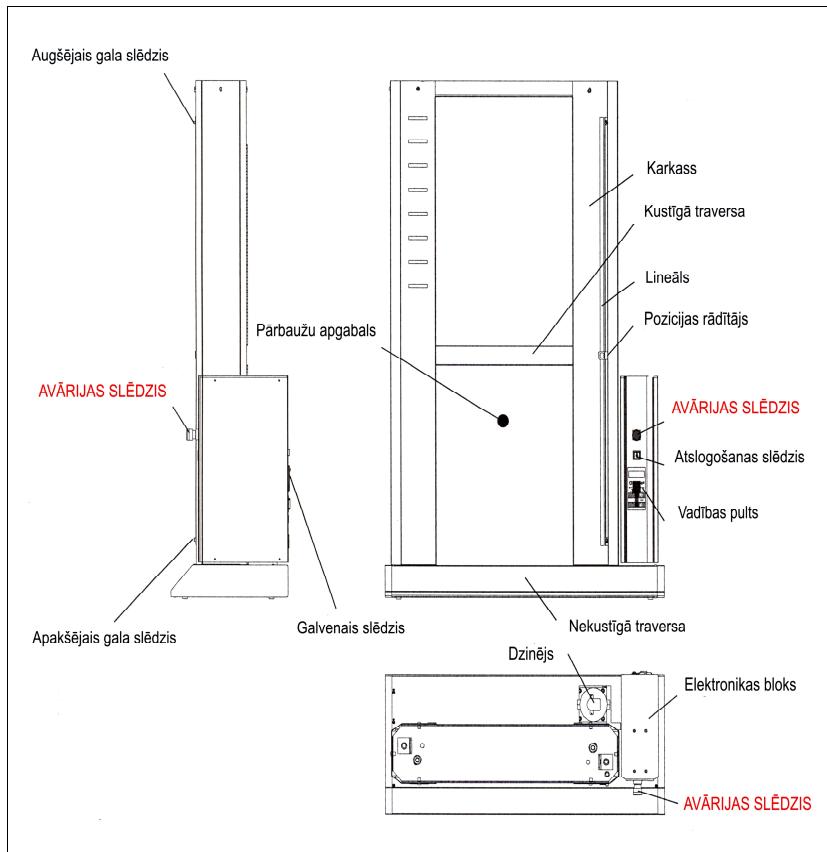


Att. 26: Materiālu pārbaudes mašīna Zwick/Roell BDO-FB005TN.

Materiālu pārbaudes mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN galvenie tehniskie dati:

Maksimālā slodze stiepē/spiedē	5 kN
Pārbaužu apgabala lielums:	
augstums	1061 mm
dziļums	420 mm
Slogošanas ātrums:	
ar manuālo vadību	0.1 - 500 mm/min
ar PC vadību	0.001 - 500 mm/min
Slogošanas ātruma nenoteiktība	1% no V_{nom}
Slodzes mērījumi (saskaņā ar standartu ISO 7500/1):	
precizitātes klase 1	0.4% - 100% no F_{nom}
precizitātes klase 0.5	2% - 100% no F_{nom}

Materiālu pārbaudes mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN galvenās sastāvdaļas ir parādītas 27.attēlā.



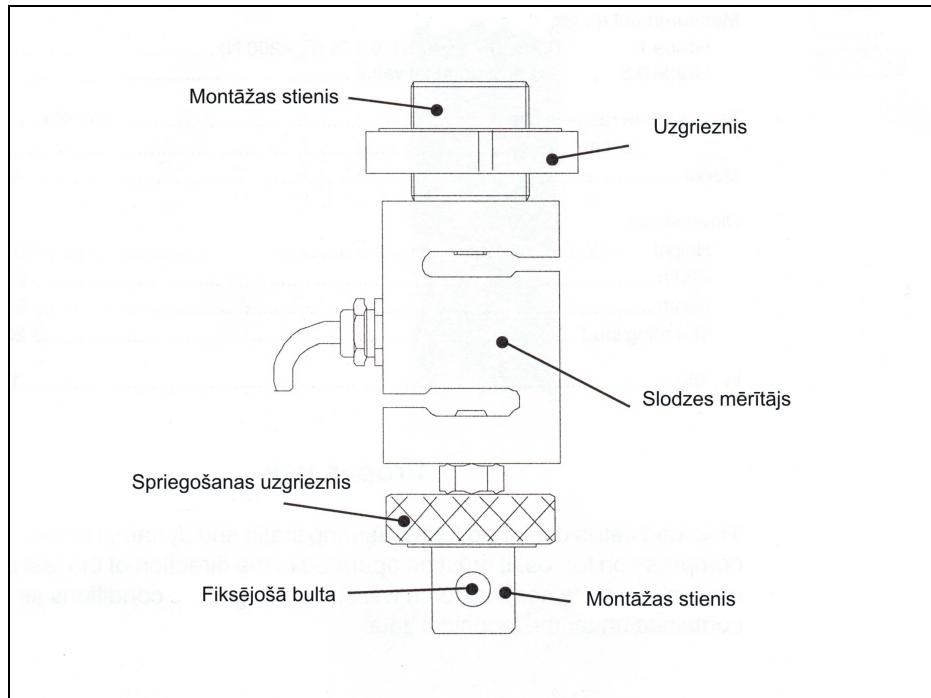
Att. 27: Materiālu pārbaudes mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN galvenās sastāvdaļas.

Materiālu slogošanas mašīna Zwick/Roell BDO-FB005TN sastāv no sekojošiem galvenajiem mezgliem:

- mašīnas karkasa, kas sastāv no divām vertikālajām kolonnām, kurās ir iemontēts vītnveida slogošanas mehānisms,
- kustīgās traversas, uz kuras ir novietots *slodzes mērītājs* (dinamometrs), kas savukārt ir savienots ar augšējo *mehānisko paraugu turētāju*,
- nekustīgās traversas, kas savienota ar apakšējo mehānisko *paraugu turētāju*,
- dzinēja, kas ar vītnveida slogošanas mehānisma palīdzību nodrošina kustīgās traversas vertikālo pārvietojumu un līdz ar to nodrošina paraugu sloganu,

- *elektronikas bloka*, kurā ir apvienotas materiālu slogošanas mašīnas vadības un reģistrācijas iekārtas.

Slodzes mērītājs (zīmējums 28) nodrošina pieliktās slodzes lieluma konvertēšanu izmērāmā elektriskajā signālā. Slodzes mērītājs sastāv no mehāniski deformējama korpusa ar tam piestiprinātiem deformāciju devējiem.

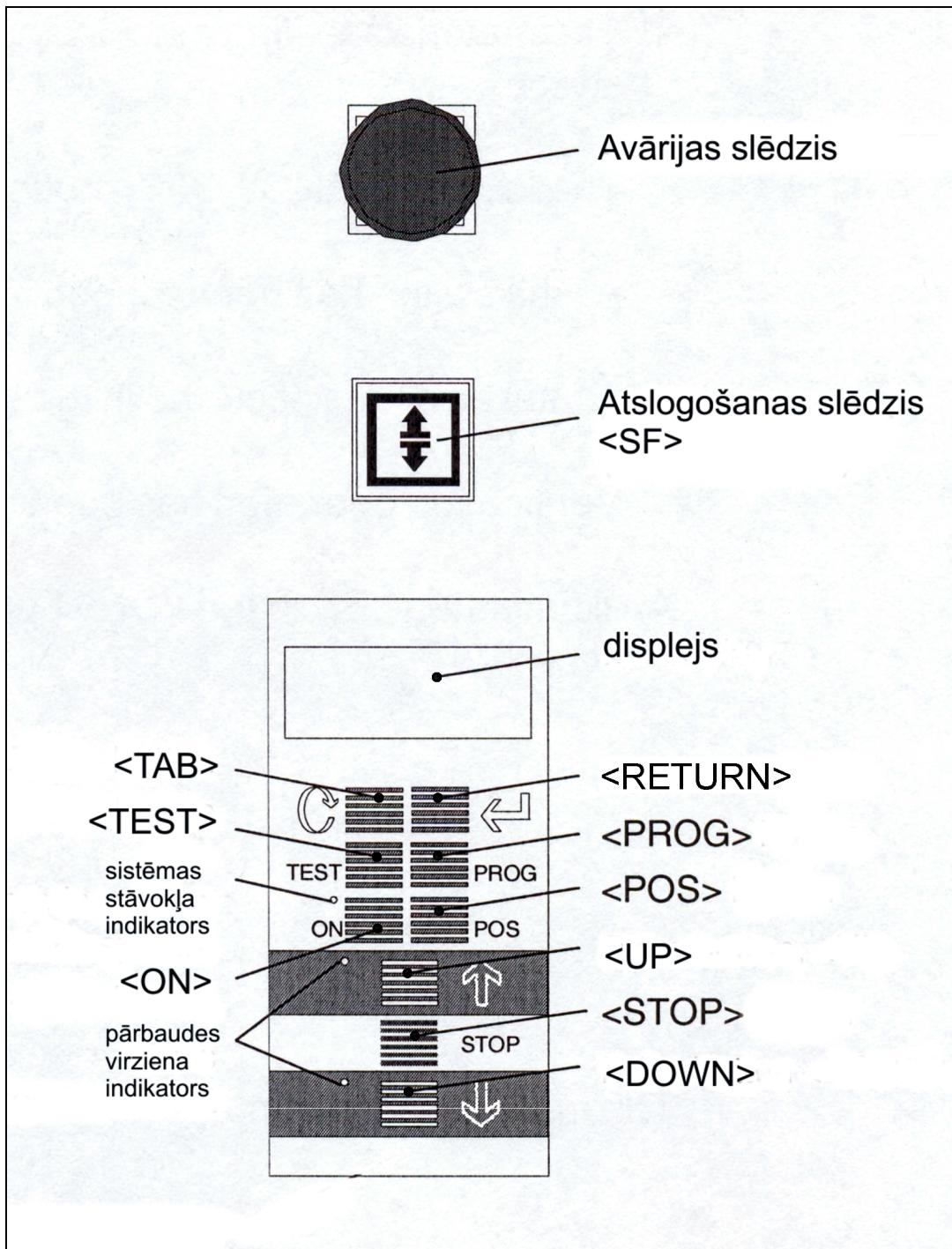


Att. 28: Slodzes mērītājs.

Elektronikas bloks (zīmējums 29) nodrošina materiālu pārbaužu mašīnas manuālo vadību.

Materiālu slogošanas mašīna Zwick/Roell BDO-FB005TN paraugu pārbau-dēm ir izmantojama divos režīmos - manuālās vadības un PC vadības režīmā.

Šo darbu var precīzāk veikt, ja izmanto rokas vadības režīmu.



Att. 29: Elektronikas bloka slēdžu izvietojums.

4.1 Materiālu slogošanas mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN manuālās vadības režīms

Materiālu slogošanas mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN manuālās vadības režīms sastāv no trīs galvenajām modām - programmēšanas, pozicionēšanas un pārbaudes modas.

4.1.1 Režīmu pārslēgšana

“ON” pogā Ar **<ON>** pogu ieslēdz iekārtas piedziņu. Pogu vajag nospiest, ja

- ar galveno slēdzi tika ieslēgta materiālu testēšanas mašīna,
- tika nospiests avārijas aptures slēdzis,
- traversa sasniedza ierobežotāju,
- notika “fatal error” elektronikā,
- testa programmā tika aktivizēta verifikāciju.

Iekārtas piedziņas ieslēgšanu apstiprina LED gaisma **<ON>** pogai.

Programmēšanas režīms Programmēšanas režīmu (modu) ieslēdz *vienlaicīgi* spiežot taustiņus

<PROG> + <RETURN>

No programmēšanas režīma iziet spiežot **<PROG>** vai **<TEST>**.

Pozicionēšanas režīms Pozicionēšanas režīms paredzēts traversas novietošanai nepieciešamajā stāvoklī (attālumā no pamatnes), pozicionēšanas režīmu (modu) ieslēdz spiežot taustiņu

<POS>

“Testa” režīms Testa režīms atbilst slogošanas režīmam (modai), to ieslēdz spiežot taustiņu

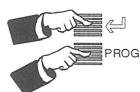
<TEST>

Avārijas režīms Avārijas režīmu ieslēdz ar avārijas slēdzi (pogu). Visa veida kustība un vadība tiek momentā atslēgta. Lai izietu no avārijas režīma, avārijas pogā jāpavelk ārā.

4.1.2 Programmēšanas režīma lietošana

Tālāk aplūkosim materiālu slogošanas mašīnas Zwick/Roell BDO-FB005TN stiepes eksperimentu manuālās vadības programmēšanas secību.

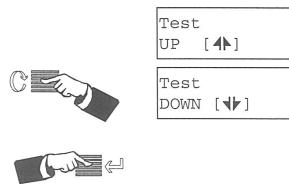
Call-up the programming mode:



Vispirms ir jāaktivizē programmēšanas moda, kas dod iespēju izvēlēties paraugu slogošanas parametrus. Tas notiek *vienlaicīgi* spiežot taustiņus **<PROG> + <RETURN>**

Parametru izvēle, mainīšana un apstiprināšana Programmēšanas režīmā:

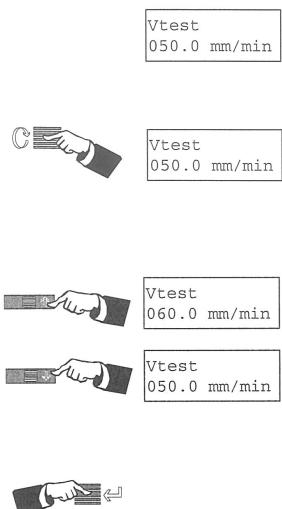
- ar **<RETURN>** šķir uz priekšu parametrus un vienlaicīgi apstiprina to vērtības, ja tās pirms tam tiek izmainītas;
- ar **<TAB>** iet cauri skaitlisko vērtību cipariem, izvēloties maināmo;
- ar **<UP>** un **<DOWN>** izvēlas no piedāvātā saraksta (gan ciparu vērtības, gan parametru režīmu variantus).



Slogošanas virziena izvēle. Stiepes režīma gadījumā **<UP>**, spiedes režīma gadījumā **<DOWN>**

Taustiņš **<TAB>** tiek lietots, lai mainītu slogošanas virzienu.

Nospiežot taustiņu **<RETURN>** tiek apstiprināta izvēle un notiek pāreja uz nākamo parametru ievadišanas soli.



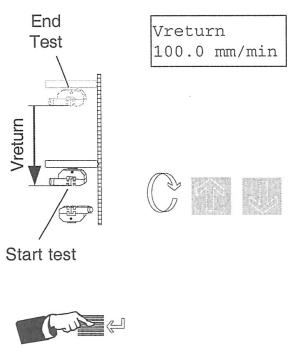
Pārbaudes ātrums (mm/min.).

Lietojot taustiņu <TAB> notiek pārēja uzdodamajā parametrā par vienu pozīciju pa labi.

Ar taustiņa <UP> palīdzību attiecīgās pozīcijas lielums tiek palielināts.

Ar taustiņa <DOWN> palīdzību attiecīgās pozīcijas lielums tiek palielināts.

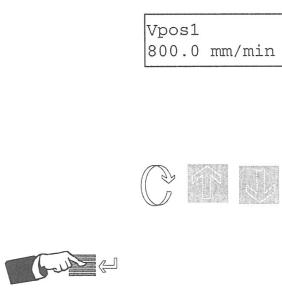
Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pārēja uz nākamo parametru ievadišanas soli



Atgriešanās ātrums: tiek definēts parametrs V_{return} - ātrums, ar kādu kustīgā traversa atgriežas sākuma stāvoklī.

Tas notiek izmantojot taustiņus <TAB>, <UP> un <DOWN>.

Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pārēja uz nākamo parametru ievadišanas soli



1.pozicionēšanas ātrums. Tieki definēts kustīgās traversas 1. pozicionēšanas ātrums V_{pos1} (mm/min)

Tas notiek izmantojot taustiņus <TAB>, <UP> un <DOWN>.

Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pārēja uz nākamo parametru ievadišanas soli.

V_{pos2}
001.0 mm/min



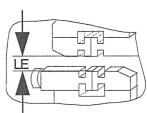
2.pozicionēšanas ātrums. Tieki definēts kustīgās traversas 2. pozicionēšanas ātrums V_{pos2} (mm/min)

Tas notiek izmantojot taustiņus <TAB>, <UP> un <DOWN>.

Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pārēja uz nākamo parametru ievadīšanas soli.

LE
100.0
mm

Parauga stiepei:



Sākotnējais attālums. Tieki definēts parametrs L_e - attālums, kas tiek iestādīts starp paraugu turētājiem pirms pārbaudes sākuma (atbilst lielumam l - parauga sākotnējajam garumam)

Tas notiek izmantojot taustiņus <TAB>, <UP> un <DOWN>.

Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pārēja uz nākamā parametra ievadīšanu.

Result units
 ΔL_m [mm]



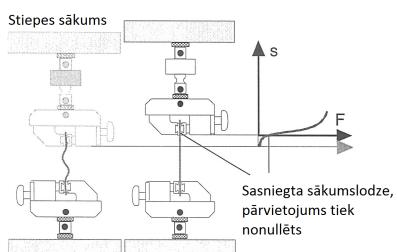
ΔL_m [mm]

ΔL_m [%]

Tiek definēts **rezultātu** (pārvietojuma) **izvades formāts**. Izmantojot taustiņu <TAB> notiek pārslēgšana starp dažādiem izvada formātiem:

$D L_m$ [mm] - pārvietojuma lielums tiek dots milimetros

$D L_m$ [%] - pārvietojuma lielums tiek dots procentos

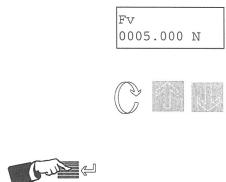


Jāņem vērā, ka parauga fiksēšanas laikā tas var tikt nedaudz noslogots vai deformēts. Tāpēc parasti tiek uzdota



neliela sākumslodze. Pieņem, ka pie šīs sākumslodzes paraugs ieņem normālu sākumstāvokli. Pārvietojums, kas atbilst sākumslodzei tiek nonullēts.

Nospiežot taustiņu **<RETURN>** tiek apstiprināta izvēle un notiek pāreja uz nākamo parametru ievadīšanas soli

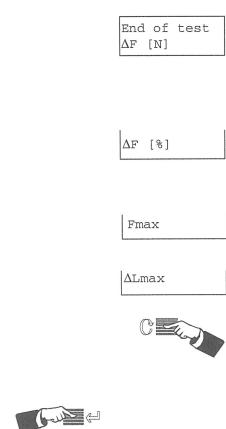


Sākumslodze F_v tiek definēta nākamajā solī. Kā jau minēts, sasniedzot šo slodzi, pārvietojuma vērtība DL_m tiek nonullēta. Ievadot $F_v = 0$, pārvietojuma vērtība tiek nonullēta pārbaudes sākumā.

F_v parasti izvēlas $\approx 1\%$ no paredzētās maksimālās slodzes.

Attiecīgās vērtības izvēle notiek izmantojot taustiņus **<TAB>**, **<UP>** un **<DOWN>**.

Nospiežot taustiņu **<RETURN>** tiek apstiprināta izvēle un notiek pāreja uz nākamo parametru.



Parauga **sabrukšanas kritērija** ΔF veids. Pārbaude tiek pārtraukta, ja:

- ΔF [N] - slodzes vērtība krīt par ievadīto lielumu,
- ΔF [%] - slodzes kritums sasniedz noteiktu procentuālu vērtību no maksimālās slodzes,
- slodze sasniedz maksimālo vērtību F_{max} ,
- pārvietojums sasniedz maksimālo vērtību ΔL_{max} .

Izmantojot taustiņu **<TAB>** notiek pārslēgšana starp dažādiem sabrukšanas kritērija formātiem Nospiežot taustiņu **<RETURN>** tiek apstiprināta izvēle un notiek pāreja uz nākamo parametru ievadīšanas soli

ΔF
0040.000 N

Tālāk tiek definētas dažādo sabrukšanas kritēriju skaitiskās vērtības:

ΔF - slodzes redukcija **notinotos [N]**

Piemērs: Ievadam = 40 N, tiek sasniegta maksimālā slodze = 124 N, pārbaude tiek apturēta, kad slodze samazinās līdz = 84 N.

ΔF
70 %

ΔF - slodzes redukcija **procentos [%] no maksimālās slodzes**

Piemērs: Ievadam = 70 %, tiek sasniegta maksimālā slodze = 1000 N, pārbaude tiek apturēta, kad slodze samazinās līdz = 300 N.

F _{max}
1000.000 N

F_{max} - maksimālā slodze **notinotos [N]**

Piemērs: Ievadam = 1000 N, tiek sasniegta maksimālā slodze = 1000 N, pārbaude tiek apturēta, kad slodze sniedz = 1000 N.

ΔL _{max}
005.000 mm

ΔL_{max} - maksimālais pārvietojums **[mm]**

Piemērs: Ievadam = 5 mm, tiek sasniegs maksimālais pārvietojums = 5 mm, pārbaude tiek apturēta, kad sasniegs pārvietojums = 5 mm.

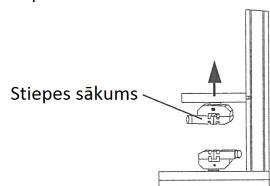


Attiecīgās vērtības izvēle notiek izmantojot taustiņus <TAB>, <UP> un <DOWN>.

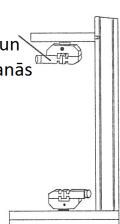


Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pāreja uz nākamo parametru ievadišanas soli

Princips

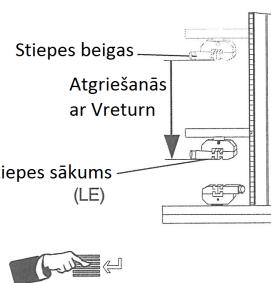


Stiepes
beigas un
apstāšanās



Tālāk uzdod kustīgās **traversas kustības parametrus pēc dotās pārbaudes beigām.**

Automātiska kustīgās traversas atgriešanās sākuma stāvoklī ir bīstama un tāpēc pieļaujama tikai gadījumā, kad tiek pārbaudīti mīksta materiāla paraugi, vai arī paraugi netiek sagrauti.



Izmantojot taustiņu <TAB> izvēlas sekojošus kustīgās traversas kustības parametrus pēc dotās pārbaudes beigām:

1. kustīgā traversa tiek apturēta pēc pārbaudes beigām un šajā stāvoklī arī paliek.
2. kustīgā traversa pēc pārbaudes beigām atgriežas sākuma stāvoklī, ko nosaka parametrs L_e . Atgriešanās notiek ar ātrumu V_{return}

Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pāreja uz nākamo parametru.



Ftare
Set

Ftare
Clear



Tālāk tiek iestatīts **slodzes nulles punkts**. Izmantojot taustiņu <TAB> var izvēlēties:

1. esošā slodze (paraugu turētāju un iestiprināšanas radītā slodze) tiek nonullēta,
2. nulles slodze netiek mainīta vai tiek atcelta iepriekšējā komanda “ F_{tare} Set”.

Tādējādi slodzes nulles punktam atbilst aktuālā slodze uz dinamometra.

Nospiežot taustiņu <RETURN> tiek apstiprināta izvēle un notiek pārēja uz nākamo parametru ievadišanas soli.

Pēc šī soļa notiek atgriešanās pie pirmā programmēšanas modas parametra (Test UP/DOWN)



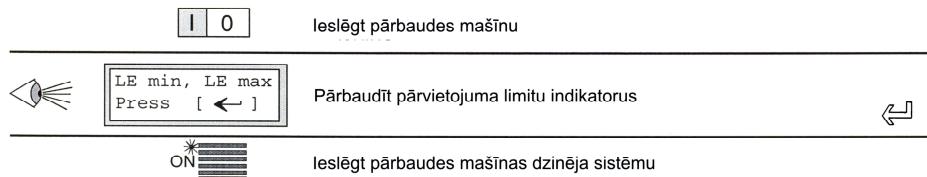
F 0.134 N
LE 306.4 mm

Programmēšanas moda tiek izslēgta nospiežot taustiņu <TEST>.

Slogošanas mašīna pāriet slogošanas režīmā.

Ja slogošanu nevēlas, stendu pārslēdz neitrālā režīmā ar <PROG>.

4.2 Secība darbam ar materiālu slogošanas mašīnu Zwick/Roell BDO-FB005TN manuālās vadības režīmā



1. Programmēšanas modas režīmā definēt konkrētās pārbaudes parametrus.
2. Uzstādīt laboratorijas darbam “Materiālu sabrukšana” nepieciešamos paraugu turētājus:

- 2.1. Atbrīvot spriegošanas uzgriezni,



- 2.2. Izvilkta augšējo parauga satvērēju fiksējošo bultu,



2.3. Noņemt augšējo parauga satvērēju,



2.4. Analogiski nomontēt apakšējo parauga satvērēju,



2.5. Sagatavot laboratorijas darbam “Materiālu sabrukšana” nepieciešamos paraugu turētājus,



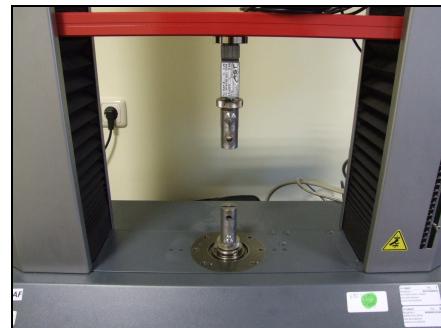
2.6. Uzstādīt augšējo parauga satvērēju uz montāžas stieņa,



2.7. Nostiprināt paraugu satvērēju ar montāžas bultu,

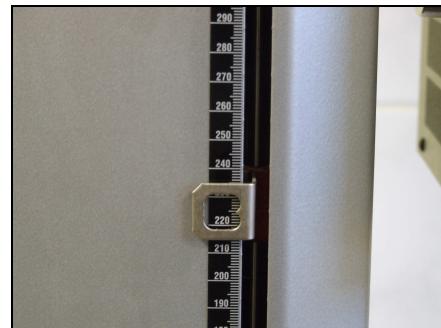


2.8. Analogiski uzstādīt apakšējo parauga satvērēju,

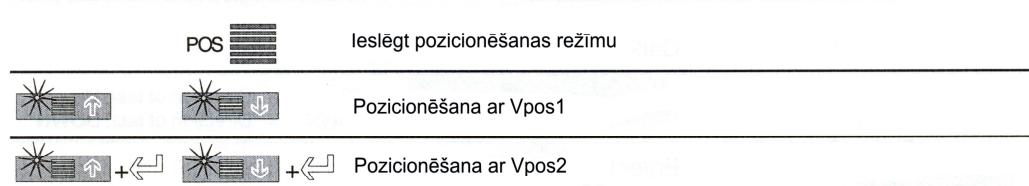


2.9. Pozicionēt paraugu turētājus:

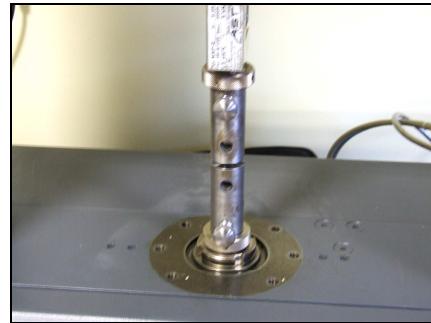
Šī konkrētā laboratorijas darba izpildei atzīmei uz pārbaudes mašīnas lineāla jābūt vienādai ar **225**.



šim nolūkam:



2.10. Pārbaudīt paraugu turētāju stāvokli,



2.11. Ievietot attiecīgo paraugu turētāju spraugās,



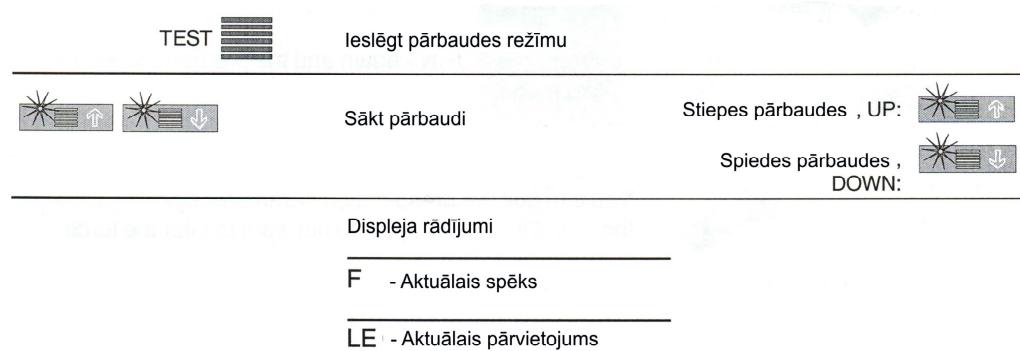
2.12. Fiksēt paraugu ar attiecīgajām fiksēšanas bultām,



2.13. Paraugs gatavs pārbaudei.



3. Pāriet pārbaudes režīmā un veikt parauga testēšanu.

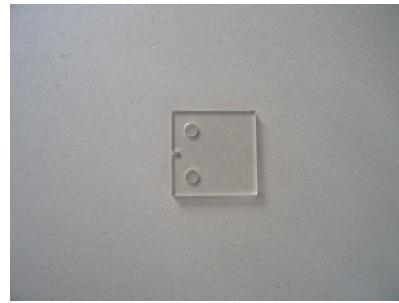


4. Nolasīt un pierakstīt mērījumu rezultātus.

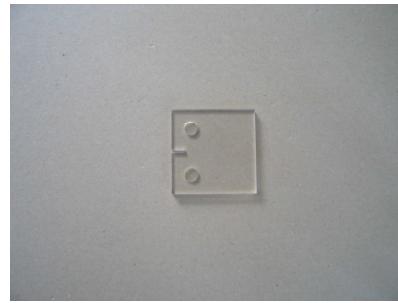
5 Darba uzdevums

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

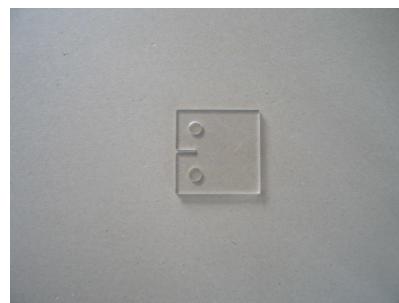
Kritiskā sprieguma intensitātes koeficenta noteikšanai tiek izmantoti organiskā stikla paraugi ar dažāda garuma iezāģētām spraugām (plaisām). **30.attēlā** ir parādīti minētie paraugai un pārbaudes laikā maksimāli pieļaujamā slodze katra veida paraugam. ***Maksimālās slodzes pārsniegšana var novest pie parauga sabrukšanas!***



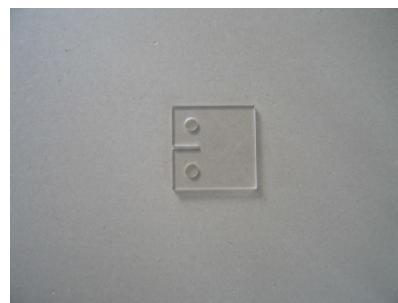
(a) Plaisas garums 5 mm,
 $P_{max} = 250$ N



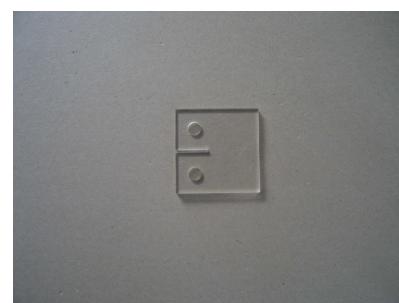
(b) Plaisas garums 10 mm,
 $P_{max} = 200$ N



(c) Plaisas garums 15 mm,
 $P_{max} = 150$ N



(d) Plaisas garums 20 mm,
 $P_{max} = 100$ N



(e) Plaisas garums 25 mm, Paraugs jā-sagrauj!

Att. 30: Organiskā stikla paraugi un maksimālā pieļaujamā slodze.

6 Darba gaita

1. Ar bīdmēru nomēra pārbaudāmā parauga biezumu un platumu ne mazāk kā trīs vietās.
2. Piektajam paraugam (plaisas garums 25 mm) ar metāla zāgīti esošās plaisas gala *vidū* iezāģē nelielu (1 - 2 mm) plaisas pagarinājumu. To dara tikai tad, ja paraugā ir iefrēzēta platāka sprauga (kā 25.att).
3. Ar bīdmēru izmēra pārbaudāmā parauga plaisas garumu.
4. Ieslēdz slogojamo mašīnu (*datoram jābūt izslēgtam - to nelietos!*) un manuālās vadības režīmā programmēšanas modā definē nepieciešamos sloganas parametrus *katram paraugam individuāli*.

Manuālās vadības režīma apguvei var atvēlēt kādas 20min - tas atvieglos darbību vēlāk.

Ieteicamais sloganas ātrums:

ar manuālo vadību	0.1 mm/min
Ieteicamais sākumslodzes lielums	5 N.

5. Iestiprina paraugu turētājos (paraugu sloganas secība - plaisas garuma augšanas virzienā).
6. Slogo paraugu. Paraugu sloganot pieraksta protokolā arī "starprezultātus" (punktus: spēks, pagarinājums), šo punktu skaitu izvēlas patstāvīgi, lai to skaits būtu pietiekams tālākai līknes apstrādei. Sloganas beigās reģistrē maksimālo slodzi P un pārvietojumu u . Atbrīvo paraugu no turētājiem.
7. **Piekto paraugu** (plaisas garums 25 mm) sloganā līdz tā sabrukšanai. Reģistrē starprezultātus. Sloganas beigās (paraugam sabrūkot) reģistrē maksimālo slodzi P_c un pārvietojumu u . Atbrīvo paraugu no turētājiem.
8. Aprēķina komplianci c katram paraugam.
9. Grafiski attēlo sakarību $c = f(l)$.
10. No iegūtā grafika atrod $\frac{dc}{dl}$. Šai nolūkā izvēlas aproksimāciju grafika punktiem. Izvēlētās aproksimācijas veids jāpamato no teorijas viedokļa.
11. Nosaka organiskā stikla kritisko sprieguma intensitātes koeficientu K_c .
12. Sagatavo pārbaudes atskaiti. Mēriju mu un atskaites rakstīšanas laikā mēģināt atbildēt uz jautājumu par rezultātu precizitāti, atkārtojamību, ticamību.

7 Kontroljautājumi

Katram jautājumam ir jāizvēlas viena atbilde. Aprēķinu gadījumā rezultāts jānoapaļo.

Literatūras saraksts

- [1] Pmma properties. <http://www.matbase.com/material/polymers/commodity/pmma/properties>.
- [2] Wikipedia: Compact tension specimen. http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_tension_specimen.
- [3] Wikipedia: Euler–bernoulli beam theory. http://en.wikipedia.org/wiki/Euler%20%93Bernoulli_beam_theory.
- [4] Wikipedia: Fracture mechanics. http://en.wikipedia.org/wiki/Fracture_mechanics.
- [5] Wikipedia: Fracture toughness. http://en.wikipedia.org/wiki/Fracture_toughness.
- [6] Wikipedia: Polymethyl methacrylate. http://en.wikipedia.org/wiki/Polymethyl_methacrylate.
- [7] Wikipedia: Strain energy release rate. http://en.wikipedia.org/wiki/Strain_energy_release_rate.
- [8] Wikipedia: Stress intensity factor. http://en.wikipedia.org/wiki/Stress_intensity_factor.
- [9] Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений, Справочное пособие. 1981.
- [10] Механика разрушения прочность материалов, Справочное пособие, ч.3. 1988.
- [11] Сопротивление материалов деформированию и разрушению, Справочное пособие, ч.1. 1993.
- [12] A.F. Bower. Applied mechanics of solids. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
- [13] B.J. Goodno J.M. Gere. Mechanics of Materials. 2009.
- [14] J.F. Knott. Fundamentals of fracture mechanics [Дж. Нотт, Основы механики и разрушения, 1978]. 1973.
- [15] T. Kundu. Fundamentals of fracture mechanics. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.

- [16] David Roylance. Introduction to fracture mechanics. Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139; <http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/>, 2001.
- [17] J.E. Srawley. Wide-range stress intensity factor expressions for astm e-399 standard fracture toughness specimens. International Journal of Fracture, 12:475–476, 1976.

A Testēšanas pārskata paraugs

Testēšanas pārskats

Paraugs Nr. 1

Parauga izmēri

Mērījums	Parauga platums w (mm)	Parauga biezums b (mm)
1.		
2.		
3.		
vidēji		

Plaisas garums _____ mm

Paraugs Nr. 2

Parauga izmēri

Mērījums	Parauga platums w (mm)	Parauga biezums b (mm)
1.		
2.		
3.		
vidēji		

Plaisas garums _____ mm

Paraugs Nr. 3

Parauga izmēri

Mērījums	Parauga platums w (mm)	Parauga biezums b (mm)
1.		
2.		
3.		
vidēji		

Plaisas garums _____ mm

Paraugs Nr. 4

Parauga izmēri

Mērījums	Parauga platums w (mm)	Parauga biezums b (mm)
1.		
2.		
3.		
vidēji		

Plaisas garums _____ mm

Paraugs Nr. 5

Parauga izmēri

Mērījums	Parauga platumis w (mm)	Parauga biezums b (mm)
1.		
2.		
3.		
vidēji		

Plaisas garums _____ mm

Parauga Nr.	Maksimālā slodze P_{max} (N)	Maksimālais pārvietojums u (mm)	Kompliance c [m/N]
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

$$\frac{dc}{dl} = \text{_____}$$

Organiskā stikla elastības modulis $E = \text{_____}$ (vai nu ir noteikts laboratorijas darba “Materiālu mehāniskās īpašības” gaitā vai tiek pieņemts 3300 MPa).

Piektā parauga kritiskā slodze $P_c = \text{_____}$.

Organiskā stikla kritiskais sprieguma intensitātes koeficients $K_c = \text{_____}$.