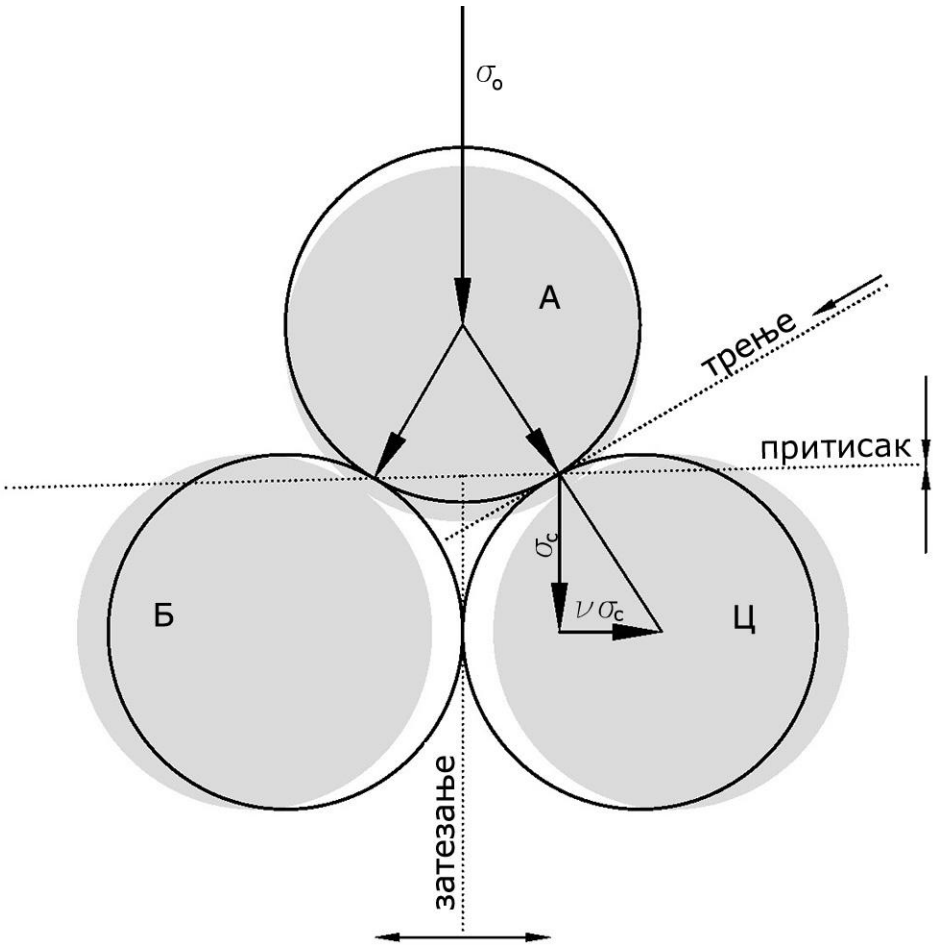
Лом стене

Кључно питање у анализи стабилности и димензионисању подземне конструкције јесте: Како и под којим условима долази до лома стене; Који услови треба да буду испуњени да би дошло до лома, односно који је критеријум лома. Када је то познато, онда је могуће димензионисати конструкцију тако да до лома не дође, укључујући и димензионисање подградне конструкције.

Лом ће бити објашњен на једноставном свима добро познатом опиту једноаксијалног притисног оптерећења. Оптерећени узорак се деформише у аксијалном и радијалном правцу, тј у правцу оптерећења (σ_0) се сабија, скраћује, а у радијалном правцу (управно на оптерећење) се шири. У једном моменту дође до његовог лома и сломљени узорак изгледа као на слици 1. Уколико у узорку нема предиспонираних ослабљених површи у њему се формирају генерално вертикалне тензионе пукотине.

Слика 1. Изглед сломљеног узорка

Тензионе пукотине у притиснутом узорку настају као последица препакивања стенских честица, слика 2. Притиснута честица „А" се утискује између честица „Б" и „Ц" и при том их размиче. При том се честица „А" површином која је у контакту клиза по одговарајућим површинама честица „Б" и „Ц". Услед овога узорак је управно на оптерећење изложен притисном напрезању, а радијално је изложен затезању. Ако је однос дилатација у аксијалном и радијалном правцу Поасонов коефицијент и ако је модул еластичности исти и за притисак и за затезање онда се тако односе и напони, односно силе притиска. Па је у тренутку лома радијална сила притиска која помера честице бочно $(\nu \cdot \sigma_o)$. Овој сили се супротставља кохезија тј. чврстоћа на затезање (σ_t) и трење тј. $(\sigma_t tg\varphi)$.



Слика 2. Механизам настанка вертикалних тензионих пукотина у притиснутом узорку

Па је:

$$\nu\sigma_{\text{o}} = \sigma_t + \sigma_t\, tg\varphi, \text{ односно}$$

$$\sigma_{\text{o}} = \frac{\sigma_t}{\nu}(1 + \ tg\varphi), \text{ односно}$$

$$\sigma_t = \frac{\nu\sigma_{\text{o}}}{1 + tg\varphi}$$

Ова формула важи за опит једноаксијалног притисног оптерећења и у стенском масиву на ободу подземних просторија. У општем случају је:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_t + \sigma_3}{\nu}(1 + \ tg\varphi)$$

Где су σ_1 и σ_3 максимални и минимални главни напони.

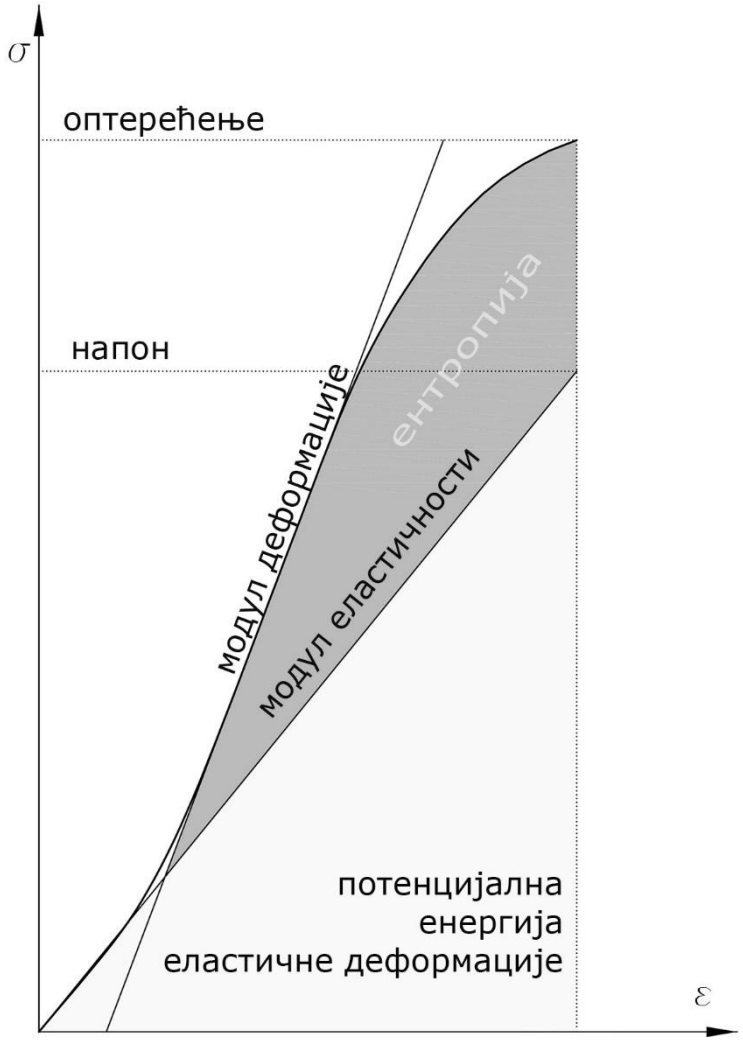
Напон и деформациона крива

Током опита једноаксијалног притиска мери се деформација узорка и црта деформациона крива која се погрешно назива напонско-деформациона крива. Пошло је се од погрешне претпоставке да је притисак клипа на узорак бројчано једнак нормалном притисном напрезању у узорку.

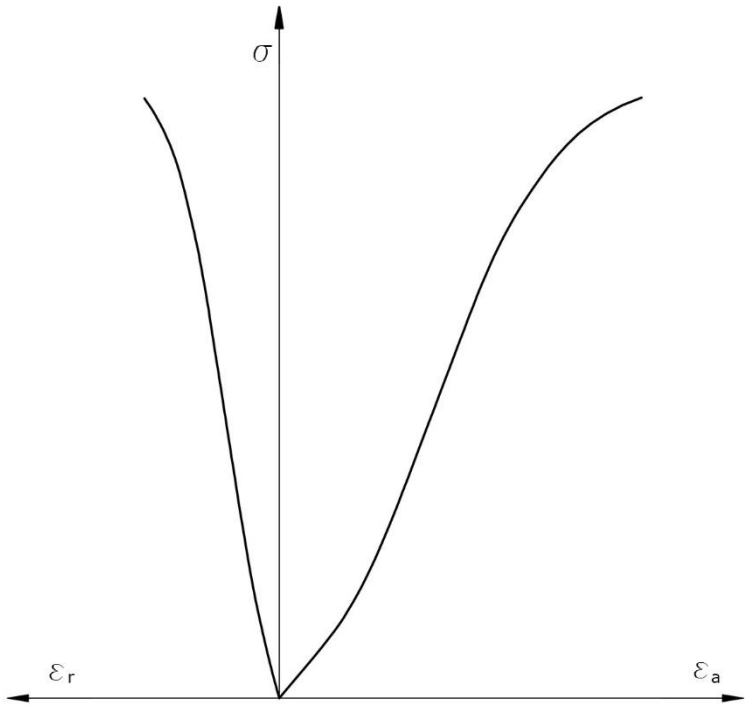
Типичну деформациону криву код опита једноаксијалног притиска, слика 3 можемо поделити на три зоне. Прва зона (1) коју карактерише линеаран однос између оптерећења узорка и деформација је зона у којој се обавља само еластична деформација. Силе које врше деформацију су мање од сила које се деформацији супростављају, односно од отпора унутрашњег трења ($\sigma_t tg\varphi$). Због тога се врши само еластична деформација и то је почетни модул деформације који је идентичан модулу еластичности. Потом деформациона крива постаје стрмија због укључења отпора унутрашњег трења услед различитоg кретања честица у контакту. У овој зони (2) модул деформације је већи од модула еластичности, али је зависност између оптерећења и деформације линеарна. Трећа зона (3) почиње са повијањем деформационе криве, односно прираст деформација је већи од прираста оптерећења. До овога долази када се услед трења честице на контактним површинама толико загреју да им се смањује угао трења. Укупан извршен деформациони рад током оптерећења се делом

конвертује у потенцијалну енергију еластичног деформисања, а делом се претвара у топлоту произведену трењем и представља ентропију.

Током опита једноаксијалног притисног оптерећења мере се и бочне деформације узорка на основу којих се израчунава Поасонов коефицијент. Веома често се у техничким извештајима даје комплетна деформациона крива, слика 4. У четвртом квадранту се црта крива бочног деформисања у функцији аксијалног оптерећења.



Слика 3. Деформациона крива



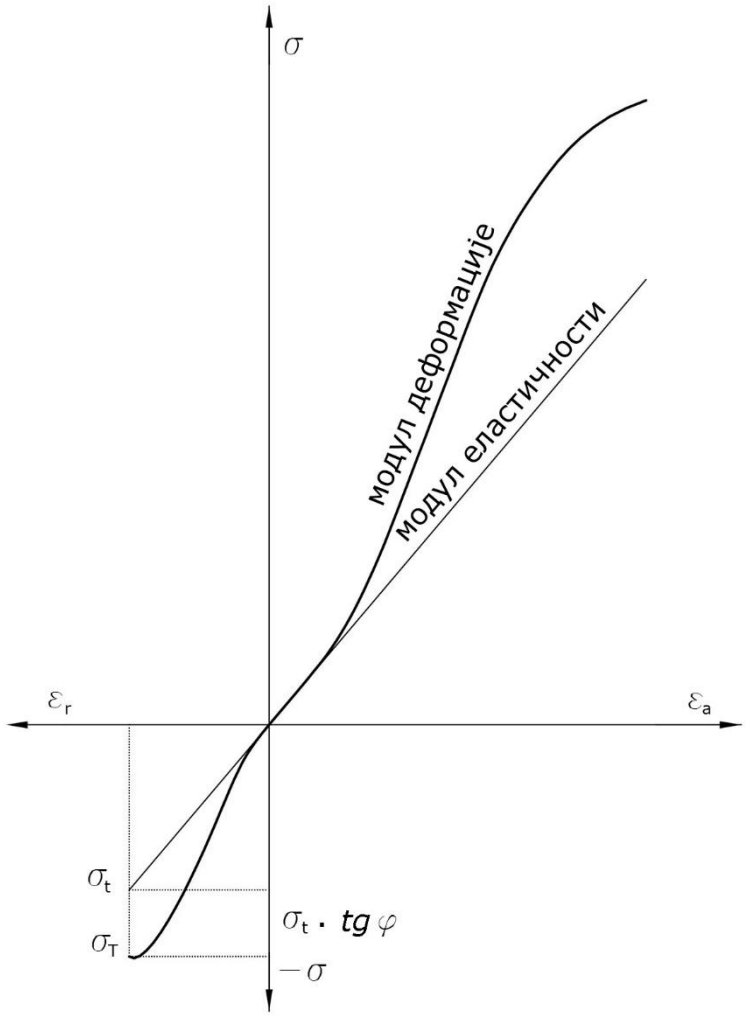
Слика 4. Комплетна деформациона крива

Ову криву треба цртати у трећем квадранту, слика 5, а на следећи начин. Ако су модул еластичности и модул деформације исти и код затезања и код притиска, онда за сваку вредност модула деформације и одговарајућу вредност радијалне дилатације можемо израчунати вредност бочног оптерећења које изазива затезање.

Са тим израчунатим вредностима можемо нацртати деформациону криву бочне дилатације у функцији бочног оптерећења које изазива затезање. На овај начин добили смо комплетну деформациону криву.

Укупан деформациони рад затезања састоји се од напона затезања или потенцијалне енергије еластичне деформације затезања и ентропије или деформационог рада трења који је конвертован у топлоту.

Дакле, на основу једноставног опита једноаксијалног притисног оптерећења током којег је мерена аксијална и радијална деформација може се:



Слика 5. Деформациона крива притисак-затезање

- Нацртати деформациона крива притисак-затезање са које се може скинути модул деформације (E_d);
- Одредити модул еластичности (E);
- Израчунати Поасонов коефицијент (ν);
- Одредити бочно оптерећење које изазива затезање (σ_T);
- Одредити затезна чврстоћа (σ_t);
- Израчунати угао унутрашњег трења $tg\varphi = \frac{\sigma_T}{\sigma_t} - 1$

Један једноставан и јефтин опит обезбеђује све параметре чврстоће и деформабилности стене, неопходне за прорачун стабилности.