

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Кафедра гірничих технологій і будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

1

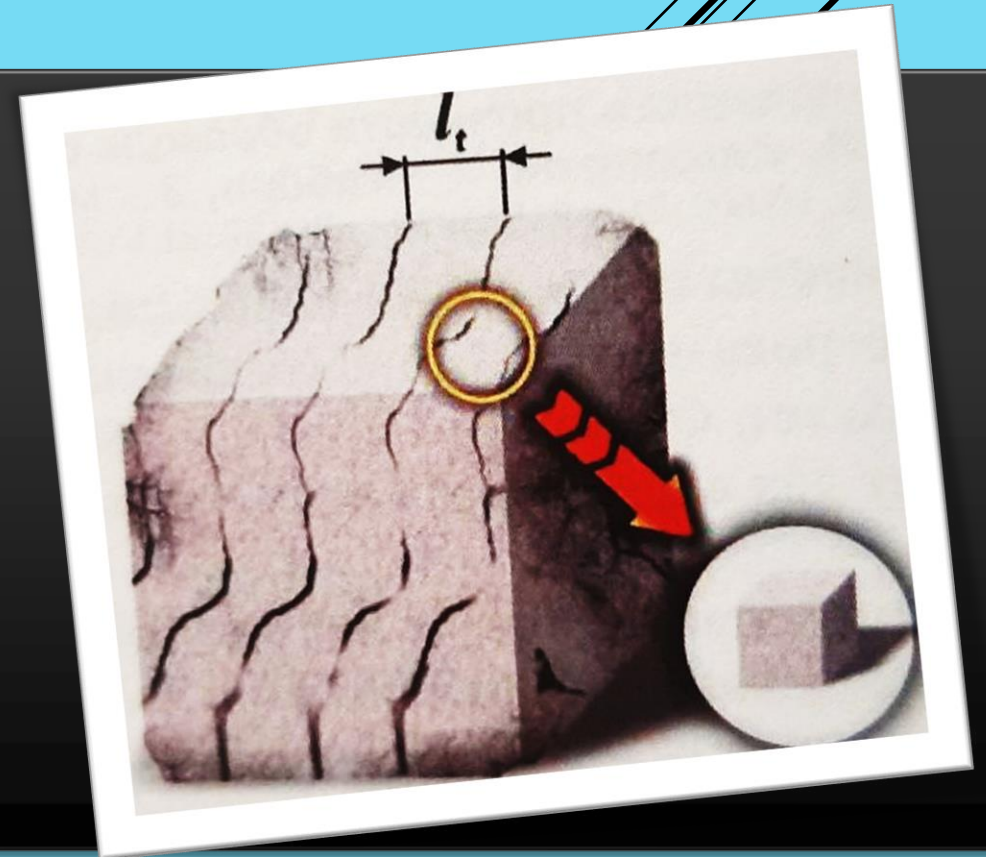
Деформування і руйнування гірських порід за межею міцності

2

Масштабний ефект в гірських породах

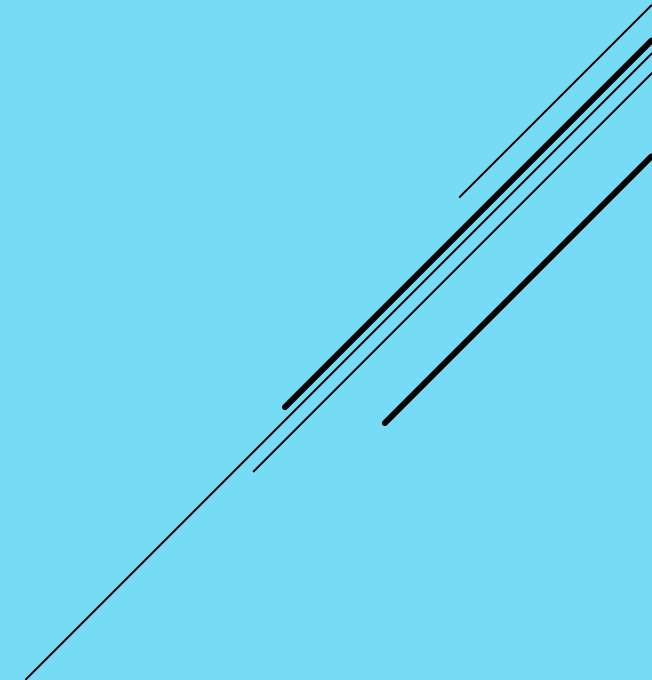
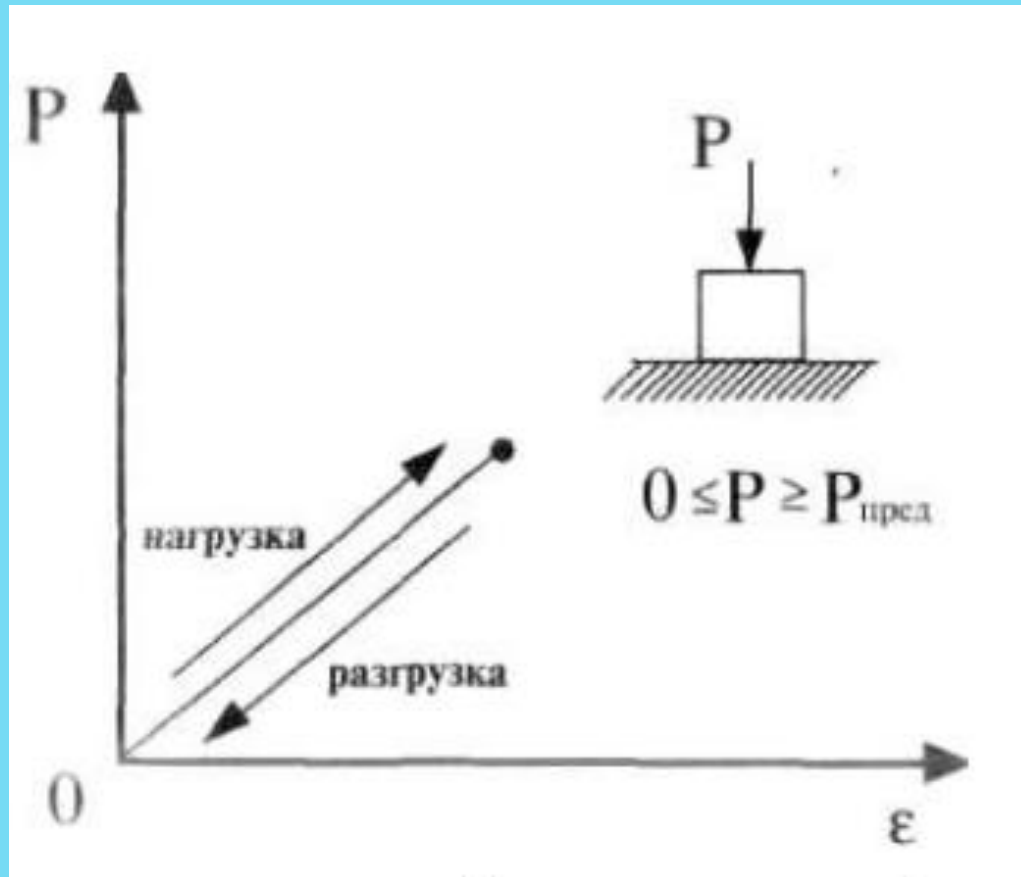
3

Реологічні властивості гірських порід

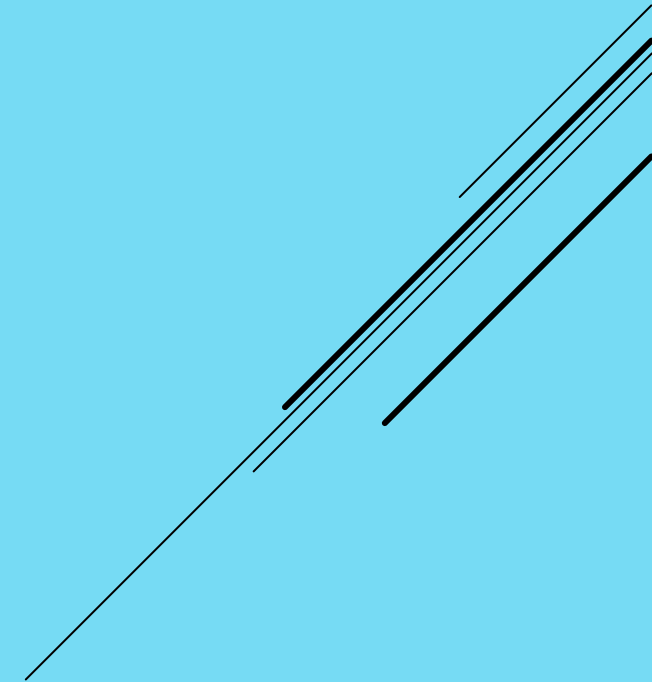
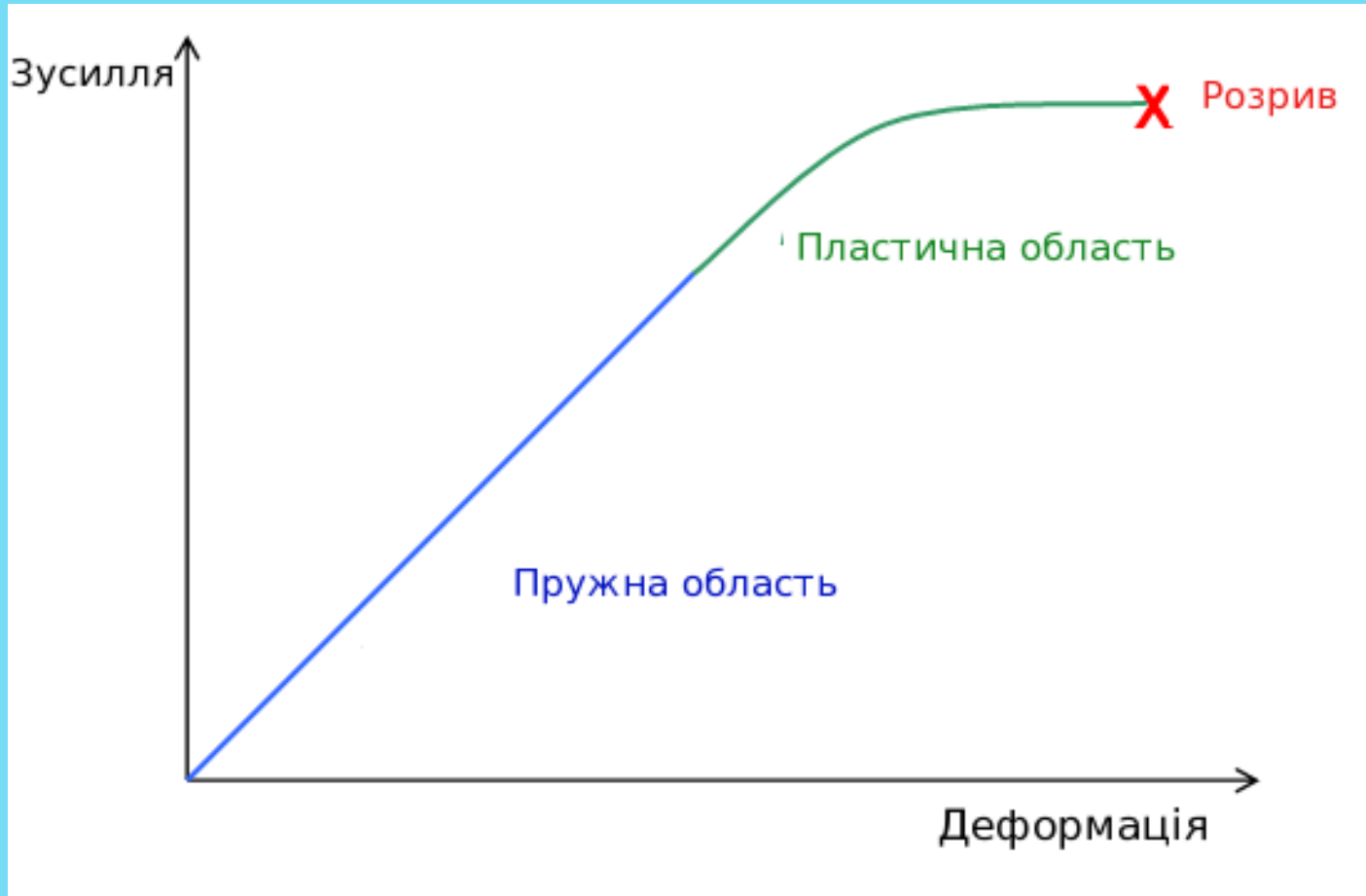


Лектор к.т.н., доцент
Павлов Євген Євгенійович

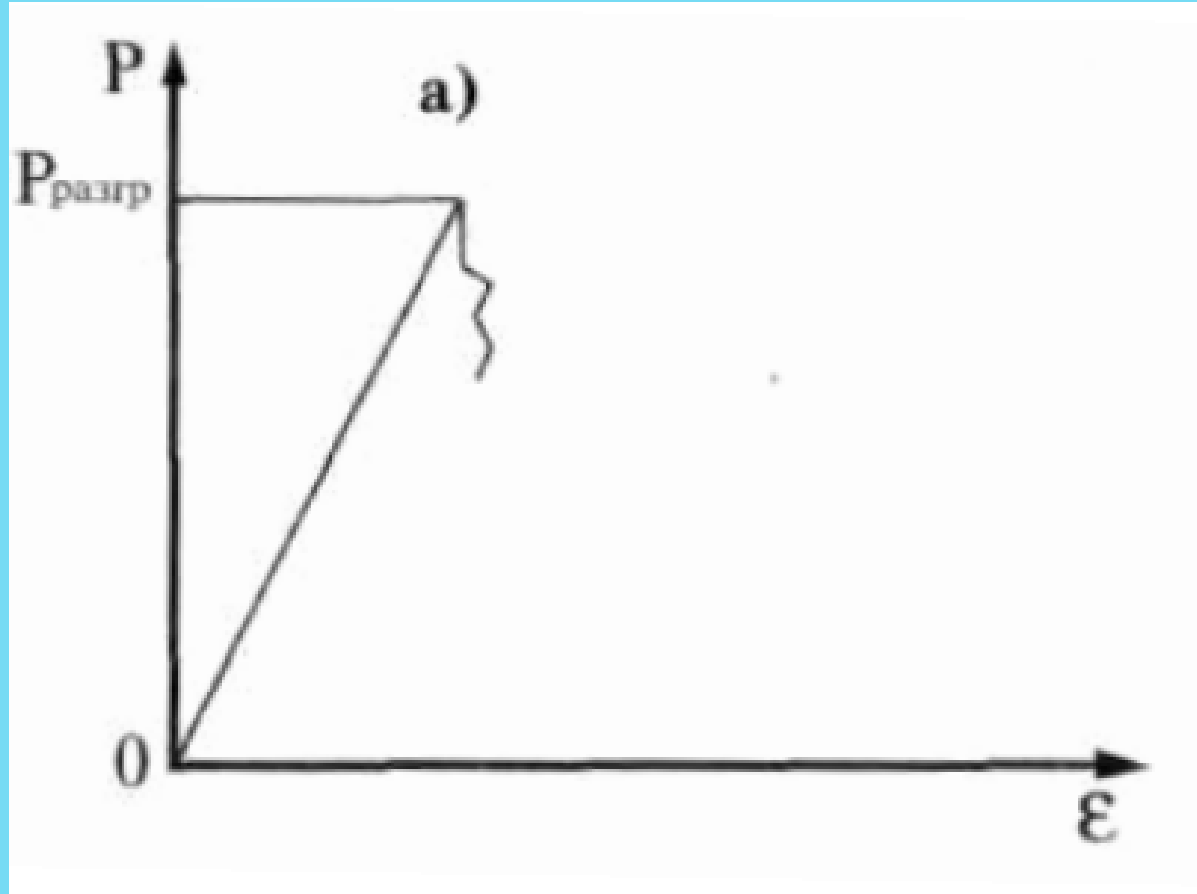
Пружність – властивість порід змінювати свою форму й об'єм під дією зовнішнього навантаження і відновлювати первісний стан після усунення впливу



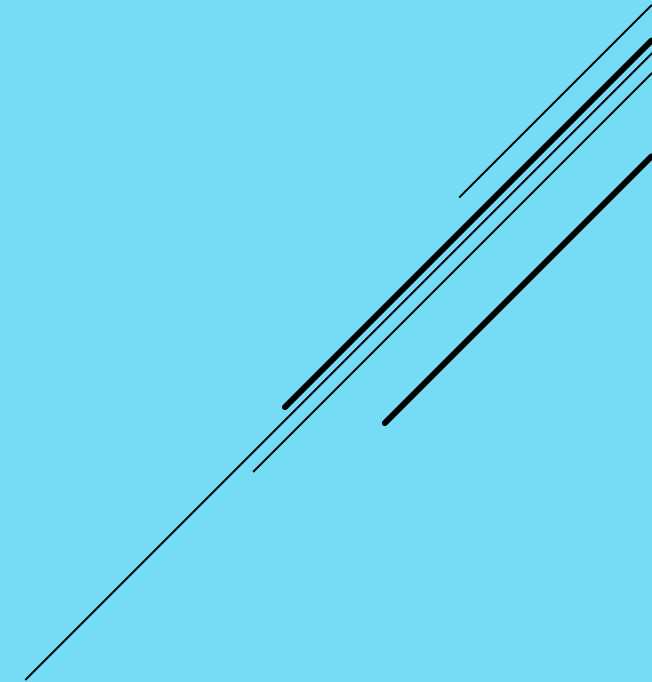
- **Пластичність** – властивість порід необоротно деформуватися під дією зовнішніх сил або внутрішніх напружень, тобто зазнавати пластичну (залишкову) деформацію без порушень суцільності матеріалу.



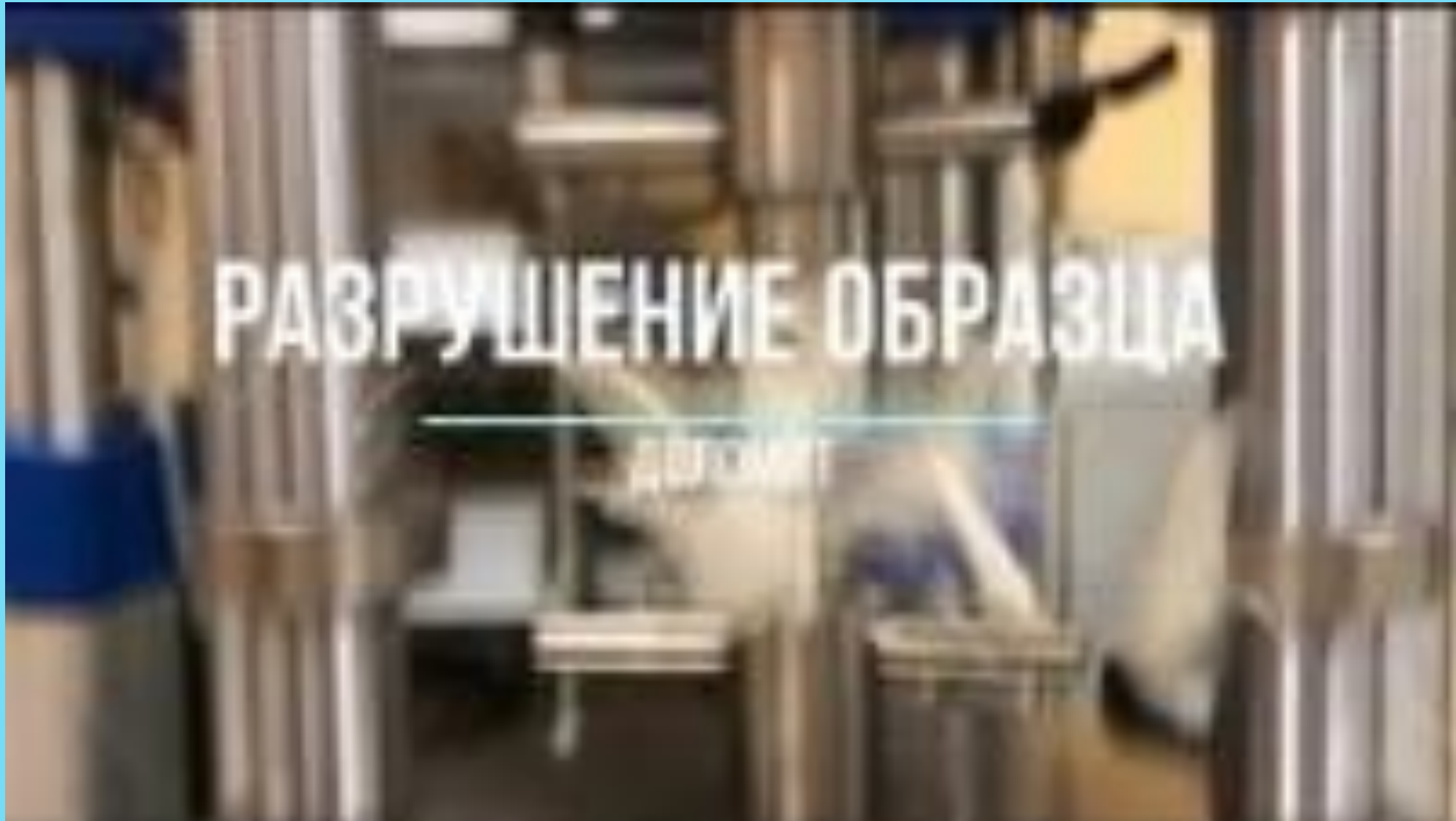
- **Крихкість** – здатність гірських порід набувати незворотніх (залишкових) деформацій після зняття навантаження.



Крихкість гірських порід



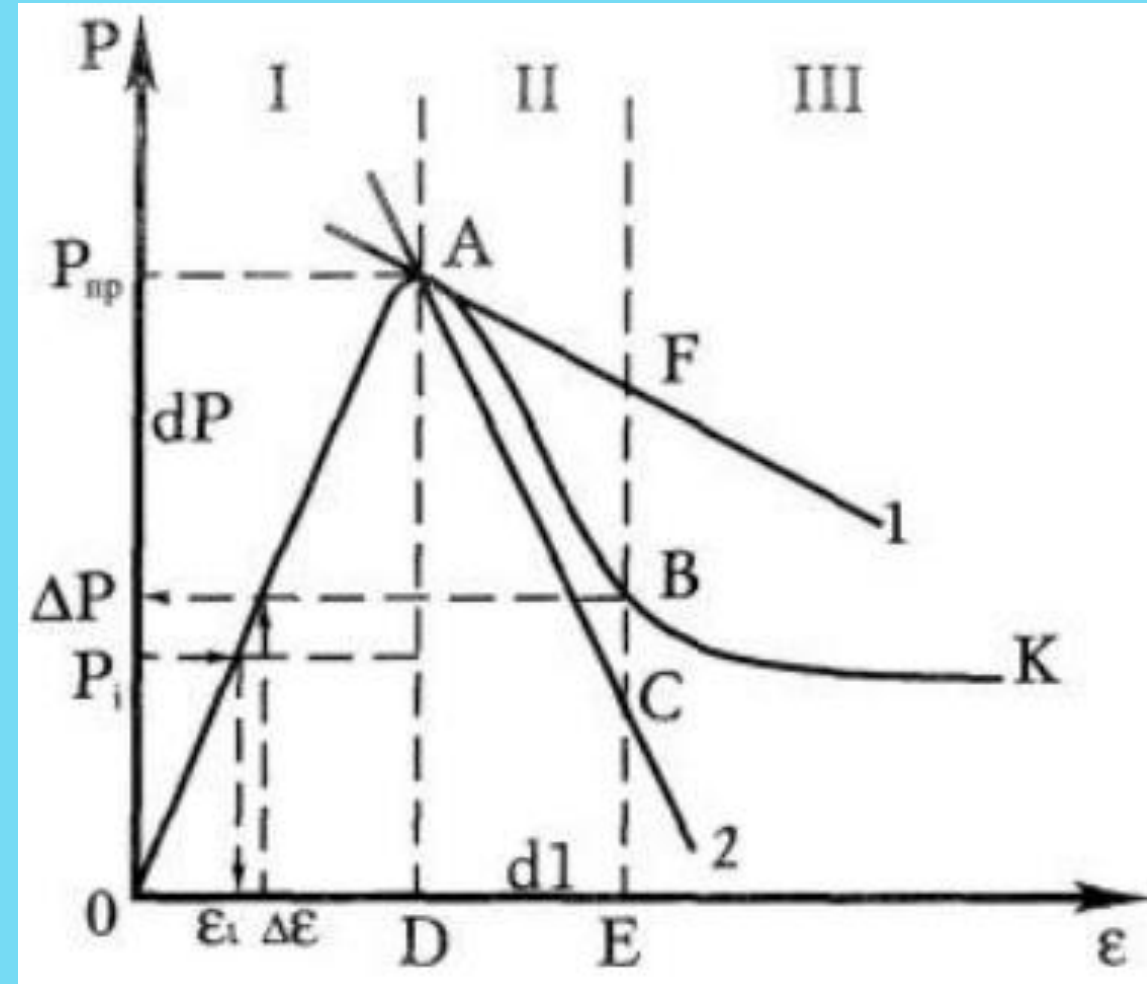
- ▶ **Крихкість** – здатність гірських порід набувати незворотних (залишкових) деформацій після зняття навантаження.



ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ

У процесі навантаження породний зразок проходить ряд послідовних напружено-деформованих станів від нульового до граничного. У найпростішому випадку при одноосному стисненні (розтягуванні) одному компоненту напруги відповідає один компонент відносних повздовжніх деформацій: $\sigma = f(\varepsilon)$.

Досягти граничного стану ($\sigma_{гр}$; $\varepsilon_{гр}$) можна двома шляхами: у **режимі заданих навантажень (РЗН)** і в **режимі заданих деформацій (РЗД)**.

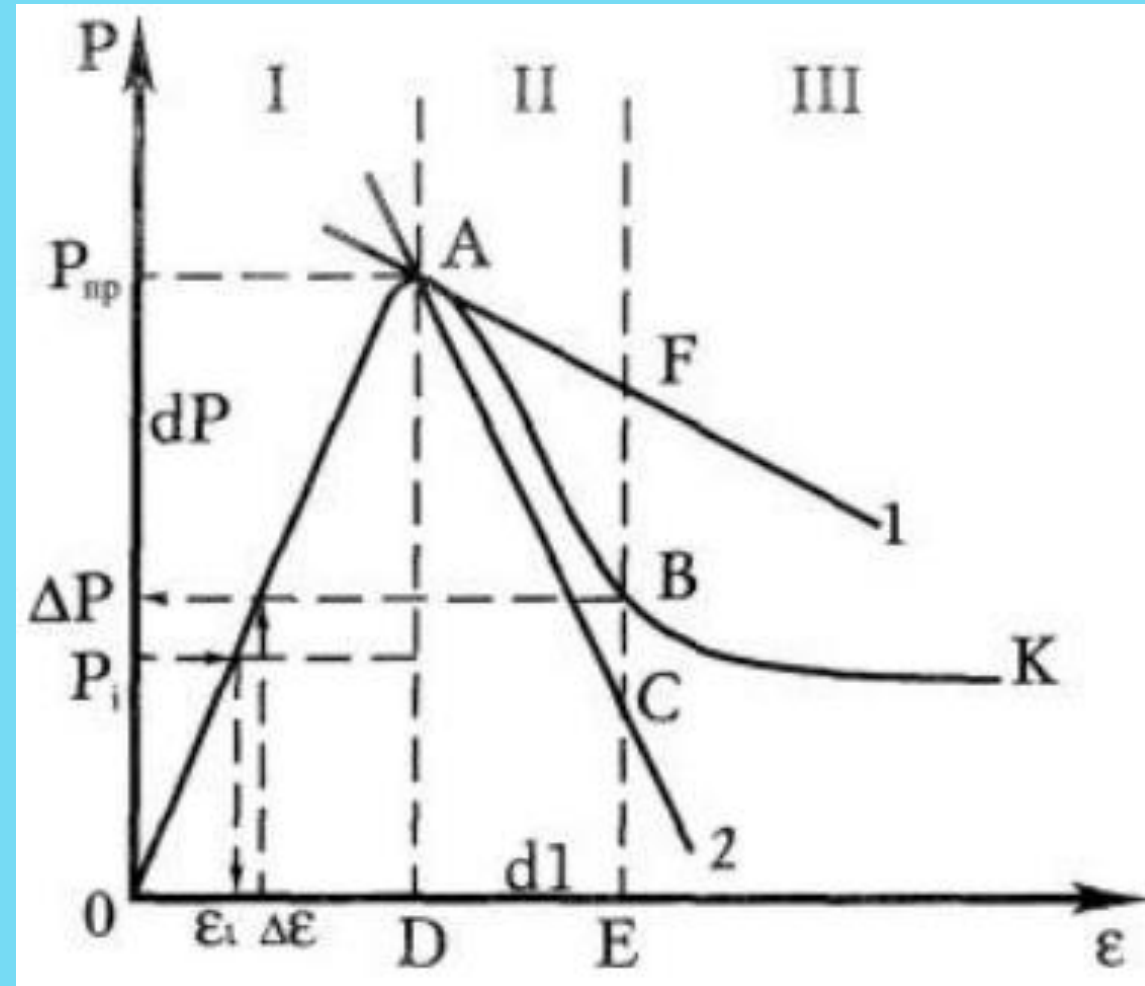


Деформування гірських порід за межею міцності:

- 1 – характеристика нежорсткого пресу;
- 2 – характеристика жорсткого пресу

ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ

У режимі заданих навантажень (РЗН) на пульті преса задають послідовно з певним інтервалом навантаження і фіксують в автоматичному режимі відповідні прирости деформацій. Досягши граничних навантажень $P_{гр}$ починають руйнуватися перші структурні зв'язки і потенційна енергія, накопичена у випробувальній машині, викликає лавиноподібне руйнування зв'язків, які залишилися, що приводить до руйнування зразка.



Деформування гірських порід за межею міцності:

- 1 – характеристика нежорсткого пресу;
- 2 – характеристика жорсткого пресу

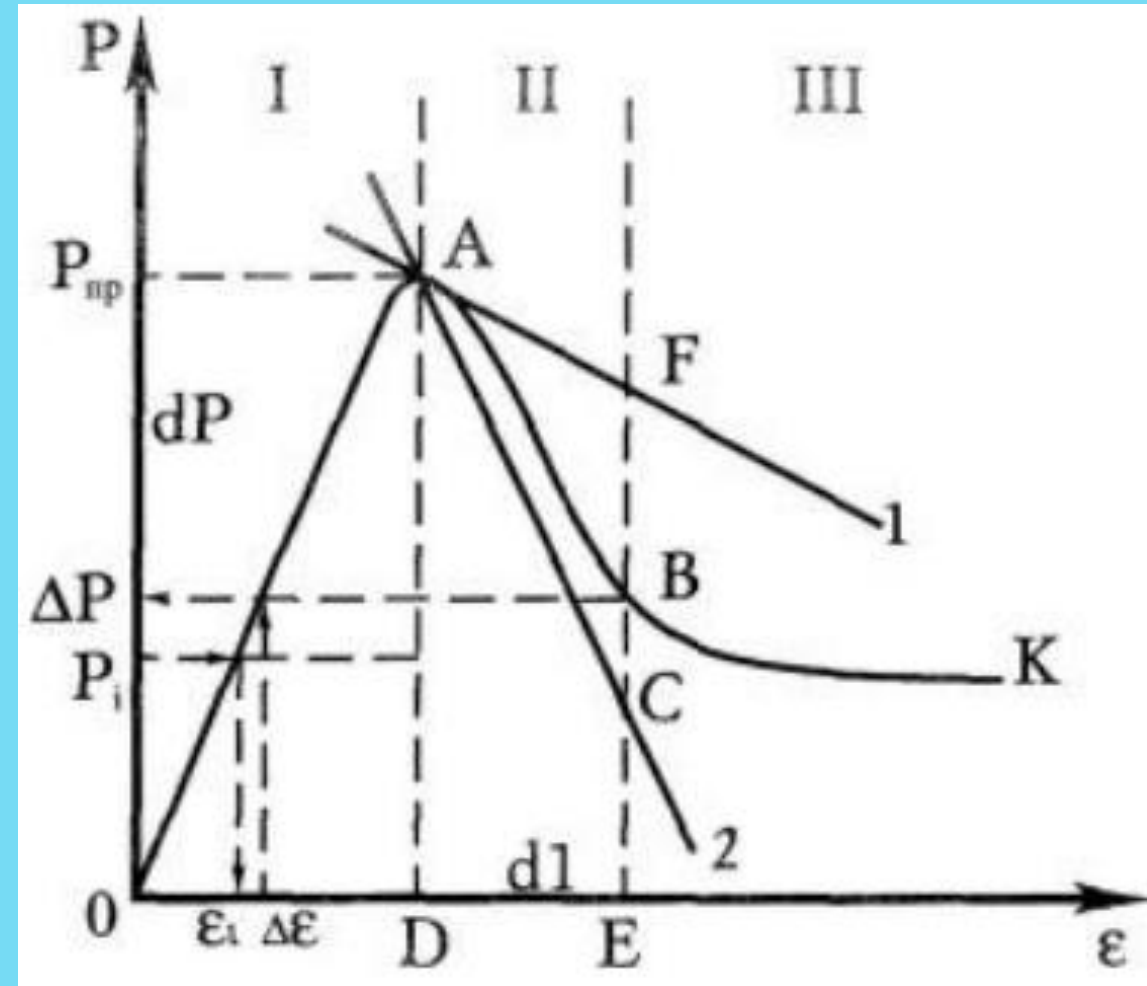
ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ

У режимі заданих деформацій (РЗД)

випробувальна машина повинна бути сконструйована так, щоб була можливість задавати деформацію, що строго фіксується, з кроком γ і вимірювати відповідні їй зміни навантаження P .

При деформації після досягнення межі міцності зразок знижує свій опір: на ділянці деформування DE опір зразка падає від точки А до точки В. Енергія, необхідна для деформування зразка на цій ділянці, рівна площі ABED.

На початку розглядуваної ділянки (точка А) опір зразка і сила пресу були рівними між собою. При цьому напруженні частини пресу виявляються пружно деформованими.



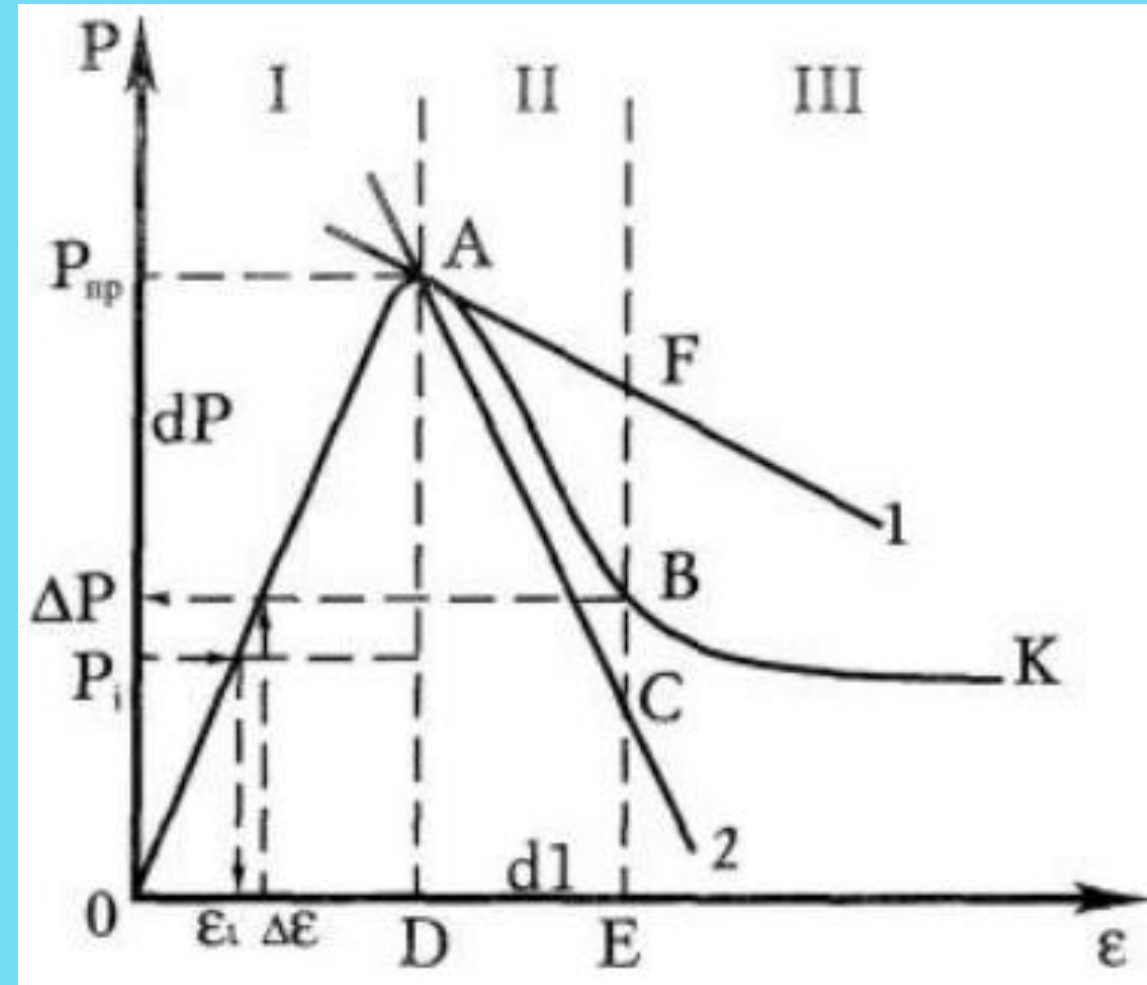
Деформування гірських порід за межею міцності:

- 1 – характеристика нежорсткого пресу;
- 2 – характеристика жорсткого пресу

ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ

Енергія пружної деформації накопичується в колонах преса, в зігнутих траверсах, у стиснутому маслі гідроциліндрів.

При зменшенні відстані між плитами пресу на величину DE створюване їм зусилля зменшиться на величину dP . При цьому, якщо прес недостатньо жорсткий, зусилля знизиться до точки F і потенційна енергія, що виділилася при цьому, рівна площі $AFED$, перевищить енергію, необхідну для руйнування зразка на ділянці DE . Надлишок енергії, рівний площі AFB , піде на прискорення навантажуючих частин преса, процес руйнування стає некерованим і супроводжуватиметься динамічними явищами (ударом, розльотом осколків).



Деформування гірських порід за межею міцності:

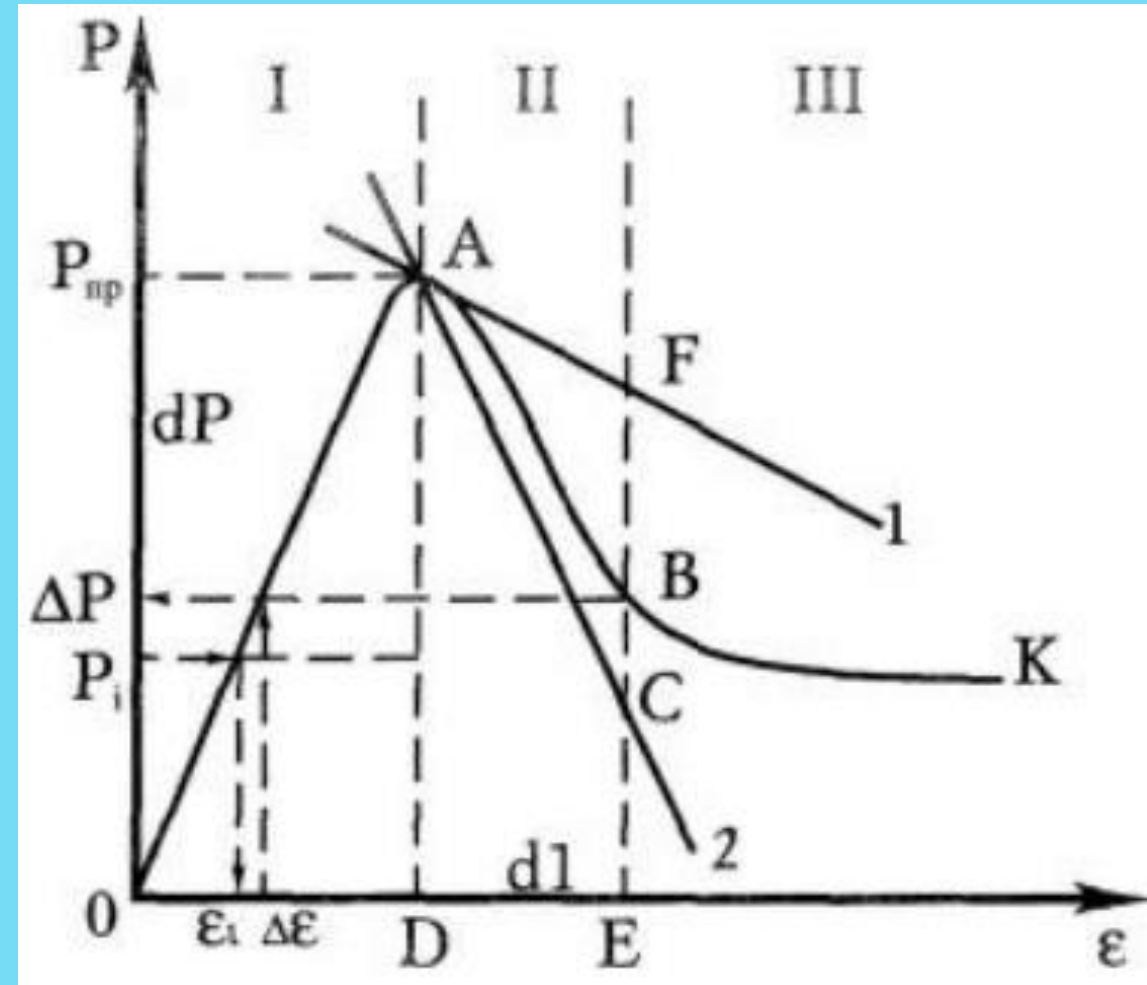
- 1 – характеристика нежорсткого пресу;
- 2 – характеристика жорсткого пресу

ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ

Якщо ж прес має жорстку конструкцію і його елементи мало деформуються під навантаженням, то зменшення відстані між плитами викличе зниження зусилля преса до точки С, лежачої нижче характеристики зразка.

Енергія АСЕD, що виділяється при цьому, менша необхідної енергії руйнування зразка і тому руйнування лише за рахунок енергії пружних деформацій пресу неможливе.

Для переведення зразка із стану А в стан В необхідна додаткова енергія, яка рівна площі АВС, що підводиться ззовні, наприклад, шляхом підкачки масла в гідросистему пресу.



Деформування гірських порід за межею міцності:

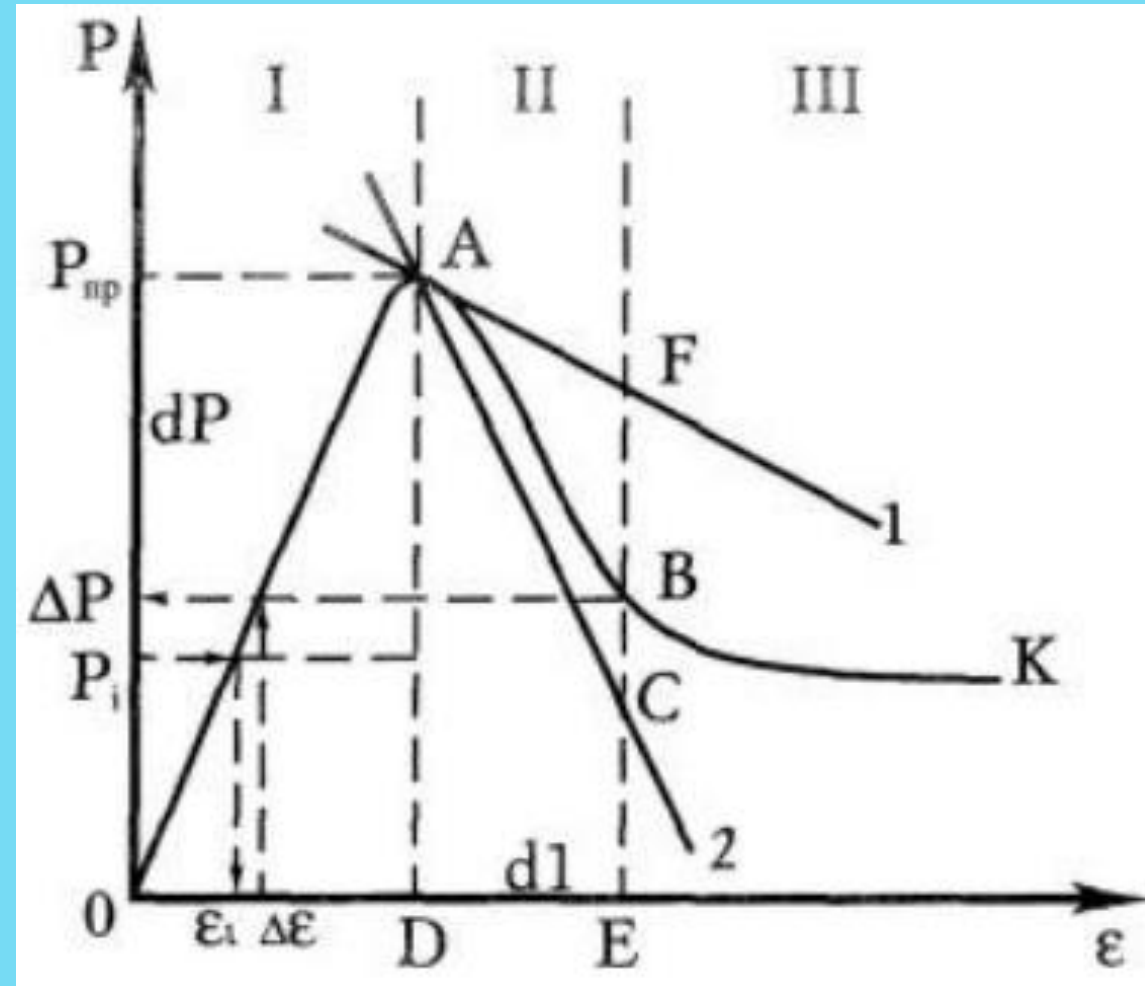
- 1 – характеристика нежорсткого пресу;
- 2 – характеристика жорсткого пресу

ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ

Таким чином, для отримання позамежних характеристик породних зразків необхідно, щоб характеристика пресу була крутішою позамежної частини графіка деформації зразка. Крутизна характеристики називається жорсткістю пресу і визначається за формулою

$$Q = \frac{dP}{dl},$$

де dP – зміна зусилля пресу при зміні відстані між його навантажуючими поверхнями на величину dl при інших постійних параметрах.

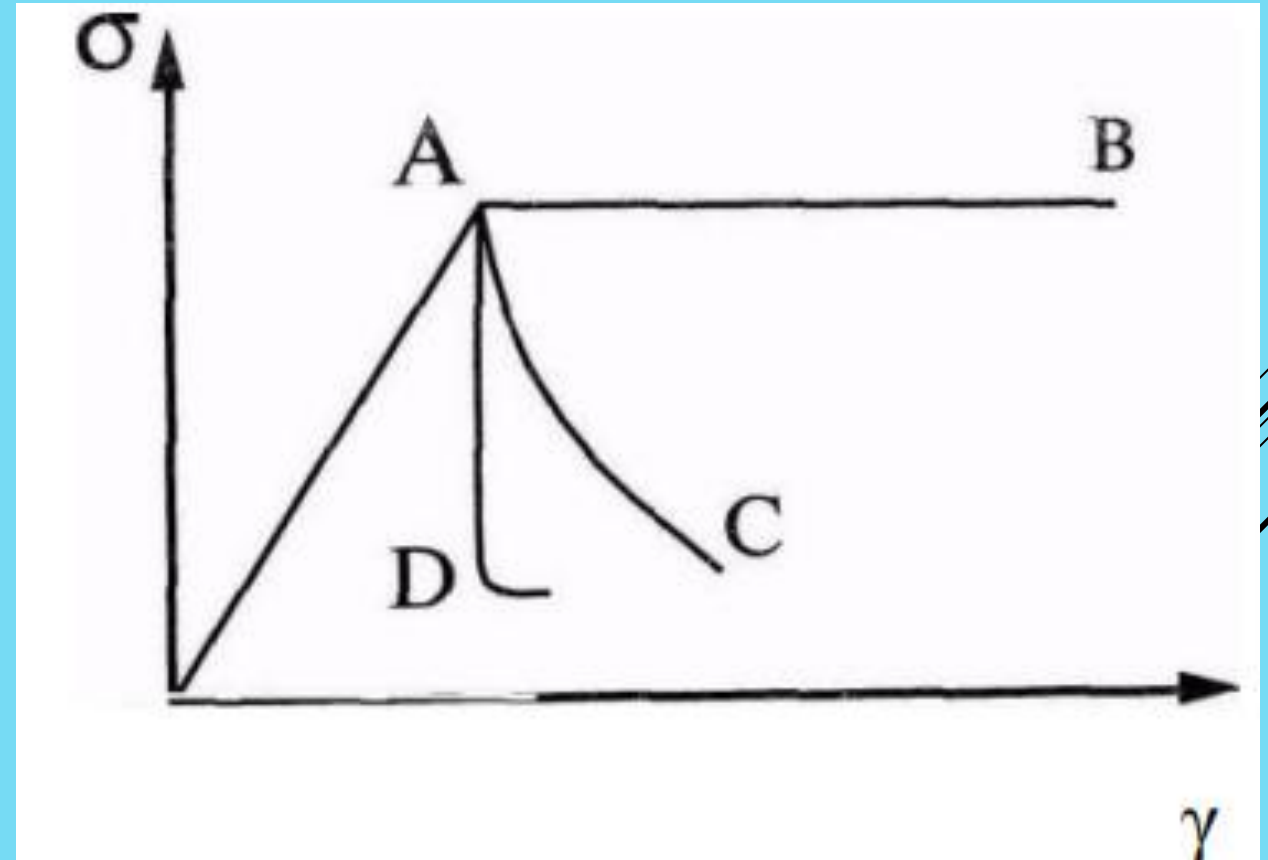


Деформування гірських порід за межею міцності:

- 1 – характеристика нежорсткого пресу;
- 2 – характеристика жорсткого пресу

ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД

- ▶ Крутизна позамежної частини графіка деформації показує схильність породи до крихкого руйнування.
- ▶ Аналогічно тому, як величина **E** в пружній частині домежевої деформації називається **модулем пружності**, пропонується величину $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ у позамежній частині називати **модулем крихкості**, або **модулем спаду M**. У цьому випадку породи:
 - ▶ з $M \rightarrow 0$ вважатимуть крихкими,
 - ▶ з $M \rightarrow \infty$ – пластичними.



Графік деформування

ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД

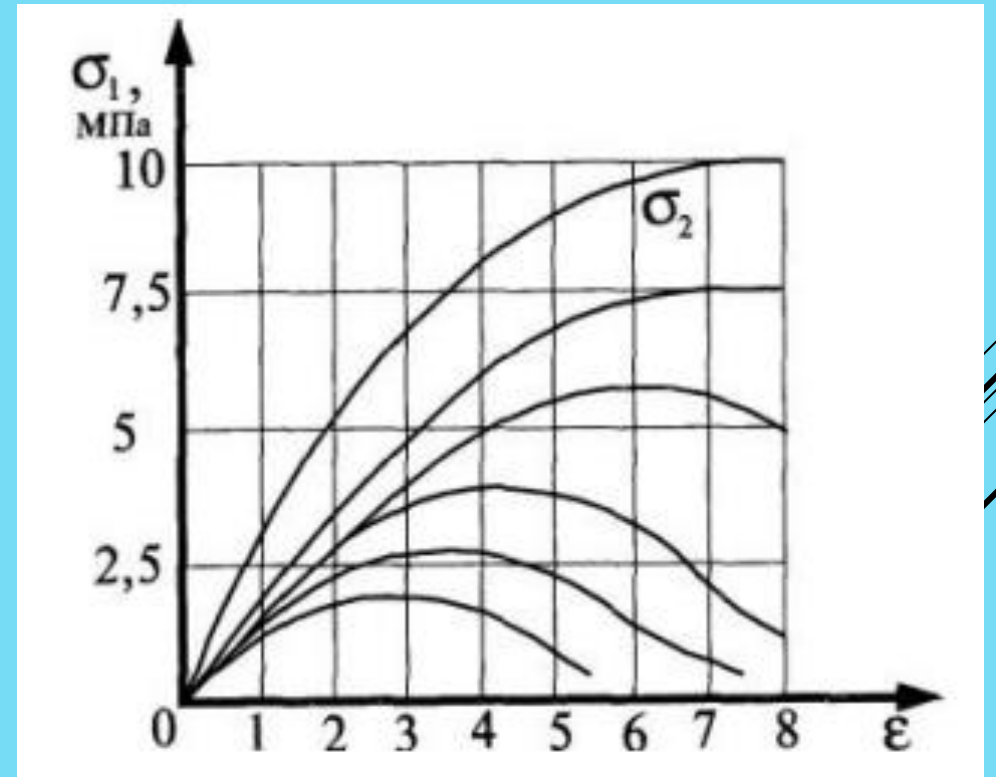
У режимі контрольованого руйнування в умовах об'ємного стиснення зразки випробовують в особливих приладах – стабілометрах, в яких робочим тілом, що створює бічне навантаження, служить рідина, наприклад, трансформаторне масло.

При жорсткому навантаженні гірських порід виділяють наступні етапи деформації:

- ▶ I – етап пружної деформації: прирости осьових $\Delta\varepsilon_z$ і радіальних $\Delta\varepsilon_r$ відносних деформацій на цьому етапі зв'язані коефіцієнтом Пуассона μ :

$$\Delta\varepsilon_r = -\mu \cdot \Delta\varepsilon_z$$

Збільшення осьових деформацій викликає зменшення об'єму зразка



Деформування мармуру за межею міцності в умовах об'ємного навантаження

ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД

II – етап дилатансії: на цьому етапі відбувається розвиток тріщин у зразку, що супроводжується його розпушуванням, збільшенням об'єму і порівняно швидким збільшенням діаметру;

Приріст осьових і радіальних деформацій зв'язаний коефіцієнтом дилатансії β :

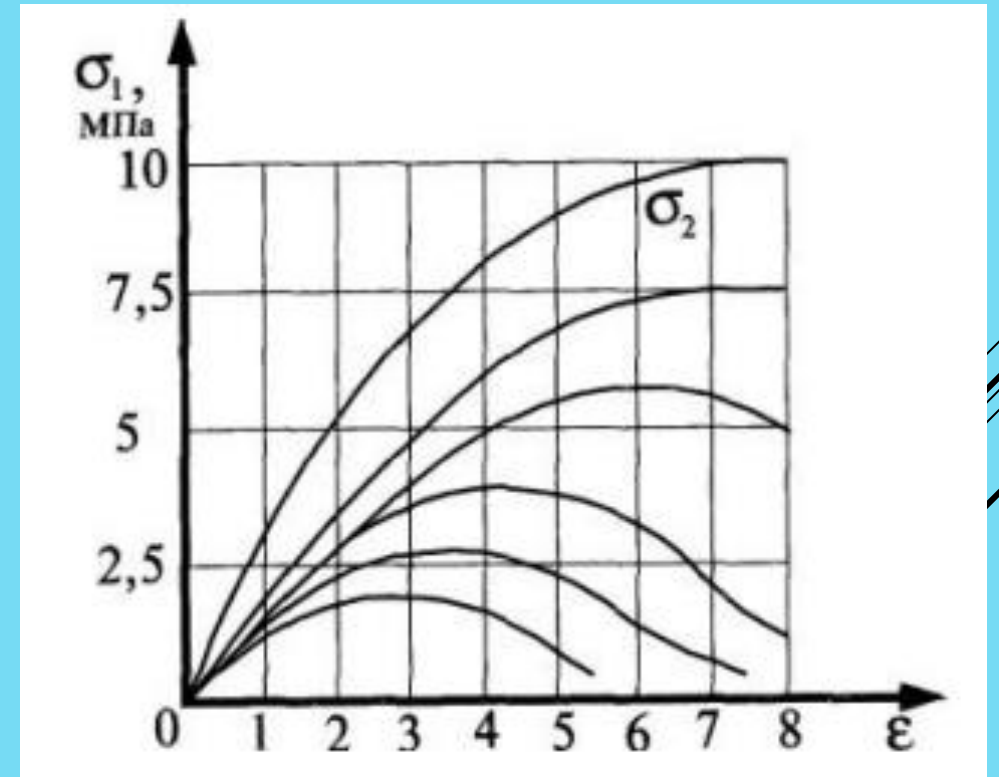
$$\Delta \epsilon_r = -\beta \cdot \Delta \epsilon_z$$

III – етап еківолюміальний: на цьому етапі об'єм зразка залишається постійним, а приріст осьових і радіальних деформацій зв'язаний співвідношенням:

$$\Delta \epsilon_r = -0,5 \cdot \Delta \epsilon_z$$

Поза межна деформація порід – цілком реальний процес, що має місце в гірських виробках:

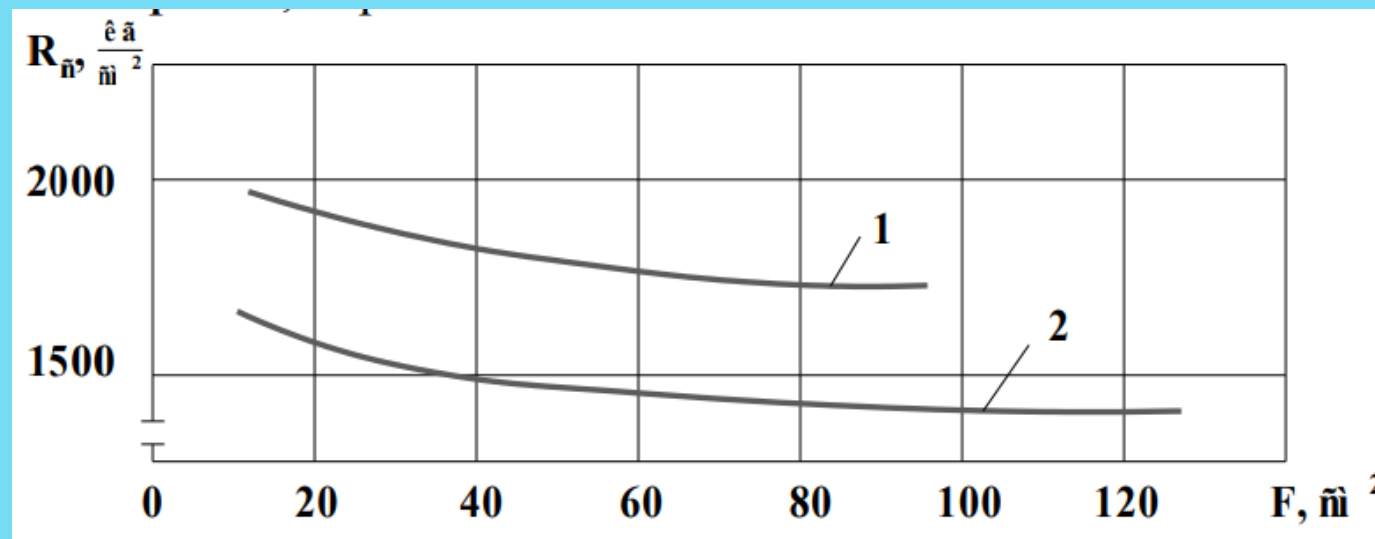
деформація порідних ціликів, приконтурного масиву виробок, краєва частина вугілля в лавах і т.д.



Деформування мармуру за межею міцності в умовах об'ємного навантаження

МАСШТАБНИЙ ЕФЕКТ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ

- У результаті виконання великої кількості випробувань на одновісне стиснення, було встановлено, що міцність геометрично подібних зразків неоднакова. Це явище було назване **масштабним ефектом**, а причини, що його викликають, **масштабним фактором**.



Залежність міцності зразків від їх розмірів (за Е.І. Ільницькою): 1 – габро, 2 – мармур

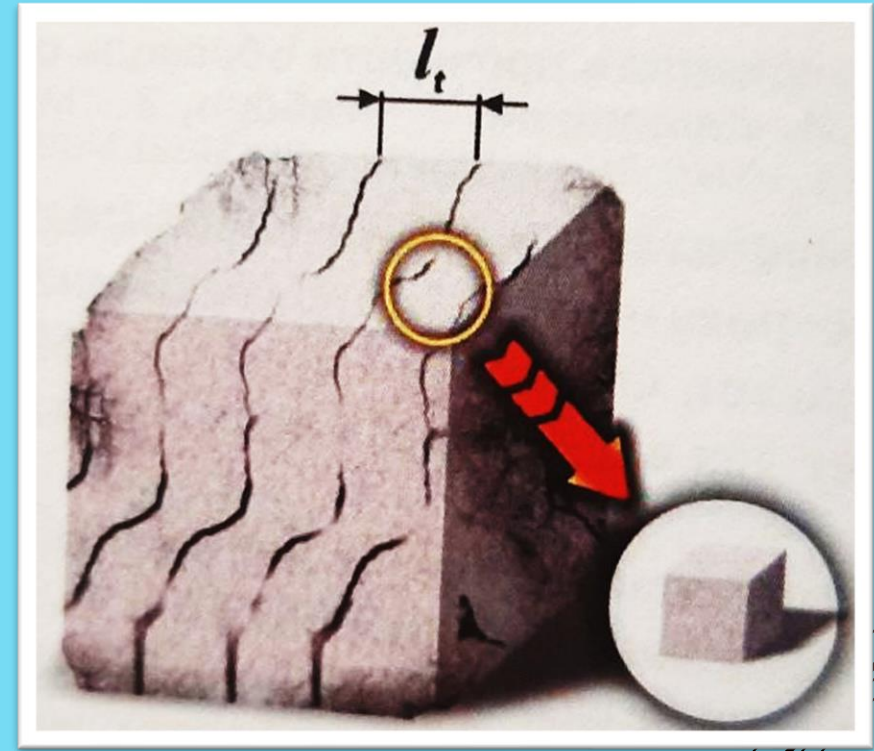
МАСШТАБНИЙ ЕФЕКТ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ

- Пояснення цьому дав М.І. Койфман. На його думку існує два види масштабного ефекту: **поверхневий і об'ємний**.

Поверхневий масштабний ефект з'являється внаслідок порушення поверхневого шару зразка при обробці. Причому, чим менший зразок, тим істотніше проявляється поверхневий ефект.

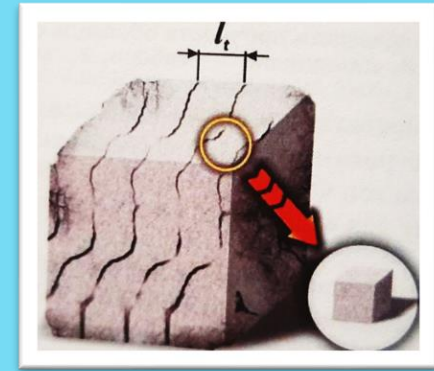
Суть **об'ємного** масштабного ефекту полягає у тому, що для реальних структурно неоднорідних тіл вірогідність появи дефекту (тріщина, слабке включення і т.п.) вища у крупних тіл. Тому із збільшенням об'єму міцність зразків неминуче повинна падати. Об'ємний масштабний ефект М.І. Койфман назвав головним.

Коефіцієнт структурного послаблення, дорівнює відношенню межі міцності на одновісне стиснення порідного масиву R_M до межі міцності зразка R_C



$$k_c = \frac{R_M}{R_C}.$$

МАСШТАБНИЙ ЕФЕКТ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ



Значення коефіцієнта структурного послаблення k_c

Середня відстань між поверхнями послаблення порід, м	>1,5	1,5-1	1-0,5	0,5-0,1	<0,1
k_c	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

- ▶ Механічні характеристики гірських порід визначають звичайно при короткочасному прикладенні навантажень. Елементи ж систем розробки, гірські виробки, кріплення сприймають навантаження протягом багатьох років.
- ▶ Питаннями поведінки матеріалів, в т.ч. і гірських порід, в умовах тривалих силових дій займається **реологія** – наука про текучість речовини.

Реологічне явище, яке заключається в тому, що з часом при постійному напруженні спостерігається зростання деформацій, носить назву **повзучості деформацій**.

Реологічне явище, яке заключається в тому, що з часом при постійній деформації спостерігається зменшення рівня напруження називається **релаксацією напружень**.

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

- ▶ **Задачею** реології є опис напружено-деформованого стану гірських порід і інших матеріалів з урахуванням їх схильності до повзучості і релаксації. Ця задача зводиться до складання рівнянь, які зв'язують в єдині співвідношення компоненти напружень, деформацій і їх похідних за часом.

Для наочності представлення реологічних процесів використовують **метод структурних моделей**. Цей метод полягає в тому, що властивості тіла описуються за допомогою особливим чином підібраної механічної моделі.

Модель повинна складатися з елементів, що ідеально відображають основні – фундаментальні якості вихідного матеріалу.

Основними є три елементи:

- пружний (гвинтова пружина) — пружне тіло Гука (H);
- в'язкий (гідрравлічний амортизатор) — в'язка рідина Ньютона (N);
- пластичний (пластинка із сухим тертям на фрикційній підкладці) — жорсткопластичне тіло Сен-Венана (StV).

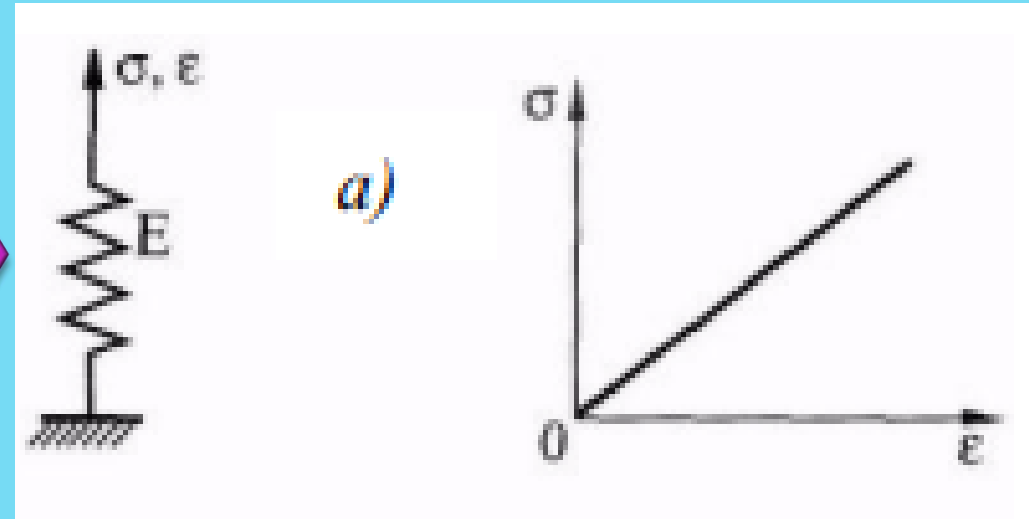
ЗВ'ЯЗОК МІЖ РОЗДІЛАМИ КЛАСИЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА РЕОЛОГІЄЮ РІДИН

<p><u>Механіка суцільних середовищ</u>: вивчення поведінки суцільних середовищ</p>	<p><u>Механіка деформівного твердого тіла</u>: вивчення поведінки твердих тіл в умовах навантажень.</p>	<p><u>Теорія пружності</u>: описує матеріали, котрі відновлюють свою форму після припинення силового впливу на них.</p>		
		<p><u>Механіка руйнування</u>: описує закономірності зародження і розвитку неоднорідностей і дефектів структури матеріалу типу тріщин, дислокацій, пор, включень і т.п. при статичних і динамічних навантаженнях.</p>		
	<p><u>Механіка рідин та газів</u>: дослідження поведінки суцільних середовищ (рідин та газів), що набувають форми посудини, у якій вони знаходяться.</p>	<p><u>Теорія пластичності</u>: описує матеріали (тіла) що набувають незворотної деформації після прикладання до них силових впливів.</p>	<p>Реологія: дослідження матеріалів, що характеризуються одночасно властивостями твердих тіл і рідин.</p>	
		<p><u>Неньютонівські рідини</u></p>		
		<p><u>Ньютонівські рідини</u></p>		

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Так, наприклад, при певному рівні навантажень і достатньо швидкому їх прикладанню всі тверді і зв'язні гірські породи поведуться як пружні тіла, що підкорюються закону Гука.

Так, наприклад, при певному рівні навантажень і достатньо швидкому їх прикладанню всі тверді і зв'язні гірські породи поведуться як пружні тіла, що підкоряються закону Гука.
Ця властивість твердих тіл моделюється **пружиною**, жорсткість якої пропорційна модулю пружності (елемент Гука).



Пружне тіло Гука

Пружні властивості твердих тіл не залежать від часу:

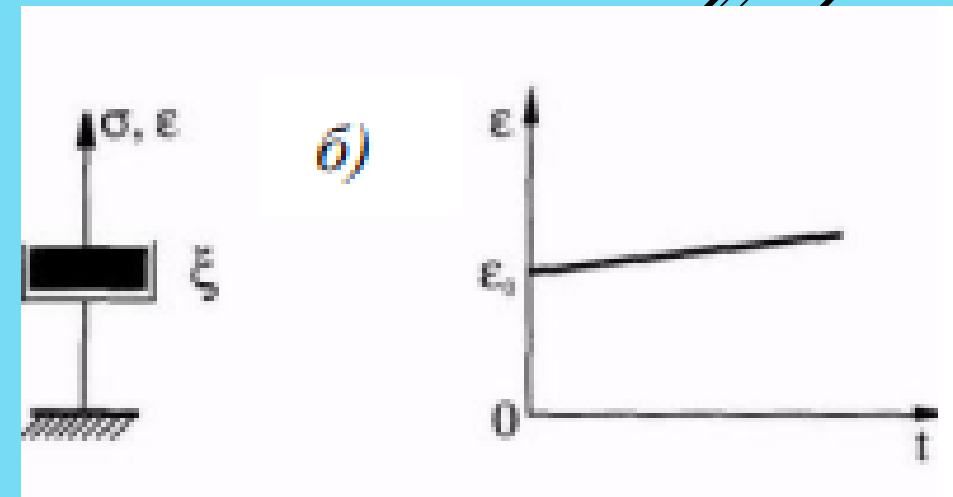
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \rightarrow t = 0.$$

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

В'язкість — властивість необоротно поглинати енергію в процесі її деформування

- ▶ Спеціальними дослідженнями встановлено, що межі зерен в полікристалічних матеріалах, до яких відносяться і гірські породи, поводяться як в'язка рідина. (Ця обставина призводить до того, що температура певним чином змінює внутрішнє тертя в таких тілах, їх деформаційні і міцнісні характеристики.)
- ▶ В умовах достатньо тривалих зовнішніх навантажень полікристалічні матеріали поводяться в цілому, як дуже **в'язка рідина**

В'язкі властивості матеріалів моделює елемент Ньютона, який являє собою демпфер-циліндр з отворами, який занурений у в'язку рідину



РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

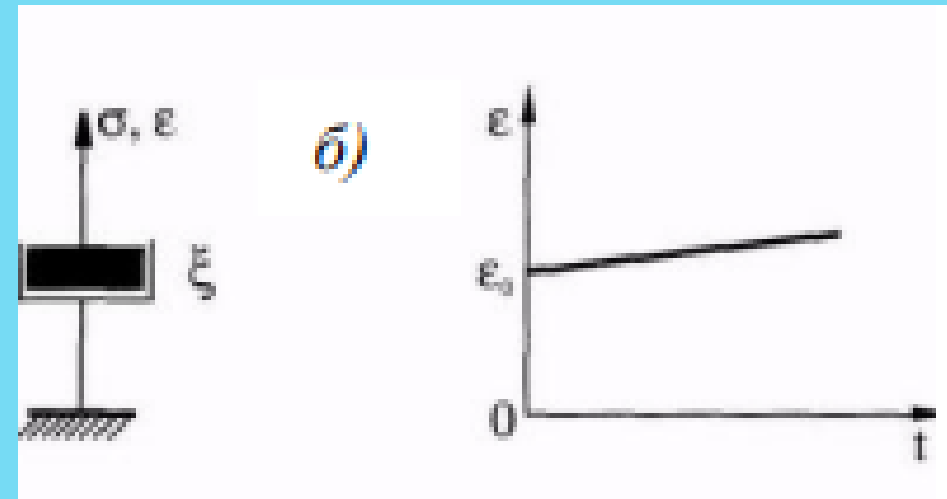
- Швидкість деформації в цьому випадку пропорційна діючому напруженню

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{\xi} \sigma,$$

де ξ – коефіцієнт в'язкості, $1/\xi$ – коефіцієнт текучості.

При заданому постійному напруженні повна деформація до моменту часу t буде рівна:

$$\varepsilon = \frac{1}{\xi} \sigma_0 t,$$



В'язке тіло Ньютона

а при напруженнях, які змінюються в часі:

$$\varepsilon = \frac{1}{\xi} \int_t^0 \sigma(t) dt.$$

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

- ▶ При достатньо великих навантаженнях у гірських породах починається руйнування внутрішніх структурних зв'язків, що приводить до утворення необоротних **(пластичних) деформацій**. Цю властивість реальних твердих тіл відображає елемент Сен-Венана. Він є елементом сухого тертя - брусок, що лежить на жорсткій поверхні.
- ▶ При навантаженні, меншому деякої критичної величини S , деформація рівна нулю, при більшому – деформація не визначена: система приходить у рухомий стан і брусок залишається там, де припинилася дія сили.

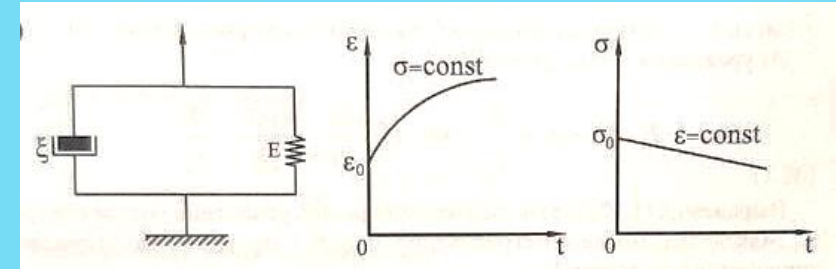
Пластичність — здатність матеріалу без руйнування незворотно змінювати свою форму й розміри (тобто пластично деформуватися) під дією механічних навантажень.



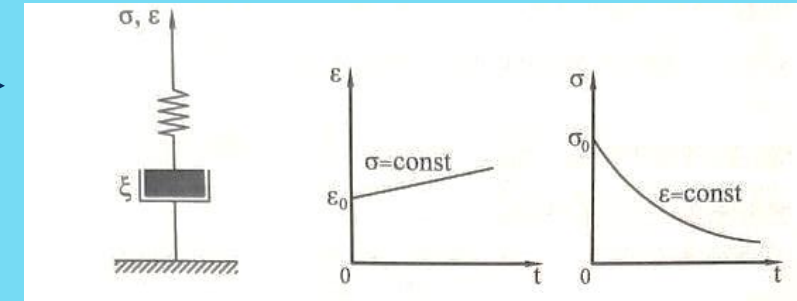
РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

► До найвідоміших моделей слід віднести наступні:

• модель Кельвіна — Фойгта — модель твердого тіла, напруження у якому залежать від швидкості деформування;

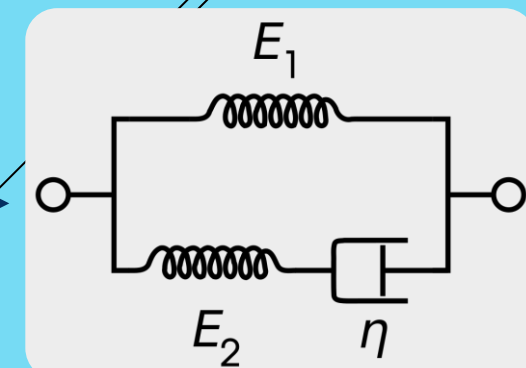


• модель Максвелла — модель твердого тіла з властивостями текучості при довільному сталому навантаженні;



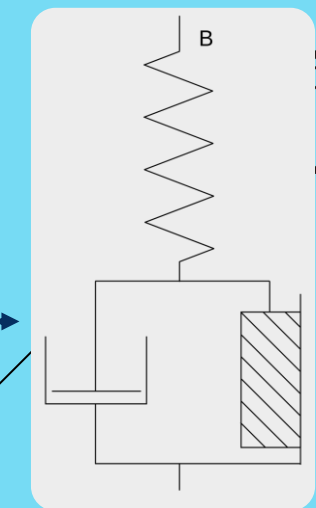
• модель Зінера (модель стандартного лінійного тіла) — **реологічна** модель лінійного в'язкопружного тіла, що складається з двох пружних елементів та в'язкого елемента, що узагальнює характеристики моделей Кельвіна-Фойгта та Максвелла;

Цих моделей часто виявляється недостатньо. Так модель Максвелла не описує повзучості а модель Кельвіна-Фойгта не описує релаксацію напружень. Модель Зінера є найпростішою моделлю, яка передбачає ці явища.



РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

- модель Прандтля — модель твердого тіла з пружними властивостями до певної межі навантаження, перевищення якої приводить до необмеженої миттєвої деформації;
- модель Бінгама — модель матеріалу властивості текучості якого проявляються після досягнення певної межі навантаження а опір деформуванню залежить від швидкості деформації.



У гірничій справі використовується для дослідження поведінки гірських порід при тривалих навантаженнях, у збагаченні корисних копалин – для опису закономірностей процесів, що відбуваються в апаратах для мокрого збагачення сировини та обробки суспензій. Врахування реологічних явищ у гірських породах має особливе значення при розробці вугільних родовищ на великих глибинах, бо вугілля часто залягає у відносно слабких осадових породах, схильних до пластичних деформацій.

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

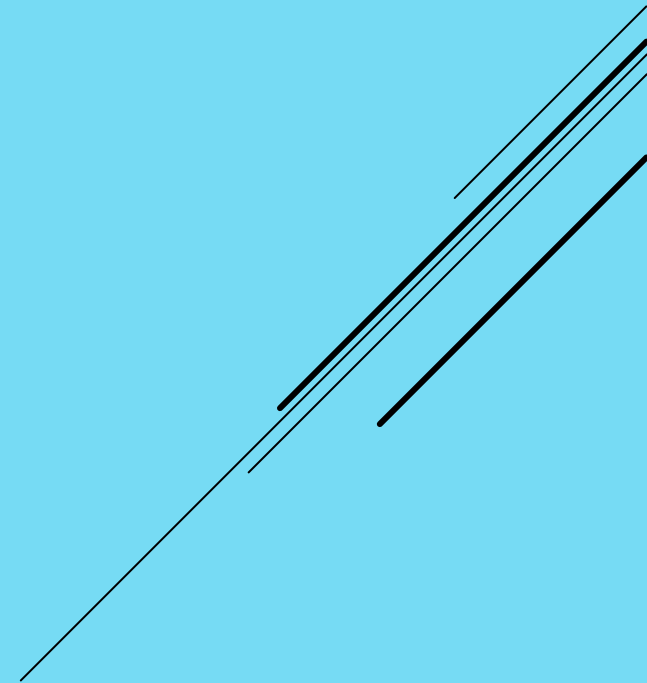
Реологія у гірничій справі використовується:

- для дослідження поведінки гірських порід при тривалих навантаженнях,
- у збагаченні корисних копалин – для опису закономірностей процесів, що відбуваються в апаратах для мокрого збагачення сировини та обробки суспензій,
- при розробці вугільних родовищ на великих глибинах, бо вугілля часто залягає у відносно слабких осадових породах, схильних до пластичних деформацій.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРСЬКОГО МАСИВУ

До структурних особливостей масиву відносять:

- ▶ суцільність,
- ▶ однорідність,
- ▶ ізотропність,
- ▶ шаруватість,
- ▶ тріщинуватість
- ▶ пористість



СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

Масив вважатиметься **суцільним** якщо для двох, якомога близько розташованих, точок різниця у числових значеннях властивостей прямуватиме до нуля.

Частіше всього поняття суцільності стосується розподілу маси у масиві.

Суцільне середовище, - відсутність будь-яких порожнин у масиві матеріалу.

Середовище називатиметься **однорідним**, коли властивості у будь-яких точках матимуть однакові показники.

Характерною особливістю гірських порід є **високий ступінь неоднорідності**. Більша неоднорідність спостерігається у масивах, що складені різними гірськими породами.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ До **неоднорідності нульового порядку** відносять значні тектонічні порушення, які розбивають масиви на блоки з лінійними розмірами більше 10 км.
- ▶ **Неоднорідність першого порядку** обумовлена наявністю в масиві різних порід, великих геологічних порушень, тектонічних розривів. Сюди відносять блоки з розмірами від сотень метрів до кількох кілометрів.
- ▶ Більш дрібніші блоки, розмірами від кількох дециметрів до десятків метрів пов'язані із **неоднорідністю другого порядку**. До цього класу відносять неоднорідності в межах пачки або шару та природну тріщинуватість.
- ▶ До **неоднорідностей третього порядку** крім мікротріщинуватості також відносять дефекти на контактах окремих мінеральних утворень, зерен, кристалів. При цьому розмір окремостей становить від одного до кількох сантиметрів.
- ▶ Оскільки у більшості випадків гірська порода – кристалічний матеріал, то їй також притаманна наявність внутрішньокристалічних дефектів, включень тощо. Цей тип порушень формує **четвертий порядок неоднорідностей**. Розмір окремостей становить від частин міліметра до кількох сантиметрів.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ **Ізотропне** тіло називається якщо воно має однакові показники властивостей по різних напрямкам.
- ▶ Якщо у двох і більше напрямках різні показники, то таке тіло називають **анізотропним**.
- ▶ Як правило магматичні породи мають яскраво виражену анізотропію. А от метаморфічні породи більш ізотропні. Також слід пам'ятати, що тіло може бути ізотропним по одному показнику і анізотропним – по іншому.
- ▶ Для чисельної характеристики анізотропії використовують показник **коефіцієнт анізотропії**, що чисельно рівний відношенню найбільшого показника досліджуваної властивості до найменшого.
- ▶ Таким чином **коефіцієнт анізотропії** до ізотропних порід – рівний 1, а для анізотропних – більше 1. Ізотропність, на відміну від попередніх особливостей, при збільшенні розмірів досліджуваних зразків як правило меншає. Тобто зразок із більшими розмірами – більш анізотропний.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ Основною текстурною ознакою осадових порід є їх **шаруватість**, яка виникає в результаті їх утворення.
- ▶ **Шаруватість** пов'язана із особливостями накопичення осадового матеріалу і виникає за рахунок зміни розмірів зерен однакового складу
- ▶ Розрізняють **мікрошаруватість** – шаруватість в межах одного літологічного утворення та **макрошаруватість**, пов'язану із наявністю різних літологічних утворень, що складають масив.
- ▶ Із шаруватістю пов'язана здатність гірських порід розділятися на окремі шари або **розшаровуватись**. Чим слабші сили взаємодії на контакті шарів тим легше такі породи руйнуються на оголеннях.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ **Тріщини** – найбільш поширений вид геологічних структур (розломи або розриви масиву гірської породи, переміщення по яким незначне або взагалі відсутнє).
- ▶ **За ступенем прояви** розрізняють тріщини:
 - ▶ **закриті** (тріщини мають настільки зближені стінки, що хоча сама тріщина чітко прослідковується, але порожнина відсутня),
 - ▶ **відкриті** (тріщини мають чітко виражену порожнину, яка заповнена вторинними або гідротермальними мінералами),
 - ▶ **приховані** (тріщини візуально визначити неможливо, оскільки вони надзвичайно тонкі)

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ Сукупність тріщин, які розчленовують певну ділянку земної кори називають **тріщинуватістю**.
- ▶ **Природні** тріщини зазвичай утворюють **системи** або **ряди**, які мають паралельні або близькі до того напрями, але не перетинаються одна з одною та однакову відстань між тріщинами.
- ▶ Зазвичай масив має дві-три системи тріщин, що перетинаються під кутом 90° або близьким до прямого. При цьому, зміна напрямку однієї системи призводить до відповідної зміни напрямку орієнтування тріщин у іншій системі. Такі системи називають **спряженими**. Системи тріщинуватості розчленовують масив на окремі шматки – **окремості**.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ **Тріщинуватість** – одна з основних характеристик усіх порід як магматичних так і осадових.
- ▶ За розташуванням тріщин у просторі відносно родовища системи тріщин розрізняють:
 - ▶ повздовжні,
 - ▶ поперечні,
 - ▶ горизонтальні або первинно-пластові.
- ▶ Ці три системи утворюють три взаємно перпендикулярних площин.
- ▶ Середня кількість паралельних (допустиме відхилення $\pm 10^\circ$) тріщин у напрямку перпендикулярному до площини тріщин, що припадає на одиницю довжини називається **густотою** або **густиною тріщин**. Обернене значення називають **лінійним модулем тріщинуватості**.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ За лінійними розмірами тріщин та зчепленню на їх контакті виділяють:
 - ▶ великоблокова,
 - ▶ дрібноблокова,
 - ▶ мікротріщинуватість.
- ▶ Відстань між тріщинами може становити від сотень метрів для **великоблокової** тріщинуватості до дециметрів для **дрібноблокової** тріщинуватості.
- ▶ **Мікротріщинуватість** неозброєним оком розрізнити неможливо. Простір тріщин може бути заповнений різними матеріалами такими як кальцит, доломіт, глинистими частинками або може бути відкритим чи заповненим рідинами або газами, що знаходяться під тиском.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

- ▶ За лінійними розмірами тріщин та зчепленню на їх контакті виділяють:
 - ▶ великоблокова,
 - ▶ дрібноблокова,
 - ▶ мікротріщинуватість.
- ▶ Відстань між тріщинами може становити від сотень метрів для **великоблокової** тріщинуватості до дециметрів для **дрібноблокової** тріщинуватості.
- ▶ **Мікротріщинуватість** неозброєним оком розрізнити неможливо. Простір тріщин може бути заповнений різними матеріалами такими як кальцит, доломіт, глинистими частинками або може бути відкритим чи заповненим рідинами або газами, що знаходяться під тиском.

**ДЯКУЮ ЗА
УВАГУ!**

