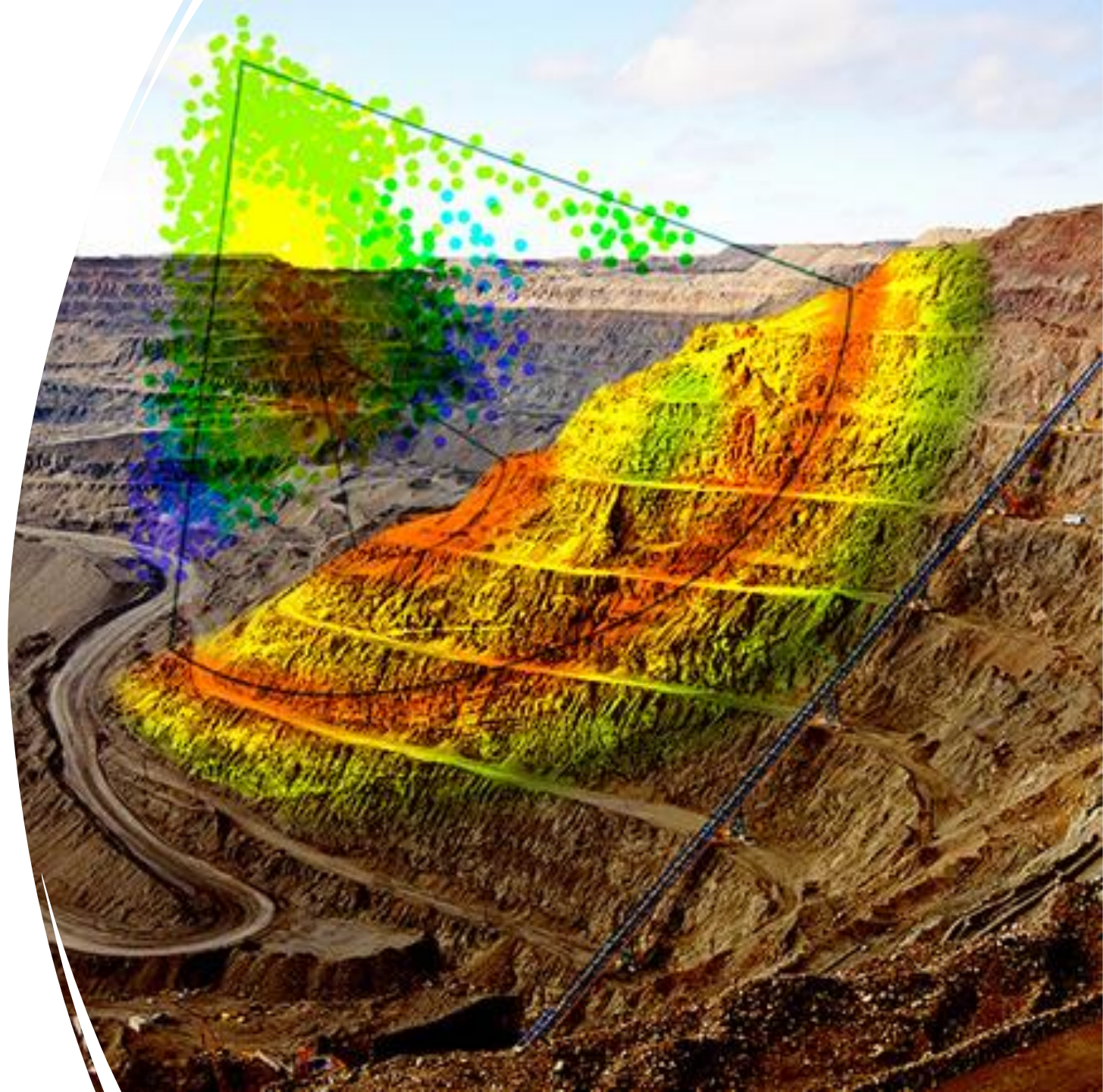



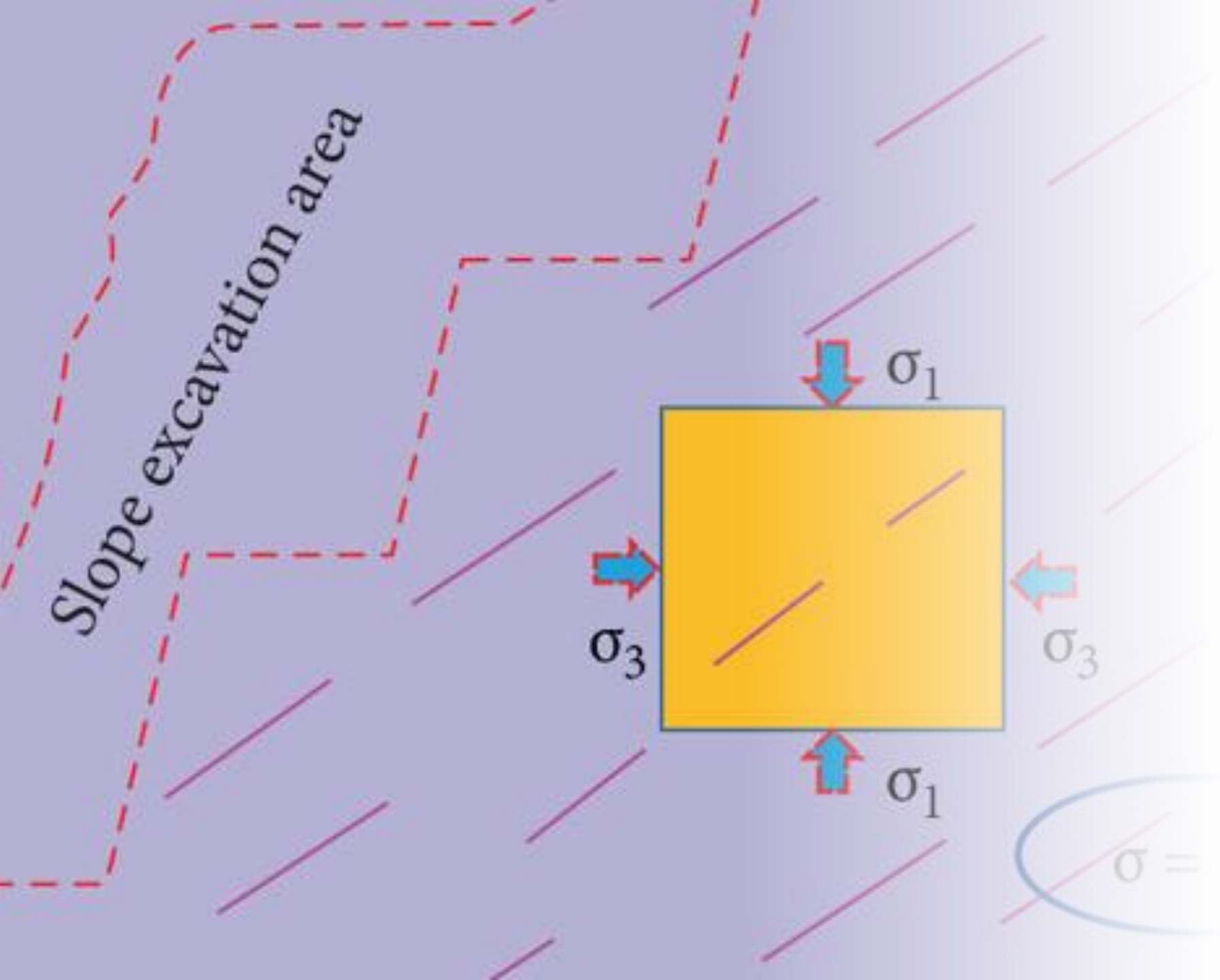
**Лекція 6.  
Початкові  
поля  
напружень у  
гірських  
породах**

**Механіка  
гірських  
порід**



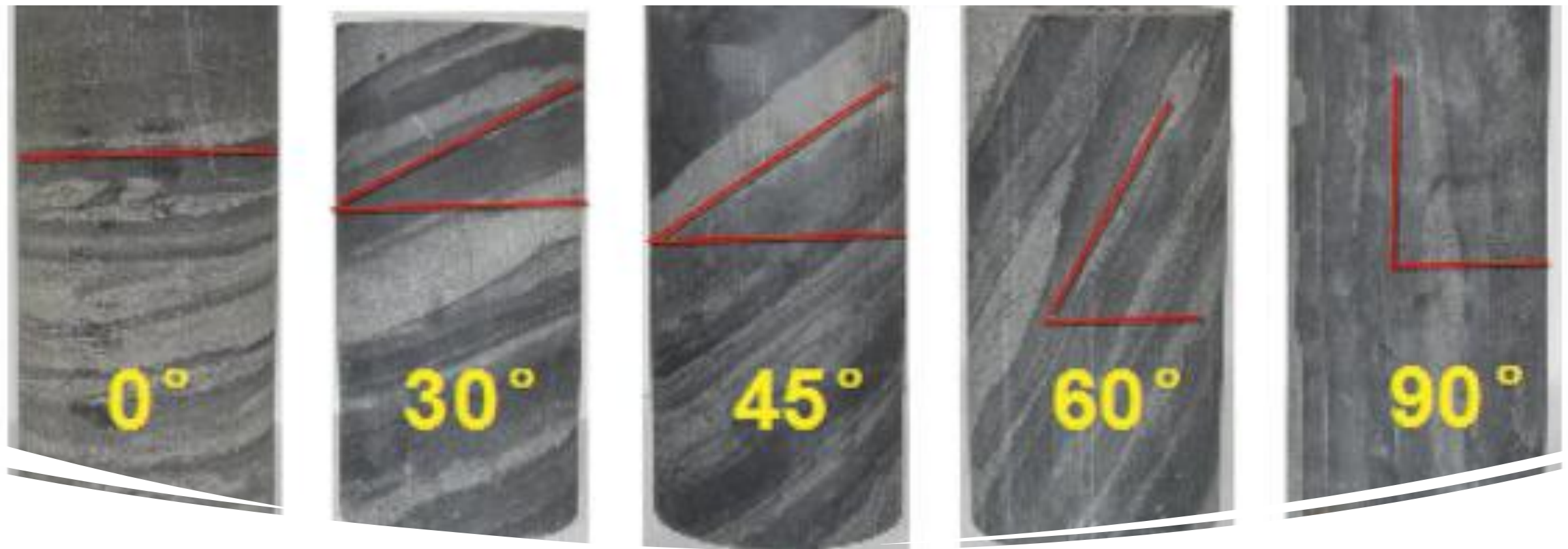


# Визначення поняття «Початкове поле напружень»



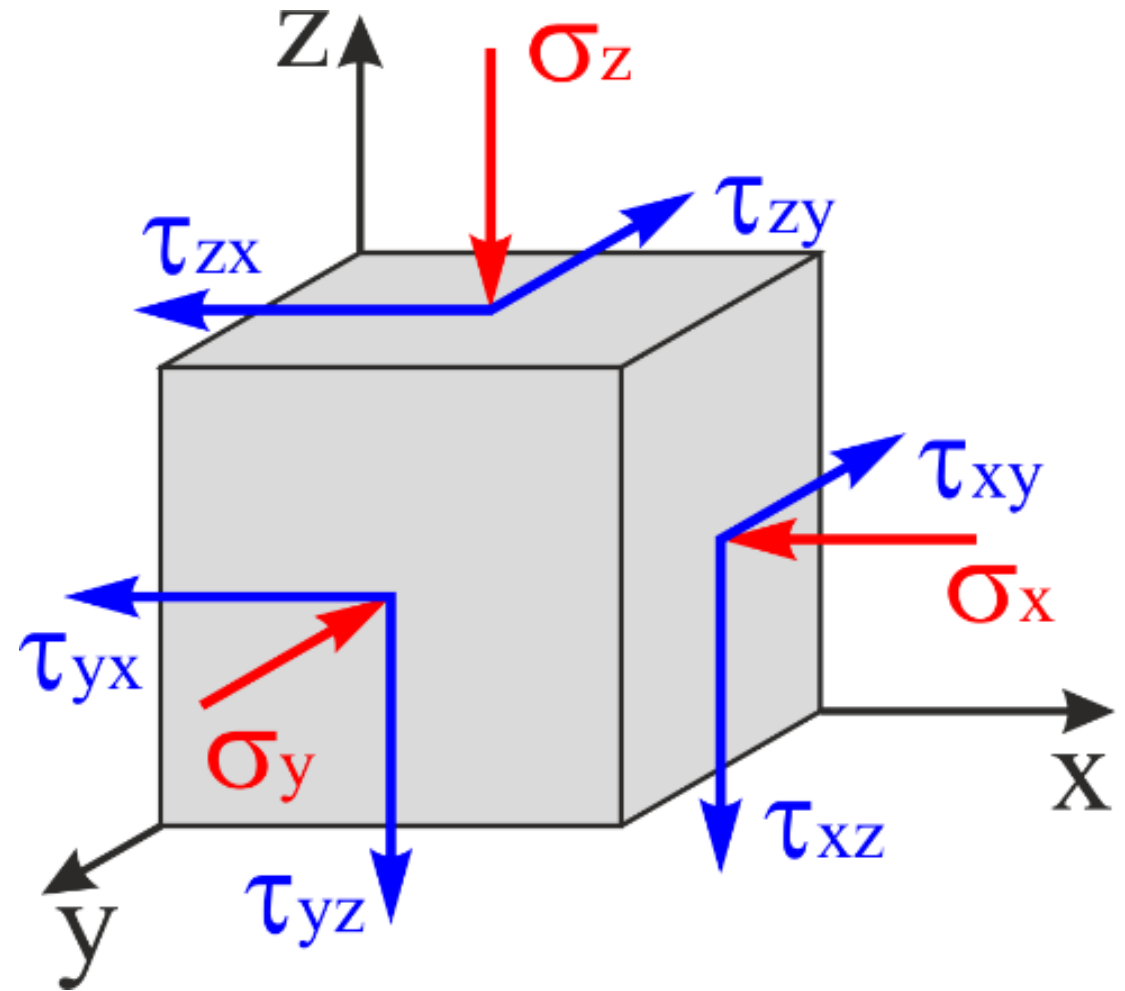
Початковими називають напруження, що існували в масиві до будь-якого техногенного чи природного порушення, тобто до появи гірничих виробок, до проведення вибухових робіт чи інших втручань у структуру надр.

Вторинні напруження постають у результаті антропогенних або природних змін, що змушують породу реагувати на нові умови.



Сутність початкових полів напружень можна спрощено уявити як «вихідну конфігурацію» силової взаємодії між шарами, блоками та окремими структурними елементами гірського масиву. Кожен структурний елемент має власні характеристики пружності та міцності, які разом формують складний розподіл напружень у просторі.

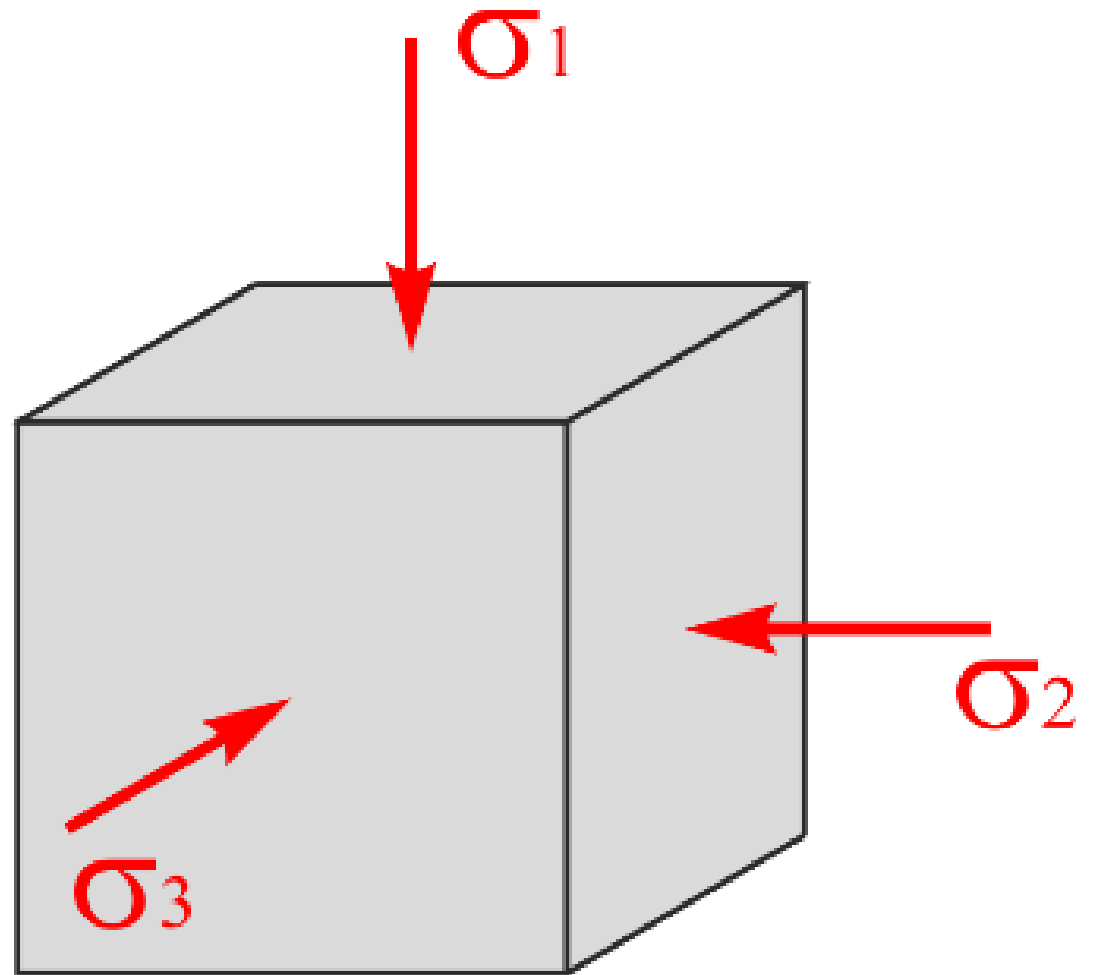
Гірські породи на глибині знаходяться в об'ємному напруженому стані (зазнають дію, як правило, всебічного стиску). Всебічний стиск в точці масиву характеризується тензором напружень, які діють на трьох взаємно перпендикулярних площадках. Загальна схема напружень, які віднесені до довільної системи координат  $x, y, z$  зображена на рисунку.



Напруження на довільних площадках

В кожній точці напруженого тіла завжди існують три взаємно перпендикулярні площадки, на яких відсутні дотичні напруження. Такі площадки називають головними, а нормальні напруження, які на них діють – головними напруженнями. Вони позначаються  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , при цьому виконується умова

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3.$$



Головні напруження

Схему головних напружень можна представити як дію гравітаційних сил на визначеній глибині.

Вертикальні напруження в цьому випадку є найбільшими і відповідають вазі стовпа порід до поверхні. Горизонтальні напруження можна визначити з врахуванням коефіцієнта бокового тиску ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Компоненти гравітаційного початкового поля напружень можна розрахувати за наступними формулами:

$$\sigma_z^{(0)} = \gamma_0 \cdot H$$

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = \sigma_2^{(0)} = \sigma_3^{(0)} =$$

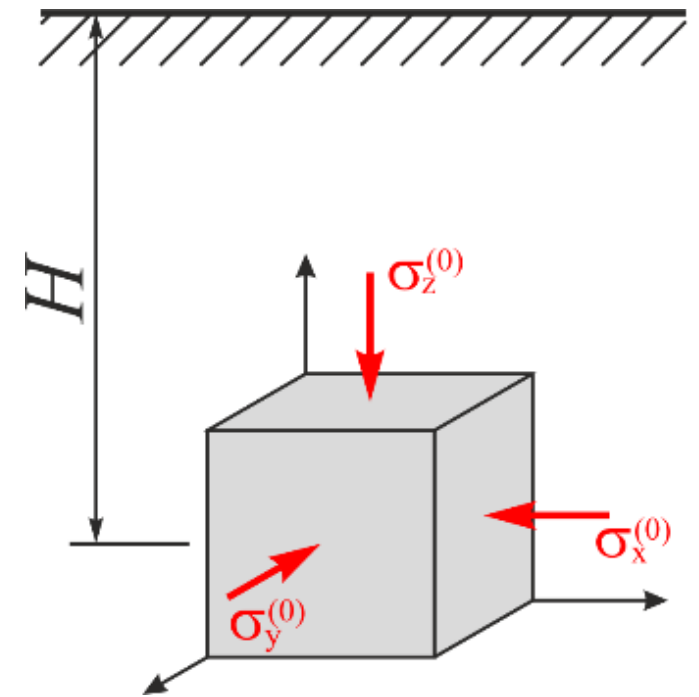
$$= \lambda \cdot \gamma_0 \cdot H = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \gamma_0 \cdot H$$

де  $\gamma_0$  – питома вага порід, МН/м<sup>3</sup>;

$H$  – глибина, м;

$\lambda$  – коефіцієнт бокового тиску в масиві;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

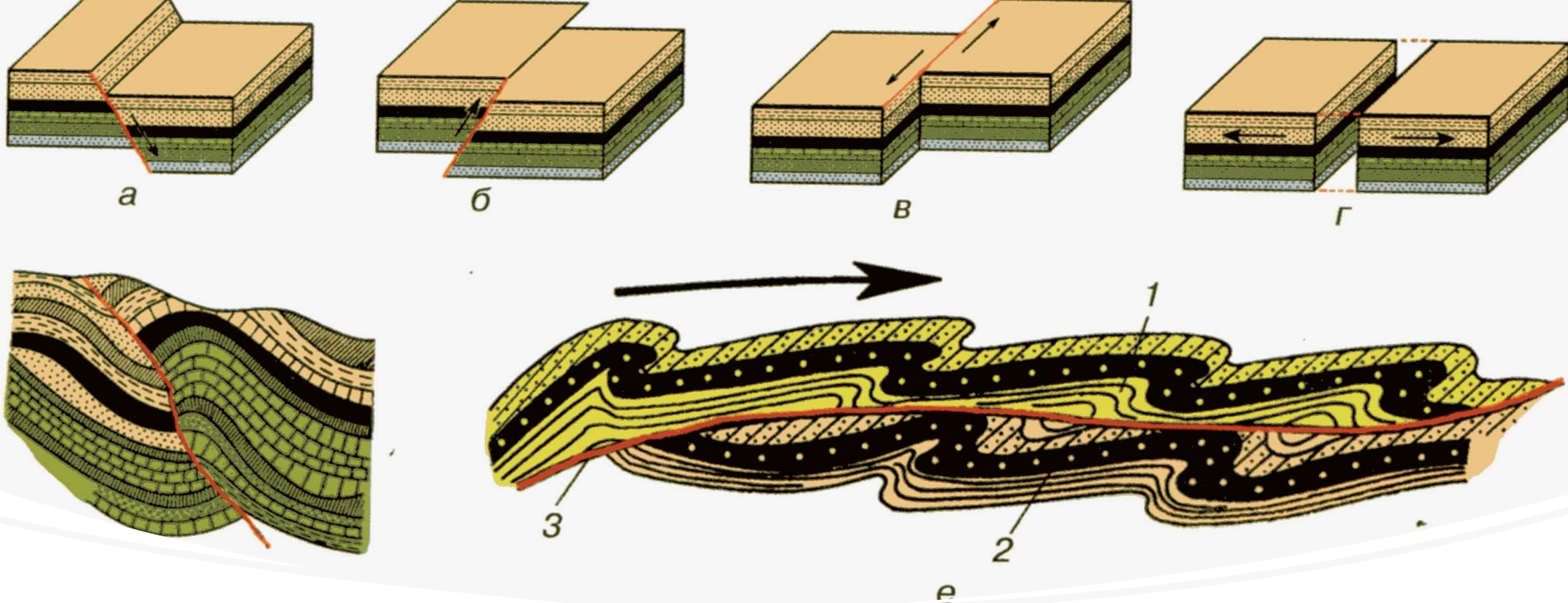


Компоненти початкового поля напружень в незачепленому масиві



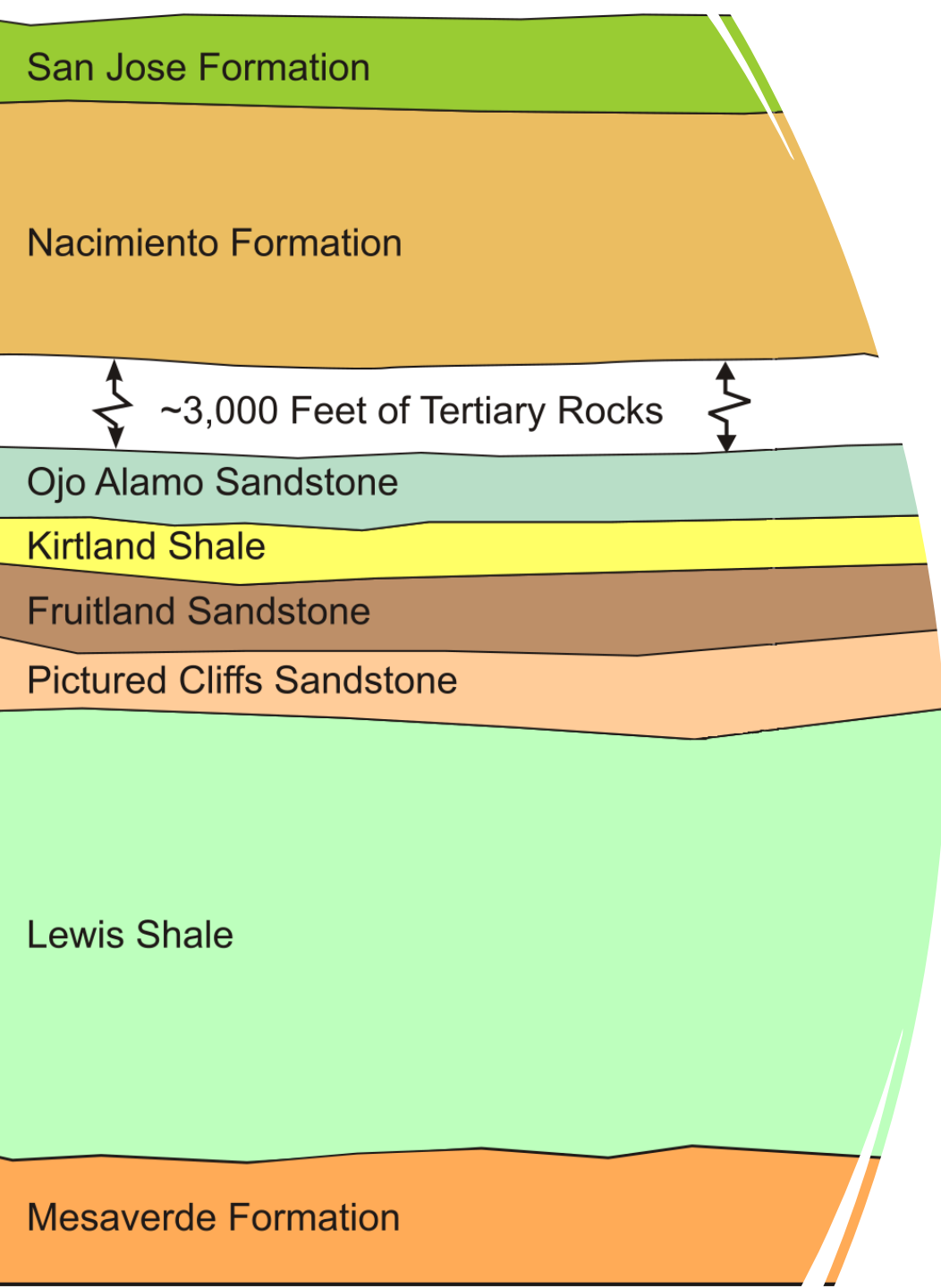
# Геологічні та геомеханічні фактори формування початкових напружень





# Тектонічні процеси

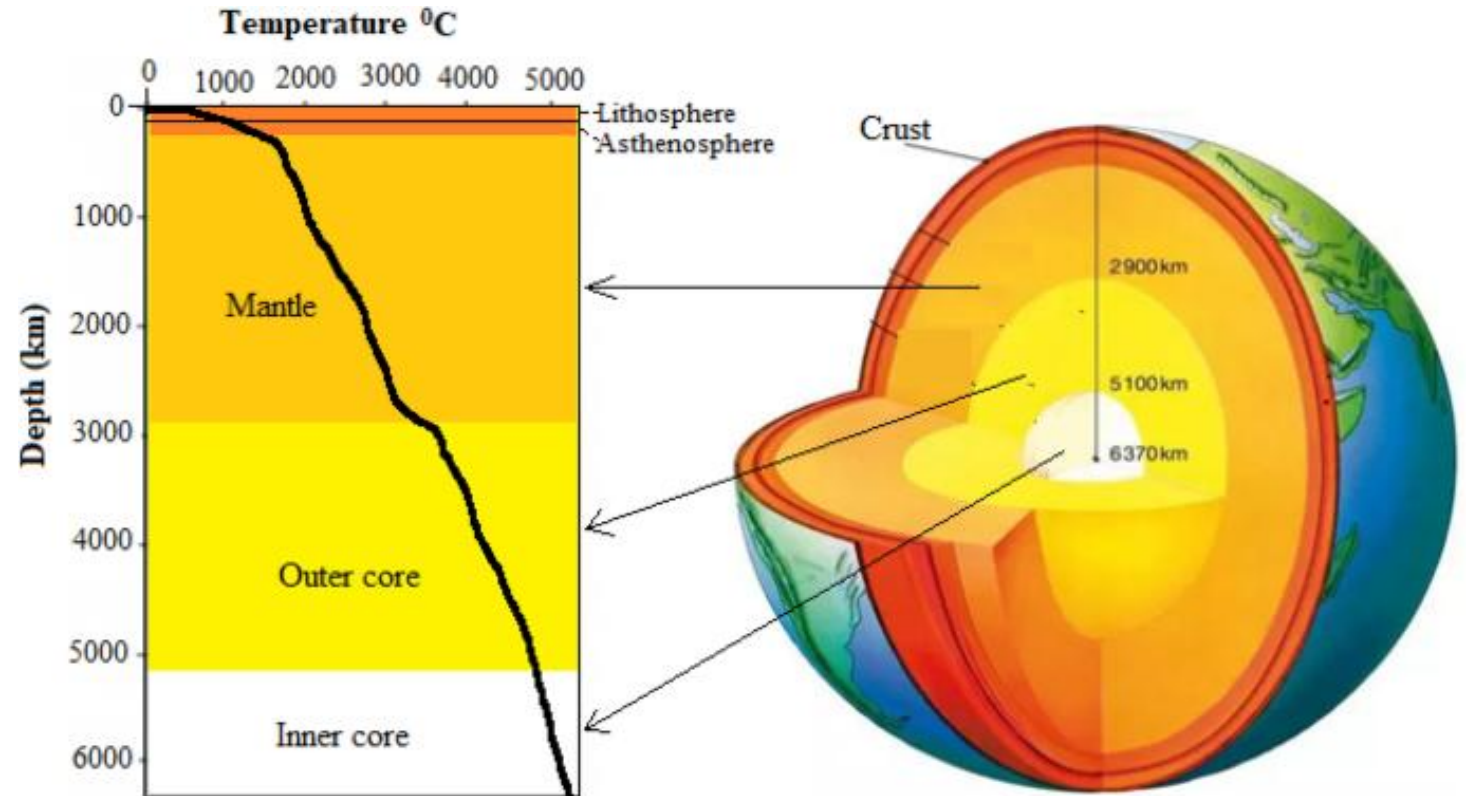
Регіональні й локальні тектонічні рухи є одним із фундаментальних джерел напруженого стану в надрах. Утворення гірських хребтів, формування розломів і складок, а також зсуви блоків порід спричинюють перерозподіл силового балансу.



# Стратиграфічна будова надр

Послідовність шарів порід (стратиграфія) і їхні відмінності за складом, щільністю, пружними властивостями впливають на способи передачі й розподілу напружень. Якщо в розрізі чергуються прошарки слабких і міцних порід, то на межах з суттєво різними модулями пружності відбуваються концентрації чи розвантаження напружень.

# Глибинні температурні градієнти



Зі збільшенням глибини температура в гірському масиві також зростає. Ця різниця може спричиняти термічні деформації. В умовах підземних надр такі зміни відбуваються поволі та зазвичай не помітні в короткостроковому інтервалі, проте при тривалому часовому впливі навіть незначні термічні ефекти можуть накопичувати суттєві залишкові напруження.

# Гравітаційні ефекти

Вага гірських порід, що залягають вище, також формує суттєву вертикальну компоненту напружень. Залежно від глибини залягання покладів і густини порід цей тиск може бути значним, закладаючи підвищений рівень пружної взаємодії між шарами.





# Закономірності розподілу початкових полів напружень

# Схеми розподілу напружень за різних типів геологічних структур

---

## **Осадкові басейни з пластовим заляганням.**

У осадковому басейні, де шари здебільшого залягають субгоризонтально, основна частина напружень зумовлена гравітаційним навантаженням. Зазвичай найвища компонента поля напружень є вертикальною, проте місцеві викривлення, чи локальні тектонічні порушення можуть суттєво змінювати баланс, спричиняючи виникнення горизонтальних компонент.

**Складчасті регіони.** Тут відбувається стиснення або розтягування пластів, формування складок та насувів. Поля напружень мають яскраво виражений неоднорідний характер: головні осі напружень можуть набувати складної геометрії, змінювати своє положення навіть на невеликих відстанях. Горизонтальний тиск за таких умов може бути домінуючим і перевищувати вертикальний, особливо у зонах зминання.

## **Розломні та розривні порушення.**

Відчутні відмінності в розподілі напружень виникають поблизу значних розривних порушень: навколо зсувів чи розривів різні блоки можуть перебувати у різних тектонічних режимах. Часто тут реєструються різкі зміни напруженого стану, виникають зони концентрації чи розвантаження напружень уздовж площини розриву.

# Вплив неоднорідності структури гірського масиву

## Наслідки впливу неоднорідності:

призводить до  
локальних  
концентрацій  
напружень на  
межах порід із  
різною жорсткістю;

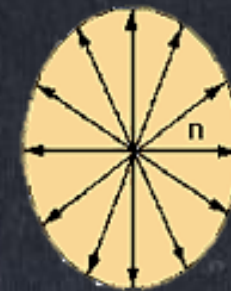
сприяє утворенню  
«зон ослаблення» в  
місцях із меншими  
міцнісними  
характеристиками;

спотворює та  
перерозподіляє хід  
горизонтальних і  
вертикальних  
компонент  
напруженого стану.

# isotropy



# anisotropy



Анізотропія гірського масиву та орієнтація напружень

Анізотропія означає, що фізико-механічні властивості порід (наприклад, пружність, міцність, коефіцієнт Пуассона) змінюються в різних напрямках. Це часто пов'язано зі структурою шаруватих порід, наявністю мінеральних шарів або переважним орієнтуванням тріщин.





# Методи дослідження та вимірювання початкових полів напружень

# Гідророзрив (hydraulic fracturing)



Суть методу: у пробурену свердловину закачується рідина під контрольованим тиском, аж поки не відбувається руйнування породи (формується тріщина). Тиск розриву та подальший тиск закриття тріщини дають змогу оцінити розмір горизонтних складових початкових напружень.

# Метод підрізання (overcoring)



**Суть методу:** у гірському масиві створюється свердловина, всередину якої встановлюють спеціальні тензометричні датчики. Потім навколо датчика «підрізають» (допоміжне буріння) циліндричний зразок породи, частково звільняючи його від силових впливів масиву. Реєструючи зміни деформацій, обчислюють напружений стан до підрізання.

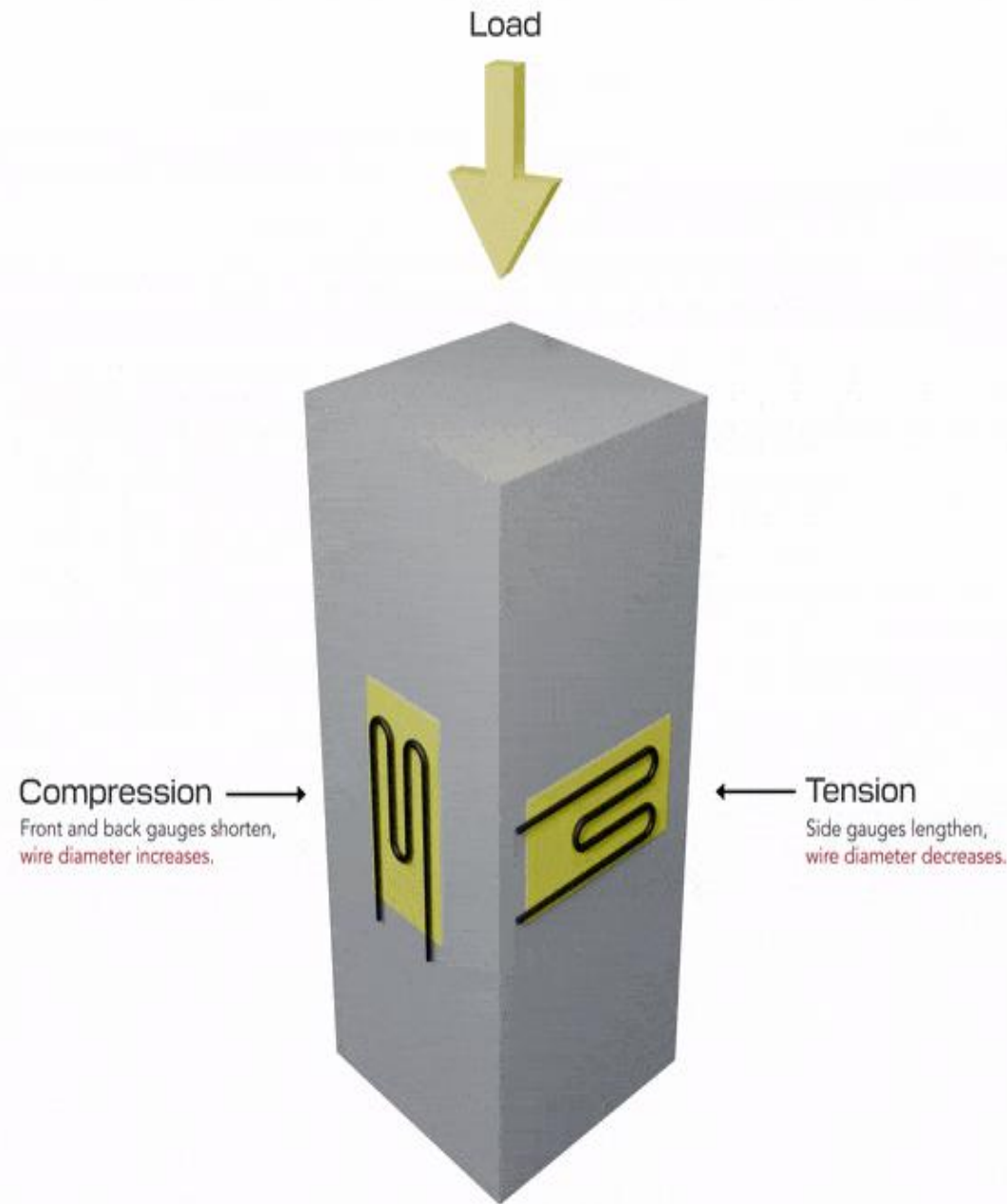


## Метод плоских та циліндричних «джеків» (flat jack)

Суть методу: у стінці гірничої виробки випилюють невелику канавку або отвір, після чого встановлюють плоский гідравлічний «джек», який дозволяє реєструвати зміни напружень/деформацій при його розтисканні чи стисканні.

# Тензометрія

**Суть методу:** встановлення тензометрів (деформаційних датчиків) на поверхнях гірської породи або в раніше пробурених свердловинах для фіксації змін напружено-деформаційного стану з часом.





**Залежність механічних властивостей гірських порід від початкового напруженого стану**

**Вплив  
початкових  
напружень на  
пружні та  
пластичні  
властивості**

**Перевищення межі  
міцності**

**Зміна пружних  
характеристик (модуль  
Юнга, коефіцієнт  
Пуассона)**

**Пластичні деформації  
та повзучість**



## **Тріщиноутворення й розвиток зон руйнування**

**Тріщини, що  
відображають  
існуючий  
напружений стан**



**Підвищення або  
зменшення  
тріщинуватості**



- Розуцільнення
- Ущільнення



# Вплив явища розущільнення/ущільнення на технологічні процеси

**Буріння**

**Відбійка породи  
(механічна або  
вибухова)**

**Реакція масиву при  
відкритому та  
підземному  
видобутку**

- У кар'єрах
- У підземних виробках