

ПРЕДПОСТАВКИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЙНИЯ БАЛАНС В ПРОБНИ ТЕЛА ПРИ ОБЕМНО НАПРЕГНАТО СЪСТОЯНИЕ

Емил Андонов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700, София, emand@abv.bg

РЕЗЮМЕ. По получени резултати при обемно напрегнато състояние ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$) в лабораторни условия са изведени зависимости позволяващи определянето на енергийното състояние на пробни тела.

PRECONDITIONS FOR DETERMINATION OF THE ENERGETIC BALANCE IN TRIAL SUBSTANCES AT STRAINED VOLUMETRIC STATE

Emil Andonov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, emand@abv.bg

ABSTRACT. With received results at strained volumetric state ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$) in laboratorial conditions are deduced dependences allowing determination of the energetic condition of trial substances.

Въведение

Една от първостепенните задачи на минната геомеханика е да се отрази енергийното състояние на земния и скалния масив и промените му под влияние на технико технологичните въздействия при подземния добив на полезни изкопаеми.

За да се стигне обаче до едно такова отразяване е интересно първоначално да се потърси енергийния баланс в образци подлагани на натоварвания в лабораторни условия.

Цел

В настоящия доклад са поставени две задачи:

- да се посочат предпоставките довели до отразяване на енергийния баланс в пробни тела при обемно напрегнато състояние;

- да се отрази енергията за изменението на единица обем (δ) от подложени на натоварване тела.

Предпоставки

В поредица от публикации през последните години бе представена информация за комплексните изследвания (проф. Р.Парашкевов, 1987-89г.) свързана с разработване на методика за контрол на напрегнатото и деформираното състояние (н.д.с.) на целиците и камерите в Кошовското гипсово находище.

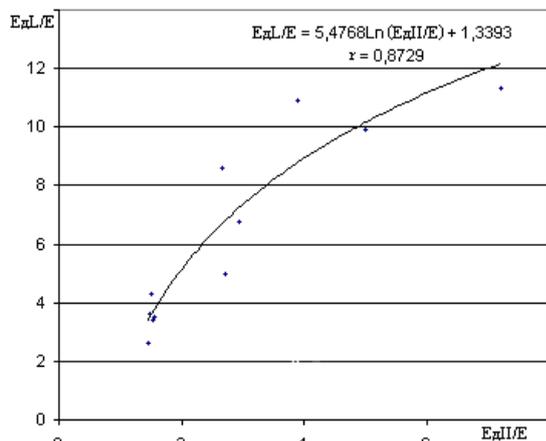
Безспорен интерес предизвикват резултатите от изпитванията в ГПП Варна върху 174 образци с цилиндрична форма от сондажни ядки. Лабораторните изследвания са извършени при обемно натиск с апаратура БВ-21 ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$), където $\sigma_1 = \gamma H$ съответства на изходното поле на напреженията в масива, при отчитане на вероятния коефициент на концентрацията на напреженията $k = 2 \div 2,5$.

В труд на Андонов Е. (2004) са посочени квантилите на нормалните разпределения на получените стойности за: модула на еластичност E_e , деформационния модул E_d ; коефициента на Поасон μ ; върховата якост σ_v ; дълговременната якост σ_d ; остатъчната якост σ_o и якостта на опън R_o по лабораторните данни. Установено е, че същите варират в широки граници. Съотношенията между максималните и минималните стойности на показателите са съответно: $E_{e\max}/E_{e\min} \approx 6$; $E_{d\max}/E_{d\min} \approx 5,7$; $\mu_{\max}/\mu_{\min} \approx 7$; $\sigma_{v\max}/\sigma_{v\min} \approx 4,3$; $\sigma_{d\max}/\sigma_{d\min} \approx 3$; $\sigma_{o\max}/\sigma_{o\min} \approx 4$; $R_{o\max}/R_{o\min} \approx 3$.

На Международната Конференция по Геомеханика в Несебър (2007) бяха представени статистически зависимости получени при обработка на данните от изследването в ГПП Варна, като е взета под внимание публикацията на проф. Р.Парашкевов (1991), изследвал н.д.с. на поддържащите целици в зависимост от големината и характера на девиаторните напрежения при отчитане на реактивния отпор на запълнението върху стените на целиците. При използване на енергетичния якостен критерий той извежда зависимост за количествената оценка на степента на заздравяване на целиците при уплътняване на хидрозапълнението.

Проучени са физико-механичните свойства на гипс от различен литоложки тип: дребно, средно до едро кристалинен; брекчовиден; лещовиден и черупчест.

На Национална конференция „Акустика“ (2005) бе показана уникалната пористост (17-38%) на гипса от находището в сравнение с други находища в света. Установени са рядко срещани съотношения между динамично определяните перпендикулярно и успоредно на оста на образците модули на еластичност E_{dII} и E_{dL} , и статичния модул E получен при натоварване (фиг. 1).



Фиг.1 Съотношения между ултразвуково определените модули на еластичност E_{dII} и E_{dL} , и статичния модул E

Изяснено е поведението на гипса при неговото адиабатично натоварване и разтоварване посредством хидравлични датчици.

Всички получени резултати водят към един и същи въпрос - Какви енергийни процеси произтичат в пробните гипсови тела при тяхното натоварване?

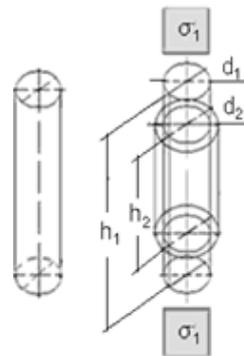
За енергийното състояние на пробни тела при едноосов натиск

Когато натоварваме пробно тяло ние му придаваме някакво количество кинетична енергия E_k . Тялото реагира по определен начин, в зависимост от степента на натоварване, времето през което е подложено на натоварване, притежаваните свойства и т.н. То променя своята големина и форма. Разрушават се при достигане на върхова якост на натиск. Настъпват промени в енергийното му състояние. От него се освобождава частично или напълно (при идеално еластично тяло) енергия, предадена му при натоварването или от собствено притежаваната потенциална енергия E_p .

На фигура 2 е показано цилиндрично пробно тяло до и след едноосовото му натоварване, а на фигура 3 схемата за определяне параметрите на деформиране при такова натоварване.

При натоварването на единица обем от образеца се придава кинетична енергия (E_k) равна на произведението

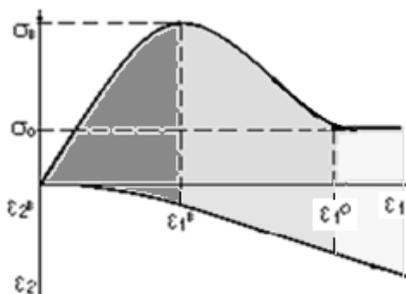
$$E_k = \varepsilon_1 \cdot \sigma_1 \quad (1)$$



Фиг.2 Промените във формата и големината на образец при едноосово натоварване σ_1 .

Нормалното напрежение σ_1 е с дименсия (N/m^2), а деформацията $\varepsilon_1 = (h_1 - h_2) / h_1$ е бездименсионна величина. Затова произведението $\varepsilon_1 \cdot \sigma_1$ остава с размерност (N/m^2). В резултат на натоварването намалява височината на образеца, но диаметърът му нараства $\varepsilon_2 = (d_2 - d_1) / d_1$, ($\varepsilon_2 / \varepsilon_1 = \mu$) т.е. произтича освобождаване на част от енергията в образеца

$$E_k^o = -2\mu \varepsilon_1 \cdot \sigma_1 \quad (2)$$



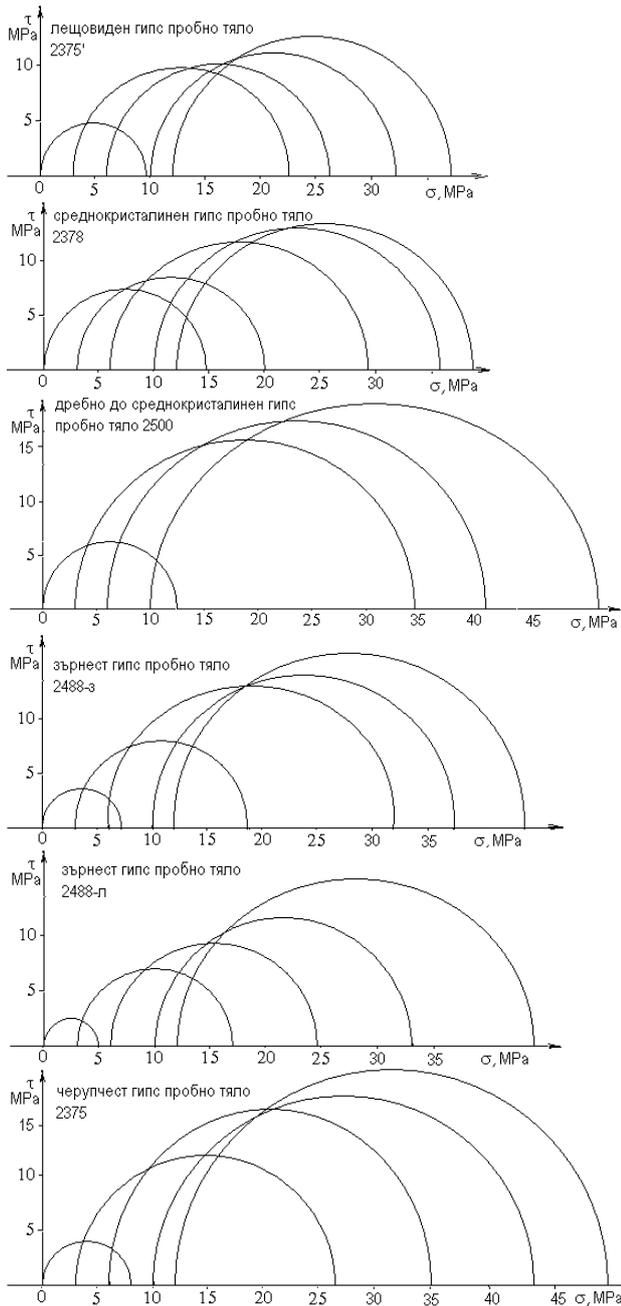
Фиг.3 Схема за определяне параметрите на деформиране: якост на натиск σ_b ; разрушаваща деформация ε_1^b ; граница на остатъчната якост σ_o ; деформация при остатъчната якост ε_1^o ; напречна деформация при границата на якост ε_2^b .

Всъщност по схемата на фигура 3 количествено енергиите биха могли да се изразят чрез площите на очертаните зони: до достигане на върховата якост (σ_b); задграничната и остатъчната якост σ_o . По същата фигура, не представлява затруднение определянето на измененията на обемите за зоните по графиката ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$). С други думи, при натоварването на пробните тела през отделните стадии на процесите в тях може да се следи за енергийното им състояние.

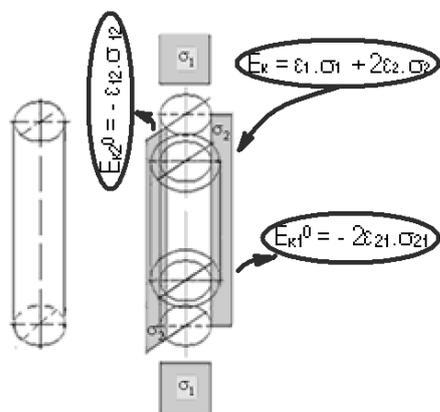
За определяне енергийното състояние на образците при триаксиално изпитване

Интересно е да се отрази енергийния баланс при обемно напрегнато състояние по най-често прилаганата схема на Карман, т.е. при параметър на Надаи-Лоде $\mu_o = -1$

На фигура 4 са показани част от резултатите получени при изпитванията в ГПП Варна.



Фиг.4 Резултати представени чрез кръговете на Моор за различни литоложки разновидности на гипса с посочване № на сондажа от който е взето пробното тяло



Фиг.5 Промените във формата и големината на образец при натоварване ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$).

Кинетичната енергия, предавана на пробното тяло при триаксиалното натоварване би могло да се определя по принципа на суперпозицията чрез стойностите за напреженията и деформациите (фигура 5).

$$E_k = \epsilon_1 \cdot \sigma_1 + 2\epsilon_2 \cdot \sigma_2 \quad (3)$$

С напречното разширяване на пробното тяло част от кинетичната енергия се освобождава (4):

$$\begin{aligned} E_{k1}^0 &= -2\epsilon_{21} \cdot \sigma_{21} \\ E_{k2}^0 &= -\epsilon_{12} \cdot \sigma_{12} \\ E_k^0 &= E_{k1}^0 + E_{k2}^0 \end{aligned} \quad (4)$$

Ако приемем, че пробните тела са изотропни може да запишем (5):

$$\begin{aligned} E_{k1} &= -2\mu\epsilon_1 \cdot [\mu/(1-\mu)]\sigma_1 = -2\mu^2(1-\mu)\epsilon_1 \cdot \sigma_1 \\ E_{k2} &= -\mu\epsilon_2[\mu/(1-\mu)]\sigma_2 = -[\mu^2(1-\mu)]\epsilon_2 \cdot \sigma_2 \\ E_k^0 &= -[\mu^2(1-\mu)]^2 \epsilon_1 \cdot \sigma_1 + \epsilon_2 \cdot \sigma_2 \end{aligned} \quad (5)$$

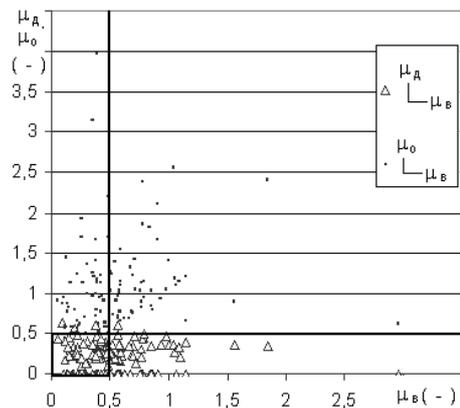
Изследваните пробни тела обаче не са изотропни, за което свидетелстват фигури 1 и 6.

По разликата между кинетично предаваната и освобождаваната енергия може да се оцени разрушаване на структурни връзки и натрупващата се в пробното тяло потенциалната енергия.

$$\begin{aligned} E_n &= E_k - E_k^0 \\ E_n &= \epsilon_1 \cdot \sigma_1 + 2\epsilon_2 \cdot \sigma_2 - [\mu^2(1-\mu)]^2 \epsilon_1 \cdot \sigma_1 + \epsilon_2 \cdot \sigma_2 \\ E_n &= [1-2\mu^2(1-\mu)] \epsilon_1 \cdot \sigma_1 + [2- \mu^2(1-\mu)] \epsilon_2 \cdot \sigma_2 \end{aligned} \quad (6)$$

За относителното изменение на обема δ могат да се приемат стойностите съгласно израза (7).

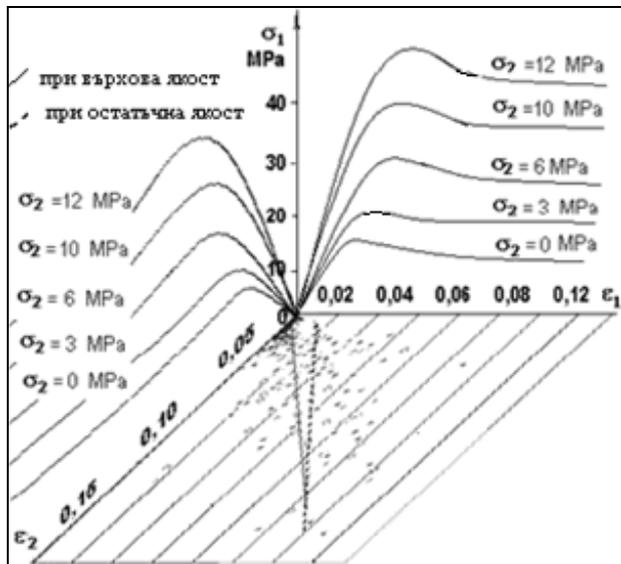
$$\delta = 2\epsilon_2 + \epsilon_2^2 - \epsilon_1 - 2\epsilon_1 \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2^2 \quad (7)$$



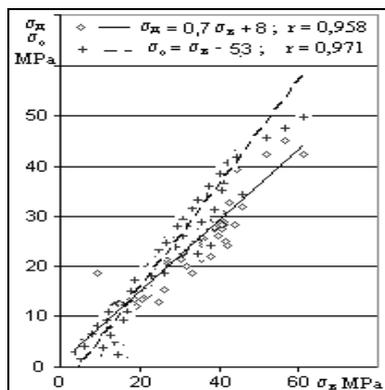
Фиг.6 Стойности на съотношенията между напречните и надлъжните деформации при върхова, дълговременна и остатъчна якост

На фигура 6 са дадени сведения и за съотношенията между надлъжните и напречните деформации определени при статичните натоварвания. Прави впечатление, че редица от стойностите са над 0,5. Особено големи, достигайки 4 са стойностите за $\mu_o = \epsilon_{3o}/\epsilon_{1o}$ при остатъчната якост. Значително по ниски са стойностите за $\mu_b = \epsilon_{3b}/\epsilon_{1b}$ при върхова якост. Съотношенията при дълговременната якост $\mu_d = \epsilon_{3d}/\epsilon_{1d}$ рядко надхвърлят 0,5. Тези стойности заслужават задълбочен отделен коментар.

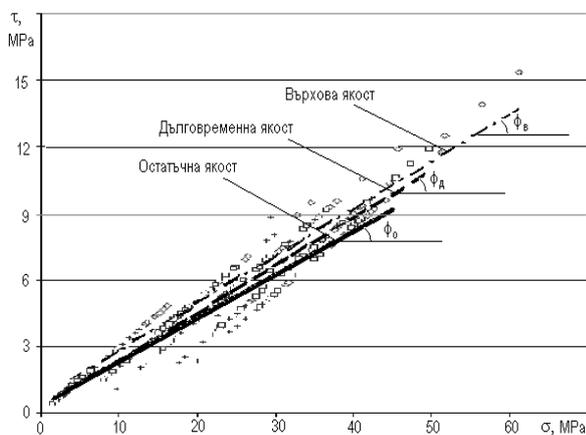
Отчитайки този фактологичен материал е редно да се обърне внимание и на стойностите, приемани от остатъчните и дълговременните показатели за деформациите и напреженията в сравнение с тези при върховата якост. Това е направено на фигури 6, 7 и 8. Изведени са и зависимости, които следва да се отчитат в практиката.



Фиг.7 Обща схема за определяне параметрите на деформиране съчетана със статистически получените зависимости между деформациите

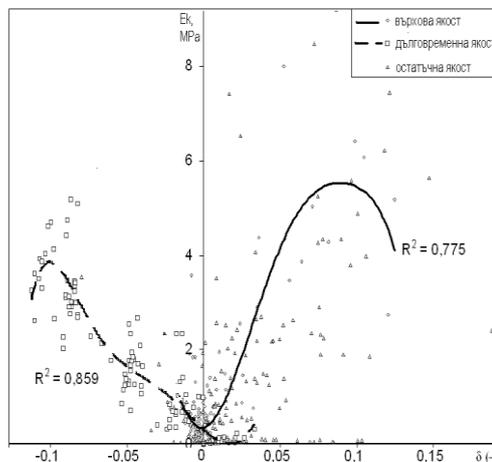


Фиг. 8 Зависимости между дълговременната, остатъчната и върхова якост



Фиг.9 Зависимости между тангенциалните и нормални напрежения $\tau = F(\sigma)$, ϕ_s, ϕ_d и ϕ_o са ъгли на вътрешно триене

Въз основа на статистическа обработка на данните са построени зависимостите $E_k = F(\delta)$ за върховата, дълговременната и остатъчната якост (фиг.10). Графиките илюстрират обработката на данните съгласно изрази (3) и (7). В следваща публикация ще бъдат дадени допълнителни резултати и разширен техен коментар.



Фиг. 10 Статистически графики за кинетичната енергия при върхова, дълговременна и остатъчна якост.

Заклучение

Приведени са предпоставки довели до идеята за отразяване на енергийния баланс в образци при обемно напрегнато състояние;

Отразена е кинетичната енергия (E_k) за изменението на единица обем (δ) от подложени на натоварване пробни тела.

Необходим е задълбочен анализ за: енергийното въздействие върху структурата на пробните тела; стойностите на надлъжните и напречните деформации; енергийния пренос и редица други. Това ще бъде направено в една от следващите публикации.

Литература

- Андонов Е., Зависимости между статичните якостно - деформационни и ултразвуковите свойства на гипса от рудник „Кошава“, *Национална конференция „Акустика 2004“* 26.11.2004г., София.
- Андонов Е., 13-15.06.2005, Сравняване на някои свойства на гипса от Кошавското и други находища, *Национална конференция „Акустика 2005“*, Созопол.
- Андонов Е., 2007, Геомеханични проучвания (1988-1989) за Кошавското находище, *Международна Конференция по Геомеханика*, Несебър, III-91-98.
- Парашкевов Р.Д., и кол., Изучаване състоянието и разработване на методика за контрол на напрегнатото и деформирано състояние на целиците и камерите в гипсово находище „Кошава“, Дог. 1118, Архив на МГУ, 1989 г., С.
- Парашкевов Р., 1991, Влияние на съотношението между главните натискови напрежения върху устойчивостта на целици при работа със запълнение, стр. 345 -349, Год. МГУ т. XXXVII, св. II, София.

Рецензент проф. Пешка Стоева