Подграђивање подземне просторије

Приказана анализа стабилности се односи на монолитну стену, на монолитне блокове између пукотина. Наравно да је неопходно урадити анализу структурне нестабилности израђене просторије. Потребно је идентификовати блокове по ободу просторије који имају кинематску могућност да клизну у празан простор, проценити њихову стабилност и предложити мере за њихову стабилизацију. Стабилни стенски блокови и пукотине које их формирају по ободу просторије немају никакав утицај на приказану анализу стабилности, осим. Осим у случају када се ради о стенама са планарном структуром, ако су планаре управне на правац минималних главних напона. У том случају чврстоћа на истезање је различита у два различита правца и то је потребно утврдити и узети у обзир.

Фаворизовање стенског масива је задњих пар десетина година ствар одвела у кривом правцу. Модул деформације стенског масива, напон стенског масива, чврстоћа стенског масива су најблаже речено погрешни термини.

Напрегнути су монолитни блокови који чине масив. Делови масива без кохезије или материјал без кохезије не може бити напрегнут. После израде просторије, најнеповољније стање напона са становишта могућности формирања тензионих пукотина је по ободу просторије. Лом почиње на критичним местима на ободу просторије и стање стенског масива даље од тог места не утиче на њега. Постојеће пукотине могу олакшати испадање новоформираних сломљених фрагмената, а немају утицај на њихово формирање.

У овом разматрању се бавимо подземном просторијум типа ходника (велике дужине у односу на попречни пресек). Рецимо да се просторија ради у чврстим стенама применом минирања. Просторија се израђује дисконтинуално у сегментима чија је дужина ред величина пречника просторије.

Са становишта сигурности могуће су следеће ситуације:

- Однос индукованих напона и затезне чврстоће стене је такав да је просторија сво време стабилна, тј. индуковани напони на затезање су мањи од затезне чврстоће стене.
- Просторија ни у једном моменту није стабилна. Ни најкраће рационално напредовање не обезбеђује стабилност просторије. У овом случају примењују се специјалне методе израде, којим се нећемо бавити.
- Просторија је нестабилна у зони равног стања деформација и не може егзистирати без подграде али на одређеној дужини од чела има извесну стабилност.

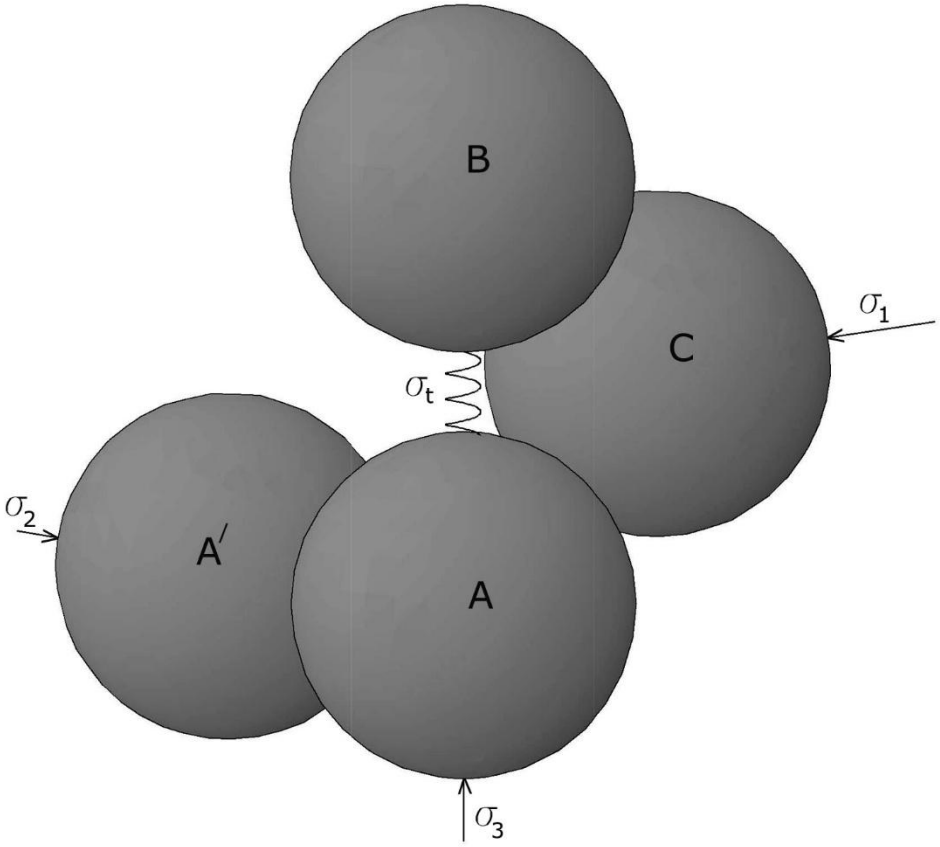
У савременој рударској пракси углавном се користе два начина подграђивања: Подграђивање анкерима; Подграђивање линијском подградом торкрет или ливеним бетоном. Комбиновани начини подграђивања користе оба ова начина уз примену челичне мреже, понекад и челичне оквирне подграде.

Код израде просторије типа ходника, први део просторије од чела па до дужине једнаке „пречнику" просторије, дистрибуција главних напона је под утицајем чела ходника. Тачније мења се интензитет минималног главног напона, па самим тим и напона затезања у стени у ободу просторије. Како је већ објашњено у „Анализи стабилности"

$$\sigma_t = st \cdot \sigma_1 - \sigma_3$$

Овде ћемо увести појам ефективних минималних главних напона ($\overline{\sigma_3}$). Како је већ раније објашњено, под утицајем максималних главних напона (σ_1) честица „C" размиче честице „A" и „B", односно гура честицу „A" ка празном простору. Томе се супростављају минимални главни напони (σ_3), слика 1. Честица „A" је последња честица испод које је празан простор, а честица „A/" је њој суседна честица испод које су друге честице. Честица „A" се креће на доле, а честица „A/", са којом је она у контакту мирује. То изазива трење између те две честице па је отпор трења кретању честице „A":

$$\sigma_{td} + (\sigma_{td} + \sigma_2) \cdot tg\varphi$$



Слика 1. Утицај чела ходника на интензитет напона затезања

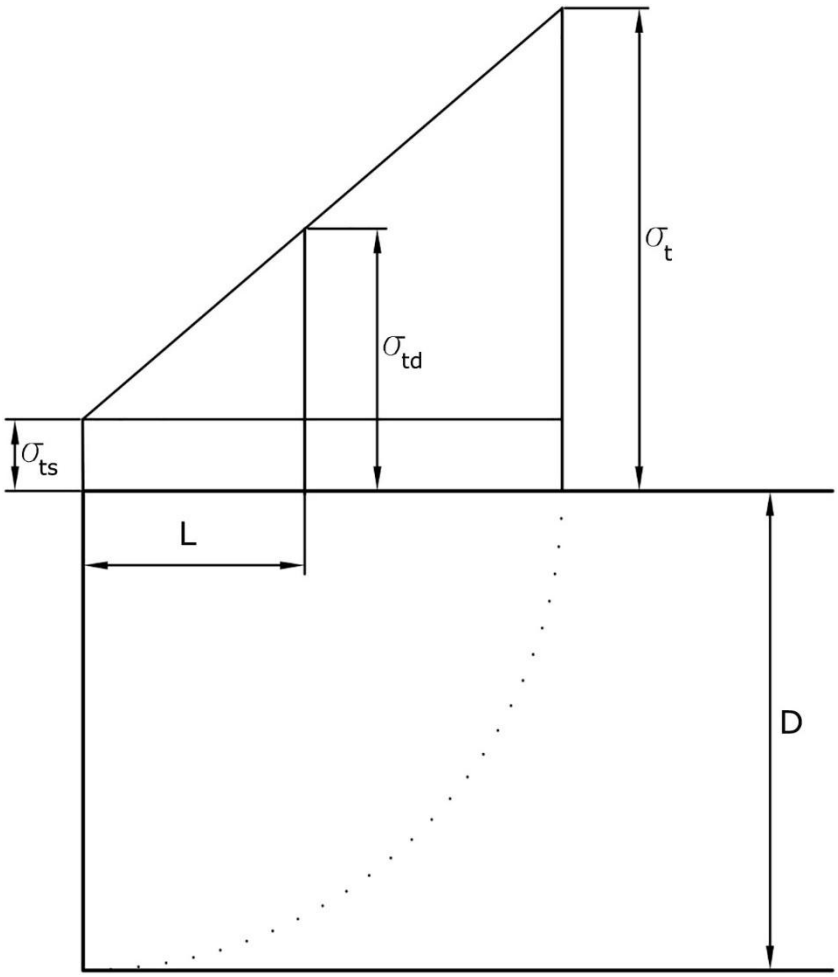
При том је σ_{td} дозвољена вредност затезног напрезања или затезна чврстоћа или кохезија. Па су већ споменути ефективни минимални главни напони ($\overline{\sigma_3}$):

$$\overline{\sigma_3} = \sigma_3 + \sigma_{td} + (\sigma_{td} + \sigma_2) \cdot tg\varphi$$

А то значи да су напони затезања у стени на ободу просторије непосредно уз чело просторије:

$$\sigma_{ts} = st \cdot \sigma_1 - \overline{\sigma_3}$$

А на растојању једнаком једном „пречнику" просторије (D) успоставља се равно стање деформација.



Слика 2. Одређивање дужине неподграђеног ходника

Одређивање максималне дужине неподграђеног ходника на којој напони затезања на критичним местима у стени у ободу просторије неће прећи границу лома обавља се на следећи начин, слика 2.

На нумеричком моделу, методом коначних елемената на пример, за дати профил утврди се износ индукованих максималних и минималних главних напона (σ_1 , σ_3) на основу података о почетном напонском стању стенског масива (σ_v , σ_H , σ_h). На основу параметара стене: угла унутрашњег трења (φ) и Поасоновог коефицијента (ν) израчуна се:

$$st = \frac{\nu}{1 + tg\varphi}$$

А потом се израчуна вредност напона затезања:

$$\sigma_t = st \cdot \sigma_1 - \sigma_3$$

Ако су напони затезања у стени на ободу просторије (σ_t) већи од чврстоће на затезање или дозвољених напона затезања (σ_{td}) мора се утврдити растојање од чела ходника (L) на ком ће индуковани напони на затезање бити једнаки и мањи од вредности дозвољеног затезног напрезања (σ_{td}). Потом се израчуна износ ефективних минималних главних напона:

$$\overline{\sigma_3} = \sigma_3 + \sigma_{td} + (\sigma_{td} + \sigma_2) \cdot tg\varphi$$

Па су напони затезања у стени на ободу просторије непосредно уз чело просторије:

$$\sigma_{ts} = st \cdot \sigma_1 - \overline{\sigma_3}$$

Како се види на слици 2, дужина неподграђене просторије од чела ходника (L) може се израчунати:

$$L = D\,\frac{\sigma_{td} - \sigma_{ts}}{\sigma_t - \sigma_{ts}}$$

Као што се може приметити није узиман у обзир коефицијент сигурности. Они који су решавали ове проблеме на нумеричким моделима, знају да ова зависност није линеарна и да је транзициона зона дужа од пречника просторије, али је на растојањима већим од (L) та промена минимална, а у оквиру овог растојања линеарна зависност задовољава тачност практичних прорачуна.

Следеће, и кључно питање јесте: Како обезбедити израђену просторију да после израђене следеће деонице, а и касније буде стабилна. То се обезбеђује ојачањем стене по ободу просторије. Стена се ломи када затезно напрезање пређе границу лома. Дакле треба подићи затезну чврстоћу стене. Ово се може постићи на два начина:

- Уградњом анкера у стену по ободу просторије. Правац уграђених анкера је једнак правцу минималних главних напона. Анкери који се користе имају малу носивост, која је реда величина 0,1 до 0,3 MPa. Ако је недостајућа затезна чврстоћа стене 1-3 MPa, потребно је уградити десетак анкера по m^2, а шта ако је недостајућа чврстоћа стене знатно већа. Неопходни су анкери „велике носивости". Анкери су добри за стабилизацију блокова који имају кинематску могућност

да клизну у празан простор, односно за решавање структурне нестабилности.

- Уградњом (додавањем) вештачког стенског масива од ливеног или торкрет бетона одговарајуће дебљине и одговарајуће затезне чврстоће. Овај вештачки масив се назива бетонском подградом.

Димензионисање бетонске подграде

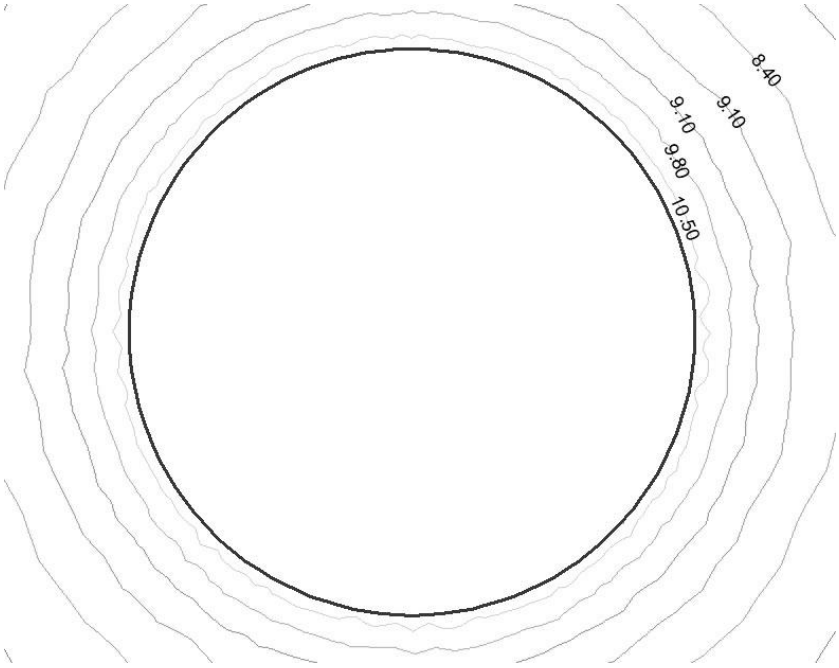
Код обезбеђивања захтеване стабилности подземне просторије уградњом анкера подиже се затезна чврстоћа стене по ободу просторије. Када стабилност просторије обезбеђујемо бетонском облогом од торкрет или ливеног бетона кључни моменат је да вештачки масив од бетона има недостајућу затезну чврстоћу у правцу минималних главних напона. Ако је недостајућа затезна чврстоћа мања од затезне чврстоће обичног ливеног бетона или торкрета проблем ће бити решен веома једноставно. Општеприхваћен је став да се не уграђује облога од торкрет бетона испод дебљине 3cm. Дакле торкрет дебљине 3cm ће решити проблем стабилности. Кад год је могуће проблем решити торкрет бетоном не треба користити ливени бетон изузев ако не постоје специфични конструкциони разлози. Подграђивање ливеним бетоном ће бити много скупље и трајаће знатно дуже, а ефекти ће бити исти.

Ако је недостајућа затезна чврстоћа већа од расположиве, бетонску конструкцију треба ојачати довољним бројем шипки бетонског челика постављеним у правцу минималних главних напона. Дебљина ливеног бетона треба да буде минимална технолошка дебљина која обезбеђује уградњу квалитетног бетона са одговарајућом челичном арматуром.

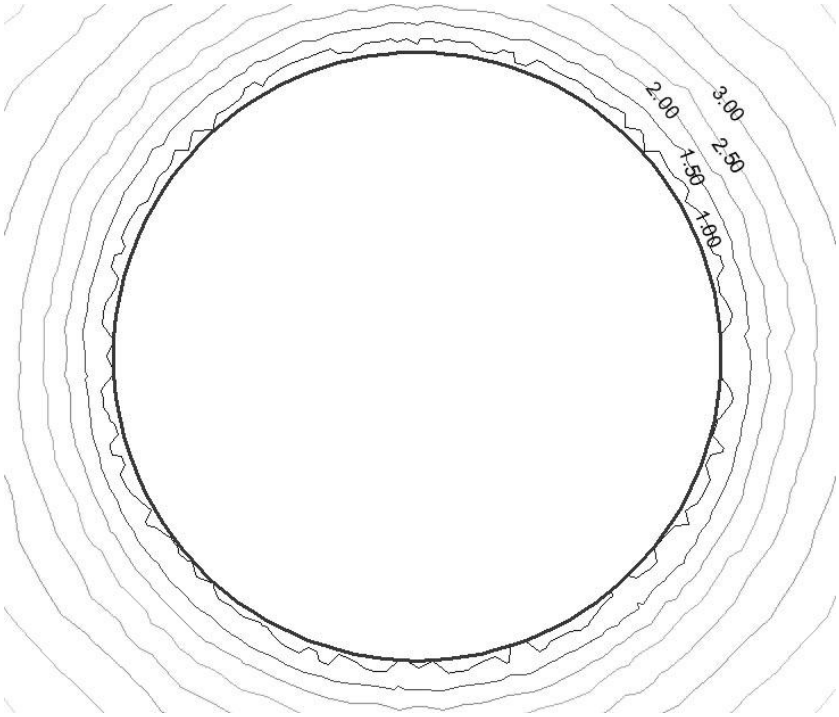
Није битна дебљина бетонске облоге битна је њена затезна чврстоћа у правцу минималних главних напона. Велика дебљина бетона недовољне затезне чврстоће не значи ништа. Квантитетом се не може надоместити квалитет

Торкрет бетон се може ојачати фибером, а ако то није довољно може се на зид просторије пре уградње монтирати одговарајућа арматурна конструкција преко које ће бити нанет бетон.

Поново ћемо употребити најједноставнији модел, подземну просторију кружног попречног пресека и све три компоненте примарних напона истог интензитета ($\sigma_1 = 10MPa$, $\sigma_2 = 10MPa, \sigma_3 = 10MPa$). Оптертећење је подељено. Први део оптерећења је у моменту када се изради део просторије који је стабилан. Потом се угради торкрет бетонска подграда, па се онда наноси преостало оптерећење (равно стање деформација). Урађена су три модела са различитим дебљинама торкрета (5cm, 10cm, 15cm), сви остали параметри модела су исти. На сликама 3 и 4 показана је дистрибуција максималних и минималних главних напона. Потом је уграђена подграда од торкрет бетона, а онда је нането преостало оптерећење. На слици 5 и 6 је дата дистрибуција максималних и минималних главних напона у бетонској облози за случај када је уграђено 15 cm торкрет бетона. Наравно на бетонску облогу утицај има само други део оптерећења.



Слика 3. Максимални главни напони



Слика 4. Минимални главни напони

На слици је јасно да су највеће вредности максималних главних напона (5.5MPa) и најмање вредности минималних главних напона (0.08MPa) на спољној површини бетонске облоге. Најмање вредности максималних главних напона (5.2MPa) и највеће вредности минималних главних напона (0.32MPa) су у облози уз стену. Па то значи да ће за ($st = 0.1$) напони затезања бити:

$$\sigma_t = st \cdot \sigma_1 - \sigma_3$$

На спољној страни бетонске облоге:

$$\sigma_t = 0.1 \cdot 5.5 - 0.08 = 0.47MPa$$

На унутрашњој страни бетонске облоге:

$$\sigma_t = 0.1 \cdot 5.2 - 0.32 = 0.2MPa$$

Очигледна је дистрибуција расподеле напрезања. Највеће затезно напрезање ће бити уз спољну граничну површину бетонске облоге. И ако дође до прекорачења напона лом ће прво наступити на површини бетонске облоге.

Слика 5. Максимални и минимални главни напони у бетонској облози

Максимални напони затезања ће уз спољну површину бетонске облоге имати исту вредност и за дебљину бетона 10cm и 15cm и сваку другу. Према томе логично је да треба уграђивати минималну технолошки прихватљиву дебљину бетона (торкрета).

Ако се активно прати напрезање бетонске облоге, може се пре него се исцрпи њен еластични потенцијал, додати нови „минималан" слој торкрета одговарајуће затезне чврстоће у правцу минималних главних напона. Овим се решава питање стабилности просторија и то се може поновити више пута. Ово је нарочито битно код подземних просторија у зони откопа.