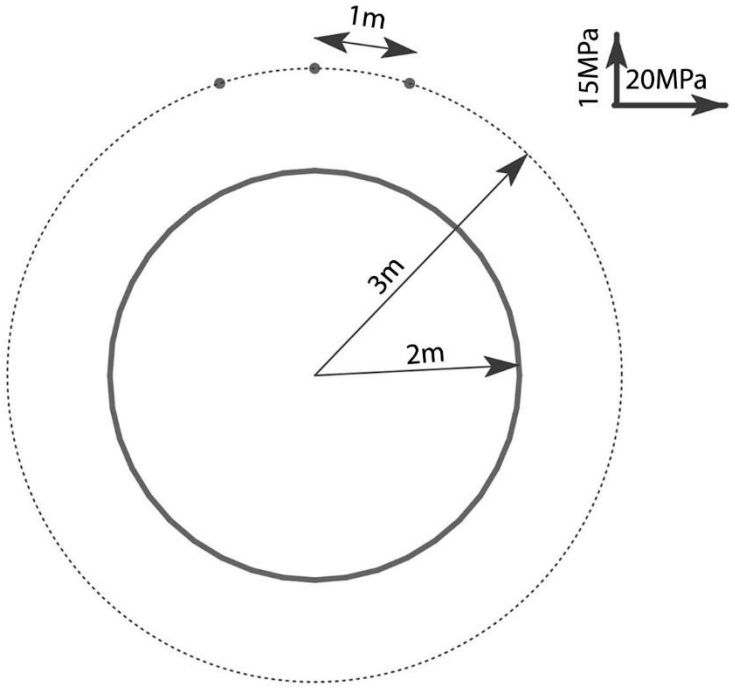
# Дизајнирање шеме минирања

Поступак дизајнирања шеме минирања биће објашњен на подземној просторији кружног профила, слика 1. Бавићемо се само контурним минским бушотинама. Контурна минска пуњења формирају просторију и остављају оштећења у околној стени, па се њима у пракси поклања највише пажње.

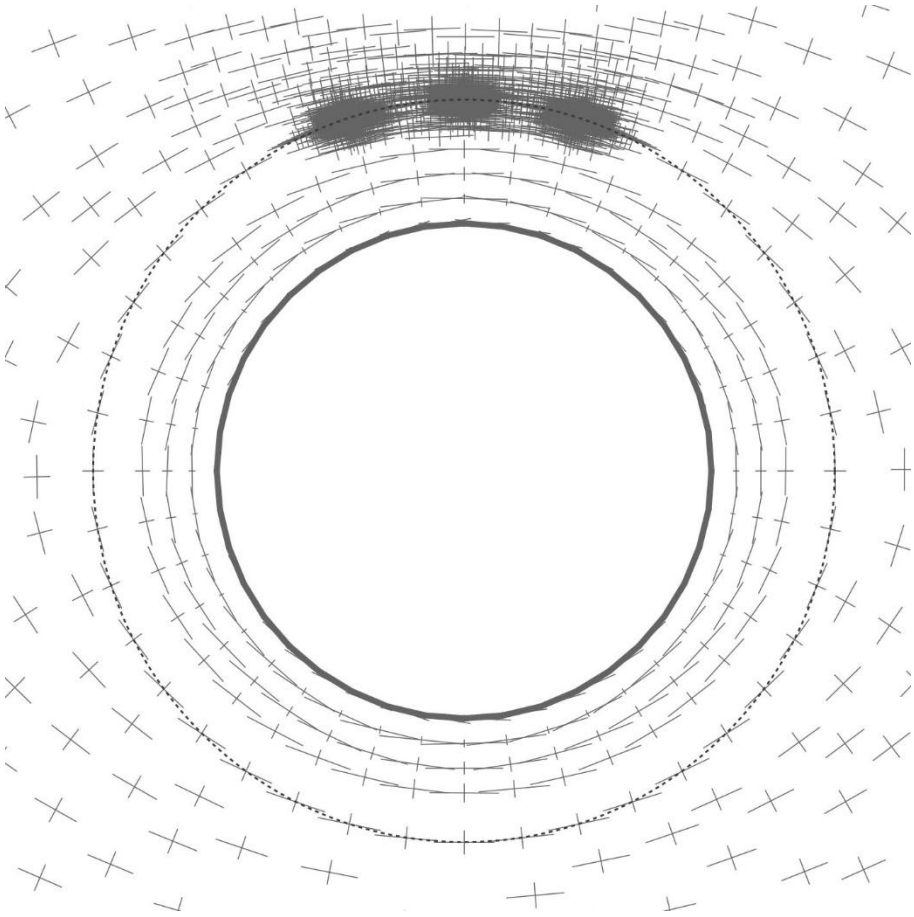
Стена у којој се ради хоризонтална просторија кружног попречног пресека и пречника 6m дефинисана је следећим параметрима: затезном чврстоћом од 6MPa, запреминском тежином од 2.7g/cm$^3$, углом унутрашњег трења од 35$^o$, Поасоновим коефицијентом 0.3, брзином притисног таласа од 4.2km/s. Почетно напонско стање непоремећеног масива је дефинисано: хоризонталним напоном од 20MPa и вертикалним напоном од 15MPa.




Слика 1. Профил просторије

Пре активирања контурних, помоћним бушотинама се формира просторија такође кружног попречног пресека са пречником од 2m. Дакле, пре активирања контурних минских пуњења стање напона у њиховом окружењу је следеће: На слици 2 су приказане трајекторије главних напона пре активирања контурних мина. Положај трајекторија је условљен обликом просторије у том тренутку. Трајекторије евентуалних тензионих пукотина се поклапају са трајекторијама максималних главних напона. У овом приказу моделиране су три минске бушотине пречника 51mm, које су избушене на међусобном растојању од 1m, слика 1. Бушотине су напуњене емулзионим експлозивом са запреминском тежином 1.2g/cm$^3$ и брзином детонације 4.6km/s. Па ће честицама у зиду бушотине бити саопштена енергија од:

$$\sigma_r = \frac{V_s^2 \cdot \rho_e}{4 \cdot \rho_s} = \frac{4.2^2 \cdot 1.2}{4 \cdot 2.7} = 1.96\ GPa$$



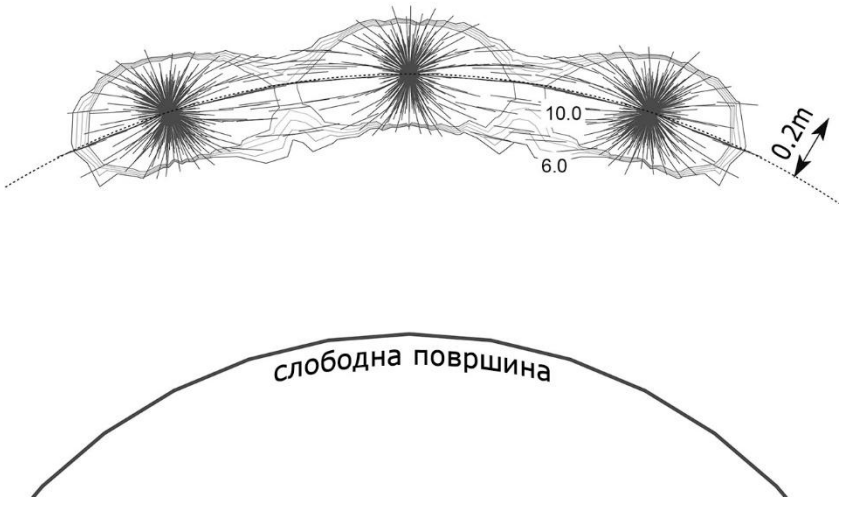
Слика 2. Трајекторије главних напона пре активирања контурних минских пуњења

Како је већ објашњено, после неколико милисекунди када падне притисак у бушотини честице изгубе потпору и враћају се у почетни положај. Покреће их потенцијална енергија, односно енергија експлозије умањена за ентропију или рад трења. Па ће повратна енергија честица које формирају зид бушотине бити:

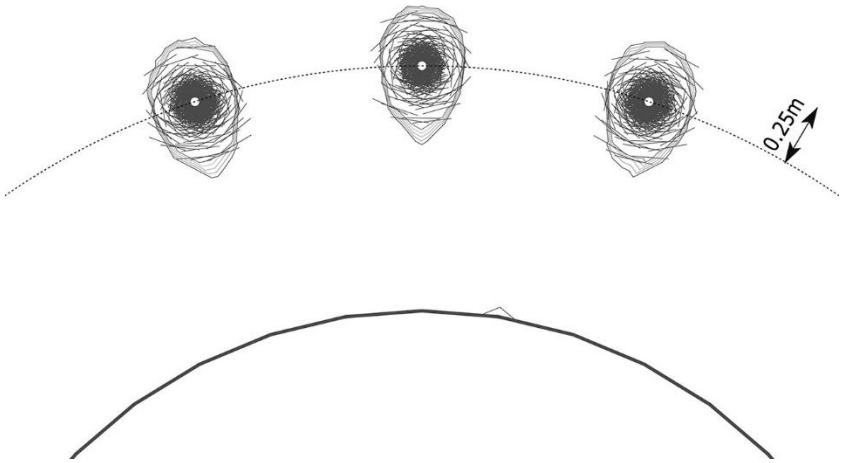
$$\sigma_{rp} = \sigma_r \cdot \left(1 - \frac{tg\varphi}{1 + tgf}\right) = 1.96\left(1 - \frac{tg35^o}{1 + tg35^o}\right) = 1.15GPa$$

На слици 3 је приказана зона затезања у контури 6MPa, а што је граница лома. Осим тога показане су трајекторије потенцијалних тензионих пукотина у зони лома. На слици су уочљиве две битне чињенице: Зона лома и радијалне тензионе пукотине не достижу слободну површину; Радијалне тензионе пукотине се простиру у зони дебљине 0.2m од зида формиране просторије. На слици 4 је такође приказана зона затезања у контури 6MPa која је последица повратног притисног таласа. У овом случају максимални и минимални главни напони замењују орјентацију. Трајекторије потенцијалних тензионих пукотина су управне на трајекторије радијалних пукотина прве фазе.

Уколико нема довољан број, погодно постављених претходних пукотина, неће доћи до рушења и формирања просторије.




Слика 3. Зона затезања са трајекторијама лома после примарног притисног таласа

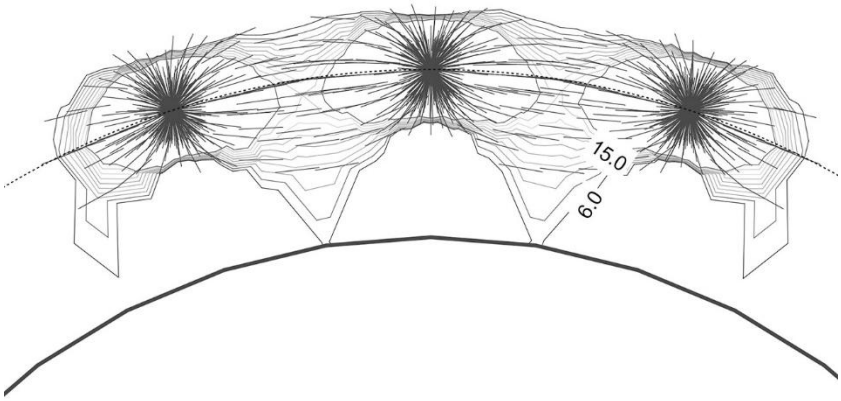



Слика 4. Зона затезања са трајекторијама лома после повратног притисног таласа

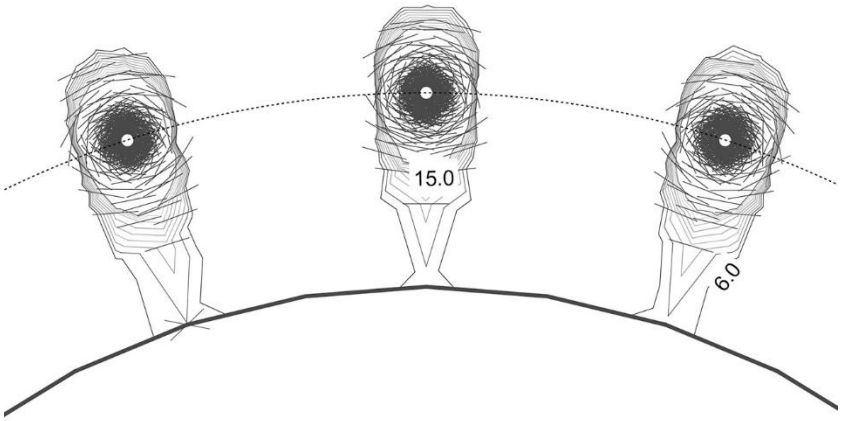
У следећем кораку слободна површина формирана помоћним минским пуњењима биће постављена на 0.6m од контурних минских пуњења. На сликама 5 и 6 се види да зона у којој су затезна напрезања 6MPa граничи са слободном површином. У првом случају смо имали ситуацију да енергија експлозивног пуњења није у складу са његовим оптерећењем, па смо прибегли смањењу оптерећења смањењем растојања до слободне површине.

Други могући начин решења проблема је повећање енергије експлозивног пуњења. Када коришћени експлозив има нижу брзину детонације од брзине притисног таласа у стени која се минира може се узети експлозив са већом брзином детонације. У овом случају коришћени експлозив има већу брзину детонације од брзине притисног таласа у стени која се минира. Могуће је узети емулзиони експлозив са већом запреминском тежином, у овом случају постоји та могућност. Оно што је увек на располагању јесте пречник минске бушотине. Већи пречник, већа контактна површина експлозива и стене.

У следећем опиту моделираћемо минске бушотине пречника 80mm, са растојањем до слободне површине или оптерећењем експлозивног пуњења од 0.8m.




Слика 5. Зона затезања са трајекторијама лома после примарног притисног таласа са слободном површином удаљеном 0.6m



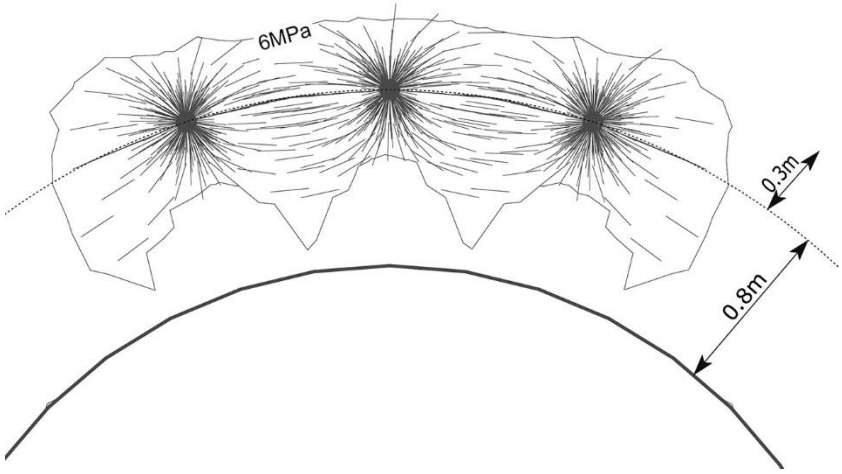

Слика 6. Зона затезања са трајекторијама лома после повратног притисног таласа са слободном површином удаљеном 0.6m

На слици 7 је дат графички приказ прорачуна са зоном лома у контури 6MPa и трајекторијама потенцијалних тензионих пукотина. Зона лома не досеже слободну површину, зона оштећења масива после минирања се протеже на 0.3m. На слици 8 се може видети да зона затезања у контури 30MPa обухвата све три бушотине. Наравно да се у стени са затезном чврстоћом од 6MPa не могу индуковати напони од 30MPa, међутим овај податак указује на улудо потрошену енергију

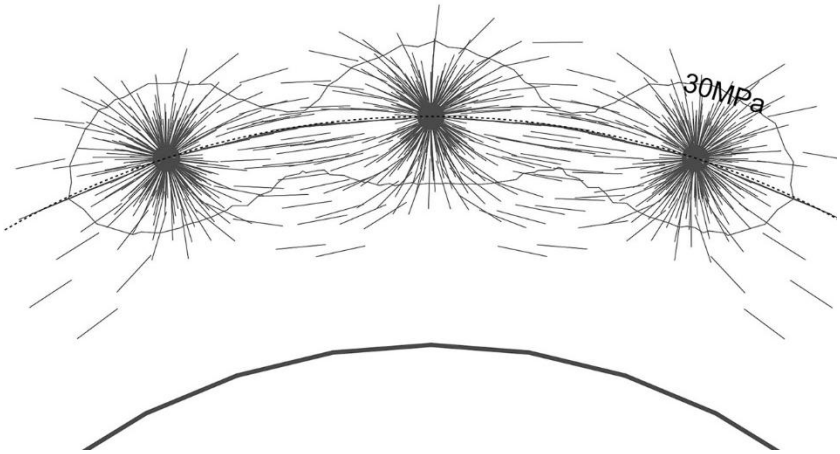
експлозива, претерано уситњавање дезинтегрисане стене и повећано оштећење у контури настале просторије.

У следећем опиту смо повећали растојање између контурних бушотина са 1m на 1.4m, а резултати су приказани на слици 9. Уочљиво је да зона лома, односно зона затезног напрезања у контури 6MPa и даље повезује све три бушотине. Неочекивано је да се зона лома шири ка слободној површини и досеже је. Ово се може објаснити чињеницом да се размицањем бушотина повећава обухватни угао истовремено активираних мина, односно да модел само 3 минска пуњења није репрезентативан. Из претходне анализе је лако закључити да се на 2Д нумеричком моделу методом коначних елемената применом предложеног критеријума лома итеративним поступком може доћи до оптималне шеме минирања. За успешну анализу неопходни су подаци о стенском масиву. Почетно напонско стање које се углавном не мери. Затезна чврстоћа која се не мери и брзина притисног таласа у стени која је веома важна. Неопходно је знати стање напона у делу масива који се минира како би се та енергија употребила. Тачније могуће је употребити потенцијалну енергију стене (напон) уз додатак енергије експлозива само колико је неопходно.

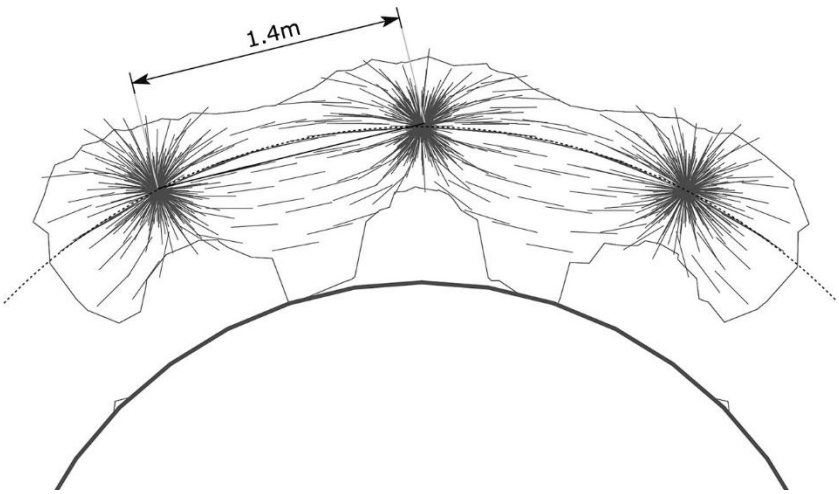
Неопходно је променити приступ дизајнирању шеме минирања и управљати стенским масивом сагласно природним условима.




Слика 7. Зона затезања са трајекторијама лома после примарног притисног таласа са слободном површином удаљеном 0.8m и пречником минске бушотине 80mm




Слика 8. Зона затезања са трајекторијама лома после примарног притисног таласа са слободном површином удаљеном 0.8m и пречником минске бушотине 80mm




Слика 9. Зона затезања са трајекторијама лома после примарног притисног таласа са слободном површином удаљеном 0.8m, пречником минске бушотине 80mm и растојањем 1.4m