

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Diplomski studij rudarstva
Smjer: Geotehnika

Intruzivne (plutonske) magmatske stijene

Marija Macenić

R 4

Zagreb, 2009.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	3
2. Geologija intruzivnih stijena.....	4
2.1 Magma.....	4
2.2 Oblici intruzivnih stijena.....	4
2.3 Klasifikacija intruzivnih stijena.....	5
3. Trošenje intruzivnih stijena.....	7
3.1 Klasifikacija stupnja istrošenosti.....	10
4. Inženjerska svojstva intruzivnih stijena.....	9
4.1 Hazardi u prirodnim i umjetnim kosinama.....	12
4.2 Eksploatacija na površini.....	13
4.3 Temeljenje.....	13
4.4 Brane.....	14
4.5 Podzemni radovi.....	14
5. Prošli problemi.....	16

1. UVOD

U ovom radu obrađuje se područje intruzivnih magmatskih stijena kao što su granit, diorit, gabro i njima srodne stijene, a sve su nastale iz magme u unutrašnjosti Zemlje te su na samu njezinu površinu dospjele trošenjem viših slojeva. Samo podrijetlo magme i njezino ponekad kilometarsko putovanje dalo je ovim stijenama posebne karakteristike. Razmatrat će se i stijena serpentinit iz skupine metamorfnih stijena koja je potekla iz Zemljinog omotača, sa svojim kemijski i mehanički neuobičajnim karakteristikama.

Granitne stijene nalazimo u srži mnogih planinskih lanaca i tamo gdje su takvi nekad postojali. Neka od tih mjesta su štitovi- npr. Kanadski štit (koji pokriva većinu Kanade istočno od Rocky Mountains-a pa do područja Velikih jezera), Brazilski štit, Skandinavski štit, Afrički štit, Sibirski štit te Zapadnoaustralski. Neke od ovih stijena slične granitu, a zapravo su potekle od ekstremnog metamorfizma. Stijene tipa granita također se pojavljuju kao izolirane mase različitih oblika i veličine, prodirući u stijene različitog postanka.

Intruzivne stijene su posebno zanimljive geolozima budući da su one 'glasnici' iz podzemlja. Njihov mineralni sastav i tekstura mogu otkriti temperaturu, tlak i sadržaj donje kore i omotača.

2. GEOLOGIJA INTRUZIVNIH STIJENA

2.1. Magma

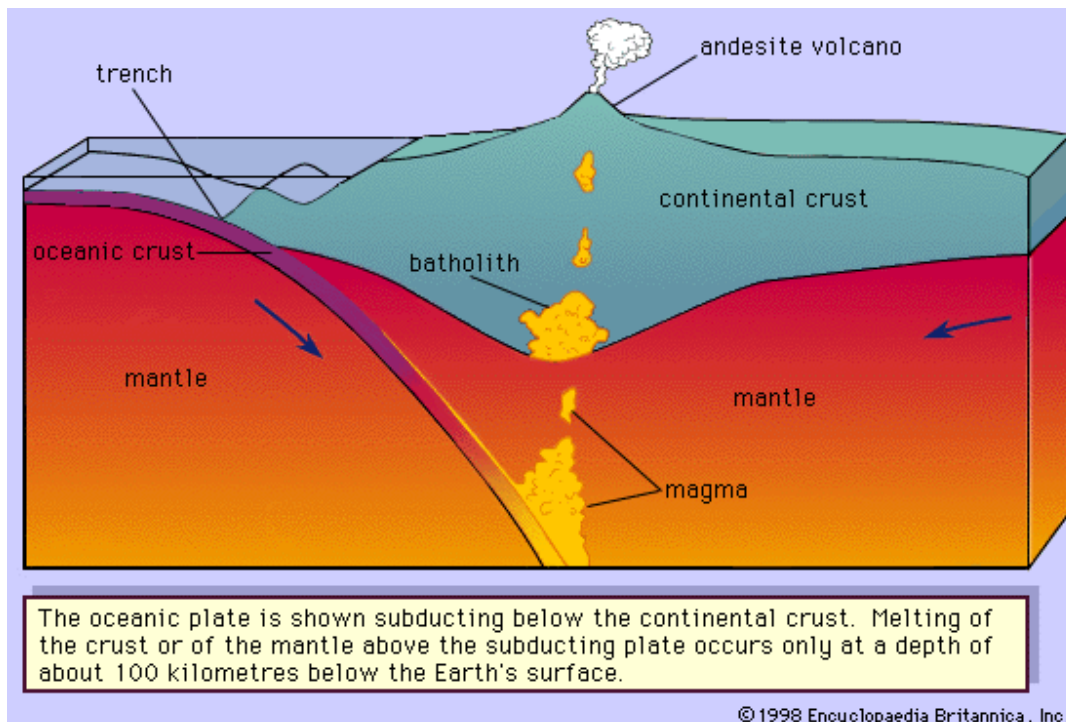
Magmatske stijene nastaju iz magme- silikatne taljevine iz Zemljine unutrašnjosti. Kad magma kristalizira polaganim hlađenjem u dubljim dijelovima litosfere nastaju intruzivne ili plutonske stijene.

Podrijetlo magme povezano je sa subdukcijom tektonskih ploča jedne pod drugu. Subdukcija se događa na mjestima gdje se oceanska ploča spušta pod oceansku i gdje se kontinentalna spušta pod oceansku ploču. Na tim mjestima subdukcije hladni oceanski sedimenti i osnovna bazaltna kora spuštaju se u iznimno vreo okoliš što za rezultat ima:

- a) lokalizirano topljenje unutar klina omotača koji nadliježe spuštene stijene
- b) lokalizirano topljenje samih subduciranih slojeva.

Dolazi do topljenja pojedinih sastojaka osnovne stijene koji se tope različitom brzinom. Prvi materijal koji se topi je sedimentna stijena bogata silicijem iz kvarca, gline i ortoklasa. Kako temperatura raste tako slijede kalij i natrijevi feldspati, tese na kraju tale plagioklasi, amfiboli i pirokseni. Neki minerali se, budući da imaju visoku temperaturu taljenja, npr. olovin i neki pirokseni, ne tope nego tonu dublje u omotač.

Ovisno dakle sastavu stijene koja se topi magma može sadržavati različit udio SiO_2 – od 42 pa do 72 %. Budući da novonastala taljevina ima manju gustoću od okolnog omotača počinje se dizati, na svom putu također ukomponira sastojke kore te još time obogati sadržaj SiO_2 . Kada se magma približi površini, dolazi do vulkanske erupcije te nastaju vulkanske stijene. Ako pak magma ne dopiže do Zemljine površine, nego iz nekog razloga 'zaostane' u kori, magma se hladi te se stvaraju intruzivne (plutonske) stijene.

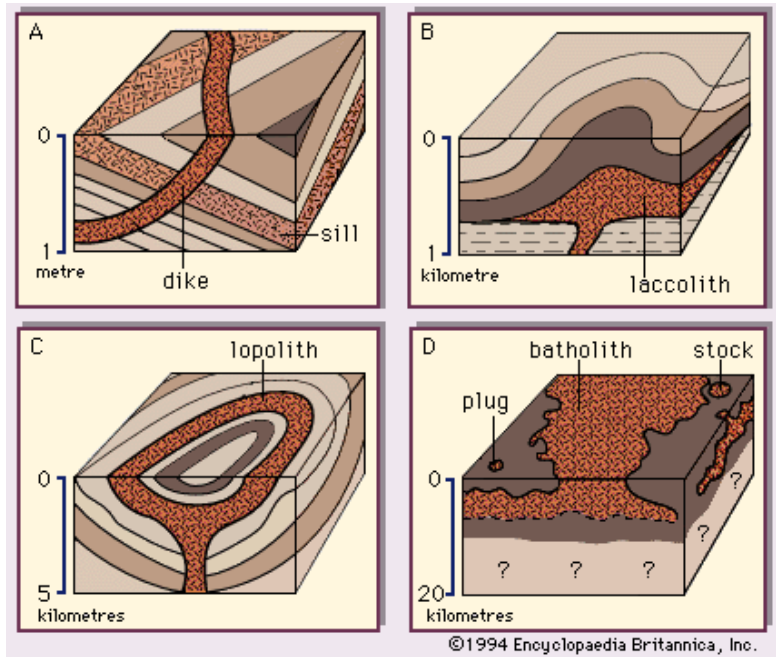


Slika 1. Subdukcija kore

2.2. Oblici intruzivnih stijena

Intruzivne se stijene pojavljuju ili kao horizontalne ploče ili u složenijim oblicima koji se zajedno nazivaju plutonima. Slojevi intruzivnih stijena su rasprostiru se u 2 smjera, dok su, u trećem smjeru, debele od nekoliko centimetara do nekoliko metara. Nastaju kada na svojem putu pronade pukotinu te ju ispunjava, što može doseći i nekoliko kilometara. Ove intruzije zovu se dajkovi ako presijecaju ravninu slojeva stijene u koju prodiru, ili silovi (skladovi) ako je sloj magme paralelan slojevima stijene u koju prodire.

Od poznatijih oblika tu su još: lakolit (intruzivno tijelo gljivastog oblika), batolit (intruzivno tijelo nepoznate osnovice, ali mu je površina veća od 100 m^2) i štok ili masiv (oblikom sličan batolitu, ali manje površine od 100 m^2).



©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Slika 2. Izgled dajkova, lakolita i batolita



Slika 3. Dijabazni dajk u granitu

2.3. Klasifikacija intruzivnih stijena

Magmatske stijene se općenito klasificiraju prema sadržaju SiO_2 , mjestu postanka (gore navedeno) te prema mineralnom sastavu.

Prema sadržaju SiO_2 intruzivne stijene mogu biti:

- bazične →sadržaj SiO_2 43-50%
- neutralne →sadržaj SiO_2 50-65%
- kisele →sadržaj SiO_2 65-72%

Prema mineralnom sastavu razlikuje se veliki broj skupina, a neki od predstavnika su: olivin, piroksen, plagioklas, feldspat, kvarc, itd.

Dva su osnovna tipa strukture magmatskih stijena: granularna (zrnata) i porfirna. Granularna struktura tipična je za intruzivne stijene, budući da se takva struktura formira pri polaganom gubitku topline i plinova, a stijene su potpuno kristalizirane te se minerali približno jednake veličine dodiruju. Porfirna struktura sastoji se od 2 generacije kristala: fenokristala (krupni i pravilno kristalizirani minerali, nastali polagnim hlađenjem taljevine) i osnove (staklasta ili sitnokristalasta masa koja nastaje bržim hlađenjem).

- **GRANIT**

Spada u kisele, intruzivne stijene granularne strukture čiji su glavni sastojci alkalijski feldspati, kvarc i tinjci.



Slika 4. Granit

- DIORIT

Diorit je neutralna intruzivna stijena, svijetlih boja, sa vrlo malo kvarca u svojem mineralnom sastavu.

- GABRO

Gabro pripada u skupinu bazičnih intruzivnih stijena granularne strukture. Ima tipičnu 'gabro' strukturu- duboko prodiranje jednog minerala u drugi, što ove stijene čini čvrstima i žilavima.

- PERIDOTIT

Spada u bazične intruzivne stijene čiji su glavni minerali olivin i piroksen, gotovo bez feldspata (smatra se da je ovako građen Zemljin omotač).

- SERPENTINIT

Serpentinit je stijena koja, kada je svježja, veoma nalikuje peridotitu, sa granularnom strukturom. Često je zelen, budući da je bogat mineralom olivinom.



Gabro



Diorit



Serpentinit



Peridotit

Slika 5. Pojedine stijene

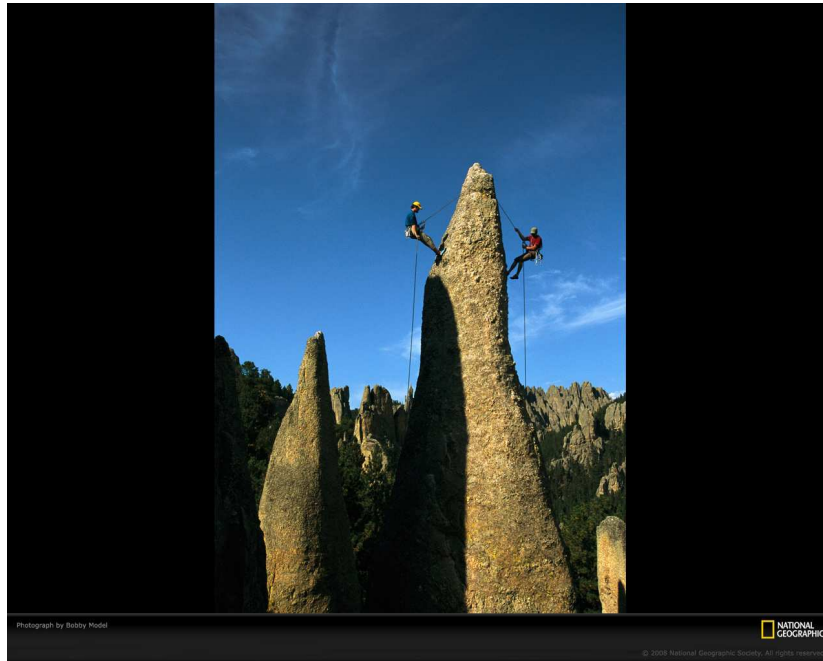
3. TROŠENJE INTRUZIVNIH STIJENA

Iako su svježije intruzivne stijene čvrste i kompaktne, inženjerima stvaraju probleme kad postanu trošne zbog atmosferskih utjecaja kroz dulje vremensko razdoblje. Tako npr. granitne stijene trošenjem daju mješavinu gline, silta i pijeska; ova mješavina materijala visoke je kvalitete te je pogodna za konstrukciju nasipa. Međutim, kako sadržaj čestica unutar zone istrošene stijene varira to je s ovakvim materijalima teško raditi.

Sve stijene trpe fizičku dezintegraciju zbog konstantnog grijanja i hlađenja, vlaženja i sušenja kao i zbog utjecaja biljaka i životinja (uključujući i čovjeka). U plutonskim stijenama koncentracija naprezanja uzrokovana erozivnim rasterećenjem pomaže frakturiranju i pucanju. Zajedno ovi procesi povećavaju površinu stijene koja je izložena reagensima propadanja.

Umjetno proizvedeni uvjeti trošenja otkrili su da se granitne stijene troše relativno brzo u uvjetima umjerene klime sa značajnim smanjenjem veličine čestica granita. Debele naslage koje su zaostale na intruzivnim stijenama potječu od trošenja stijene vodom kroz duži period. Voda je glavni agens koji uzorkuje trošenje ovih stijena, a proces trošenja započinje kada voda bogata ugljikovim dioksidom i kisikom dođe u dodir sa površinom stijenske mase. Kako je stijena u svojoj osnovi nepropusna to se voda slijeva po pukotinama i frakturama te djeluje na rubove između blokova. Takvi blokovi se vremenom oblikuju u gromade procesom koji je poznat još kao i sferoidalno trošenje. Kako se tijekom vremena trošenje ubrzava tako te stijene postaju poroznije te voda koja djeluje iznutra pridonosi njihovom daljnjem trošenju.

Da bi napravili dobar opis i klasifikaciju ovih stijena oni moraju sadržavati dvije varijable: stupanj trošnosti stijena i relativnu izdašnost raznih promijenjenih materijala. Prva varijabla je karakterizacija materijala stijene, a druga je karakterizacija stijenske mase.



Slika 6. Trošni granit

3.1. Klasifikacija stupnja istrošenosti

Zbog činjenice da se stijenski materijal i proporcije stijene mijenjaju, ne postoji 'pravi' način za opis i klasifikaciju stupnja istrošenosti. Kako se stijena troši tako se njezin porozitet povećava, zatim počinje zadržavati tu vlagu; minerali gube sjaj; pojavljuju se pukotine između kristala; na kraju stijena postaje mekša do te mjere da se može zagrebat noktom.

Iako ima različitih, ova klasifikacija trošnosti koja slijedi je modificirana shema Moya i Dearmana. Njezini autori Lee i Freitas napravili su ovu podjelu u 6 stupnjeva, a bazirana je na opisu stijenskih sastojaka i na jednostavnom index testu.

Index test se odnosi na stupanj dezintegracije uzorka težine 40 – 50 g nakon što je bio potopljen u vodi 5 min. Materijal prve klase ne trpi neku značajnu dezintegraciju; materijal druge klase- manje od pola uzorka je dezintegrirano ; materijal treće klase- više od pola uzorka se rastvori i materijal četvrte klase- nakon 5 min dolazi do potpune dezintegracije uzorka.

Podjela:

- Prvi stupanj- svježa stijena- minerali su gotovo cijeli te sjajni; nema finih fraktura vidljivih golim okom; uzorak se može slomiti jedino uzastopnim udaranjem geološkim čekićem
- Drugi stupanj- malo trošna stijena- pokazuje blagu trošnost plagioklasa a biotiti pokazuju promjenu boje oko rubova; postoje mikropukotine koje su vidljive lupom i njihov razmak iznosi manje od 1 cm; stijena je dovoljno čvrsta te treba više od jednog udarca geološkim čekićem da bi se razbila
- Treći stupanj- srednje trošna stijena- pregled lupom pokazuje srednju istrošenost plagioklasa i ortoklasa koji su izgubili sjaj; razmak između mikrofraktura je 5 do 10 mm
- Četvrti stupanj- visoko trošna stijena- svi feldspati su istrošeni te većina biotita; stijena je raspucala, sa pukotinama udaljenima 2 do 5 mm; uzorak se slomi udarcem geološkog čekića
- Peti stupanj- potpuno istrošena stijena- bez obzira na prepoznatljivu kristalinsku strukturu, svi minerali feldspata i biotita su potpuno dezintegrirani; udarac geološkim čekićem dubi stijenu
- Šesti stupanj- rezidualno tlo- originalna kristalna struktura nije vidljiva, te su svi minerali osim kvarca dezintegrirani; nema granica pukotina jer ne postoje neke čvrste veze; uzorak se može udubiti pritiskom prsta

4. INŽENJERSKA SVOJSTVA STIJENA

Glavni problem u istraživanju trošnih intruzivnih stijena leži u karakterizaciji stupnja trošnosti i njihova svojstva u skladu sa njihovom namjenom (temelji, iskopi...). Iako sama struktura nije tako kompleksna kao što je to kod vapnenaca, gornji sloj intruzivnih stijena može biti veoma kompleksan i varijabilan. Kriva procjena ovih parametara može povisiti troškove.

4.1. Hazardi u prirodnim i umjetnim kosinama

Gromade- smještajući neki objekt ispod padine sa izloženom gromadom stijene povećava se rizik da te pojedine gromade popuste te kliznu (na nešto ili nekoga). Klizanje tih gromada može biti potaknuto potresom, gradnjom, kišom itd.



Slika 7. Gromade granita

Erozija i tok debrisa- granitni teren koji je veoma istrošen predstavlja potencijalnu opasnost od klizanja i toka debrisa posebno kod dugotrajnih i obilnih oborina. Stare pukotine i rasjedi te kontakti koje ostvaruju dajkovi pružaju plohe po kojima dolazi do klizanja u iskopanim padinama. Erozijske vododerine i klizanje dobavljači su toku debrisa koji se kreće brzo niz padinu te uzima za sobom drveće i gromade. Ovakvi blatni tokovi ruše prirodne strukture i građevine te uzimaju i ljudske živote.

Klizanje u serpentinitima- klizišta su česta pojava na padinama koje se formirane na serpentinitima. Ova stijena može sadržavati tanke žile iznimno slabe i mekane gline kada je već istrošena.

Slojne pukotine- u čvrstim, netrošnim granitima blokovi stijena predstavljaju prijetnju zbog mogućnosti klizanja i prevrtanja što je naročit problem ako se takvi komadi odlome na npr. cestu. Rješenje se pronašlo u vidu miniranja tih slabih i potencijalnih 'kriznih ploča', stavljanja žičane zaštite na ta mjesta, drenažom ili poboljšanjem kvalitete stijene.

4.2. Eksploatacija na površini

Problemi koji se javljaju kod eksploatacije intruzivnih stijena su ponajprije proslojci gline koja može prouzročiti klizanje i to tako što je trenje između pukotina manje ako je u pukotini vlažna glina. Gusta mreža pukotina ne predstavlja neki veliki problem za klizanje jer su rasjedi i pukotine povezani te postoji trenje između blokova oje sprječava klizanje. Međutim isto ta gusta mreža pukotina može prouzročiti mnoge probleme kod bušenja takve stijene, jer postoji mogućnost da bušotina neće biti dovoljno ravna da se obavi planirano miniranje.

4.3. Temeljenje

Za temeljenje su potrebne čvrste stijene. Zbog toga je potrebno dobro odrediti stupanj istrošenosti stijene. Ako se temeljenje vrši tako da različiti dijelovi zgrade leže na stijenama različite trošnosti može se dogoditi da zbog različitog slijeganja zgrada počne pucati. Također je veoma teško raditi pilote u takvim istrošenim stijenama.

4.4. Brane

Ako se gradi brana na intruzivnoj stijeni preporuča se, za betonske brane, da su smještene na stijene male istrošenosti (stupanj trošnosti 1 do 2). Permeabilnost osnovne stijene postaje problem zbog velikog broja pukotina koje mogu biti ispunjene sa materijalom koji se lako ispiru. Zbog toga se iz tih pukotina i žila ispiru takvi materijali i utiskuje se beton tako da se spriječi punjenje tih pukotina vodom.

Brane ne bi smjele biti građene na serpentinitu. Zbog male posmične čvrstoće i zbog materijala koji ispunjava mnogobrojne pukotine (najčešće gline) serpentinit nije pogodan za gradnju brana. Ispiranje i ispunjavanje pukotina nije moguće jer je veoma propusna i porozna stijena. Brane se rijetko kad grade na serpentinitu, međutim ima i takvih slučajeva.

4.5. Podzemni radovi

Problemi sa trošnošću intruzivnih stijena javljaju se otprilike do 60 m dubine. Ispod toga smatra se da je stijena idealna za podzemne radove- mnogi hodnici nisu trebali podgradu u takvim granitnim stijenama. Tamo gdje pukotine ipak imaju bliži raspored, potrebna je podgrada dok radovi ne prođu taj kritični dio. Ponekad se javljaju slabe točke pa dolazi do iskakanja dijelova stijene- radovi moraju biti obustavljeni dok se takva stijena ne ukloni i područje pravilno osigura.

Na Skandinavskom području postoje mnoge prostorije kako za industrijsku upotrebu tako i za društvene potrebe izgrađene u intruzivnim stijenama. To su prostorije koje su izgrađene ekonomičnom eksploatacijom sa veoma malo podgrade, iako su dijelovi osigurani čisto iz zahtjeva sigurnosti zbog komercijalne upotrebe (npr. koncertna dvorana u granitu u Švedskoj).

Serpentinit, za razliku od granita, predstavlja problem kod podzemnih radova. Proslojci gline, usitnjene stijene te blokovi između kojih su pukotine ispunjene glinom predstavljaju potencijalno opasan materijal koji se treba iskopat. Uglavnom se izbjegavaju podzemni radovi u serpentinitima.

Tuneleri koji izgrađuju tunele u sedimentnim stijinama mogu naići na slojeve dajka. Ovi dajkovi, koji su najčešće više trošni od okolne stijene, predstavljaju probleme zbog svojeg položaja- veoma koso do vertikalno. Tako položeni, dajkovi predstavljaju svojevrsne brane za podzemnu vodu. Kada tuneler dođe do dajkova, trošni materijal pun vode počinje zatrpavati tunel.

5. PROŠLI PROBLEMI

Mammoth Pool brana

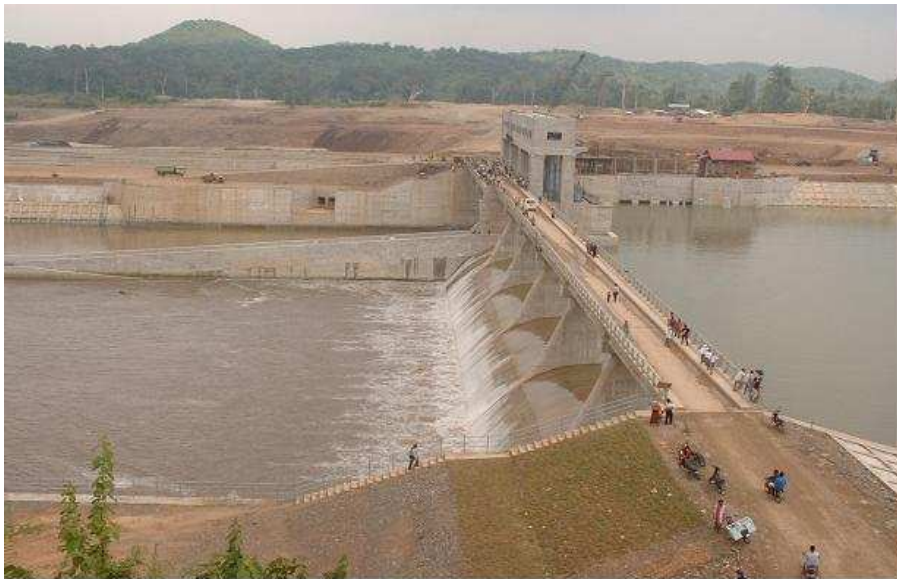
Ova brana nalazi se u dolini rijeke San Joaquin u Kaliforniji. Brana je izgrađena na uslojenom granodioritu. Oko budućeg položaja brane bile su razbacane gromade granita. Sedimenti koji su se nalazili u dolini sastojali su se od debrisa sa gromadama. Kada se zasjeklo u osnovnu stijenu, primjećene su pukotine koje su bile otvorene ili dijelom ispunjene sa aluvijalnim pijeskom i debrisom nastalim trošenjem. Da bi popravili situaciju, pukotine su očišćene kombinacijom vode i zraka pod visokim tlakom do dubine od 5 m, te su kasnije ispunjene čvršćim materijalom. Tijekom izgradnje brane, rutinsko miniranje pokrenulo je klizanje slojeva. Pomoću podgradnih zidova zautavljeno je daljnje klizanje i stabilizirano postojeće. Također je postojala mogućnost da se neki dijelovi stijene odlome, pa su oni bili mehanički maknuti.



Slika 8. Mammoth Pool brana

Projekt 'Hidroelektrana' u Maleziji

Kao i mnoge druge hidroelektrane, i ova je tražila veliku branu, mrežu tunela i podzemno postrojenje, ceste i druge objekte potrebne za rad velikih hidroelektrana. Gotovo svi objekti građeni su na porfirnom granitu sa udjelom kvarca od 35% i 5% biotita. Tektonske deformacije uzrokovale su stvaranje pukotina koje su tijekom vremena bile ispunjene kvarcom, kalcitom ili kloritom. Smične zone prate naslage milonita i brečastog granita. Kroz stijenu rađeni su tuneli malih poprečnih presjeka koji su vodu dovodili u podzemno postrojenje za pretvorbu energije. Dva takva tunela su se urušila, pretpostavlja se zbog ispiranja čestica iz žila koje su bile uz tunele. I dok su imali problema sa iskapanjem tih vodonosnih tunela, prilikom iskopavanja podzemnog postrojenja nije bilo nikakvih poteškoća.



Slika 9. Hidroelektrana u Maleziji