Utjecaj trošenja na svojstva stijenske mase

Furlan, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

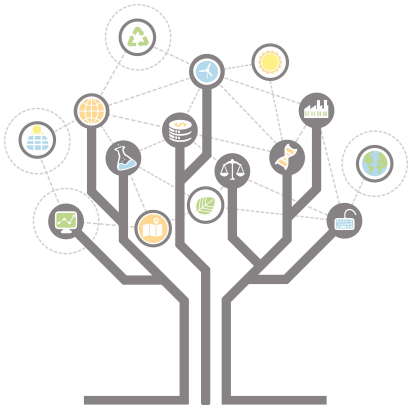
2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:235717

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

TIN FURLAN

UTJECAJ TROŠENJA NA SVOJSTVA STIJENSKE MASE

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ TROŠENJA NA SVOJSTVA STIJENSKE MASE

KANDIDAT:

Tin Furlan

MENTOR:

izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2019.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

Utjecaj trošenja na svojstva stijenske mase,

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom izv.prof.dr.sc Hrvoja Meaškog.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, _____

TIN FURLAN

Ime i prezime: Tin Furlan

Naslov rada: Utjecaj trošenja na svojstva stijenske mase

SAŽETAK:

U radu su opisani osnovni utjecaji trošenja na svojstva stijenske mase.

Opisana su svojstva stijene, odnosno stijenske mase, prikazan podjela stijena u prirodi, opisan način pojavljivanja stijene odnosno stijenske mase u prirodi, nabrojani osnovni oblicima u kojima ih možemo naći u prirodnom okruženju te utjecaj klime i okoliša na stijenu koja se pojavljuje u prirodi. Trošenja su podijeljena u tri kategorije (fizička, kemijska i biološka) te opisan utjecaj egzogenih procesa s obzirom na mjesto nastanka (fluvijalne, glacijalne, eolske, krške, marinske).

Zaključno je trošenje stijenske mase podrobno opisano kroz procjenu trošenja, kako bi što detaljnije mogli klasificirati stijenski masu s obzirom na to želimo li ju koristiti kao sredinu u kojoj se gradi, na kojoj se gradi ili kao materijal za gradnju.

Ključne riječi: trošenje, rastrošba, utjecaj, procesi, vrste

SADRŽAJ

1 UVOD 1
2 STIJENSKA MASA 2
2.1 NAČINI POJAVLJIVANJA 3
2.2 VRSTE STIJENA 6
3 OPĆENITO O PROCESIMA TROŠENJA STIJENSKE MASE 10
3.1 UTJECAJ OKOLIŠA I KLIME 11
3.2 UTJECAJ SVOJSTVA STIJENSKE MASE 13
3.3 UTJECAJ INTAKTNE STIJENE 15
4 NAČINI TROŠENJA STIJENSKE MASE 16
1.1 MEHANIČKO TROŠENJE STIJENSKE MASE 18
4.1 KEMIJSKO TROŠENJE STIJENSKE MASE 20
4.2 BIOLOŠKO TROŠENJE STIJENSKE MASE 22
5 TROŠENJE STIJENSKE MASE S OBZIROM NA EGZOGENE PROCESE .. 24
6 PROCJENA TROŠENJA 31
7 ZAKLJUČAK 36
8 LITERATURA 37
POPIS SLIKA 38
POPIS TABLICA 39

1 UVOD

Proučavanjem i analizom inženjersko-geoloških karakteristika stijene, kao materijala u kojem se i na kojem se gradi, ali i kod eksploatacije stijenske mase, iznimno je bitno poznavati parametre koji utječu na samu stijensku masu.

Bilo da se radi o fizičkom ili kemijskom trošenju stijena, bitno je znati kako će utjecati na svojstva stijene. Sama stijenska masa je prirodna geološka formacija neke stijene sa svim svojim oslabljenjima odnosno sam naziv za cjelokupan volumen stijene koji se javlja u prirodi. Govoreći o inženjersko-geološkim svojstvima stijena, razlikujemo fizička i mehanička svojstva stijena.

Fizička svojstva stijena su, uz proces trošenja, i pod izravnim utjecajem litološkog sastava, strukture, teksture i dijagenetskih procesa, dok su kod mehaničkih svojstva stijene uvjetovana cijelim nizom značajki, u koje uz trošenje spadaju i: litološki sastav, struktura, tekstura, dijagenetski procesi.

Način i intenzitet trošenja stijena je uvelike predodređen uvjetima u kojima se trošenje odvija, kao što su i strukturni i teksturni elementi pojedinog litološkog tipa stijena. Stoga u narednom radu ćemo razjasniti što je stijenska masa, koji su tipovi i načini trošenja te kako sve trošenje može utjecati na inženjersko geološka svojstva, ali i svojstva stijene gledano s tehničke strane.

2 STIJENSKA MASA

Enciklopedijski opisujući pojmove stijena i stijenska masa, za stijenu bi rekli da je bilo koji formirani agregat mineralnih tvari koji se pojavljuju u velikim masama ili fragmentima. Nastavno, stijenska masa je prirodna geološka formacija koja se javlja in-situ, uključujući njene strukturne diskontinuitete, a koje bi mogli pojasniti kao opći naziv za bilo koji mehanički prekid u stijenskoj masi (Slika 1).

Stijenska masa je često razlomljena, anizotropna, heterogena te se pojavljuje u prirodnom stanju naprezanja. Na ponašanje stijenske mase utječu prvenstveno, geološka struktura stijena i svojstva stijene koja gradi stijensku masu, ali i svojstva diskontinuiteta te utjecaj podzemne vode i stanje naprezanja u stijenskoj masi.



Slika 1. Stijenska masa, stijena i diskontinuiteti (GFV.hr)

Osnovna inženjersko-geološka svojstva stijenske mase mogu se promatrati i s aspekta pojave, odnosno načina pojavljivanja u prirodi, diskontinuiranosti, odnosno prekida u stijenama, stanjem geniteta, tropije i stanja naprezanja.

Da bi se odredila svojstva i parametri čvrstoće stijenske mase te projektirali zahvati u stijenskoj masi, potrebno je razlučiti spomenute elemente stijenske mase, ali i mjerilo cjelokupnog zahvata u stijenskoj masi u odnosu na veličinu elemenata strukturne geologije (Vrkljan, 2001).

2.1 NAČINI POJAVLJIVANJA

Pojavljivanje stijenske mase u uvjetima koje nalazimo in-situ, iskazuje se kroz strukturna i teksturna obilježja, koja su proizašla iz geneze same stijene i koja kasnije utječu na ponašanje cijele stijenske mase. Struktura stijena definira se stupnjem kristaliniteta, a potom i veličinom, oblikom i međusobnim odnosom minerala, a ovisi o načinu postanka stijene. Tekstura stijena označuje način na koji su minerali zauzeli prostor u stijeni, a ovisi o utjecaju vanjskih faktora, bilo prilikom nastanka stijene ili nakon toga.

Najčešći oblik pojave stijenskih masa su **masivnost, slojevitost, škriljavost i lučenje**. Neki od navedenih oblika pojavljivanja predstavljaju negativnu pojavu, s obzirom na to kako gledamo stijensku masu, odnosno što želimo iz nje izvući.

Masivnost je svojstvo stijenskih masa da se u sklopu terena javljaju cjelovite (Slika 2). Masivna tekstura je najčešća kod magmatskih stijena. Kod sedimentnih stijena se u obliku masivne strukture najčešće javljaju vapnenci i dolomiti te neke vrste lapora i gline.



Slika 2. Planinski masiv – masivnost (Impulsportal.net)

Ukoliko bi gledali na stijenu kao eksponat, masivnost bi bila pozitivno svojstvo stijene, aludirajući na veliku stabilnost kosina, usjeka i zasjeka. Masivnost dopušta i izradu velikih podzemnih prostorija, s malo ili bez ikakve podgrade. Nepovoljna

strana masivnosti je što se radovi izvode sporije, a i troškovi eksploatacije su veći jer je stijenu najčešće potrebno dobiti što manje poremećenu.

Slojevitost je svojstvo stijenskih masa da se u sklopu litogenetskih tijela pojavljuju odvojene s međusobno paralelnim diskontinuitetima. Slojevitost može biti planarna, kosa, ukrštena ili valovita te nepravilna ili pravilna. Pravilna slojevitost može biti ritmička ili ciklička. Slojevitost je glavna odlika sedimentnih stijena no ponekad se može pronaći i kod metamorfnih stijena pretežito nižeg stupnja metamorfoze (slika 3, dolje lijevo). Kada bi je gledali s praktičnog dijela, slojevitost olakšava eksploataciju, obradu, zasjeke, usjeke i pojeftinjuje primjenu stijena. S druge strane, jako izražena tanka slojevitost smanjuje upotrebljivost stijena. Nepovoljna orijentacija slojevitosti („niz padinu“), smanjuje stabilnost padina, kosina, zasjeka i usjeka. Orijentacija slojevitosti može biti pozitivna i negativna, što ovisi o odnosu između smjera nagiba slojeva i smjera nagiba zasjeka ili smjera tunelske osi.



Slika 3. Slojevitost stijenske mase (zasticenapodrucja.com)

Škriljavost je planarno strukturno obilježje, odnosno folijacija koja se javlja u metamorfnim stijenama, kao posljedica preferiranog slaganja i rekristalizacije postojećih ili novih minerala vidljivih u stijeni i to približno okomito na smjer najvećeg pritiska (Slika 4). Škriljavost je primarna struktura i glavna odlika metamorfnih stijena, a zapravo predstavlja sekundarne, deformacijske strukture izvornih stijena iz kojih su nastale.



Slika 4. Primjer škriljavosti metamorfne stijene (RGN.hr)

S tehničkog pogleda, škriljavost predstavlja negativno svojstvo stijenske mase. Škriljave stijene imaju tendeciju površinskom raspadanju, a pozitivna strana je što omogućava olakšano izvođenje radova, odnosno iskop stijenske mase.

Lučenje je svojstvo magmatskih stijena da se potpuno ili prikriveno pojavljuju izdijeljene uslijed kontrakcije, isušivanja, specifičnog grupiranja mineralnih sastojaka pri njihovoj agregaciji. Lučenje je teksturna značajka samo magmatskih stijena, jer prilikom hlađenja stijena one se skupljaju pa nastaju ravnine pucanja (Slika 5). Što znači da se lučenje javlja kao posljedica skupljanja magme uslijed hlađenja, kada nastaju vidljivi ili nevidljivi diskontinuiteti. Najčešći oblici lučenja stijenske mase jesu: pločasto, prizmatično, paralelopipedno, kuglasto i nepravilno.



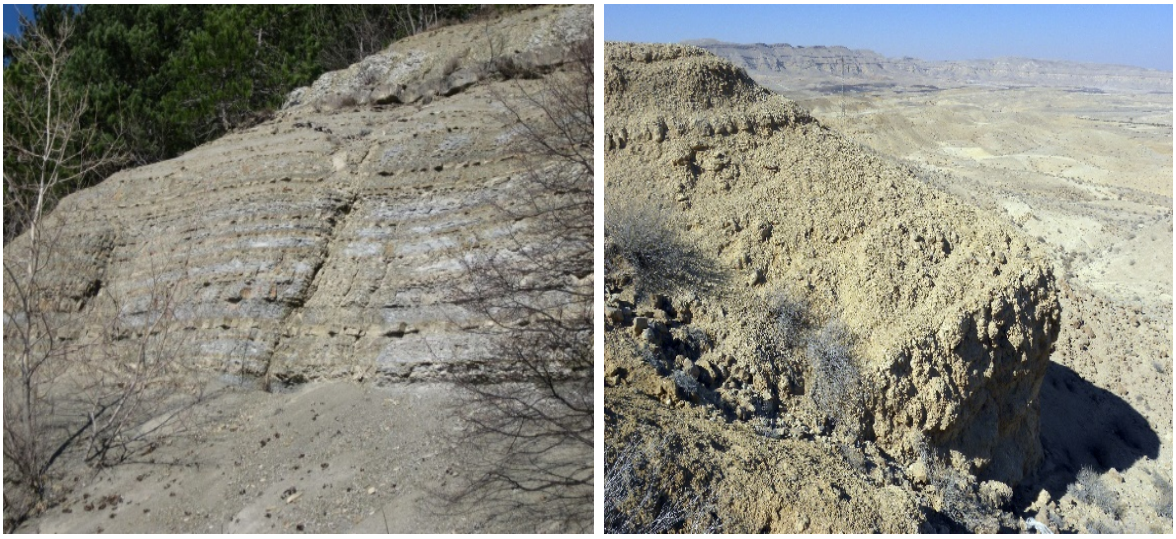
Slika 5. Lučenje magmatskih stijena (geol.pmf.hr)

2.2 VRSTE STIJENA

Stijene u inženjerskoj geologiji možemo podijeliti na **čvrsto vezane stijene** (dobro okamenjene i slabo okamenjene), **slabo vezane stijene** te **nevezane ili rastresite stijene**.

Čvrsto vezane stijene su one stijene kod kojih postoji čvrsta veza između zrna i odlomaka koji ih izgrađuju. Osnovna svojstva ovise o vrsti mineralnih sastojaka i o vrsti veziva, o sklopu stijenske mase, u koje pripadaju: veličina, oblik i raspored zrna, i način njihove povezanosti (struktura i tekstura stijena) te raznim defektima u građi stijena (uklopci koji stvaraju nehomogenost u sastavu, pore i pukotine, diskontinuiteti stijenske mase).

Čvrsto vezane stijene se mogu podijeliti na dobro okamenjene i slabo okamenjene. Načelno vrijedi da se stijene i tla u mehanici stijena i mehanici tla razvrstavaju i razmatraju s obzirom na događaje uslijed opterećivanja uzorka stijene ili tla nekom silom. Čvrsto vezane stijene se deformiraju slično deformiranju drugih čvrstih materijala. Na trenutno nanošenje opterećenja reagiraju kao elastična tijela, a na dugotrajna opterećenja kao slabo plastična tijela (Miščević, 2004).



Slika 6. Primjer dobro i slabo okamenjenih stijena (Geotech.hr)

Dobro okamenjene stijene opisuje velika kohezija, mala deformabilnost, velika čvrstoća na tlak, visoka elastičnost, zadovoljavajuća postojanost, mala poroznost (ukoliko su neoštećene), neznatna vodopropusnost (Slika 6, lijevo). U fizičkom pogledu su vrlo otporne.

Slabo okamenjene stijene opisuje kristalna veza, koja nije vrlo čvrsta, a ovdje spadaju okamenjene gline, lapori, gips, kamena sol, škriljavci niskog stupnja kristaliniteta te druge vrste gline (Slika 6, desno). Prilikom izlaganja površinskim i podzemnim vodama, postojanost im nije velika, dok pri većim opterećenjima mogu iskazati i stišljivost (kod preopterećenja dolazi do sloma). Opisuju ih mala poroznost, higroskopnost, vodonepropusnost te sklonost produkciji nanosa.

Kod **slabo vezanih stijena** do izražaja dolazi ponašanje u dodiru s vodom. Sva svojstva slabo vezanih stijena su određena odnosom čvrstih čestica vode i zraka u jedinici volumena, i granulometrijskim sastavom (Slika 7). Karakterizira ih promjena stanja konzistencije i zbijenosti promjenom sadržaja vode. Ukoliko sadrže veću količinu slobodne vode, tada su u žitkom ili viskoznom stanju, a kada gube slobodnu vodu najprije prelaze u plastično stanje. Ukoliko sadrže samo higroskopnu vodu u relativno su čvrstom stanju. Neka od svojstva su ljepljivost, bubrenje, ocjeđivanje i stišljivost.



Slika 7. Slabo vezana stijena – mineral gline kaolinit (RGN.hr)

Najbolji predstavnik slabo vezanih stijena su gline (ilit, kaolinit, montmorilonit, i mnoge druge).

Nevezane ili rastresite stijene su izgrađene od mineralnih čestica ili odlomaka stijena koje se međusobno dodiruju. Njihov oblik nastaje uglavnom pod utjecajem gravitacije. Osnovna svojstva su: poroznost, vodopropusnost i stišljivost, a ovise o vrsti, veličini, obliku i složenosti zrna, a ponekad i o vlažnosti. Prilikom opterećenja javljaju se stišljivost i deformacija. Najčešći predstavnici su prah, šljunak i pijesak (Slika 8).



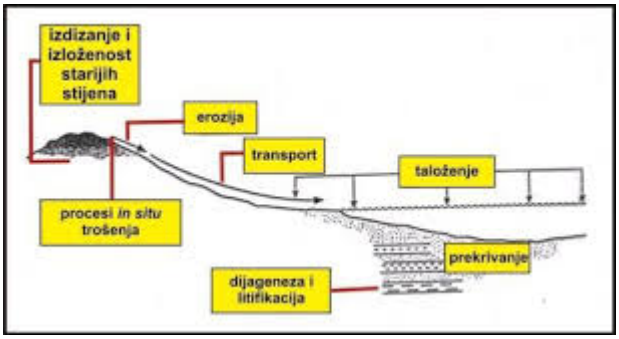
Slika 8. Primjer nevezane stijene – pijesak (wikipedia.org)

Podjela nevezanih stijena može biti prema granulometrijskom sastavu ili prema stupnju zbijenosti. Prema granulometrijskom sastavu, razlikuju se šljunčane, pješčane i prašinaste stijene, a prema stupnju zbijenosti na dobro zbijene, srednje zbijene i rahle stijene (Ivanković, 2010).

3 OPĆENITO O PROCESIMA TROŠENJA STIJENSKE MASE

Samo trošenje, ili razgradnja, predstavlja proces razaranja stijena na Zemljinoj površini ili plitko pod površinom zbog erozije, djelovanja atmosfere, vode, leda, klimatskih i temperaturnih promjena, insolacije i životne djelatnosti organizama.

Prilikom trošenja, bitno se mijenja mineralni sastav stijene, uslijed toga što dio minerala nestaje zbog slabe otpornosti, izlužuje se ili pretvara u nove minerale koji su stabilni u promijenjenim fizikalno kemijskim uvjetima. Kompaktna i čvrsta stijenska masa, bez pukotina, i glatka, lakše će se oduprijeti procesima razgradnje.



Slika 9. Podjela i prikaz procesa trošenja (pmf.unizg.hr)

Mineralni sastav i struktura u velikoj mjeri utječu na trošenje stijenske mase. Poroznost i propusnost stijena vođene su njenom strukturom, granulometrijskim svojstvima (veličina zrna i sortiranost), mineralnim sastavom, razlomljenošću i otapanjem koji prati ostale elemente.

Procesi trošenja pogađaju i intaktnu stijenu i diskontinuitete (Slika 9). Mehaničko ili fizičko trošenje može uzrokovati daljnje otvaranje već prisutnih diskontinuiteta u stijenskoj masi ili nastanak novih prilikom sloma u stijenskoj masi. Trošenjem stijenska masa prelazi u rezidualno tlo. Intenzitet trošenja stijena ovisi o tipu stijene, klimi i vremenskoj izloženosti procesu trošenja. Faktori utjecaja na trošenje mogu se svrstati u tri skupine (Dugonjić Jovančević, 2016):

1. okoliš: utjecaj klime, topografije, hidrogeoloških svojstava i bioloških sustava
2. svojstva stijenske mase: njena priroda, homogenost, razmak i raspored diskontinuiteta, tekstura
3. svojstva materijala intaktne stijene: sastav, struktura i propusnost.

3.1 UTJECAJ OKOLIŠA I KLIME

Ukratko opisujući neke od faktora utjecaja, klima utječe na trošenje direktno i indirektno. U vlažnim tropskim područjima debljina rezidualnog tla nastalog trošenjem stijena može biti i 20 do 30 m. Temperatura ima značajan utjecaj na intenzitet kemijskog, ali i fizičkog trošenja, tj. kod smrzavanja, grijanja i hlađenja koji dovode do dezintegracije stijenske mase. Više temperature ubrzavaju kemijske reakcije pa zato trošenje poprima šire razmjere u tropskim područjima gdje su temperature više, a padaline obilnije. Intenzivnim trošenjem dolazi do promjene u topografiji područja, a topografija područja utječe na način i intenzitet trošenja stijenskih masa. Osnovno je pravilo da je kemijsko trošenje najveće na zaravnima, dok je slabije i pliće na strmim padinama na kojima voda otječe velikom brzinom. U isto vrijeme na strmim je padinama erozija jaka pa fizičko trošenje na takvim lokacijama ima veću ulogu od kemijskog trošenja.

S obzirom na klimu u Republici Hrvatskoj, prevladavaju kontinentalni, planinski i kontinentalni tip klime.

Primorsku klimu odlikuju vruća i suha ljeta te blage zime, imajući na umu da je more najvažniji faktor koji utječe na ovu klimu. Smeđa tla se najčešće pojavljuju u područjima pod utjecajem primorske klime, na vapnencu i dolomitu. No postoje i male iznimke pojave ove vrste tla u Panonskom dijelu Hrvatske.

Planinski tip klime obuhvaća više nadmorske visine planina u Gorskom kotaru, Lici i zaleđu dalmatinske zagore. Tokom godine dolazi do velikih oscilaciju u temperaturama dana i noći, a ono što je karakteristično su veliki broj padalina.

Pogoduje nastanku crnice, tla koji nastaje na kamenjaru, kombinacijom na vapnencu i dolomitu (Slika 10, lijevo). Također se u manjim područjima dalmatinske zagore može naći i crvenica, isključivo na području krša (Slika 10, desno).



Slika 10. Crnica i crvenica – oblici tla u RH

Kontinentalni tip klime obuhvaća cijeli kontinentalni dio, koji se s obzirom na geografski položaj (npr. Zagreb od Osijeka) ne razlikuje previše. Kontinentalni tip klime opisuje vrlo hladne zime i vrlo vruća ljeta, s jasnim razlikama između godišnjih doba. Uglavnom na godišnjoj bazi ima manje oborina nego u planinskoj i sredozemnoj klimi (cca 600 do 1200 mm godišnje).

Smeđa distrična tla su tla koja obitavaju pod područja kontinentalne klime (Slika 11). Odlikuje ih to što se pojavljuju u kiselim područjima. Nalazi se većinom u brdskim i gorskim predjelima Panonije.



Slika 11. Pojava smeđih distričnih tla (PFOS.hr)

Također valja spomenuti i smeđe eutrično tlo koji se nalazi na prostoru cijele Hrvatske, s naglaskom da je ipak više rasprostranjen na području Panonskog dijela (Slika 12).



Slika 12. Smeđe eutrično tlo (OŠ-A.Kanižlića, Požega)

3.2 UTJECAJ SVOJSTVA STIJENSKE MASE

Uslijed trošenja stijena, bitno se mijenjaju njihova svojstva. Rastrošba predstavlja promjenu svojstava stijene kao posljedice ljuštenja, hidratacije, slabljenja kod sušenja i vlaženja („slaking“), bubrenja, otapanja, oksidacije, abrazije, smrzavanja i

drugih procesa. Primjerice, trošenje stijene može biti izraženije, ukoliko je došlo do slabljenja veza između mineralnih struktura unutar stijena.

Diskontinuiteti možda predstavljaju i najčešći uzrok trošenja stijene. Oni predstavljaju svojevrsni „ulaz“ svim čimbenicima trošenja u stijensku masu (Slika 12). Kako trošenje odnosno čimbenici trošenja prodiru dublje kroz diskontinuitet u stijensku masu, tako se i na površini diskontinuiteta javljaju i oznake heterogenosti.



Slika 12. Izdizanje jezgre stijene uslijed diskontinuiteta stijene (Singersongblog.com)

U konačnici, svojstva stijenske mase mogu dovesti do toga da se stijena rastrošbi do klase rezidualnog tla.

3.3 UTJECAJ INTAKTNE STIJENE

Prilikom trošenja intaktne stijene, značajan faktor ima utjecaj ostataka stijena koje se mogu nalaziti na površini intaktne stijene. Čimbenici koji pospješuju trošenje su ostaci ili fragmenti stijenske mase koje se nalaze na površini svježe stijene, a koji služe kao vrste protekcijskog sloja, sprječavajući daljnje trošenje. Da bi trošenje intaktne stijene bilo kontinuirano, površinski sloj mora biti konstantno prinuđen faktorima trošenja, što znači da sitni ostaci stijenske mase koji prekrivaju površinski dio moraju biti odneseni utjecajem gravitacije, vjetra, vode, leda, i sl. (Bell, 2007).

4 NAČINI TROŠENJA STIJENSKE MASE

Trošenje stijenske mase može biti mehaničko, kemijsko i organsko ili biološko. Više o detaljima trošenja u sljedećem poglavlju, gdje će detaljnije biti opisani svaki od njih.

Trošenje stijena, rastrošba, razgradnja, obuhvaćaju širok pojam, stoga i početna riječ trošenje u ovome završnom radu na engleskom se naziva *weathering*, koji za sada nema točno odgovarajući prijevod na hrvatski jezik te bismo mogli upotrijebiti bilo koji od gore navedenih termina, i pri tome ne pogriješili.

Trošenje ili rastrošbu razlikujemo u inženjerskom razdoblju vremena (red veličine do nekoliko desetaka godina), ali i rastrošbu u geološkom razdoblju vremena (red veličine geoloških razdoblja), a koja se u inženjerskoj praksi opisuje pojmom erozija.

Kako su uzroci trošenja veoma različiti, za sada ne postoji jedna mjerena veličina kojom bi obuhvatili opis procesa općenito. U primjeni je sve češći indeks osjetljivosti na kalavost. Ukoliko je stijena podložna rastrošbi vrlo brzo nakon izlaganja vanjskim čimbenicima, kažemo da stijena nije postojana. Ova veličina je vrlo važna činjenica u bilo kojoj primjeni stijene, odnosno u rješavanju bilo koje inženjerske zadaće vezane za stijensku masu. Kod većine stijena, karakteristično je da se proces trošenja odvija na površini koja je izložena vanjskom utjecaju. Međutim kod stijena koje se klasificiraju kao meke stijene, taj proces u pravilu se širi u dubinu mase. Postojanost stijene na osnovi indeksa osjetljivosti na kalavost prema Gamble-ovoj klasifikaciji (Miščević, 2004) prikazana je u tablici 1.

Tablica 1. Gamble-ova klasifikacija prema indeksu osjetljivosti na kalavost nakon drugog ciklusa (Miščević, 2004)

Grupa stijene	**I_{d2} (%)**
Izrazito visoko postojana	>98
Visoko postojana	95-98
Srednje visoko postojana	85-95
Srednje postojana	60-85
Nisko postojana	30-60
Vrlo nisko postojana	<30

Sveobuhvatno gledano, trošenje stijena može pojedinačno i skupno, utjecati na porozitet, težinu stijene, vlažnost, propusnost, čvrstoću.

Intenzitet kojim se troši stijena, ne ovisi samo o čimbeniku trošenja, već uvelike i o sposobnosti stijene da se odupre trošenju, odnosno njenoj otpornosti (mineraloški sastav, tekstura, poroznost, općenito čvrstoća stijene te pojava diskontinuiteta).

Reakcija stijene na rastrošbu je dakle, direktno povezana za svoju površinsku zonu i prosječnu veličinu pora. Stijene koje se sastoji od uglatih oblika su podložnije trošenju od onih glađih struktura. Što je veća povezanost struktura, to je veća otpornost trošenju stijene. Kao što je spomenuto, način i intenzitet trošenja varira, ovisno o klimatološkom području. U vlažnim područjima, kemijski i biološki procesi su značajno naglašeni od mehaničkih procesa. Stupanj i intenzitet trošenja u vlažnim područjima ponajviše ovisi o temperaturi i količini vlage prisutnoj. Porast temperature znači i porast intenziteta trošenja, primjerice, porast od 10°C uvećava faktor kemijskog trošenja više nego dvostruko (Bell, 2007).

1.1 MEHANIČKO TROŠENJE STIJENSKE MASE

Mehaničko trošenje predstavlja dezintegraciju stijene bez promjena u mineraloškom i kemijskom sastavu (pucanje uslijed popuštanja pritiska, smrzavanje-otapanje, abrazivno djelovanje vode, vjetra i leda, termalna ekspanzija, organska aktivnost, kontrakcija). Stijena se usitnjava od komada veličine blokova pa do veličine sitnih čestica. Osnovni faktori mehaničkog trošenja su temperaturne razlike, smrzavanje voda u pukotinama, rast korijenja biljaka, mehanička snaga voda. Kako će se ponašati usitnjeni materijal ovisi o vertikalnosti terena, odnosno radi li se o ravnim ili nagnutim površinama.

Na ravnim površinama usitnjene čestice i materijal ostaje na mjestu postanka, a zovemo ga aluvij, dok na nagnutim površinama, rastrošeni materijal se transportira utjecajem sile teže i vodenih tokova (stalnih i povremenih) prema morfološki pogodnom mjestu gdje će se taj materijal nakupiti. Ova vrsta materijala se naziva deluvij.

Najčešće spominjani proces mehaničkog trošenja u inženjerskoj geologiji je erozija. Ona predstavlja prirodni proces pomicanja krutih tvari kroz utjecaj vjetra, vode ili pomicanja koja su uvjetovana djelovanjem sile gravitacije. Razlikujemo eroziju vodom, koja se manifestira kao regionalna (kišom) i fluvijalna (vodenim tokovima); eroziju ledom i snježnim lavinama (glacijalna erozija, snagom ledenjaka); te eroziju vjetrom ili tzv. eolska erozija.

Erozija vodom djeluje na stijensku masu ovisno o njenim fizičko-mehaničkim svojstvima. Lakše se erodiraju i troši mekše nevezane i poluvezane stijene, a teže čvrste (Slika 13). U gornjem dijelu toka razoreni materijal je krupniji, a prema ušću nalazimo sitnije čestice.



Slika 13. Primjer marinske erozije, odnosno erozije stijene uzrokovane valovima (onegeology.org)

Jedno od mehaničkih trošenja stijena je i abrazija, a to je mehaničko trošenje stijena uslijed djelovanja trenja i sudaranja čestica. Najčešće abrazivno djelovanje na stijenu imaju voda, vjetar i ledenjaci. Sudaranjem čestica nošenih vodenom strujom, strujom vjetra ili na plažama dolazi do njihovog zaobljavanja.

Stoga najčešće područje djelovanja abrazije jesu morske i jezerske obale (njihov reljef je rezultat djelovanja abrazije). Destruktivno djelovanje valova očituje se razaranjem obalnih stijena, njihovim odnošenjem, i taloženjem nakon kraćeg transporta. Proces je intenzivniji što je obala strmija, a stijena manje otporna.

Nakupljanjem razorenog materijala nastaju šljunčane i pješčane plaže te shodno tome se smanjuje mogućnost daljnjeg razaranja obala (sitne čestice).

Denudacija je mehanički proces trošenja koji povezanim djelovanjem atmosferskih voda, površinskih tokova, insolacije, leda, vjetra i organizama rezultira ogoljavanjem, zaravnanjem i snižavanjem kopnenih masa uslijed trošenja, erozije i premještanja erodiranog materijala. Veći dio razorenog stijenskog materijala vodenim putevima dospijeva u more (godišnje mjereno i više od milijardu m^3).

Smrzavanje i otapanje također mogu biti jedan od načina mehaničke rastrošbe stijena, u umjerenim klimatskim područjima i na visokim planinama tijekom zime u stijenama, kojima je sastav uvelike natopljen vodom. Smrzavanje, zbog posljedica

povećanja volumena leda u odnosu na volumen vode, uzrokuje velika naprezanja i tlak. Takva naprezanja mogu razarati i najčvršće stijene. Ovim procesom su osobito podložne stijene visoke poroznosti, bila ona primarna ili sekundarna.

Kada stijene nastale pod utjecajem povišenog tlaka u dubljim dijelovima Zemljine kore, uslijed tektonskog izdizanja ili erozije pokrovnih sedimenata dođu na površinu, one se prilagođavaju novim uvjetima sniženog tlaka, odnosno ekspandiraju. Pri toj njihovoj prilagodbi novim uvjetima, tzv. relaksaciji, stvaraju se pukotine koje olakšavaju daljnju dezintegraciju stijene drugim procesima. Ovaj proces možemo nazvati pucanjem uslijed popuštanja pritiska (Miščević, 2004).

4.1 KEMIJSKO TROŠENJE STIJENSKE MASE

Voda u prirodi nikad nije potpuno čista, najčešće sadrži otopljeni CO_2, i ponaša se kao vrlo blaga ugljična kiselina. Uslijed kemijskog trošenja, dolazi do promjene mineralnog sastava stijene uslijed kemijskih reakcija vode i zraka sa stijenom. Dolaskom stijena blizu površine ili na površinu Zemlje u drugačije uvjete tlaka i temperature primarni minerali postaju nestabilni, izlužuju se ili se pretvaraju u nove minerale koji su stabilni u uvjetima trošenja. Čimbenici koji uvjetuju kemijsko trošenje su klima, morfologija terena i intenzitet mehaničkog trošenja stijenske mase.

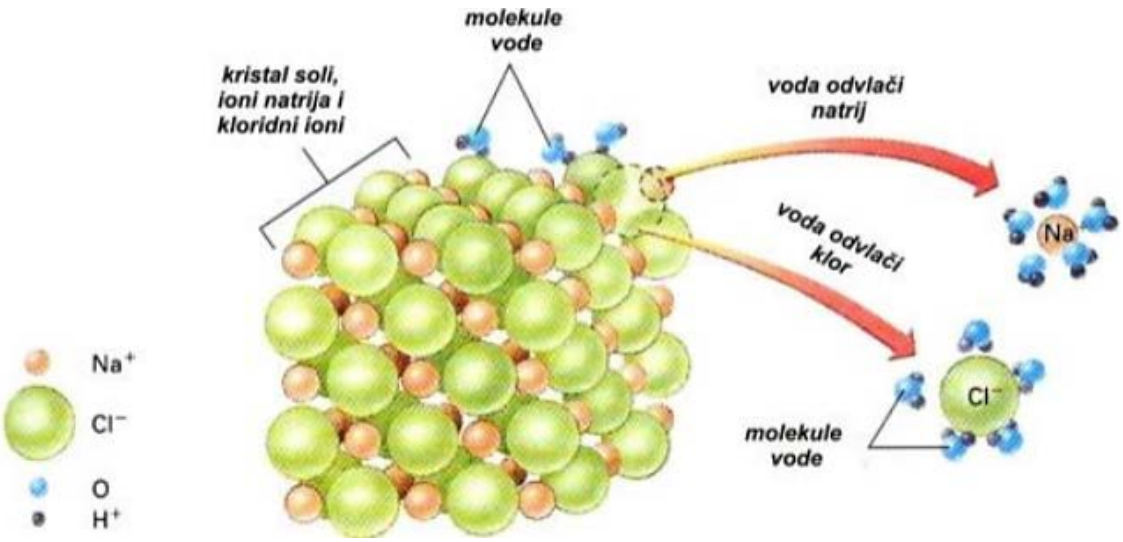
Vlažna ili umjerena klima pogoduje kemijskog trošenju svih minerala osim kvarca, dok kao produkt trošenja nastaju minerali gline. Vlažna tropska klima je pak najpovoljnije okruženje u kojemu je kemijsko trošenje najizraženije, brzo i intenzivno.

Morfologija terena uvjetuje dali je erozija neznatna ili je snažna. U blago zaravnjenim terenima je duža izloženost stijena na površini Zemlje te je prisutno snažno kemijsko trošenje. U strmim reljefima je prisutna snažna erozija, koju

karakterizira kratku izloženost na površini Zemlje te je stoga slabije izraženo kemijsko trošenje stijenske mase. Što je stijena sitnija, odnosno što je jace fizikalno, odnosno mehaničko trošenje stijena, to je uspješnija okolina za kemijsko trošenje stijena.

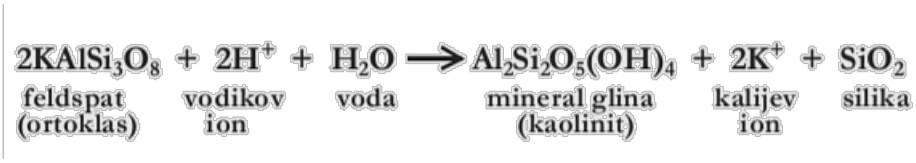
U procese kemijskog trošenja spadaju otapanje, hidroliza, oksidacija, dok bi kao zajedničko djelovanje fizikalnog i kemijskog trošenja naveli kristalizaciju soli i hidrataciju anhidrita u gips.

Otapanje je odvajanje iona iz minerala i odnošenja otopljenog minerala vodom (Slika 14). Voda u prirodi nikad najčešće ne sadrži otopljeni CO_2 i ponaša se kao blaga ugljična kiselina. Blago kiseli ili blago lužnati medij lakše otapa minerale nego neutralna voda.



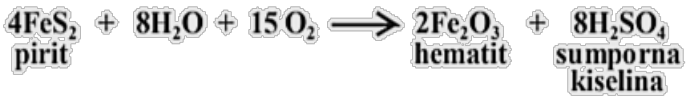
Slika 14. Otapanje halita u vodi (PMF.unizg.hr)

Hidroliza u prirodi predstavlja vrlo čest proces trošenja petrogenih minerala, kod kojeg mineral reagira s vodom dajući novi mineral s vodom kao dijelom njegove kristalne strukture. Jednadžba u nastavku predstavlja trošenje feldspata u minerale gline (PMF.unizg.hr):



Oksidacija predstavlja reakciju minerala s atmosferskim kisikom. Mijenja se boja, poroznost, volumen, i mineralni sastav stijena uz tvorbu autigenih minerala. Zbiva se uglavnom iznad razine temeljne vode, a u močvarnim terenima i u terenima sa stalno zamrznutim tlom nedostaje.

Jednadžba u nastavku predstavlja oksidaciju dvovalentnog željeza u trovalentno (PMF.unizg.hr):



4.2 BIOLOŠKO TROŠENJE STIJENSKE MASE

Biološko trošenje stijenske mase zbiva se pod utjecajem organskih procesa koji uključuju fizikalno razaranje stijena, uzrokovano rastom korijenja drveća te otapanje stijena, zbog aktivnosti bakterija i huminskih kiselina koje potječu od truljenja organske tvari (Buljac, 2012). Uslijed utjecaja flore i faune, mijenja se tvorba i struktura stijenske mase. Biološko trošenje može biti očitano kao fizičko ili kemijsko. Fizički pokazatelji su pucanje stijena, produbljivanje nepropusnih horizonata, obogaćivanje s organskom tvari, miješanje i dr. (Slika 15).

Kemijski pokazatelji su obogaćivanje tla produktima kemijskog raspadanja (CO2, mineralnim i organskim kiselinama, limunska, octena, mliječna, oksalna i druge), obogaćivanje tla humusom i drugi.



Slika 15. Biološki doprinos trošenju stijena (rudar.rgn.hr)

5 TROŠENJE STIJENSKE MASE S OBZIROM NA EGZOGENE PROCESE

Svi ovi procesi koji izvana mijenjaju reljefne oblike i uzrokuju trošenje stijena, skupno se nazivaju egzogeni procesi. Mogu se podijeliti prema mjestu nastanka na: padinske, fluvijalne, marinske, glacijalne, eolske i krške.

Padinski procesi su oni koji se nailaze na padinama gdje reljef gubi stabilnost uslijed svoje strukture i vertikalnosti terena. Sa stajališta građevinarstva, najvažniji egzogeni proces na padinama je klizanje masa. Nastaje u svim vrstama stijena, a najčešće rezultira pojavama koje se zovu klizišta. Površina klizanja može imati različiti oblik, ovisi o značajkama stijena u kojima je došlo do pomicanja masa niz padinu. U heterogenim stijenama su klizanja u uglavnom nepravilna, dok su u homogenim stijenama, klizanja geometrijski pravilna.

Najčešći faktori koji utječu na formiranje klizišta su promjene u nagibu padine, procjene opterećenja na padini, udari i vibracije, promjene sadržaja vode u i na terenu, promjene vegetacije i trošenja stijena. Klizišta su višestruko podijeljena, a mogu se formirati prema nagibu padine klizišta, po dubini klizne plohe, prema vrsti stijenske mase u kojoj se formiraju, s obzirom na zahvaćenost stijenskih masa i s obzirom na način povećanja tijela klizišta. Puzanje uslijed padine, predstavlja vrlo lagano pomicanje površinskog rastrošenog dijela stijenske mase u kojem nastaju plastične deformacije. Ono rezultira deformacijom padina i kosina. Odvija se u vezanim, poluvezanim i nevezanim stijenama, radi se o veoma sporom procesu te ga je teško opaziti. Puzanje ima negativan utjecaj za izgrađene objekte, posebno nasipe, prometnice i potporne građevine temeljene u puzištu. Odronjavanje je proces nestabilnosti u čvrstim stijenama na strmim padinama kada su diskontinuiteti blaže nagnuti od nagiba padine. Takva mjesta je potrebno sanirati prije izgradnji objekata. Osipanje je proces osipanja na strmim padinama, rastrošnog materijala. Na mjestu osipanja treba izbjegavati gradnju, a ukoliko je to nemoguće, padinu obavezno treba sanirati.



Slika 16. Fluvijalni reljef (rgf.rs)

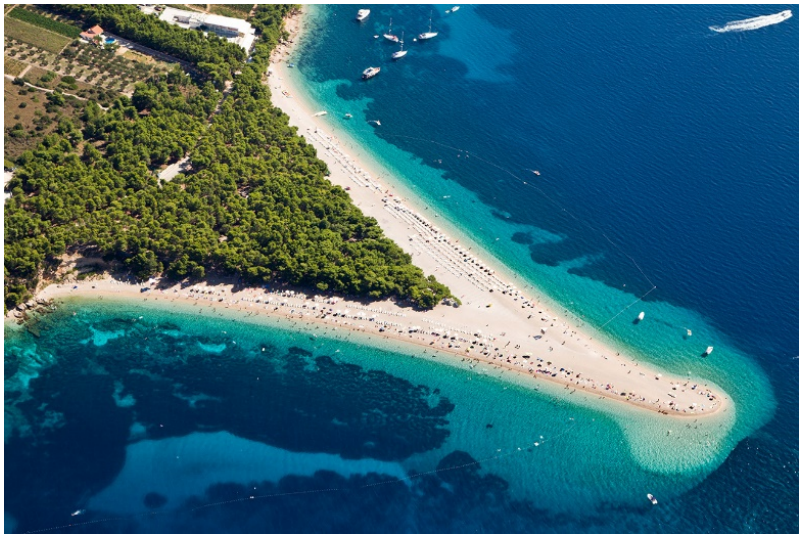
Kod fluvijalnih procesa, tekuće vode u stijenskim masama formiraju korita (Slika 17). Rijeke erodiraju tla i stijene te transportiraju produkte erozije, koje se u konačnici talože.

Jačina erozije koja će se odviti kroz određeni period ovisi o volumenu vode te o brzini toka rijeke, karakteristikama i veličini mase erozije te vrsti tla/stijene i geološkoj strukturi koju erodira, sposobnosti infiltracije, vegetaciji te propusnosti tla. Fluvijalna erozija se manifestira u horizontalnom i vertikalnom smislu, a uvjetovana je nagibom vodenog toka, brzinom tečenja, količinom vode i fizičko-mehaničkim svojstvima stijenske mase (Slika 16).



Slika 17. Korito nastalo fluvijalnom erozijom (Virovitica.net)

Marinski procesi koji uzrokuju eroziju obale dijele se na: abraziju, hidraulički udar, usitnjavanje i otapanje. Što je veći val, to je veći i učinak procesa, odnosno veličina vala ovisi o njihovom učinku, na što ima utjecaj i vjetar. Dakle, sve ove karike su međusobno povezane i što su veći imaju veći učinak na obalu. Marinska abrazija (Slika 18) odnosno erozija nisu nužno katastrofalna pojava, međutim problem se javlja kada abrazija i ljudski faktor dođu u sukob. Razvoj i gradnja unutar obala je povećala osjetljivost, odnosno oslabila obalna područja na utjecaj abrazije, što znači da je nužna bolje obalno i urbano planiranje u ovim područjima.



Slika 18. Marinski reljef (e-sfera.hr)

Gledajući fazu po fazu, valovi napadaju oslabljenja u obali te se trošenjem formira špilja (Slika 19), koja postupno erodira kroz obalu i tvori luk. Nakon toga se krov luka urušava ostavljajući stup stijene, koji će također s vremenom urušiti u vodu. Na kraju će ostati samo hrid. Valovi mogu biti konstruktivni i destruktivni, a sudeći i po samome nazivu, možemo zaključiti o kakvoj vrsti se valova radi. Konstruktivni tvore, uobičajeno ljeti, a destruktivni, češći zimi, uništavaju obale i plaže.



Slika 19. Špilja nastala djelovanjem marinske, odnosno obalne erozije (adriaticsailor.com)

Glacijalni procesi se odvijaju u područjima zahvaćenim polarnim uvjetima (Antarktika, Greenland …). Stupnjevi erozije ovise o dosta faktora, a to su: brzina kretanja ledenjaka, debljina leda; oblik, brojnost i tvrdoća komadića stijena na dnu ledenjaka; fizička svojstva stijene po kojoj je ledenjak klizio, itd. Ledenjaci na ovaj način stvaraju fjordove i rukavce (Slika 20).



Slika 20. Glacijalni reljef (skijanje.hr)

Tijekom posljednjeg ledenog doba koje je završilo prije desetak tisuća godina, područja sjeverne Europe, sjeverne Euroazije i velikim djelom Sjeverne Amerike su

bila duboko zakopana pod velikim ledenim pločama. Na tim područjima danas su najuočljiviji tragovi djelovanja ledenjaka kroz povijest.

U najdinamičnijem reljefu na zemlji – pustinji, koja čine oko 20% kopna, dolazi do tzv. eolskih procesa (Slika 21). Zbog malo vlage i puno sunca dolazi do usitnjavanja stijena. Destrukcijski oblici do kojih dolazi su uništavanje površine česticama pijeska (korazija), gur, kameni most te same destrukcijske pustinje od kojih ostaje samo stijenska podloga. Prapor i les se akumuliraju uslijed eolske deflacije, odnosno odnošenja vjetrom fino zrnatog materijala (Slika 22). Nekoliko faktora utječu na taloženje fino zrnatog materijala – pijeska. Brzina vjetra, frekventnost te konstantnost smjera puhanja, zatim veličina i oblik zrna pijeska te površina po kojoj se pijesak kreće odnosno akumulira.



Slika 21. Eolski reljef (bs.wikipedia.org)



Slika 22. Lesni profil u Vukovaru (Radio-Dunav.com)

I zadnje spominjani procesi su i krški procesi, gdje sam krški reljef predstavlja posebnu vrstu reljefa, koji je isključivo vezana uz topive stijene kao što su vapnenac, dolomit, gips i sol (Slika 23). U krške procese spadaju tektonski procesi, koji su zaslužni za oblikovanje krškog reljefa koji dovode do stvaranja sekundarne poroznosti i topivosti stijenske podloge (korozija).



Slika 23. Krški reljef (np-sjeverni-velebit.hr)

Najvažniji oblici krškog reljefa nastalog otapanjem stijenske podloge su: kamenice, škrape, ponikve, uvale i polja u kršu (Slika 24) (Meaški, 2017).

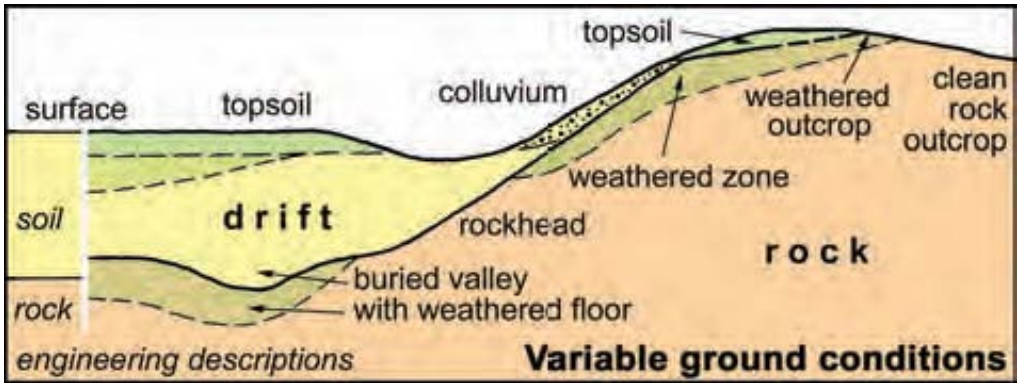


Slika 24. Vapnenačka škrapa (hr.wikipedia)

6 PROCJENA TROŠENJA

Većina građevinskih radova odvija se u blizini površine zemlje, a proces trošenja stijena je većinu svojeg učinka dao na stijenu i tlo na plitkim dubinama. Zbog toga, inženjersko geološka procjena utjecaja trošenja na stijene je jedan od najvećih izazova s kojim se susreću inženjeri. Pod trošenjem stijena, podrazumijeva se da je stijenska masa već prošla kroz neku fazu rastrošbe i promjenu stana iz netrošene, netaknute stijene u novo stanje pod utjecajem raznih vanjskih procesa trošenja.

Prije gradnje na stijeni ili tlu, potrebno je izvršiti ispitivanja svojstava tla na kojemu se gradi (Slika 25). Važan faktor predstavlja i cijena ispitivanja koje će se izvršiti, s obzirom da značajno variraju s obzirom vrstu projekta i lokalne komplikacije i probleme koji se javljaju s obzirom na različitosti uvjeta pojedinih tla.



Slika 25. Prikaz različitih stanja tla (Waltham, 2009)

Najočitiji znak utjecaja trošenja su smeđe mrlje nastale oksidacijom željeznih minerala stijene. Iako je uglavnom rješenje agens koji se koristi u mnogim slučajevima kemijskog trošenja stijene, najizraženiji je u vapnencima i stijenama koje sadrže halit i gips.

U procjeni trošenja stijenske mase, došlo je do višestrukih analiza kako bi se inženjerski klasificiralo trošenje stijenske mase. Do toga je došlo kako bi se odredila skala trošenja prema jednostavnom indeks testiranju. Za primjer, dana je formula u kojoj je koeficijent trošenja (K) baziran na temelju proračuna ultrasonične brzine materijala stijenske mase po izrazu (Dugonjić Jovančević, 2016):

$$K = (Vu - Vw)/Vu$$

Gdje je Vu – ultrazvučna brzina netrošene stijene; Vw – ultrazvučna brzina trošene stijene.

Moguće je napraviti i usporedbu stupnja trošenosti stijene i ultrazvučne brzine mjerene u m/s te gradirati stijenu prema koeficijentu trošenosti (tablica 2).

Tablica 2. Gradiranje trošenosti stijena na temelju ultrazvučne brzine i koeficijenta trošenosti (Bell, 2007.)

Stupanj trošenosti	Ultrazvučna brzina (m/s)	Koeficijent trošenosti
Netrošena	>5000	0
Slabo trošena	4000-5000	0-0.2
Srednje trošena	3000-4000	0.2-0.4
Jako trošena	2000-3000	0.4-0.6
Vrlo jako trošena	<2000	0.6-1.0

Rastrošenost također može biti opisana koristeći relativno jednostavnu shemu, (tablici 3), koristeći preporuke od British Standard instituta koji datira iz 1981. godine.

Tablica 3. Standardna terminologija za opis stijene, stijenske jezgre, i materijala stijenske mase (Price, 2009)

Opis trošenosti	Podjela	Ocjena trošenosti jezgre	Ocjena trošenosti površine	Pomniji opis svojstava stijenske mase
Prirodna	I (A)	Nema vidljivih znakova trošenja	Lagana promjena boje	Diskoloriziranost: Boja originalne
Jedva trošena	I (B)	Trošenost ograničena na velike		Razgrađenost: Stijena je
Slabo trošena	II	Trošenje prolazi kroz većinu	Promjena boje na površini	Raspadnutost: Stijena je
Umjereno trošena	III	Trošenje prodire do stijenske mase, ali	Manje od pola stijene	Gore navedene opisne skupine
Jako trošena	IV	Trošenost kroz diskontinuitet,	Više od pola stijene	
Potpuno rastrošena	V	Tekstura stijene je očuvana, ali je	Cijeli stijenski materijal	
Rezidualno tlo	VI	Zemljani materijal s originalnom	Cijeli stijenski materijal	

Dok se cjelokupna stijenska masa, ili njen volumen, mogu opisati gore navedenom tablicom trošenosti, procjenu rastrošbe želimo pomnije opisati kako bi inženjersko geološki radovi mogli biti puno sigurniji i usmjereniji. Sljedeći predloženi opisi jasnije opisuju o kakvoj trošenosti se radi (Price, 2009):

I. **Efektivno netrošena stijena** – stupanj rastrošbe ovakve stijene je zanemariv te je takav da se bilo kakav inženjersko geološki rad na njoj može učiniti bez daljnjih analiza

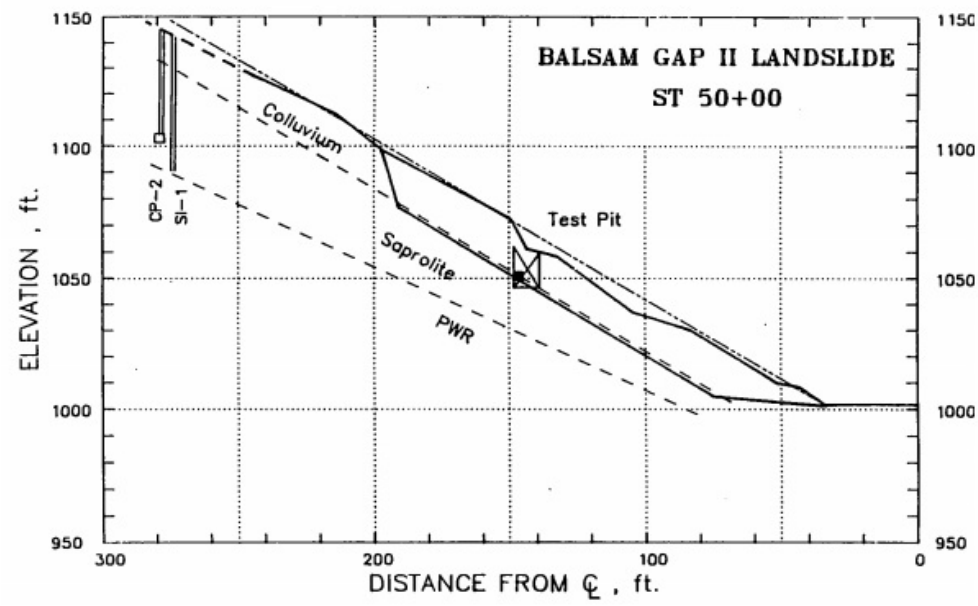
II. **Značajno rastrošena stijena** – Stupanj rastošbe ovakve stijene je takav da se mora uzeti u obzir prilikom daljnjih inženjersko geoloških radova na njoj. Primjerice, znakovi trošenja diskontinuiteta stijenske mase mogu implicirati na narušenu posmičnu čvrstoću ako rad na njoj uključuje gradnju stijenskih padina. No pritom, takvo trošenje bi imalo manje utjecaja na temeljenje na stijenskoj masi.

III. **Jako istrošena stijena** – Stupanj rastrošbe je takav da trošenost stijenske mase ima glavni utjecaj na dizajn, planiranje i izgradnju na ili u takvoj stijenskoj masi. To uključuje i sve diskontinuitete.

IV. **Rezidualno tlo** – Većina materijala stijene se raspala do tog stanja, da ga geotehnički možemo okarakterizirati kao tlo, gdje se raspadnuta masa stijene u principu ponaša kao masa tla. Ova kategorija je bitna, zbog utjecaja na stabilnost nagiba, kako bi se razlikovala tla koja nemaju strukturu i one koje imaju reliktne diskontinuitete.

Granicu između III. I IV. stupnja je teško postaviti. Stijenska masa koja je karakterizirana pod kategorijom IV. u pravilu može sadržavati reliktne kamene blokove, koju u konstantnom kontaktu mogu odavati inženjerske znakove koje bi ih okarakterizirali kao slabo vezanu stijensku masu.

Na Slici 27 je prikazan primjer određivanja profila stijenske mase na osnovi bušenja i sondažne jame, koja se iskopava da se dobije 5 mm klizna ploha smicanja, ispod koluvija (Lambe & Riad 1990).

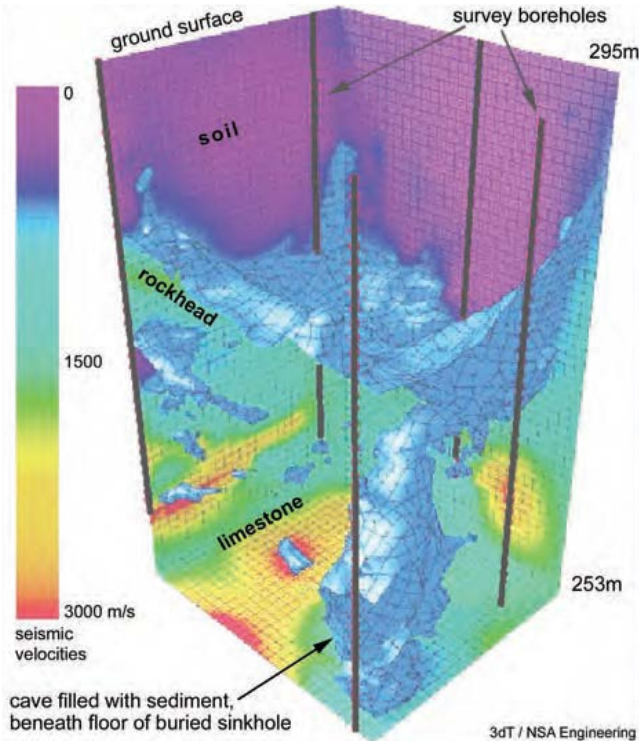


Slika 27. Profil određen na osnovi bušenja i sondažne jame (rudar.rgn.hr)

Geofizičkim ispitivanjima možemo odrediti profil stijene. U geofizička istraživanja spadaju neinvazivne metode ispitivanja kojima se neizravno ispituju geotehnički parametri tla. Rezultat geofizičkih metoda je dobivanje uvida u karakteristike tla i rasprostiranje slojeva u 2D i 3D prostoru.

Primjer je seizmička refrakcija, koja se često koristi u terenskim istraživanjima mehaničkih svojstava tla i stijena. Temelji se na mjerenju vremena širenja elastičnih seizmičkih valova, od izvora do prijemnika.

Geoelektrična tomografija pripada grupi suvremenih metoda namijenjenih ispitivanju strukture tla do dubine od oko 200 m. Izvodi višestrukim profiliranjem istog prostora, uz konstantno povećanje elektrodnog raspona, kojim se ostvaruje gusta mreža električnog zračenja cijelog profila terena, horizontalno i vertikalno.



Slika 28. 3D model nastao tomografskim ispitivanjem (Waltham, 2009)

Uz signale koji se nalazi u različitim pozicijama i dubinama, odnosno premrežavanjem istih, integrirajući ih u kompjuter, dobivamo tomografsku sliku svojstava tla, u 2D profilu između dvije bušotine, ili 3D modelu između višestrukih bušotina (Slika 28).

Najčešće se koriste uz seizmičke signale, i električnu otpornost te mogu dati spektakularne rezultate struktura tla, kako bi se identificirale praznine i anomalije unutar zona tla koja su okom nevidljive, čime se rješava veliki problem s inženjersko-geološke pozicije. Primjenjuju se u hidrološkim ispitivanjima podzemnih voda, stabilnosti klizišta, istraživanju strukturne građe terena te inženjersko-geološkim ispitivanjima riječnih tokova.

7 ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir da bilo koji materijal, bio on prirodni ili umjetni, podliježe procesima rastrošbe, trošenja i djelomično prolaskom vremena, i djelovanjem vremenskih uvjeta, potrebno je poznavati u kojem stanju se nalazi stijena zbog geotehničkih karakteristika, koje su preduvjet za gradnju na njoj, ali i oko nje.

Trošenje stijena predstavlja iznimno kompliciran set raznih faktora i procesa koji utječu na razna fizikalno-mehanička svojstva stijene, od poroznosti, težine, vlažnosti, čvrstoće pa sve do bubrenja, deformacija itd. Stoga se inženjersko geološki posao procjene i utjecaja trošenja stijena, gledajući s pogleda gradnje na stijeni, smatra jednim od najtežih ali i najbitnijih faktora u procjeni stijene i utjecaja rastrošbe, gledajući na stijensku masu kao materijal na kojoj će biti građevina.

Većina građevinskih radova na stijeni se vrši s namjerom da stijena bude sposobna za prihvat objekata bez većih i kompliciranijih zahvata ili popravaka u određeno vrijeme, a ono uobičajeno može biti i ne manje od 50 godina.

Kako su uzroci trošenja stijenske mase vrlo različiti i potječu od različitih izvora, za sada ne postoji ni jedna mjerena veličina kojom bi mogli obuhvatiti ili opisati proces trošenja općenito. Stoga vrijedi pratiti inovacije i moguća rješenja s kojima bi se lakše došlo do detaljnijeg, i laički rečeno lakšeg klasificiranja trošenja stijena u budućnosti.

8 LITERATURA

1) Meaški, H. (bez datuma): Inženjerska Geologija - Materijali s predavanja (IG svojstva stijenske mase, Egzogeni procesi, Mehanička svojstva stijena)

2) Vrkljan, I. (2001): *Inženjerska mehanika stijena,* Rijeka: Sveučilište u Rijeci

3) Ivanković, T. (2010): *Geotehnički istražni radovi*, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu

4) Mišćević, P. (2004): *Uvod u inženjersku mehaniku stijena.* Split: Sveučilište u Splitu.

5) Waltham, T. (2009): Foundations of Engineering Geology, 3rd edition

6) PMF Repository (bez datuma): *Procesi postanka sedimenata i sedimentnih stijena.* Dostupno na: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/II.pdf.

7) Price, D.G. (2009): Principles of Engineering Geology

8) Bell, F.G. (2007): *Engineering Geology*, 2nd Edition,.

9) Dugonjić Jovančević, S. (2016) Inženjerska mehanika stijena, Interna skripta Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci

POPIS SLIKA

Slika 1. Stijenska masa, stijena i diskontinuiteti 2
Slika 2. Planinski masiv - masivnost 3
Slika 3. Slojevitost stijenske mase 4
Slika 4. Primjer škriljavosti metamorfne stijene 5
Slika 5. Lučenje magmatskih stijena 6
Slika 6. Primjer dobro i slabo okamenjenih stijena 7
Slika 7. Slabo vezana stijena – mineral gline kaolinit 8
Slika 8. Primjer nevezane stijene – pijesak 8
Slika 9. Podjela i prikaz procesa trošenja 10
Slika 10. Crnica i crljenica – oblici tla u RH 12
Slika 11. Pojava smeđih distričnih tla 13
Slika 12. Smeđe eutrično tlo 13
Slika 12. Izdizanje jezgre stijene uslijed diskontinuiteta stijene 14
Slika 13. Primjer marinske erozije, odnosno erozije stijene uzrokovane valovima 19
Slika 14. Otapanje halita u vodi 21
Slika 15. Biološki doprinos trošenju stijena 23
Slika 16. Fluvijalni reljef 25
Slika 17. Korito nastalo fluvijalnom erozijom 26
Slika 18. Marinski reljef 26
Slika 19. Špilja nastala djelovanjem marinske, odnosno obalne erozije 27
Slika 20. Glacijalni reljef 27
Slika 21. Eolski reljef 28
Slika 22. Lesni profil nastao u eolskom reljefu 29
Slika 23. Krški reljef 29
Slika 24. Vapnenačka škrapa 30
Slika 25. Prikaz različitih stanja tla 31
Slika 27. Profil određen na osnovi bušenja i sondažne jame 34
Slika 28. 3D model nastao tomografskim ispitivanjem 35

POPIS TABLICA

Tablica 1. Gamble-ova klasifikacija prema indeksu osjetljivosti na kalavost nakon drugog ciklusa 24
Tablica 2. Gradiranje trošenosti stijena na temelju ultrazvučne brzine i koeficijenta trošenosti 32
Tablica 3. Standardna terminologija za opis stijene, stijenske jezgre, i materijala stijenske mase 32