

# Ponašanje tla s obzirom na inženjerske i prirodne procese

---

**Vedak, Denis**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:678086>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DENIS VEDAK

PONAŠANJE TLA S OBZIROM NA  
INŽENJERSKE I PRIRODNE PROCESE

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

PONAŠANJE TLA S OBZIROM NA  
INŽENJERSKE I PRIRODNE PROCESE

KANDIDAT:

Denis Vedak

MENTOR:

izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2019.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: DENIS VEDAK

Matični broj: 2544 - 2015./2016.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

PONAŠANJE TLA S OBZIROM NA INŽENJERSKE I PRIRODNE PROCESE

- Rad treba sadržati:
1. Uvod
  2. Procesi opterećenja tla
  3. Procesi rasterećenja tla
  4. Promjene izazvane promjenama pornog tlaka
  5. Zaključak
  6. Literatura

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 19.04.2019.

Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:

  
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški



Predsjednik Odbora za nastavu:

  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

**Ponašanje tla s obzirom na inženjerske i prirodne procese,**

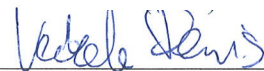
rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom izv.prof.dr.sc. Hrvoja Meaškog.

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, 8.9.2019.

DENIS VEDAK

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

## **Sažetak**

**Autor:** Denis Vedak

**Naslov rada:** Ponašanje tla s obzirom na inženjerske i prirodne procese

Ponašanje tla je reakcija tla na antropogene i prirodne procese koji se javljaju na ili u tlu. Prirodni procesi djeluju kontinuirano odnosno duži niz godina pa ih je samim time i teže predvidjeti, dok antropogeni procesi završavaju odmah nakon prestanka radova. U globalu, inženjerski procesi su mnogo opasniji od prirodnih, jer se javljaju naglo i velikog su intenziteta. Najčešći odgovor tla na ove procese su: slijeganje, urušavanje, klizanje, pojava inducirane seizmičnosti i drugo. Da bi se izbjegle negativne posljedice, moraju se napraviti adekvatni istražni radovi s različitih područja znanosti poput geologije, geofizike, geodezije, hidrologije i drugo.

**Ključne riječi:** (tlo, proces, opterećenje, rasterećenje, promjena tlaka)

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	PROCESI OPTEREĆENJA TLA .....	5
2.1.	STATIČKA OPTEREĆENJA .....	5
2.1.1.	Statička opterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem .....	5
2.1.2.	Statička opterećenja uzrokovana prirodnim pojavama .....	6
2.2.	DINAMIČKA OPTEREĆENJA.....	11
2.2.1.	Dinamička opterećenja uzrokovana prirodnim pojavama.....	11
2.2.2.	Dinamička opterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem.....	14
2.3.	MOGUĆE REAKCIJE NA PROCESSE OPTEREĆENJA TLA .....	14
3.	PROCESI RASTEREĆENJA TLA.....	17
3.1.	POVRŠINSKA RASTEREĆENJA .....	17
3.1.1.	Površinska rasterećenja uzrokovana prirodnim pojavama .....	17
3.1.2.	Površinska rasterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem.....	20
3.2.	PODZEMNA RASTEREĆENJA .....	21
3.2.1.	Podzemna rasterećenja uzrokovana prirodnim pojavama .....	22
3.2.2.	Podzemna rasterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem.....	24
3.3.	MOGUĆE REAKCIJE NA PROCESSE RASTEREĆENJA TLA .....	26
4.	PROMJENE IZAZVANE PROMJENAMA PORN OG TLAKA.....	28
4.1.	PRIRODNE POJAVE POVEĆANJA PORN OG TLAKA.....	28
4.1.1.	Poplave.....	28
4.2.	ANTROPOGENI UZROCI POVEĆANJA PORN OG TLAKA .....	29
4.2.1.	Poplave uzrokovane ljudskom djelatnošću .....	29
4.2.2.	Upojni zdenci .....	30
4.3.	PRIRODNE POJAVE SMANJENJA PORN OG TLAKA .....	30
4.3.1.	Suše.....	30
4.4.	ANTROPOGENI UZROCI SMANJENJA PORN OG TLAKA.....	32
4.4.1.	Crpljenje vode .....	32
4.5.	MOGUĆE REAKCIJE NA SMANJENJE I POVEĆANJE PORN OGA TLAKA.....	33
5.	ZAKLJUČAK .....	35
6.	LITERATURA.....	37
	POPIS TABLICA .....	38
	POPIS SLIKA .....	38

## 1. UVOD

Tlo je površinski, rahli dio Zemljine površine. Nastao je kao posljedica trošenja zemljine kore pod utjecajem atmosferskih čimbenika. U ovisnosti o svojstvima litološke podloge u kojoj je nastalo, određeno je morfološkim, kemijskim, biološkim i fizičkim značajkama. Tlom se bave razne struke poput geologije, građevinarstva, rudarstva, mineralogije, agronomije itd. I svaka od tih struka tlo razmatra na sebi svojstven način. Razlikuje se prema ulogama, izloženosti, brzini i načinu razvoja, ljudskom utjecaju i ostalim mjerljivim parametrima. Dolazi u tri faze: čvrstoj fazi, tekućoj i plinovitoj fazi. Čvrsta faza tla čini od 30 do 60 % ukupnog volumena tla (Kvasnička, Domitrović, 2007). Ostatak, odnosno tekuću fazu najčešće čini voda, rjeđe nafta, dok plinovitu fazu čini zrak. Čestice tla su zrna koje se razlikuju po veličini, obliku i mineralnom sastavu. Dio čestica je vidljiv golim okom, dok je ostatak vidljiv uz manja, odnosno veća povećanja.

S obzirom na veliku raznolikost tla potreban je sustav pomoću kojeg bi se mogle opisati kategorije tla sličnih osobnosti. Klasifikacija ne može zamijeniti laboratorijsku obradu koja detaljno određuje osobnosti, ali pomaže suziti raspon karakteristika pojedinih grupa. Sve vrste tla svrstavaju se u dvije glavne skupine:

- Krupnozrnata, nekoherentna (šljunak, pijesak)
- Sitnozrnata, koherentna (prah, glina)

Sadržaj zrna različitih veličina u uzorku određen je granulometrijskim sastavom. Granulometrijski sastav određuje se sijanjem za nekoherentna tla, a areometriranjem ili sedimentiranjem za koherentna tla.

Fizičko-mehaničke osobine tla ovise o udjelu pojedinih frakcija u ukupnom dijelu uzorka. Vlažnost ima veliku ulogu u ponašanju tla, jer ovisno o postotku vode tlo može povećati ili smanjiti svoj volumen. Ponašanje tla je odgovor tla na uvjete stijenske mase, sile koje djeluju na njega ili razne značajke povezane s projektom. U ponašanju tla održavaju se svojstva svih triju faza kao i interakcije među njima.



Postoji mnogo različitih tipova inženjerskih radova, ali tijekom izgradnje te nakon završetka radova, oni nameću jedan ili više „inženjerskih procesa“ na terenu. Inženjerski procesi koji se javljaju na terenu su (Tablica 1):

- Opterećenje tla
- Rasterećenje tla
- Promjene pornog tlaka

Tablica 1. Moguće reakcije tla na inženjerske i prirodne procese (Price, 2009)

ANTROPOGENI UTJECAJ	PROCESI OPTEREĆENJE		PROCESI RASTEREĆENJA		PROMJENE PORNOG TLAKA	
	STATIČKI	DINAMIČKI	POVRŠINSKI	PODZEMNI	SMANJENJE	POVEĆANJE
	izgradnja brana, mostova, građevina ...	inženjerski radovi, promet, miniranje...	temeljenje, prometna infrastruktura, kanali...	Izgradnja tunela, rudnika, podzemnih prostorija...	Crpljenje vode, šljunčare, izrada drenaža	Upojni zdenci, podzemni rezervoari...
<b>MOGUĆE REAKCIJE</b>	Konsolidacija tla ili slom		Nestabilnost iskopa i padina	Kolaps podzemnih otvora, površinsko slijeganje	Slijeganje površine, urušavanje podzemnih otvora	Inducirana seizmičnost, nestabilnost padina, onečišćenje vodonosnika
<b>PRIRODNE POJAVE</b>	Taloženje sedimenata, snijega i leda	Potresi, morski valovi, plima	utjecaji trošenja na postojanost tla i stijenske mase	Razvoj podzemnih otvora (špilja, jama i sl.)	suše, erozija prirodnih brana, snižavanje razine vode	Poplave, mijenjanje riječnih tokova
	STATIČKI	DINAMIČKI	POVRŠINSKI	PODZEMNI	SMANJENJE	POVEĆANJE
	PROCESI OPTEREĆENJE		PROCESI RASTEREĆENJA		PROMJENE PORNOG TLAKA	

U slučaju statičkog opterećenja, reakcija tla može uključivati: elastičnu deformaciju, dugoročnu konsolidaciju temelja i slom, u smicanju tla, ako tlak temelja prelazi kapacitet nosivosti tla. Primjerice, težina brane ili neke druge konstrukcije opterećuje tlo, iskopi tunela dovode do rasterećenja tla, dok crpljenje vode iz podzemlja može dovesti do promjena pornog tlaka u tlu.

Slični rezultati će se pojaviti i kod dinamičkog opterećenja poput vibracija od eksplozije, strojeva, prometa i potresa. Ako se iskop izvede u tlu, zemlja oko iskopa gubi stabilnost materijala. Iskopi površine mogu biti zatvoreni i otvoreni, pri čemu su rupe potpuno izrezane iz padine (iskopi temelja, rudnici otvorenih jama i neki

kamenolomi), a kasnije se javljaju linearni rezovi kroz brežuljke s jednom ili dvije odsječene kosine (iskopi cesta, kanala ili željeznica).

Postupak rasterećenja tla može rezultirati deformacijama iskopanog nagiba, uzdizanjem poda iskopa, okretanjem ili klizanjem nagiba. Potpora se može povući sa zemlje iskopavanjem tunela, ležišta ili mina. Rezultati mogu uključivati deformacije stijene koja okružuje iskop, jer će se konvergirati ili srušiti u otvor i slijeganje površine iznad otvora kao posljedica kretanja tla.

Tlakovi fluida mogu se smanjiti ekstrakcijom ili povećati dodavanjem tekućine. Ako se tlak pora tekućine smanjuje pumpanjem tada se povećava efektivni stres i dolazi do slijeganja površine. Ako se tekućine dodavaju u tlo koje je već pod stresom, porast tlaka u porama može poremetiti ravnotežu naprezanja i prouzročiti kvarove te potaknuti lokalnu seizmičnost.

Prilikom provedbe većine inženjerskih radova može se javiti više procesa. Podzemni tunel može uzrokovati rasterećenje tla koje okružuje tunel te budući da većina tunela djeluje poput odvoda može doći do snižavanja razine podzemne vode u području oko tunela. Kod izgradnje brana, temelj će iskopati ili izrezati nove padine ili će doći do urušavanja postojećih padina. Izgradnja brana i akumulacija rezervoara će ponovno opteretiti tlo i povećati tlak tekućine. U svakom od tih procesa tlo će se drugačije ponašati. Potrebno je poznavati svojstva materijala, svojstva tkanine i kontrole okoliša da bi se odredila veličina i priroda tog odgovora. Prirodni i inženjerski procesi mogu se javljati zasebno ili paralelno u isto vrijeme.

U prirodi statičko opterećenje proizlazi iz progresivnog taloženja sedimenata ili superpozicije snijega i leda, dok je dinamičko opterećenje najčešće posljedica potresa. Do smicanja potpore na površini tla može doći zbog erozije koja je povezana s djelovanjem rijeka, mora ili vjetra. Također zbog smicanja može doći zbog smanjenja čvrstoće materijala na nagibu terena kao posljedica vremenskih utjecaja. Pod zemljom do rasterećenja dolazi zbog otapanja vapnenca, gipsa i soli. Tekućine se mogu crpiti promjenama podzemnih voda koje su posljedica djelovanja rijeke, izloženosti i odvoda arteških vodonosnika i suše. Količina tekućina može biti povećana djelovanjem poplavama riječnih tokova i akumulacijom jezera. Rezultati prirodnih procesa su u

principu slični onima koji proizlaze iz inženjerskih procesa iako mogu biti manje efektivni. Osim u slučaju potresa, velikih klizišta i vulkanskih erupcija.

Specifičnost prirodnih procesa je što djeluju kontinuirano, dok je reakcija tla na inženjerski proces gotova vrlo brzo nakon izgradnje nekog objekta ili provedbe inženjerskih radova. Nakon inženjerskih procesa koji završavaju relativno brzo nakon radova, prirodni procesi djeluju na cjelokupnu konstrukciju za njezin čitavi radni vijek. Primjer, cesta koja se nalazi na određenoj stijeni i koja je stabilna po završetku, može izgubiti svoju stabilnost progresivnim trošenjem materijala stijene erozijom zbog vanjskih utjecaja. Koliko će taj proces trajati ovisi o raznim faktorima same stijene poput: otpornosti stijenske mase na vanjske utjecaje, vodopropusnosti stijene te otpornost na eroziju i klimatske uvjete. Postoji mogućnost izračuna reakcije tla na prirodne i inženjerske procese ukoliko se dobiju točni podaci. U planu ispitivanja kako bi se ti podaci dobili, korisno je razmisliti o čitavom programu rada kako bi se vidjeli procesi koji mogu djelovati i pretpostaviti koje reakcije bi se mogle pojaviti u tlu.

## **2. PROCESI OPTEREĆENJA TLA**

### **2.1. STATIČKA OPTEREĆENJA**

Temelj je dio konstrukcije koji prenosi opterećenje konstrukcije na zemlju, a statičko opterećenje podrazumijeva pritisak koji se ne mijenja ili se mijenja vrlo malo tijekom vremena. Međutim, pritisak građevina varirati će ovisno o namjeni konstrukcije. Na primjer, pritisak stambenih zgrada varirati će u odnosu na poslovne zgrade zbog kretanja stanovnika. No, takve promjene se ne smatraju značajnim, osim ako konstrukcija nije izgrađena kao spremnik, jer tada dolazi do većih promjena opterećenja. Prilikom opterećenja dolazi do deformacije tla, što može dovesti do sloma tla.

#### **2.1.1. Statička opterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem**

Statička opterećenja uzrokovana antropogenim djelovanjem su neizbježan proces, a danas su se naglo povećala zbog rasta populacije, gradnje zgrada i nebodera, te gradnje cesta i željeznica.

Mostovi su dio prometnica koji spajaju dvije strane koje su odvojene morem, rijekom, provalijom, itd. i s toga predstavljaju jedan od najbitnijih antropogenih izvora opterećenja. Položaj mostova može biti unaprijed određen položajem trasa prometnica. Stoga, kvaliteta tla na kojoj se most planira graditi mora biti adekvatno istražena. To se posebno odnosi na slučaj kada se mostovi grade preko rijeke. Geologiju ispod rijeke treba povezati s geologijom na obje obale, a bušenje na dnu rijeke treba ići do dubine čvrste stijene. Geološki uvjeti mogu biti komplicirani zbog prisutnosti zakopanog kanala ispod rijeke. Zakopani kanali uglavnom su nastali tijekom Pleistocena kada su se doline produbljivale glacijalnim djelovanjem, a razina mora je bila niža (Bell, 2007 b). Nakon toga su se na tim kanalima nataložili različiti tipovi sedimenata, koji mogu uključivati treset. Tlo ispod mosta uz opterećenje samoga mosta, mora i izdržati opterećenje prometa koje će se odvijati na mostu, kao i horizontalni tok rijeke ispod mosta.

Kada se izgradi most preko rijeke, efektivno područje poprečnog presjeka se smanjuje stupovima, što dovodi do povećanja brzine protoka rijeke. Brzina toka, kao i pojava vrtloga oko stupova povećava djelovanje erozivno djelovanje rijeke. Manje trošenje se općenito javlja na mjestima gdje je korito formirano od šljunka, dok je veće na mjestima gdje je korito formirano od pijeska ili finijih zrnatih materijala. Trošenje riječnog korita oko stupova može rezultirati rušenjem mosta. Tijekom poplava šteta je uzrokovana vrlo visokim riječnim vodostajem, nakupljanjem ostataka na mostu i velikim trošenjem korita oko potpornih stupova. Problem trošenja naglašen je i u estuarijima, posebno tamo gdje su strujanja plime i oseke različita.

Mostovi su često izloženi utjecaju kretanja tla, kao što je slijeganje. Pokreti slijeganja mogu uzrokovati pomicanja u svim smjerovima i podvrgnuti most na vlačna i tlačna naprezanja. Iako most može imati krutu konstrukciju da se odupire takvim pokretima, obično je ekonomičnije napraviti zglobni most, čime se smanjuju učinci slijeganja.

Seizmičke sile u seizmički aktivnim područjima mogu prouzročiti oštećenja mostova i stoga ih se prilikom projektiranja treba uzeti u obzir. Najgore štete nastaju na mostovima koji se nalaze na mekom tlu, osobito na onome koje je podložno likvefakciji. Prilikom potresa oštećenja na konstrukciji iznad površine mosta su rijetke, no prilikom sloma konstrukcija ispod površine mosta, može doći do oštećenja nosača i samim time do rušenja mosta.

S druge strane, učinci vibracija mogu biti odgovorni za katastrofalne slomove nekih mostova. Lučni mostovi imaju najjaču otpornost na seizmičke efekte, dok jednostavni ili konzolni mostovi su najosjetljiviji. Što je veća visina potkonstrukcija i veći raspon vjerojatnije je da će se most srušiti (Bell, 2007b).

### **2.1.2. Statička opterećenja uzrokovana prirodnim pojavama**

Statička opterećenja uzrokovana prirodnim pojavama najčešće obuhvaćaju veće područje od samih građevina koje je načinio čovjek. Opterećenje se ne prenosi preko temelja, nego se prenosi izravno na površinu tla. Primjerice, ledenjaci uz statičko opterećenje najčešće i erodiraju tlo što može dovesti do negativnih posljedica.

### **Taloženje sedimenata leda i snijega**

Ledenjaci se mogu definirati kao mješavina leda i stijena koja se spušta niz padinu pod utjecajem gravitacije ili vlastite mase (Slika 1). Kreću se po ranije predisponiranoj dolini koju morfološki preoblikuju. Razvijaju se iznad snježne linije, odnosno u regijama svijeta u kojima se snijeg zadržava na površini tijekom cijele godine. Snježne linije mogu varirati, od nadmorske visine u polarnim dijelovima pa do preko 5000 metara u ekvatorijalnom području (Bell, 2007 b). Unutar ledenjaka, po njemu ili ispod njega može teći tekuća voda koja transportira materijal, a sastavni je dio ledenjaka. U planinskim područjima oblikuju se planinski tj. dolinski ledenjaci, u polarnim područjima nastaju ledeni pokrovi kontinentskih razmjera, a pokrove manjih veličina nazivamo ledene kape (Tandarić, 2010).



**Slika 1 Tasmanijski ledenjak**

*(<https://mackenzienc.com/scenic-highlights/tasman-glacier/>)*

### **Opasnosti uzrokovane ledom i snijegom**

Iako potencijalne opasnosti od ledenjaka mogu biti značajne, njihov utjecaj nije od velikog značaja za ljude budući da se u naseljenim područjima javlja manje od 0,1% svjetskih ledenjaka (Bell, 2007 a). Opasnosti se mogu podijeliti u dvije grupe; one koje su izravno povezane s djelovanjem ledenjaka, poput lavine, i one koje nisu direktno povezane s djelovanjem ledenjaka, a kasnije uzrokuju poplave i izljeve glečera. Brzo kretanje snijega ili leda na padinama, odnosno lavine mogu predstavljati ozbiljnu opasnost u mnogim planinskim područjima. Može doći do oštećenja objekata, puteva pa

čak i gubitka života. Put lavine se sastoji od tri dijela: početka, staze kojom se lavina kreće i zone akumulacije snijega. Obično se javljaju u površinskim slojevima suhog ili mokrog snijega.

U većini slučajeva do lavine dolazi kada se kut mirovanja premašuje, odnosno kada težina mase snijega premašuje otpornost na trenje površine na kojoj leži. Lavine od mokrog snijega ne javljaju se kod strmih padina kao lavine od suhog snijega, već kritični kut može biti i do 15 °. Suhe lavine kreću se pravocrtno u usporedbi s lavinama mokrog snijega koje se kreću u obliku kanala (Bell, 2007 a).

Poplave nastale djelovanjem ledenjaka rezultat su iznenadnog ispuštanja vode koja je zadržana u, na, ispod ili u blizini ledenjaka. Dolazi do naglog ispuštanja vode pod tlakom koja se nalazi unutar ledenjaka. Tlak vode unutar glečera raste do točke u kojoj ona prelazi jačinu leda, što rezultira pucanjem leda. Voda se ispušta u obliku vala.

Progresivno povećanje unutarnjih drenažnih kanala također dovodi do povećanja istjecanja. U oba slučaja, količina vode se smanjuje nakon prvog vala ispuštanja vode. Voda koja je naposljetku zatvorena ledom može uzrokovati odvajanje leda od stijenske mase na kojoj se nalazi, led se zatim podiže i dolazi do izljeva vode. Može doći do ispuštanja od nekoliko tisuća kubnih metara vode u sekundi i prouzročiti velika oštećenja. Većina takvih hazarda se događa u ljetnim mjesecima, kada se povećaju temperature i ledeni pokrov se počinje topiti. Ipak, vrijeme i mjesto izljeva voda je vrlo teško odrediti, tako da su poplave u većini slučajeva neočekivane. Takve poplave često mogu nositi i velike količine ostataka stijena i blata.

### **Ledene naslage**

Ledene naslage čine značajniji element krajolika u nizinskim područjima nego u planinama. Razlikuju se dvije vrste ledenih naslaga; slojeviti i neslojeviti nanos. Jedna vrsta se obično nadovezuje na drugu. Materijal kojeg ledenjak nosi niz padinu zove se til, često se naziva i morenski materijal. To je ne sortiran i ne uslojen sediment, dakle materijal nije sortiran prema veličini i masi i ne nalazi se u međusobno različitim slojevima (Slika 2).



**Slika 2 Til zaostao nakon povlačenja ledenjaka**  
(<https://pubs.usgs.gov/of/2004/1216/tz/tz.html>)

Til se sastoji od stijena raznih veličina koji se po veličini kreću od fine kamene prašine do stijena i uobičajeno je nesortiran. Kompaktnost tila ovisi o stupnju konsolidacije i veličini zrna. Til koji sadrži manje od 10 % frakcije gline obično je krhak, dok onaj koji sadrži preko 10% gline obično je masivan i kompaktn (Bell, 2007 b). Razlikuju se dva tipa tila. U zoni akumulacije se javlja tzv. *lodgement* til (nakupljani til) kojeg ledenjak nosi dok se kreće prema naprijed i ablacijski til koji nastaje taloženjem prilikom otapanja ledenjaka (Tandarić, 2010). *Lodgement* til je uobičajeno kompaktn, a fragmenti stijene koje sadrži često su orijentirani na putu kretanja leda. Ablacijski til se akumulira dok se izvorni materijal topi. Dakle, obično nije kompaktn, a stijene ne pokazuju nikakvu orijentaciju. Budući da se ablacijski til sastoji samo od sedimentnog opterećenja koje se nanosi u vrijeme ablacije, ono obično čini tanji nanos od onoga koji se taloži u vrijeme *lodgement* til (Tandarić, 2010).



Morena je nakupina materijala taloženog izravno s ledenjaka (Slika 3). Postoji šest tipova morena (Bell, 2007b).



Slika 3. Shema morena (Tandarić, 2010)

Ispod samog ledenjaka nakon njegovog otapanja ostaje nakupina tla koja se naziva temeljna ili podinska morena. Ona pokriva čitavu površinu kojom se kretao ledenjak. Morene mogu nastati i u unutrašnjosti ledenjaka ako nastanu akumulacijom materijala koji je pukotinama došao s površine ledenjaka. Takve morene zovu se unutrašnje morene. Ako se završni dio ledenjaka dugo nalazio na istom mjestu, njegovim otapanjem nakuplja se veća količina tla koja se naziva terminalna ili završna morena. Terminalne morene mogu doseći visinu i do 100 metara (Tandarić, 2010). Obično je to najniža točka u dolini kojom se kretao ledenjak, što znači da je ledenjak ostvario maksimalnu rasprostranjenost. Iza morena mogu nastati glacijalne plavine koje se nazivaju *sandur* (također *sandr* ili *sandar*). U višim dijelovima glacijalne doline nalaze se sukcesivne morene koje pokazuju područja u kojima se ledenjak povremeno zadržavao, odnosno do kojih se nekada rasprostirao, najčešće u vrijeme povlačenja. Takve morene se zovu stadijalne morene. Na površini ledenjaka pored bočnih strana glacijalne doline nastaju bočne ili lateralne morene koje se sastoje od sedimenata i komadića blokova erodiranih s dolinskih strana. Spajanjem dviju bočnih morena nastaje središnja morena.

Kama-terase se talože iz vodotoka otopljene vode koja teče uz kontakt između leda i doline. Pojavljuju se u parovima, svaki s jedne strane doline. Ako se na padinama pojavljuju niz terasa, onda svaki par predstavlja stanku u procesu stanjivanja ledenjaka. Površine tih terasa često su porozne (udubljenja gdje su se skladištili neotopljeni blokovi leda dok se materijal nakupio oko njih). Uske terase su obično diskontinuirane, ogranci su otežali odlaganje. U Hrvatskoj kame terase je moguće naći na južnom dijelu Hrvatske, točnije na području Dinarida. Na otoku Krku u Jurandvoru kame terase su sastavljene od krupnozrnate slojevite breče, dok su u Gajevima sastavljene od krupnozrnate slojevite breče i glacio-fluvijalnog pijeska i šljunka. Na otoku Pagu, kame terase se mogu naći u Bošani, a sastavljene su od glacio-fluvijalnog pijeska i šljunka (Marjanac LJ; Marjanac T., 2004.).

Esleri su duge, uske, krivudave i grebenaste mase slojevitog pomaka koje nisu povezane s topografijom površine. Predstavljaju sedimente deponirane u potocima koji su tekli unutar kanala u ledenjaku. Iako se mogu prekinuti, uglavnom su kontinuirani. Mogu biti dužine i do nekoliko stotina kilometara. Mogu doseći visinu do 50 metara i širinu do 200 metara. Strane eskera su obično strme. Sastoje se od pijeska i šljunka, iako se unutar njih mogu naći stijene i muljevi.

## **2.2. DINAMIČKA OPTEREĆENJA**

Dinamička opterećenja mogu biti uzrokovana prirodnim pojavom ili djelovanjem čovjeka. Vibracije koje putuju kroz tlo najčešće nisu opasne za stanovništvo, a mogu prouzročiti manje materijalne štete. Iako su vibracije uzrokovane ljudskim djelovanjem neizbježne prilikom gradnje, zbog vibracije strojeva, eksplozija, itd. oni zapravo ne predstavljaju veliku opasnost u odnosu na potrese. Potresi predstavljaju najveće i najopasnije dinamičko opterećenje i uzorkuju velike materijalne štete i ljudske žrtve.

### **2.2.1. Dinamička opterećenja uzrokovana prirodnim pojavama**

Dinamička opterećenja uzrokovana prirodnim pojavama, primjerice morski valovi, plima i oseka, ne predstavljaju toliku opasnost za tlo kao potresi ili vulkanska aktivnost.

Potresi najčešće nastaju pomicanjem tektonskih ploča, iako neka seizmičnost može biti uzrokovana vulkanskom aktivnošću. Javljaju se u svim dijelovima svijeta, ali su prvenstveno vezani za rubove tektonskih ploča. Potresi su diferencijalni pomaci koji dovode do elastičnih naprezanja, koji na kraju mogu premašiti čvrstoću uključenih stijena ili tla te tako uzrokovati velike materijalne štete. Elastična deformacijska energija oslobađa se u obliku seizmičkih valova (Bell, 2007 a).

U početku se kretanje može odvijati preko malog područja rasjeda, nakon čega slijedi širenje na veće površine. Prvi pokreti dovode do šokova koji prethode potresu. Nakon njih slijede glavni udari. Pomicanje stijenskih masa na rasjedima ublažava glavni stres, ali se naprezanja javljaju u susjednim područjima. Stres se ne oslobađa ravnomjerno u svim smjerovima pa se javljaju manje prilagodbe duž rasjeda, stvarajući naknadne udarce. Smanjivanje naknadnih udara je neredovito, a ponekad traje i dulje od godinu dana.

Energija nastala djelovanjem potresa može se izraziti intenzitetom potresa. Skale intenziteta potresa su kvalitativan izraz štete koju je potres napravio. Za određivanje intenziteta potresa koriste se mnoge tablice. Kod nas se uobičajeno intenzitet potresa mjeri Richtеровom ljestvicom (Tablica 2). Magnituda potresa je instrumentalno izmjerena energija oslobođena u mjestu nastanka potresa (hipocentru potresa). Potres magnitude 2 je najmanji koji ljudi mogu osjetiti, dok potresi veličine 5 ili manje neće uzrokovati nikakve materijalne štete na dobro izgrađenim objektima. Najveći zabilježeni potresi su imali magnitudu oko 9.

**Tablica 2. Richterova ljestvica***(<https://www.e-sfera.hr/dodatni-digitalni-sadrzaji/60b44244-2172-447d-af13-f23d07539408/>)*

Richterove magnitude	Opis potresa	Učinci djelovanja potresa	Učestalost pojave
ispod 2,0	mikropotres	Ne osjećaju se.	oko 8000 po danu
2,0 – 2,9	manji	Općenito se ne osjete, ali seizmografi ga bilježe .	oko 1000 po danu
3,0 – 3,9	manji	Često se osjete, no malokad prouzročuju štetu.	49 000 u godini (procjena)
4,0 – 4,9	lagani	Pokućstvo se osjetno trese, čuju zvukovi trešnje. Znatnija su oštećenja malobrojna.	6200 u godini (procjena)
5,0 – 5,9	umjereni	Prouzročuju štetu na slabijim građevinama u ruralnim područjima, moguća manja šteta na modernim zgradama.	800 na godinu
6,0 – 6,9	jaki	Mogu izazvati štetu u naseljenim područjima 160 km od epicentra.	120 u godini
7,0 – 7,9	veliki	Prouzročuju ozbiljnu štetu na velikom području.	18 u godini
8,0 – 8,9	razarajući	Mogu izazvati golemu štetu i do 1000 km od epicentra.	jedan u godini
9,0 – 9,9	epski	Uništavaju većinu objekata u krugu od nekoliko tisuća kilometara.	jedan u 20 godina

Maksimalna amplituda kretanja seizmičkih valova izražava se na logaritamskoj skali, dok se mjesto na Zemljinoj površini izravno iznad hipocentra naziva epicentar potresa. Prema definiciji, epicentar predstavlja točku (manje područje) na Zemljinoj kori na kojoj je intenzitet potresa najveći. Veličina potresa ovisi o duljini prijeloma i količini pomaka koja se dogodila. Općenito, kretanje se događa tijekom ograničene duljine kvara tijekom jednog događaja. Potres jačine 7 dogodio bi se ako se 150 km duljine rasjeda pomakne za otprilike jedan metar. Dužina prekida rasjeda tijekom određenog potresa je najčešće samo jedan dio stvarne duljine sloma. Pojedinačni rasjedi tijekom potresa mogu imat duljinu od manje od jednog pa do nekoliko stotina kilometara. Štoviše, slomovi rasjeda se ne javljaju samo u vezi s velikim i rijetkim potresima, već se javljaju i u kombinaciji s manjim šokovima i kontinuiranim sporim klizanjem, odnosno puzanjem. Puzanje progresivno deformira građevine koje se nalaze na mjestu rasjeda.

Trajanje potresa jedan je od najvažnijih čimbenika u pogledu oštećenja građevina, tla i nagiba. Vrlo je važno procijeniti opasnost i predvidjeti trajanje potresa iznad kritičnog praga klizanja tla. Na trajanje potresa najviše djeluje jačina potresa, s obzirom na to da što je veća jačina to je veća dužina rasjeda uzrokovana potresom. Dakle, s povećanjem udaljenosti od žarišta, trajanje potresanja je duže, ali je intenzitet slabiji, a viši frekvencijski valovi se jače prigušuju od valova s nižim frekvencijama.

### **2.2.2. Dinamička opterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem**

Procjena utjecaja prometa i transporta usko je povezana s procjenom zemljišta, socijalnih, ekonomskih, kakvoća zraka i učinaka buke. Promet može imati širok utjecaj na okoliš u usporedbi s drugim procesima. To je zbog toga što se promet odvija na velike udaljenosti uspostavljajući brzu komunikaciju. Promet se dijeli na kopneni, zračni i željeznički promet. Sastoji se od infrastrukture, sredstava, tehnologije i organizacije. Katalizira velike promjene u zemljištu, ne samo u neposrednoj blizini nego i u okolnom području.

Za projekte koji zahtijevaju izgradnju ili stalan pristup teškoj opremi, putevi prijevoza trebali bi se unaprijed identificirati. Mjere ublažavanja, kao što su kontrola prašine, kvalitete zraka ili trošarine trebaju biti identificirane i ocijenjene za uspješno ublažavanje utjecaja na prihvatljivu razinu.

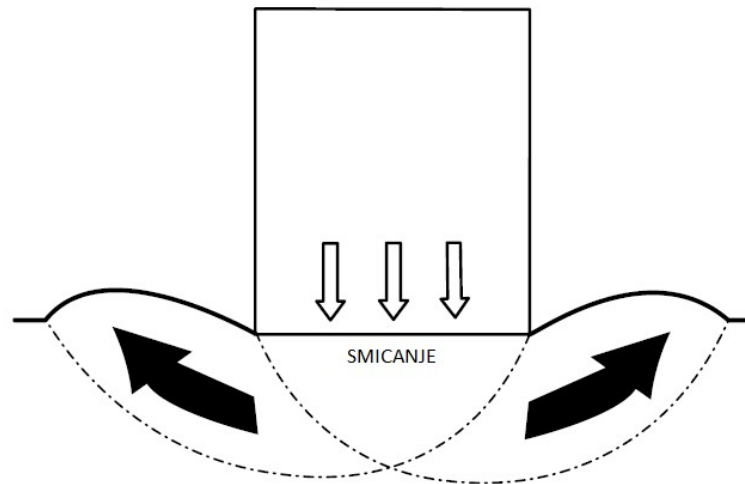
### **2.3. MOGUĆE REAKCIJE NA PROCESSE OPTEREĆENJA TLA**

Iz prikazanog je vidljivo kako se slijeganje javlja kao reakcija tla na statička ili dinamička opterećenja. Postoje dva tipa slijeganja:

- trenutačno – koje se javlja kao posljedica elastične deformacije tla
- konsolidacijsko – koje se javlja kao rezultat dugotrajnog zbijanja ili konsolidacije tla pod opterećenjem

Kod pojave statičkog opterećenja, oba tipa slijeganja javljaju se istovremeno. U mnogim slučajevima, pogotovo u glinovitom tlu, konsolidacijsko slijeganje se odvija i nakon završetka radova.

Ako se tlo podvrgne nekom opterećenju, ono se deformira. Ako tlo ne može izdržati opterećenje, dolazi do pojave smicanja tla (Slika 4) i sloma konstrukcije. Postoji granica do koje tlo može podnijeti opterećenje, a ona ovisi o strukturi tla i mehaničkim svojstvima tla.



**Slika 4 Slom tla prilikom smicanja**  
(prema Price, 2007)

Kod dinamičkog opterećenja posljedice mogu biti mnogo katastrofalnije. Ako opterećenje premašuje čvrstoću tla može doći do pojave sloma tla. Slom tla može dovesti do velike materijalne štete i mnogo ljudskih žrtava.

Pojava likvefakcije, odnosno pojava kada tlo izgubi čvrstoću i počinje se ponašati kao tekućina je karakteristična za potrese (Slika 5).

Nastaje kada je prilikom potresa spriječena drenaža, čime dolazi do povećanja poreznog tlaka i tlo se počinje ponašati kao tekućina s nikakvom snagom smicanja. Ako se likvefakcija dogodi na strmom području dolazi do klizanja čitave mase. Slabo zasićeni mulj i pijesci često se javljaju kao tanki slojevi ispod čvrstih materijala. U takvom slučaju, likvefakcija mulja ili pijeska tijekom potresa može uzrokovati klizanje gornjeg sloja materijala. Strukture na glavnom klizištu često se pomiču bez oštećenja. Glina nije podložna likvefakciji prilikom potresa. Međutim, pod ponovljenim ciklusima opterećenja mogu se razviti velike deformacije iako površinska čvrstoća ostaje približno ista. Bez obzira na to, deformacije mogu uzrokovati propadanje tla. Glavna klizišta mogu biti posljedica poremećaja u naslagama glina.



**Slika 5 Pojava likvefakcije**  
(<https://www.geotech.hr/likvefakcija-tla/>)

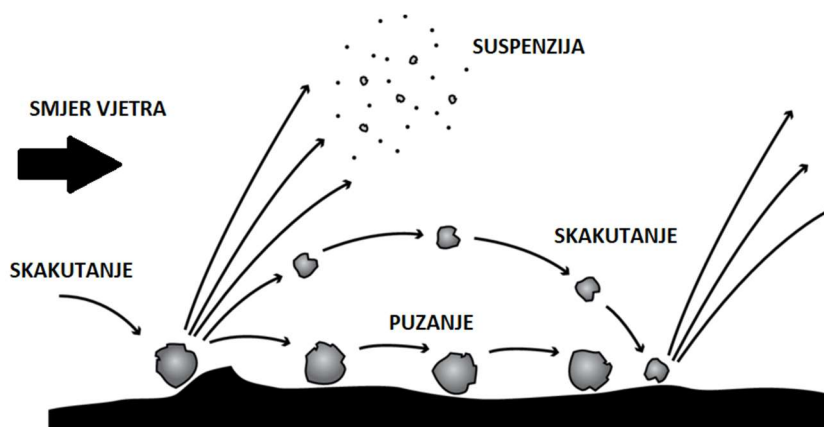
### 3. PROCESI RASTEREĆENJA TLA

#### 3.1. POVRŠINSKA RASTEREĆENJA

Površinskim rasterećenjem gubi se čvrstoća tla i dolazi do klizanja. Rasterećenje može biti uzrokovano prirodnim agensima poput erozije ili ljudskim djelovanjem. Klizišta predstavljaju ozbiljan problem za brdovita područja. Rast mnogih gradova je bio spriječen zbog problema sa stabilnosti kosine. Do pojave klizanja može doći i zbog neadekvatnog projektiranja i izgradnje.

##### 3.1.1. Površinska rasterećenja uzrokovana prirodnim pojavama

Erozija tla vjetrom događa se kada je snaga vjetra dovoljno velika da transportira čestice tla na površini. Čestice se pokreću skakutanjem. Čestice koje se kreću skakutanjem mogu prouzrokovati kretanje drugih čestica skakutanjem, puzanjem ili suspenzijom (Slika 6). Skakutanjem se kreće tri četvrtine čestica koje su transportirane vjetrom. Većina ostataka se prenosi suspenzijom, dok se manji dio prenosi puzanjem. *Skakutajuća* zrna mogu se dizati i do visine od dva metara u zrak, zatim se njihova putanja izravnavava bržim kretanjem zraka. Duljina putanje je otprilike deset puta veća od visine.



Slika 6 Kretanje čestica tla djelovanjem vjetra

Najvažniji čimbenik erozije vjetra je njegova brzina. Turbulencija, učestalost, trajanje i smjer su također vrlo važni. Što se tiče pokretljivosti čestica, važni čimbenici su njihova veličina, oblik i gustoća. Čestice promjera manjeg od 0.1 mm obično se prenose suspenzijom, promjera između 0.1 i 0.5 mm prenose se skakutanjem, a čestice većeg promjera od 0.5 mm pomiču se puzanjem. Zrna težine 2.65 g, kao što je kvarcni pijesak, najosjetljivija su na eroziju vjetra u rasponu veličina od 0.1 do 0.15 mm. Vjetar jačine



12 km/h uzrokovat će kretanje zrna promjera 0.2 mm – manja brzina zadržati će kretanje zrna (Bell, 2007).

Budući da vjetar može ukloniti čestice samo određenih veličina, da bi se erozija nastavila nakon uklanjanja takvih čestica, preostali materijal mora biti dovoljno usitnjen drugim agensima erozije ili vremenskih uvjeta. Materijal koji nije dovoljno usitnjen drugim agensima, sprječava daljnju eroziju vjetra. Odnosno, uklanjanjem sitnog materijala dovodi do proporcionalnog povećanja materijala koji se ne može ukloniti. Kasnije omogućuje veću zaštitu od slijedećih erozija, a na kraju se i stvara površina otporna na djelovanje vjetra. Vezivna sredstva poput mulja, gline i organske frakcije otežavaju eroziju vjetra tako što povezuju materijal. Vlaga također doprinosi koheziji među česticama.

Gruba površina nastoji smanjiti brzinu vjetra neposredno iznad nje. Čestice određene veličine neće se otpuhati kao na glatkoj površini. Što je površina na koju vjetar puše bez prekida duža, to je vjerojatnije da će postići optimalnu učinkovitost. Postoje tri vrste erozije vjetra; deflacija, trenje i abrazija (Bell, 2007 a). Deflacija dovodi do spuštanja kopnenih površina uzrokovanim nekonsolidiranim stijenskim frakcijama donesene vjetrom. Učinci deflacije najizraženiji su u suhim i polusuhim regijama. Na primjer, depresije slične slivu nastaju deflacijom u pustinjama Sahare i Kalahari (Slika 7).



**Slika 7 Kalahari pustinja**

*(<https://www.worldatlas.com/articles/where-does-the-kalahari-desert-lie.html>)*

Međutim, slijeganje se uvijek zaustavlja kada se dosegne razina podzemne vode, jer vjetar ne može lako ukloniti vlažne čestice tla i stijene. Štoviše, deflacija sedimentnog materijala, osobito aluvija, stvara zaštitni pokrov ako materijal sadrži šljunak. Manje čestice se uklanjaju vjetrom, ostavljajući površinu formiranu od materijala koji su preveliki da bi bili otpuhani. Suspendirano opterećenje se dalje usitnjava trenjem, a turbulencija uzrokuje snažno sudaranje između čestica.

Kada vjetar nosi pijesak, tada posjeduje veliku erozivnu silu čiji su učinci najbolje vidljivi u kamenim pustinjama. Svaka površina izložena djelovanju takvog vjetra je polirana, urezana ili naborana. Abrazija ima selektivno djelovanje. Na primjer, otvaraju se diskontinuiteti. Najteže čestice stijene se transportiraju u blizini tla, abrazija ima maksimalno djelovanje i počinje formirati stijene. U pustinjama, ravne glatke površine nastale erozijom vjetra nazivaju se pješčanim dinama.

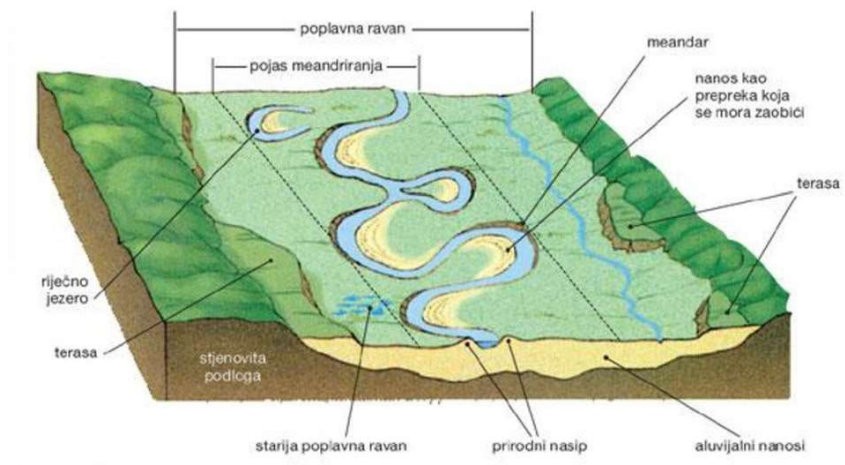
Različiti učinci erozije vjetra najbolje su prikazani na mjestima gdje se nalaze slojevi stijena različite tvrdoće. Ako su slojevi strmi razvija se reljefni greben i brazda, jer su meke stijene podobnije za nošenje materijala nego tvrde stijene.

Uz eroziju vjetra, vrlo je bitna i erozija rijeka. Rad rijeke se odvija u tri smjera. Naime, erodiranje tla, stijena, prenošenje čestica i taloženje. Erozijska rijeka ima tendenciju da bude najveća u donjem dijelu sliva. Količina erozije nastala djelovanjem rijeka u nekom vremenu ovisi o brzini i toku te rijeke, karakteru i veličini opterećenja, tipu stijena i geološke strukture preko koje teče, infiltraciji, vegetaciji i propusnosti tla. Volumen i brzina rijeke utječe na količinu energije koju posjeduje. Kada dođe do poplave, volumen rijeke se naglo povećava, što dovodi do povećanja brzine, erozije i prenošenja materijala. Brzina koja dovodi do erozije znatno je veća od brzine toka rijeke.

Snaga rijeke mjeri se najvećom stijenom koju rijeka pokreće i varira ovisno o volumenu i brzini. Kapacitet rijeke za transport materijala se odnosi na ukupnu količinu sedimenta koju prenosi i varira ovisno o veličini čestica i brzini rijeke. Ukoliko se teret sastoji od finih čestica, kapacitet je mnogo veći nego kada se sastoji od grubih. Riječni kapacitet pod utjecajem je promjene vremena, litologije i strukture tla preko kojeg teče, kao i vegetativnog pokrova. Budući da je tok rijeke različit, sedimenti se ne prenose

kontinuirano, na primjer, neke stijene se mogu premjestiti samo nekoliko metara tijekom jedne poplave.

Taloženje se događa tamo gdje je turbulencija minimalna. Ovo se uobičajeno događa na unutarnjoj strani meandra (slika 8). Aluvijalna poplavna ravnica je najčešća taložna značajka rijeke. Aluvij se sastoji od mnogih vrsta naslaga položenih u kanalu i izvan njega. Vertikalno nagomilavanje poplavnog područja ostvaruje se punjenjem u kanalu i rastom depozita tijekom ili odmah nakon poplave. Šljunak i pijesak premještaju se uglavnom za vrijeme poplave i odlažu se u dublje dijelove rijeke. Kako se rijeka tijekom poplave prelijeva preko obale, smanjuje se njezina sposobnost da transportira materijal tako da su grublje čestice taložene u blizini obale formirajući nasipe (Slika 8).



**Slika 8 Dijelovi riječnog toka**  
(<http://prirodahrvatske.com/hidrografija/>)

### 3.1.2. Površinska rasterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem

Željeznice i danas imaju vrlo važnu ulogu u prometnoj infrastrukturi, iako se danas više ne grade u tako velikom mjerilu. Željeznice uzrokuju dinamičko opterećenje temelja, stoga dinamičko ponašanje temelja i zemljanih radova uključuje detaljno razumijevanje interakcije strukture tla. Kod željeznica moraju postojati stroža ograničenja kada su u pitanju stupnjevi i zakrivljenost od onih povezanih s autocestama. Osim površinskih željeznica, danas se sve više grade podzemne željeznice ispod mnogih velikih gradova kako bi se brzo prenio veliki broj ljudi s jednog kraja grada na drugi.

Topografija i geologija su vrlo bitne kod konstrukcije željeznica kao i kod konstrukcije autocesta. Uz već spomenutog potrebnog vrlo stabilnog temelja i zemljanih radova, odvodnja također ima vrlo važan aspekt kod konstrukcije željeznica. Potrebno je brzo otklanjanje površinske vode i održavanje stalne razine podzemne vode. Također, drugi važan čimbenik je krutost pruge. Tamo gdje se mogu pojaviti iznenadne promjene krutosti, osobito između nasipa i mostova potrebno je upotrijebiti slojeve od cementnog ili dobro zbijenog zrnatog materijala da bi se postiglo izjednačavanje krutosti. Podložni su djelovanju geohazarda. U nepristupačnim terenima može doći do klizanja tla. Takva područja potrebno je identificirati i gdje je to moguće, stabilizirati ili provesti zaštitne mjere. U takvim slučajevima potrebno je postaviti uređaje za upozorenje. Također poplave, potresi i pojava vrtača mogu imati negativan utjecaj na željeznice (Slika 9).



Slika 9 Pojava tečenja mulja koja je djelomično zahvatila vlak, Kina  
(Bell, 2007)

### 3.2. PODZEMNA RASTEREĆENJA

Prilikom iskopa materijala iz podzemlja podrazumijeva da će se postojeća ravnoteža između naprezanja i deformacija u tlu narušiti zbog urušavanja tla u prostor koji ostane nakon eksploatacije. Eksploatacija može dovesti do slijeganja površine i utjecati na strukture koje se nalaze na tom području.

### **3.2.1. Podzemna rasterećenja uzrokovana prirodnim pojavama**

Vapnenci i dolomiti su često podložni različitim stupnjevima otapanja. Vapnenac je stijena koja sadrži više od 90 % kalcijeva karbonata. Kiša je općenito slaba otopina, ali otapanjem ugljičnog dioksida, organskih ili mineralnih tvari povećava se kiselost i sposobnost otapanja. Stupanj agresivnosti vode prema vapnencu može se procijeniti na temelju odnosa između količine otopljenog karbonata, pH vrijednosti i temperature vode. Ako se otapanje nastavi, brzina pada i na kraju prestaje kada se postigne zasićenje. Stoga je otapanje najveće kada je zasićenje bikarbonatom nisko. To se događa cirkulacijom vode jer se tako dostavljaju nove količine vode s niskim stupnjem zasićenosti vapnenca. Međutim otapanje vapnenca je vrlo spor proces. Prosječne brzine slijeganja vapnenačkih područja na britanskim otocima kreću se od 0,041 do 0,099 mm godišnje (Bell, 2007 a).

Grajkovi (eng. grykes) su krški oblici, pukotine nastale otapanjem karbonatnih stijena ispunjeni detritičnim materijalom, a vrtače su jedne od najčešćih značajka vapnenačkog područja i uobičajeno su karakterističan vizualni znak krškog ambijenta. Pojava vrtača znak je ulaska u krška područja. Kružnih su formi, a nastale su sjecištem jačih pukotinskih sustava i rasjeda. Predispozicija za nastanak vrtača je tektonska, dok vrtače mogu nastati disolucijskim djelovanjem vode. Velike vrtače mogu nastati urušavanjem podzemnih kavernoznih prostora ili postupnim urušavanjem pukotinskih sustava na površini terena (Biondić B., Biondić R., 2014).

Ponikve su duboke vrtače nastale urušavanjem stropova velikih podzemnih kaverni sa stalnim ili povremenim pojavama vode koje se mogu dizati u skladu s razinama podzemne vode. Primjeri ponikava u krškome dinarskom području Hrvatske duboke depresije s vodom kod Imotskog koje povremeno presušuju i duboka depresija Ponikva u zaleđu Bakarskog zaljeva (Biondić B., Biondić R., 2014).

#### **Stijene podložne procesima otapanja**

Postoje stijene koje su jako podložne otapanju pod utjecajem vode. Najpoznatiji su vapnenci i dolomiti. Međutim, gips je stijena koja je mnogo podložnija djelovanju vode i stoga je gips više podložniji razvijanju vrtača, kaverni i drugih krških formi od

vapnenaca i dolomita. Razlog tomu je što je gips puno slabiji od vapnenca i lakše dolazi do urušavanja. Prisutnost vrtača i špilja u gipsu dovodi do slijeganja, a u nekim slučajevima i do urušavanja. Mnogi slomovi se pojave nakon perioda dugih oborina. U nekim slučajevima do urušavanja može doći i za nekoliko minuta nakon prestanka oborina. Gdje slojevi gipsa izbijaju na površinu njihova prisutnost može biti popraćena širokim ljevkastim vrtačama. Masivne naslage gipsa obično su manje opasne od anhidrita zato jer se gips otapa na stabilan način formirajući kaverne ili uzrokuje progresivna slijeganja. Masivni anhidriti mogu se topiti tako da prouzroče nekontrolirane situacije kretanja koje dovode do protoka koji vrlo brzo ubrzava. Čak i male pukotine u masivu mogu biti opasne. Nasuprot tome, anhidrit koji dolazi u dodir s vodom može postati hidratiziran u obliku gipsa, što može dovesti do podizanja površine tla.

Brzina otapanja gipsa ili anhidrita kontrolira se uglavnom njihovom površinom u kontaktu s vodom i brzinom protoka vode koja je povezana s jediničnom površinom materijala. Stoga, najvažnija je količina pukotina u stijenskoj masi i da li je zatvorena propusnim ili nepropusnim slojevima. Brzina otapanja također ovisi o koncentraciji anhidrita u vodi. Salinitet vode je također vrlo utjecajan. Količina otapanja gipsa i anhidrita je povećana prisutnošću natrijeva klorida, karbonata i ugljičnog dioksida u vodi. Tamo gdje se topivi minerali pojavljuju kao dio čestica u tlu, njihovo otapanje može dovesti do značajnih slijeganja. U takvim situacijama širina topive zone i njezina brzina napredovanja vrlo su važni u pogledu položaja hidrauličkih konstrukcija. Manje je vjerojatno da će se anhidrit podvrgnuti katastrofalnom otapanju za razliku od gipsa. Kod konglomerata koji su okruženi topivim materijalom, kada se materijal ukloni otapanjem, stijenska masa se znatno smanjuje (Bell, 2007 a).

Kamena sol je više topiva u odnosu na gips. Dokazi o kolapsu struktura koje se nalaze na slanom sloju svjedoče o činjenici da je kamena sol bila podvrgnuta otapanju. Općenito se vjeruje da u područjima koja se nalaze ispod slojeva soli malo je vjerojatno da će doći do mjerljivog slijeganja površine osim u slučaju izlučivanja soli. Možda je to zbog toga što je postignuta ravnoteža između opskrbe nezasićenih podzemnih voda i kamene soli koja je dostupna otapanju. Iznimno, zabilježeni su slučajevi brzog slijeganja, na primjer „Meade salt sink“ u Kansasu.

### **3.2.2. Podzemna rasterećenja uzrokovana antropogenim utjecajem**

Antropogena djelovanja poput bušenja tunela, iskopa rudnika mogu prouzročiti mnoge praznine u tlu i ukoliko se ne provede adekvatna mjera zaštite može doći do urušavanja i slijeganja površine i samim time do velikih materijalnih šteta i ljudskih žrtva.

#### **Tuneli**

Tunele možemo definirati kao podzemne prostore za prolaz ljudi ili transport materijala. Izvedeni su ljudskom djelatnošću, poprečni presjek je malih dimenzija u odnosu na dužinu. S obzirom na namjenu dijele se na: prometni tuneli( cestovni, željeznički, pješački, brodski); hidrotehnički tuneli( vodoravni, melioracijski, kanalizacijski...); komunalni tuneli( smještaj telefonskih vodova, električnih vodova, toplovoda i plinovoda).

Prije izgradnje tunela, karakteristika stijene se istražuje pomoću jama, bušotina i pilot tunelima. Bušenje jezgre pomaže u tumačenju geoloških značajki koje se nalaze na površini. Pilot tuneli su manji tuneli iskopani u sredini stijene prije glavnog kopa kako bi se dobili podaci o tlu i pojednostavili postupke kopanja i gradnje. Oni su najbolji način istraživanja lokacija tunela i koristi se ako tunel većih dimenzija treba biti izgrađen na zemljištu loših geoloških uvjeta (Bell, 2007 b). Prije glavnog iskopa, stijena mora biti suha. Također, prije izgradnje tunela potrebne su pouzdane informacije o tlu kako ne bi došlo do urušavanja. To se može postići različitim metodama. Bušenjem dugih horizontalnih rupa između osovina ili izravnim bušenjem iz lica tunela u pravilnim razmacima.

#### **Rudnici**

Rudnik je mjesto na ili u Zemljinoj kori na kojem se otkopavaju razne vrste mineralnih sirovina. Otvaraju se na mjestima gdje se mineralna sirovina nalazi u većoj količini. Ako se promatrana sirovina nalazi relativno blizu površine tada se mineralna sirovina vadi površinskim kopom (Slika 10), a ako se nalazi na većoj dubini onda se sirovina dobiva podzemnim ili jamskim kopom.

Rudarenje i pripadajuća obrada minerala imaju negativan utjecaj na okoliš. Nažalost, to može dovesti do ozbiljnih posljedica. Na primjer, odlaganje otpada iz rudnika može dovesti do narušavanja krajolika, degradacije i onečišćenja tla, zagađenja površinskih i podzemnih tokova. Miniranje može prouzročiti seizmičke oscilacije tla, buku i prašinu, dok se oslobođenim plinovima pri miniranju, ispušnim plinovima mehanizacije, pri eksploatacije i drugim postupcima onečišćuje zrak oko rudnika (Mesec, 2009). Utjecaj rudarstva ovisi o mnogim faktorima, posebno o tipu i veličini rudarenja. Danas se zbog sve veće svijesti o važnosti okoliša propisuju sve stroži zakoni koji bi smanjili negativan utjecaj rudarstva. Prije otvaranja rudnika potrebna je procjena utjecaja na okoliš te se mora izraditi program upravljanja okolišem kako bi se vidio način na koji će rudnik raditi. Nakon zatvaranja rudnika lokacije moraju biti obnovljene.

Iako se utjecaji moraju svesti na najmanju moguću mjeru, neke posljedice su ipak neizbježne. Rude su lokalni fenomeni, no posljedice rudarenja mogu utjecati na mnogo šire područje. Prilikom završetka operacija, provodi se biološka sanacija, koja se provodi sadnjom autohtonih vrsta. Prostor rudnika se može preurediti za druge namijene kao što su poljoprivredna površina, skladišni prostor, športsko-rekreacijski centar, odlagalište otpada i drugo (Mesec, 2009).



**Slika 10 Rudnik zlata i bakra (Grasberg, Indonesia)**

*(<http://news.lewatmana.com/tambang-emas-freeport-di-papua-terbesar-di-dunia-ini-buktinya/>)*



### 3.3. MOGUĆE REAKCIJE NA PROCESSE RASTEREĆENJA TLA

Prilikom gubitka potpore površinskim rasterećenje, nastaje nagib. Rasterećenja mogu biti uzrokovana prirodnim uvjetima (erozija rijeka, mora, vjetra) ili antropogenim utjecajem (iskopi za željezničke pruge i kanale).

Klizišta se s obzirom na aktivnosti procesa mogu podijeliti na nova i reaktivirana klizišta. Pojavljuju se kada je nagib previše strm i kada opterećenje premašuje čvrstoću tla. Kod izgradnje željeznica ili cesta na brdovitom području zbog prevelikog opterećenja može doći do gubitka potpore i pojave klizanja. Zbog toga se moraju provoditi detaljni istraživački radovi, kako bi se mogućnost pojave klizišta bila svedena na minimum. Uzrokuju velike materijalne štete i velike ljudske žrtve. Ako je tlo sastavljeno od gline ili škriljavaca, do pojave klizanja može doći zbog omekšavanja tla uslijed vremenskih utjecaja (Price, 2007). Također, zbog toga što glina naglo povećava svoj volumen prilikom povećanja vlažnosti može doći do dizanja tla.

Slijeganje je vertikalni pomak površine tla ili temeljne konstrukcije koji nastaje pod djelovanjem opterećenja. Najčešće je uzrokovano opterećenjem, no može se javiti i uslijed drugih pojava poput sniženja podzemne vode, dinamičkih efekata i slično (Kvasnička, Domitrović, 2007). Slijeganje površine je posljedica iskopavanja mineralnih sirovina iz tla. Ovisi o tipu rude koja se iskopava, geološkim uvjetima, strukturi tla i stijene, metodi iskopa i drugim djelovanjima. Uz slijeganje, posljedica rudarstva je i konsolidacija do koje dolazi zbog preopterećenja površine.

Tuneli mogu također uzrokovati slijeganje površine. Visina slijeganja ovisi o volumenu tla koje se iskopava, gubitku čvrstoće tla oko iskopa i dubini tunela. Danas je površinsko slijeganje zbog tunela izuzetno malo jer su suvremeni tipovi iskopa i oslonaca konstruirani tako da minimiziraju urušavanje, odnosno opuštanje materijala.

Iz prikazanog je vidljivo da osim ljudskim djelovanjem, do slijeganja terena može doći i zbog prirodnih procesa (primjer karbonata, gipsa i drugih stijena koje su topive u vodi). Pritom brzina otapanja ovisi o salinitetu i stupnju zasićenosti vode, a kemijskim djelovanjem vode nastaju podzemni pukotinski prostori koji rezultiraju vertikalnim pomakom tla, odnosno slijeganjem. Također pukotinski prostori u tlu mogu nastati i

mehaničkim djelovanjem vode. Mehaničko djelovanje vode podrazumijeva trošenje i razaranje čestica tla ili stijene. Ako otapanje napreduje vrlo brzo dolazi do urušavanja tla.

## **4. PROMJENE IZAZVANE PROMJENAMA PORN OG TLAKA**

U inženjerskoj geologiji voda i nafta su najčešće i najvažnije tekućine u tlu. Voda ima veliku važnost u ponašanju geoloških materijala i masa. Voda je gotovo ne stišljiv element i kada se nalazi u porama materijala, čak i u malim količinama, može doći do promjena tog materijala. Ponašanje mnogih materijala, uglavnom ovisi o količini vode u tlu.

Nafta nije od tolike važnosti u inženjerstvu jer se nalazi na velikim dubinama u tlu, osim ako projekti ne zahtijevaju velike iskope, gdje bi se dogodila mogućnost pojave nafte. Međutim, nafta je često uzrok kontaminacije tla na industrijskim lokacijama pa tako postaje jedan od glavnih segmenata koji se moraju uzeti u obzir prilikom radova.

### **4.1. PRIRODNE POJAVE POVEĆANJA PORN OG TLAKA**

#### **4.1.1. Poplave**

Poplave predstavljaju jedan od najčešćih tipova geohazarda. Rijeke se mogu razmatrati kao poplave kada njihova razina poraste do te mjere da se dogodi šteta( Bell, 2007 b). Najviše katastrofalnih poplava posljedica je prekomjernih oborina i topljenja snijega. Međutim, vjerojatnost poplava se može lakše predvidjeti od nekih drugih geohazarda. Potreban je duži period da se akumulira dovoljno vode kako bi se uzrokovala velika šteta. Vrijeme kašnjenja je važan parametar u predviđanju poplava. Poplave uzrokovane dugim periodom oborina, povezane su s nekoliko dana ili tjedana kiše, tako da postoji mogućnost pravovremenog reagiranja. One su najčešći uzrok velikih poplava. Budući da fizička svojstva riječnog sliva, zajedno s onima u potočnom kanalu, utječu na brzinu kojom se odvija ispuštanje niz sliv, to znači da je izračun vremena kašnjenja komplicirana stvar.

Brze poplave dokazuju izuzetak. One su kratkotrajni ekstremni događaj. Javljaju se kao posljedica dugotrajnih oluja. Intenzitet kiše prelazi kapacitet infiltracije, tako da se otjecanje odvija vrlo brzo. U principu su vrlo destruktivne zbog visoke energije toka koja može transportirati veliku količinu sedimentnog materijala. U većini regija poplave se pojavljuju češće u određenim sezonama.

Poplave izazvane otapanjem snijega i leda su sezonske, a karakterizira ih značajno povećanje protoka rijeke, tako da postoji samo jedan poplavni val. Dva najvažnija čimbenika koji utječu na jačinu poplava uslijed otapanja snijega su debljina snijega i brzina otapanja.

Procjena budućih poplavnih uvjeta potrebna je za predviđanje ili projektiranje. U smislu predviđanja poplava potrebno je više neposrednih informacija o veličini i vremenu poplave, tako da se može poduzeti odgovarajuća mjera izbjegavanja. Za razvoj predviđanja poplava potrebno je detaljno razumjeti procese otjecanja uključenih u kanal sliva i potoka, ali je manje potrebna za dugoročno predviđanje.

Predviđanje poplava uključuje određivanje odnosa količine oborina i otjecanja u određenom slivnom području. Kada se prikupi i analizira dovoljan broj podataka o oborinama i otjecanju u odnosu o vremenu može se napraviti procjena gdje i kada će doći do poplava u riječnom slivu. Interval ponavljanja je razdoblje godine u kojem se javlja poplava dane magnitude ili veće i određuje se iz terenskih mjerenja. To vrijedi samo za tu postaju. Krivulja frekvencije poplave može se upotrijebiti za određivanje vjerojatnosti veličine ispuštanja koje se može očekivati tijekom bilo kojeg vremenskog intervala. Maksimalna poplava protiv kojeg se projektira zaštita, najvažniji je čimbenik za određivanje (Bell, 2007 b).

## **4.2. ANTROPOGENI UZROCI POVEĆANJA PORN OG TLAKA**

### **4.2.1. Poplave uzrokovane ljudskom djelatnošću**

Ljudska aktivnost može dovesti do promjena u karakteristikama sliva. Na primjer, uklanjanje šuma s dijelova riječnog sliva može dovesti do pojave bujičnih tokova koji stvaraju povećanu opasnost od poplava. Najizraženiji porast poplavne opasnosti može nastati kao posljedica urbanizacije (Slika 11). Nepropusne površine dovode do smanjenja infiltracije. Problem poplava posebno je izražen na područjima gdje nije bilo adekvatnog urbanističkog planiranja.



**Slika 11 Poplava u urbanom području**

<https://www.indiamart.com/proddetail/urban-flood-mitigation-7871069733.html>

#### **4.2.2. Upojni zdenci**

Napajanje bunara vanjskim djelovanjem može se definirati kao povećanje prirodnog kapaciteta vodonosnika. Njegova glavna svrha je nedopuštanje presušivanja izvora. Koriste se za očuvanje vodnih resursa, poboljšanje površinskog otjecanja i za povećanje opskrbe podzemnih voda. Vodonosnik koji je podvrgnut umjetnom napajanju mora imati odgovarajući prostor za skladištenje i većina vode koja se napuni, ne bi se smjela brzo ispustiti. Izvor za umjetno napajanje mogu biti prirodni agensi (oluja, voda iz rijeka ili jezera) ili otpadne vode. Mnogi od tih izvora zahtijevaju neku vrstu pred tretmana. Interakcija između umjetnog punjenja i podzemne vode može dovesti do taloženja, na primjer, kalcijevog karbonata, soli željezna, magnezija, što rezultira smanjenjem propusnosti.

### **4.3. PRIRODNE POJAVE SMANJENJA PORN OG TLAKA**

#### **4.3.1. Suše**

Suša je prirodna opasnost i jedna je od najmanje shvaćenih i upravljivijih pojava koje utječu na svijet. Ranjivost na sušu se povećava kako se globalna klima mijenja, ljudska populacija raste, vodni resursi dolaze pod sve veći pritisak za alternativne namjene, a

ljudi koriste vodu na mnogo različitih načina, i ne koriste ju u skladu sa svojim potrebama (Eslamian, S., Eslamian, F., 2017).

Suše su nedostatak oborina tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Međutim to nije jedini opis koji se može primijeniti u definiranju onoga što je suša i kakav učinak ima. Ne možemo suše promatrati kao fizički fenomen koji je strogo definiran klimatskim promjenama, jer postoje mjesta na Zemlji koja su u trajnoj suši, npr. pustinja Gobi (Slika 12), pustinja Atacama, Sahel, itd.



**Slika 12 Pustinja Gobi**

*(<http://www.putokaz.me/reportaze-glavni/2454-pustinja-gobi-azija>)*

Učinci suše regulirani su međusobnom ovisnošću kruženja vode i potražnje za vodom, a ljudske aktivnosti dodatno pogoršavaju utjecaj suše. Socioekonomske suše javljaju se kada potražnja za ekonomskim dobrima premašuje ponudu kao rezultat nedostatka vode u vezi s vremenom (Eslamian, S., Eslamian, F., 2017).

Suše mogu negativno utjecati na rad energetske objekata. Primjerice na rad hidroelektrana, jer rad elektrane ovisi o protoku vode, stoga je u osnovi povezan s hidrološkim ciklusima. Potražnja za ekonomskim dobrima raste kao rezultat rasta stanovništva i gospodarskog razvoja, stvarajući na taj način sve veći pritisak na vodne resurse. Time dolazi do poremećaja u ekosustavu jer se smanjuje dostupnost vode. Kada se i ponuda i potražnja povećaju, kritični faktor je njihova relativna stopa promjene.

Suše su stoga prirodne pojave, često intenzitetom i ozbiljnošću pod utjecajem lokalnih topografskih uvjeta, potrebe za vodom i klimatoloških značajki, a mogu završiti jednakom brzinom kao što su se pojavile ako je manjak vode ili vlage mali. Zbog raznolikosti definicija, procjene utjecaja i upravljanja, razvijeni su različiti indeksi kojima se može kategorizirati trajanje i intenzitet suše. Veliki broj indeksa je omogućio kvalitetniji pristup i opis raznolikosti utjecaja (Eslamian, S., Eslamian, F., 2017).

#### **4.4. ANTROPOGENI UZROCI SMANJENJA PORN OG TLAKA**

##### **4.4.1. Crpljenje vode**

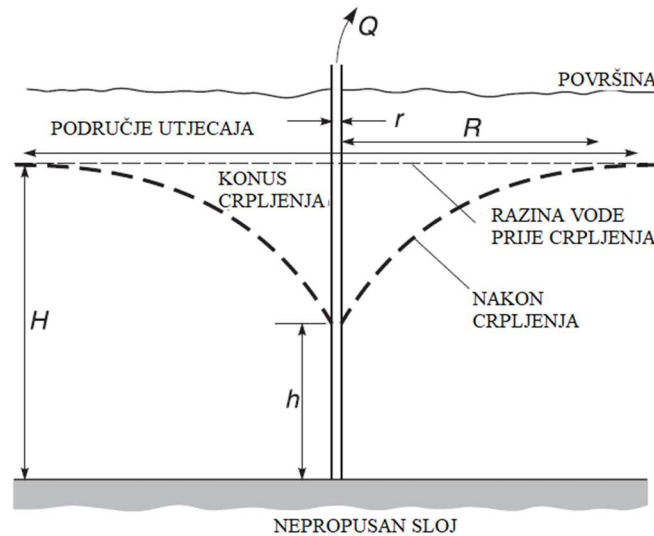
Najčešći način pronalaženja podzemnih voda je bušenje bunara i crpljenje vode iz njega. Bunari se grade da bi se dobila velika količina podzemne vode s minimalnim deformacijama oko bunara. Specifični kapacitet bunara izražava se u litrama po metru kada se voda pumpa iz bunara. To ukazuje na relativnu propusnost vodonosnika.

Ako se želi postići optimalna opskrba, mjesto se treba odabrati nakon geoloških ispitivanja. Bunari koji opskrbljuju pitkom vodom trebaju biti dobro zatvoreni. Međutim, važna prednost podzemne vode je njezina nezagađenost bakterijama i mikroorganizmima. S druge strane, protok kroz otvoreni vapnenac može prenositi zagađenje na znatne udaljenosti.

Crpljenje tekućina u nekoherentnom tlu, može dovesti do uklanjanja sitnijih čestica u zoni oko bunara. Opskrba vodom u stijenama može biti povećana zbog pojave podzemnih galerija ili tokova. Prinosi stijena također se mogu povećati lomljenjem stijena eksplozivom, tekućinom koja se upumpava u bunar ili u slučaju karbonatnih stijena, korištenjem kiseline za povećanje diskontinuiteta. Uporaba eksploziva u pijescima može dovesti do povećanja prinosa za 40 %, korištenje kiseline i do 100 % (Bell, 2007 b).

Kada se voda crpi iz bunara razina podzemne se snižava (Slika 12). Brzina snižavanja ovisi o brzini pumpanja, a ravnoteža se postiže kada se razina crpljenja izjednači s brzinom punjenja. Ako crpljenje premašuje punjenje može dovesti do presušivanja bunara. Da bi se bunar mogao dalje koristiti mora se kopati na veće dubine, čime postoji

opasnost od daljnjeg smanjenja razine podzemne vode, a samim time i do određenih posljedica.



Slika 13 Crpljenje vode iz podzemlja  
(modificirano prema Bell, 2007)

#### 4.5. MOGUĆE REAKCIJE NA SMANJENJE I POVEĆANJE PORNOGA TLAKA

Iz prikazanog je vidljivo kako se prilikom infiltracije oborina u tlo, razina podzemne vode i porni tlak rastu. Kada razina voda poraste, ona će otjecati prema rijekama i na kraju prema moru. Ako je infiltracija veća od otjecanja, javlja se porast razine vode i tlaka u porama, ako je obrnuto, razina vode i tlaka pada. To predstavlja prirodan ciklus rasta, odnosno pada razine podzemne vode u tlu (Price, 2007).

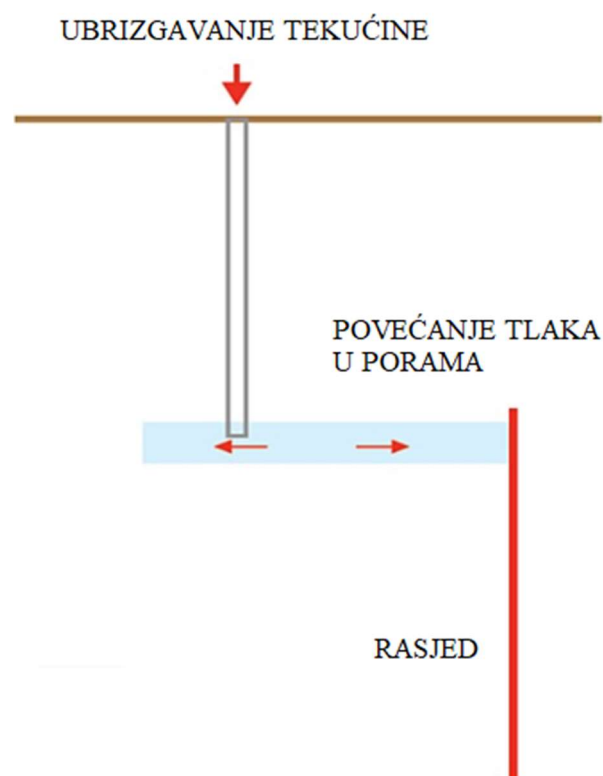
Prilikom pojave prekomjernog crpljenja podzemne vode, uzrokovanog ljudskom djelatnošću ili pojavom ekstremnih suša dolazi do poremećaja u prirodnom ciklusu. Takvi procesi, bilo prirodni ili ljudski uzrokuju nagli pad razine podzemne vode i tlaka u porama, pri čemu dolazi do smanjenja pora u tlu i konsolidacije. Konsolidacijom, cijelo opterećenje u tlu preuzimaju čestice tla (povećava se efektivno naprezanje) i dolazi do pojave slijeganja. Ako se slijeganje dogodi na području gdje se nalaze građevine, može doći do materijalnih šteta.

Povećanjem tlaka tekućina u tlu pojavom poplava ili umjetnim napajanjem vodonosnika može doći do ozbiljnih posljedica u tlu. Umjetno napajanje vodonosnika se osim za povećanje kapaciteta vodonosnika koristi i u industrijske svrhe. Ako se u vodonosnik



odlažu otpadne tekućine može doći do zagađenja vodonosnika. Krško područje je poznato po velikim brzinama podzemnog toka pa ako dođe do zagađenja krškog vodonosnika kontaminacija se može vrlo brzo proširiti na veliko područje. Samim time bi bez pitke vode ostao veliki broj stanovnika na tom području.

Prekomjernim i stalnim napajanjem dolazi do porasta pornog tlaka koji se prenosi na obližnji rasjed. Povećanje pornog tlaka u zoni rasjeda smanjuje se efektivno naprezanje koje djeluje na njega, smanjuje se snaga rasjeda i dolazi do pojave inducirane seizmičnosti (Fanchi, 2018). (Slika 13)



Slika 14 Povećanje tlaka u tlu ubrizgavanjem tekućina  
(Fanchi, 2018)

## 5. ZAKLJUČAK

Ponašanje tla je reakcija tla na antropogene i prirodne procese koji se javljaju na ili u tlu.. Inženjerski procesi uobičajeno prestaju odmah nakon završetka radova, dok prirodni procesi imaju kontinuirani i dulji vijek pojavljivanja. Iako se javljaju zasebno, jedan proces može prouzročiti drugi, ili više njih. Prirodni procesi nisu toliko opasni kao inženjerski, ali njihovo djelovanje je kontinuirano i njihova pojava se teško može predvidjeti. Prije početka radova moraju se provesti adekvatna istraživanja jer u protivnom može doći do velikih materijalnih šteta i u najgorem slučaju do velikog broja ljudskih žrtava. Proces koji se javlja su opterećenje tla, rasterećenje tla i promjena tlakova tekućina u tlu.

Najčešće reakcije tla na procese su slijeganje, konsolidacija, slom, pojava klizišta, urušavanje, inducirana seizmičnost i drugo. Slijeganje, konsolidacija i slom karakteristični su za statička opterećenja tla, dok se kod dinamičkih opterećenja tla poput potresa ili vibracija uzrokovanih prometom i strojevima može javiti i likvefakcija. Likvefakcija je pojava kada tlo gubi čvrstoću i počinje se ponašati kao tekućina.

Kod rasterećenja tla, najčešće dolazi do pojave klizišta i urušavanja tla, a ako se rasterećenje odvija ispod površine može doći i do slijeganja. Pojava rasterećenja najčešće dolazi zbog neadekvatnog projektiranja i ljudskih radova. Rasterećenja tla zbog prirodnih procesa nisu tako učestala, ali najčešće se javljaju zbog disolucijskog rada vode u stijenama i tlu koje je podložno kemijskom i mehaničkom djelovanju vode. Promjena tlakova fluida u tlu može dovesti do konsolidacije, slijeganja ili inducirane seizmičnosti.

Ukoliko se odvija pretjerano crpljenje tekućine iz bunara i voda u tlu se ne stigne obnoviti infiltracijom oborina dolazi do konsolidacije i snižavanja razine vode u području bunara. Zbog konsolidacije dolazi do slijeganja okolnog područja. Ako dolazi do povećanja tlakova umjetnim napajanjem zdenaca ili poplavama dolazi do inducirane seizmičnosti jer se naglo povećava razina podzemne vode koja zbog svoje ne stišljivosti povećava šupljine u tlu. Često zbog upumpavanja otpadnih voda u bunare dolazi do kontaminacije podzemne vode, gdje se to onečišćenje vrlo brzo može prošiti na velike udaljenosti.

Tlo se uglavnom slično ponaša prilikom svih procesa. Vrlo često jedan proces može prouzročiti drugi ili više njih. Na primjer, pojava potresa može dovesti do aktivacije klizišta. S toga je potrebno provesti adekvatne istraživačke radove i mjere zaštite iz različitih područja poput geologije, geodezije, građevine, geofizike, hidrogeologije i drugo.

## 6. LITERATURA

Bell, F.G. (2007 a): Basic Environmental and Engineering Geology; Whittles Publishing Limited; Dunbeath, Scotland, UK.

Bell, F.G. (2007 b): Engineering Geology, Second Edition; Whittles Publishing Limited; Dunbeath, Scotland, UK.

Biondić B.; Biondić R. (2014): Hidrogeologija Dinarskog Krša u Hrvatskoj; Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički Fakultet, Varaždin

Marjanac Lj.; Marjanac T. (2004): Quaternary Glaciations- Extent and Chronology, Part I: Europe; Elsevier, Amsterdam, Nizozemska

Eslamian, S. & Eslamian, F. (2017): Principles of Drought and Water Scarcity; Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida

Fanchi, J. (2018): in Principles of Applied Reservoir Simulation (Fourth Edition),

Kvasnička, P.; Domitrović, D. (2007): Mehanika Tla; Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Marjanac Lj.; Marjanac T. (2004): Quaternary Glaciations- Extent and Chronology, Part I: Europe; Elsevier, Amsterdam, Nizozemska

Mesec, J. (2009): Mineralne Sirovine Vrste i Načini Dobivanja; Sveučilište u Zagrebu; Geotehnički fakultet, Varaždin

Price, D.G. (2009): Engineering Geology, Principles and Practice; Springer; London, UK.

Tandarić, N. (2010): Opća Geomorfologija; Zagreb

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Moguće reakcije tla na inženjerske i prirodne procese (Price, 2009).....	2
Tablica 2. Richterova ljestvica.....	13

## POPIS SLIKA

Slika 1 Tasmanijski ledenjak .....	7
Slika 2 Til zaostao nakon povlačenja ledenjaka .....	9
Slika3 Shema morene.....	10
Slika 4 Slom tla prilikom smicanja.....	15
Slika 5 Pojava likvefakcije .....	16
Slika 6 Kretanje čestica tla djelovanjem vjetra.....	17
Slika 7 Kalahari pustinja.....	18
Slika 8 Dijelovi riječnog toka .....	20
Slika 9 Pojava tečenja mulja .....	21
koja je djelomično zahvatila vlak, Kina.....	21
Slika 10 Rudnik zlata i bakra.....	25
(Grasberg, Indonesia).....	25
Slika 11 Poplava u urbanom području.....	30
Slika 12 Pustinja Gobi .....	31
Slika 13 Crpljenje vode iz podzemlja .....	33
Slika 14 Povećanje tlaka u tlu ubrizgavanjem tekućina .....	34