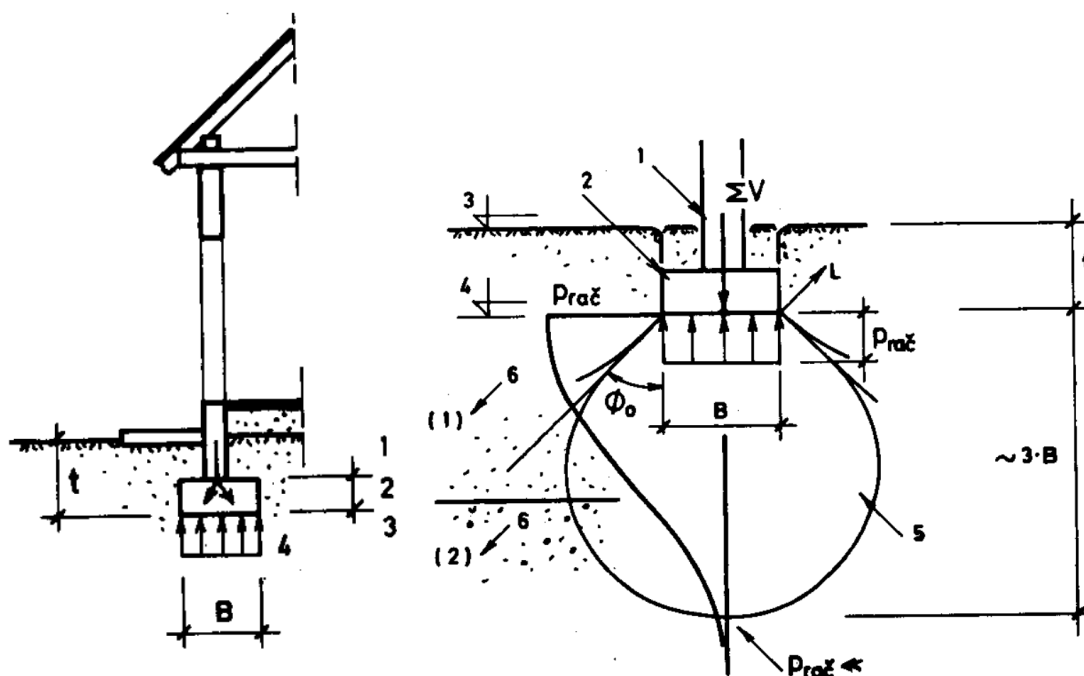


Поглавље 1 Увод. Слегања и дозвољена слегања. Побољшање тла и стијена.

1.1. УВОД

Темељ представља везу конструкције и тла. Оптерећење из конструкције се преко темеља преноси на тло и повећава постојеће притиске у тлу. Највећи притисак је на контакту темељне спојнице и тла на *дубини фундирања t* . Овај притисак се назива *рачунски притиском $p_{rač}$* и треба да је мањи од дозвољеног притиска за тло p_{doz} . Додатни притисци у тлу се јављају до дубине од приближно $3B$ гдје је B ширина тракастог темеља. У овој зони се тло деформише и резултат тих деформација је помјерање темеља на доље – *слегање темеља s* . Слегање треба да је мање од *дозвољеног слегања s_{doz}* за ту врсту објекта.



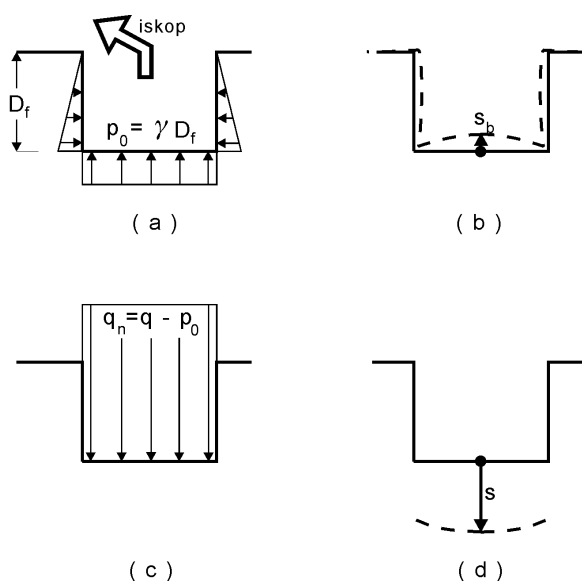
1-Konstrukcija; 2-temelj;
3-tlo; 4-reaktivno opterećenje tla.

1-Objekat; 2-temelj; 3-teren; 4-kota naležude površine temelja; 5-podloga; 6-oznaka sloja tla.

Слика 2.1: Темељ као веза конструкције и тла. Пренос оптерећења кроз тло (напони у тлу).

1.2. ПРОРАЧУН СЛЕГАЊА

С обзиром да се оптерећење грађевинским објектом изузетно ретко изводи на самој површини терена, уобичајено извођење темеља почиње извођењем ископа. Тло из подручја темељне јаме се уклања и долази до растеређења тла испод будућег темеља са променом контурних оптерећења приказаних на Слици 2.2-а. Услед смањења нормалних напона у централном подручју испод будућег темеља долази до деформација бубрења у еластичној области растеређења, тако да тло може бубрити у величини s_b (Слика 2.2-б).



Слика 2.2: Растерећење тла при ископу. Нето контактни напон

Након завршеног уклањања тла, дно ископа се почиње оптерећивати темељном конструкцијом, процес бубрења се зауставља, почињу померања на ниже, тако да када оптерећење достигне ранији **геостатички ниво напона** $p'_v = p'_0$, сви ефекти бубрења се анулирају и након повећавања напона изнад геостатичког, почињу стварна слегања, Слика 2.2-д. Због тога се у прорачуну слегања прираштај вертикалних напона одређује доношењем нето контактнег напона q_n , који представља разлику бруто **контактнег напона** q и геостатичког вертикалног ефективнег напона на нивоу темељне спојнице p'_0 , (Слика 2.2-ц).

Образац за слегање темеља за процјену слијегања темеља у пракси:

$$s = \frac{(1-\nu^2) \cdot \bar{P}}{E_o \cdot \sqrt{F}} \cdot k \quad (\text{m})$$

Oznake u obrascu imaju sledeća značenja

- s - ukupno sleganje (m)
- $\bar{P} = (p_{\text{rač}} - \gamma \cdot t) \cdot F$ (kN) ; dodatni pritisak u tlu (samo od naknadno nanetog opterećenja u iskop).
- ν - Poasonov koeficijent (1)
- F - Naležuća površina temelja (m²)
- E_o - Deforamcijski modul tla (kN/m²)
- $E_o = (1 - \frac{2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}) \cdot M_s$
- gde je M_s (kN/m²) modul stišljivosti tla.

Koeficijent k , i informativne vrednosti Poasonovog koeficijenta ν su sledeće vrednosti

L/B	\bar{K}	Тло	v
1	0,88	šljunak	0,25
2	0,86	pesak	0,30
3	0,83		
4	0,80	prašina	0,35
5	0,77	glina	0,40

L је дужа а В краћа страна темелја.

1.3. СТИШЉИВОСТ ТЛА

Стишљивост је особина тла да смањује запремину при повећавању ефективних напона. Ова особина је од посебног значаја када се анализира слегање објеката који се ослањају на тло.

Укупна величина слегања оптерећене површине се може описати збиром:

$$s = s_i + s_c$$

где је:

s_i тренутно слегање. Деформације се појављују истовремено са наношењем прираштаја напона.

s_c консолидационо слегање. Деформације промене запремине доприносе укупној величини слегања, при чему у водом засићеним материјалима долази до истискивања воде из пора. Ова компонента је значајна код глине јер може трајати релативно дуго. У песковима и другим водопрпусним материјалима ова компонента слегања се одиграва практично истовремено са тренутним слегањем у току наношења оптерећења, без временског заостајања. Величина консолидационог слегања водом засићених глине може се израчунати коришћењем резултата опита стишљивости у едометарском апарату

Опит стишљивости изводи се у кутијастом апарату који се назива *едометар*. Узорак у облику релативно ниског цилиндра, са површином базе између 20 цм² и 100 цм² и односом пречника према висини у границама од 2.5 до 5, излаже се контролисаним прираштајима вертикалних напона, али је крутим прстеном бочна деформација спречена. Мери се слегање узорка, тј. смањење његове висине са повећањем напона. **Тло које има мањи модул стишљивости има већу стишљивост.**

Из грануларних материјала, као што су песак и шљунак, није могуће конвенционалним средствима и на економичан начин узети из терена непоремећен узорак и испитати га у лабораторији, на пример у едометру, као што се то ради са узорцима глине или прашине, већ се до показатеља деформабилности долази индиректним путем, емпиријски, коришћењем резултата стандардних пенетрационих испитивања (*SPT*) или испитивања статичким пенетрометром (*CPT*). Пенетрациона испитивања треба сматрати обавезним у свим теренским испитивањима тла за потребе темљења, а могу се изоставити само уз јасно и логично образложење, а незаменљива су у случају да у пресеку тла постоје слојеви песка.

Овде можда није сувишно напоменути да су растресити пескови стишљивији од збијених, али и да су глине знатно стишљивије од песка или шљунка.

1.4. ДОЗВОЉЕНА СЛЕГАЊА

Допуштено слегање темеља објекта је величина коју конструкција може да толерише и зависи од више фактора као што су **врста конструкције, њена висина, крутост, намена, локација, брзина и расподеле слегања**. Не постоји јединствена допуштена вредност која би се могла увек и унапред прописати. Основни облици деформације објекта, са компонентама слегања (Lambe и Whitman, 1969), приказани су на Слици 2.3, где је на шематизован и упрошћен начин укупна деформација објекта услед слегања темеља раздвојена на три компоненте.

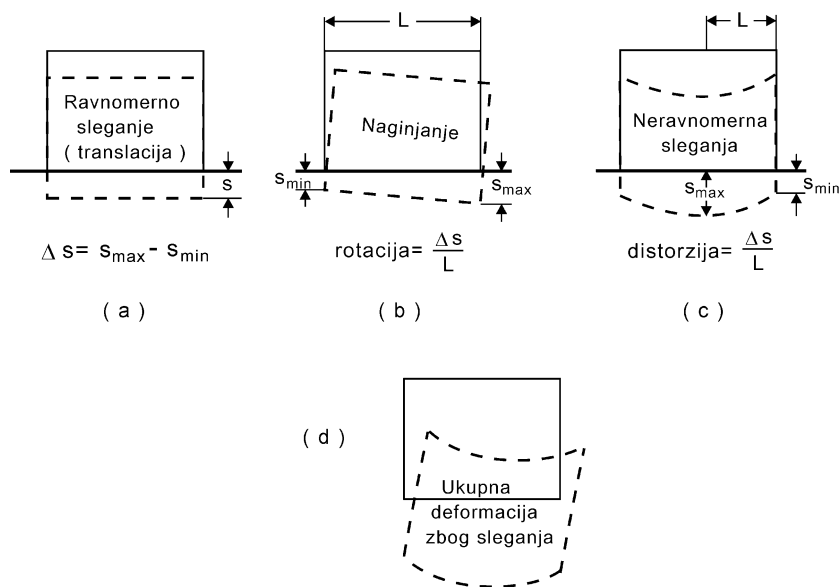
а) *Равномерно слегање* (Слика 2.3-а) је могуће у случају крутог симетричног објекта на хомогеном тлу. Чак и када је релативно велико, равномерно слегање обично нема штетне последице по сам објекат, али може оштетити везе инсталација (водовод, канализација, струја, гас, дренажни систем и сл.) по контури објекта. Због тога такве везе треба реализовати што касније током грађења, уколико је то могуће, или их конструктивно решити на такав начин да могу да приме локализоване деформације без оштећења или нарушавања функционалности и да буду приступачне ради евентуалних интервенција. Постоје забележени случајеви слегања од 1.5-2 метра и објекат задовољавајуће функционише, али са друге стране, слегање од десетак центиметара може објекат учинити неупотребљивим.

Skempton и MacDonald (1955) предлажу следеће максималне пројектне вредности:

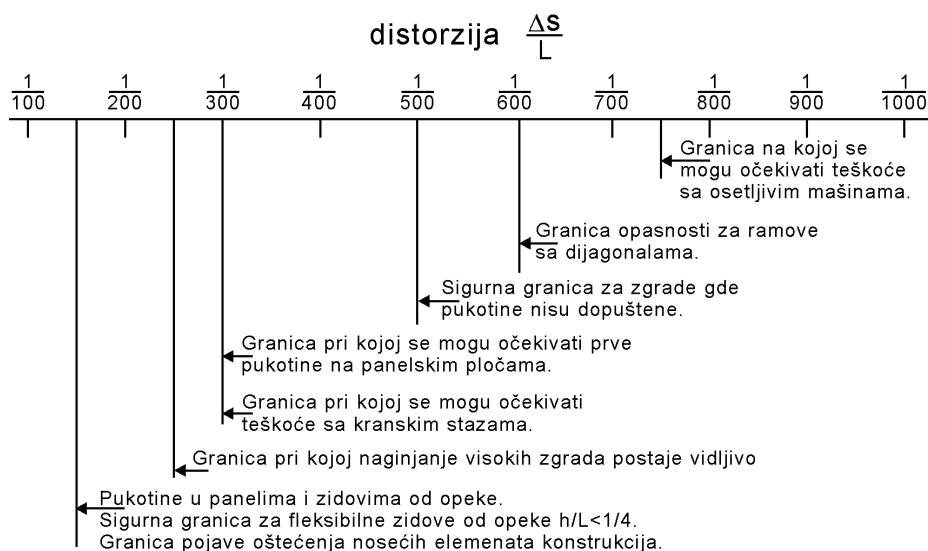
- Појединачни темељи на глини	65 мм
- Појединачни темељи на песку	40 мм
- Плоча испод целог објекта на глини	65-100 мм
- Плоча испод целог објекта на песку	40-65 мм

б) *Нагињање, чиста ротација* релативно крутог објекта (Слика 2.3-б) може имати штетне последице по конструкцију и инсталације у њој, утицати на рад машина, кранова и друге опреме. Уски и високи објекти, торњеви, појединачни димњаци, солитери, услед почетног нагињања могу преоптеретити једну зону темељног тла услед ексцентричности резултанте оптерећења због иницијалног нагињања, изазвати локалну пластификацију тла тако да, услед дисторзијског пузања, нагињање добија прогресиван карактер.

с) *Диференцијална или неравномерна* слегања карактеристичних тачака у основи објекта (Слика 2.3-ц) ограничена су флексибилношћу конструкције и изазивају закривљеност уз дисторзијске деформације које могу изазвати различита локална преоптерећења и оштећења објекта. Овај облик слегања је најчешћи и мора се ограничити на допуштене величине. Такав облик слегања зависи од распореда оптерећења и од нехомогености природног тла. Диференцијална слегања су обично мања од максималних, али су утолико неповољнија уколико се појављују на мањем одстојању, тако да је мера овог облика деформисања дефинисана дисторзијом тј. односом разлике слегања и одстојања. С обзиром да су то релативно мали бројеви, обично се изражавају разломком $1/n$, на начин приказан на Слици 2.4 (Вјеггум, 1963). Слика илуструје граничне величине дисторзијских деформација на основу теоријских истраживања, мерења на моделима и осматрања објеката и може се користити за оцену израчунатих величина код објеката уобичајених димензија и намене. Међутим, стварне толеранције дисторзијских деформација и ротација могу бити и знатно строжије у случају објеката и конструкција специјалне намене.



Слика 2.3: Основне компоненте слегања објекта



Слика 2.4: Граничне угаоне дисторзије

Ради релативне оцене величина у прописима за темељење из 1990 године, ако се допуштена апсолутна и релативна рачунска слегања не доказују посебно детаљном анализом слегања конструкције темеља и грађевинског објекта, дозвољавају се рачунска слегања на крупнозрном тлу највише 2.5 цм, а на ситнозрном тлу највише 5 цм. Уколико је израчунато или процењено слегање веће од 10 мм, упутно је од почетка грађења почети са пажљивим мерењем слегања како би се проверила тачност прогнозе. Мерење треба вршити током грађења, довољно често у зависности од брзине напредовања, али их наставити и након завршетка првих година током експлоатације.

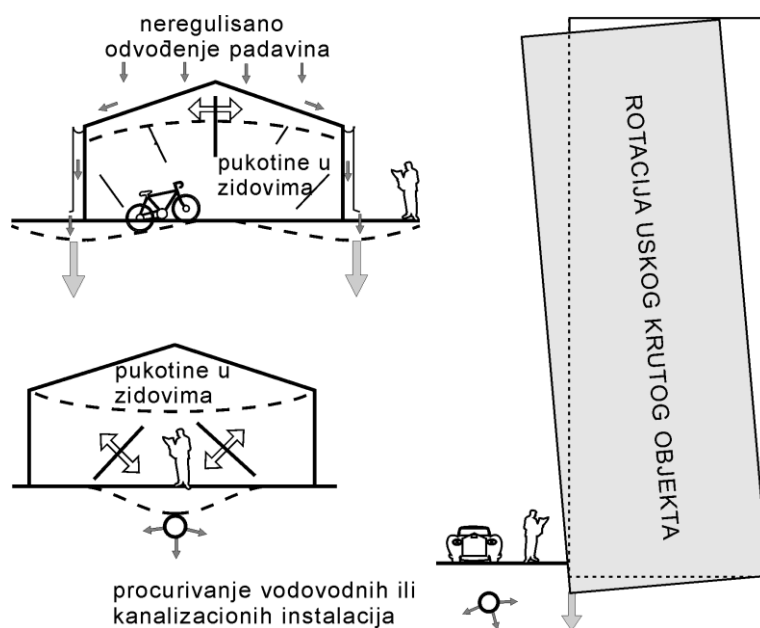
1.5. ДЕФОРМАЦИЈЕ БЕЗ ЗНАТНЕ ПРОМЕНЕ НАПОНА

1.4.1. МЕТАСТАБИЛНА ИЛИ КОЛАПСИБИЛНА ТЛА

Делимично засићена тла са запреминском тежином мањом од око 16 kN/m^3 могу бити осумњичена да имају склоност ка структурном колапсу, иако такву особину не морају имати сва тла са ниском збијеношћу. Лако цементирана тла, од којих је у нашим условима најраспрострањенији тип *лес*, могу имати нестабилну структуру при провлажавању. Лес је еолски седимент веома распрострањен у Европи, Азији и Северној Америци и покрива око 10% копнене површине планете земље. У нашој земљи лес покрива велике делове површина Паноније и обода низије. Некад се појављује у облику лесних тераса које се стрмим, практично вертикалним одсецима, издвајају од нижих подручја. Без обзира на локацију, лес је тло са преобладајућим учешћем прашиновите фракције, типично светло мрке до жуте боје са променљивим садржајем песковитих и глиновитих фракција. Зрна прашине и песка су слабо везана глиненним или карбонатним везивом. Међутим, ако је лес депонован у сувој средини, порозност му је често веома велика, што се очитује у ниској запреминској тежини која се може кретати у релативно широким границама. Посебно су критична тла код којих је $\gamma_d < 13 \text{ kN/m}^3$.

При испитивању у едометру, са релативно малом природном влажношћу узорак показује малу до умерену стишљивост у подручју нормалних напона до $100\text{-}200 \text{ kPa}$. Када се при таквом нивоу напона у кутију едометра дода вода, долази до релативно великог слегања узорака због омекшавања глиненог везива између зрна и њиховог релативног померања ка стабилнијој, збијенијој конфигурацији. За деформације $\varepsilon_c > 1\%$ каже се да лес има метастабилну структуру и да због тога при влажењу долази до структурног колапса грануларног скелета уз смањење запремине. Слегање услед тако настале деформације може имати веома штетне последице по грађевинске објекте, што је илустровано на Слици 2.5.

Објекат на таквом тлу се може и више година понашати сасвим задовољавајуће, да би одједном у случају провлажавања тла испод објекта услед инцидентног процуривања водоводних или канализационих инсталација дошло до локалног слегања од десетак или више десетина центиметара, са веома штетним последицама у виду појаве пукотина или ротације објекта. До локалног слегања може доћи и на тек завршеним објектима уколико вода са кровних и других површина није контролисано евакуисана тако да не продире у тло у подручју темеља. Кондензација воде на цевима инсталација у подрумским просторијама, уз недовољну изолацију пода, може такође довести до постепеног допунског слегања темеља. Међутим, у неким случајевима до повећавања слегања може доћи полако и постепено, као последица кондензације и акумулације влаге испод објекта.



Слика 2.5: Карактеристична оштећења зграда на лису

Заштитне мере подразумевају контролисано одвођење атмосферских вода са кровних и других површина као и максималну пажњу при изради и контроли извођења водоводних и канализационих инсталација у подручју објекта уз евентуалне посебне заштитне мере, а у извесним условима, у случају већих оптерећења, прибегава се и дубоком темељењу на шиповима, преношењем оптерећења на дубље, стабилније слојеве.

1.4.2. ЕКСПАНЗИВНА ТЛА

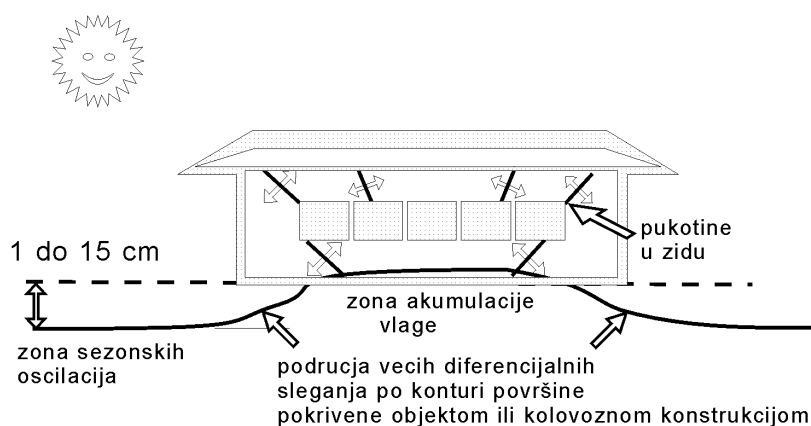
Делимично засићене тврде високопластичне глине могу бити веома преконсолидоване сушењем (десикацијом). Уколико се на узорак таквог, обично тврдог тла, у едометру при релативно ниском нивоу напона, делује једноставним додавањем воде, долази до бубрења, повећања запремине.

За такво експанзивно понашање је најчешће и највише одговоран монтморијонит, али и неки други минерали са високом активношћу. У нашем поднебљу су штетне последице по објекте могуће, али не и веома честе. Практичне штете на објектима су знатно чешће у подручјима која одликују два изразито различита годишња раздобља са сувом сезоном и високим температурама, након чега долази до влажне сезоне са падом температуре и повећањем влажности ваздуха и падавинама. У природном терену долази до цикличног сушења и влажења у *активној зони*, у површинском слоју тла који у екстремним условима може досезати дубину и до 15 метара, а величине дизања и спуштања површине терена чак и до 30 *цм*. Активна дубина тла испод новог изграђеног објекта може бити већа од оне која се констатује на подручју где површина тла није покривена објектом.

Уколико се објекат изгради у току суве сезоне, он својом основом онемогућава измену влаге са околином, тако да се временом, услед миграције воде у околини објекта влага почиње повећавати, тло испод објекта почиње да бубри и делови објекта се почињу издизати, изазивајући знатна оштећења. Централни део површине покривене објектом изложен је

највећем издизању, док померања периферних делова, који су изложени сезонским променама температуре и влажности, могу имати осцилаторан карактер.

Оштећењима услед бубрења тла су изложене лакше грађевине, приземни објекти, коловозне конструкције саобраћајница и облоге канала за наводњавање. У екстремним условима деформације контуре канала за наводњавање изведених у таквом тлу али и у експанзивној стени (глинци) могу бити алармантне у релативно кратком времену након пуштања воде у нов изграђен канал. Експанзивно тло, уколико постоји на локацији предвиђеној за грађење, треба идентификовати током истражних радова како би се могле предузети одговарајуће мере предострожности и заштите, како у пројекту, тако и у начину извођења објекта.



Слика 2.6: Померања и оштећења објекта на експанзивном тлу

1.4.3. УТИЦАЈ МРАЗА НА ТЛО

Услед замрзавања површинског слоја тла може доћи до издизања његове површине, при чему након повишења температуре у пролеће, таква места остају веома мека и расквашена. Ова појава може изазвати велика оштећења на коловозним конструкцијама, облогама канала и плитким темељима.

Замрзавање воде је праћено повећавањем запремине од око 9% при преласку у лед. Због тога повећавање запремине засићеног тла при снижењу температуре испод тачке мржњења настаје услед повећања запремине пора за исти износ. Укупна промена запремине тла, зависно од порозности, може бити приближно између 2.5% и 5 %, што би у нашим климатским условима изазвало издизање површине тла од 2 до 4 *цм*, а у крупнозрном тлу, шљунку или песку може бити и мање јер се при замрзавању извесна количина воде може истиснути из пора. Међутим, у одређеним околностима, могу се запазити и знатно веће промене запремине праћене издизањима и од по 50 *цм*, што значи да је механизам ове појаве знатно сложенији од описаног.

Да би дошло до ове појаве треба да буду задовољени следећи услови:

1. Тло мора бити засићено или блиско засићеном стању.

2. Тло мора да буде ситнозрно. У погледу утицаја мрза најопаснија су она тла која имају *релативно висок садржај прашинастих фракција*. Таква тла садрже систем малих пора, али истовремено и водопропусност није сасвим мала.

У нашем поднебљу се илустровани неповољни утицаји елиминишу темељењем испод доње границе активног слоја, а залеђе потпорних конструкција се запуњава крупнозрним тлом које није осетљиво на дејство мрза. Заштитне мере подразумевају темељење објеката на дубинама већим од дубине дејства мрза која се у нашем поднебљу креће до око 1,0 м. У неким околностима примењује се и прекидање капиларног пењања уграђивањем тампонског слоја од крупнозрног водопропусног материјала.

1.6. ПОБОЉШАЊЕ ТЛА И СТИЈЕНА

Уколико се плитким фундарањем не могу задовољити услови о величинама допуштених слегања и/или носивости тла, тада су расположива решења:

1. Промјена локације објекта у циљу избјегавања неповољних геотехничких услова.
2. Извршити измјене у конструкцији објекта у циљу прилагођавања процјењеним геотехничким условима.
3. Уклањање и замјена слабо носивог тла
4. Покушај побољшања постојећег тла/стијенске масе.

Измјене на конструкцији објекта обухватају:

- промјену дубине фундарања
- промјену контактнoг притиска
- промјену ширине темеља
- **повећање крутости темељне конструкције** у циљу спречавања утицаја диференцијалног слегања (скупo). На примјер, ако су темељи самци сувише близу може доћи до суперпозиције притисака. Тада користимо контрагреду.
- израдом просторних раздјелница (дилатација) могу се одвојити дјелови објекта различитог оптерећења и дозволити равномјерно слијегање сваког раздвојеног дијела (скупo).
- код тла осјетљивог на сушење, бубрење и скупљање, препоручује се осигурање неподрумског дијела објекта на тај начин што ће се изградити водонепропустљиви тротоар, поставити PVC фолија и слично.
- прелазак на дубоко фундарање

Уклањање и замјена слабо носивог тла

Уколико се слабо тло (хумус, тресет, муљ, меке глине) налази на површини терена и није велике дебљине, оно се уклања до добро носивог слоја и замјењује насутим тлом доброг квалитета, уз прописано збијање (насипање у слојевима одговарајуће дебљине и збијање до постизања одговарајућег степена збијености по Проктору или прописаног модула

стишљивости). Ова замјена се може извршити и постављањем тампона - шљунка испод стопа до добро носивог слоја.

У случају велике моћности (дебљине) стишљивог слоја, дубина до које треба замијенити слабо носиво тло (d_h) се одређује из услова да напрезања на контактної површини замјењеног слоја са меким слојем буде испод дозвољеног оптерећења слабо носивог слоја на тој дубини.

Преглед метода за побољшања тла (енгл. *ground modification, ground improvement*)

Збијање тла (*Densification methods*):

- Збијање површинских слојева машинама за збијање (вибро ваљци, компактори, јежеви итд.) је најчешће примјењивана метода
- Дубинско динамичко збијање (*dynamic deep compaction*)
- Виброфлотација
 - Дубинско вибрирање тла –вибро компакција (*vibrocompaction*)
 - Вибро збијање са замјеном материјала (*vibroreplacement*)
- брзо ударно збијање (*rapid impact compaction*)
- пенетрационо ињектирање
- компакционо ињектирање (*compaction grouting*)
- млазно ињектирање (*jet grouting*)
- Убрзана консолидација предоптерећењем и/или вертикални дренажи (*accelarated consolidation by surcharging and/or vertical drains*). Као вертикални дренажи се могу користити пјешчани шипови (*sand piles*) и префабриковани вертикални дренажи (*prefabricated vertical drain PVD, wick drains*)

Стабилизација тла (*admixture stabilisation*):

- примјеном креча (*lime*)
- примјеном цемента (*cement*)
- примјеном летећег пепела (*flyash*)
- хемијска стабилизација

Ојачање тла (армирање тла):

- примјена геосинтетика (геотекстили, геомреже)
- примјена микрошипова (*micropiles*)
- прибадање тла (*soil nailing*)
- примјена анкера тј. сидара (*anchors*)
- примјена шљунчаних шипова (*stone columns*)

Преглед метода за побољшања стијенских маса

Ињектирање:

- везно – попуњавање шупљине између тунелске облоге и стијене
- контактано – повезивање облоге и стијенске масе, повезивање више слојева облоге

- консолидационо – смањење дефрамабилности, повећање чврстоће, смањење хетерогености и анизотропије, побољшање расподеле напона. Ињектирају се стијенски темељи бетонских високих брана и стијенске масе иза облога хидротехничких тунела по притиском.
- напонско – стварање притиска у околини тунелске облоге чиме се врши њено преднапрезање
- ињекционе завјесе настају убризгавањем везних средстава у неиспуњене прслине, пукотине и шупљине стијенске масе са сврхом да се смањи пропусност стијенске масе на прихватљиву вриједност. Оне се изводе помоћу низа бушотина распоређених у једном или више редова.

Анкери (сидра):

- са механичком котвом (кратки анкери)
- адхезиони (PERFO, SN, IBO)
- преднапрегнути стијенски анкери

Примјена прсканог бетона – торкрета (енгл. *shotcrete, gunitе*)