

# Zemljani radovi

---

**Roje-Bonacci, Tanja**

**Authored book / Autorska knjiga**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Publication year / Godina izdavanja:* **2012**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:942081>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-01**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)

TANJA ROJE-BONACCI  
ZEMLJANI RADOVI



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE



UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U SPLITU  
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM SPALATENSIS



***TISKANJE OVOG UDŽBENIKA POTPOMOGLI SU:***

HRVATSKE VODE, ZAGREB

HRVATSKO GEOTEHNIČKO DRUŠTVO, ZAGREB

HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA, ZAGREB

SVEUČILIŠTE U SPLITU

MINISTARSTVO ZNANOSTI, OBRAZOVANJA I SPORTA REPUBLIKE HRVATSKE

Tanja Roje-Bonacci

# ZEMLJANI RADOVI



SVEUČILIŠTEU SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

SPLIT 2012.

**NAKLADNIK:**  
**Sveučilište u Splitu**  
**Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**  
ul. Matice hrvatske 15, 21000 SPLIT

**UREDNIK:**  
prof. dr. sc. Mirela Galić

**RECENZENTI:**  
prof. dr. sc. Predrag Mišćević, Split  
prof. dr. sc. Dražen Cvitanić, Split  
prof. dr. sc. Sonja Zlatović, Tehničko veleučilište, Zagreb

**TEHNIČKO UREĐENJE, CRTEŽI I PRIJELOM TEKSTA:**  
prof. dr. sc. Tanja Roje-Bonacci

Objavljivanje ovog udžbenika odobrio je Senat Sveučilišta u Splitu na svojoj 77. sjednici od 25. listopada 2012. godine

CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Sveučilišna knjižnica u Splitu

UDK 624.13(075.8)

ROJE-Bonacci, Tanja

Zemljani radovi /

Tanja Roje-Bonacci. – Split : Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2012. –  
(Udžbenici Sveučilišta u Splitu = Manualia Universitatis studiorum spatensis)

Bibliografija. – Kazalo.

ISBN 953-6116-32-4 (Građevinsko-arhitektonski fakultet)

111227054

Naklada: 500 primjeraka

## SADRŽAJ:

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ISTRAŽNI RADOVI.....</b>	<b>7</b>
2.1	OPĆENITO .....	7
2.2	PROGRAM ISTRAŽNIH RADOVA .....	9
<b>3</b>	<b>TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI .....</b>	<b>11</b>
3.1	GEOLOŠKI RADOVI.....	11
3.1.1	<i>Prethodni geološki istražni radovi .....</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Detaljni geološki istražni radovi .....</i>	<i>11</i>
3.2	GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI.....	14
3.2.1	<i>Geoelektrična mjerenja.....</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>Seizmička mjerenja.....</i>	<i>18</i>
3.3	GEOMEHANIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA (RAZARAJUĆE METODE).....	22
3.3.1	<i>Jame i raskopi.....</i>	<i>22</i>
3.3.2	<i>Bušenje s jezgrovanjem.....</i>	<i>23</i>
3.3.3	<i>Uzorkovanje.....</i>	<i>26</i>
3.3.4	<i>Terenski pokusi tijekom bušenja i pokusi neovisni o bušenju .....</i>	<i>28</i>
3.3.5	<i>Ispitivanje vodopropusnosti tla .....</i>	<i>40</i>
3.3.6	<i>Probna ploča.....</i>	<i>44</i>
3.3.7	<i>Pozajmište.....</i>	<i>52</i>
<b>4</b>	<b>LABORATORIJSKA ISPITIVANJA .....</b>	<b>55</b>
4.1	GRANULOMETRIJSKI SASTAV .....	56
4.1.1	<i>Svojstva granulometrijske krivulje .....</i>	<i>57</i>
4.2	VLAŽNOST .....	58
4.3	GRANICE PLASTIČNOSTI .....	59
4.3.1	<i>Indeksni pokazatelji.....</i>	<i>63</i>
4.4	RELATIVNA GUSTOĆA .....	64
4.5	PROCTOROV POKUS.....	65
4.5.1	<i>Zbijenost.....</i>	<i>66</i>
4.5.2	<i>Gustoća tla.....</i>	<i>67</i>
4.5.3	<i>Izvođenje pokusa .....</i>	<i>68</i>
4.5.4	<i>Komentar uz Proctorov pokus .....</i>	<i>70</i>
4.5.5	<i>Proctorova igla ili Proctorov penetrometar.....</i>	<i>73</i>

4.5.6	<i>CBR pokus</i> .....	74
<b>5</b>	<b>GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE</b> .....	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>RAZREDBA TLA</b> .....	<b>81</b>
6.1	OSNOVNA PODJELA .....	81
6.2	RAZREDBA NA OSNOVU OTPORA PRI ISKOPU.....	83
6.3	POVIJESNA RAZREDBA PREMA NAČINU ISKOPA .....	83
6.3.1	<i>Razredba temeljem mogućih načina iskopa</i> .....	83
6.3.2	<i>Razredba za kategorije od IV do VII (iz tabele 6.1) temeljem mogućnosti strojnog iskopa</i> .....	84
6.4	RAZREDBA ZA ZEMLJANE RADOVE PREMA OTU.....	84
6.5	RAZREDBA U TUNELOGRADNJI PREMA OTU .....	85
6.6	GEOTEHNIČKE RAZREDBE TLA .....	86
6.6.1	<i>Terenska identifikacija tla</i> .....	87
6.7	RAZREDBA TLA PREMA HRN EN ISO 14688-1:2008.....	93
6.7.1	<i>Granulometrijski sastav</i> .....	94
6.7.2	<i>Plastičnost</i> .....	96
6.7.3	<i>Sadržaj organskih tvari</i> .....	96
6.8	AC RAZREDBA .....	98
6.9	UC JEDINSTVENA RAZREDBA (UNIFIED CLASSIFICATION).....	101
6.10	RAZREDBA PREMA UPRAVI JAVNIH PUTOVA U SAD-U; „A“ RAZREDBA .....	102
<b>7</b>	<b>UTJECAJ MRAZA NA POVRŠINSKE SLOJEVE TLA</b> .....	<b>109</b>
7.1	OPĆENITO O UTJECAJU MRAZA NA TLO.....	109
7.2	TEORETSKO OBJAŠNJENJE .....	112
7.3	CASSAGRANDEOVA RJEŠENJA .....	113
7.4	JOŠ NEKE RAZREDBE VEZANE ZA POJAVU LEDA .....	116
7.5	MJERE ZAŠTITE KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA OD ŠTETNOG UČINKA MRAZA 119	
<b>8</b>	<b>ISKOPI</b> .....	<b>121</b>
8.1	PROMJENA ZAPREMINE ILI RAZRAHLJENJE (RASTRESITOST).....	123
8.2	PRETHODNI I PRIPREMNI RADOVI.....	125
8.3	ALATI ZA ISKOP .....	129
8.3.1	<i>Ručni iskop</i> .....	129
8.3.2	<i>Strojni iskop</i> .....	129
8.4	ŠIROKI ISKOPI.....	144



8.4.1	<i>Iskop u punom profilu s čela</i>	144
8.4.2	<i>Iskop u terasama</i>	145
8.4.3	<i>Iskop u uzdužnim slojevima u punoj dužini</i>	146
8.4.4	<i>Iskop u vodoravnim slojevima u punoj širini</i>	146
8.4.5	<i>Iskop usjeka i zasjeka sa strane</i>	147
8.4.6	<i>Upute pri izradi usjeka</i>	147
<b>9</b>	<b>ISKOP U STJENSKOJ MASI (MINIRANJE)</b>	<b>149</b>
9.1	EKSPLOZIVI I EKSPLOZIJE	150
9.1.1	<i>Otpucavanje minskih bušotina</i>	152
9.2	PODJELA MINIRANJA	152
9.2.1	<i>Postupak miniranja</i>	153
9.2.2	<i>Bušenje</i>	156
9.2.3	<i>Kotlovsko miniranje</i>	156
9.2.4	<i>Komorno miniranje</i>	157
9.2.5	<i>Sekundarna miniranja</i>	158
9.3	FRAGMENTACIJA ODMINIRANE MASE	158
9.4	MINIRANJE U GRAĐEVINARSTVU	164
9.4.1	<i>Konturno miniranje</i>	164
9.5	MINIRANJE ZA POTREBE IZGRADNJE PROMETNICA	166
9.5.1	<i>Načini miniranja usjeka i zasjeka</i>	167
<b>10</b>	<b>PRIJEVOZ, ODLAGANJE I RAZASTIRANJE</b>	<b>169</b>
10.1	PRIJEVOZ	169
10.2	ODLAGANJE	174
10.3	RAZASTIRANJE	175
<b>11</b>	<b>NASIPI</b>	<b>177</b>
11.1	OPĆENITO	177
11.1.1	<i>Kriteriji kakvoće</i>	178
11.1.2	<i>Pripremni radovi</i>	180
11.2	PRIPREMA PODTLA	180
11.2.1	<i>Uređenje i priprema plitkih slojeva temeljnog tla</i>	182
11.2.2	<i>Poboljšanje dubokih slojeva tla ispod nasipa</i>	194
11.2.3	<i>Osiguranje odvodnje</i>	213
11.3	OTVARANJE POZAJMIŠTA	214
11.4	IZVEDBA NASIPA	215

11.4.1	<i>Općenito</i> .....	215
11.4.2	<i>Nasipavanje bez zbijanja</i> .....	216
11.4.3	<i>Nasipavanje sa zbijanjem</i> .....	217
11.4.4	<i>Izvedba pokusnih dionica</i> .....	222
11.4.5	<i>Ugradnja sitnozrnog tla u nasipe</i> .....	226
11.4.6	<i>Izrada nasipa od miješanih vrsta tla</i> .....	229
11.4.7	<i>Izrada nasipa od usitnjenog kamena</i> .....	230
11.4.8	<i>Ugradnja razlomljene meke stijene u nasipe</i> .....	232
11.4.9	<i>Nasipavanje uz objekte</i> .....	235
11.5	PROŠIRENJE POSTOJEĆIH NASIPA .....	236
11.5.1	<i>Princip i elementi proširenja nasipa</i> .....	236
11.6	NASIPI U HIDROTEHNICI .....	237
11.6.1	<i>Osiguranje vododrživosti</i> .....	238
11.6.2	<i>Proračuni hidrotehničkih nasipa</i> .....	240
11.6.3	<i>Osiguranje hidrotehničkih nasipa od unutrašnje erozije</i> .....	241
11.7	GEOSINTETICI U NASIPIMA .....	243
11.8	PROVJERA KAKVOĆE PRI IZGRADNJI NASIPA .....	246
11.8.1	<i>Tekuća ispitivanja</i> .....	246
11.8.2	<i>Kontrolna ispitivanja</i> .....	250
<b>12</b>	<b>STABILNOST POKOSA USJEKA I NASIPA .....</b>	<b>252</b>
12.1	STABILNOSTI HOMOGENIH POKOSA (DO 15 M VISINE) .....	252
12.2	NAGIBI POKOSA USJEKA I NASIPA KOD HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA ..	260
<b>13</b>	<b>ZAŠTITA OD OBORINSKE I PODZEMNE VODE.....</b>	<b>263</b>
13.1	OPĆENITO .....	263
13.1.1	<i>Zaštita od oborinske vode</i> .....	264
13.1.2	<i>Zaštita od podzemne vode</i> .....	267
13.2	ODVODNJA PROMETNICA .....	281
13.2.1	<i>Posebnosti površinske odvodnje kod prometnica</i> .....	282
13.2.2	<i>Posebnosti odvodnje podzemnih voda kod prometnica</i> .....	284
13.2.3	<i>Propusti</i> .....	285
<b>14</b>	<b>ZAŠTITA POKOSA OD EROZIJE .....</b>	<b>289</b>
14.1	PODJELA ŠTIĆENIH POVRŠINA .....	289
14.1.1	<i>Zaštita pokosa u stijeni</i> .....	291
14.1.2	<i>Zaštita pokosa u miješanim i zemljanim tlima</i> .....	295

<b>15</b>	<b>OBRAČUN RADOVA .....</b>	<b>303</b>
15.1	POPREČNI PRESJECI (PROFILI) .....	303
15.2	IZRAČUN KOLIČINA .....	303
15.2.1	<i>Rastresitost</i> .....	305
15.3	IZJEDNAČENJE MASA .....	305
15.3.1	<i>Linija masa</i> .....	306
15.3.2	<i>Linija izjednačenja</i> .....	309

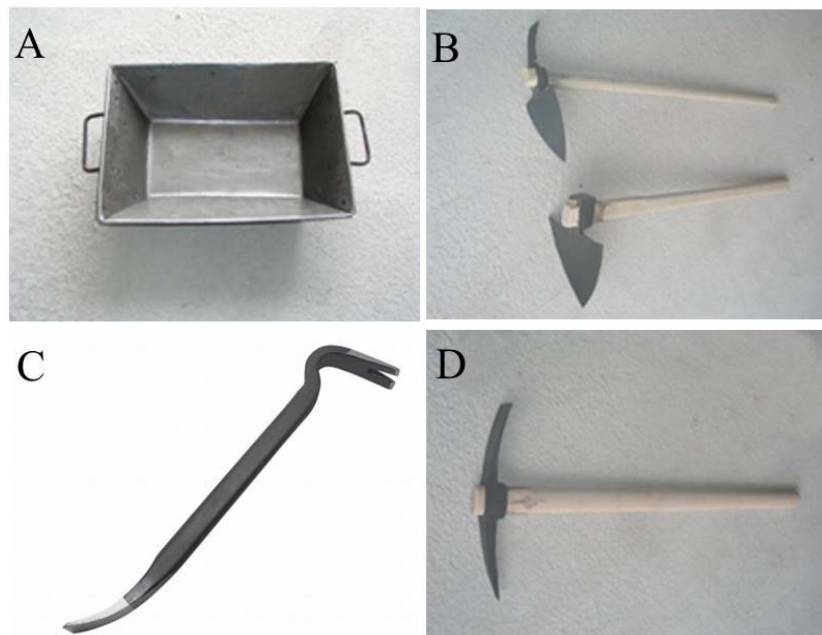


# 1 UVOD

Svaki građevinski zahvat iziskuje zahvaćanje u prirodno tlo u većem ili manjem obimu. Iskopano tlo potrebno je premjestiti i odložiti. U tom postupku može se uočiti nekoliko radnji: iskop, utovar, prijevoz, istovar kao odlaganje ili istovar s razastiranjem i zbijanjem (nasipanje u nasutu građevinu).

Iskopi su radnje koje se danas gotovo redovito vrše strojno. Nevezana tla se mogu istovremeno iskapati i tovariti u prijevozno sredstvo. Stijensku masu je prije iskopa potrebno usitniti. Ovisno o vrsti odnosno čvrstoći stijenske mase, usitnjavanje se vrši snažnim pneumatskom alatom, glodalicama (krtice), a najčvršće se stijene usitnjavaju i pripremaju za iskop, utovar i prijevoz, miniranjem.

Masovni ručni iskop danas je gotovo zaboravljena tehnologija u Europi. Ručni iskop koristi se samo za detaljne i precizne iskope na malim površinama. Na masovni ručni iskop se može naići u nekim mnogoljudnim zemljama kao što su Kina i Indija, gdje treba zaposliti mnogo ljudi. Na slici 1.1 prikazan je pribor za ručni iskop koji se koristio u području dinarskog krša. Pomoću ovih alata izgrađen je, sredinom prošlog stoljeća, veći dio "Jadranske magistrale" od Rijeke do granice s Crnom Gorom.



Slika 1.1 Alat za ručni iskop i prijenos u kršu Dalmacije A-mašur; B-motike; C-ćuskija ili pajser; D-pijuk, mašklin, kramp, trnokop

Iskopano tlo mora se negdje odložiti. Pri izgradnji prometnica, plovniha i drugih kanala i sličnih građevina, kod kojih je iskop izražen u značajnim količinama, moguće je dio iskopanog tla ugraditi u nasipe.

Pri izvođenju podzemnih građevina nastaju velike količine iskopanog tla, koje najčešće nije moguće u potpunosti ugraditi u trup prometnice. Najčešći primjer je iz tunela. Pri izgradnji podzemnih prostora raznih namjena, tlo iz iskopa je pretežno višak. Ovo nije slučaj samo kod građevinskih radova. Isto se tako velike količine tla, koje treba odložiti, javljaju u rudarstvu kao jalovina tj. onaj dio iskopanog tla koji nije upotrebljiv za daljnju preradu. Kada je iskopano tlo višak, tada se odlaže na **odlagališta ili deponije**. Tako nastaju nekontrolirani ili samo djelomično kontrolirani nasipi koji su sve više ekološki neprihvatljivi.

Tehnološki razvoj doveo je do potrebe odlaganja otpada pa tako nastaju **odlagališta komunalnog i industrijskog otpada**, koja postaju područje od posebnog zanimanja građevinske, ali i drugih struka. Masovna pojava takvih odlagališta u razvijenom svijetu, uvjetovala je razvoj novih tehnologija za upravljanje s ovim odlagalištima. S vremenom se pojavila mogućnost korištenja dijela otpadnih tvari u neprerađenom ili djelomično prerađenom obliku u industriji i građevinarstvu.

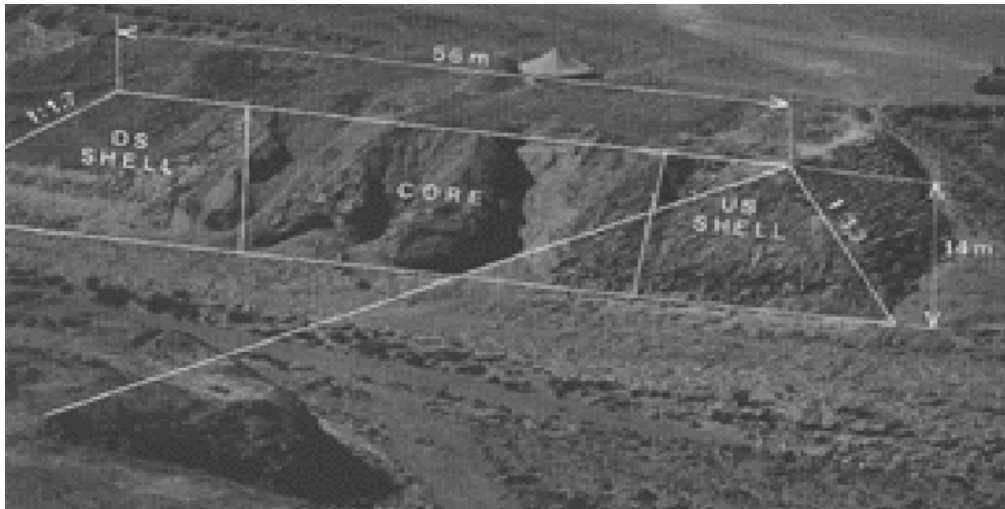
Postoje dvije skupine građevina na površini tla, kojima je tlo gradivo. Građevine koje su izvedene u samom tlu – **usjeci i zasjeci** i građevine kojima je tlo gradivo od kojeg su izgrađene – **nasipi**.

Iskopi se mogu vršiti i s namjerom ugradnje iskopanog tla u nasipe. Pri masovnoj izgradnji nasipa, potrebno je za dobavu gradiva namjenski otvoriti **pozajmište**. Pozajmište je dio terena na kojem je dozvoljeno iskapanje tla, a tlo je takve kakvoće da može ugradnjom postići svojstva koja se traže od građevine u koju će biti ugrađeno. Nasipi su građevine koje mogu biti samostalne, mogu biti podloga građevinama ili njihov sastavni dio. Tada su to građevine koje podliježu zahtjevima u pogledu čvrstoće, stabilnosti i trajnosti. U tom je slučaju tlo gradivo i podliježe svim zakonskim propisima i pravilima struke.

Pozajmište kamena je **kamenolom**. Kamenolomi spadaju u područje iskorištavanja mineralnih sirovina.

Tlo je, uz drvo, služilo čovjeku kao prvo gradivo. Građenje u tlu i od tla je staro koliko i povijest čovječanstva (slika 1.2), ali se do početka 19. stoljeća temeljilo uglavnom na iskustvu. U gradu Splitu postoji tunel izgrađen u doba cara Dioklecijana (oko 300. godine) za potrebe vodovoda, koji je do nedavna bio u funkciji.

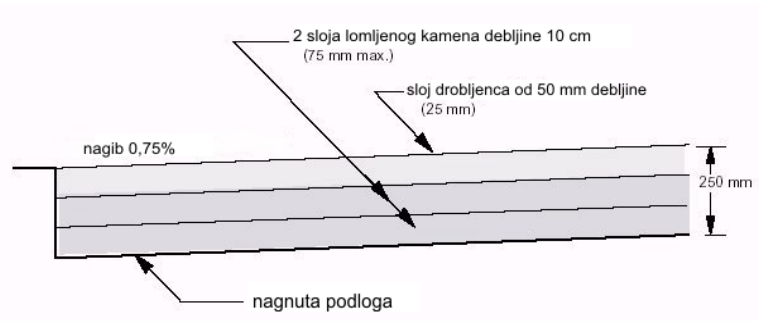
Postoji niz nasutih građevina koje su izgrađene prije više stoljeća i još su u funkciji, ali su sve građene iskustveno.



Slika 1.2 Brana Sadd-el-Kafara, oko 2600 god prije n.e., Egipat, visina 14 m, dužina 113 m u kruni, najstarija poznata brana na svijetu

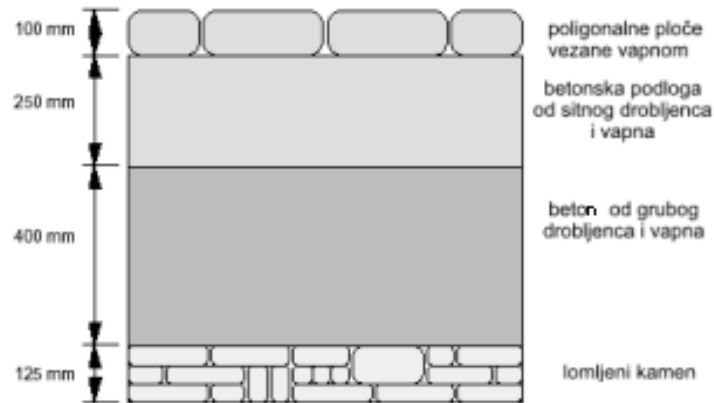
Brži industrijski razvoj početkom 19. stoljeća postavio je velike zahtjeve na prijevoz industrijskih proizvoda kopnenim putem. Kako se do tada prijevoz roba odvijao morem i velikim rijekama, slijedom toga započeli su opsežni radovi u izgradnji plovnih putova u Europi i na britanskom otočju. U vrijeme kada je Britanija sagradila funkcionalni sustav plovnih kanala, izumljen je parni stroj i prva parna lokomotiva. To je dalo novi polet u izgradnji željezničkih pruga. Počinje gradnja Sueskog i Panamskog kanala.

Istovremeno se grade i kolni putovi za potrebe novih industrija. Ti su putovi morali zadovoljiti zahtjevima prijevoza proizvoda masovne, industrijske proizvodnje koja je do tada bila nepoznata. Javlja se bitno povećanje osovinskog pritiska pri prijevozu proizvoda teške industrije kao i potreba relativno mirne vožnje pri prijevozu proizvoda industrije stakla, porculana i opekarske industrije. To je postavilo potpuno nove zahtjeve na putove u pogledu potrebe za zbijanjem podloge. To je uočio oko 1800. godine škot John L. McAdam (makadamski kolnici). On je preko lošeg, mekog tla pustio stada ovaca koja su svojim papcima zbila površinu tla, slično današnjem zbijanju pomoću ježeva. (U engleskoj terminologiji sheep – ovca; sheepsfoot roller driver – valjak s ovčjim papcima; jež.). Ovo se može smatrati početkom korištenja tehnologije u mehaničkom poboljšanju podloge i izgradnji nasipa.



Slika 1.3 John McAdam, lijevo i njegov poprečni presjek kolnika bijelog puta, desno

McAdam je razvio tehnologiju izgradnje vrlo dobrog bijelog puta koji je prikazan na gornjem crtežu. Iako su se i do tada gradili putovi, gradili su se isključivo iskustveno. Neki od njih su još u upotrebi kao na primjer Via Appia, u Rimu koja je i danas u dobrom stanju.



Slika 1.4 Via Appia – poprečni presjek



Slika 1.5 Via Appia danas



Tehnologija gradnje „bijelog puta“ koristila se sve do početka izgradnje cesta za brzi automobilski promet vozilima velikih osovinskih pritisaka.

McAdamovi prvi pokušaji utrli su put daljnjem razvoju saznanja o zbijanju tla pri ugradnji.

Poboljšanje lošeg tla pri izgradnji putova izvodilo se i prije Mc Adama, ali ne u smislu mehaničkog djelovanja na površinu lošeg tla. Za poboljšanje se koristilo granje i pruće koje se polagalo na lošu podlogu i tako omogućavalo prijelaze preko lošeg tla. Ti zahvati su preteča današnjih tehnika armiranja tla geosinteticima.

Istovremeno je izgradnja plovni putova u 19. stoljeću, postavljala sve veće zahtjeve na stabilnost kosina nasipa i usjeka kao i na njihovu vododrživost. Izgradnja plovni putova pretpostavljala je i regulaciju velikih europskih rijeka, što je također iziskivalo velike zemljane radove. Pokazalo se da se takvi zahvati više ne mogu obavljati samo na temelju iskustva, već su potrebna i fizikalno – teoretska objašnjenja. Pojava velikih klizanja pri izgradnji novih luka u skandinavskim zemljama potakla je početak istraživanja tla kao gradiva. Početkom 20. stoljeća K. Terzaghi, koji je na Visokoj tehničkoj školi u Beču predavao predmet „Vodogradnje“, dao je mnoga teoretska objašnjenja potrebna za proračune i dimenzioniranja zemljanih građevina. U tom smislu je njegov najveći doprinos u objašnjenju principa efektivnih naprezanja u tlu.

Iskustveno je uočeno da se krupnozrnata tla i lomljeni kamen mogu ugraditi bez poteškoća, što je McAdam iskoristio u konstrukciji svog kolnika. Sitnozrna, koherentna tla su predstavljala izazov, a upravo su ona predstavljala vododržive dijelove nasutih građevina. To je uočio R. Proctor, potaknut Skemptonovim radovima o utjecaju vode u porama glina na njihova svojstva. Godina 1933. Proctor je obznanio svoja saznanja o utjecaju vlažnosti sitnozrnih tala na njihovu gustoću (zbijenost) izazvanu mehaničkim učincima. Rezultate je dobio temeljem pokusa izvedenih pomoću vlastitog uređaja. Taj je rad omogućio kontroliranu ugradnju sitnozrnih tala u nasipe. **Optimalna vlažnost**, kao kriterij za ugradnju, omogućila je daljnja saznanja o tako ugrađenom tlu. Naime tlo ugrađeno s optimalnom vlažnošću predstavlja, ne stihijsko, već propisano gradivo, koje se može ispitivati po svim pravilima i standardima geotehničke struke. Na taj je način pomoću uzoraka zbijenih s optimalnom vlažnošću bilo standardnog bilo modificiranog Proctora, moguće ispitati stišljivost tla u edometru, parametre čvrstoće na smicanje i vodopropusnost, a to su podaci potrebni za projektiranje nasutih građevina od sitnozrnog, koherentnog tla.

Posebno poglavlje u zemljanim radovima zauzimaju *velike brane*. Iz povijesnih podataka zna se da je perzijski vladar Nabukodonosor (negdje oko 600. godine prije Krista) gradio brane južno od Bagdada (Emami i dr.??). Povijesno gledano, građene su za potrebe navodnjavanja (Egipad, Mezopotamija) i izgradnje putova za potrebe vojske (Perzija). Neke od njih su usput služile za zadržavanje većih količina vode koja je kasnije služila za razne namjene, na pr. za punjenje obrambenih jaraka oko gradova i slično, dok su neke građene upravo s namjerom obrane od poplava.

Velike brane su procvat doživile u prvoj polovici 20. stoljeća, nakon što je Westinghouse pomoću Teslinih patenata izgradio prvu hidroelektranu (ujedno prvu elektranu za proizvodnju izmjenične struje) na slapovima Niagare. Velike nasute brane gradile su se diljem Svijeta pa tako i na području Hrvatske. Najpoznatija je brana Peruča, koja je ujedno prva nasuta, lučna brana izgrađena na krškom terenu. Teorija, da su ove brane vrlo izdržljive na namjerna oštećenja, pokazala je brana Peruča 1993. godine kada je izdržala pokušaj rušenja miniranjem kontrolne galerije na tri mjesta.

Po prirodi sadržaja koji se ovdje izlaže, jasno je da je potrebno prije bilo kakove odluke o građenju izvršiti ekonomsko-tehničke pripreme. Da bi se takve radnje mogle izvršiti nužno je raspolagati s potrebnim podlogama. Velike količine zemljanih radova izvode se pri gradnji prometnica (cesta, autocesta, željeznica, plovnih kanala, aerodromskih pista), hidrotehničkih sustava (plovnih puteva, kanala za odvodnju i navodnjavanje, regulaciju vodotoka i bujica, komunalnih sustava opskrbe vodom, kanalizacije i slično) i velikih brana. Sve ove građevine pored toga što zauzimaju velike površine i imaju izdužene oblike, leže izravno na tlu ili se nalaze u njemu, pa se na to tlo stoga postavljaju posebni zahtjevi. Stoga se prilikom njihovog planiranja, projektiranja i izvođenja mora pristupiti različito nego u području visokogradnje.

## 2 ISTRAŽNI RADOVI

### 2.1 OPĆENITO

Istražni radovi služe za utvrđivanje rasporeda, debljine i svojstava slojeva pojedinih vrsta najmlađih, kvartarnih naslaga, ispod površine tla, na kojem je predviđeno izgraditi građevinu. Istraživanje relativno plitkih, površinskih slojeva tla je naročito važno za onaj dio lokacije na kojem će se izvoditi nasipi jer oni nemaju temelje, već leže izravno na prirodnom tlu.

Kod velikih građevinskih zahvata kao što su elektrane, autoceste, hidrotehnički sustavi i slično, izvode se sve tri razine istražnih radova, prikazane u tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Razine istražnih radova

razina istražnih radova	namjena
prethodni istražni radovi	osnovni podaci o tlu koji služe za: odabir odgovarajuće vrste građenja; odabir najpovoljnije lokacije ili trase; idejna rješenja temeljena; kao podloga za program detaljnih istražnih radova.
detaljni istražni radovi	detaljni podaci o tlu potrebni za projektiranje, proračun i dimenzioniranje svih potrebnih sastavnica građevine na razini glavnog projekta.
dopunski istražni radovi	izvode se prema potrebi za pojedinačne građevine, ako postojeći podaci nisu iz bilo kojeg razloga zadovoljavajući.

Istražnim radovima se utvrđuje stanje površinskih dijelova stijenske mase i anomalija u njoj, kada površinu tla izgrađuju matične stijene s vrlo tankim kvartarnim pokrivačem ili bez njega. Ovi su rezultati važni, naročito na potezima na kojima će se izvoditi zasijecanja u tlo jer o kakvoći površinskog dijela stijenske mase ovise nagibi pokosa i potrebne mjere njihove zaštite.

Istražni radovi započinju na terenu, a nastavljaju se u laboratoriju. Stoga ih se može podijeliti na *terenske istražne radove* i *laboratorijske istražne radove*. Rezultati istražnih radova prikazuju se u geotehničkom izvješću ili izvješću o geotehničkim istražnim radovima.

Za potrebe studija i idejnih projekata izvode se **prethodni istražni radovi**. Prvi je korak prikupljanje podloga u vidu raznih vrsta postojećih karata. To su osnovna geološka karta, inženjersko-geološka karta, hidrogeološka karta, seizmološka karta. Tu spadaju i aerofotogrametrijske i satelitske snimke, kao i sve postojeće podloge koje mogu poslužiti za geotehnička saznanja o široj lokaciji buduće građevine. Koristeći GIS (geoprostorni informacijski sustav) mogu se za potrebe prethodnih istražnih radova dobiti dragocjeni podaci. Ova je metoda postala upotrebljiva tek razvitkom snažnih računala i elektroničkih uređaja općenito.

Slijedi obrada postojećih podataka iz kojih proizlazi daljnja potreba geoloških i geofizičkih (nerazarajućih) istražnih radova za dobivanje preciznijih podloga. Kod opsežnih zahvata, nerazarajuća istraživanja kao što su geološka i geofizička, sastavni su dio prethodnih istražnih radova i detaljnih istražnih radova.

Slijedeća razina istraživanja su **detaljni istražni radovi**. Oni ne mogu biti samo nerazarajući, već se sastoje od istražnog bušenja, iskopa sondažnih jama i potkopa. Tom se prilikom uzimaju poremećeni i neporemećeni uzorci za laboratorijska ispitivanja i izvode ostali terenski pokusi (penetracije, presiometar, krilna sonda i sl.). Detaljni istražni radovi se izvode namjenski, na način da je svaka pojedinačna građevina (most, tunel, potporni zid, potencijalno klizište i slično) obuhvaćena potrebnim opsegom tj. brojem i dubinom bušotina, potkopa i istražnih jama. Za trasu se određuje količina i vrsta istražnih radova ovisno o konfiguraciji terena (usjeci, vodotoci) i prethodnom saznanju o površinskim naslagama. Geotehnička izvješća se mogu raditi za pojedine građevine ili za pojedine dionice ovisno o odredbama iz ugovora tj. zahtjevima investitora.

**Dopunski istražni radovi** se izvode na već ispitanim lokacijama s posebnom namjenom (na pr. na mjestima stupova s velikim opterećenjima) ili zbog promjene mjesta najvećih opterećenja, izvedbe podzemnih prostora, potrebe dubokog temeljenja, pojave klizišta bilo potencijalnih bilo aktiviranih izvođenjem radova, u slučaju izmjene trase i slično.

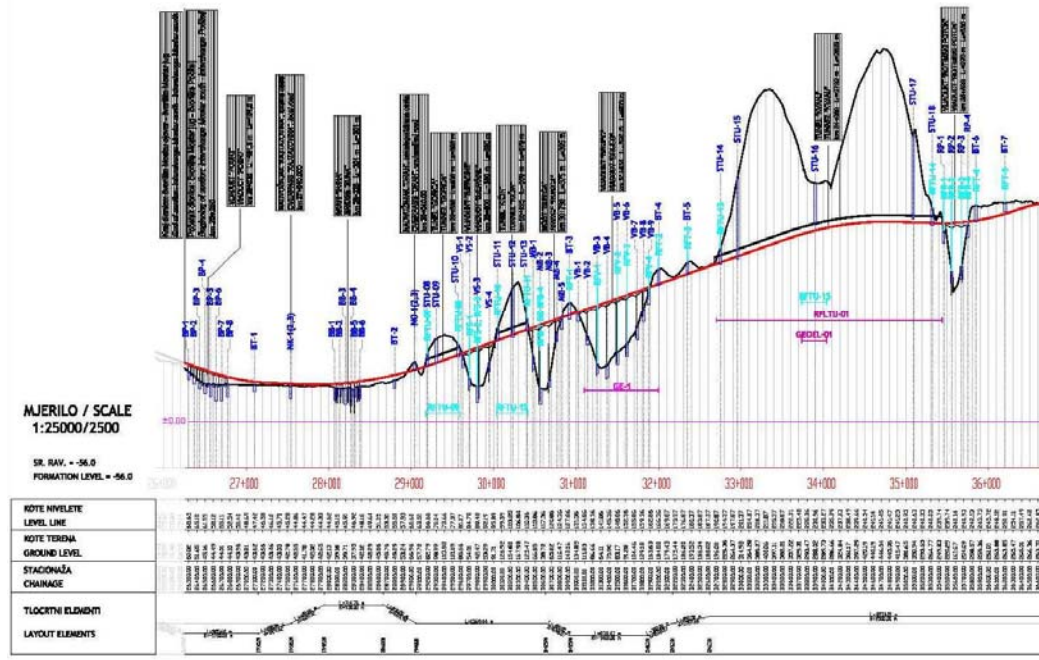
Detaljni i dopunski istražni radovi uvijek sadrže terenska i laboratorijska ispitivanja.

Zemljani radovi imaju još neke posebnosti koje su kod njihovog izvođenja naročito izražene. To su **istražni radovi za potrebe pozajmišta, tekuća i kontrolna terenska i laboratorijska ispitivanja podloge** na koju se nasipa i kontrola kakvoće **ugrađenih slojeva** nasipa.

Ispitivanja tla iz pozajmišta kao i tekuća i kontrolna ispitivanja, naglašena su kod onih radova kod kojih je tlo gradivo. Tada je potrebno osigurati dovoljne količine gradiva, što znači pronalaženje odgovarajućeg pozajmišta i njegova stalna – tekuća provjera vrste i kakvoće tla prije ugradnje, kao i provjera kakvoće ugrađenog tla, da bi se osigurale pretpostavke o kakvoći gradiva iz projekta. Kako je tlo prirodno gradivo, podliježe promjenama u prostoru. Stoga je osim tekućih ispitivanja tla iz pozajmišta potrebno, prema određenom programu, provoditi i kontrolna ispitivanja kojima se potvrđuju fizičko-mehaničke osobine tla pretpostavljene projektom.

## 2.2 PROGRAM ISTRAŽNIH RADOVA

Istražni radovi izvode se temeljem prethodno sačinjenog programa koji je sastavni dio ponude. Investitor prihvaća ponudu s detaljno nabrojenim vrstama i količinama radova te se zatim sklapa ugovor. Ugovorom se utvrđuju međusobne obaveze Investitora i Izvođača.



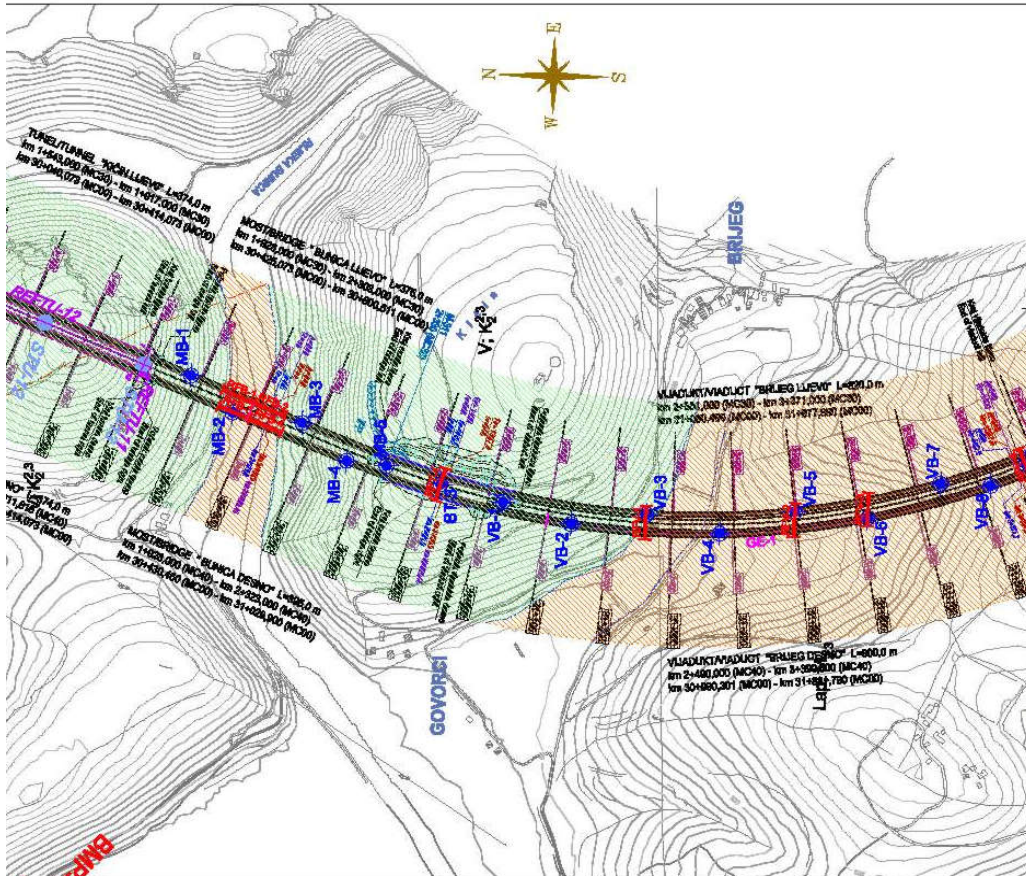
Slika 2.1 Uzdužni profil trase s naznačenim mjestima istražnih radova

Da bi se izradio program istražnih radova potrebno je raspolagati s odgovarajućim podlogama kao što je situacija terena (karta u mjerilu koje odgovara veličini tlocrta građevine). Kod velikih građevinskih zahvata može se raspolagati s preglednom situacijom u manjem i detaljnom situacijom u većem mjerilu. Ako građevina sadrži

objekte koji zahtijevaju posebnu pozornost (mostovi, potporni zidovi, klizišta), oni se mogu obrađivati ili u sklopu dionice ili posebno.

Za izradu programa istražnih radova koriste se sve postojeće prikupljene geološke, inženjerskogeološke, hidrogeološke i slične podloge ovisno o razini istražnih radova.

Program istražnih radova sadrži približno broj i vrstu geoloških, geofizičkih, geotehničkih i drugih terenskih i laboratorijskih istražnih radova.



Slika 2.2 Situacija s položajem pojedinih istražnih radova predviđenih programom

## 3 TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI

Terenski istražni radovi sastoje se od nerazarajućih i razarajućih postupaka. Nerazarajući postupci sastoje se od detaljnog inženjersko-geološkog i hidrogeološkog kartiranja, geofizičkih i drugih istražnih radova uz korištenje GIS-a. Razarajući postupci su istražna bušenja, raskopi, jame i podkopi.

### 3.1 GEOLOŠKI RADOVI

#### 3.1.1 Prethodni geološki istražni radovi

Geološki istražni radovi javljaju se redovito kao prethodni istražni radovi i kao detaljni istražni radovi. Prethodni geološki istražni radovi sastoje se od izučavanja postojećih geoloških podloga temeljem kojih je sačinjen „Program istražnih radova“. Ovi podaci služe za odabir mjesta na kojima će se izvoditi detaljni istražni radovi. Postojeće inženjersko-geološke i hidrogeološke karte stoga su vrlo značajne kao osnova za daljnji rad.

Prethodni geološki istražni radovi mogu se izvoditi i istovremeno s geofizičkim istražnim radovima. I u tom slučaju svi postojeći geološki podaci služe kao podloga, za određivanje mjesta na kojima će se vršiti geofizička ispitivanja.

U prethodne geološke istražne radova spada i geološka interpretacija najrazličitijih snimaka iz zraka i podataka iz GIS-a. Temeljito izvedeni prethodni istražni radovi mogu smanjiti potrebnu količinu detaljnih istražnih radova.

#### 3.1.2 Detaljni geološki istražni radovi

Detaljni geološki istražni radovi izvode se usporedo s geofizičkim i geotehničkim terenskim istražnim radovima.

Ovi radovi obuhvaćaju više područja ispitivanja. Jedan se dio sastoji od detaljnog terenskog inženjersko-geološkog i hidro-geološkog snimanja i **kartiranja** površine budućeg zahvata. Snimaju se i bilježe rasjedi i rasjedne zone i drugi geološki fenomeni koji se mogu uočiti s površine i utvrditi terenskim istražnim radovima. Snimaju se smjerovi pružanja i pad slojeva. Bilježe se podaci o pukotinama, zijev, hrapavost stjenki, međusobni razmak i slično. Svi ovi podaci služe za inženjersko-geološku klasifikaciju stijenske mase potrebnu za geotehničke proračune i dimenzioniranje. Kartiraju se izvori, izvorišne zone, ponori i sve pojave vezane za vodu (razine vode u bunarima). Tako nastaju precizne inženjersko-geološke i hidrogeološke karte, koje su neobično važne za daljnji rad.

Druga grupa ovih radova obuhvaća geološku reinterpetaciju jezgre izvađene iz bušotina, kartiranje potkopa (štolni) i stijenki jama, raskopa i bunara. Pri tom se dobivaju podaci bitni za modeliranje ponašanja stijenske mase pri izgradnji buduće građevine uslijed promjene stanja naprezanja. Tu spadaju podaci o stijenskoj masi, potrebni za analize stabilnosti pokosa usjeka i zasjeka, dimenzioniranje primarne podgrade u tunelima i proračune nosivosti temelja koji leže na stijenskoj masi.

Geološkom determinacijom izvađene jezgre tijekom bušenja, utvrđuje se debljina kvartarnog pokrivača, određuje postotak izvađene jezgre iz stijenske mase (RQD) i ostali parametri vezani za stijensku masu. Pomoću repernih geotehničkih bušotina, geološka kao i geomehanička determinacija jezgre pomaže u interpretaciji geofizičkih istraživanja.

Na većim lokacijama nastoji se izdvojiti inženjersko-geološke blokove sa približno sličnim svojstvima. Nastavno su dani podaci koji su potrebni da bi se mogao izdvojiti inženjersko-geološki blok.

- jednoosna tlačna čvrstoća uzorka stijene UCS [MPa]\*;
- point load test Is50 [kPa] \*;
- RQD indeks [%];  $\left( RQD = \frac{\text{ukupna dužina komada zdrave jezgre} > 10\text{cm}}{\text{ukupna dužina izvađzva jezgre}} \right)$
- razmak diskontinuiteta [cm];
- dužina (postojanost) diskontinuiteta [m];
- zijev diskontinuiteta [mm];
- ispuna diskontinuiteta (opisno);
- hrapavost stjenki diskontinuiteta (opisno);
- hrapavost stjenki prema JRC10;
- rastrošenost stjenki diskontinuiteta;
- čvrstoća stjenki diskontinuiteta JCS [MPa];
- smjer i nagib diskontinuiteta;
- strukturni dijagram.

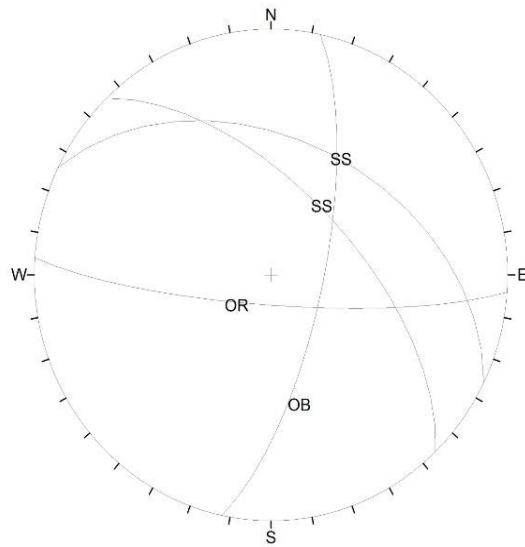
\*(ovi se podaci mogu dobiti jedino ispitivanjem uzoraka stijene u laboratoriju)

Temeljem izvedenih istražnih radova izrađuju se geološke karte dionica ili pojedine građevine i inženjersko-geološki profili.

Za projektiranje prometnica i tunela su naročito važni strukturni dijagrami. Oni nastaju snimanjem smjera i pružanja slojeva, koji se mogu odrediti s površine. U njih se može ucrtati i smjer osi trase na pojedinoj dionici i uočiti odnos osi trase i smjera

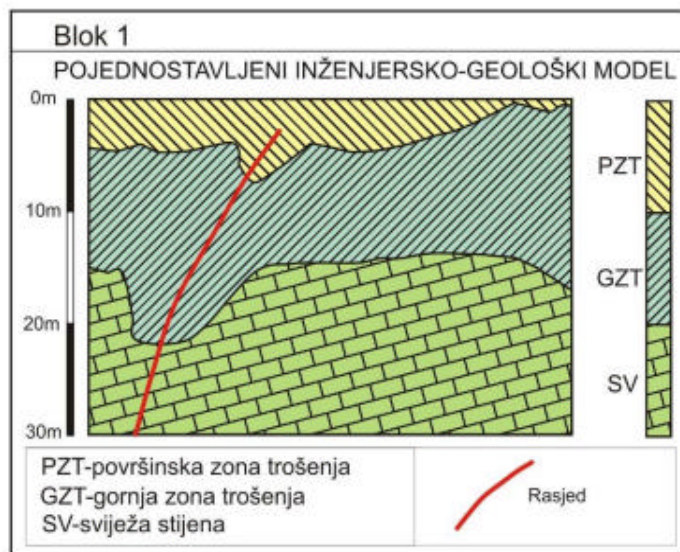


pružanja međuslojnih i ostalih pukotina, a što je bitno kod projektiranja nagiba pokosa usjeka i zasjeka. Na slici je prikazan strukturni dijagram za određenu dionicu ili izdvojeni blok.



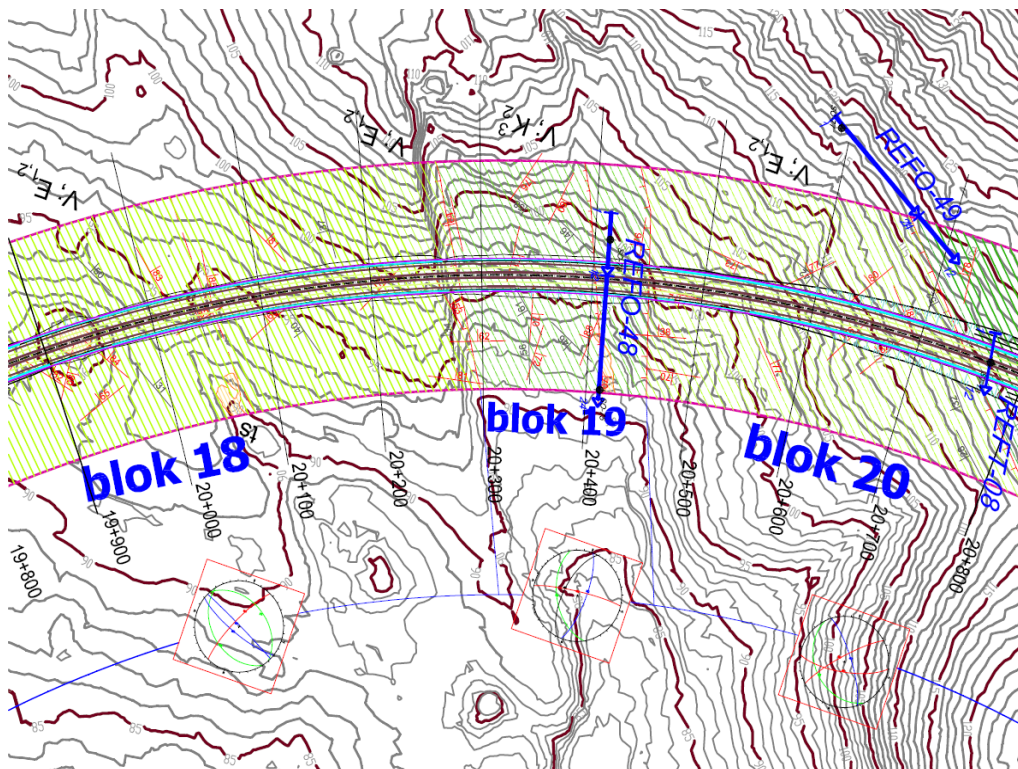
Slika 3.1 Primjer strukturnog dijagrama (SS smjer nagiba međuslojnih pukotina, OR i OB, smjer nagiba pukotina)

Blokovi se izdvajaju prema sličnostima odnosno sličnom redu veličina svojstava koja su prethodno nabrojena.



Slika 3.2 Model inženjersko-geološkog bloka

Nastavno je prikazana inženjersko-geološka karta s blokovima. Blokovi služe za jednostavnije modeliranje tla, potrebno za geotehničke proračune i dimenzioniranje stabilnosti pokosa, nosivosti temelje i sl. na pojedinim dionicama sličnih svojstava.



Slika 3.3 Inženjersko – geološka karta na topografskoj podlozi s označenim položajima geofizičkih istražnih radova i strukturnim dijagramima za pojedini izdvojeni blok (konačni rezultat geotehničkih istražnih radova)

### 3.2 GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI

Osnovne vrste geofizičkih ispitivanja su geoelektrična ispitivanja, seizmička ispitivanja, geomagnetska ispitivanja i mjerenja pomoću zračenja.

Ovi su radovi bitno uznapredovali u posljednje vrijeme, razvojem složenih uređaja za ispitivanje s površine kao i u bušotinama. Digitalno očitavanje rezultata dodatno je utjecalo na preciznost mjerenja. Obrada računalom osigurala je povećanu brzinu rada. Stoga se ova ispitivanja danas obilato koriste. Naročito su korisna za prethodne istražne radove. Iz rezultata se dobiju podaci o mjestima na koja posebno treba obratiti pažnju prilikom izvedbe detaljnih istražnih radova iz najrazličitijih razloga. Cijena ovih radova neusporedivo je manja od cijene bilo koje razarajuće tehnike istraživanja. Brzina izvođenja ovisi o pristupačnosti lokacije, ali se radovi mogu

izvoditi na gotovo svim terenima. Za interpretaciju rezultata potrebna je stručno osposobljena osoba iz područja geofizike.

Rezultati ovih mjerenja su odgovarajuće fizikalne veličine svojstvene slojevima tla do istraživane dubine. Ovo daje sliku o razlici u tim svojstvima tla, ali ne i izravne podatke o vrsti tla i stijene po dubini ili u prostoru. Promjena vlažnosti u tlu može bitno izmijeniti dobivene rezultate. Raspucalost i ispunjenost odnosno neispunjenost pukotina bitno mijenja rezultate ovih mjerenja. Geometrija podloge može navesti na krive zaključke. Stoga za pouzdanu interpretaciju geofizičkih mjerenja nužno treba imati na raspolaganju geotehničku istražnu bušotinu. Tada se može izvršiti pravilna interpretacija rezultata geofizičkih ispitivanja.

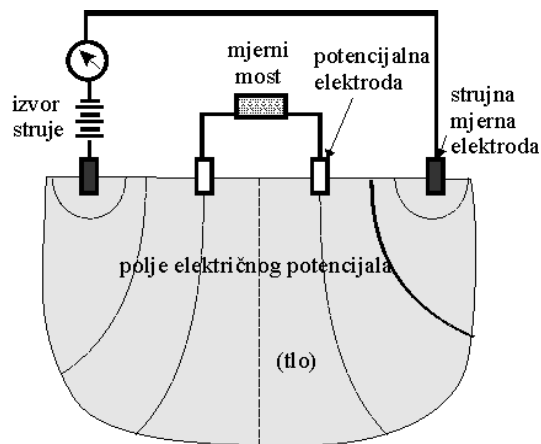
### 3.2.1 Geoelektrična mjerenja

Geoelektričnih mjerenja ima više vrsta. Osnovna je podjela na one koje mjere prirodna polja u zemlji i one koje mjere ponašanje umjetno izazvanog električnog polja kroz tlo. Pri umjetno izazvanom električnom polju u tlu, mogu se vršiti mjerenja električne otpornosti, utvrđivanje električnih ekvipotencijala, elektromagnetska mjerenja i mjerenja inducirane polarizacije. Najčešće se koristi metoda mjerenja otpornosti. Ovom se tehnikom mjeri otpor prolazu jednosmjerne struje kroz tlo. Izraz za otpor glasi:

$$\rho = k * L * \frac{\Delta\Phi}{I} \quad (3.1)$$

pri čemu je;

$\rho$ , otpor prolazu struje kroz neku sredinu (tlo);  $k$ , konstanta ovisna o svojstvima tla;  $L$ , razmak između mjernih točaka;  $\Delta\Phi$ , razlika potencijala, a  $I$ , jakost struje.



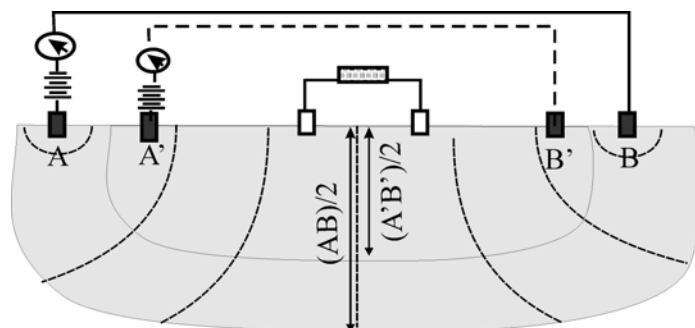
Slika 3.4 Osnovni model geoelektričnih mjerenja

Provodljivost tla osim o vrsti tla, ovisi o vodi u porama i o njezinom kemijskom sastavu. Provodljivost se povećava porastom temperature. Suho tlo pruža znatno veći otpor od istog tla zasićenog vodom. Osnovna shema geoelektričnih mjerenja prikazana je na slici 3.4.

Ovim se mjernim sklopom vrši geoelektrično sondiranje, geoelektrično profiliranje i geoelektrična tomografija.

### 3.2.1.1 Geoelektrično sondiranje

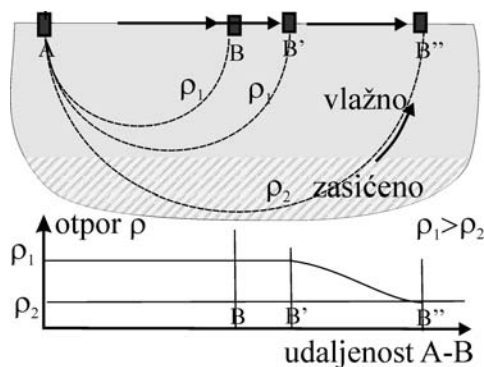
Mjerenja se vrše na način da se odabere mjesto naponskih elektroda, a mijenja se razmak mjernih (jakosnih) elektroda. Time se postepeno zahvaća sve veća dubina tla u podzemlju, a središnja se točka ne pomiče. Na taj se način dobiju promjene otpora po dubini za središnju točku elektrodnog rasporeda. Najčešće se koristi za mjerenja u vodoravno uslojenim tlima i kod hidrogeoloških istraživanja.



Slika 3.5 Primjer položaja elektroda i dubine dohvata pri geoelektričnom sondiranju

Udaljenost  $(A-B)/2$  određuje dubinu istraživanja kao na slici 3.5.

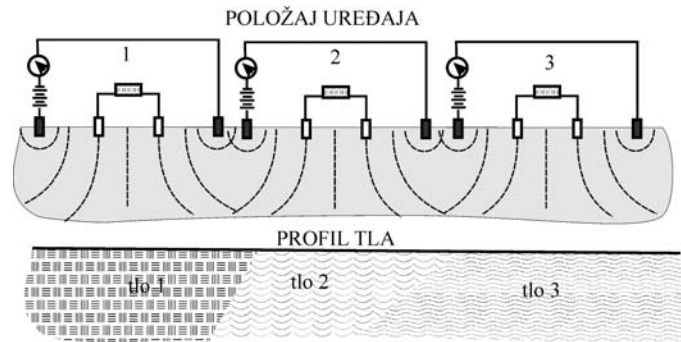
Rezultat je utvrđivanje pojave sloja različitog geoelektričnog otpora na određenoj dubini kako je to prikazano na slici 3.6.



Slika 3.6 Promjena otpora uslijed pojave drugog sloja na nekoj dubini.

### 3.2.1.2 Geoelektrično profiliranje

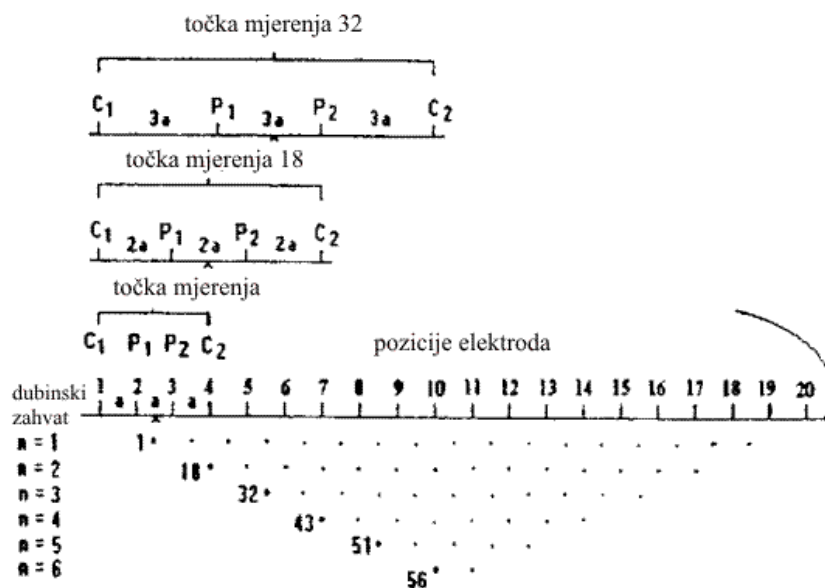
Geoelektrično profiliranje vrši se s istim priborom kao i geoelektrično sondiranje, ali tako da se mjerni sklop pomiče po profilu s neizmijenjenim rasporedom i razmakom elektroda. Rezultat je podatak o promjeni otpora za odabranu dubinu, duž odabranog pravca. Koristi se za istraživanje bočnih promjena (nagnutih uslojenosti) u tlu, raspucalih područja i stupnja rastrošenosti površinskog dijela tla.



Slika 3.7 Položaj mjernog sustava pri geoelektričnom profiliranju

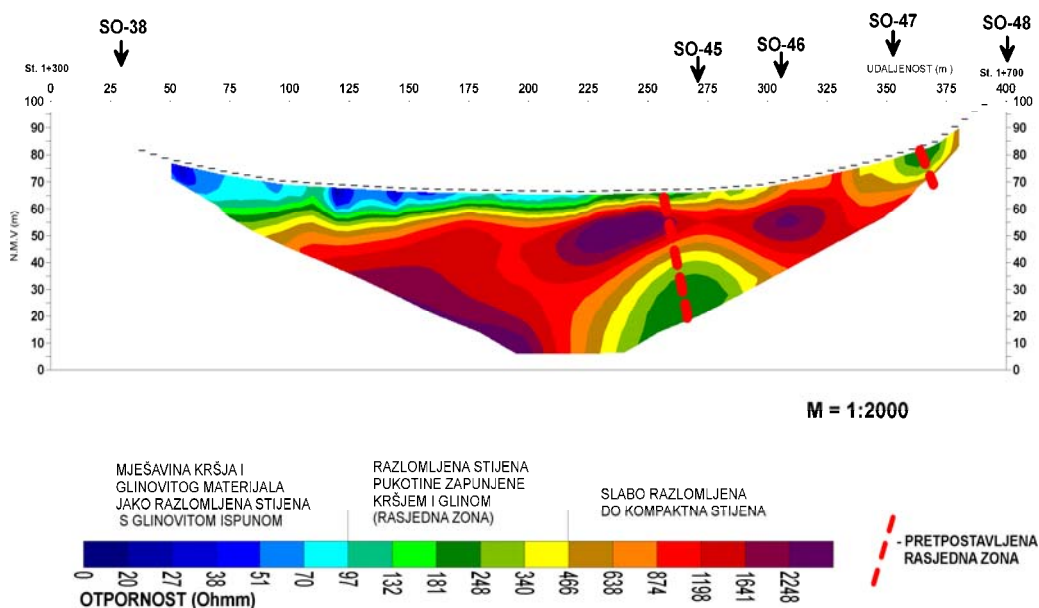
### 3.2.1.3 Geoelektrična tomografija

To je metoda koja daje bolju sliku tla po dubini. Može se izvoditi dvodimenzionalno ili trodimenzionalno, što ovisi o rasporedu naponskih mjernih elektroda.



Slika 3.8 Raspored elektroda za 2D model

Više elektrodno 2D i 3D profiliranje ili geoelektrična tomografija se zasniva na uvođenju strujnog toka u podzemlje pomoću većeg broja elektroda uzemljenih na površini sa stalnim međusobnim razmakom elektroda. Pri tome se struja uvodi u podzemlje pomoću dvije strujne elektrode na površini terena, a mjerenje razlike potencijala se obavlja na druge dvije (potencijalne) elektrode. Iz poznatih vrijednosti jakosti struje i geometrijskog faktora koji ovisi o primijenjenom rasporedu elektroda, te izmjerene razlike potencijala, izračuna se prividna otpornost za svaku točku mjerenja na postavljenom presjeku. Mjerenje se duž postavljenog presjeka obavlja za sve uzemljene elektrode pri čemu se mijenja razmak između elektroda, a time i dubinski zahvat. Princip mjerenja, raspored elektroda i rezultat za 2D profiliranje prikazani su na slici 3.8, a rezultat mjerenja na slici 3.9.

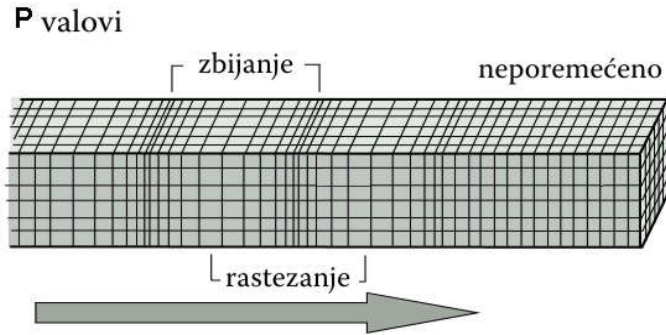


Slika 3.9 Rezultat 2D geoelektrične tomografije s repnim bušotinama (oznaka SO)

Rad i interpretaciju treba prepustiti za to obučanim geofizičarima.

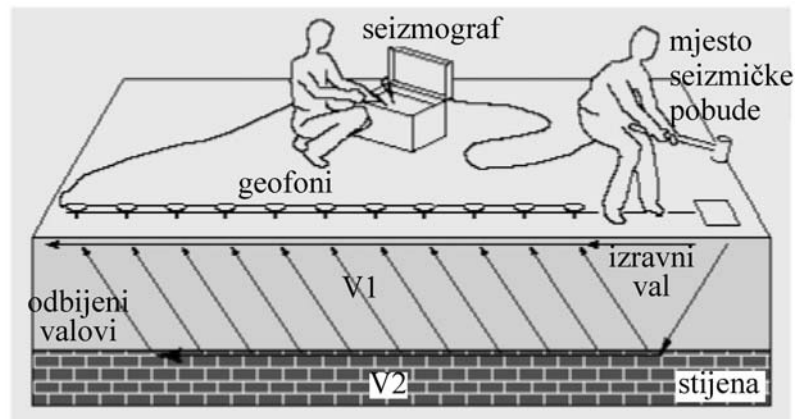
### 3.2.2 Seizmička mjerenja

Ova se mjerenja osnivaju na mjerenju brzine rasprostiranja seizmičkih valova kroz tlo. Prilikom pobude tla bitne su dvije vrste valova, primarni (P) i sekundarni (S). Primarni, uzdužni valovi „P“ koji se kreću od izvora u radijalnom smjeru i sekundarni „S“ valovi koji se kreću okomito na smjer širenja „P“ valova. Na slici 3.10 prikazano je širenje „P“ valova.



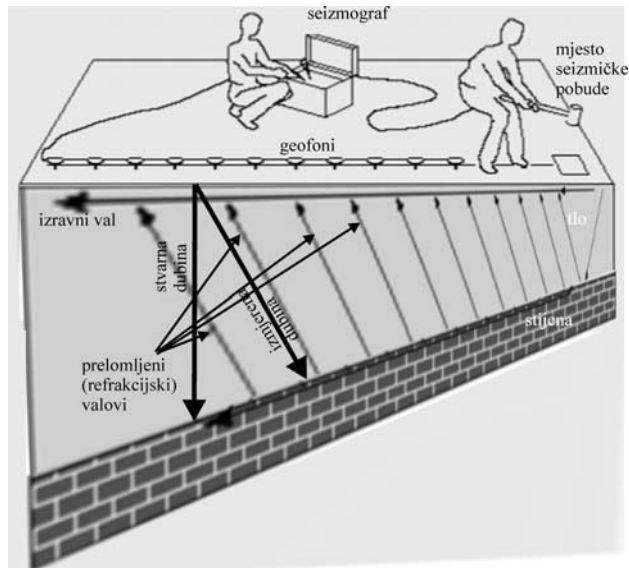
Slika 3.10 Učinak širenja uzdužnih valova

Sustavom geofona bilježi se brzina rasprostiranja seizmičkih valova. Elastični valovi pobuđeni na površini počinju se širiti brzinom svojstvenom za prvu sredinu. Prati se val koji na granicu sredina dolazi brzinom  $V_1$ , pod kritičnim kutom ili kutom totalne refrakcije. On se dalje širi duž granice brzinom donje sredine  $V_2$  i vraća na površinu, gdje ga bilježe postavljeni geofoni. Iz geometrije rasporeda geofona i točaka pobude na površini terena, te zabilježenih vremena prvih nailazaka elastičnog vala oblikuju se s-t dijagrami (s- udaljenost, t-vrijeme), tzv. hodokrone. Primjenom izravnih metoda i metoda inverznog modeliranja iz hodokrona se određuju dubine i prostorni rasporedi sredina različitih elastičnih svojstava.



Slika 3.11 Shema seizmičke refrakcije

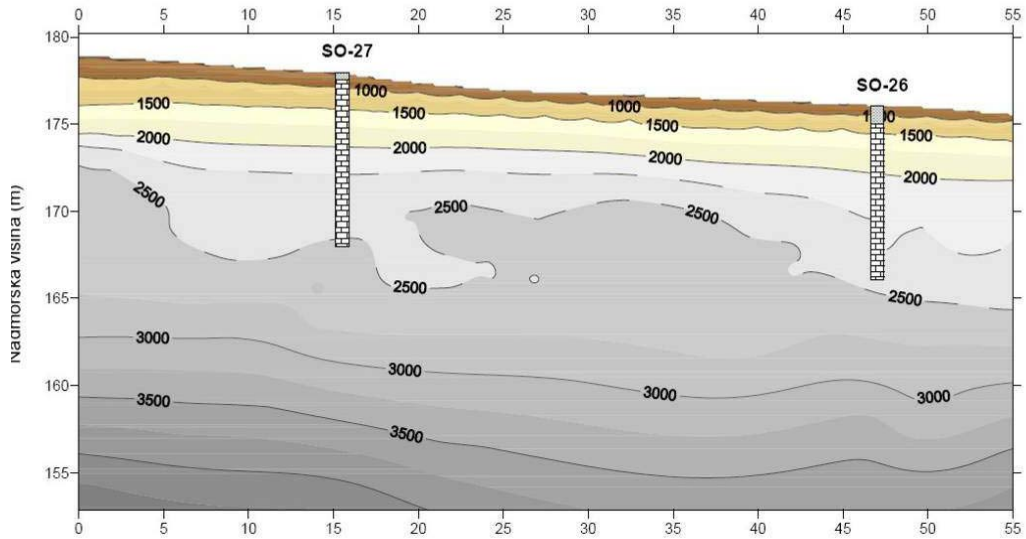
Na slici 3.11 je prikazan jednostavni slučaj usporedne uslojenosti, kada je debljina gornjeg sloja na širem potezu nepromjenjiva. Ovo je u prirodi vrlo rijetko. Mnogo češće površina osnovne stijene nije usporedna s površinom terena već je nagnuta u odnosu na nju. Tu rezultat ovih istraživanja može zavarati kako je to prikazano na slici 3.12.



Slika 3.12 Mjerenja na kosoj podlozi

Prilikom ovakvog mjerenja geofoni će registrirati odziv s najmanje udaljenosti, a ona može biti bitno različita od udaljenosti u uspravnom smjeru.

Iz prethodno prikazane greške kao i iz kvantitativnih rezultata geoelektrike proizlazi da je za ispravno tumačenje rasporeda slojeva u prostoru, potrebno raspolagati s još nekim podacima. Taj bitni podatak je „reperna“ geotehnička bušotina iz koje je izvađena jezgra do potrebne dubine.



Slika 3.13 Geoseizmički profil tla s repnim bušotinama



Povezujući vrstu tla i vlažnost iz bušotine i dobivene geofizičke podatke, dobiva se vrlo dobar uvid u sastav i svojstva tla u istraživanom području.

Tabela 3.1 Brzine širenja uzdužnih seizmičkih valova prema podacima iz literature

gradivo	brzina širenja uzdužnih valova $v_L$ (min –maks) [km/sek]
zrak ovisno o temperaturi	0,31 - 0,36
površinski rastrošeni slojevi tla	0,10 - 0,60
šljunak i pijesak (suh)	0,10 - 1,00
šljunak i pijesak (vlažan)	1,50 - 1,60
pijesak (vlažan)	0,20 - 1,80
prašinasta glina	0,30 - 0,90
glina	1,20 - 2,50
les	0,38 - 0,40
voda ovisno o temperaturi	1,45 - 1,59
led	3,10 - 4,20
morska voda	1,46 - 1,53
pješčenjaci, trošni	1,50 - 2,50
pješčenjaci, čvrsti	1,80 - 4,00
pješčenjaci, (Stojić, 1997.)	2,60 - 5,30
vapnenci, trošni	1,60 - 3,50
vapnenci, okršeni	2,50 - 6,00
vapnenci, jedri	5,20 - 7,00
dolomiti	5,90 - 6,40
gips	4,50 - 6,50
anhidrit	5,00 - 5,60
škriljci	2,80 - 4,20
serpentin	4,70
granit	4,00 - 6,80
metamorfne stijene	4,50 - 6,80

### 3.3 GEOMEHANIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA (RAZARAJUĆE METODE)

Ovi se radovi sastoje od izvedbe istražnih jama, bušotina, bunara i potkopa. Svi oni služe da se dobije raspored slojeva tla po dubini ispod ili duž buduće trase ili tlocrta neke građevine. Tijekom izvođenja ovih radova bilježi se svaka promjena vrste tla i opisuju njegova svojstva, za koja nisu potrebna složena laboratorijska ispitivanja. Koriste se **identifikacijski** pokusi i pobliži opis onoga što se može uočiti tokom iskopa ili bušenja. Bilježi se pojava podzemne vode.

Najčešće se izvodi bušenje s jezgrovanjem. Raskopi, potkopi i bunari izvode se samo u posebnim slučajevima kao što su temeljenja velikih brana, istraživanja za potrebe nekih tunela i slično. Kod svih ovih radova je potrebno prisustvo inženjera geologa, koji na terenu, iz tako dobivenih podataka, prikuplja podatke potrebne za detaljne inženjersko-geološke radove.

Za određivanje nekih svojstava tla izravno na terenu, postoji i džepni pribor koji se naročito koristi u jamama i raskopima. To su džepni penetrometar i džepna krilna sonda. Njima se utvrđuje čvrstoća neporemećenog tla odmah po otvaranju iskopa. Postoje i terenski uređaji za određivanje vlažnosti i sadržaja karbonata.

#### 3.3.1 Jame i raskopi

Jame i raskopi rade se do dubine koja se može izvesti ili ručno ili pomoću jaružala. Samo u posebnim slučajevima izvode se bunari većih dubina ili podkopi s podgrađivanjem. Jame se ne podgrađuju ako se izvode u koherentnom tlu. U nekoherentnom se tlu jame izvode rjeđe i obavezno ih je potrebno podgrađivati kada su većih dubina. Na slobodnom prostoru, u nekoherentnim tlima iznad razine podzemne vode, izvode se jame s pokosima, koji za predviđenu dubinu moraju biti stabilni. Nije preporučljivo, a i složeno je, izvoditi istražne jame u nekoherentnim tlima i muljevima pri visokim razinama podzemne vode. Redovito će se javiti hidraulički slom koji će zatrpiti iskop.

Pomoću **istražnih jama** izvode se ispitivanja u **pozajmištima**. Služe prvenstveno za ocjenu količina raspoloživog tla, a ujedno se uzimaju i poremećeni uzorci potrebni za laboratorijska ispitivanja, kojima se određuje kakvoća i razredba tla u pozajmištu.

Pomoću istražnih jama se ispituje tlo na plitkim klizištima kako bi se, ako je moguće, utvrdila dubina klizne plohe.

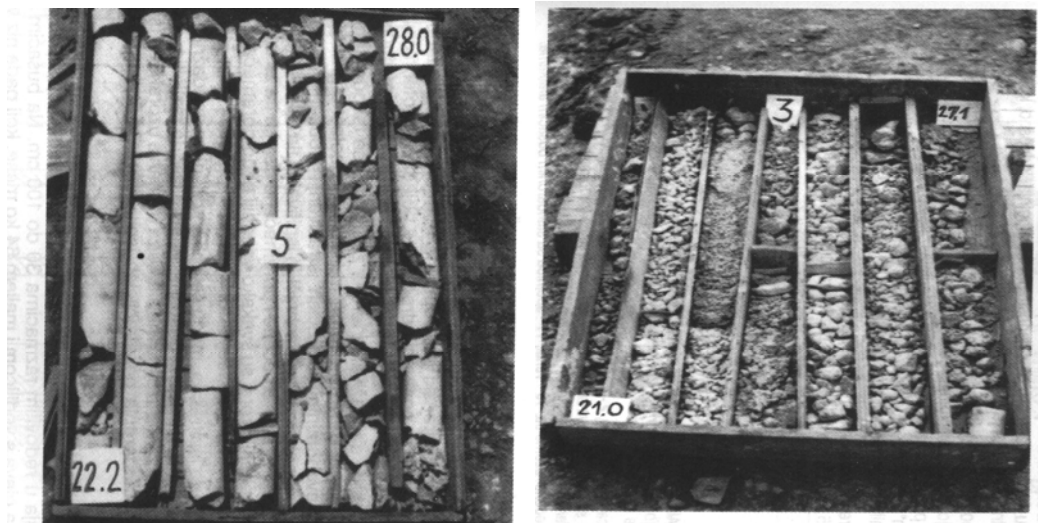
### 3.3.2 Bušenje s jezgrovanjem

Bušenje s jezgrovanjem je postupak prodiranja šupljeg bušačkog pribora u tlo do određene dubine i zatim vađenja tog pribora zajedno s dijelom tla koje je ušlo u šupljinu jezgrene cijevi, a koje će biti podvrgnuto stručnom, geotehničkom pregledu. Svrha geotehničkog bušenja je vađenje jezgre za daljnju obradu, za razliku od rudarskog bušenja gdje je svrha pravljenja rupe. Iz tih razloga je geotehničko bušenje složeno, dugotrajno i skupo.

Izvađena se jezgra slaže u sanduke. Nakon svakog manevra se naznači dubina do koje se doseglo.

Da bi se dobio uvid u jezgru koja se vadi iz tla, bušenje se mora izvoditi postupno. Nakon što pribor proдре u tlo za vlastitu dužinu, potrebno ga je izvaditi na površinu i izvaditi jezgru koja je s priborom donesena na površinu. Pribor se vraća u bušotinu, a bušenje se nastavlja opet za dužinu pribora. Takav se ciklus naziva **manevar**. Duljina manevra se kreće od 0,5m u stijeni do 2,0m u glinama. Prilikom ovakvog bušenja se napreduje vrlo sporo. Još ako se vade neporemećeni uzorci i/ili vrše penetracije, bušenje se dodatno usporava.

Jezgra se podvrgava **terenskoj klasifikaciji** pompoću **identifikacijskih** pokusa koji su opisani u nastavku. Prilikom bušenja vodi se zapisnik u koji bušači stavljaju primjedbe na pojave uočene tijekom bušenja. Bilježi se broj udaraca standardnog penetracijskog pokusa, ako se izvodi u bušotini i razina pojave podzemne vode.



Slika 3.14 Jezgra složena u sanduke s oznakama dubine (Zelenika, 1995.)

U koherentnom tlu, ako se želi dobiti dobra jezgra, buši se na suho tj. bez upotrebe vode. U stijeni je nužno bušiti s vodom. U čvrstim glinama je koji put potrebno makar naliti vodu u bušotinu da se olakša prodiranje pribora u izrazito tvrda tla. Ukoliko se koristi voda, potrebno je to naznačiti u zapisniku (dnevniku) bušenja. U okršenoj i razlomljenoj stijenskoj masi se može dogoditi da se ne primijete proslojci sitnozrnog tla u ispuni pukotina, jer ih voda ispere. Da postoji ispuna može se primijetiti jedino po boji vode koja se tokom bušenja vraća iz bušotine. Ovakav detalj može biti vrlo bitan u procjeni mogućnosti pojave potencijalnih kliznih ploha unutar raspucale stijenske mase

Neporemećeni se uzorci moraju vaditi nakon što je izvađen dio tla bez upotrebe vode jer inače nisu neporemećeni, upit će dodatnu vlagu.

U nekoherentnim, nevezanim tlima bušotine se obavezno zacjevljuju. Manevri su vrlo kratki. Buši se s namjenskim priborom (bučkalica ili cijev s klapnom ili hvatačem). U cijev ulazi određena količina tla koja se izvlači na površinu, a zaštitna se kolona utiskuje u tlo. Cijev za uzorak je duga približno 0,5m što uvjetuje vrlo sporo napredovanje. Prilikom ovakvog bušenja vadi se vrlo mala količina jezgre. Nema mogućnosti vađenja neporemećenih uzoraka. Jedini podatak o kakvoći tla može se dobiti pomoću penetracija. Za vađenje uzoraka iz sitnih pijesaka ispod razine podzemne vode koriste se posebne tehnike, na pr. zamrzavanje.

#### 3.3.2.1 Bušači strojevi

Bušači strojevi mogu biti ručni i motorni. Danas se gotovo više uopće ne upotrebljavaju ručni bušači strojevi osim u pedološke svrhe, kada se ispituje površinski sloj tla za potrebe poljoprivrede.

U upotrebi su motorni bušači strojevi koji mogu izvoditi rotacijsko bušenje s ili bez upotrebe vode. Ovi strojevi mogu biti samohodni, na gusjenicama, kamionu, sanjkama ili na brodu. U nekim je slučajevima za izvođenje istražnog bušenja ovim strojevima potrebno prethodno izraditi pristupni put što poskupljuje radove. Ručnim strojevima to nije potrebno ali su njihove mogućnosti bušenja znatno skromnije.

Temeljni pribor je onaj koji služi za vađenje jezgre. Kod ručnog bušenja to su razna pedološka svrdla, šape i slično.

Kod motornog rotacijskog bušenja u tlo prvo prodire bušaća kruna. Kruna je na jednom kraju nazubljena (vidija čelik) ili ima ugrađene industrijske dijamante. Na kraju suprotnom od zubi nalazi se navoj, kojim se kruna spaja s sržnom ili jezgrenom

cijevi. Kada se buši u nevezanim pijescima i šljuncima ispod razine podzemne vode ne može se koristiti sržna cijev. Za takva bušenja postoji poseban pribor.



Slika 3.15 Bušači stroj na kamionu

Na sržnu cijev nastavljaju se bušaće šipke. Bušaće su šipke uobičajeno duge 4,0m. Nastavljaju se tako da se naviju jedna na drugu. To u stvari nisu šipke nego cijevi s šupljim prijelaznim spojem sa sržnom cijevi. Ovo služi da bi se isti pribor mogao koristiti za bušenje kada je krunu nužno hladiti vodom (na pr. u stijeni).

Temeljno je, kod bušenja strojevima, okretanje bušaćeg pribora uz pritisak koji izvodi bušaća glava. Pritisak i okretanje se priborom prenosi na krunu koja grebe tlo u bušotini i na taj način napreduje. Istovremeno kroz krunu tlo ulazi u sržnu cijev pomoću koje se vadi na površinu.

Pri bušenju kroz nevezana ili slabo vezana tla, prilikom vađenja pribora bušotina se zarušava. U tu svrhu potrebno je izvedeni dio bušotine zaštititi obložnom kolonom. (Zelenika, 1995.)

### 3.3.2.2 Mjerenje razine podzemne vode

Svaka zacjevljena bušotina može, u slučaju da joj dno seže u vodonosni sloj, poslužiti za opažanja promjena razine podzemne vode.

Kada se u tlu pojavljuju vodonosni slojevi, u njih se mogu ugraditi piezometri. Piezometri su uređaji koji omogućuju dugotrajno mjerenje razine podzemne vode odnosno pritiske u vodonosnim slojevima i njihove promjene u vremenu.

U bušotine se, na mjestu na kojem se u sloju vrši mjerenje pritiska vode, ugrađuje perforirani dio cijevi ili ćelija za mjerenje pritiska. Iznad i ispod mjerne etaže zabrtvi se cijev ekspanziranom glinom. Danas postoje mjerni uređaji koji podatke mogu elektronski dostavljati u kontrolni centar pa se opažanja mogu vršiti i bilježiti bez vremenskih prekida.



Slika 3.16 Ćelije za elektronsko mjerenje pritiska u bušotini

### 3.3.3 Uzorkovanje

Uzimanje uzoraka tla i stijene opisano je detaljno u Eurocode 7, dio 2. koji općenito sadrži opise uzimanja uzoraka, terenskih i laboratorijskih ispitivanja tla.

Tijekom terenskih istražnih radova, uzimaju se uzorci tla za laboratorijska ispitivanja. Uzorci mogu biti poremećeni i neporemećeni, a uzimaju se prema unaprijed utvrđenom programu.

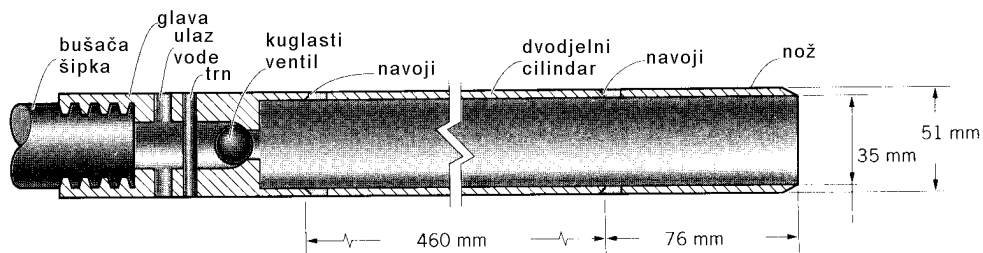
Bitno je imati precizan podatak o mjestu s kojeg je uzorak uzet odnosno o dubini, ako se radi o bušotini. Svaki uzorak sadrži oznaku gradilišta, bušotine ili istražne jame i dubine s koje je uzet. U zapisnik iskopa ili bušenja bilježe se uočena

identifikacijska svojstva, mjesta uzimanja uzoraka i ostale primjedbe važne za kasnije prikazivanje istražnih radova kako opisno tako i grafički.

Iz iskopanog tla ili izvađene jezgre prilikom bušenja, uzimaju se **poremećeni uzorci**. Poremećeni se uzorci moraju uzeti odmah nakon vađenja ako je potrebno utvrditi podatak o prirodnoj vlažnosti. Najbolje je uzorke odmah prenijeti u laboratorij gdje se čuvaju u vlažnoj komori. Poremećeni se uzorci spremaju u plastične, dobro zatvorene omote da zadrže prirodnu vlažnost,

Za dio pokusa u laboratoriju potrebno je uzeti neporemećene uzorke. Za **neporemećene uzorke** iz jama, bunara i potkopa se uzimaju kvadri (kocke) pažljivo iskopanog tla, na način da se gotovo uopće ne poremeti njihova prirodna struktura. Ti uzorci se pažljivo oblažu nepropusnim slojem voštane tkanine ili plastične folije, tako da zadrže strukturu i prirodnu vlagu. Zatim se polažu u čvrstu ambalažu da se ne oštete. Potrebno ih je što prije otpremiti u laboratorij i čuvati u vlažnoj komori.

Iz bušotina se neporemećeni uzorci vade posebnim priborom. Pribor se sastoji od noža koji prodire u tlo, dvodijelne cijevi dužine 0,5m u koji ulazi tlo – uzorak i spojnog dijela između bušačkih šipaka i cijevi za uzorak. Ovaj spojni dio posebno je izrađen da bi kroz njega mogla iz cijevi izaći voda i zrak, a da se eventualno može stvoriti vakuum da bi se osiguralo da uzorak ne ispadne prilikom vađenja.



Slika 3.17 Cilindar za vađenje neporemećenih uzoraka

Bitno je da se uzorak uzima isključivo utiskivanjem noža i cijevi u tlo bez vrtnje. Pritom pribor mora biti takav da se tlo, iz kojeg se vadi uzorak, što manje poremeti. Unutar cijevi može biti smještena plastična košuljica koja odmah štiti uzorak po plaštu. Nakon vađenja iz tla uzorak se parafinom štiti od isušivanja, ovija ljepljivom trakom, označi i odmah šalje u laboratorij na čuvanje u vlažnu komoru. Uzorke je potrebno vrlo pažljivo prevoziti, naročito ako nisu u cilindrima ili drvenim sanducima. Nužno je da do ugrađivanja u laboratorijske uređaje stignu zaista neporemećeni.

### 3.3.4 Terenski pokusi tijekom bušenja i pokusi neovisni o bušenju

Terenski pokusi rade se tijekom bušenja ili neovisno o njima. Detaljno su opisani u Eurocode 7 dio 2. „Istraživanja i ispitivanja tla“. Za njih se unaprijed utvrđuje program ispitivanja. Služe kao osnovna i dopunska ispitivanja. U tlima loših svojstava, gdje nije moguće vaditi uzorke, služe kao jedino moguća. Ova ispitivanja služe i kao kontrolna ispitivanja učinka poboljšanja temeljnog tla. Pojednim terenskim pokusima mogu se odrediti parametri tla ovisno o vrsti tla i vrsti pokusa. Neki se parametri dobiju izravno dok su neki isključivo iskustveni, temeljeni na nizu pokusa i statističkoj obradi rezultata. Terenski pokusi u sitnozrnim tlima moraju se izvoditi dovoljno brzo da bi se osigurali nedrenirani uvjeti. Pri nekim je pokusima moguće mjeriti porni pritisak.

Primjena rezultata, naizgled jednostavnih pokusa, mora se pažljivo koristiti uz niz popravaka ovisno o vrsti tla, razini podzemne vode, dubini na kojoj se vrši pokus i drugim stvarnim uvjetima na terenu. (Clayton i sur. 2005.)

Najučestaliji terenski pokusi su:

- dinamička penetracija;
- statička penetracija;
- krilna sonda;
- presiometar;
- dilatometar.

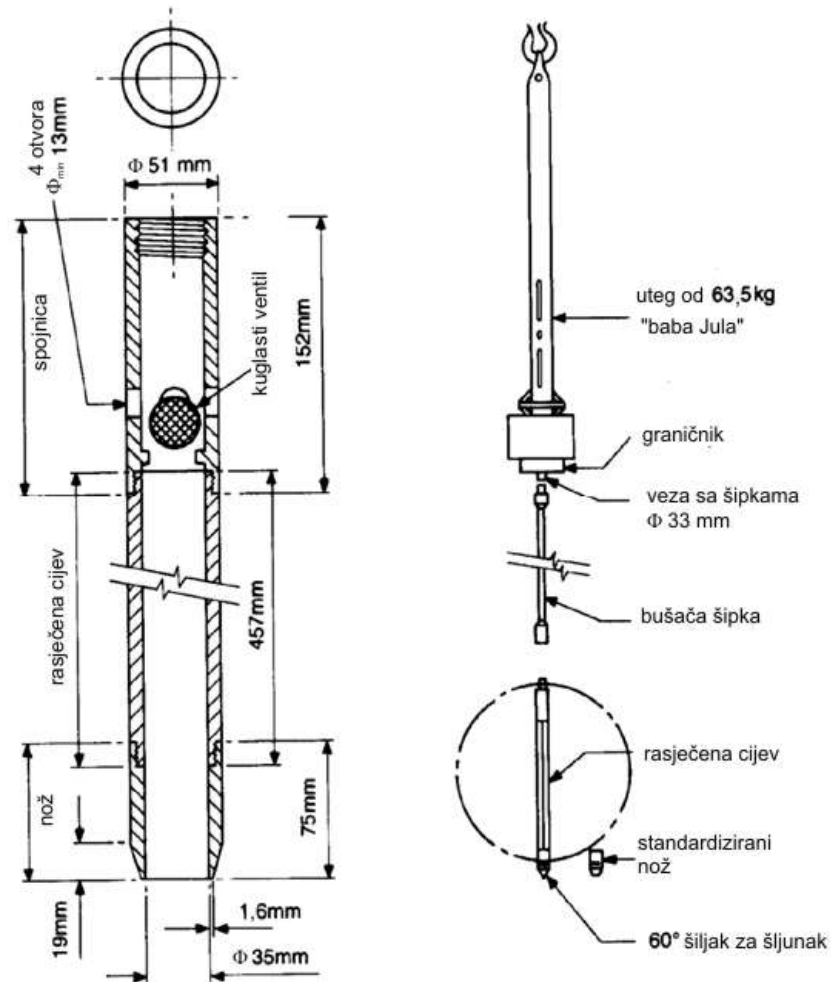
Ispitivanje zbijenosti nekoherentnih tala vrši se na terenu **penetracijskim pokusima**. Oni se mogu izvoditi u bušotinama tijekom bušenja, ali se mogu izvoditi i neovisno o bušenju. Ima više vrsti penetracijskih pokusa, a rezultati većine se mogu međusobno uspoređivati. Penetracije se vrše u onim tlima iz kojih se ne mogu izvaditi neporemećeni uzorci ili su rezultati penetracija takvi da se mogu izravno koristiti za geotehničke proračune. Izvode se češće u nekoherentnim tlima (šljunci i pijesci). U njima je teško izvaditi dobar uzorak.

#### 3.3.4.1 Dinamička penetracija

Tijekom bušenja izvodi se **dinamički** (standardni) **penetracijski pokus** (SPT ili SPP) u bušotini, u nekoherentnim ili miješanim tlima iz kojih se ne mogu izvaditi neporemećeni uzorci. Postoje razne vrste dinamičkih penetracija i svaka ima svoju proceduru i tumačenje rezultata (Sanglerat, 1972.). Najnoviji uređaji tokom izvedbe ovog pokusa daju podatke i o pornim pritiscima.



Penetracije se u sitnozrnim, nekoherentnim i/ili slabo vezanim tlima izvode pomoću noža, u kolji ulazi tlo te se na površinu vadi uzorak tla u kojem je vršena penetracija. Na ovom se uzorku može ispitati vlažnost i dobiti podaci potrebni za razredbu. U šljuncima (kada je promjer zrna veličine promjera noža) se penetracija vrši pomoću šiljka. Postoje popravci rezultata kada se radi sa šiljkom. Prilikom dinamičke penetracije valja voditi računa o pojavi većih komada stijena ili samaca. Njihova pojava može bitno utjecati na interpretaciju rezultata penetracija.



Slika 3.18 Uređaj za SPT desno, detalj noža lijevo (Clayton 2005.)

Valja utvrditi da li se zaista radi o samcima i blokovima ili je to čvrsta stijenska podloga. Ovo se jedino može utvrditi nastavkom bušenja s jezgrovanjem. Krivi zaključci mogu biti pogubni po nastavak radova kao i po projekt geotehničke građevine kojoj su namijenjeni.

Rezultat dinamičke penetracije je broj udaraca  $N$  koji je potreban da se pribor zabije na propisanu dubinu. Ima više varijanti načina brojenja udaraca pa treba primijeniti važeći standard. Najčešće korišteni standard je  $3 \times$  broj udaraca potreban da pribor, pod udarcem utega teškog 63,5kg, koji pada s visine od 762 mm, prodre u tlo za  $3 \times 15$  cm (ukupno 45 cm), a kao broj udaraca  $N$  uzima se zbroj udaraca druge i treće grupe, tj. broj udaraca potreban da pribor prodre za posljednjih 30cm. Time se izbjegava utjecaj poremećaja tla nastalog bušenjem u prvih 15cm. Broj udaraca se upisuje u obrasce za sondažne profile.

Iz podatka o broju udaraca (nakon primijenjenih potrebnih popravaka za šiljak, mali nadsloj i utjecaj vode) postoji korelacija iz kojih se može dobiti odgovarajuća vrijednost kuta trenja  $\phi$ . Drugi podatak koji se može dobiti je vrijednost otpora prodiranja šiljka  $q_c$ , koji je inače rezultat statičke penetracije na način da je :

$$q_c = N \cdot n \quad (3.2)$$

Dobivena vrijednost koristi se dalje za proračun deformacijskog svojstva pri proračunu slijeganja u nekoherentnim tlima. Vrijednost „ $n$ “ ovisi o vrsti tla (Roje-Bonacci, 2007).

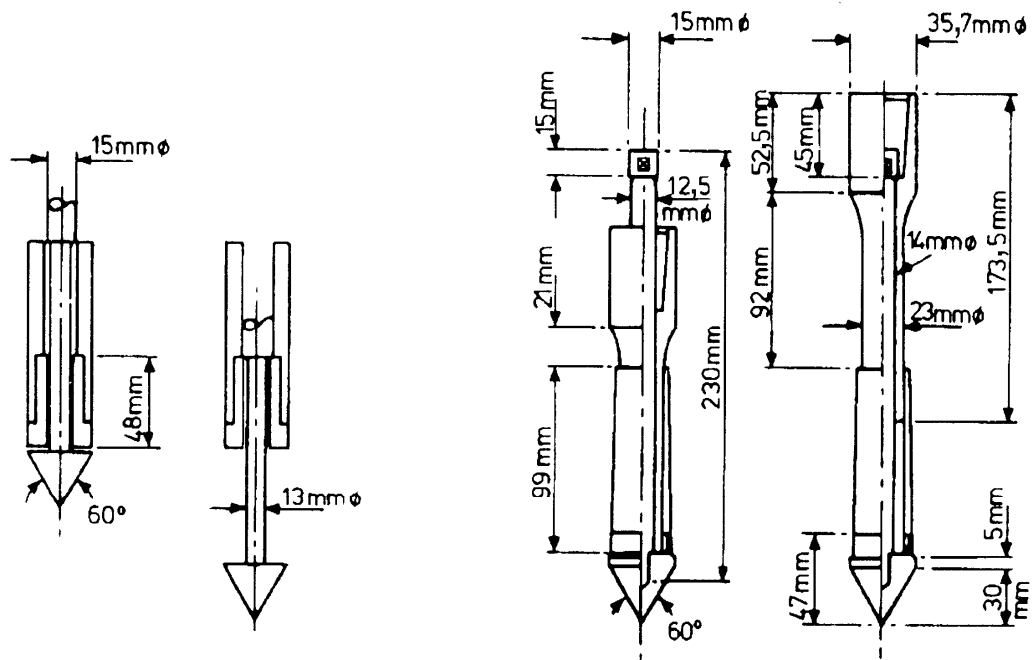
Dinamički penetracijski pokus koristi se za provjeru učinka poboljšanja podtemeljnog tla. Pretpostavka je da je prije izvedbe mjera za poboljšanje svojstava tla, izvedeno ispitivanje dinamičkom penetracijom, tako da postoje podaci za usporedbu.

#### 3.3.4.2 Statička penetracija

Neovisno o bušenju izvode se **pokus statičke penetracije (CPT), bez i (CPTU) sa mjerenjem pornog tlaka**. Za ova ispitivanja postoji neovisna oprema.

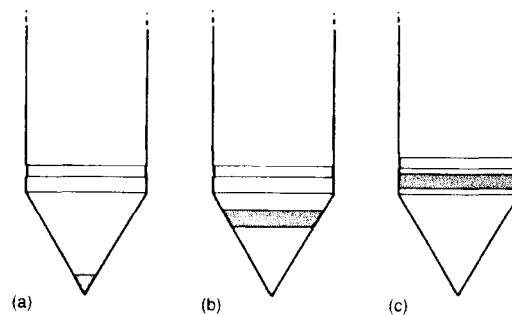
Pokus Duch Cone uređajem se sastoji od utiskivanja stošca s nagibom plašta pod kutom od  $60^\circ$ , poprečnog presjeka baze od  $10\text{cm}^2$ , stalnom brzinom od  $2 \pm 0,5$  cm/s, za 8cm Pri tom se mjeri sila  $P$ , potrebna za takvo utiskivanje i dobije otpor vrha ( $q_c = P/A_v$ ;  $A_v = 10\text{cm}^2$ ). U slijedećem koraku mjeri se otpor trenjem po plaštu valjka površine  $150\text{cm}^2$ , promjera 35,7mm, jednakog kao i baze stošca, a koji se nalazi neposredno iznad stošca. Valjak se utiskuje za 12 cm a mjeri se otpor posljednjih 10 cm. Dobiva se vrijednost  $f$ , ( $f = P/A_p$ ;  $A_p = 150\text{cm}^2$ ). Zatim se zajedno utiskuju stožac i valjak za slijedećih 10cm i mjeri se ukupna sila  $F$ , potrebna za to utiskivanje

Na slici 3.19 prikazan je prvi tip statičkog penetrometra izrađen u Delftu, Nizozemska i kasnije poboljšana verzija.



Slika 3.19 Statički penetrometar (Dutch Cone, Delft), lijevo izvorni oblik, desno poboljšana verzija, (Clayton 2005.) Razvojem ovih uređaja

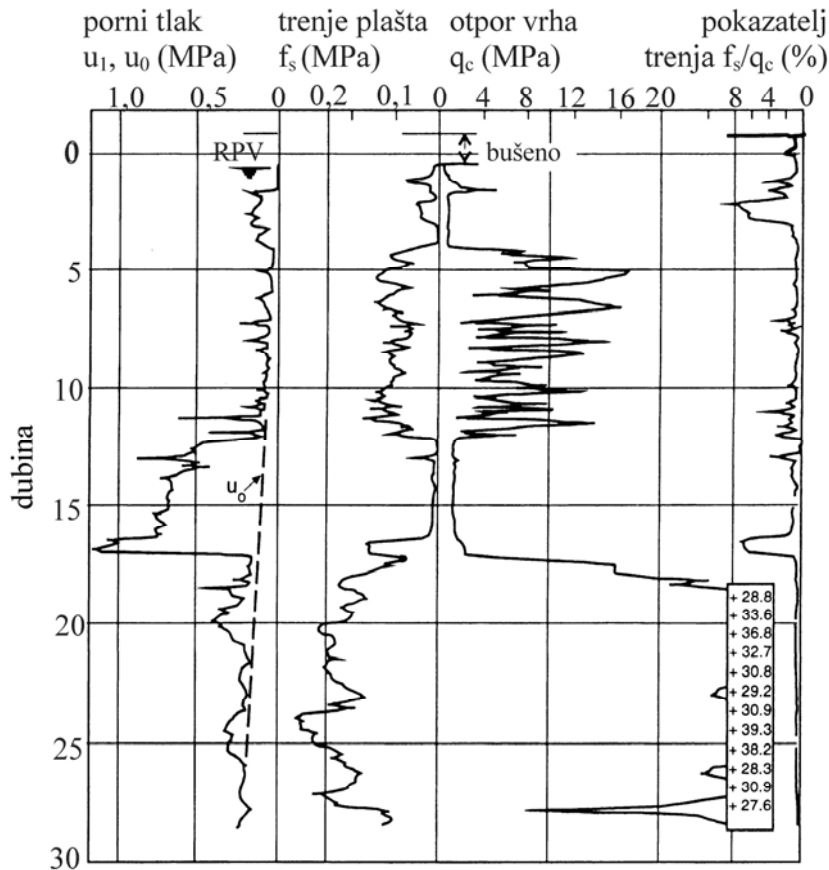
Danas postoje mehanički i elektronički uređaji. U međuvremenu je izrađen i uređaj s mogućnošću mjerenja porednog pritiska (piezocone), a što je vrlo važno za dobivanje podataka u efektivnom stanju naprezanja. Na slici 3.20 prikazano je nekoliko vrhova piezocone uređaja s različitim mjestima za mjerenje porednih pritisaka



Slika 3.20 Položaj filtra za mjerenje porednog pritiska: a) u vrhu, b) u pola visine šiljka, c) neposredno iznad šiljka

Rezultati se prikazuju grafički na za to oblikovanim obrascima. U obrasce se ucrtavaju obrađeni podaci.

Iz tih se podataka može dobiti veza s nizom fizičko mehaničkih svojstava tla (Lunne 2002.).



Slika 3.21 Grafički prikaz rezultata statičke penetracije s mjerenjem pornog tlaka

Pokazatelj trenja,  $f_s/q_c=R_f$  [%], koristi se u analizi pojave likvefakcije u pijescima.

Postoji veza rezultata otpora šiljka  $q_c$  i deformacijskog svojstva  $M_k$  (modula stišljivosti), potrebnog za proračun slijeganja:

$$M_k = \alpha_\mu * q_c \quad (3.3)$$

s tim da vrijednosti  $\alpha_\mu$  ovise o vrsti tla, vlažnosti tla i veličini otpora vrha  $q_c$ . Vrijednosti za  $\alpha_\mu$  prikazane su u tabeli 3.2.

Schmertmann i dr. (1978), koristi rezultat  $q_c$  izravno za proračun slijeganja u pijescima kao:

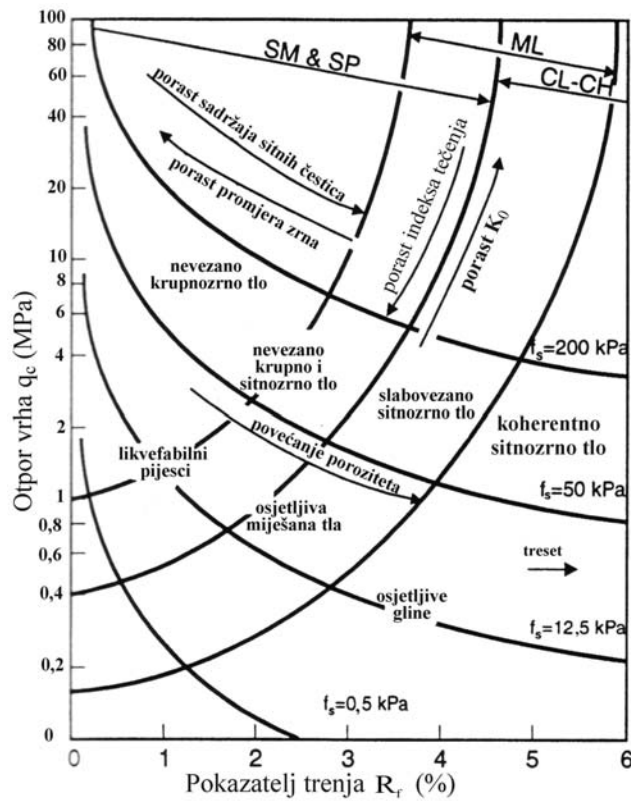
$$E=2,5*q_c \quad (3.4)$$

Gdje je E modul elastičnosti za pijeske, a  $q_c$  otpor vrha penetrometra na dubini za koju se računa slijeganje.

Tabela 3.2 Vrijednosti parametra  $\alpha_\mu$ , potrebnih za proračun modula stišljivosti  $M_k$  iz podataka o otporu šiljka  $q_c$  (Lunne i dr., 2002.)

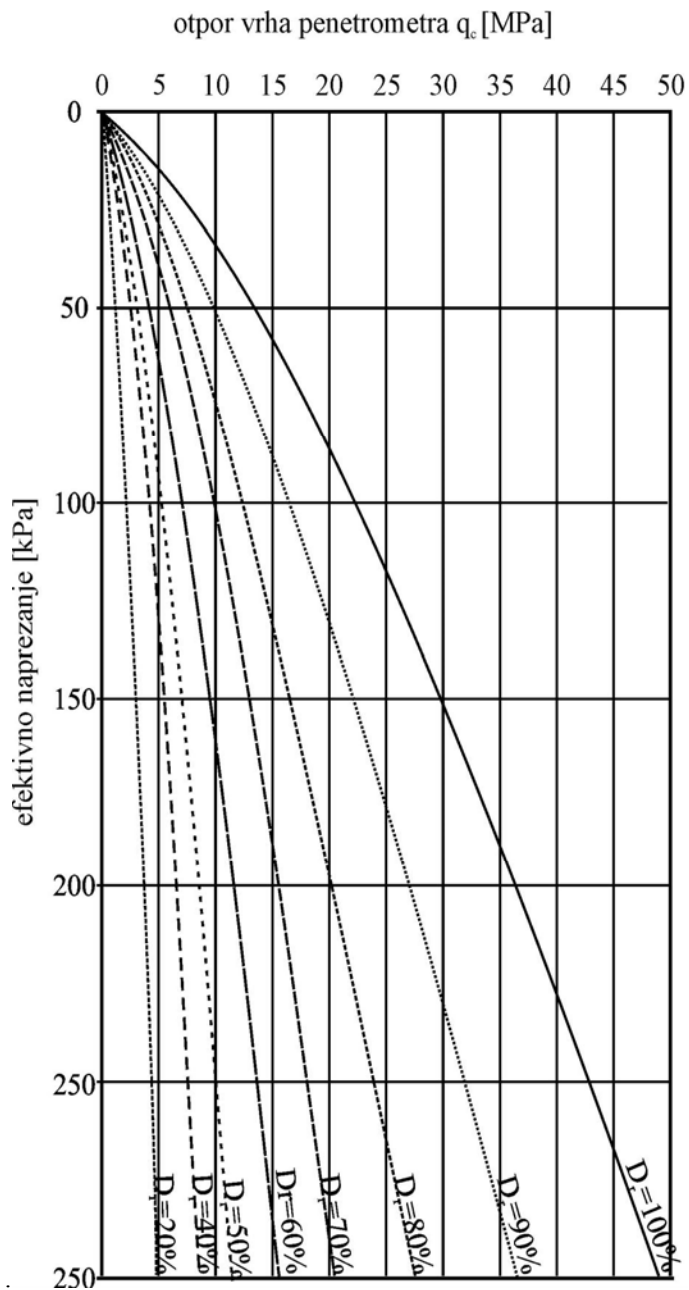
vrsta tla	otpor šiljka $q_c$ [MPa]	parametar $\alpha_\mu$
glina niske plastičnosti (CI)	<0,7	3-8
	0,7-2,0	2-5
	>2	1-2,5
niskoplastični prah (MI)	>2	3-6
	<2	1-3
visokoplastični prah i glina (MH,CH)	2-6	<2
organski prah (OI)	<2	2-8
treset i organske gline (P, OH) za vlažnosti od [%]	<0,7	
	50-100	1,5-4
	100-200	1-1,5
	>200	0,4-1

Rezultati statičke penetracije mogu se koristiti i za razredbu tla (Duglas i Olsen 1981.)



Slika 3.22 Razredba temeljem podataka iz CPT pokusa (Duglas i Olsen 1981.)

Jedna od bitnih veza otpora vrha statičkog penetrometra je ona s relativnim gustoćom  $D_r$ , za koju se u Eurocode 7 i pripadnim propisima koristi naziv indeks gustoće,  $I_D$ . Dijagram veze otpora vrha statičkog penetrometra  $q_c$  i relativne gustoće  $D_r$  dan je u nastavku.



Slika 3.23 Veza relativne gustoće  $D_r$  (indeksa gustoće  $I_D$ ) i otpora vrha statičkog penetrometra  $q_c$

Upravo ova veza je vrlo korisna za provjeru učinka mjera koje su primjenjene za poboljšanje temeljnog tla izrazito loših svojatava. Mjerenjem otpora vrha  $q_c$  prije i nakon primjene mjera za poboljšanje dubljih slojeva tla, može se utvrditi stupanj poboljšanja temeljem usporedbe relativnih gustoća.

Statičke penetracije se izvode kao osnovna i dopunska ispitivanja. Koristi se uglavnom u pijescima i mješavinama s osnovom pijeska. Osnova su za proračune nosivosti pilota, ali se mogu koristiti i u druge svrhe. Većina ovih uređaja mjeri i porni pritisak. Na taj se način dobivaju podaci u efektivnim naprezanjima.

#### 3.3.4.3 Krilna sonda

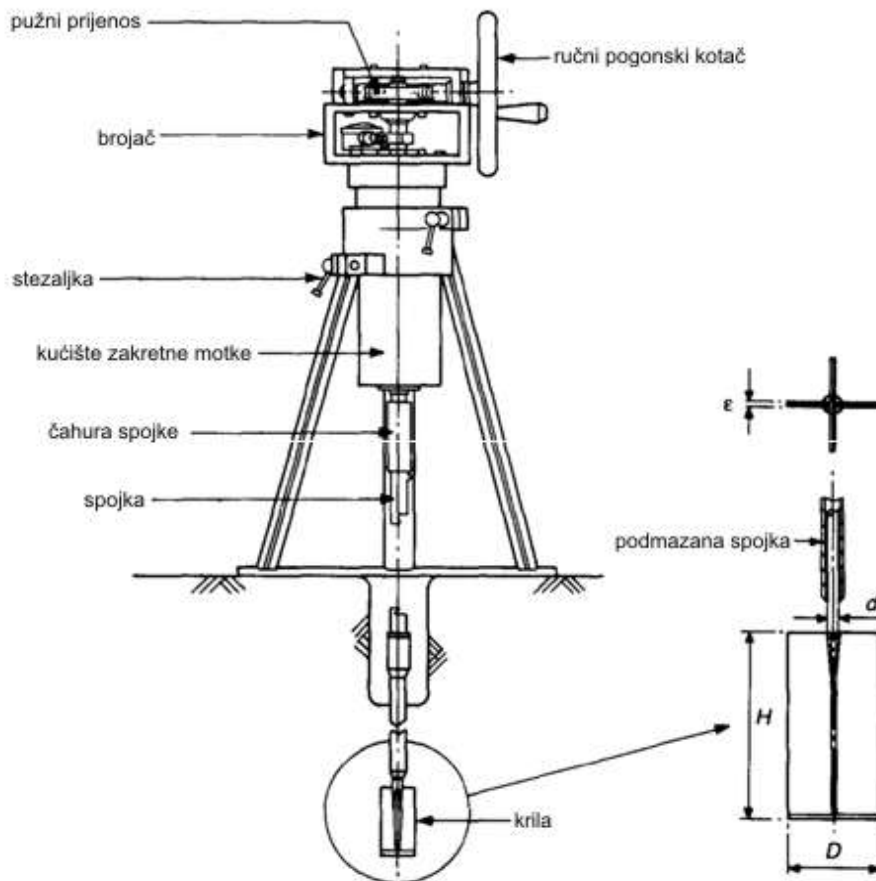
Pokusi **krilne sonde** izvode se u vrlo žitkim tlima iz kojih se teško mogu vaditi neporemećeni uzorci. Pokusi se mogu raditi samostalno, s površine, najčešće u muljevima na dnu mora ili jezera. Ispitivanja se mogu raditi i u bušotinama. Rezultat je nedrenirana čvrstoća na smicanje ( $c_u$ ). Postoji procedura ispitivanja, a rezultati se prikazuju u obliku krivulja na posebnim obrascima.

Postoje standardno tri veličine krilaca; za izrazito žitka tla, najduža s najvećim promjerom krilaca,  $d$ . Za srednje žitka tla, malo kraća i manjeg promjera i za lakognječiva tla, krilca još manje dužine i promjera. U pribor spada moment ključ za mjerenje zaokretnog momenta i pripadajuće šipke. Postoje električni uređaji za zakretanje šipki i izravno mjerenje podataka na računalu. Pokus se izvodi tako da se šipka, s krilcima na kraju, zabije u tlo ili dno bušotine, zakreće određenom brzinom, sukcesivno mjeri sila za određenu veličinu zaokreta, tordira do sloma, i zarim zakreće nakon sloma da bi se utvrdila i rezidualn čvrstoća na smicanje u nedrenitanim ubjetima. Podatak je koristan za dimenzioniranje podloge nasipa na slabo nosivom tlu, pri projektiranju ojačanja geosinteticima.

Krilca se zabiju tako da potpuno uđu u tlo. Mjeri se otpor trenja po plaštu i dvije baze. Tada je izraz za proroačun otpora izražen preko nedrenirane čvrstoće  $c_u$ , iz izmjerenog zakretnog momenta :

$$c_u = \frac{M}{\pi d^2 \left( \frac{h}{2} + \frac{d}{6} \right)} \quad (3.5)$$

Gdje je  $M$  zakretni moment izmjeren moment ključam u [Nm];  $h$  visina krilaca, a  $d$  promjernjer krilaca u metrima. Za veličine  $h$  i  $d$  postoji standard. One su promjenjivi ovisno o vrsti tla kako je prethodno navedeno.

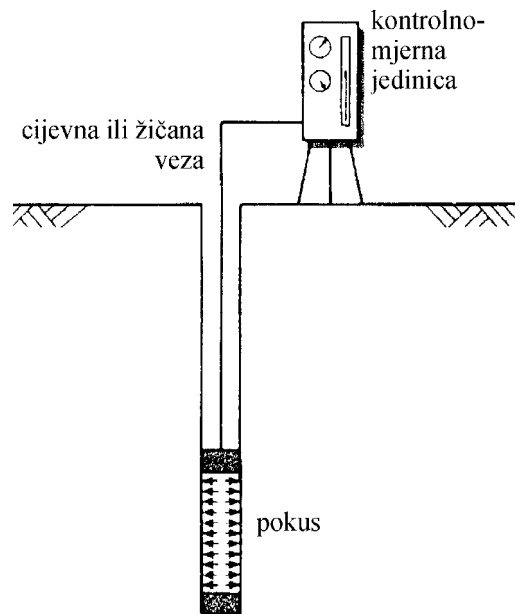


Slika 3.24 Shema krilne sonde (Clayton i dr. 2005.)

#### 3.3.4.4 Presiometar

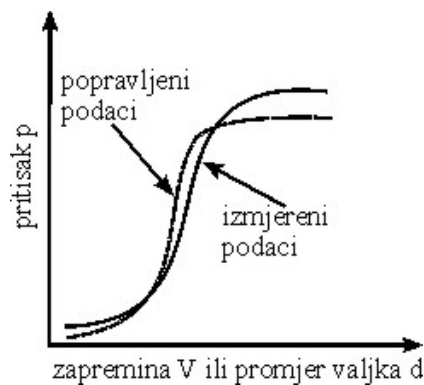
**Presiometar** je naprava kojom se ispituje deformabilnost stijenske mase ili tla u bušotini. Sastoji se od valjka kojem je moguće, pod pritiskom, povećavati zapreminu i mjeriti promjenu promjera ili promjenu ukupne zapremine valjka u zavisnosti o pritisku. Valjak se ulaže namjenski pripremljenu bušotinu. Može se mjeriti s kontroliranim porastom pritiska ili s kontroliranim porastom zapremine. Kao rezultat se dobije vrijednost tlaka mirovanja, presiometarski modul elastičnosti, modul pri ponovljenom opterećenju, presiometarsko granično opterećenje (plastični slom) i podatke o smicanju. Podaci nisu izravno upotrebljivi za projektiranje već zahtijevaju statističku obradu (korelacije) da bi se dobili klasični geotehnički parametri kao što je Youngov modul i posmična čvrstoća.





Slika 3.25 Princip rada presiometra (Clayton i dr. 2005.)

Prije pokusa potrebno je spravu baždariti, a dobivene podatke popraviti temeljam podataka baždarenja.



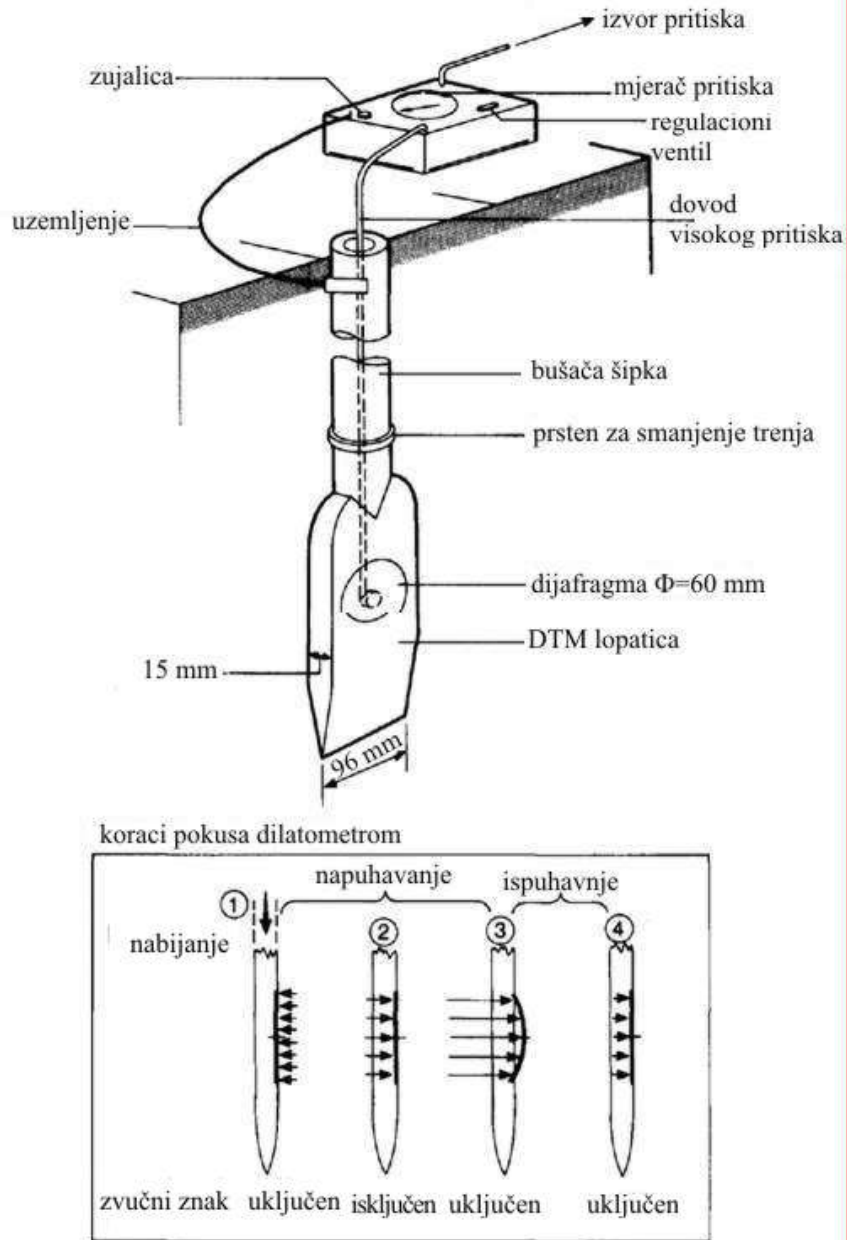
Slika 3.26 Shema rezultata ispitivanja presiometrom (Clayton i dr. 2005.)

Geotehnički laboratorij u Cambridge-u izradio je samobušači presiometar. Upotrebljava se za ispitivanje u prekonsolidiranim tlima. Postoji i inačica za stijene.

#### 3.3.4.5 Plosnati dilatometar

**Plosnati dilatometar** je uređaj debljine 15mm, s membranom promjera 60mm ugrađenom u ploču, koja na dnu ima oblik noža. Može se koristiti u svim tlima u koja se može zabit. Jedina smetnja su mu krupni komadi šljunka. Ugrađuje se u tlo utiskivanjem te je poremećaj tla oko njega vrlo mali. Rezultati ispitivanja

dilatometrom moraju se usporediti i statistički obraditi da bi se mogli koristiti u geotehničkim proračunima za koje trebaju podaci o čvrstoći na smicanje i/ili deformaciona svojstva. Pokus je jednostavan, jeftin i brz, a daje vrlo korisne podatke. Sve više ulazi u upotrebu, iako još nije dostigo učestalost PP-a.



Slika 3.27 Princip rada plosnatog dilatometra (Clayton i dr. 2005.)

Postoje računalni programi koji temeljem rezultata ovih ispitivanja mogu dati podatke o:

- tangentnom modulu stišljivost ( $M$ );
- nedreniranoj čvrstoći na smicanje ( $c_u$ );
- kutu trenja u dreniranim uvjetima za pijeske ( $\varphi$ );
- totalnu jediničnu težinu tla ( $\gamma_t$ );
- koeficijent tlaka mirovanja ( $k_0$ );
- pritisak prekonsolidacije ( $p_c$ ) i
- koeficijent predkonsolidacije (OCR).

Rezultati ispitivanja dilatometrom koriste se za provjeru učinka poboljšanje temeljnog tla.



Slika 3.28 Oprema za ispitivanje dilatometrom s pripadnim sustavom za praćenje pokusa i bilježenjem rezultata.

Ovi se pokusi ne rade standardno već prema potrebi ovisno o složenosti građevine i uvjeta u tlu.

### 3.3.5 Ispitivanje vodopropusnosti tla

Kod velikog broja geotehničkih zahvata potrebno je poznavati koeficijent vodopropusnosti. Kod hidrotehničkih nasipa potrebno je poznavati vodopropusnost nasipa, ali i temeljnog tla, kako bi se moglo provesti potrebne proračune vezane za procjeđivanje kroz nasip i kroz temeljno tlo. Koeficijent vodopropusnosti nasipa određuje se pokusima u laboratoriju uz ispitivanje stišljivosti u edometru ili se može procijeniti iz granulometrijske krivulje (po Hazenu 1911.).

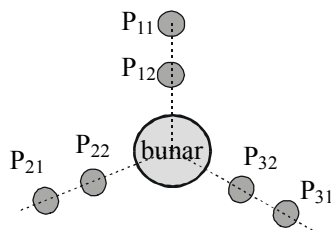
Za ocjenu procjeđivanja u temeljnom tlu postoji više mogućnosti, ovisno o važnosti ovog podatka. Najbolje podatke daje probno crpljenje pomoću bunara. Za jednostavnije slučajeve koristi se metoda Le Franc, mjerenja u jednoj bušotini.

#### 3.3.5.1 Pokusno crpljenje pomoću bunara

Pokusno crpljenje pomoću bunara zahtjeva izvedbu šest piezometara koji leže na tri pravca oko bunara pod kutom od  $120^\circ$ . Osim toga zahtjeva niz uređaja za precizna mjerenja protoka i razine vode u piezometrima, koju je potrebno dovesti u stacionarno stanje. Ovisno o propusnosti tla ovo može trajati dugo vremena i zahtjeva rad bez prekida. To je skupa metoda i primjenjuje se samo za potrebe velikih geotehničkih zahvata.

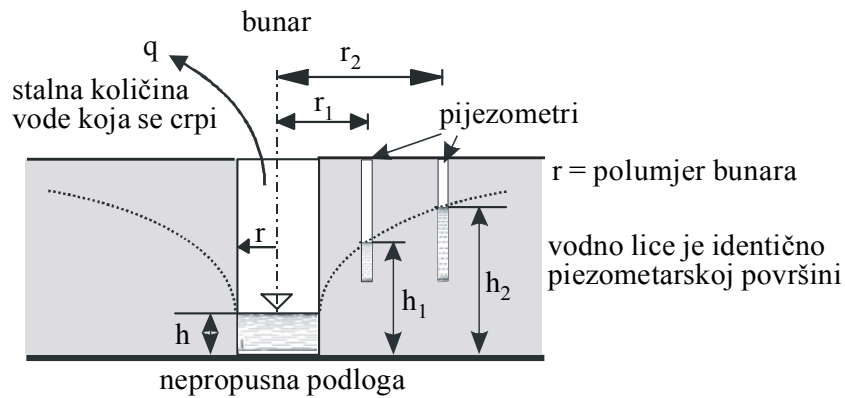
Podzemna voda u prirodi može imati slobodno vodno lice i može se nalaziti u vodonosnom sloju pod pritiskom.

Na slici 3.29 prikazan je tlocrtni položaj bunara i piezometara neophodnih za ovakva mjerenja na terenu.



Slika 3.29 Tlocrtni položaj bunara i piezometara za mjerenje vodopropusnosti

Na slikama 3.30 i 3.31 prikazani su položaj bunara i piezometara za različite uvjete pojave vode u tlu, u poprečnom presjeku.



Slika 3.30 Mjerenje vodopropusnosti pomoću bunara u sloju sa slobodnim vodnim licem

Za proračun koeficijenta vodopropusnosti "k" u slučaju podzemne vode sa slobodnim vodnim licem služi jednačina 3.7, a za slučaj vodonosnog sloja pod pritiskom služi jednačina 3.9.

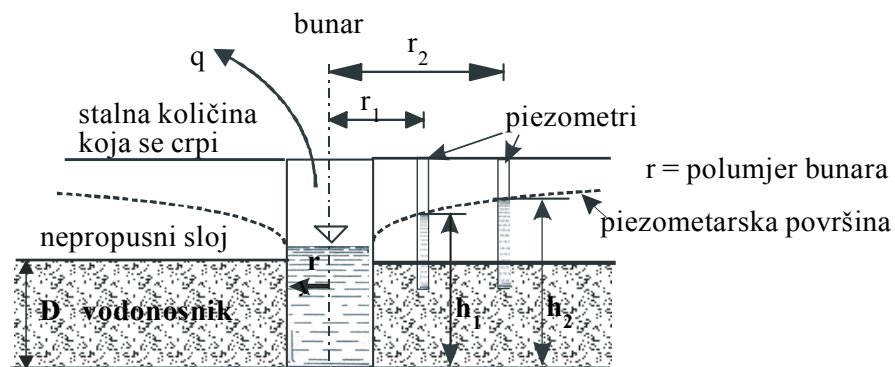
S oznakama na slici 3.30 izlazi

$$q = A * k * i = 2\pi * r * h * k * \frac{dh}{dr}; \Rightarrow \frac{dr}{r} = \frac{2\pi * k}{q} h dh \quad (3.6)$$

integracijom nastaje:  $\ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\pi * k}{q} (h_2^2 - h_1^2),$

pa je odatle:

$$k = \frac{q}{\pi} \left( \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{(h_2^2 - h_1^2)} \right) \quad (3.7)$$



Slika 3.31 Mjerenje vodopropusnosti pomoću bunara u sloju s vodom pod pritiskom

S oznakama na slici 3.31 izlazi:

$$q = A * k * i = 2\pi * r * D * k \frac{dh}{dr} \Rightarrow \frac{dr}{r} = \frac{2\pi D}{q} k dh \quad (3.8)$$

integracijom nastaje:  $\ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{2\pi * D}{q} * k * (h_2 - h_1)$ , pa je odatle:

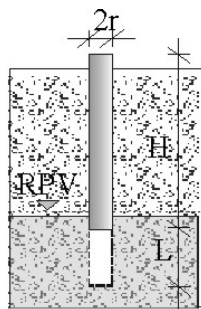
$$k = \frac{q}{2\pi D} \left( \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{(h_2 - h_1)} \right) \quad (3.9)$$

Na ovaj se način dobiva prosječni koeficijent procjeđivanja za određeni prostor tla u području kojeg se vrše pokusna crpljenja.

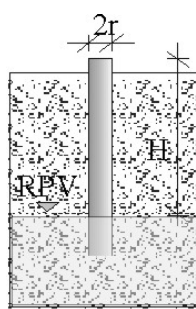
Za jednostavnije slučajeve mogu se koristiti podaci dobiveni na terenu pomoću metode "Le Franc". Radi se o ispitivanju vodopropusnosti pomoću jedne bušotine. Jednadžbe, pomoću kojih se određuje koeficijent procjeđivanja su empirijske. Za tla veće propusnosti koristi se metoda sa stacionarnim dotokom u bušotinu, a za manje propusna tla vrši se mjerenje s opadanjem razine vode u bušotini. Može se vršiti ispitivanje s procjeđivanjem samo kroz dno bušotine ili kroz dno i dio plašta. U nekoherentnim tlima, gdje je nužno zacijeviti bušotinu, može se mjerenje vršiti samo na dnu bušotine ili se mora na dno bušotine ugraditi dio cijevi s perforacijama.

Slijede varijante mjerenja vodopropusnosti u bušotini s pripadnim empirijskim jednadžbama.

a) bez zacjevljenja



b) sa zacjevljenjem

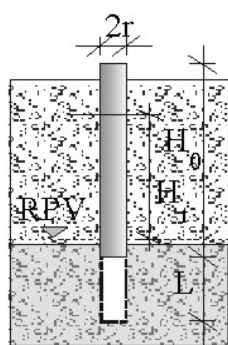


$$k = \frac{0,37 * q}{L * H} * \log \frac{L}{r} \text{ [cm/s]} \text{ za } \frac{L}{r} \geq 10 \quad (3.10)$$

$$k = \frac{q}{5,5 * r * H} \text{ [cm/s]} \quad q = \frac{Q}{t} \quad (3.11)$$

Slika 3.32 Mjerenje vodopropusnosti metodom "Le Franc" sa stalnim padom bez (u koherentnom tlu) i sa zacjevljenjem (u nekoherentnom tlu)

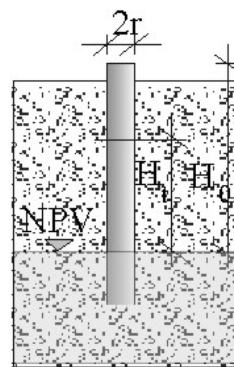
a) bez zacjevljenja



$$k = \frac{C}{\Delta t} * \log \frac{H_0}{H_t} \quad [\text{cm/s}] \quad (3.12)$$

$$C = \frac{2,64 * r^2}{L} * \log \frac{L}{r} [\text{cm}]$$

b) sa zacjevljenjem



$$k = \frac{1,31 * r}{\Delta t} * \log \frac{H_0}{H_t} \quad [\text{cm/s}] \quad (3.13)$$

Slika 3.33 Mjerenje vodopropusnosti metodom “LeFranc” s promjenjivim padom bez (u koherentnom tlu) i sa zacjevljenjem (u nekoherentnom tlu)

Red veličina vrijednosti koeficijenata procjeđivanja  $k$  za neke vrste tla dane su u tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Red veličina koeficijenata vodopropusnosti,  $k$ , u [cm/s] za neke vrste tala

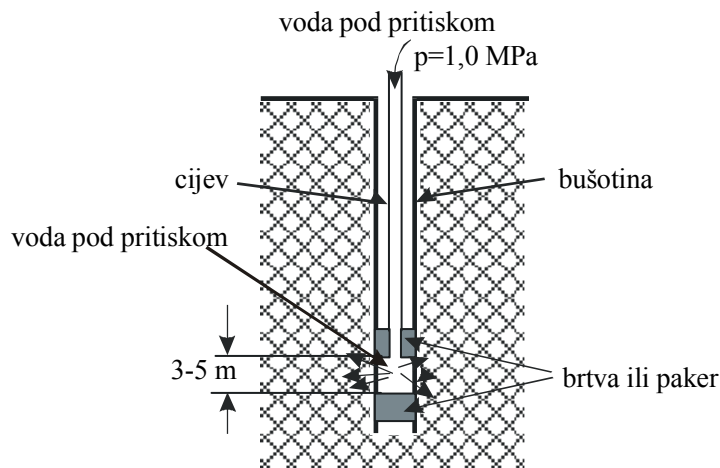
vrsta tla	koeficijent vodopropusnosti $k$ [cm/s]
šljunak (G)	1,0 i veći
pijesak (S)	$1,0 - 10^{-3}$
prah (M)	$2 * 10^{-3} - 10^{-5}$
glina (C)	$< 10^{-6}$

U stjenjnoj masi vrši se određivanje koeficijenta vodopropusnosti metodom po Lugeonu.

Pri tom se protok od 1litre u minuti na 1m' bušotine, pri tlaku od 1,0 MPa naziva se 1Lugeon (LU).

Odnos koeficijenta procjeđivanja po Darcy-u prema onom po Lugeon-u može se izraziti kao:

$$k \text{ [cm/sek]} \cong 1,5 * 10^{-5} [\text{LU}] \quad (3.14)$$



Slika 3.34 Mjerenje vodopropusnosti u stijenskoj masi

Vodopropusnost se na terenu može mjeriti i metodama bojanja vode u jednoj bušotini i hvatanja boje u drugoj bušotini. Ova se metoda najčešće upotrebljava za određivanje veza u kršu, a rjeđe za određivanje koeficijenta procjeđivanja.

### 3.3.6 Probna ploča

**Probna ploča** služi za ispitivanje zbijenosti površinskih slojeva tla. Posvećeno joj je posebno poglavlje s razloga što je kod građevina kod kojih je tlo gradivo, ovo izrazito važno ispitivanje.

Koristi se dvojako:

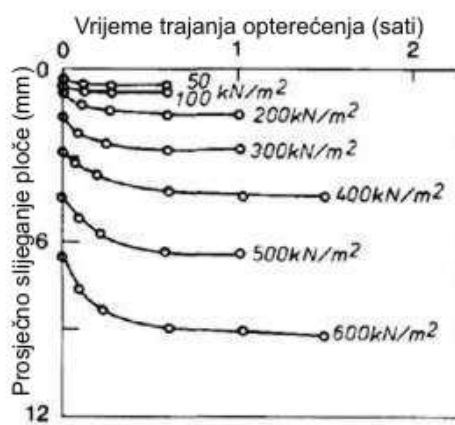
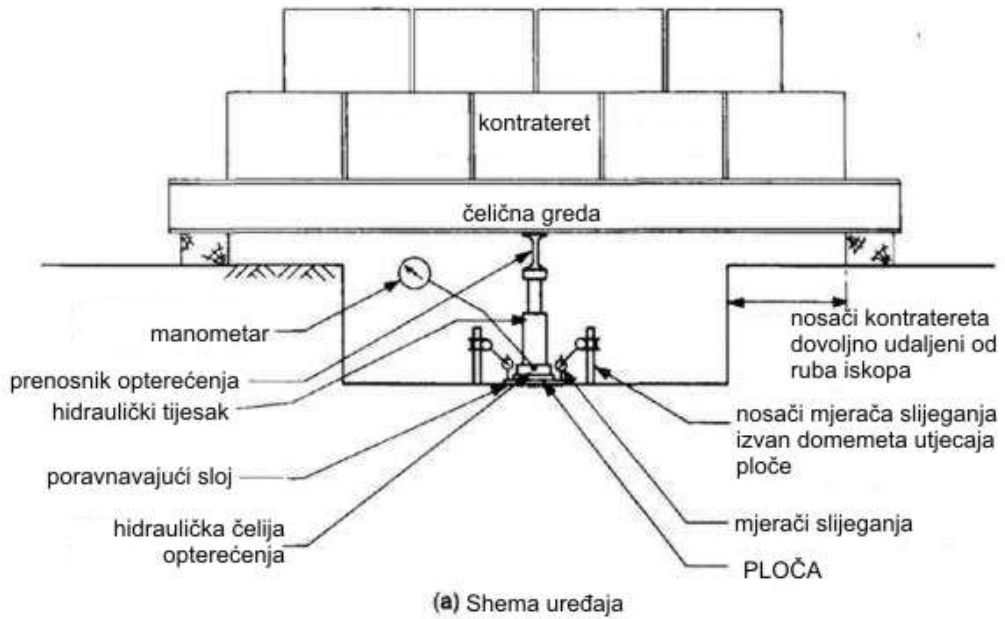
- za ispitivanje površinskih slojeva tla kada su oni podloga budućem nasipu, kolničkoj konstrukciji i/ili konstrukciji poda koji leži na tlu;
- za ispitivanje zbijenosti slojeva tla izvedenih nasipavanjem i zbijanjem nekim od sredstava za zbijanje.

Procedura ispitivanja propisana je normom EN ISO 22476-13. i u Eurocode7, dio 2. točka 4.11.

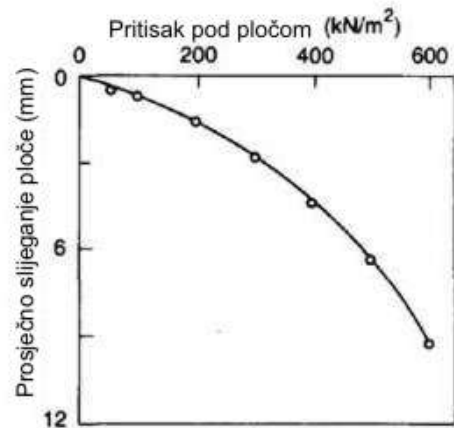
Rezultati prve grupe ispitivanja probnom pločom služe za dimenzioniranje zbijenosti slijedećeg sloja koji se na tlo nasipava i zbija. Tada tlo predstavlja temelj budućem nasipu. Tu postoji određena zakonitost koja će biti opisana naknadno.



Druga grupa ispitivanja probnom pločom služi za provjeru kakvoće ugrađenog nasipa, zamjenskih slojeva, stabiliziranih slojeva i svih ostalih slojeva tla od nekoherentnih gradiva koji su nasuti i zbijani, a tvore novo stvorenu građevinu.



(b) Krivulja slijeganja u vremenu



(c) Krivulja opterećenje-slijeganje

### 3.35 Probna ploča, uređaj i dijagrami (Clayton i dr. 2005.)

Na slici 3.35 prikazana je shema uređaja i rezultati ispitivanja u obliku dijagrama.

Postupak ispitivanja je isti u oba slučaja.

Rezultati ispitivanja probnom pločom su deformacijska svojstva površine tla. To su modul stišljivosti ( $M_v$ ), modul deformacije ( $E_{v1}$ ) i koeficijent reakcije podloge ( $k_s$ ). Treba obratiti pažnju da prilikom ispitivanja treba opterećenje djelovati određeno vrijeme dok ne prestane slijeganje. U tom smislu trajanje jednog intenziteta opterećenja treba prilagoditi svojstvima tla koje se ispituje. U provjeri kakvoće ugrađenog tla, ovaj se pokus uglavnom koristi za provjeru sitnog nekoherentnog tla.



Slika 3.36 Oprema za ispitivanje probnom pločom

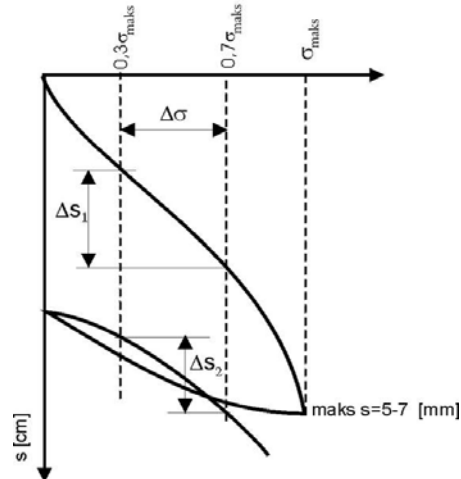
Prema EUROCODE 7, dio 2., pokus se koristi u svim vrstama tla, ali se ne preporučuje za vrlo meka sitnozrna tla. EUROCODE 7 daje mogućnost korištenje rezultata ispitivanja probnom pločom za određivanje „modula slijeganja određenog pločom“  $E_{plt}$ , koeficijenta reakcije podloge  $k_s$ , određivanja nedrenirane posmične čvrstoće ( $c_u$ ) i izravni proračun slijeganja plitkih temelja na pjeskovitom tlu.

Rezultati ispitivanja probnom pločom prilažu se geotehničkom elaboratu, kada se izvode tijekom geotehničkih istražnih radova. Kada se izvode namjenski, kao tekuća ili kontrolna ispitivanja daju se kao posebni elaborati.

Ova se ispitivanja mogu izvoditi i u bušotini velikog promjera.

### 3.3.6.1 Određivanje modula stišljivosti i elastičnosti iz rezultata ispitivanja probnom pločom

Prema DIN18134, potrebno je izvesti dva ciklusa opterećenja pločom i postići slijeganje od 5-7 mm. Rezultati, prema ovom standardu, prikazani su na slici 3.37 kao i način određivanja deformacijskih svojstava.



Slika 3.37 Rezultat ispitivanja probnom pločom prema DIN18134

Najveći pritisak  $\sigma$ , ovisi o vrsti i stanju tla koje se ispituje, a prema kojem se može dobiti traženo slijeganje od 5-7 mm.

U jednadžbama koje slijede je:

- $\Delta\sigma$  odabrana razina dodirnog pritiska,
- $\Delta s$  odgovarajuće slijeganje,
- B promjer ploče,

Tražena deformaciona svojstva tla određuju se prema jednadžbama (DIN):

$$M_k = 1,18 * \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} * B \quad (3.15)$$

$$E_{v1} = 1,5 * \frac{\Delta\sigma}{\Delta s_1} * \frac{B}{2} \quad (3.16)$$

$$E_{v2} = 1,5 * \frac{\Delta\sigma}{\Delta s_2} * \frac{B}{2} \quad (3.17)$$

EUROCODE 7, dio 2. „Istraživanje i ispitivanje tla“, predviđa određivanje modula stišljivosti iz podataka probne ploče (sekantnog modula) za pokus izveden na površini i za pokus izveden u bušorini. Za ispitivanje pločom na površini predviđa da se pokus izvodi na ravnoj neporemećenoj plohi tla.

Modul stišljivosti ( $E_{PLT}$ ) dobije se iz izraza:

$$E_{PLT} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \times \frac{\pi B}{4} (1 - \nu^2) \quad (3.18)$$

gdje je  $\nu$  Poissonov koeficijent.

Ako nema mogućnosti odrediti vrijednost Poissonovog koeficijeta na drugi način, uzima se njegova vrijednost za nedrenirane uvjete u sitnozrnim tlima 0,5, a u krupnozrnim tlima 0,3.

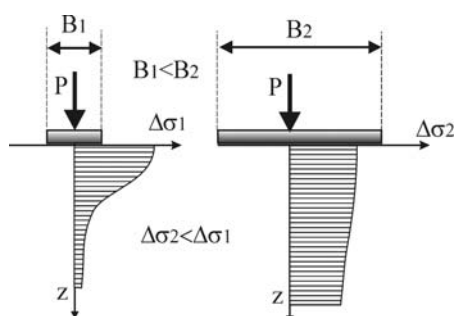
Na površini tla ispitivanja se izvode velikom pločom ( $\varnothing$  600mm) na lošijem i pločom promjera  $\varnothing$  300mm na boljem tlu.

Kod ispitivanja kakvoće ugrađenog tla u nasipe ili pri ispitivanju u tamponskim, filtarskim, drenažnim, kao i u zamjenskim slojevima kolničkih i podnih konstrukcija, ispitivanja se vrše srednjom, standardnom pločom ( $\varnothing$  300mm).

Kada je potrebno ispitati zbijenost slojeva vrlo visoke krutosti (na pr. za aerodromske piste), koristi se mala ploča ( $\varnothing$  160mm).

Za kontrateret najčešće se koristi kamion s punim košem. Ispod stražnje osovine umetne se tijesak s kojim se nanosi opterećenje.

Različiti promjeri ploče koriste se iz praktičnih razloga. Kada nije potreban veliki dodirni pritisak može se koristiti ploča velikog promjera jer nije potrebno pretjerano veliko opterećenje.



Slika 3.38 Raspodjela dodatnih naprezanja ispod ploča različitog promjera

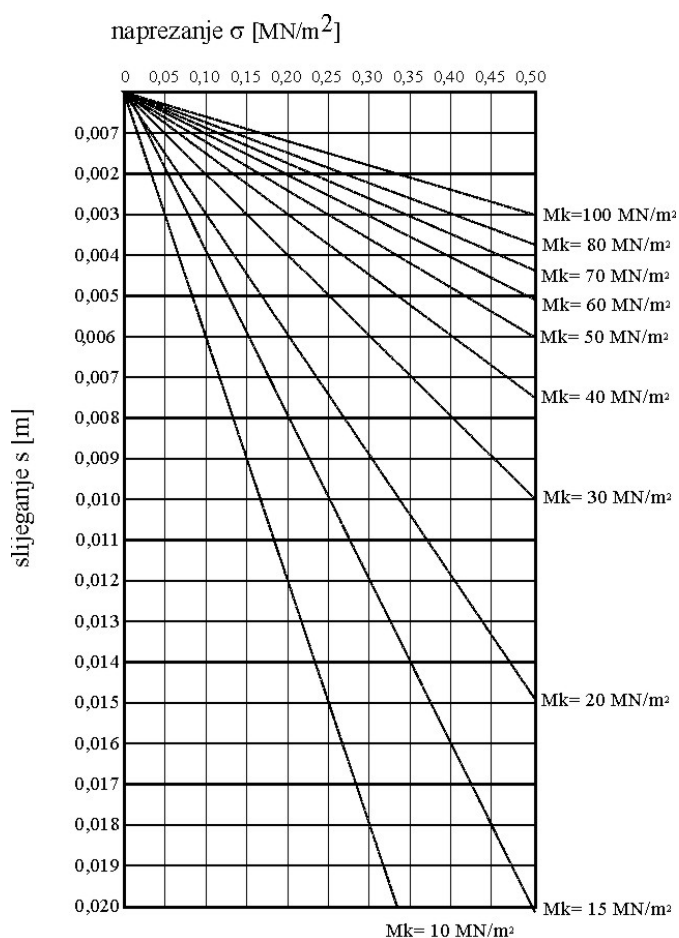
Iz poznatog izraza,  $\sigma = \frac{P}{F}$ ; jasno je da se za isto opterećenje  $P$ , smanjenjem površine ploče  $F$ , dobije veće dodirno naprezanje  $\Delta\sigma$ . S druge strane, što je veća dodirna površina  $F$ , to je, za isto opterećenje, manji dodirni pritisak  $\Delta\sigma$ , ali i dublji utjecaj dodatnog pritiska u tlu  $\Delta\sigma$ .

Pomoću probne ploče određuje se modul stišljivosti tla do dubine cca 2 promjera ploče.

Kako je za **temeljno tlo** potrebno imati podatak o stišljivosti za što je moguće veću dubinu, prikladno je koristiti ploču većeg promjera.

Kod ispitivanja ugrađenih slojeva bilo nasipa, tampona ili zamjenskih slojeva tla, čija je debljina između 30-50 cm, podatak dobiven probnom pločom promjera 300 mm je zadovoljavajući, tj. dubina utjecaja je dovoljna da obuhvati cijeli sloj. Kod tampona aerodromskih pista i sličnih slojeva velike krutosti, zadovoljavajuće rezultate će dati i ploča od 160 mm s obzirom na dubinu utjecaja, a neće zahtijevati pre veliki kontra teret.

Za tekuća i kontrolna ispitivanja služe gotovi obrasci u kojima su unaprijed ucrtani pravci vrijednosti modula stišljivosti. To olakšava rad osoblju na terenu na način da se odmah nakon ucrtavanja podataka mjerenja u dijagram, vidi da li rezultat zadovoljava ili ne.



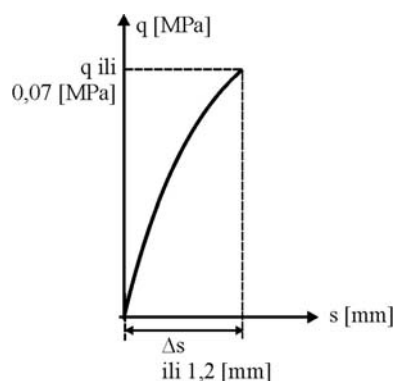
Slika 3.39 Obrazac za određivanje modula stišljivosti na terenu

### 3.3.6.2 Određivanje (Winklerovog) koeficijenta reakcije podloge K

Koeficijent reakcije podloge „K“ je deformacijsko svojstvo tla kojim se opisuje ponašanje tla pod opterećenjem tako, kao da je zmišnjeno nizom elastičnih opruga. To svojstvo tla prvotno se koristilo (20-tih godina 20 stoljeća) pri dimenzioniranju podova (u skladištima i industrijskim pogonima) opterećenim teškim vozilima. To su oni podovi koji leže izravno na tlu i nemaju nikakve konstruktivne veze s građevinom koje su sastavni dio. Koeficijent reakcije podloge je deformacijsko svojstvo koje odražava ponašanje tla pri kratkotrajnom koncentriranom opterećenju kao što je opterećenje kotačima vozila.

Ovo svojstvo nema nikakve veze s modulom stišljivosti,  $M_k$ , koji predstavlja deformacijono svojstvo pri trajnoj deformaciji u tlu, nastaloj dodatnim, stalnim opterećenjem na površini.

Westergard je 1920. godine dao svoje rješenje za određivanje koeficijenta reakcije podloge. Veza nije linearna. Već je i Westergard utvrdio da je veličina ovog svojstva ovisna o veličini opterećene površine. Westergardovo rješenje je prikazano na crtežu 3.40. (Izvorno Westergard i Eurocod 7 koriste za ovaj parametar oznaku „ $k_s$ “).



Slika 3.40 Određivanje modula reakcije tla po Westergardu

Kriteriji za određivanje vrijednosti ( $s$  oznakama na slici 3.40) iz rezultata ispitivanja je dvojak:

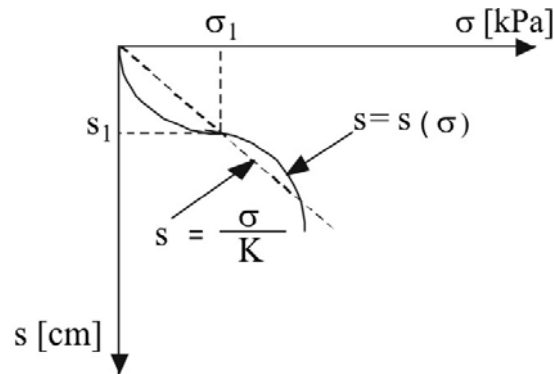
$$K_s = \frac{0,07 \text{ [MPa]}}{\Delta s \text{ [m]}} \quad (3.19)$$

ili

$$K_s = \frac{q \text{ [MPa]}}{0,0012 \text{ [m]}} \quad (3.20)$$

Pri čemu je  $q$  dodirni pritisak ploča-tlo, a  $s$  slijeganje.

Razvojem autocesta s intenzivnim teškim prometom za koje je trebalo dimenzionirati kolničke konstrukcije i numeričkih metoda za proračun nosača na elastičnoj podlozi, pokazala se potreba za ponovnim izučavanjem vrijednosti koeficijenta reakcije podloge. Tu je veliki doprinos dao Vesić (1961.a) svojim istraživanjima i prijedlogom za standardizirani pokus iz kojeg se dobije „Winklerov koeficijent reakcija podloge“  $K_0$ .



### 3.41 Postupak određivanja koeficijenta reakcije podloge prema Vesiću

Kriterij za određivanja  $K_0$  (prema EUROCODE 7  $k_s$ ) je predložio Vesić (1963.) na slijedeći način:

$$K_0 = \frac{\sigma_1}{s_1} \quad (3.21)$$

Prema Vesiću (1961.b)  $K_0$  se određuje za slijeganje  $s_1=2,5\text{cm}$  i pripadno naprezanje  $\sigma_1$ .

Da bi se moglo koristiti podatke iz literature, potrebno je objasniti pojmove o kojima govori Vesić. On razlikuje **koeficijent reakcija tla  $K_0$** , dobiven ispitivanjem krutom probnom pločom  $1 \times 1$  stopa (s gornjeg crteža) i **modul reakcije tla  $K_V$** , koji se koristi za simulaciju krutosti opruge u proračunima, a koji je između ostalog ovisi o **širini i krutosti nosača**.

Iz gore rečenog je vidljivo da modul reakcije podloge nije konstanta tla, jer njegova vrijednost ovisi o veličini opterećene površine, obliku opterećene površine i intenzitetu opterećenja. Primjena brojčanih vrijednosti mora se uzeti s velikim oprezom.

U svom radu iz 1943. Terzaghi razmatra primjenu teorije elastičnosti u mehanici tla. U tom poglavlju govori o koeficijentu reakcije podloge potrebnom za proračun i

dimenzioniranje pilota. On doslovno kaže „Vrijednost koeficijenta reakcije tla  $K$ , ne zavisi samo o prirodi tla, već i o veličini i obliku opterećene površine. Ako se ostali uvjeti ne mijenjaju, **reakcija tla se smanjuje povećanjem intenziteta opterećenja**. Prema tome, vrijednost  $K_0$  nije konstanta određenog tla, a odnos izražen jednačom:

$$\frac{\sigma}{s} = K \left[ \text{N/m}^3 \right] \quad (3.22)$$

samo je gruba zamjena za stvarni odnos.“

U kasnijem radu Terzaghi, (1955.) predlaže određivanje koeficijenta (prema Vesiću „modula“) reakcija tla  $K_v$  pomoću jediničnog koeficijenta  $K_0$  i širine stvarnog temelja  $B$  prema jednačbi:

$$K_v = K_0 \left( \frac{B + 0,30}{2B} \right)^2 \left[ \text{N/m}^3 \right] \quad (3.23)$$

Pri tom je:

$K_v$  – modul reakcije tla;

$K_0$  – jedinični koeficijent reakcije tla;

$B$  – širina temelja u metrima.

Jedinični koeficijent reakcije podloge  $K_0$ , određuje se probnom pločom stranice  $30 \times 30$  cm (u stvari je to jedna stopa ili 0,305 m) kako je prethodno rečeno.

EUROCODE 7 za određivanje koeficijenta reakcije podloge daje izraz :

$$k_s = \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad (3.24)$$

Gdje je  $\Delta p$  odabrana razina dodirnog naprezana, a  $\Delta s$  odgovarajuće slijeganje za odabrani odsječak naprezanja  $\Delta p$ .

### 3.3.7 Pozajmište

Pozajmište je prostor unutar kojeg se uzima tlo za izgradnju nasipa. Radovi na pozajmištu spadaju u terenske istražne radove, svojstvene onim građevinskim radovima kod kojih je tlo gradivo. To je razlog zbog kojeg je potrebno pozajmištu posvetiti posebnu pažnju.

Na pozajmištu je potrebno utvrditi vrstu, kakvoću i količinu raspoloživog tla.



Količina tla, koja zadovoljava uvjete za ugradnju u nasipe se ispituje nizom sondažnih jama i plitkih bušotina, kojima se utvrđuje rasprostiranje i debljina raspoloživih količina tla za iskorištavanje.

Iz sondažnih jama uzimaju se **poremećeni** uzorci tla za laboratorijska ispitivanja. Pri uzimanju uzoraka potrebno je tlo odmah po iskopu dobro zamotati u plastične vrećice, da ne izgubi prirodnu vlagu. Uzorke je potrebno detaljno obilježiti po mjestu i vremenu uzimanja.

U toku korištenja pozajmišta, uzimaju se stalno uzorci za tekuća ispitivanja prirodne vlažnosti i sadržaja organskih tvari. Količina organskih tvari ne smije prijeći propisanu granicu.

Kod krupnozrnih tala potrebno je tekuće provjeravati granulometrijski sastav.

Povremeno se uzimaju uzorci za kontrolna ispitivanja u koja spadaju:

- granulometrijski sastav,
- Atterbergove granice plastičnosti,
- sadržaja organskih tvari i
- rezultati Proctorovog pokus (optimalna vlažnosti najveća, suha gustoća).

Ako se uoče promjene, potrebno je provjeriti i svojstva tla koja su služila za dobivanje projektnih parametara. Pri tekućim ispitivanjima osim vlage stalno je potrebno provjeravati sadržaj organskih sastojaka,

Valja imati na umu da je tlo prirodna tvorevina podložna promjenama svojstava u prostoru i vremenu.



Karl Terzaghi otac Mehanike tla

## 4 LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Laboratorijska se ispitivanja izvode prema unaprijed utvrđenom programu koji je sastavni dio programa istražnih radova, a dopunjuje se prilikom preuzimanja uzoraka u laboratoriju.

Laboratorijska ispitivanja mogu se podijeliti na nekoliko skupina. Prvu skupinu čine **ispitivanja na poremećenim uzorcima**. Tu spadaju sva ispitivanja za potrebe ugradnje zemljanih gradiva kao što su: razredbena ispitivanja, ispitivanja prirodne vlažnosti, organskih sastojaka i Proctorov pokus. Količinu organskih tvari nužno je odrediti jer su one štetne, ako se ugrade u nasipe. Prilikom iskorištavanja pozajmišta za nasipavanje, redovito se ispituje prirodna vlažnost. Prirodna vlažnost u pozajmištu se uspoređuje s optimalnom vlažnošću, dobivenom Proctorovim pokusom. Dopušteno odstupanje zadano je u projektu nasipa.

Rezultati razredbenih pokusa služe za svrstavanje tla u razredbene skupine.

**Zbijenost** se određuje pomoću standardiziranog standardnog i modificiranog Proctorovog pokusa. To je ključan pokus za utvrđivanje svojstava tla koja će biti ugrađena u nasute građevine. Temeljem ovog pokusa izrađuju se umjetni uzorci da bi se dobili parametri potrebni za projektiranje nasutih građevina.

Drugu skupinu čine **ispitivanja neporemećenih uzoraka**. Rezultati ispitivanja neporemećenih uzoraka su fizičko-mehanička svojstva tla. Koriste se za procjenu nosivost, slijeganja i čvrstoće na smicanje podtemelnog tla. To su ispitivanja kod kojih je bitno da uzorak, osim vlažnosti, ima onaj porozitet koji je imao u prirodi. Ispituju se deformacijska svojstva u edometru, čvrstoća na smicanje i vodopropusnost. Ova se ispitivanja mogu vršiti samo u namjenski dobro opremljenim geotehničkim laboratorijima.

**Određivanje prirodne vlažnosti**, vrlo važnog svojstva tla, može se ispitivati na svim uzorcima koji nakon trenutka vađenja **nisu izgubili vlagu** tj. nisu se osušili. Nije važno da li su poremećeni ili neporemećeni.

Treću skupinu čine **ispitivanja umjetnih uzoraka**. Oni služe za projektiranja nasipa. Umjetni se uzorci dobiju tako da se tlu od kojeg će se izvoditi nasip, odredi optimalna vlažnost. Zatim se s tom optimalnom vlažnošću zbiju u Proctorovom uređaju valjci tla iz kojih se uzimaju uzorci za ispitivanja na smicanje, stišljivost u edometru i vodopropusnost na isti način kako se to radi s neporemećenim uzorcima. Ova ispitivanja vrše se uglavnom kod projektiranja visokih nasipa i velikih brana.

Mogu se izvoditi kao i ispitivanja neporemećenih uzoraka u namjenskim laboratorijima. Nasipi manjih visina projektiraju se iskustveno, pomoću dijagrama i podataka iz literature, jer za takve građevine postoje u velikom broju provjerene, izvedene građevine.

Četvrtu skupinu čine **ispitivanja uzoraka stijene**. Rezultati ovih ispitivanja koriste se u klasifikaciji stjenske mase, za analize nagiba pokosa usjeka i zasjeka kao i nosivosti temelja građevina koje leže na stijenskoj podlozi. Ispitivanja se mogu vršiti samo u onim laboratorijima koja imaju vrlo složenu laboratorijsku opremu.

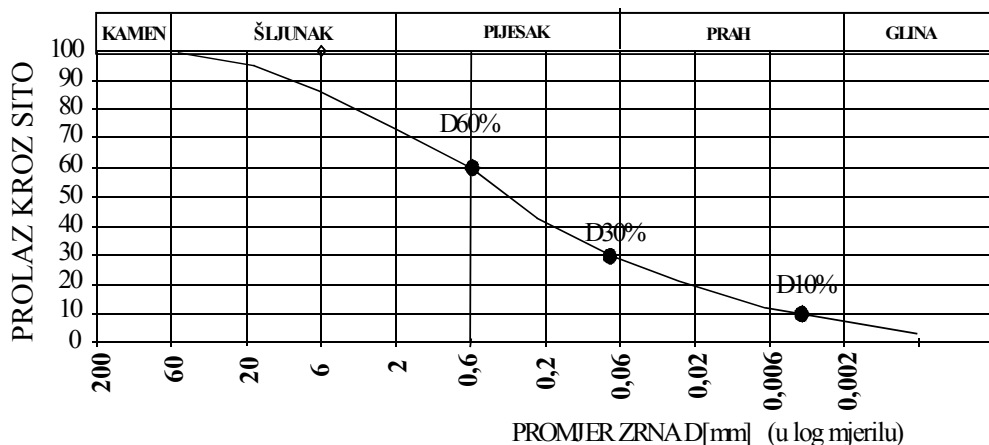
U nastavku će se opisati ona laboratorijska ispitivanja koja služe za razredbu i određivanje zbijenosti tla koja se koriste kao gradivo za nasipe.

#### 4.1 GRANULOMETRIJSKI SASTAV

Granulometrijski sastav tla prikazuje sadržaj čestica određene krupnoće u ukupnoj masi uzorka. Prikazuje se granulometrijskom krivuljom u polulogaritamskom mjerilu, kod kojeg je na osi apscisa promjer zrna  $D$  [mm] u logaritamskom mjerilu, a na osi ordinata prolaz kroz sito određenog otvora u postocima.

Ukoliko je tlo sastavljeno isključivo od krupnozrnatog tla (šljunka i pijeska), provodi se analiza sijanjem. Čista krupnozrna tla mogu se podvrgnuti suhom sijanju.

Sitnozrno tlo nije moguće sijati da bi se odredila krupnoća čestica, već se ona određuje temeljem određivanja promjene gustoće suspenzije uslijed taloženja čestica različitih promjera u vremenu, u poznatoj tekućini. Postupak se naziva hidrometrijska analiza ili areometriranje. U literaturi se ovaj postupak naziva i pokus taloženja (sedimentacije).



Slika 4.1 Granulometrijski dijagram sa svojstvenim točkama

Mješavine krupnozrnih i sitnozrnih čestica se moraju podvrgnuti mokrom sisanju da bi se isprale sitne čestice. Ako sitnih čestica ima u značajnoj količini, s njima se provodi hidrometrijska analiza. U tom slučaju se govori o kombiniranoj analizi u kojoj se u granulometrijskom dijagramu rezultat prikazuje jednom zajedničkom krivuljom na način da se krivulja sitnih čestica svede na dio (postotak) koji joj pripada u ukupnoj masi ispitanog uzorka i dočrta u pripadni dijagram.

#### 4.1.1 Svojstva granulometrijske krivulje

Pomoću svojstvenih točaka tj. promjera sita kroz kojeg prolazi određeni postotak zrna, određuju se svojstva granulometrijske krivulje. Ona se mogu izraziti pomoću efektivnog promjera zrna ( $D_{10}$ ), koeficijenta jednolikosti ( $C_u$ ) i koeficijenta zakrivljenosti ( $C_c$ ), koji se računaju iz promjera zrna:

$D_{10}$ , efektivni promjer zrna, promjer sita kroz kojeg prolazi posljednjih 10% (težinski) ispitanog uzorka.

$D_{30}$ ,  $D_{60}$ , promjer sita kroz koje prolazi 30% odnosno 60% ukupne količine uzorka.

Pomoću gornjih vrijednosti može se za svaku granulometrijsku krivulju odrediti:

$C_u = D_{60}/D_{10}$ , koeficijent nejednolikosti (jednolikosti);

$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$ , koeficijent zakrivljenosti (opisuje oblik krivulje).

Iz podataka granulometrijske krivulje može se približno odrediti koeficijent vodopropusnosti (Darcy-ev koeficijent prejeđivanja). Za čisti pijesak s manje od 5% čestica od 0,06 mm poznat je izraz od A. Hazena (1911.) za približno određivanje koeficijenta procjeđivanja kada nema boljih podataka:

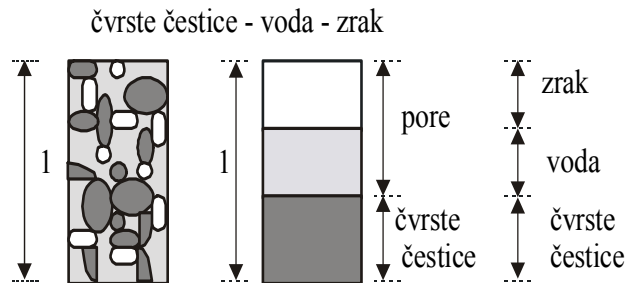
$$k [\text{cm/sek}] = C * [D_{10}[\text{mm}]]^2 \quad (4.1)$$

uz vrijednost parametra C iz jed. 4.1, između 0,4 i 1,2 ili prosječno 1,0.

Ovaj izraz vrijedi za granulometrijske krivulje koje imaju svojstvo da im je nominalni promjer zrna  $D_{10}$  između 0,1mm do 3,0mm i  $k \geq 10^{-3} \text{cm/s}$ . Nije preporučljivo osloniti se isključivo na ovakve podatke ako je procjeđivanje važno za predmetnu građevinu.

## 4.2 VLAŽNOST

Tlo je složeni sustav, koji se sastoji od čvrstih čestica i pora. Pore u tlu mogu biti djelomično ili potpuno ispunjene vodom. U prirodi su vrlo rijetka tla koja su potpuno suha tj. imaju samo zrak u porama. Stoga se govori o trodijelnom sustavu tla prikazanom na slici 4.2.



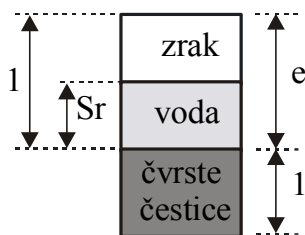
Slika 4.2 Tlo kao trodijelni sustav

Vlažnost tla  $w$ , je omjer mase vode u odnosu na masu čvrstih čestica, u promatranoj zapremini.

$$w = (m_w / m_{\text{čč}}) * 100[\%] \quad (4.2)$$

Izražava se u postocima [%]. Promjenjiva je i pri stalnoj zapremini, a što ovisi o stupnju zasićenja  $S_r$ . U slučaju potpuno zasićenog tla, vlažnost se može mijenjati samo kada dođe do promjene zapremine, a da tlo pri tom ostane potpuno zasićeno.

Prirodna vlažnost  $w_0$ , je ona vlažnost, koju tlo ima u prirodnom stanju. Određuje se u laboratoriju na uzorcima koji su tako pakovani da se nisu nimalo osušili u toku dopreme u laboratorij, ali ne moraju biti neporemećeni. Prirodna vlažnost određuje konzistentno stanje tla.



$$S_r = \frac{\text{zapremina vode}}{\text{zapremina pora}} = \frac{V_{\text{vode}}}{V_{\text{pora}}} [\%]$$

$$w = \frac{\text{težina vode}}{\text{težina čvrstih čestica}} = \frac{G_{\text{vode}}}{G_{\text{čč}}} * 100[\%]$$

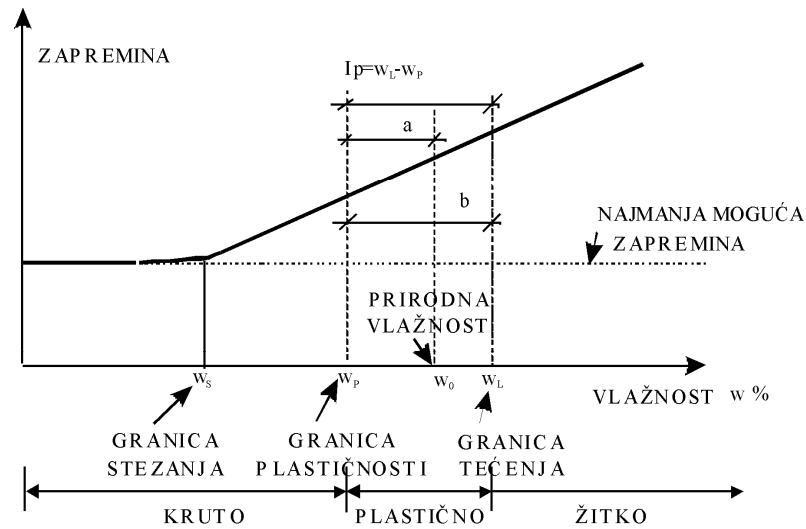
Slika 4.3 Pojam vlažnosti i stupnja zasićenja

Vlažnost se u laboratoriju određuje vaganjem vlažnog uzorka, sušenjem kroz 24 sata u laboratorijskom sušioniku na 105°C i vaganjem nakon sušenja. Razlika u težini prije i poslije sušenja je težina vode.

### 4.3 GRANICE PLASTIČNOSTI

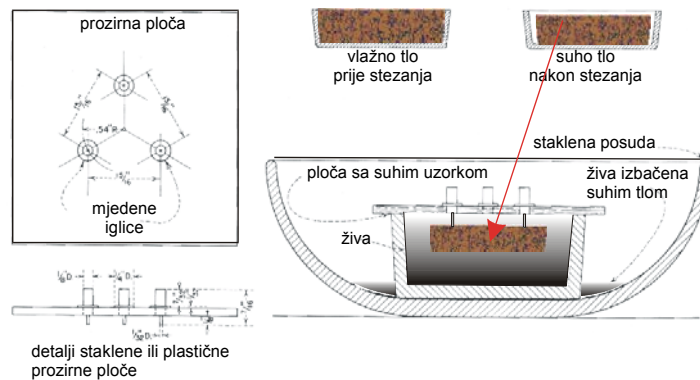
Granice plastičnosti ili Atterbergove granice su vlažnosti koje sitnozrno, koherentno tlo ima u trenutku kada se ponaša na dogovoreni (standardizirani) način. Pomoću njih se izvide indeksni pokazatelji. Za geotehničku praksu bitne su granica stezanja, plastičnosti i tečenja.

Granice plastičnosti mogu se prikazati na dijagramu koji na osi apscisa ima vlažnost, a na osi ordinata zapreminu uzorka:



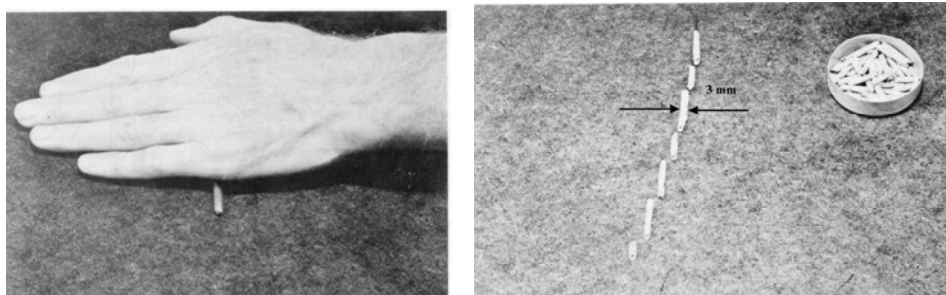
Slika 4.4 Promjena zapremine uslijed promjene vlažnosti tla

**Granica stezanja ( $w_s$ )** je ona vlažnost, sa smanjenjem koje, uzorak više ne gubi na zapremini. Zapremina  $V$ , određuje se uranjanjem u živu, uzorka osušenog do mjere kada ne smanjuje zapreminu, kako je prikazano na slici. Rijetko se ispituje.



Slika 4.5 Pribor za ispitivanje granice stezanja

**Granica plastičnosti  $w_p$** , je ona najniža vrijednost vlažnosti kod koje se valjčić uzorka tla promjera 3mm još može preoblikovati tako, da na površini ne nastanu pukotine. Standardno se ispituje za potrebe razredbe sitnozrnog tla.



Slika 4.6 Postupak određivanja granice plastičnosti (Earth manual, 1974.)

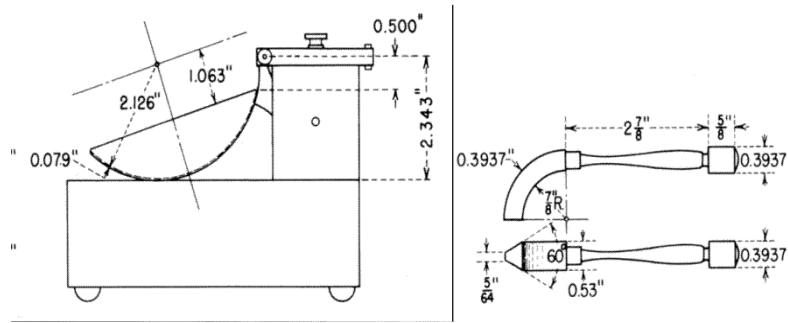
Nakon što se izradi nekoliko gore opisanih valjčića, odredi se vlažnost.

**Granica tečenja  $w_L$** , je ona najniža vrijednost vlažnosti kod koje se pri malom poremećaju tlo počne ponašati kao žitka masa ili vrlo gusta tekućina. Ispituje se u standardiziranom uređaju, Cassagrandeovoj treskalici, koja je prikazana na slici 4.8 i 4.9. U posudicu se stavi u nekoliko (četiri) navrata uzorak tla različite vlažnosti. Kroz uzorak se napravi zarez standardiziranim nožem. Broji se broj udaraca potreban da se zarez spoji na dužini od 1cm. Povećanjem vlažnosti potrebni broj udaraca se smanjuje. Prema standardu, vlažnost na granici tečenja je ona koju uzorak ima kada se zarez spoji nakon 25 udaraca. Rezultat se očitava grafički s pripadnog dijagrama.

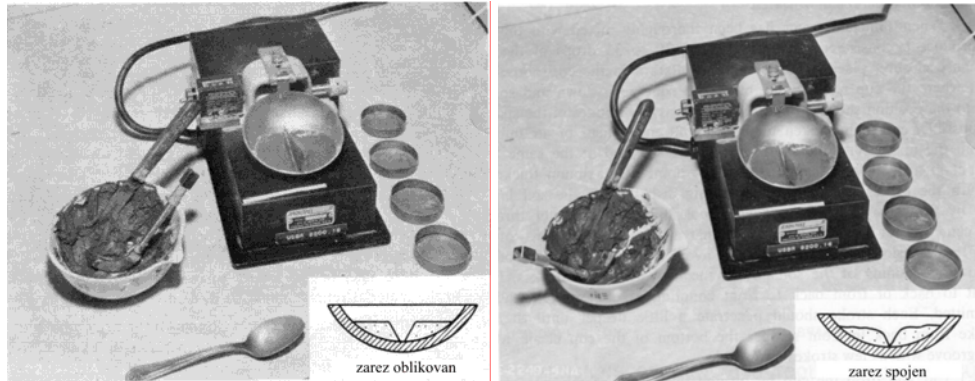


Slika 4.7 Pribor za ispitivanje granice tečenja



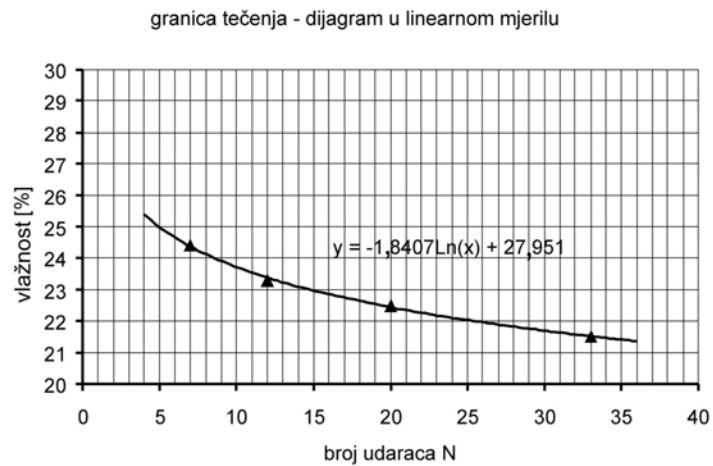


Slika 4.8 Shema Cassagrandeove treskalice i noža za izradu žlijeba u uzorku

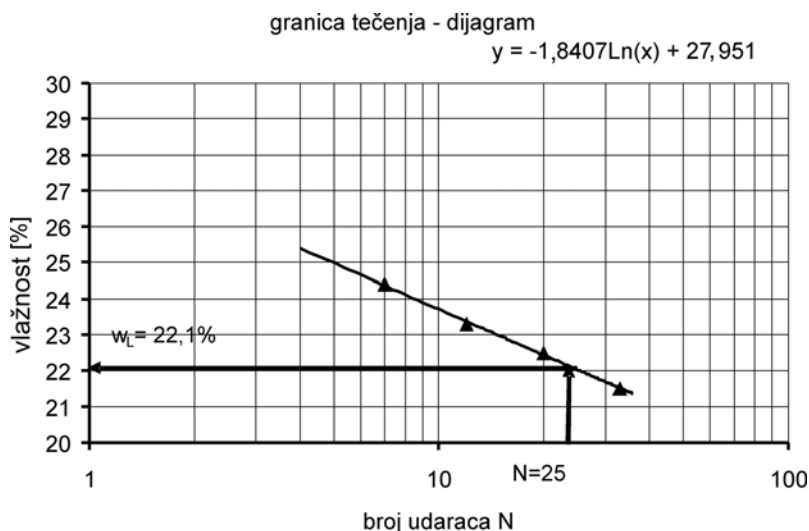


Slika 4.9 Treskalica s uzorkom prije i nakon potresanja

Rezultati su podložni slobodnoj procjeni osoblja u laboratoriju, te ih valja pomno analizirati. Nastavno (slika 4.10) su prikazani dijagrami s pripadnim rezultatima i način određivanja vlažnosti na granici tečenja.



Slika 4.10 Određivanje vlažnosti pri 25 udaraca Cassagrandeove treskalice



Slika 4.10 Određivanje vlažnosti pri 25 udaraca u treskalici (nastavak)

Da bi se skratio postupak može se provesti ispitivanje pomoću jedne točke. Pri tom je poželjno da vlažnost bude što bliže granici tečenja. Ovo izlazi iz spoznaje da je prikaz granice tečenja u polu logaritamskom mjerilu pravac koji se može izraziti jednadžbom:

$$w = a * N^{-tg\beta} \quad (4.3)$$

Pri tom je  $a$ , parametar ovisan o plastičnosti gline, a  $tg\beta$ , konstanta ovisna o razini granice tečenja.

Određivanje granice tečenja metodom jedne točke prema Head-u (1984.) priznato je u njemačkim, britanskim i francuskim standardima, a izražava se jednadžbom:

$$w_1 = w_N * \left[ \frac{N}{25} \right]^{tg\beta} \quad (4.4)$$

gdje je  $N$ , broj udaraca treskalice pri vlažnosti  $w_N$ ;  $w_N$  vlažnost pri  $N$  udaraca;  $tg\beta$ , eksponent, – konstanta.

Prosječna vrijednost eksponenta je  $tg\beta=0,121$  uz preporuku da se za tlo s  $w_L > 60\%$  koristi  $tg\beta=0,1$ , a za tla s  $w_L < 40\%$ ,  $tg\beta=0,14$ . Prema analizama hrvatskih gline, vrijednost parametra  $tg\beta$  iznosi između 0,065 i 0,09 (Roje-Bonacci, 1993.)

Unutar dviju granica plastičnosti tlo se ponaša na određeni način, tj. ima određeno **konzistentno stanje**. Pod konzistentnim stanjem podrazumijeva se gnječivost tla u prirodnom stanju tj. s prirodnom vlažnosti  $w_0$ . Odnosi prirodne vlage u tlu i granica plastičnosti služe za kvalitativan opis konzistentnog stanja tla.

Konzistentno stanje može biti:

čvrsto – od potpuno suhog do granice stezanja, ako se prilikom gnječenja raspada u sitnije grudice ili se uopće ne da zdrobiti;

polučvrsto – vlažnost od granice stezanja do granice plastičnosti, tlo se daje pregnječiti, ali se na njemu stvaraju pukotine koje se ne mogu ponovo slijepiti;

teško gnječivo – vlažnost iznad granice plastičnosti ali bliže njoj, tlo se daje pregnječiti i ponovo oblikovati;

lako gnječivo – vlažnost ispod granice tečenja ali bliže njoj, tlo se vrlo lako može oblikovati ali još uvijek zadržava oblik;

žitko – vlažnost iznad granice tečenja, tlo se ponaša kao gusta tekućina.

#### 4.3.1 Indeksni pokazatelji

Temeljem granica plastičnosti mogu se odrediti indeksni pokazatelji. Može se odrediti:

- indeks plastičnosti,  $I_p = w_L - w_p$ ;

To je raspon vlažnosti unutar koje se tlo ponaša kao plastična tvar. Pomoću njega se mogu uspoređivati tla koji imaju istu granicu tečenja. Veći indeks plastičnosti ukazuje na veću žilavost i veću suhu čvrstoću materijala. Ovo su osobine tala s većim kohezijama.

- indeks konzistencije,  $I_c = \frac{w_L - w_0}{I_p}$

To je odnos razlike granice tečenja i prirodne vlažnosti prema indeksu plastičnosti. Kada je jednak nuli, tlo je u prirodnom stanju na granici tečenja, kada je jednak 1, tlo je u prirodnom stanju na granici plastičnosti.

- indeks tečenja,  $I_t = \frac{w_0 - w_p}{I_p}$

gdje je  $w_0$ , sadržaj vlage tla u prirodnom stanju.

Indeks tečenja ima vrijednost od 0 za tlo sa vlažnošću na granici plastičnosti, do 1 za tlo sa vlažnošću na granici tečenja. Za izrazito suho tlo on može biti  $I_t < 0$  (negativan), a za tlo sa prirodnom vlažnošću  $w > w_L$ , može biti  $I_t > 1$ . Tla s prirodnom vlažnošću  $w_0 > w_L$  su rijetka.

Za određivanje ovih granica postoje standardizirani postupci koji su obavezni za primjenu u laboratorijima.

#### 4.4 RELATIVNA GUSTOĆA

Relativna gustoća je mjera za ocjenu kakvoće krupnozrnog tla. O njoj ovise mehanička svojstva krupnozrnih tala mnogo više nego o vlažnosti. Pri tom se podrazumijeva da se radi o tlima koja imaju manje od 15% čestica promjera manjeg od 0,06mm. Relativna gustoća je određena izrazom:

$$D_r = \frac{e_{\text{maks}} - e}{e_{\text{maks}} - e_{\text{min}}} \quad (4.5)$$

Odnosno preko gustoća,

$$D_r = \frac{\rho_{d_{\text{maks}}} \rho_d - \rho_{d_{\text{min}}}}{\rho_d \rho_{d_{\text{maks}}} - \rho_{d_{\text{min}}}} \quad (4.6)$$

Vrijednosti koeficijenata pora  $e_{\text{max}}$  i  $e_{\text{min}}$  se određuju standardiziranim postupcima u laboratoriju. To su dogovorene vrijednosti. Pri tom najveća i najmanja suha gustoća  $\rho_{d_{\text{max}}}$  i  $\rho_{d_{\text{min}}}$ , odgovaraju najmanjem odnosno najvećem porozitetu,  $e_{\text{min}}$  i  $e_{\text{maks}}$ . Koeficijent pore  $e$ , i suha gustoća  $\rho_d$ , su vrijednosti za tlo u prirodnom ili ugrađenom stanju. Kako je suhu gustoću  $\rho_d$ , moguće provjeravati, to se relativna gustoća može koristiti u provjeri kakvoće ugrađenog krupnozrnog tla.

**Najmanji porozitet**  $e_{\text{min}}$  određuje se vibriranje osušenog pijeska u valjkastom kalupu na vibro-stolu 10 min pri frekvenciji od 50 do 60 Hz, pod opterećenjem utega od 12,5 N, koje se prenosi preko krute ploče na površinu; pokus se ponavlja dok gustoće ne variraju unutar 2% (ASTM D4254).

**Najveći porozitet**  $e_{\text{maks}}$ , određuje se u laboratoriju sipanjem osušenog pijeska u posudu poznate zapremine, kroz lijevak donjeg otvora promjera 1,3cm s visinom pada pijeska od oko 1,3cm; pokus ponoviti 3 puta (ASTM D4253).

Relativna gustoća  $D_r$  (indeks gustoće  $I_D$ ) na terenu, može se odrediti ispitivanjem statičkim penetrometrom. Za to postoji niz empirijskih jednadžbi koje se uobičajeno koriste. Daljnjim istraživanjem pokazalo se da ovi odnosi nisu tako jednostavni i da osim o efektivnim naprezanjima na dubini mjerenja, ovise i o nizu drugih čimbenika. (Lunne i dr. 2002.)

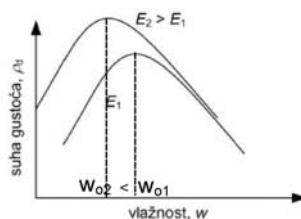
Ispitivanja su pokazala da je najveća suha gustoća dobivena modificiranim Proctorovim pokusom približno jednaka najvećoj suhoj gustoći dobivenoj u laboratoriju standardiziranim postupkom. Modificirani Proctorov pokus je i nastao iz potrebe zbijanja krupnozrnog tla za koje standardni Proctorov pokus nije imao dovoljnu energiju.

## 4.5 PROCTOROV POKUS

Ovo je pokus ključan za određivanje svojstava tla koje će biti ugrađeno u nasutu građevinu. Temelji se na određivanju *zbijenosti* u određenim uvjetima. Prije 1920. godine, ugradnja sitnozrnog tla temeljila se na iskustvu. Proctor (1933.) je utvrdio da zbijenost tla ovisi o energiji zbijanja i vlažnosti tla. Uočio je da postoji vlažnost koja, za određenu energiju zbijanja, daje najveću moguću suhu gustoću tla, najveću moguću zbijenost. Tu je vlažnost nazvao „*optimalna vlažnost*“. Predložio je uređaj kojim se ispituje utjecaj tih dvaju parametara. Kao standardnu energiju zbijanja u laboratoriju izabrao je onu koja je bila usporediva energiji koju su građevinski valjci početka dvadesetog stoljeća mogli unijeti u tlo. Tako je nastao standardni Proctorov pokus. Kasnijim povećanjem strojeva za ugradnju i zbijanje tla na terenu, američko udruženje za ceste (AASHTO) oko 1950, uvelo je modificirani Proctorov pokus kao pogodniji za tada modernu tehnologiju ugradnje tla pri izgradnji autocesta. U tom pokusu energija zbijanja povećana je približno 4,5 puta u odnosu na onu iz standardnog pokusa. Za ovaj pokus nisu potrebni neporemećeni uzorci tla.

Pri razmatranju rezultata Proctorovog pokusa uočene su dvije činjenice:

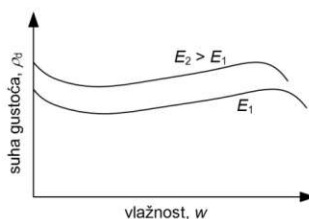
- povećanjem energije zbijanja opada vrijednosti optimalne vlažnosti;



Slika 4.11 Promjena optimalne vlažnosti pri različitim energijama zbijanja za istu vrstu tla (Schroeder, 1975.)

- nekoherentna tla pokazuju sasvim različito ponašanje od koherentnih, mnogo manje njihova zbijenost ovisi o vlažnosti.

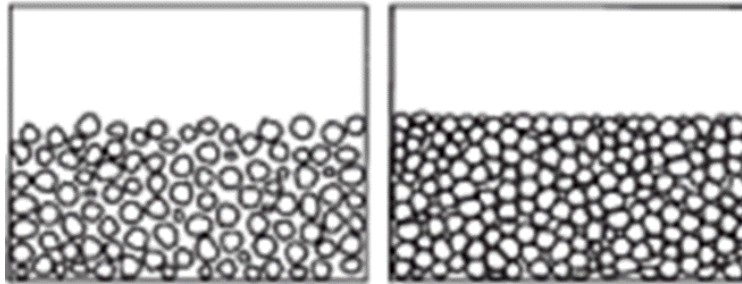
Shematski su rezultati prikazani na crtežu, slika 4.12:



Slika 4.12 Ponašanje krupnozrnog tla pri promjeni vlažnosti i zbijanju s različitim energijama (Schroeder, 1975.)

### 4.5.1 Zbijenost

Zbijenost je pojam usko povezan s gustoćom tla. Opisno označava relativni odnos zapremine čvrstih čestica u zapremini tla. Zbijenije tlo je ono koje ima veći postotak čvrstih čestica u jediničnoj zapremini tla. Jasnije je zbijenost tla opisati u relativnom odnosu prema nekoj referentnoj gustoći tog tla. Kao referentnu gustoću treba izabrati onu koja se jednostavno može postići radom nekih uobičajenih strojeva i jednostavnim postupcima na terenu. Krutost, čvrstoća, a u manjoj mjeri i vododrživost, rastu s porastom zbijenosti tla.

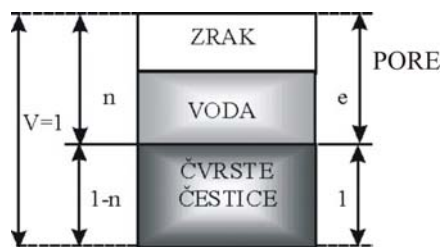


Slika 4.13 Rahlo, slabo nosivo tlo , lijevo i zbijeno, dobro nosivo tlo, desno

Učinak zbijanja tla ovisi o **količini energije** koja je uložena u to zbijanje. Energija se može uložiti **nabijanjem, gnječenjem, pritiskom ili vibriranjem**. Dok je nabijanje, gnječenje i pritisak učinkovit postupak za sitnozrna tla, gnječenje i pritisak gotovo nema učinka za krupnozrna tla.

**Za krupnozrna tla najučinkovitiji postupak zbijanja je vibriranje**, a manje nabijanje. U slučaju da se zbijanje postiže slobodnim padom nekog malja-utega, uložena energija zbijanja jednaka je umnošku visine pada i težine malja. Za ostale vidove zbijanja, energiju koja je utrošena na zbijanje nije jednostavno odrediti.

Pojmovi vezani za zbijenost objašnjeni su na jediničnom modelu trodjelnog sustava tla.



Slika 4.14 Model trodjelnog sustava tla

S oznakama na slici 4.14 mogu se izraziti odnosi pora i čvrstih čestica kao:

$$n = \frac{\text{zapremina pora}}{\text{ukupna zapremina}} * 100[\%] \quad (4.7)$$

$$e = \frac{\text{zapremina pora}}{\text{zapremina čvrstih čestica}} * 100[\%] \quad (4.8)$$

$$Sr = \frac{\text{zapremina vode}}{\text{zapremina pora}} = \frac{V_{\text{vode}}}{V_{\text{pora}}} [\%] \quad (4.9)$$

Pri čemu se „n“ naziva apsolutni porozitet ili samo porozitet, a „e“ relativni porozitet ili koeficijent pora.

#### 4.5.2 Gustoća tla

Gustoća tla, osim o postotku čvrstih čestica ovisi i o vlažnosti tla. Vlažnost tla mijenja se ovisno o ispunjenosti pora vodom. Ova ispunjenost pora vodom određuju se kao *stupanj zasićenja* “Sr”.

Pomoću poroziteta “n” i stupnja zasićenja “Sr” mogu se odrediti gustoće tla:

- gustoća vlažnog tla ( $0 < Sr < 1$ ):

$$\rho = (1-n) * \rho_s + n * Sr * \rho_w;$$

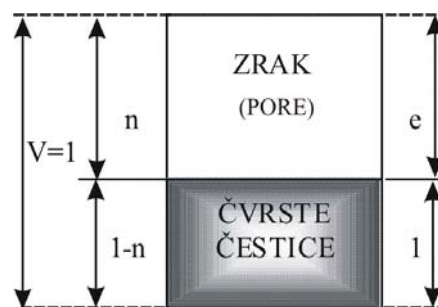
- gustoća suhog tla ( $Sr=0$ ):

$$\rho_d = (1-n) * \rho_s$$

- gustoća potpuno zasićenog tla ( $Sr=1$ ):

$$\rho_{\text{sat}} = (1-n) * \rho_s + n * \rho_w$$

$\rho_s \rightarrow$  gustoća čvrstih čestica,  $\rho_w \rightarrow$  gustoća vode



Za određivanje zbijenosti tla bitna je **suha gustoća**  $\rho_d$ , jer ona uopće ne ovisi o vlažnosti. Određena je kao masa čvrstih čestica u jediničnoj zapremini. Zbijenost je to veća što je suha gustoća veća. Suha gustoća tla je ovisna isključivo o porozitetu. Sve druge gustoće ovise o vlažnosti.

**Suha gustoća tla** može se izraziti pomoću parametara odnosa zapremina, vlažnosti, zasićenosti i td. na razne načine, na primjer kao:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = 1 + \frac{\rho}{1+w} \quad (4.10)$$

gdje su:  $m_s$  masa čvrstih čestica;  $V$ , zapremina uzorka tla;  $\rho = m/V$ , gustoća uzorka;  $w = m_w/m_s$ , vlažnost uzorka tla (kao omjer, a ne postotak),  $m = m_s + m_w$ ,  $m$ , masa uzorka;  $m_w$ , masa vode u uzorku.

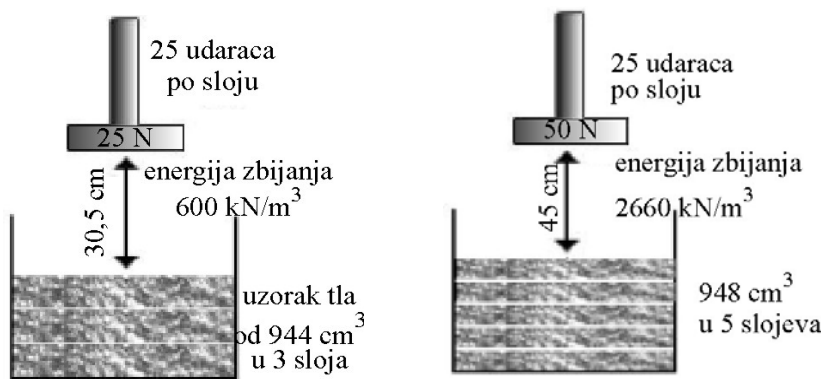
$$\rho_d = \frac{G_s S_r}{S_r + w G_s} \rho_w \quad (4.11)$$

$G_s = \rho_s / \rho_w$  je relativna gustoća čvrstih čestica (specifična težina);  $S_r = V_w / V_p$  je stupanj zasićenosti (kao omjer, a ne postotak);  $V_w$ , zapremine vode;  $V_p$  zapremina pora u uzorku.

Za brzo određivanje suhe gustoće pogodan je izraz (4.10) zbog jednostavno mjerljive gustoće i vlažnosti tla.

### 4.5.3 Izvođenje pokusa

U standardnom kao i u modificiranom Proctorovom pokusu, tlo određene vlažnosti ugrađuje se zbijanjem u slojevima u cilindrični kalup unutrašnjeg promjera 10,2cm, visine 11,75cm i zapremine 944 cm<sup>3</sup>. Zbija se pomoću određenog broja udaraca slobodno padajućeg bata promjera 5,1cm, zadane mase, sa zadane visine. Zbijanje se ponavlja za svaki sloj.



Slika 4.15 Proctorov pokus, lijevo standardni, desno modificirani

Tako zbijenom uzorku tla se odredi suha gustoća  $\rho_d$ . Pokus se ponavlja nekoliko puta pri različitim vlažnostima tla  $w$ , da bi se dobio utjecaj vlažnosti na veličinu suhe gustoće zbijenog tla, kao mjere zbijenosti. Vrijedi za tlo s najvećim promjerom zrna  $d \leq 8\text{mm}$ .

Postoji još nekoliko varijanti pokusa zbijanjem prema AASHTO standardu, koji vezuje zapreminu posude i promjer najvećeg zrna. Služe za zbijanje tla s bitno većim promjerom najvećeg zrna.

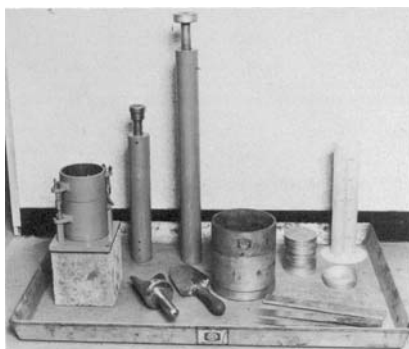
Osnovna svojstva standardnog i modificiranog Proctorovog pokusa prikazana su u tabeli 4.1.



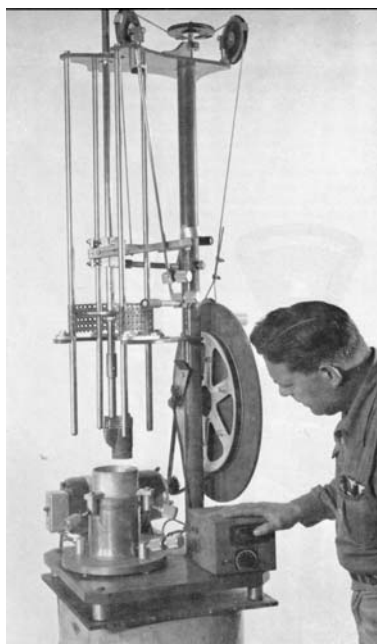
Tabela 4.1 Usporedba veličina standardnog i modificiranog Proctorovog pokusa

pokus	broj slojeva	masa bata [kg]	visina pada bata [m]	broj udaraca po sloju	ukupna energija [kJ/m <sup>3</sup> ]	standard
standardni	3	2,49	0,305	25	592,7	ASTM D698 (1980)
modificirani	5	4,54	0,457	25	2693	ASTM D1557 (1980)

Pokus se u laboratoriju izvodi strojno.



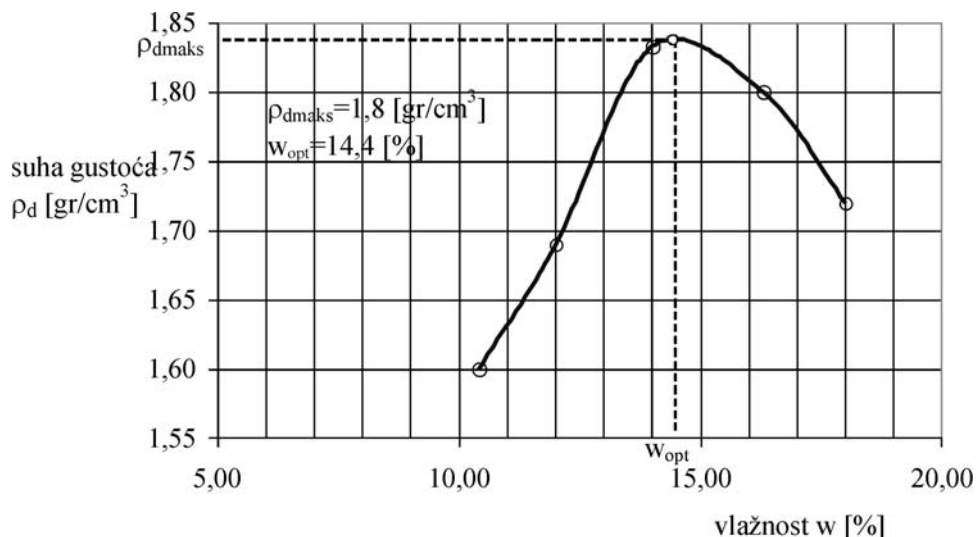
Slika 4.16 Proctorov ručni nabijač i oprema, pogodna za rad na terenu (Head, 1984.)



Slika 4.17 Proctorov mehanički nabijač (Earth Manual, 1998.)

Pri provedbi oba Proctorova pokusa, standardnog ili modificiranog, izvodi se pet pokusa zbijanja pri različitim vlažnostima, približno pri vlažnostima  $w_{opt}-4\%$ ,  $w_{opt}-2\%$ ,  $w_{opt}+2\%$ , i  $w_{opt}+4\%$ .

Rezultati pokusa prikazuju se grafički.



Slika 4.18 Rezultat Proctorovog pokusa s određenom optimalnom vlažnosti i najvećom suhom gustoćom

Optimalna vlažnost i suha gustoća su bitna svojstva tla kada ono služi kao gradivo.

**Optimalna vlažnost** je veličina koja se **stalno provjerava u razastrtom sloju** prije zbijanja, jer ona osigurava postizanje maksimalno moguće zbijenosti za upotrijebljenu energiju zbijanja.

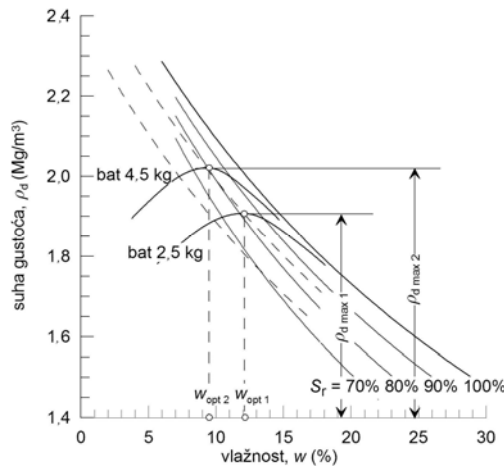
**Suha gustoća stalno se provjerava nakon zbijanja**, jer ona pokazuje zbijenost ugrađenog tla. **To je mjera kakvoće**, koja mora zadovoljiti zahtjeve iz tehničkih uvjeta ugradnje tla u nasip.

#### 4.5.4 Komentar uz Proctorov pokus

Različite vrste tla, očekivano, pokazuju različite rezultate Proctorovog pokusa, Slika 4.19 shematski prikazuje rezultate standardnog i modificiranog pokusa za tla s istom gustoćom čvrstih čestica.

Za slučaj sa slike se može uočiti, da optimalna vlažnost slijedi stupanj zasićenosti  $S_r$ , od približno 80%. Razlika u suhoj prostornoj težini za ovaj primjer je oko  $0,11 \text{ Mg/m}^3$ , a vlažnosti oko 1,4 %.

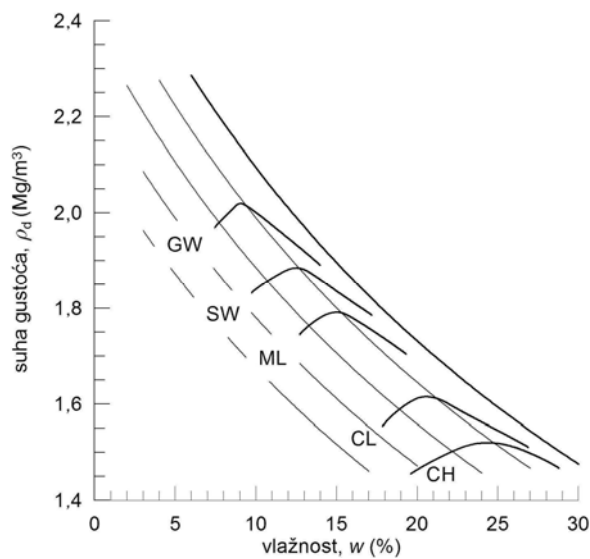
Oblik krivulja pokazuje da se s povećanjem vlažnosti preko optimalne, krivulja zbijenosti asimptotski približava krivulji za  $S_r=100\%$ , ali je nikada ne dotiče. Znači da zbijanjem nije moguće istisnuti sav zrak iz uzorka.



Slika 4.19 Rezultati standardnog i modificiranog proctorovog pokusa za isto tlo s

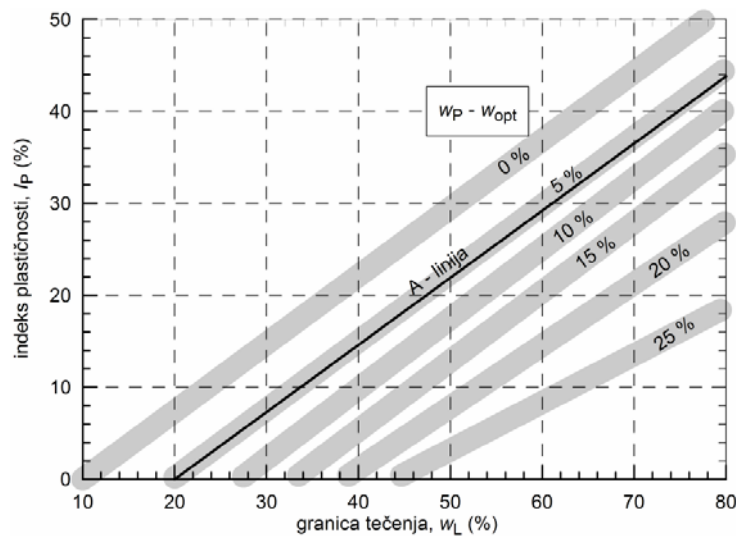
$$G_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

Za poznatu vrijednosti  $G_s$  moguće je iz jednadžbe ovisnosti suhe gustoće  $\rho_d$ , o stupnju zasićenja  $S_r$  i vlažnosti  $w$ , odrediti krivulju ovisnosti određenog postotka zasićenja  $S_r$  i suhe gustoće, kao i krivulju potpunog zasićenja, kako je to prikazano na slici 4.20.

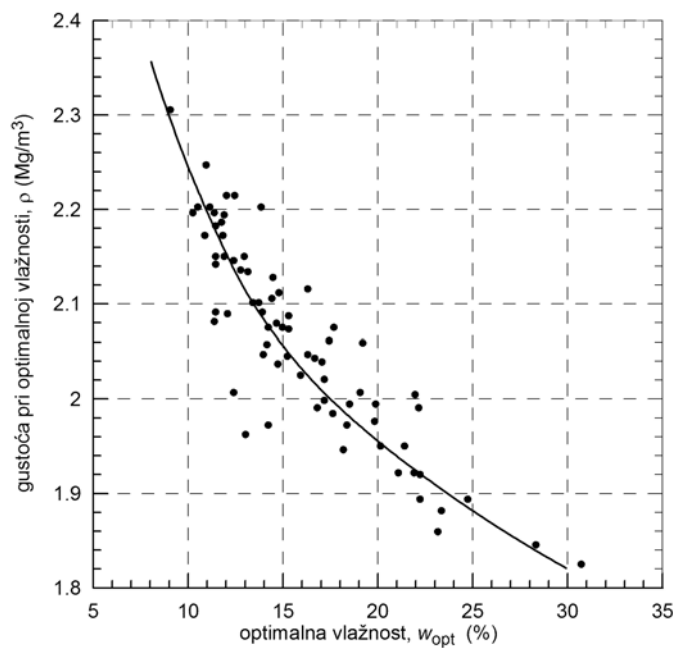


Slika 4.20 Rezultati Proctorovog pokusa za razne vrste sitnozrnih tala s istom gustoćom čvrstih čestica  $G_s = 2,65 \text{ Mg/m}^3$  ( $\rho_d = (1-n) G_s$ )

U literaturi (Schroeder i sur. 2004.) postoje podaci koji omogućuju približno odrediti početnu vrijednost vlažnosti pri Proctorovom pokusu, što smanjuje početna lutanja. U nastavku je dan dijagram razlika između granice plastičnosti i optimalne vlažnosti ( $w_p - w_{opt}$ ).



Slika 4.21 Razlika između vlažnosti na granici plastičnosti i optimalne vlažnosti za Proctorov pokus u sitnozrnim tlima (Schroeder i sur. 2004.)



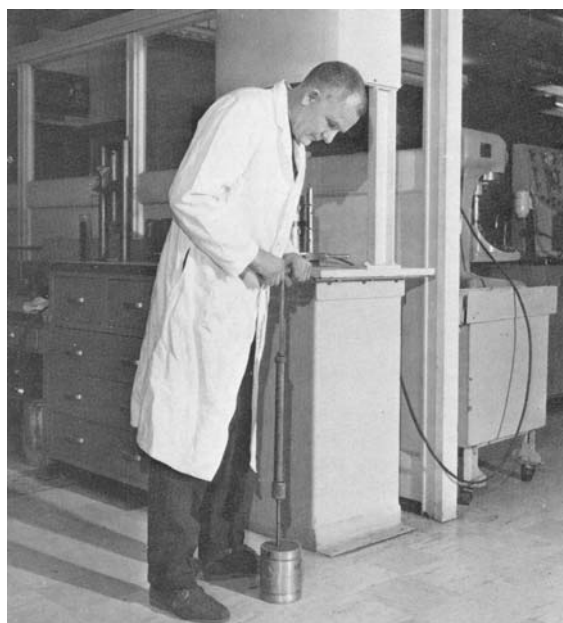
Slika 4.22 Odnos najveće suhe gustoće i optimalne vlažnosti, pri standardnom Proctorovom pokusu za razne vrste sitnozrnih tala (Schroeder i sur. 2004.)

#### 4.5.5 Proctorova igla ili Proctorov penetrometar

To je uređaj kojim se određuje čvrstoća uzorka sitnozrnog tla zbijanog po Proctorovoj proceduri. Čvrstoća se određuje zabijanjem uređaja u uzorak određene vlažnosti nakon zbijanja. Na taj se način dobije veza vlažnosti i otpora (čvrstoće) pri utiskivanju Proctorove igle

Uređaj se sastoji od niza „igala“ površine izražene u  $\text{cm}^2$  ksko slijedi: 6,45; 4,84; 3,22; 2,15; 1,29; 0,65; 0,32; 0,22 i 0,16, koje se postavljaju na vrh šipke. Šipka sadrži uređaj (kalibriranu oprugu) pomoću kojeg se očitava sila potrebna da se igla utisne u dubinu od najmanje 8 cm brzinom od 1,7cm (0,5 inča) u sekundi.

Postupak se mora ponoviti najmanje tri puta. Za vrijednost sile uzima se prosjek iz tri mjerenja. Otpor prodiranja, čvrstoća, se računa tako da se izračunata prosječna sila podijeli s poznatom površinom upotrebijene igle. Rezultati se mogu prikazati krivuljom veze vlažnosti i čvrstoće. Za krivulju je potrebno imati najmanje tri mjerenja s različitim vlažnostima.



Slika 4.23 Položaj ispitivača i posude pri pokusu Proctorovm iglom (Earth Manual 1974.)

Nakon kalibracije na oglednom uzorku (s optimalnom vlažnošću) ispitanom u laboratoriju, koristi se za brzu provjetu zbijenosti ugrađenog sloja na terenu. Rezultat se dobiva odmah. Nije potrebno čekati laboratorijske rezultate da bi se dozvolio nastavak rada.

#### 4.5.6 CBR pokus

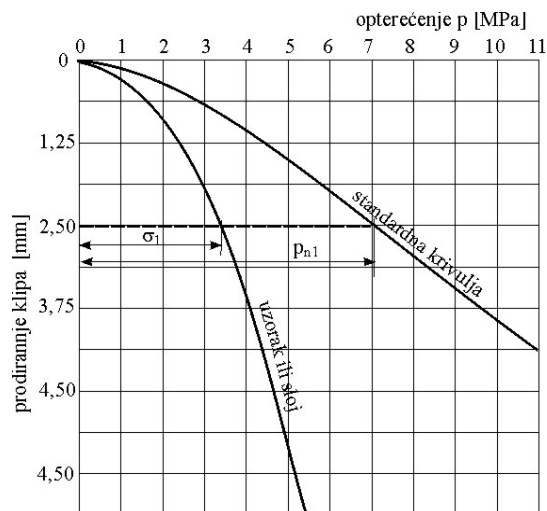
CBR pokus (kalifornijski indeks nosivosti), određen je detaljno normom HRN U.B1.042. EUROCODE 7, (EN 1997-2:2007 (E), dio 2. u točki 5.10.3 spominje CBR pokus kao jedan od pokusa za provjeru zbijenosti tla. Navodi da se rezultati prikazuju zajedno s granulometrijskom krivuljom. Prema EUROCODE 7 to može biti temeljni parametar za projektiranje savitljivih kolnika. (Nema detaljnog opisa postupka).

Služi za ocjenu nosivosti (krutosti) krupnozrnog tla (do 16mm promjera) i tla stabiliziranog vezivima. Predstavlja odnos između pritiska  $p$ , potrebnog da klip kružnog poprečnog presjeka površine  $19,4\text{cm}^2$  utisne u tlo do dubine od 2,45mm (1 inč), brzinom od 1,27 mm/min, i standardnog pritiska  $p_n$ , koji je potreban da se isti klip, istom brzinom utisne do iste dubine u standardno zbijeno krupnozrno tlo ili zbijeno stabilizirano tlo. Prvenstveno je namijenjen ispitivanju posteljice (podloge u kolničkoj konstrukciji) kod dimenzioniranja savitljivih (asfaltnih) zastora, a koristi se i za ispitivanje stabiliziranog tla općenito.

Kalup je zapremine  $2305\text{ cm}^3$ . Sijanjem uzorka ograničava se najveće zrno na promjer  $d \leq 20\text{ mm}$ . Uzorak se zbjija uz optimalnu vlažnost. Pokus se radi s dvije energije zbijanja,  $530\text{ kNm/m}^3$  za 5 slojeva i padom bata s visine od 7cm i 25 udaraca po sloju i  $2430\text{ kNm/m}^3$  za 55 udaraca po sloju. Nakon zbijanja uzorak se zasiti vodom i ostavi da se vlaga jednoliko rasporedi.

U tako pripremljen uzorak utiskuje se klip kako je gore navedeno.

Rezultati se prikazuju u dijagramu opterećenje  $p$  [MPa], prodiranje klipa [mm].



Slika 4.24 Dijagram za CBR pokus

Na pravcu se određuju vrijednosti pritiska  $\sigma_{1,2}$  za prodiranje klipa od 2,5 mm i 5mm.

Iz tako dobivenih podataka se određuje CBR:

$$CBR_1 = \frac{\sigma_1}{p_{n1}} * 100 (\%); \quad CBR_2 = \frac{\sigma_2}{p_{n2}} * 100 (\%);$$

Gdje su  $p_{1n}$  i  $p_{2n}$  vrijednosti pritiska sa standardne krivulje za tražena utiskivanja klipa od 2,5 mm i 5 mm, a iznose:  $p_{1n} = 7\text{MPa}$ ;  $p_{2n} = 10,5\text{MPa}$ .

Na terenu se provjerava vrijednost CBR [%], na slijedeći način:

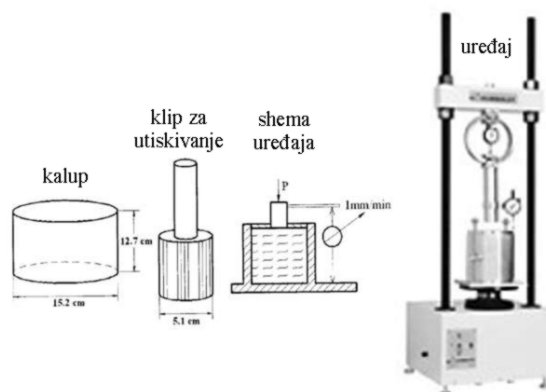
$$CBR = \frac{p}{p_s} * 100 \quad (4.12)$$

Gdje je  $p$  vrijednost otpora mjerena na terenu (u jedinicama naprezanja) a  $p_s$  pritisak koji pruža standardno tlo za istu dubinu utiskivanja standardiziranog klipa. Rezultati se mogu prikazivati grafički tako što je na apscisi dubina utiskivanja a na ordinati odgovarajući pritisak

Tabela 4.2 Orientacione vrijednosti CBR –a prema vrstama tla

vrsta tla	min CBR [%]
sitnozrno tlo	5-7
pijesak	8-12
šljunak	$\geq 15$

Izvodi se u laboratoriju i na terenu.



Slika 4.25 Oprema za CBR pokus u laboratoriju



Slika 4.26 Oprema za CBR pokus na terenu

Detalji ispitivanja dani su u pripadnoj normi.



## 5 GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE

U geotehničkom izvješću prikazuju se rezultati svih istražnih radova. Eurocode 7 u poglavlju 3 govori o geotehničkim podacima koji se dobiju geotehničkim istraživanjima. Stavak 3.4 nosi naziv „Izvještaj o istraživanju temeljnog tla“. Prema točki 3.4.1 Zahtjevi, u stavku (3) stoji:

„Izvještaj o istraživanju temeljnoga tla obično treba sadržavati:

- prikaz svih raspoloživih geotehničkih podataka, uključujući geološka obilježja i važne podatke;
- geotehničko ocjenjivanje podataka, uz navođenje pretpostavki za tumačenje rezultata ispitivanja.

Podatke se smije prikazati u jednom izvještaju ili u odvojenim dijelovima.“

U točki 3.4.2 Prikaz geotehničkih podataka, detaljno je opisano što sve mora sadržavati takvo izvješće.

Gotovo istovjetan tekst nalazi se u Eurocode 7 dio2., koji opisuje istražne radove, u poglavlju 6. koje također nosi naziv „Izvještaj o istraživanju temeljnog tla“.

Trenutkom stupanja Eurocode 7 na snagu kao važećeg propisa u Hrvatskoj, morati će se svi navedeni zahtjevi uvažavati.

Geotehničko izvješće se sastoji od tekstualnog dijela, u kojem se opisuju svi izvršeni istražni radovi, grafičkog dijela, u kojem su svi potrebni grafički prilozi i laboratorijskog dijela, u kojem su prikazani i obrađeni rezultati svih laboratorijskih ispitivanja. Kod složenih i obimnih istražnih radova s mnogobrojnim laboratorijskim pokusima, u poglavlju o laboratorijskim rezultatima daje se tabelarni prikaz tih rezultata po bušotinama i po dubinama u svakoj bušotini. To znatno olakšava snalaženje u podacima i njihovu obradu. Projektni parametri, koji će se koristiti u proračunima, dobivaju se statističkom obradom podataka. Ova se obrada može priložiti geotehničkom izvješću ili će biti sastavni dio geotehničkog projekta građevine za koju su istražni radovi rađeni.

Određeni izvedeni terenski istražni radovi kao na pr. statičke penetracije, probna ploča, krilna sonda i sl., prilažu se kao zasebna poglavlja.

Opseg izvješća ovisi o razini projekta za koji je rađen. U izvješću na razini studije odnosno idejnog projekta najvjerojatnije će izostati laboratorijski dio.

U tekstualnom dijelu opsežnijih elaborata mora se dati i poglavlje o geološkim, inženjersko-geološkim i hidrogeološkim značajkama lokacije.

Pijezometri koji se opažaju duže vrijeme zahtijevaju izradu izvješća u određenim vremenskim razmacima. Razina podzemne vode obavezno se bilježi na kraju izvedbe bušotine i po završetku svih radova na lokaciji. Ovi se podaci s datumom opažanja unose u sondažni profil.

U tekstualnom dijelu osim opisa istražnih radova mogu se dati globalne analize stabilnosti po inženjersko-geološkim blokovima, ako su izdvojeni i po visinama zasjeka za koje je analizu potrebno provesti, prijedlozi temeljenja za pojedine građevine, ali samo u jednostavnim slučajevima i slični jednostavni geotehnički proračuni.

Ako se na pojedinim lokacijama pojave složeniji geotehnički uvjeti potrebno je predložiti dopunske istražne radove.

### **Geotehničko izvješće nije geotehnički projekt.**

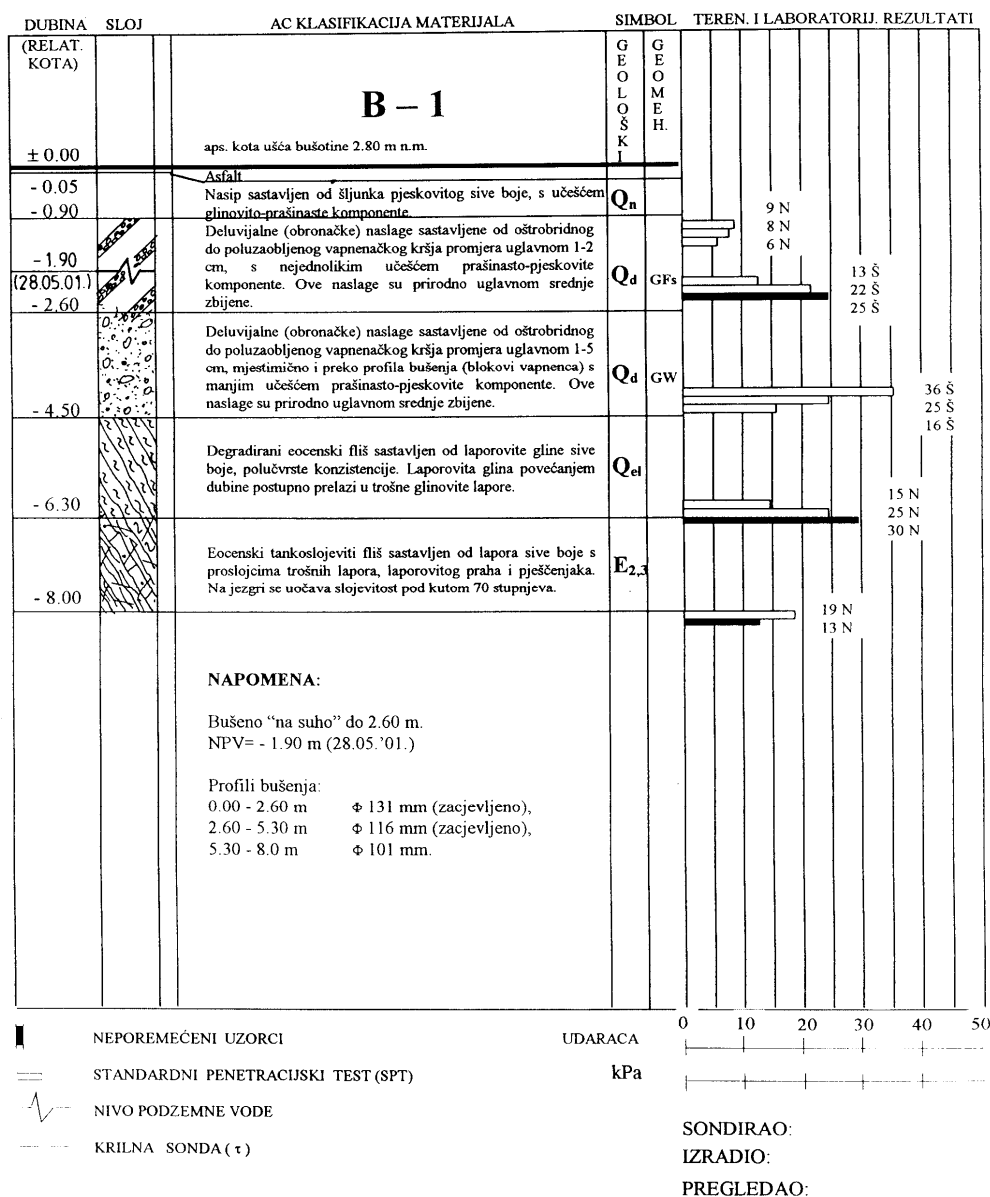
Temeljem izvedenih istražnih radova i saznanja o tlu i građevini za koju su rađeni izrađuje se **Geotehnički projekt**. To je projekt potrebnih geotehničkih mjera i zahvata s detaljnim proračunima kao što su na pr. analize stabilnosti kosina, projekt sanacije klizišta, dimenzioniranje građevnih jama i potpornih zidova i sl. Ovi projekti trebaju biti predmet posebnog ugovora, a mogu se ugovarati tek po izvršenim istražnim radovima jer prije izvedbe istražnih radova često nije moguće sagledati potreban opseg geotehničkog projekta.

U grafičkom dijelu geotehničkog izvješća nalaze se situacija, s geodetski određenim položajem izvedenih bušotina, jama i raskopa. Zatim slijedi za svaku bušotinu profili bušotine (sondažni profil) i presjeci jama i raskopa ako postoje.

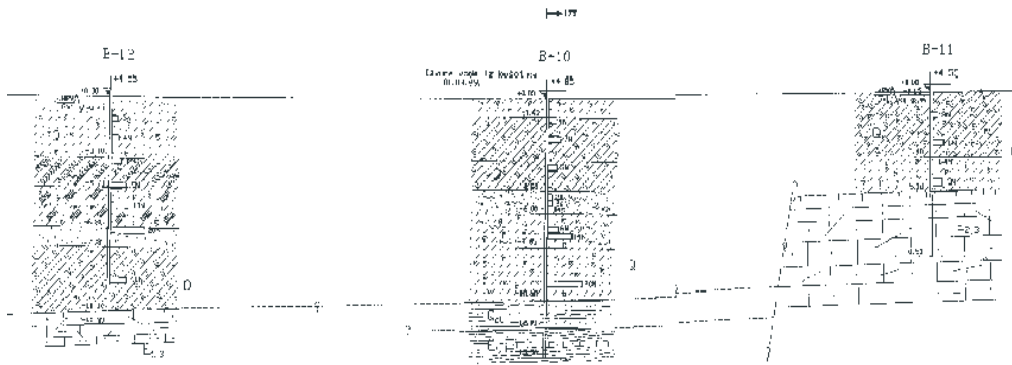
Uz jame i raskope daje se i prikaz slojeva tla, a profili bušotina daju se na posebnim obrascima. U tim se obrascima mogu upisati i rezultati nekih terenskih (krilna sonda, SPT) i laboratorijskih (granice plastičnosti, prirodna vlažnost) pokusa koji su bitni za brzi uvid u stanje u tlu na mjestu pojedine bušotine. Odnosom prirodne vlažnosti i granica plastičnosti može se odrediti konzistentno stanje sitnozrnog tla, a brojem udaraca SPT-a zbijenost krupnozrnog tla. Na taj je način olakšano čitanje geotehničkog stanja u tlu i međusobno sporazumijevanje geotehničara.

Na kraju se prilažu geotehnički profili redosljedom oznaka na situaciji. Kod složenijih građevina može biti i blok-dijagram kroz nekoliko istražnih bušotina.

### SONDAŽNI PROFIL



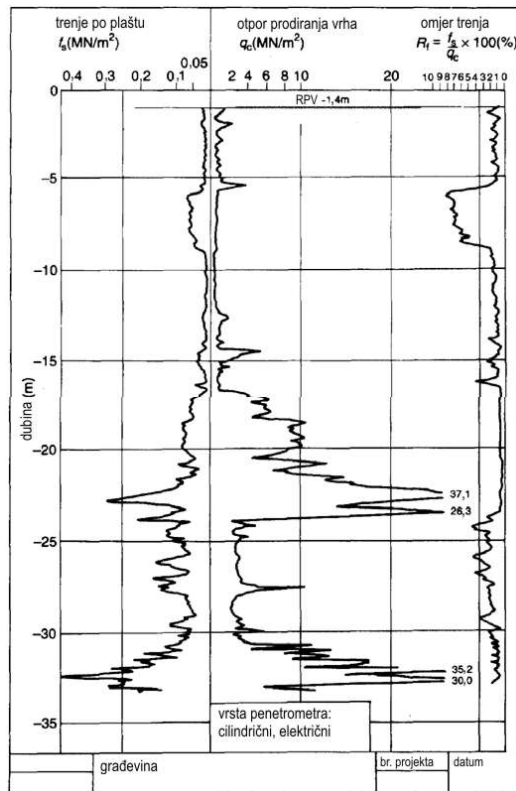
Slika 5.1 Profil bušotine s geološkom i geotehničkom razredbom, oznakom razine podzemne vode i podacima SPP-a.



Slika 5.2 Geotehnički profil

Rezultati opažanja razine podzemne vode daju se tabelarno uz datume i mjesta opažanja.

Kada su izvedena terenska ispitivanja neovisna o bušotinama, prilažu se kao posebni dio geotehničkog elaborata. Kao primjer je prikazan rezultat ispitivanja statičkim penetrometrom.



Slika 5.3 Rezultati statička penetracije

## 6 RAZREDBA TLA

Razredba tla u zemljanim radovima bitna je iz više razloga.

Na osnovu razredbe procjenjuje se koji će se alati i strojevi koristiti za iskop. Taj izbor izravno utječe na cijenu koštanja i trajanje izvođenja ovih radova.

Vrsta i kakvoća tla iz iskopa izravno utječe na mogućnost, kakvoću i način ugradnje iskopanog tla u nasipe.

Prethodnim istražnim radovima utvrđene vrste tla, izravno utječu na vrstu i količinu istražnih radova, koje je na pojedinom mjestu građenja potrebno izvršiti.

O vrsti tla izravno ovisi količina iskopa prilikom izvedbe pokosa koji ostaju trajno nepodgrađeni; nagibi ovise o mogućoj stabilnosti pokosa koji ovise o vrsti tla.

O vrsti tla ovisi cijena iskopa, prijevoza i ugradnje, koju izvođač nudi odnosno naplaćuje.

Ne postoji jedinstvena razredba tla. Postojeće i uvažene geotehničke AC i UC razredbe ne odgovaraju u potpunosti zahtjevima u zemljanim radovima. One su u neku ruku za tu svrhu suviše detaljne. Koriste se za određivanje svojstava tla za ugradnju u nasipe. U nastavku će biti prikazane najrazličitije vrste razredbi koje se koriste danas.

### 6.1 OSNOVNA PODJELA

Osnovna podjela je vrlo jednostavna. Dijeli tlo u tri vrste, prema mogućnosti iskopa, upotrebljivosti za nasipavanje i podobnosti tla da bude podloga budućoj građevini u pogledu nosivosti i stišljivosti odnosno slijeganja. To su slijedeće vrste tla (Lukić i Anagnosti, 2010.) .

#### Rastresita tla

Tu spadaju sva tla koja se mogu kopati bez prethodnog razaranja. To ne znači da su sva jednako podobna kao tla za izvedbu nasipa i/ili kao podtemeljna tla. Tu spadaju:

**Humus**, sitnozrno, uglavnom koherentno tlo, s prekomjerno organskih tvari, korijenja biljaka, staništa organizama koji žive u tom površinskom sloju, kao i njihovih ostataka. Sloj je podložan truljenju, kemijskim i fizikalnim promjenama i promjeni konzistencije ovisno o vlažnosti. Vrlo je stišljiv i kao takav neprikladan za daljnju ugradnju. Mora se odstraniti. Kopa se vrlo lagano.

**Sitnozrna koherentna tla** predstavljena glinama i prašinama kao i njihovim mješavinama te mješavinama sa sitnim pijescima. Svojstvo ovih tala je plastičnost. Plastičnost je svojstvo mogućnosti promjene konzistentnog stanja ovisno o sadržaju vlage. Upravo ovisno o konzistentnom stanju ovisi način iskopa ovog tla, Miniranje nije potrebno. Može se kopati strojno, „lakim“ strojevima.

**Krupnozrna, nekoherentna tla** predstavljaju pijesci i šljunci i sve njihove mješavine koje ne pokazuju ni najmanje svojstvo plastičnosti. Vlažnost može jedino u sitnim pijescima izazvati „prividnu koheziju“ koja uopće ne utječe na način iskopa ovog tla. Ono uvijek ostaje rastresito. Kopa se strojno, dozerima i rovokopačima.

**Mješavine sitnozrnih i krupnozrnih tala** neovisno o međusobnim odnosima pojedinih frakcija. Povećani udio koherentnog tla može utjecati na pojavu plastičnosti i uvjetovati određenu konzistenciju ove vrste tla, a što može utjecati na način iskopa. Kopa se strojno jaružalima, rovokopačima i dozerima.

### **Stjenovita tla**

**Polučvrsta** stjenovita tla u koja spadaju meke stijene (lapori, pješčari, raspucali škriljci, slabo vezani konglomerati) i rastrošene odnosno okršene površine čvrstih i vrlo čvrstih stijena. Mogu se kopati bez upotrebe eksploziva ali uz primjenu neke od tehnika razrahljenja.

**Čvrsta** stjenovita tla za koja je prilikom iskopa ekonomično koristiti eksploziv i pored toga što postoji mogućnost strojnog iskopa „teškim“ strojevima. Ovdje spadaju sve sedimentne i metamorfne stijene (vapnenci i dolomiti) kao i eruptivne stijene srednje čvrstoće i značajne vidljive uslojenosti i raspucalosti.

**Vrlo čvrsta** stjenovita tla, vrlo monolitna i velike čvrstoće. Teško se mogu kopati bez upotrebe znatne količine eksploziva.

### **Posebna tla**

Tla opasna i neupotrebljiva u građevinarstvu. Podrazumijeva tresetišta, morski mulj, svježe jezerske taložine i slična tla velike stišljivosti i male nosivosti. Tu spadaju sva tla koja, ako se moraju koristiti kao temeljno tlo, moraju prethodno biti poboljšana.

## 6.2 RAZREDBA NA OSNOVU OTPORA PRI ISKOPU

Ova se razredba koristi kod izvedbe podzemnih radova. Osniva se na sredstvima koja je potrebno primijeniti da bi se savladao otpor pri iskopu. Dijeli se na:

- iskop uz upotrebu eksploziva ili „teških“ pneumatskih čekića;
- iskop u vezanom tlu uz prethodno rastresanje rijačem;
- strojni iskop bez prethodne pripreme.

Ovo je jednostavna i vrlo praktična razredba, bez nebitnih pojedinosti.

## 6.3 POVIJESNA RAZREDBA PREMA NAČINU ISKOPA

### 6.3.1 Razredba temeljem mogućih načina iskopa

Ovo je razredba (GN 200 (1978.)), koja je vremenom postala neupotrebljiva, jer je došlo do naglog razvoja strojeve za iskop, utovar i prijevoz. U takvim okolnostima je nestao ručni rad kao i alati za iskop (prikazani u uvodu). Razredba je prikazana kao povijesna činjenica koja je služila za obračun izvedenih radova više od stoljeća.

Tabela 6.1 Razredba tla prema načinu iskopa (GN 200 (1978.))

kategori-ja	vrsta tla	način iskopa	brzina širenja uzdužnih valova* $V_p$ [km/s]	gustoća tla $\rho$ [t/m <sup>3</sup> ]
I	humus, površinski sloj, (uklanja se)	lopata, grejder	<0,2	12-13
II	sitnozrno, koherentno tlo, „zdravica“	kopača (štihača), utovarivač, bager	0,2-0,5	14-16
III	krupnozrno tlo s koherentnim vezivom – pijesak i šljunak s glinovitim vezačem	pijuck (mašklin), kopača, buldozer	0,5-1	16-20
IV	mješovito tlo, sipina, trošna stijena	pijuck, pajser (ćuskija), buldožer s rijačem	1-2	20-25
V	meke stijene (lapor, glinac, tuf, silit i slično)	buldožer s rijačem, povremeno eksploziv	2-3	22-27
VI	čvrsta stijena (vapnenci i dolomiti)	eksploziv do 300 g/m <sup>3</sup>	2,05-5	24-28
VII	čvrsta, žilava stijena (eruptivi, kvarciti i slično)	eksploziv do 500 g/m <sup>3</sup>	5-7	25-30

\*Podatak se dobije geofizičkim (seizmičkim) mjerenjima

To korištenje za obračun joj je ujedno bila i najveća mana. Naime ova razredba nije omogućavala detaljnije razvrstavanje tla. Ovakva metoda razredbe tla daje samo opisne podatke i pokazatelje za ocjenu kakvoće, koji su podložni subjektivnoj procjeni. Kako se temeljem ove razredbe vršilo plaćanje radova, to je njena primjena redovito izazivala sukobe između izvođača radova i investitora. Razredba se temelji na načinu iskopa, a prikazana je u tabeli 6.1.

Iz tabele 6.1 je vidljivo da je vrlo teško odrediti granice između dviju kategorija. Stoga se ova razredba više ne koristi za obračun troškova radova kod iskopa.

### 6.3.2 Razredba za kategorije od IV do VII (iz tabele 6.1) temeljem mogućnosti strojnog iskopa

Tabela 6.2 Razredba za kategorije od IV do VII temeljem mogućnosti strojnog iskopa bez eksploziva (Lukić i Anagnosti, 2010.)

kategorija tla prema GN 200	vrsta tla	ocjena pogodnosti za strojni iskop stijene temeljem kakvoće ocijenjene brzinom širenja uzdužnih valova $V_p$ [km/s]			
		$V_p = 1$	$V_p = 1,5$	$V_p = 2$	$V_p = 3$
IV	meke sedimentne stijene, (pješčenjaci i glinci)	pogodno za rad		moguće	nepogodno
V	škriljci, argilošisti	pogodno za rad		moguće	nepogodno
VI	vapnenci, konglomerati	pogodno za rad		moguće	nepogodno
VII	kvarcit, granit, bazalt	pogodno za rad		moguće	nepogodno

## 6.4 RAZREDBA ZA ZEMLJANE RADOVE PREMA OTU

Opći tehnički uvjeti (OTU) za zemljane radove na cestama (grupa autora, 2001.), razlikuju tri kategorije tla: „A“, „B“ i „C“. Podjela se uglavnom svodi na sredstva s kojima se vrši iskop.

### a) Tlo kategorije "A"

Pod tlom kategorije "A" podrazumijevaju se sva čvrsta tla - stijene, kod kojih je potrebno miniranje kod cijelog iskopa.

Toj skupini pripadaju sve vrste čvrstih i veoma čvrstih, kompaktnih stijena (eruptivnih, metamorfnih i sedimentnih) u zdravom stanju, uključujući i moguće tanje



slojeve rastresitog materijala na površini ili takve stijene s mjestimičnim gnijezdima ilovače i lokalnim trošnim ili zdrobljenim zonama.

U ovu se kategoriju ubrajaju i tla koja sadrže više od 50% samaca većih od 0,5m<sup>3</sup>, za čiji je iskop također potrebno miniranje.

#### b) Tlo kategorije "B"

Pod tlom kategorije "B" razumijevaju se polučvrsta kamenita tla, gdje je potrebno djelomično miniranje, a ostali se dio iskopa obavlja izravnim strojnim radom.

Toj skupini tala pripadaju: flišne naslage, uključujući i rastresita tla, homogeni lapori, trošni pješčenjaci i mješavine lapora i pješčenjaka, većina dolomita (osim vrlo kompaktnih), raspadnute stijene na površini u debljim slojevima s miješanim raspadnutim zonama, jako zdrobljeni vapnenac, sve vrste škriljaca, neki konglomerati i slična tla.

#### c) Tlo kategorije "C"

Pod tlom kategorije "C" podrazumijevaju se sva tla koje nije potrebno minirati, nego se mogu kopati izravno, upotrebom pogodnih strojeva - dozerom, jaružalom, ili skreperom. U ovu kategoriju spadaju:

- sitnozrna vezana (koherentna) tla kao što su gline, prašine, prašinate gline (ilovače), pjeskovite prašine i les,
- krupnozrna nevezana (nekoherentna) tla kao što su pijesak, šljunak odnosno njihove mješavine, prirodne kamene drobine - siparišna ili slična tla,
- mješovita tla koja su mješavina krupnozrnih nevezanih i sitnozrnih vezanih tala.

## 6.5 RAZREDBA U TUNELOGRADNJI PREMA OTU

Prema Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama (grupa autora, 2001), za kategorizaciju iskopa kod cestovnih tunela službeno se koristi geomehanička kategorizacija prema Bieniawskom (1979.). Ista se kategorizacija koristi pri proračunu stabilnosti pokosa u stijenskim masama kod usjeka i zasjeka i kod proračuna nosivosti temelja na stijeni. Donosi se izvod iz OTU.

„Osnovu za kategoriziranje stijenskih masa čine rezultati inženjersko geološkog kartiranja (tunela). U sklopu inženjersko geološkog kartiranja potrebno je snimiti sve relevantne parametre potrebne za kategoriziranje stijenskih masa. Rezultati inženjersko geološkog kartiranja (tunela) prikazuju se na razvijenom profilu (tunela)“.

„Rezultati inženjerskogeološkog snimanja i rezultati kategoriziranja prikazuju se na posebno pripremljenim obrascima..“

Geomehanička kategorizacija se temelji na bodovanju slijedećih šest (od dvanaest nabrojanih u geološkim istražnim radovima) parametara stijenske mase:

- jednoosna tlačna čvrstoća uzorka stijene (monolita),
- R.Q.D. - indeks kakvoće jezgre,
- razmak pukotina (diskontinuiteta),
- stanje diskontinuiteta,
- stanje podzemne vode,
- pružanje i nagib diskontinuiteta.

Podjela parametara stijenske mase po vrijednostima se boduje. Zbroj bodova prema tabeli 6.3 određuje kategoriju stijenske mase.

Pri određivanju parametara postupa se prema naputcima ISRM, (1978). Detalje je moguće naći u OTU, (grupa autora, 2001.)

Tabela 6.3 Kategorizacija stijenske mase prema RMR metodi (Bieniawski 1989)

zbroj bodova RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
kategorija	I	II	III	IV	V
opis stijenske mase	vrlo dobra	dobra	povoljna	slaba	vrlo slaba

Osim navedenih tabela za preciznije određivanje bodova mogu se koristiti i dijagrami koji se nalaze u literaturi (ISRM).

Dobiveni se podaci koriste za projektiranje primarne podgrade tunela, analize stabilnosti kosina u stijenskoj masi i proračun nosivosti temelja.

## 6.6 GEOTEHNIČKE RAZREDBE TLA

Geotehničke razredbe tla se, kod zemljanih radova, koriste kod određivanja svojstava tla koje će biti ugrađeno u kontrolirane nasipe, tj. onda kada je tlo gradivo. Koristi se za tla koja nije potrebno minirati već se mogu kopati dozetom, jaružalom ili skreperom (prema OTU tla kategorije „C“).

Svaka geotehnička razredba započinje terenskom identifikacijom tla, kojom je moguće grubo razvrstati tlo temeljem vizualnog pregleda i nekih jednostavnih

identifikacijskih pokusa. Kako je ovaj postupak vrlo bitan za opis tla iz pozajmišta ovdje će biti detaljno opisan.

Da bi se mogla izvršiti potpuna razredba, tla potrebno je izvesti nekoliko jednostavnih laboratorijskih pokusa za koje se koriste poremećeni uzorci tla.

U upotrebi je više razredbi:

- prema HRN EN ISO 14688-1:2008;
- AC, starija, prema autoru A. Casagrande-u (*Airfield Classification*);
- UC, novija, slična AC razredbi, jedinstvena razredba (*Unified Soil Classification System*), koja bolje opisuje tlo, ali je nešto složenija za upotrebu;
- „A“ prema Upravi za javne putove u SAD.

### **6.6.1 Terenska identifikacija tla**

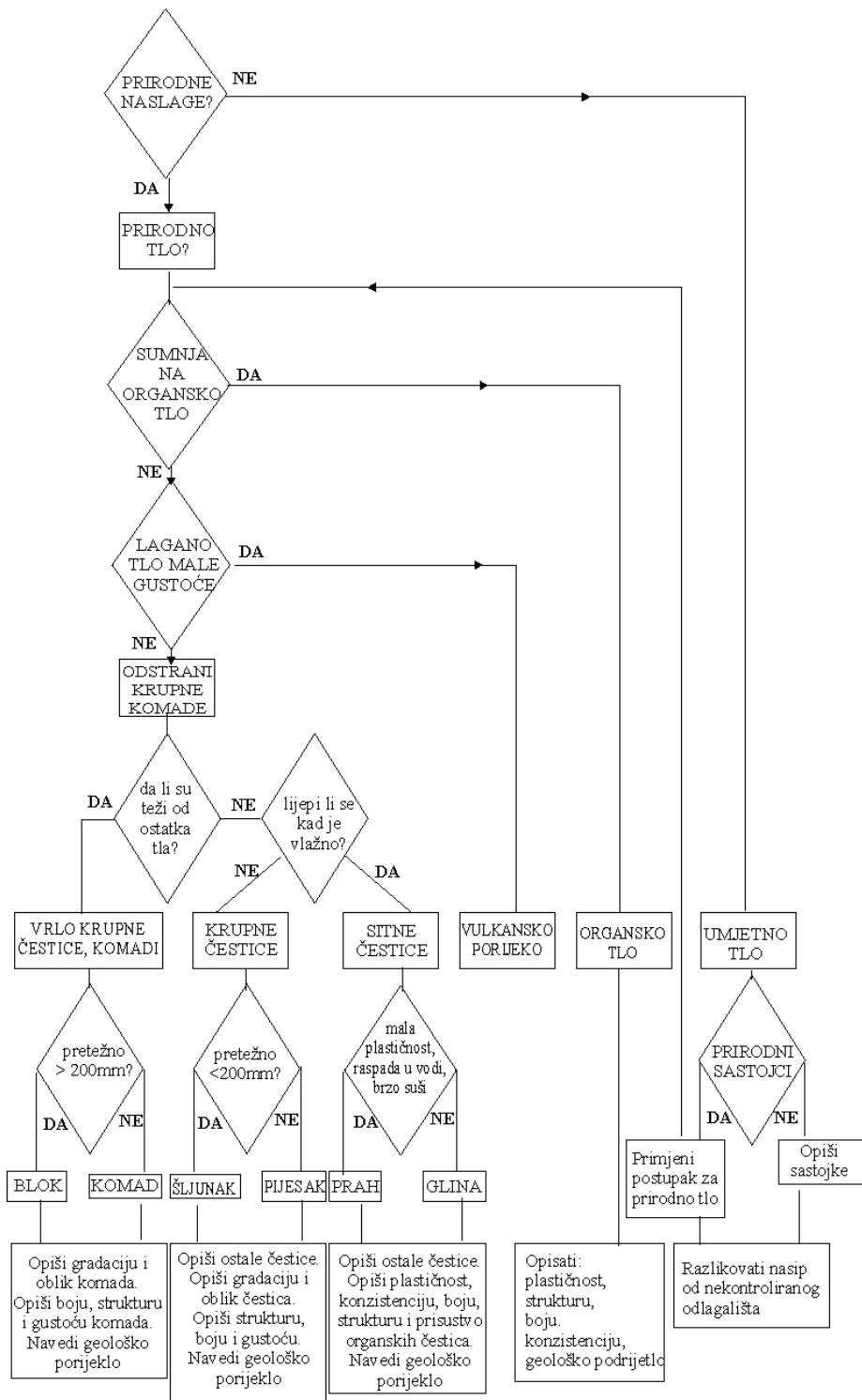
Terenska se identifikacija tla sastoji od niza jednostavnih radnji kojima se tlo može dosta precizno svrstati u razredbene skupine bez korištenja laboratorijskih pokusa. Sve radnje je moguće izvesti na terenu prilikom praćenja radova na bušenju, preuzimanja izvađene jezgre ili iskopu sondažnih jama. Ti postupci su vrlo važni pri ispitivanju tla u pozajmištu. Na slici 6.1 prikazan je dijagram toka kojim se vrši identifikacija tla na terenu, kao prvi korak u razredbi.

#### **6.6.1.1 Početne radnje**

Prvo razvrstavanje prirodnog tla je prema krupnoći zrna. Određuje se da li se radi o krupnozrnom (nekoherentno) ili sitnozrnom (koherentnom) tlu. Izrazito krupnozrno tlo i ljepljivo, sitnozrno tlo je lako razlučiti. Ako se radi o čistim krupnozrnim ili čistim sitnozrnim tlima moguće je njihovo relativno jednostavno opisivanje.

Kada nema mogućnosti pogledom i opipom odrediti pripadnost tla određenoj skupini, najjednostavniji je pokus močenje u vodi. Krupna zrna se tada mogu izdvojiti i opisati značajkama za krupnozrna tla. Sitne frakcije moraju se za detaljan opis ispitati u laboratoriju. Nekoherentno se tlo odvaja u vodi na osnovne čestice. U koherentnom tlu udio sitnog pijeska može se osjetiti grickanjem pod zubima. Prah se nakon sušenja lako otpuše s ruke. Glinovite čestice lijepe se za prste i pribor (nož) i teško se skidaju s ruku.

Kod sitnozrnih tala može se približno odrediti plastičnost kao niska ili visoka. Detaljno se može odrediti jedino u laboratoriju određivanjem vlažnosti na granici tečenja,  $w_l$ .



Slika 6.1 Dijagram toka za razredbu tla (HRN EN ISO 14688-1:2002)

Svježe izvađena jezgra neugodnog mirisa ukazuje na sadržaj organskih tvari. Na površini se može očekivati humus. U njemu ima korijenja biljaka i živih organizama. Može se nalaziti ispod nasipa na divljim odlagalištima.

Treset je tamne do crne boje, male gustoće i vlaknaste strukture. Amorfni treset je kašaste strukture. Temeljem ovih prvih saznanja vrše se daljnje radnje potrebne za terensku identifikaciju tla.

#### 6.6.1.2 Krupnoća zrna

Krupnozrno tlo se rasprostire na ravnu površinu i odredi promjer najvećeg zrna, približan postotak krupnih, srednje krupnih i sitnih čestica i oblik zrna. Pokuša se procijeniti radi li se o jednoliko, dobro ili loše građiranom tlu. Svojstva krupnozrnog tla uglavnom ovise o njegovom granulometrijskom sastavu koji se precizno utvrđuje u laboratoriju.

Svojstva sitnozrnog tla također ovise o krupnoći čestica, ali i o njihovom obliku i nekim drugim svojstvima o kojima ovise jakosti elektrokemijskih sila koje djeluju među česticama i određuju koherentna svojstva odnosno plastičnost sitnozrnog tla. Krupnoću sitnozrnog tla je moguće odrediti tek u laboratoriju.

Prema krupnoći čestica može se odrediti prvi korak u AC i UC razredbi, kako je prikazano u tabeli 6.4:

Tabela 6.4 Identifikacija tla prema krupnoći čestica

opis			nominalni promjer zrna [mm]	tlo prema razredbi	
zrna	krupna	kamen	više od 60	krupnozrno, nekoherentno tlo	
		šljunak	krupan		60-20
			srednji		20-6
			sitan		6-2
		pijesak	krupan		2-0,6
			srednji		0,6-0,2
	sitan		0,2-0,06		
	sitna	prah	krupan	0,06-0,02	sitnozrno, koherentno tlo
			srednji	0,02-0,006	
			sitan	0,006-0,002	
glina		manje od 0,002			

Nominalni promjer je vrijednost otvora na situ kada se granulometrijski sastav određuje sijanjem. To vrijedi do promjera zrna većeg od 0,06mm. Jedino zrna pravilnih oblika (okrugla, kockasta) odgovaraju otvorima po promjeru. Izdužena i

pločasta zrna mogu imati samo nominalni promjer. Promjeri zrna manji od 0,06mm ne mogu se više odrediti sijanjem. Ti se nominalni promjeri određuju hidrometrijskom analizom koristeći Stokesov zakon brzine tonjenja kugli u tekućini. Nominalni promjer je tada promjer idealne kugle.

#### 6.6.1.3 Izgled zrna

Kod krupnozrnog tla izgled zrna pokazuje način njegovog nastanka. Bez obzira na krupnoću, izgled zrna može biti različit. Obla zrna prešla su dug put, kotrljajući se nošena vodom, vjetrom ili gravitacijom. To ukazuje na aluvijalno ili eolsko porijeklo naslaga. Uglata zrna ukazuju na sipare i slične naslage kratkog puta od izvornog bloka do mjesta odlaganja. Mogući izgled zrna opisan je u tabeli 6.5.

Tabela 6.5 Mogući izgled zrna kod krupnozrnog tla (HRN EN ISO 14688-1:2002)

značajka	izgled zrna
zaobljenost zrna	izrazito uglata, uglata poluuglata, poluzaobljena zaobljena, izrazito zaobljena
geometrija zrna	kuglasta, kockasta, plosnata, izdužena
izgled površine	hrapav, gladak

#### 6.6.1.4 Boja

Boja tla ovisi o nizu čimbenika. Najčešće je određena mineraloškim sastavom sitnih čestice odnosno bojom matične stijene od koje su nastala krupnozrna tla. Boju treba odrediti na svježe presječenju jezgri dok se još nije počela sušiti ili oksidirati. Najčešće boje nabrojene su u tabeli 6.6.

Tabela 6.6 Moguće boje tla

osnovna boja	nijanse i druga obilježja
bijela	prljavo i slično
siva	nijanse:
zelena	– svijetla
žuta	– tamna
smeđa	mješavina:
narančasta	– mramorna
crvena	– zrnasta
plava	– preljeva se
crna	

#### 6.6.1.5 Suha čvrstoća

Određuje vrstu sitnozrnog tla. Ispituje se na osušenom komadiću tla koji se pokušava zdrobiti prstima. Za ovaj se pokus grudica (cca 1cm<sup>3</sup>) tla mora osušiti. Što je tlo sitnijih čestica ima jače koherentne veze i teže se drobi, tj. ima veću suhu čvrstoću. Može biti:

- mala, niska, kada se osušeni komadić lagano zdrobi među prstima u prah;
- srednja, kada se osušeno komad zdrobi nešto većim pritiskom među prstima u manje grudice;
- visoka, osušeni se komad ne može zdrobiti, može se razbiti kamenom ili čekićem.

#### 6.6.1.6 Reakcija na potresanje

Grumen tla smekša se s malo vode. Zatim se položi na dlan koji se potresa drugim dlanom. Prati se ispuštanje vode iz vlažnog grumena.

Reakcija može biti brza (ukazuje na prašine i vrlo sitne pijeske), spora (ukazuje na prahove i niskoplastične gline) i nikakva (visokoplastična tla)

#### 6.6.1.7 Plastičnost

Provjerava se pomoću valjanja valjčića do debljine od 3mm na glatkoj podlozi. Nakon što se valjčić uvalja preoblikuje se prstima u grudicu i ponovo valja. Postupak se ponavlja dok se daje uvaljati valjčić od 3mm bez pukotine. Kada ponestane vlage moći će se prignječiti ali ne i uvaljati. To je vlaga blizu granice plastičnosti. Prašine se neće dati valjati više od jednom, brzo gube vlagu, a veze su slabe, dok će se visokoplastične gline moći valjati u više navrata. Razlikuje se niska i visoka plastičnost.

#### 6.6.1.8 Konzistentno stanje

Konzistentno stanje se određuje kod koherentnih tala da bi se поближе opisalo njegovo stanje vlažnosti u prirodi. O toj vlažnosti ovise mnoga svojstva tla koja su važna kod ugradnje tla u nasipe. Konzistentno stanje se detaljno može odrediti u laboratoriju pomoću granica plastičnosti i prirodne vlažnosti. Određuje se indeks konzistencije  $I_c$  kao omjer razlike vlažnosti na granici tečenja umanjene za prirodnu vlažnost ( $w_L - w_0$ ) i indeksa plastičnosti  $I_p$ . Stoga je vrlo važno u uzorku, za laboratorijsko ispitivanje, zadržati prirodnu vlažnost (vidi poglavlje 4.3 o laboratorijskim pokusima).

Konzistenciju se približno može odrediti ovisno o broju udaraca prilikom izvođenja standardnog penetracijskog pokusa (SPP).

Veza konzistentnog stanja, indeksa konzistencije i broja udaraca SPP-a dana je u tabeli 6.7.

Tabela 6.7 Moguća konzistentna stanja tla

konzistentno stanje	ponašanje uzorka tla	I <sub>c</sub>	SPP
čvrsto	tlo se mrvi, gotovo se ne može prignječiti	>1	32
polučvrsto	tlo se može prignječiti ali se mrvi i raspada	0,75-1	16-32
teško gnječivo	mogu se uvaljati valjčići do 3mm debljine, ali ne tanji jer se raspadaju.	0,5-0,75	8-16
lako gnječivo	može se uvaljati valjčić tanji od 3mm	0,25-0,5	2-8
žitko	tlo se ne može oblikovati u valjčiće. stisne li se grumen u šaci prolazi kroz prste kao gusta tekućina	<0,25	<2

Kod tla niske plastičnosti ovo su samo približni opisi. Kod njih je indeks plastičnosti mali pa iz čvrstog uz vrlo mali dodatak vode prelaze gotovo odmah u žitko konzistentno stanje.

#### 6.6.1.9 Relativna gustoća

Ovo je svojstvo nekoherentnog tla. Teško ju je odrediti identifikacijskim pokusima ali ju se može dobro uočiti iz rezultata SPP-a, CPT-a i nekih drugih terenskih pokusa. Za precizno određivanje potrebni su laboratorijski pokusi iz kojih se odrede poroziteti pomoću kojih se izračuna relativna gustoća  $D_r$  (indeks gustopće  $I_D$ ). Vrlo je važna kako pri iskopu nekoherentnog tla, jer o njoj ovisi odabir strojeva za iskop, tako i pri ugradnji nekoherentnog tla u nasipe, gdje se ona može propisati i služi kao mjera postignute zbijenosti. Razlikuju se gustoće prikazane u tabeli 6.8.

Tabela 6.8 Opis zbijenosti ovisno o vrijednosti broja udaraca SPP-a i odgovarajuće laboratorijski dobivene relativne gustoće  $D_r$  ( $I_D$ )

zbijenost	terenski pokus	$D_r$ [%] ( $I_D$ )	SPP (N)
vrlo mala (vrlo rahlo)	može se kopati rukom bez otpora	0-15	<4
mala (rahlo)	lako se kopa lopaticom	15-35	4-10
srednja	teško se kopa lopaticom	35-65	10-30
zbijeno	vrlo teško se kopa lopaticom	65-85	30-50
vrlo zbijeno	gotovo je nemoguće u tlo ugurati nož	>85	>50



#### 6.6.1.10 Konzistencija temeljem pokusa krilnom sondom

Iz rezultata krilne sonde može se odrediti konzistencija sitnozrnog tla. Za ovaj pokus postoji uređaj prikazan u poglavlju 3.3.4.3, ali se pri terenskoj identifikaciji i klasifikaciji koristi džepni uređaj. Njega je moguće koristiti na površini terena, na dnu i stijenkama jama i raskopa.

Veza nedrenirane posmične čvrstoće i konzistentnog stanja dana je u tabeli 6.9. (Clayton i dr. 2005.)

Tabela 6.9 Veza konzistentnog stanja i nedrenirane posmične čvrstoće koherentnog tla

konzistentno stanje	nedrenirana posmična čvrstoća [kN/m <sup>2</sup> ]
žitko	<20
lako gnječivo	20-40
teško gnječivo	40-75
polučvrsto	75-150
čvrsto	150-300
tvrd	>300

### 6.7 RAZREDBA TLA PREMA HRN EN ISO 14688-1:2008

Da bi se provela potpuna razredba tla po bilo kojem od dalje opisanih sustava potrebno je izvršiti laboratorijske klasifikacijske pokuse. Oni se sastoje od određivanja granulometrijskog sastava sijanjem (suhim i mokrim), određivanja atterbergovih granica plastičnosti za sitnozrna tla, prirodne vlažnosti i relativne gustoće za krupnozrna tla, određivanja sadržaja organskih tvari i porijekla.

Količina najkrupnijih čestica u ukupnoj masi tla može se procijeniti prema tabeli 6.10:

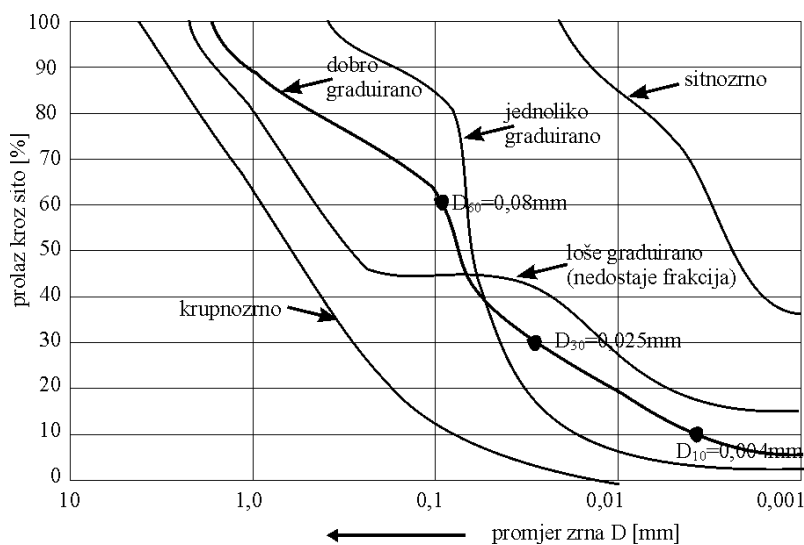
Tabela 6.10 Razredba komada krupnijih od promjera bušotine

krupnoća čestica	postotak u ukupnoj masi	određenje
blokovi (samci)	<5	mala količina blokova
	5-20	srednja količina blokova
	>20	velika količina blokova
komadi	<10	mala količina komada
	10-20	srednja količina komada
	>20	velika količina komada

Ovakva se razredba može provesti u jamama i raskopima gdje je te krupne komade moguće vidjeti u punoj veličini. Sondažnim bušenjem se to ne može detaljno utvrditi. Prilikom bušenja valja voditi računa da krupni samci mogu zavarati i dati dojam da se radi o osnovnoj stijeni.

### 6.7.1 Granulometrijski sastav

Granulometrijski sastav služi za razredbu krupnozrnog tla. Temeljem krupnoće čestica i oblika granulometrijske krivulje krupnozrna se tla mogu svrstati u osnovne skupine i podskupine. Oblik granulometrijske krivulje može se izraziti pomoću efektivnog promjera zrna ( $D_{10}$ ), koeficijenta jednolikosti ( $C_U$ ) i koeficijenta zakrivljenosti ( $C_C$ ).



6.2 Granulometrijske krivulje različitih oblika

Temeljem vrijednosti ovih koeficijenata može se opisati granulometrijska krivulja kao u tabeli 6.11.

Tabela 6.11 Koeficijenti oblika granulometrijske krivulje

oblik krivulje	koeficijent jednolikosti $C_U = D_{60}/D_{10}$	koeficijent zakrivljenosti $C_C = (D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$
široko granulometrijsko područje	>15	$1 < C_C < 3$
ravnomjerno granulirano	6-15	<1
jednoliko granulirano	<6	<1
s prekidom	obično visok	bilo koji (obično <0,5)

Male vrijednosti koeficijenta jednolikosti javljaju se kod tala uskog granulometrijskog područja. Kod idealnih krivulja koeficijent zakrivljenosti bi trebao biti oko 2.

Nakon što je određen osnovni granulometrijski sastav slijedi određivanje vrste čestica koje su u ukupnoj količini zastupljene u manjoj količini. Na taj način nastaju složeni simboli za opis tla, kao na primjer: pjeskovit šljunak (saGr) – pretežito je šljunak te je stoga njegova oznaka pisana velikim slovom. Još nekoliko primjera po istom principu bi izgledalo ovako: krupno pjeskoviti sitni šljunak (csaFGr); prah s srednje krupnim pijeskom (msaSi); krupni pijesak sa sitnim šljunkom (fgrSCa) i t.d.

Tabela 6.12 Osnovna podjela tla prema veličini čestica s pripadnim razredbenim oznakama (prema HRN EN ISO 14688-1:2008)

krupnoća čestica	fina podjela	podgrupa	simbol	veličina zrna [mm]
krupni komadi	veliki blokovi		LBo	>630
	blokovi		Bo	>200-630
	komadi		Co	>36-200
krupnozrno tlo	šljunak		Gr	>2,0-63
		krupni	CGr	>20-63
		srednji	MGr	>6,3-20
		sitni	FGr	>2,0-6,3
	pijesak		Sa	>0,063-2,0
		krupni	CSa	>0,63-2,0
		srednji	MSa	>0,2-0,63
		sitni	FSa	>0,063-0,2
Sitnozrno tlo	prah		Si	>0,002-0,063
		krupni	CSi	>0,02-0,063
		srednji	MSi	>0,0063-0,02
		sitni	FSi	>0,002-0,0063
	glina	glina	Cl	≤0,002

Ovo je oblikovanje simbola prema načinu opisa vrsta tla u engleskom jeziku. Dosad korišteni simboli u AC i UC razredbi su mnogo jednostavniji i koriste se u BS (britanski standardi) i ASTM (američki standardi) te ih nije preporučljivo potpuno napustiti.

Odabir simbola mora biti takav da opiše one čestice koje čini pretežiti dio ukupne količine. Tlo je često mješavina čestica svih mogućih veličina.

### 6.7.2 Plastičnost

Sitnozrna tla imaju svojstvo plastičnosti. Ovo se svojstvo određuje u laboratoriju utvrđivanjem granice tečenja  $w_L$  i granice plastičnosti  $w_p$ . Tako se može utvrditi da sitnozrno tlo nema plastičnosti, da je niske plastičnosti, srednje plastičnosti i visoke plastičnosti. U AC u UC razredbi su granice između grupa određene dijagramom plastičnosti (slika 6.5). Prilikom određivanja granica plastičnosti određuje se i indeks konzistencije. On ovisi o prirodnoj vlažnosti tla. Prema njegovoj vrijednosti može se tlo opisati prema tabeli 6.13.

Tabela 6.13 Konzistentna stanja prema indeksu konzistencije HRN EN ISO 14688-1:2008

konzistentno stanje praha ili gline	indeks konzistencije $I_C$
žitko	<0,25
meko	0,25-0,5
čvrsto	0,5-0,75
kruto	0,75-100
vrlo kruto	>100

### 6.7.3 Sadržaj organskih tvari

Postoji razlika između organskog tla i tla pretežito mineralnog sastava s određenom količinom organskih primjesa. U tom se slučaju može primijeniti opis iz tabele 6.14. Određuje se standardiziranim pokusom u laboratoriju.

Tabela 6.14 Udio organskih primjesa u tlu pretežito mineralnog sastava.

tlo	sadržaj organske tvari u odnosu na suhu masu čestica <2mm u [%]
s malo organskih primjesa	2-6
sa srednjom količinom organskih primjesa	6-20
s mnogo organskih primjesa	>20

Temeljem svega prethodnog moguće je oblikovati tabelu za razredbu tla prema HRN EN ISO 14688-1:2008.

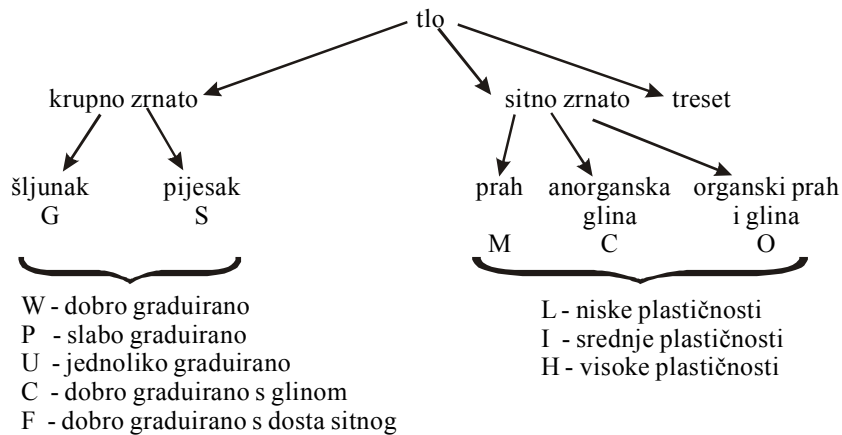
Tabela 6.15 Razredba tla prema trenutnim normama HRN EN ISO 14688-1:2008

kriterij	vrsta tla	vrednovanje	svrstavanje u grupe sličnih svojstava		daljnja finije podjela prema:	
vlažno tlo, ne lijepi se	vrlo krupno	većina čestica >200mm većina čestica > 63mm	Bo Co	xBo boCo coBo saCo, grCo sagrCo	zahtijeva posebno razmatranje	
	krupno	većina čestica > 2mm većina čestica > 0,063mm		Gr cosaGr coGr saGr, grSa sasiGr, grsiSa Sa siGr, clGr siSa, clSa, saclGr orSa	granulacija, oblik granulometrijske krivulje, zbijenost, vodopropusnost	
vlažno tlo, lijepi se	sitno	niska plastičnost, otpušta vodu plastično, ne otpušta vodu	Si saSi	sagrSi saclSi slSi, siCl Cl sagrCl orSi, orCl	plastičnost, vlažnost, čvrstoća, osjetljivost, stišljivost, krutost, minerali glina	
tamno, lagano	organsko		Or	saOr, siOr clOr	zahtijeva posebno razmatranje	
neprirodno	umjetno napravljeno	nasip	Mg	xMg	umjetno gradivo	zahtijeva posebno razmatranje
					prirodno tlo, odlagalište ili nasip	postupak kao da je prirodno tlo
ključ za oznake tlo blokovi komadi šljumak pijesak prah glina organsko tlo neprirodno tlo	osnovno	Druga ili treća sastavnica			one koji zahtijevaju posebno razmatranje treba razvrstati u skladu sa zahtjevima projekta ili uobičajenim opisima	
	Bo Co Gr Sa Si Cl Or Mg	Gr Sa	Gr(gr) i Sa(sa) ima pod podjelu na sitno F (f) srednje M(m) i krupno C(c)	Si Cl Or -		
		X	bilo koja kombinacija sastavnica			

## 6.8 AC RAZREDBA

To je razredba koja se i danas koristi (FHWA 2002, BS, ASTM) iako je nastala tijekom II svjetskog rata za potrebe američke avijacije. Osniva se na podjeli tla prikazanoj na slici 6.3.

Tlo se dijeli na krupnozrna i sitnozrna. Ona se dijele ponovo po krupnoći. Iz daljnje je podjele isključeno visokoorgansko tlo – treset, kod kojeg još nije potpuno dovršen proces raspadanja.



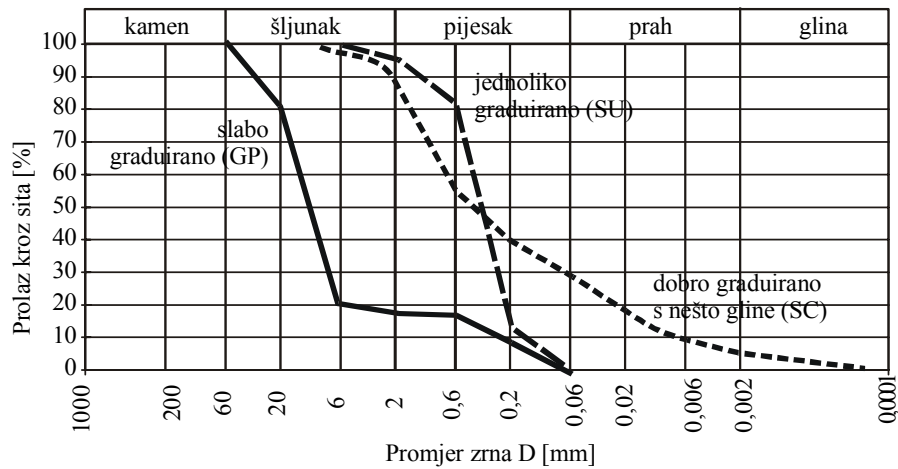
Slika 6.3 Osnova AC razredbe tla

Prema engleskim nazivima osnovnih grupa (zrna koja dominiraju u granulometrijskoj krivulji) odabrano je prvo slovo za razredbenu oznaku, pa je:

- |                      |  |
|----------------------|--|
| G - šljunak (gravel) | C - glina (clay) anorganska              |
| S - pijesak (sand)   | O - organsko tlo (organic), glina i prah |
| M - prah (mud)       | Pt - treset (peat)                       |

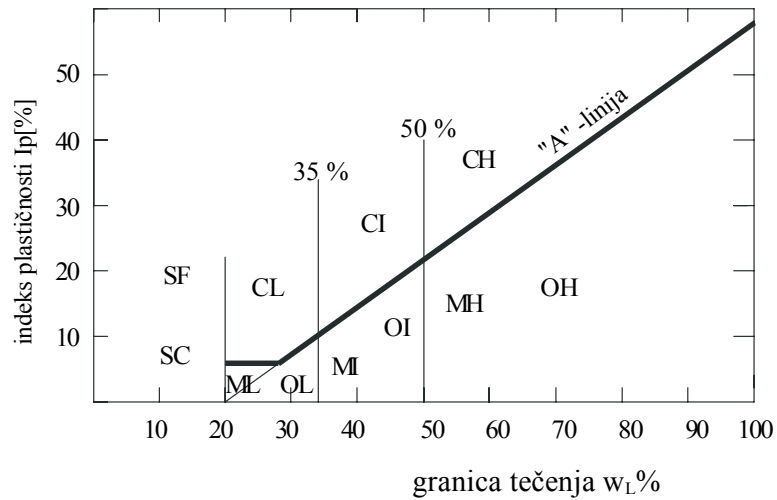
Slijedeća, finija podjela je različita za krupnozrna i za sitnozrna tla. Za nekoherentna tla, razredba se temelji na osobinama (obliku) granulometrijske krivulje. Dobro graduirano tlo (W) ima krivulju u kojoj su jednakomjerno zastupljene sve frakcije između najkrupnije i najsitnije. Ukoliko je raspon od najkrupnije do najsitnije frakcije uzak, tlo je jednoliko graduirano (U). Kada nedostaje neka frakcija (krivulja postaje pravac paralelan s osi apscisa) radi se o slabo graduiranom tlu (P). Kada uz oznaku za krupnozrno tlo stoji oznaka (C) znači da tlo sadrži veću količinu gline. Oznaka (F) uz oznaku za krupnozrno tlo znači da ima dosta sitne frakcije, ali da nije dominantna glina već pijesak i prah uz šljunak,

odnosno prah i glina uz pijesak. Za šljunke i pijeske razredbene oznake podgrupa dane su u tabeli 6.16, a granulometrijske krivulje na slici 6.4.



Slika 6.4 Nekoliko različitih granulometrijskih dijagrama

Za koherentna tla se grupe i podgrupe određuju Atterbergovim granicama i indeksnim pokazateljima. A. Casagrande je utvrdio da, povezujući indeks plastičnosti  $I_p$  i granicu tečenja  $w_L$ , za pojedine vrste koherentnih tala u jedinstvenom dijagramu nastaje grupiranje tla u pojedinim područjima. Na taj je način dobio dijagram sa slike 6.5 koji je nazvao **dijagram plastičnosti**.



Slika 6.5 Dijagram plastičnosti

Casagrande je uočio da se anorganske gline grupiraju iznad organskih glina i prašiniastih tala za iste vrijednosti granice tečenja. To znači da organske gline i

prašnasta tla imanju manji raspon vlažnosti između granice plastičnosti i granice tečenja. Granična "A" linija ima jednadžbu :

$$I_p = 0.73 * (w_L - 20) \quad (6.1)$$

Za prah i gline razredbene oznake podgrupa se temelje na vrijednosti vlažnosti na granici tečenja:

L = nisko plastične ( $w_L < 35\%$ );

I = srednje plastične ( $35\% < w_L < 50\%$ );

H = visoko plastične ( $w_L > 50\%$ )

Kombinacijom oznaka dobivaju se slijedeće razredbene grupe za krupnozrna tla:

Tabela 6.16 Razredbene oznake prema AC razredbi krupnozrnog tla

podgrupa	šljunak	pijesak
dobro graduiran	GW	SW
s glinovito prašnastim vezačem	GC	SC
slabo graduiran	GP	SP
jednoliko graduiran	GU	SU
s prekomjerno praha	GFs	SFs
s prekomjerno gline	GFc	SFc

odnosno za sitnozrna tla:

Tabela 6.17 Razredbene oznake prema AC razredbi sitnozrnog tla

plastičnost	prah	glina	organska glina
niska	ML	CL	OL
srednja	MI	CI	OI
visoka	MH	CH	OH

i treset Pt.

Ukupno po ovoj razredbi ima 21 vrsta tla. One su dostatne za dobar geotehnički opis tla.



## 6.9 UC JEDINSTVENA RAZREDBA (UNIFIED CLASSIFICATION)

Ova se razredba osniva na Casagrandeovoj razredbi s izvjesnim preinakama. Dobila je naziv prema Unified Classification (jedinствена razredba), a koristi se standardno u SAD-u. Prva je razredbena oznaka ista kao kod AC razredbe pa ostaju osnovne grupe:

za krupnozrna tla:

G šljunak, više od 50 % u ukupnoj masi ima šljunka

S pijesak, manje od 50 % u ukupnoj masi ima šljunka

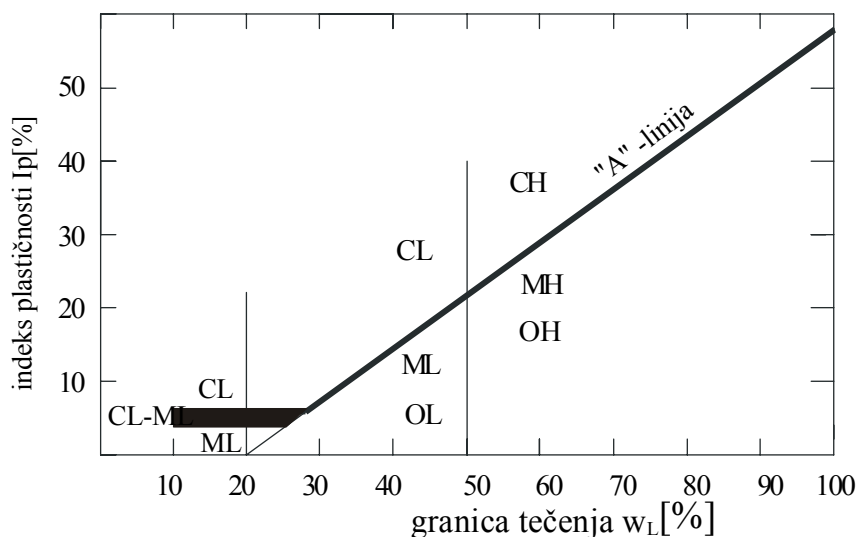
za sitnozrna tla:

M prah,  $I_p$  ispod "A" linije ili  $I_p < 4$

C glina,  $I_p$  iznad "A" linije i  $I_p > 7$

O organska glina,  $I_p$  ispod "A" linije ili  $I_p < 4$

Na slici 6.6 prikazan je dijagram plastičnosti prilagođen UC razredbi.



Slika 6.6 Dijagram plastičnosti za UC razredbu

Za podgrupe postoje slijedeće razredbene oznake;

za krupnozrna tla s manje od 5% čestica koje prolaze kroz sito br. 200 (ASTM, promjera otvora 0,075mm) odnosno sito promjera otvora 0,06mm prema britanskim standardima BS 1377:75:

**W dobro graduirano** ako je  $C_u > 4$  za šljunke;  $C_u > 6$  za pijeske, gdje je  $C_u$ -koeficijent jednolikosti ( $C_u = D_{60}/D_{10}$ ).

**P siromašno graduirano**; nedostaje poneka frakcija.

Za krupnozrna tla koja u granulometrijskoj krivulji sadrže više od 12 % čestica koje prolaze kroz sito br. 200 (ASTM, promjera otvora 0,075mm) odnosno sito promjera otvora 0,06mm prema britanskim standardima BS 1377:75:

C s glinom

M s prahom

Za sitnozrna tla:

H visoko plastična ( $w_L > 50\%$ )

L nisko plastična ( $w_L < 50\%$ )

Tlo, koje u granulometrijskoj krivulji ima između 5% i 12% čestica sitnijih od 0,06mm, ima dvojni razredbu (SW-SC). Tlo kojem je  $I_p$  iznad "A" linije i  $4\% < I_p < 7\%$  ima dvojni razredbu (ML-CL).

#### **6.10 RAZREDBA PREMA UPRAVI JAVNIH PUTOVA U SAD-U; „A“ RAZREDBA**

Razredba je prikazana u tabeli 6.18. Služi za određivanje relativne kakvoće tala koja se koriste kao gradiva u zemljanim radovima, posebno nasipima, posteljici (podlozi) i slojevima temeljnog i podtemeljnog tla (FHWA, 2002).

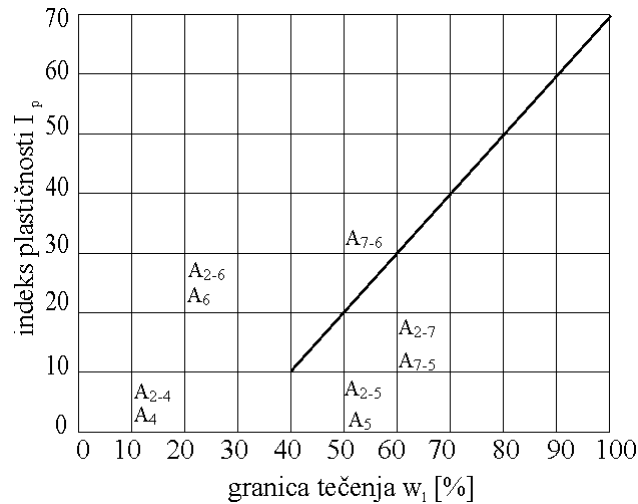
Sustav se temelji na kriteriju **granulometrijske analize**:

- šljunak, prolazi kroz sito otvora 75 mm i ostaje na situ otvora 2 mm;
- pijesak, prolazi kroz sito otvora 2 mm i ostaje na situ otvora 0,075mm;
- prah i glina, prolaze kroz sito otvora 0,075 mm,

i **plastičnosti**:

- prašnasto tlo, podrazumijeva se sitnozrno tlo s indeksom plastičnosti  $I_p \leq 10$ ;
- glinovito tlo, podrazumijeva se sitnozrno tlo s indeksom plastičnosti  $I_p \geq 11$ .

Ako tlo sadrži komade beće od 75 mm, ti se komadi isključuju iz postupka razredbe.



Slika 6.7 Dijagram plastičnosti za grupe A-2, A-4, A-5, A-6 i A-7 (AASHTO Standard M 145, 1995).

Za ocjenu kakvoće tla kao gradiva za posteljicu autoceste služi **grupni indeks**. Grupni indeks zavisi o količini tla koja prođe kroz sito promjera 0,074 mm ( $N^\circ 200$ ), granici tečenja i indeksu plastičnosti, a određuje se pomoću izraza:

$$G_I = (F-35)[0,2+0,005(w_L-40)]+0,01(F-15)(I_p-10) \quad (6.2)$$

gdje je:

F - postotak prolaza kroz sito promjera 0,075 mm;

$w_L$  – granica tečenja

$I_p$  – indeks plastičnosti.

Prvi dio jednadžbe 6.2 određen je granicom tečenja, dok je drugi dio određen indeksom plastičnosti.

Ako jednadžba 6.2 ima negativnu vrijednost  $G_I$  se uzima da je jednak nuli ( $G_I=0$ ).

Dobivena vrijednost se zaokružuje na bližu ( $G_I=3,4$  zaokružuje se na 3, a  $G_I=3,5$  zaokružuje se na 4)

Grupni indeks nema gornju granicu.

Grupni indeks za grupe A<sub>1-a</sub>, A<sub>1-b</sub>, A<sub>2-4</sub>, A<sub>2-5</sub> i A<sub>3</sub> je uvijek jednak nuli ( $G_I=0$ ).

Kada se računa grupni indeks za grupe A<sub>2-6</sub> i A<sub>2-7</sub> koristi se drugi dio jednadžbe 6.2 ili se računa kao:

$$G_I = 0,01(F-15)(I_p-10) \quad (6.3)$$

Tabela 6.18 Tabela vrijednosti grupnog indeksa  $G_1$  i odgovarajuće kakvoće tla kao gradiva za posteljicu odnosno podlogu nasipu

$G_1$	0-1	1 -2	2-4	5-9	10-20
kakvoća gradiva	vrlo dobra	dobra	osrednja	loša	vrlo loša

Po ovoj razredbi tla su razvrstana u 7 grupa, od kojih su neke podijeljene na podgrupe. Ukupan broj grupa i podgrupa je 12. Sustav je pogodan za razredbu zemljanih tala podloge (posteljice) i nasipa.

Tabela 6.19 „A“ razredba Uprave javnih putova SAD-a (FHWA, 2002)

opći opis	zrnata tla; 35% ili manje od ukupne količine prolazi kroz sito otvora 0,074mm						koherentna tla; više od 35% od ukupne količine prolazi kroz sito 0,074mm					
	A <sub>1</sub>		A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>				A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	
razredba grupa	A <sub>1a</sub>	A <sub>1b</sub>		A <sub>2-4</sub>	A <sub>2-5</sub>	A <sub>2-6</sub>	A <sub>2-7</sub>				A <sub>7-5</sub>	A <sub>7-6</sub>
granulometrijski sastav	[%]		[%]				35 max [%]				36 min [%]	
prolaz kroz sito: otvora 2 mm	50max		51min									
otvora 0,42 mm	30max 50max		10max									
otvora 0,074 mm	15max 25max											
svojstvo frakcije koja prolazi kroz sito 0,42 mm granica tečenja % indeks plastičnosti %	6 max		nije plastično									
grupni indeks	0		0				4 max				8 max 12 max 16 max 20max	
najčešće vrste bitnih frakcija	drobina, šljunak i pijesak		sitni pijesak				prašinski ili zaglinjeni šljunak i pijesak				prašinata tla glinovita tla	
vrednovanje tla za posteljicu	odlična do dobra						osrednja do slaba					

Za svaku od navedenih grupa postoji odgovarajući opis svojstava, opis ponašanja u određenim situacijama kao na primjer u dodiru s vodom, pri smrzavanju, pri promjeni zapremine, drenažnim svojstvima i sl. Grupe su opisane u nastavku.

Zrnasta tla (grupe  $A_1$  do  $A_3$ )

Grupa  $A_1$

obuhvaća dobro granulirane mješavine drobine ili šljunka, krupnog pijeska, finog pijeska i krupnog, izrazito niskoplastičnog ili slabo plastičnog koherentnog tla (SFs i SFc). Obuhvaća i drobinu, šljunak, krupan pijesak, vulkanski pepeo i slično. Tlo ima mali koeficijent pora ( $e$ ) i velike je nosivosti. Vrlo je stabilno pod kotačima vozila. Tlo je visoke krutosti, ima veliki kut unutarnjeg trenja, nije podložno štetnim skupljanjima, sirenjima i kapilarnom dizanju.

Grupa  $A_{1a}$

tla ove grupe pretežno se sastoje od drobine (šljunka) sa ili bez dobro granuliranog veziva sitnozrnog tla.

Grupa  $A_{1b}$

obuhvaća tla koja se pretežno sastoje od krupnog pijeska sa ili bez dobro granuliranog vezivnog tla.

Grupa  $A_3$

tipičan predstavnik ove grupe je sitnozrni obalni pijesak ili fini eolski pustinjski pijesak, bez prašinih i glinovitih čestica ili s vrlo malom količinom nisko plastičnog praha. Obuhvaća i mješavine ispranih naslaga slabo granuliranog finog pijeska i šljunka. Veliko unutarnje trenje, bez kohezije, bez štetnih pojava kapilarnosti ili elastičnosti. Ne bubri i ne skuplja se. Nestabilan je pod opterećenjem kotača, odličan je kao podloga za jednoliko raspodijeljeno opterećenje. Pogodan je za posteljicu ako je potpuno zatvoren. Zbijanje je moguće vibracionim strojevima.

Grupa  $A_2$

obuhvaća vrlo raznolika zrnata tla koja se nalaze u granicama između grupa  $A_1$  i  $A_3$  i prašinsto glinovitih tala grupa  $A_4$  i  $A_7$ . Obuhvaća sva tla, koja sadrže do 35% frakcija koje prolaze kroz sito promjera 0,074mm ( $N^\circ 200$ ), a koji se ne mogu svrstati u grupu  $A_1$  ili  $A_3$  zbog većeg sadržaja sitnih čestica ili veće plastičnosti ili iz oba razloga. Tlo je lošije, ima veći porozitet nego tlo grupe  $A_1$ . Slabo je vezano.

#### Podgrupe A<sub>2-4</sub> i A<sub>2-5</sub>

obuhvaćaju različita zrnata tla koja sadrže najviše 35% frakcija koje prolaze kroz sito promjera 0,074mm (N° 200) i dio frakcija koje prolaze kroz sito promjera 0,042 mm (N° 40), koje imaju svojstva grupe A<sub>4</sub> i A<sub>5</sub> (prahovi). Obuhvaćaju tla kao što su šljunak i krupni pijesak s prahom s indeksom plastičnosti većim od onog za grupu A<sub>1</sub>, zatim sitni pijesak s većim postotcima nisko plastičnog praha nego u grupi A<sub>3</sub>.

#### Podgrupe A<sub>2-6</sub> i A<sub>2-7</sub>

obuhvaćaju slična tla opisana pod A<sub>2-4</sub> i A<sub>2-5</sub>, samo što su sitne frakcije od plastične gline, koja ima svojstva grupe A<sub>6</sub> i A<sub>7</sub>. Približno ukupni utjecaj indeksa plastičnosti većeg od 10% i postotka frakcija, koje prolazi kroz sito promjera 0,074mm (N° 200), većeg od 15%, odražava se u grupnom indeksu od 0 do 4.

#### Prašinasto glinovita tla (grupe A<sub>4</sub> do A<sub>7</sub>)

##### Grupa A<sub>4</sub>

tipičan predstavnik ove grupe je nisko ili srednje plastično prašinasto tlo, koje ima 35% ili više frakcija koje prolazi kroz sito 0,074mm (N° 200). Obuhvaća i mješavine sitnog, prašinstog tla s 64% pijeska ili šljunka, koji ostaju na situ N° 200. Grupni indeks G<sub>I</sub> je od 1 do 8. Ovaj indeks opada s većim postotkom krupnijih frakcija. Podložno je bubrenju pod djelovanjem mraza. Gubi stabilnost pri odmrzavanju, tj. gubi čvrstoću pri povećanju vlažnosti. Tlo je stišljivo, u vlažnom stanju je vrlo male nosivosti, a ako je suho ima čvrstu gornju površinu. Unutarnje trenje je promjenljivo, kohezija mala do srednja. Tlo je neelastično i ima svojstvo visokog kapilarnog dizanja.

##### Grupa A<sub>5</sub>

tlo je slično onom iz grupe A<sub>4</sub>, samo što obično ima svojstva diatomejske zemlje ili mikašista i može biti vrlo elastično, čak i kad je suho, što pokazuje visoka granica tečenja. Grupni indeks se kreće od 1 do 12 i raste sa povećanjem granice tečenja i smanjenjem postotka krupnijih frakcija. Osjetljivo je na mraz i slabe nosivosti. Nepogodno je za tanke elastične kolnike, jer se brzo deformira pod opterećenjem. Teško se zbija zbog elastičnosti.

##### Grupa A<sub>6</sub>

tipičan predstavnik ove grupe je plastično glinovito tlo, koje obično ima 35% ili više posto udjela koji prolaze kroz sito promjera 0,074 mm (N° 200). Ova grupa obuhvaća i mješavine glinovitog tla i do 64% pijeska ili šljunka, koji ostaju na situ

promjera 0,074 mm (N<sup>o</sup> 200). Gradiva ove grupe obično imaju veliku promjenu zapremine između mokrog i suhog stanja. Grupni indeks se kreće od 1 do 16. Na porast vrijednosti grupnog indeksa zajedno utječu porast indeksa plastičnosti i opadanje postotka frakcija krupnozrnog tla. U zbijenom stanju tlo je dobro nosivo. S upijanjem vode gubi čvrstoću, upotrebljivo je kad se ugrađuje pri relativno maloj vlažnosti. Nije pogodno za tanke i elastične kolnike. Malo unutarnje trenje, velika kohezija pri niskoj vlažnosti. Nije elastično. Pri opterećenju nastaju deformacije koje se pri rasterećenju neznatno elastično vraćaju. Izmjene sušenje – vlaženje, na terenu, uzrokuju promjenu zapremine.

#### Grupa A<sub>7</sub>

tipično tlo slično je onom opisanom pod grupom A<sub>6</sub>, samo što ima visoku granicu tečenja, svojstvenu za grupu A<sub>5</sub> i može biti elastično pri nekim vlažnostima, teško se zbija i podložno je velikoj promjeni zapremine. Grupni indeks se kreće od 1 do 20. Porast granice tečenja i indeksa plastičnosti i opadanje postotka krupnih frakcija izazivaju povećanje grupnog indeksa. Sadrži liskune i diatomejsku zemlju. Deformira se i elastično brzo reagira pri opterećenju i rasterećenju. Promjena zapremine je štetnija nego kod grupe A<sub>6</sub>, Nije poželjan za posteljicu.

#### Podgrupa A<sub>7.5</sub>

obuhvaća ona tla srednjih indeksa plastičnosti u odnosu na njihove granice tečenja. Može biti jako elastično i podložno znatnoj promjeni zapremine.

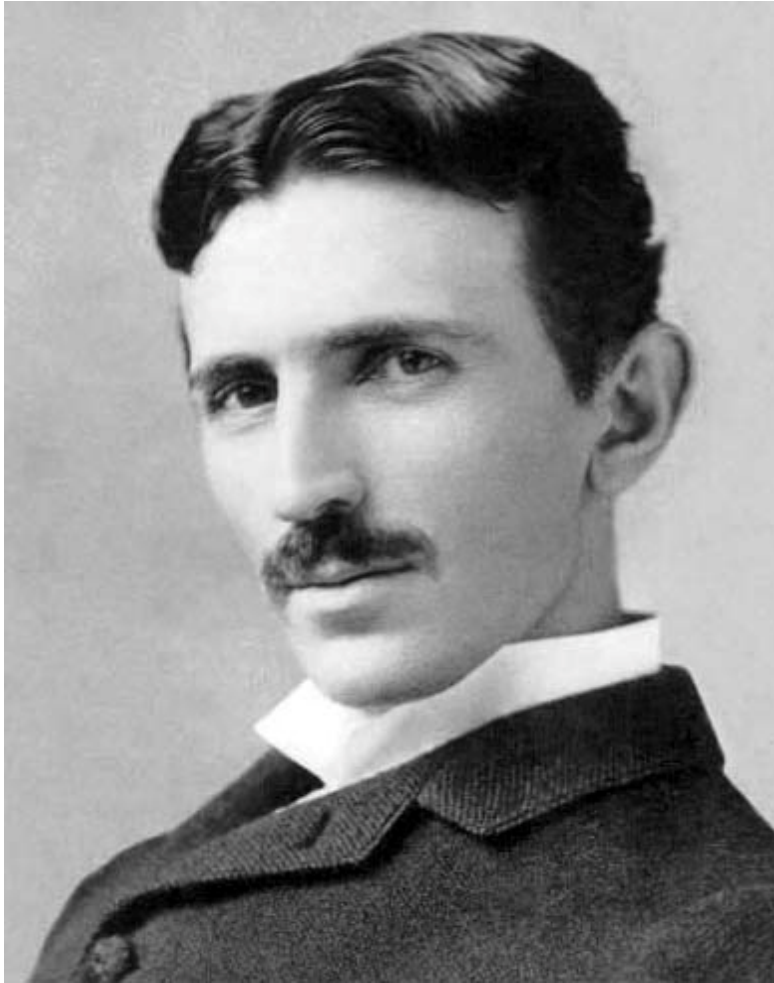
#### Podgrupa A<sub>7.6</sub>

obuhvaća ona tla koja imaju velike indekse plastičnosti u odnosu na njihove granice tečenja. Podložna su izrazito velikim promjenama zapremine.

NIKOLA TESLA

Izumitelj izmjenične struje

Posljedica: masovna izgradnja velikih brana između kojih i nasutih





## 7 UTJECAJ MRAZA NA POVRŠINSKE SLOJEVE TLA

Usjeci i nasipi su građevine kojima je površina izravno podložna utjecaju atmosfere. U područjima s dugotrajnim djelovanjem mraza, valja kod ovih građevina o tome voditi računa. Nasipe je moguće dijelom štititi od ovog utjecaja pravilnim odabirom gradiva, pravilnom zaštitom pokosa i pravilnom izvedbom nosive, bilo kolničke bilo podne konstrukcije.

Površine usjeka nastaju iskopom prirodnog tla i na obranu njihovih pokosa od utjecaja mraza, teško je utjecati. Potrebno je izvesti dobru zaštitu od erozije.

Utjecaj mraza na temelje, sprječava se pravilnim odabirom dubine temeljenja ispod dubine zamrzavanja, ovisno o klimatskom području. Za područje permafrosta (područja s izrazito dugotrajno niskim temperaturama) postoje zasebna rješenja (Phukan, 1991.).

### 7.1 OPĆENITO O UTJECAJU MRAZA NA TLO

Utjecaj mraza na tlo sastoji se od dva dijela. Prvi je zamrzavanje, pri kojem se stvaraju nakupine, leće leda. Pri tome led, koji ima 11% veću zapreminu od vode, stvara u tlu određeni omeđeni prostor u kojem su leće leda smještene. Drugi dio utjecaja mraza na tlo nastaje pri porastu temperature. Tada se javlja odmrzavanje, pri kojem se leće otapaju i u tlu ostavljaju šupljine u kojima su bile leće leda. Ova pojava općenito uvjetuje eroziju, ali je pogubna kod kolničkih površina. U anglosaksonskoj literaturi ova se pojava doslovno naziva „izdizanje zamrzavanjem“ (frost heave). Kad u proljeće, nakon otapanja leda, vozila prolaze kolnicima ispod kojih su bile leće leda, nastaju velika oštećenja.



Slika 7.1 Oštećenja kolnika nakon otapanja leća leda

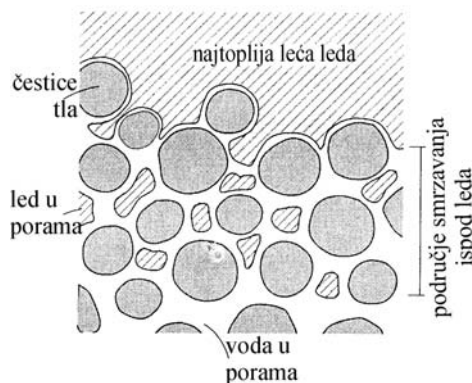
Stoga je nastanak leća leda vrlo neugodna pojava kod kolničkih konstrukcija.

Bijela cesta, bez kolničkog zastora (Mc Adamov kolnik), nije bila osjetljiva na ovu pojavu. Bijela se cesta i onako morala stalno održavati na način da su se rupe i kolotrazi, koji su u njoj nastajali, morali popunjavati tucanikom. S druge strane i vozila onog doba su bila lakša i manje zahtjevna.

Na utjecaj leda nisu sva tla jednako osjetljiva. Mnogi su autori uočili ovu pojavu u prvoj polovini 20. stoljeća, kada su se počele graditi moderne prometnice za teška vozila visokih osovinskih pritisaka s ravnim kolničkim zastorima. Uočena su bila izdizanja kolnika i do 30cm. Ova izdizanja javila su se u prašinstim tlima kod kojih je značajno kapilarno dizanje.

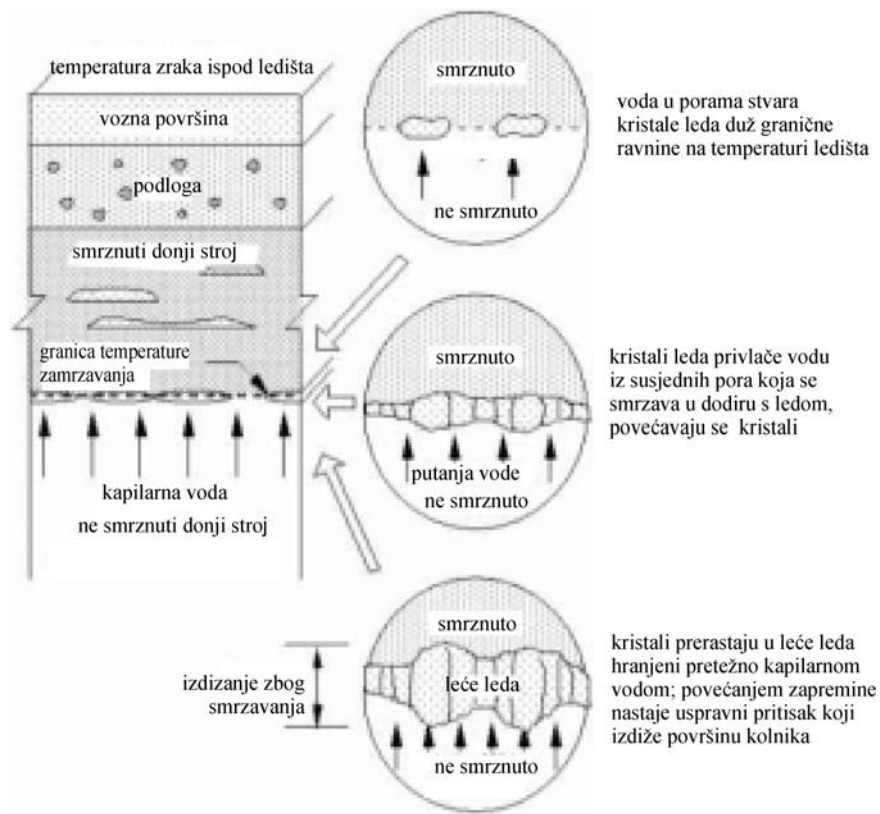
Zamrzavanje se odvija u svim vrstama tala, ali su neka na tu pojavu osjetljiva više, a neka manje. U krupnozrnim tlima stvaraju se kristali leda u porama, tzv. led in situ. Ovo se događa kada granica smrzavanja putuje dovoljno brzo u dubinu. Kod brzog pomicanja granice smrzavanja isto se događa i u sitnozrnim tlima. Međutim kada granica smrzavanja u dubinu putuje sporo, kapilarno vezana voda iz veće dubine ima vremena u ne smrznutom obliku doseći granicu smrzavanja i priključiti se stvaranju „leća leda“.

Pokazalo se naime da, čim započne stvaranje leda ispod površine tla, nastaje migracija čestica vode ka lećama leda tako da se one povećavaju sve dok je omogućen dotok kapilarne vode. Grafički se to može prikazati kao na slici koja slijedi.



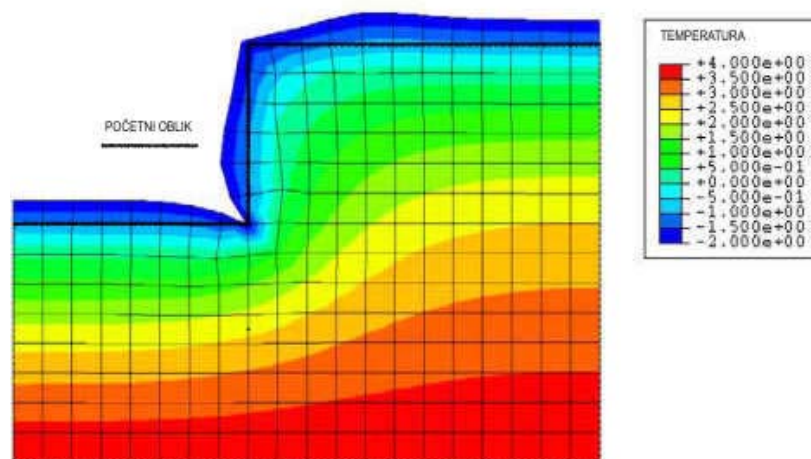
Slika 7.2 Stvaranje leća leda (Michalowski i Zhu, 2006.)

Istraživanja su pokazala da u ledu čestice migriraju s područja niže u područje više temperature (Michalowski i Zhu, 2006.) pa tako i u tlu ne samo voda već i nastali kristali leda u porama, migriraju ka najtoplijoj leći leda, šireći pri tom prostor pora i pretvarajući ga u veće šupljine. U kolničkim konstrukcijama ovaj se fenomen može pokazati kao na slici 7.3.



Slika 7.3 Stvaranje leća leda u trupu prometnice (www.training.ce.washington.edu)

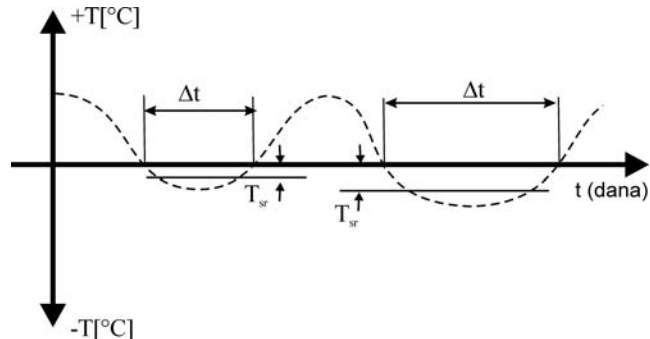
Utjecaj mraza na površinu usjeka vidljiv je na slici 7.4. Prikazane deformacije dobivene su na numeričkom modelu (konačni elementi).



Slika 7.4 Deformacija površine usjeka uslijed djelovanja mraza u trajanju od 20 dana (Michalowski i dr., 2006.)

## 7.2 TEORETSKO OBJAŠNENJE

Djelovanje mraza izražava se indeksom mraza  $I$  na način da se pomnoži broj dana trajanja temperature ispod nule s prosječnom temperaturom za to razdoblje. Izražava se na godišnjoj razini. Način proračuna je prikazan grafički na slici koja slijedi.



Slika 7.5 Grafičko objašnjenje indeksa mraza

$$I = \sum T_{sr} * \Delta t \quad (7.1)$$

Kada se poznaje indeks mraza  $I$ , moguće je odrediti dubinu zamrzavanja  $H$ , za određeno područje. Dubina područja zamrzavanja, u vremenu, može se prikazati modelom strujanja u neprekinutoj zasićenoj sredini kao funkcija vremena  $dz/dt$ . Ona ovisi o temperaturnom gradijentu  $-T_0/z$  i konstanti  $K$  kako slijedi:

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{T_0}{z} \frac{K}{L} \quad (7.2)$$

Konstanta  $K$ , zavisi o temperaturnoj provodljivosti tla i količini topline koja se odvodi iz zamrznute zone debljine  $L$ .

Integracijom jednadžbe (7.2) dobije se izraz za dubinu zamrzavanja  $z$ :

$$z^2 = \frac{2K}{L} \int T_0 dt \quad (7.3)$$

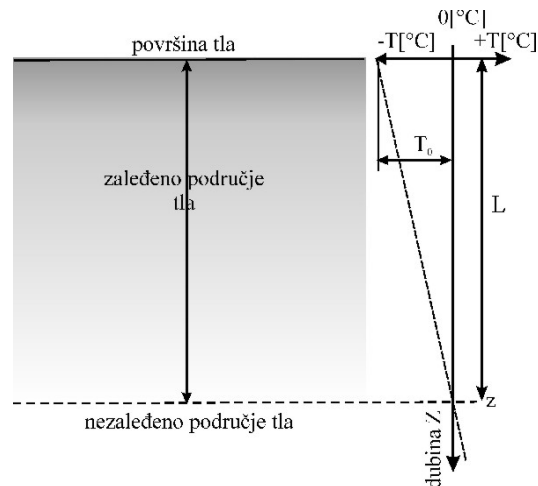
gdje je integrirana veličina zapravo indeks zamrzavanja  $I$  (na godišnjoj razini ili u nekom odabranom razdoblju), pa jednadžba poprima oblik:

$$z_{sr} = A\sqrt{I} \text{ [m]} \quad (7.4)$$

pri čemu je  $A$  konstanta ovisna o klimatskom području, a kreće se od  $A=3-10$ .

Za područje Hrvatske se u kontinentalnom i gorskom području i može uzeti vrijednost od  $A= 4-5$ .

Model se može prikazati skicom sa slike 7.6.



Slika 7.6 Dubina zamrzavanja ovisno o temperaturi na površini tla

### 7.3 CASSAGRANDEOVA RJEŠENJA

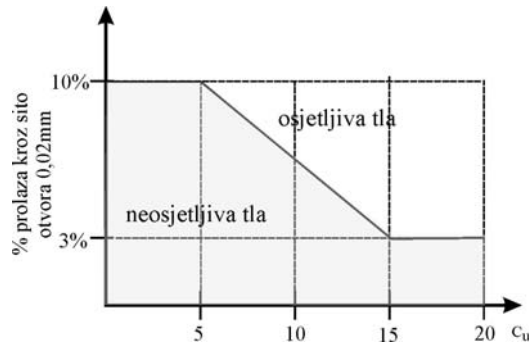
Između ostalih autora, pojavu leća leda u tlu je izučavao A. Cassagrande (Earth manual 1998.). Uočio je da su samo neka tla izrazito osjetljiva na pojavu leća leda. Svoja je saznanja povezao s granulometrijskim sastavom pojedinog tla po krupnoći i po rasponu, kojeg određuje pomoći koeficijenta jednolikosti  $C_u$ . Rezultat tog istraživanja je tzv. Cassagrande-ov kriterij koji određuje utjecaj količine sitnih čestica i nejednolikosti promjera zrna. Ova se nejednolikost prema Hazenu izražava kao:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \Rightarrow \text{koeficijent jednolikosti (vidi poglavlje 4.1);}$$

pri čemu su  $D_{60}$  odnosno  $D_{10}$  promjeri sita kroz koje prolazi 60% odnosno 10% ukupne mase ispitanog uzorka tla (iz granulometrijskog dijagrama). Kod jednoliko graduiranih tala taj je odnos  $C_u < 5$ , a nejednoliko graduirana tla imaju  $C_u > 15$ .

Cassagrande je utvrdio da su na mraz neosjetljiva ona tla koja imaju  $C_u \geq 15$  i manje od 3% čestica sitnijih od 0,02 mm (dobro graduirano, razredbene oznake W), odnosno imaju  $C_u \leq 15$  i manje od 10% čestica sitnijih od 0,02 mm (jednoliko graduirano, klasifikacijone oznake U). Uvažavajući ovaj kriterij može se Cassagrandeovo rješenje prikazati dijagramom kao na slici 7.7.

Slijedeći zaključak je da tla s manje od 1% zrna promjera manjeg od 0,02 mm nisu podložna stvaranju leća leda stoga jer se u njima stvara tzv. homogeni led, tj led u porama, koji s česticama tla tvori jedinstveni kostur. Otapanjem leda voda iz takvih tala zbog relativno velike propusnosti brzo oteče, a kostur čestica zadržava strukturu i ne gubi na čvrstoći odnosno nosivosti.



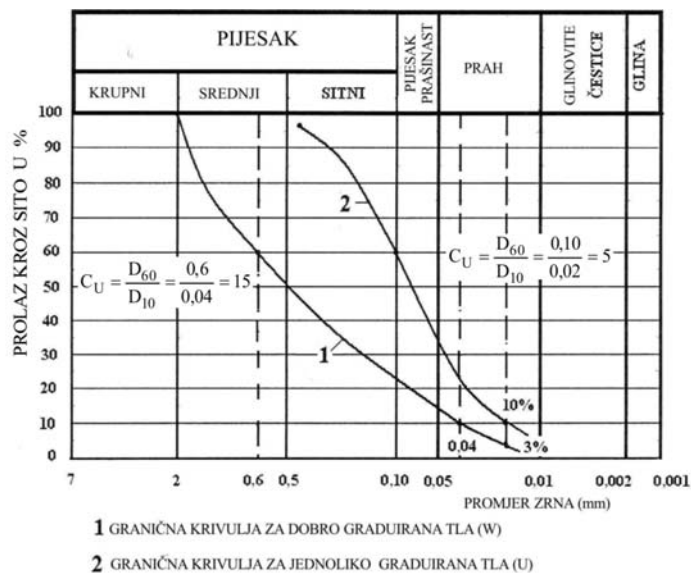
Slika 7.7 Kriterij osjetljivosti na smrzavanje prema Cassagrande-u

Neki su autori popravljali Cassagrande-ov kriterij iz nekoliko razloga:

Uočeno je da se leće leda stvaraju i u tlima za koje se pretpostavilo da bi trebala biti neosjetljiva.

Za neka se tla Cassagrande-ov kriterij pokazao kao pre strog.

Uvažavajući Cassagrande-ov kriterij, osjetljivost na mraz se može prikazati granulometrijskim dijagramom koji slijedi.

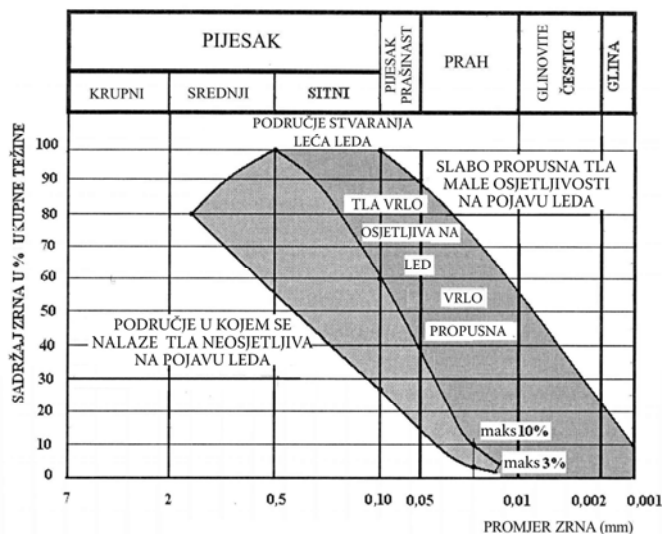


Slika 7.8 Cassagrande-ov kriterij osjetljivosti na mraz

Ovaj kriterij naknadno su dopunili njemački inženjeri na način da su utvrdili da je za stvaranje leća leda potrebno zadovoljiti dva uvjeta:

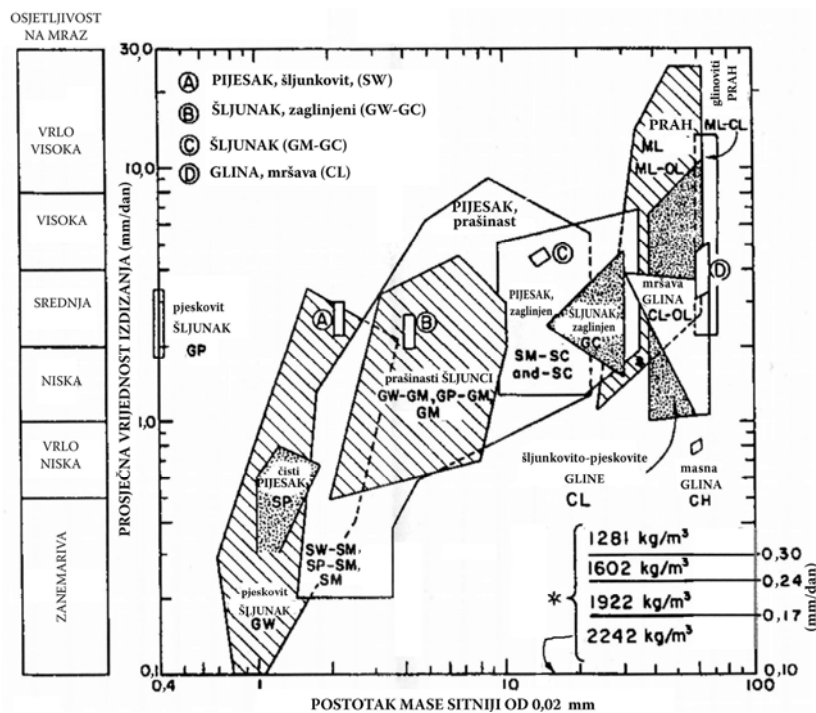
- tlo s velikom visinom kapilarnog dizanja i
- dovoljna propusnost, da kapilarnim dizanjem dođe dovoljna količina vode potrebna za stvaranje leća leda.

Ove uvjete može se prikazati popavljenim granulometrijskim dijagramom kao na slici 7.9.



Slika 7.9 Kriterij osjetljivosti na mraz prema njemačkim autorima (Lukić i Anagnosti, 2010.)

FHWA U.S. Department of Transportation daje slijedeći dijagram osjetljivosti tala na utjecaj mraza.



Slika 7.10 Razredba osjetljivosti na mraz temeljem postotka mase uzorka koji prolazi kroz sito otvora 0,02 mm (Cristopher, Schwartz, Boudreau, 2006.)

\*Oznaka na prethodnoj slici pokazuje vrijednost izdizanja uslijed povećanja zapremine pri potpunom zasićenju uzorka ( $S_r=100\%$ ) kada je sva voda zamrznuta, uz prodiranje mraza u dubinu brzinom od 6,35mm (0,25 inča) dnevno. Uočljivo je da tlo većeg poroziteta (manje gustoće) ima veće izdizanje. Sva četiri uzorka imaju isti postotak (oko 15%) zrna promjera manjeg od 0,02mm.

#### 7.4 JOŠ NEKE RAZREDBE VEZANE ZA POJAVU LEDA

U našim se propisima koristi HRN U.E1.012 koja daje slijedeću tabelu za ocjenu osjetljivosti tla na mraz:

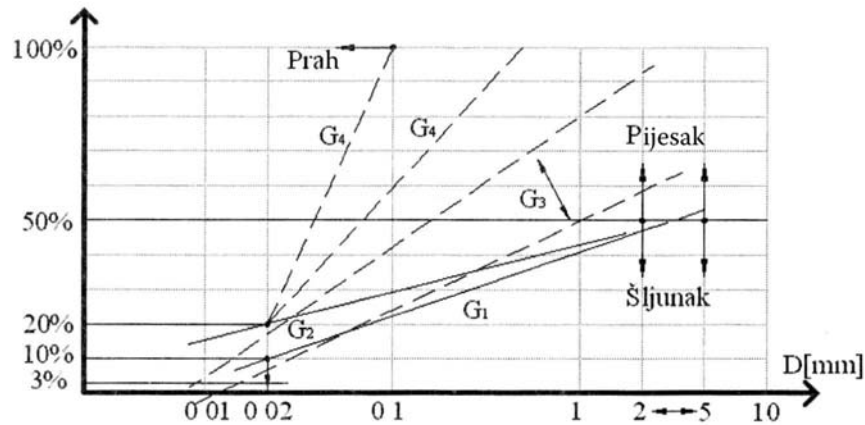
Tabela 7.1 Osjetljivost tla na mraz prema HRN U.E1.012

kategorijska	osjetljivost tla	opis tla	klasifikaciona oznaka prema HRN U.E8. 010
G1	zanemariva	šljunak s < 10% čestica sitnijih od 0,02 mm	GW, GP, GM, GC
G2	malo osjetljivo	šljunak s 10-20% čestica sitnijih od 0,02 mm i pijesak s 3-15% čestica sitnijih od 0,02 mm	GM, GC-GL, GM-GC SW, SP, SM, SC
G3	srednje osjetljivo	šljunak s > 20% čestica sitnijih od 0,02 mm pijesak s > 15% čestica sitnijih od 0,02 mm glina s $I_p > 12\%$	GS-CL, GM-GC, GM-ML SC, SM-SC, SM-ML CL, CH
G4	vrlo osjetljivo	prah i prašnasti pijesak s > 15% čestica sitnijih od 0,02 mm glina s $I_p > 12\%$	ML, MH, SM-ML CL, CL-ML, SM, CH,

Podaci se dobiju temeljem granulometrijske analize kojom se odredi količina čestica manjih od 0,02 mm u odnosu na ukupnu količinu manju od 60 mm u ukupnom uzorku i određivanja granice plastičnosti za sitnozrna tla.

Podaci iz tabele mogu se grafički prikazati pomoću granulometrijskog dijagrama sa slike 7.11.

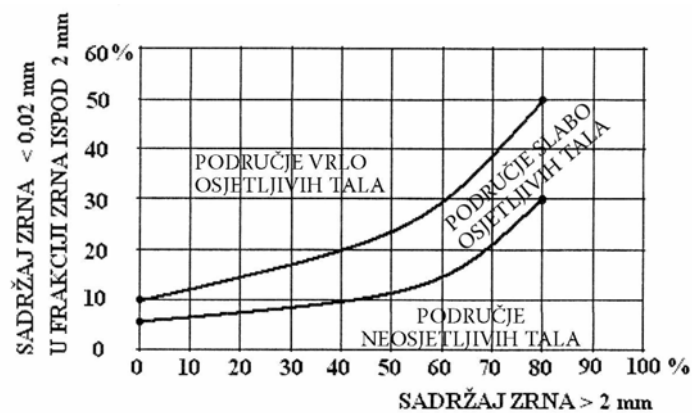




Slika 7.11 Kategorije tla prema osjetljivosti na mraz iz tabele 7.1 u granulometrijskom dijagramu.

Norma HRN U.E1.012 predviđa određivanje osjetljivosti na mraz procjenom. Za to je prikladno koristiti tabelu 7.2, ili prethodno navedene laboratorijske pokuse.

Prema istraživanjima u zavodu za hidrogradnje na ETH u Zürich-u i na više njemačkih autocesta, pokazalo se da se u nekim jednostavnijim slučajevima Cassagrande-ov dijagram sa slike 7.10 može pojednostavniti. Osim o postotku čestica manjih od 0,02 mm, osjetljivost na mraz ovisi i o količini krupnih čestica. Veća količina krupnih čestica smanjuje visinu kapilarnog dizanja i smanjuje opasnost od stvaranja leća leda.



Slika 7.12 Kriterij osjetljivosti na stvaranje leća leda prema švicarskoj normi

Njemački autori (Keil 1956.) dali su prijedlog za terensko prepoznavanje tla osjetljivog na mraz za razne vrste tala. Postupak je sličan onom za terensku identifikaciju tla. U nastavku se daje tabela autora Dücker-a i Kiel-a.

Tabela 7.2 Upute za terensku provjeru osjetljivosti tla na mrazu (Neumann, 1959.)

stupanj osjetljivosti	tla neosjetljiva na mraz	tla osjetljiva na mraz	tla jako osjetljiva na mraz
granulometrijski sastav	sve čestice tla uočljive prostim okom	dio čestica tla nije raspoznatljiv prostim okom	
<sup>1</sup> pokus padanjem	grumen se raspadne u pojedinačna zrna prilikom udara o tvrdu podlogu	grumen se ne raspadne ili se raspadne u nekoliko vezanih komadića	
<sup>2</sup> pokus pritiskom	grumen se raspada pri najmanjem pritisku	grumen je teško ili nemoguće zdrobiti	grumen se pod pritiskom drobi
<sup>3</sup> izrada valjčića	ne može se uvaljati, drobi se	može se uvaljati valjčiće i tanje od 3mm	valjčići se teško mogu uvaljati, brzo se drobe
<sup>4</sup> reakcija na potresanje	pri potresanju se na površini javlja voda koja pri pritisku na grumen ostaje na površini	pri potresanju voda izlazi ali dosta sporo i ne vraća se pri pritisku	voda lagano izlazi iz uzorka ali se pod pritiskom lako vraća u pore
<sup>6</sup> pokus paranjem	grumen nije dovoljno kompaktan da bi se mogao zaparati nožem ili noktom	brazda na vlažnom uzorku ima visok sjaj	može se zaparati ali je brazda mutnog sjaja
<sup>7</sup> ispitivanje vodom	potapanjem u vodu nema замуćenja	grumen se vrlo teško otapa u vodi	grumen se lako i brzo raspada i muti vodu

<sup>1</sup> Vlažni grumen tla veličine oraha se osuši. Podigne se nekoliko centimetara iznad tvrde podloge i pusti da padne. Opaža se raspadanje grumena

<sup>2</sup> Grumen je isti kao u stavku <sup>1</sup>, tvrdoća grumena ispituje se stiskom prstiju.

<sup>3</sup> Postupak sličan identifikacijskom pokusu plastičnosti.

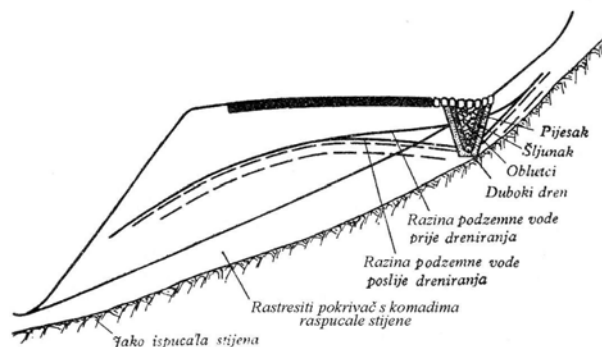
<sup>4</sup> Isti postupak kao kod reakcije na potresanje.

<sup>6</sup> Postupak kao pri određivanju sjaja kod identifikacije.

<sup>7</sup> Grumen tla prirodne vlažnosti potopi se u vodu.

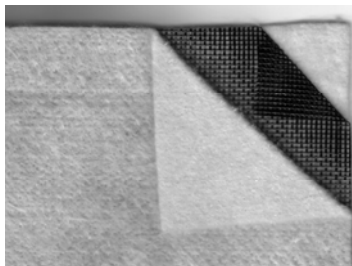
## 7.5 MJERE ZAŠTITE KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA OD ŠTETNOG UČINKA MRAZA

Utjecaj mraza na stvaranje leća leda moguće je svesti na najmanju mjeru pravilnim odstranjivanjem vode iz područja do kojeg mraz djeluje. Bitni je preduvjet dobra odvodnja područja koje se želi štititi. Na taj se način štiti nasip i pri obilnim oborinama i kada nema mraza. Snižavanje razine podzemne vode je samo djelomičan zahvat kojim se mogu smanjiti štete od mraza. Drenovi na padinskoj strani nemaju velike učinke pri snižavanju razine podzemne vode u nasipu na padini, kako je to prikazano na slici 7.13.



Slika 7.13 Učinak dubokog drena na padini na promjenu razine podzemne vode u nasipu

Najbolja zaštita postiže se pravilnim odabirom gradiva za nasip odnosno posteljicu trupa ceste na prirodnoj podlozi ili u usjeku, kojim se osigurava prekid kapilarnog dizanja vode. Posteljica spada u kolničku konstrukciju pa osim uvjeta zaštite od mraza mora imati propisanu nosivost ovisno o kategoriji ceste ili platoa određene namjene.



Slika 7.14 Geokompozit pogodan za odvajajući i ojačavajući sloj

Uputno je pridržavati se sljedećeg:

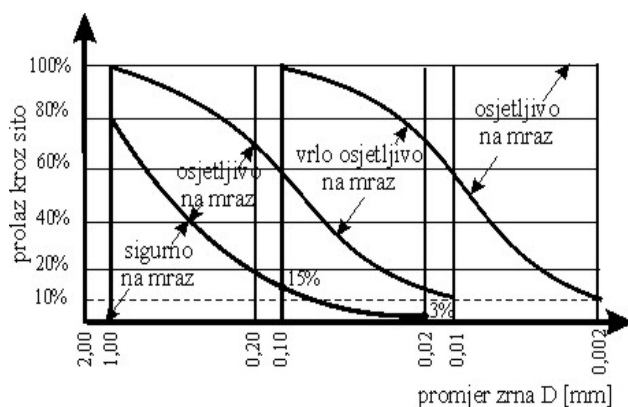
- posteljicu izraditi od gradiva sastava kao G1 ili G2 iz tabele 7.1 u minimalnoj debljini od 0,2 m do 0,4 m, ovisno o debljini nosive kolničkem konstrukcije;

- posteljicu izraditi od stabiliziranog gradiva s dodatkom vapna, cementa ili emulzija;
- povećati debljinu nosivog (tamponskog) sloja kolničke konstrukcije;
- postavljanje drenažnih slojeva (kompozitni geotekstili) koji sprječavaju dizanje kapilarne vode u područje zamrzavanja;
- dobra odvodnja podtla, planuma i kolnika.

Za debljinu i gradivo posteljice, mogu se približno koristiti podaci iz tabele (7.3) i dijagrama 7.15 (A. Cassagrande). Dijagram omogućuje izbor granulometrijskog sastava dijela tla sitnijeg od 2,00 mm, neosjetljivog na mraz.

Tabela 7.3 Debljine posteljice ovisno o vrsti tla u podlozi (Neumann, 1959.)

granulometrijski sastav podloge		najmanja visinska razlika između planuma i završne površine u [cm]			
mjerodavna količina zrna		u tlu male vlažnosti		u izrazito vlažnom tlu	
u ukupnom uzorku < 0,02mm	u frakciji <2 mm		nasipi > 2,00 m	nasipi < 2,00 m i usjeci	
	< 0,02 mm	< 0,1 mm			
0-3%	-	-	-	-	-
3-6%	<10%	<20%	-	-	60
6-10%	<15%	<30%	50	60	60
>10%	>15%	>30%	60	70	70



Slika 7.15 Granulometrijski dijagram s područjima različite osjetljivosti na mraz

Pri izgradnji kanala također valja voditi računa o utjecaju mraza. Kako kanali moraju biti vododrživi, to se njihovi završni slojevi izvode od sitnozrnih tala. Da bi se spriječio utjecaj mraza potrebno je izvesti završne vododržive slojeve barem u debljini od 60 cm (Earth Manual, 1998).

## 8 ISKOPI

Iskop je građevinski zahvat kojim se strojno (rjeđe ručno) odstranjuje tlo s područja buduće građevine. Iskapati se može i tlo s namjerom da se ugradi u nasutu građevinu na nekoj potrebnoj lokaciji.

Svaki iskop sastoji se od tri vrste radova bez obzira o kakvim se iskopima radi i čemu oni na kraju služe. To su **pripremni radovi**, **glavni radovi – iskopi** i **završni radovi**.

Iskopi se mogu vršiti na površini terena, u podzemlju (tunelski) i pod vodom. U nastavku će biti govora isključivo o iskopu na površini terena.

Površinski iskopi mogu se podijeliti kako slijedi:

- iskopi u neograničenom prostoru;
- iskopi u ograničenom prostoru.

Prema namjeni iskopi se mogu podijeliti na:

- iskop humusa ili trošnog površinskog sloja, plitki iskopi pri uređenju zemljišta;
- iskopi, masovni široki, za potrebe temeljenja velikih građevina, (velikih brana), izgradnju platoa (kontejnerskih terminala, odlaganje rasutih tereta) i sl.;
- iskopi usjeka, pred-usjeka kod tunela i zasjeka;
- iskopi za temelje;
- iskopi za rovove;
- iskopi kanala;
- iskopi uskih rovova za potrebe zaštite građevne jame;
- iskopi u pozajmištima (šljunčarama, gliništima, kamenolomima).

Prema obliku prostora iskopa može se izvršiti slijedeća podjela:

- izdužena trasa iskopa za: rovove, kanale, trakaste temelje (kod potpornih zidova), podkope, tunele, s uglavnom stalnim poprečnim presjekom iskopa;
- plošni iskop za: temelje većih površina, platoe i pozajmišta, gdje je dubina bitno manja u odnosu na površinu iskopa;
- iskop bunarskog tipa, gdje je dubina znatno veća od površine, primjer temelji samci, temeljne jame manjih površina i razni tipovi okana;
- iskopi složenih oblika i dubina, gdje se poprečni presjek kao i površina iskopa mijenjaju duž trase (kod prometnica i slično).

Prema nagibu površine, iskopi se mogu podijeliti na:

- vodoravne,
- uspravne i
- iskope raznih nagiba.

Iskopano se tlo može privremeno odložiti bez odvoza, ako ne smeta na radilištu, ali se češće utovaruje u prijevozna sredstva i odvozi.

**Iskopi u neograničenom** prostoru nazivaju se još i široki iskopi. Javljaju se kod građevina velikih tlocrtnih površina prometnica, luka i slično.

**Iskopi u ograničenom** prostoru mogu biti iskopi sa stabilnim pokosima i iskopi s podupiranjem bokova. Treba razlikovati one iskope koji će naknadno biti zapunjeni (zatrpani) kao što su iskopi za temelje, iskopi za rovove i građevne jame, od onih koji se izvode da bi se postigle nove umjetne površine tla kao na primjer otvoreni kanali, trase prometnica i platoi raznih namjena.

Pri većim dubinama širokog iskopa, potrebno je voditi računa o stabilnosti nastalih pokosa. Nagibi pokosa ovisiti će o vrsti tla u kojoj se vrši iskop, visini tako nastalog pokosa i veličini okolnog slobodnog prostora. Tu se razlikuju **privremeni pokosi** i **stalni pokosi**, koji će postati sastavni dio građevine. Pokosi usjeka i zasjeka kod prometnica i pokosi obala kanala, su **stalni pokosi**. Stalni pokosi moraju se izvoditi prema projektnoj dokumentaciji kojom se dokazuje njihova trajna stabilnost. Za pokose koji su takvog nagiba da ne mogu stajati samostalno, a ne mogu se ublažiti na stabilni nagib iz bilo kojeg razloga, projektom je potrebno predvidjeti zahvate koji će osigurati stalnu stabilnost. To su najčešće razne vrste potpornih građevina, ali mogu biti i drenaže, koje mijenjaju oblik strujnog polja i tako povećavaju stabilnost kosine.

Iskopi, koji će naknadno biti zapunjeni ili zatrpani, su **privremeni iskopi** (iskopi s privremenim pokosima ili s privremenim podgradama). Stoga je i različit način projektiranja, dimenzioniranja i izvođenja pojedine vrste iskopa.

**Iskopi u ograničenom prostoru** mogu se izvoditi bez zaštite i sa zaštitom pokosa. Da li će se koristiti zaštita ili ne ovisi o vrsti tla kao i o nizu okolnosti koje vladaju u okolini gradilišta. Koherentna tla se do neke dubine mogu kopati bez zaštite, dok se nekoherentna tla uvijek osipaju te ih je potrebno podgrađivati.

Posebnu pažnju treba posvetiti razini podzemne vode (RPV), jer tlo ispod RPV ima bitno različita svojstva nego iznad RPV. Ako još prilikom iskopa, iz tehnoloških razloga dolazi do sniženja RPV, javlja se tečenje ka iskopu. Ono mijenja strujno polje u tlu, a što može izazvati klizanja i urušavanja pokosa.

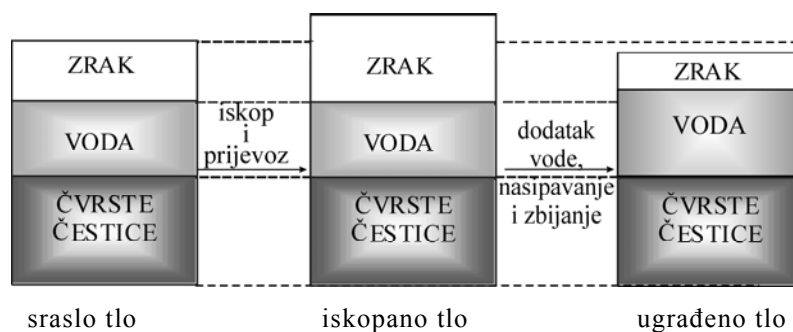
Tehnike iskopa su različite, a ovise o vrsti tla koje se iskopa i mehanizaciji koja stoji na raspolaganju pri iskopu. Najčešće se koriste strojevi koji izvide:

- kopanje;
- ripanje;
- struganje;
- razbijanje;
- glodanje;
- rezanje.

Kod iskopa stijenske mase, kada strojevi više nisu ekonomični, koristi se miniranje.

### 8.1 PROMJENA ZAPREMINE ILI RAZRAHLJENJE (RASTRESITOST)

Prilikom iskopa i utovara mijenja se prirodna struktura tla bez obzira na tehnologiju iskopa. Iskopom se tlo razrahljuje. Time se povećava njegova zapremina u odnosu na zapreminu sraslog tla i mijenjaju geotehnička svojstva u odnosu na sraslo tlo. Kada tlo služi za nasipanje tada ga je prilikom ugradnje potrebno ponovno zbiti na početnu ili projektom predviđenu gustoću. Ta je pojava prikazana na slici 8.1.



Slika 8.1 Promjena zapremine i količine vode kod zemljanih radova

Razne vrste tala imaju različite promjene zapremine prilikom iskopa i ponašanje pri zbijanju, prilikom ugradnje. Najveće se razrahljenje javlja pri iskopu stijenske mase, a najmanje kod iskopa krupnog šljunka. Iskustveno su dobivene vrijednosti povećanja zapremine rastresanjem. Kada tlo služi kao gradivo za nasipe potrebno je provesti laboratorijske i terenske pokuse da bi se utvrdila najveća moguća zbijenost pojedine vrste tla u određenim uvjetima koje zahtijeva projekt. Kod ugradnje usitnjene stijene, zapremina je uvijek veća od zaprimine iskopane stijene.

U literaturi se može naći podatke o rastresitosti tj. povećanju zapremine prilikom iskopa, za različite vrste tla. Jednu takvu tabelu daju Lukić i Anagnosti (2010.)

Tabela 8.1 Rastresitost pojedinih vrsta tala pri iskopu (prema Luké i Anagnosti 2010.)

	gustoća u prirodnom stanju [kN/m <sup>3</sup> ]	povećanje zapremine prilikom iskopa i utovara [%]	gustoća u rastresitom stanju [kN/m <sup>3</sup> ]
uslojena glina	20,2	22	16,5
zbijena glina	20,1	21	16,6
vlažna glina	20,8-21,0	25-40	15,0-16,6
suha glina	16,4-18,4	23-40	11,7-14,8
suha pjeskovita glina	16,6	17	14,2
vlažna pjeskovita glina	18,3	19	15,4
vlažna prašinstva glina	16,0-16,6	25	12,8-13,8
suha prašinstva glina	13,6	25	10,9
zaglinjeni pijesak	16,6	17	14,2
sitnozrno s 25% kamena	19,6	25	15,7
suhi čisti pijesak	16,0	13	14,2
vlažni pijesak	20,7	12	18,5
suhi pijesak i šljunak	19,3	12	17,2
vlažni pijesak i šljunak	22,3	10	20,3
suhi šljunak	16,9	12	15,1
suhi šljunak 6-50mm	19,0	12	17,0
vlažni šljunak	23,4	10	21,3
vlažni šljunak 6-50mm	22,6	12	20,2
suhi zaglinjeni šljunak	16,6	17	14,2
vlažni zaglinjeni šljunak	18,4	19	15,4
trošne stijene	19,6-22,8	24-42	15,8-19,6
75% stijena, 25% sitno	27,9	42	19,6
50% stijena, 50% sitno	22,8	33	17,1
25% stijena, 75% sitno	19,6	24	15,8
vapnenci	26,1	69	15,4
mramori	27,3	67	16,3
pješčenjaci	25,2	67	15,1
škriljci	28,8	30	22,2
granit	26,7-27,3	50-64	16,6-17,8
bazalt	26,5—29,7	49	17,8-19,9

O povećanju zapremine prilikom iskopa, treba voditi računa kod obračuna količine prevezenog tla, koja je zaista veća od one iskopanog tla.



## 8.2 PRETHODNI I PRIPREMNI RADOVI

Da bi se započelo s građenjem općenito, potrebno je izvršiti određene prethodne i pripreme radove. Svi ovi radovi opisni su u „Projektu organizacija građenja“, kojeg je dužan izraditi izvođač. Opseg ovih radova ovisi o opsegu glavnih radova. Kod složenih građevinskih zahvata izrađuje se projekt organizacije građenja, u sklopu kojeg se uz ostalo nalazi i projekt pripremnih radova.

U **prethodne radove** spadaju (OTU, 2001., knjiga 1):

- premještanje postojećih prometnica i instalacija;
- rušenje postojećih objekata;
- privremeno ili trajno skretanja korita vodotoka;
- podizanje privremenih mostova, izrada pristupnih tunela, „štolni“ i sl.
- zaštita, a po završetku radova i obnova vlasništva, kulturnih spomenika i prirodnog okoliša (obala vodnih površina, drveća).

U **pripreme radove** radilišta spadaju

- izrada gradilišne infrastrukture;
- izrada gradilišnog naselja;
- izrada pomoćnih građevina, skladišta, trafostanica i sl.
- izrada pristupnih putova gradilištu.

Nakon što su ove radnje izvršene potrebno je prije početka zemljanih radova, izvršiti određene predradnje na mjestu buduće građevine. Ove radnje sastoje se od:

- rušenje i uklanjanje umjetnih objekata;
- sječa šiblja, grmlja, granja, drveća i vađenje panjeva;
- osiguranje gradilišta od dotoka tuđih voda (obodni jarci i podzemne drenaže);
- skidanje humusa i njegovo odlaganje;
- iskolčenje građevine te postavljanje i osiguranje stalnih točaka i repera;
- zasijecanje terena, ako je ovaj u nagibu;
- zbijanje podloge prije nanošenja prvog sloja (kada se nasipava).

Prije ustupanja radova izvođaču, geodetska služba mora **iskolčiti** glavnu os građevine i sve stalne točke potrebne za građevinu. Zatim treba izvršiti osiguranje stalnih točaka izvan područja zahvata i ugraditi i iskolčiti glavne visinske repere, jedan ili više njih, što ovisi o veličini zahvata. Ovi se podaci zapisnički stavljaju na raspolaganje izvođaču u vidu nacrtu „**plana iskolčenja**“. Temeljem ovih podataka i projekta, izvođač će iskolčiti sve pomoćne točke, kojima će se odrediti osnovna geometrija građevine (rubovi usjeka, nasipa, temelja mostova, propusta i sl.). Prije početka radova treba iskolčiti i snimiti poprečne profile prvobitnog stanja na terenu,

koji su projektom predviđeni kao i dodatne, ako se za tim ukaže potreba. Na osnovi ovih profila vršit će se obračun i naplata radova.

Na cjelokupnoj površini zahvata, što podrazumijeva i površine svih pomoćnih i privremenih građevina, te svih gradilišnih putova, treba nakon završenog iskolčenja izvršiti **sječu drveća, krčenje šiblja te vađenje panjeva**. Šiblje treba iskopati zajedno sa korijenom. Panjevi se vade strojno buldožerom i sl. ili eksplozivom, ovisno o njihovom broju, veličini i opremljenosti izvođača. Prema OTU „na površinama iskopanim za profil ceste treba izvaditi sve panjeve i korijenje do ovih dubina:

- na zaobljenim površinama zasjeka - do površine zaobljenja,
- ispod nasipa - na najmanje 0,20 m ispod planuma (površine) temeljnog tla,
- ispod kolničke konstrukcije koja dolazi neposredno na temeljno tlo na najmanje 0,50 m ispod planuma (površine) temeljnog tla (planuma posteljice).“

Gradilište je u cijelosti potrebno osigurati od dotoka vlastitih i vanjskih podzemnih i oborinskih voda.

**Skidanje humusa** je slijedeći korak u pripremi gradilišta. Humus se skida s cjelokupne površine gradilišta. To je površinski sloj tla bogat organskim sastojcima, koji nije primjeren za ugradnju u nasipe, a kao podloga budućem temelju, nasipu ili brani može biti veoma opasan. Potrebno ga je pažljivo i u potpunosti odstraniti.

Ako se ne odstrani u punoj debljini, tvori stišljivu, potencijalnu, kliznu plohu i procjednu plohu na spoju temelja odnosno nasipa i tla. Debljina sloja humusa koji će se odstraniti određuje se istražnim radovima i pregledom na terenu. Debljina humusnog sloja iskustveno iznosi od 10-30 cm. Površinsko, sraslo tlo, koje ima više od 10% organskih tvari, smatra se humusom. Za nasipe se smije koristiti samo tlo s kojeg je skinut humus. Kada se iskopano tlo koristi za nasipe, količinu organskih tvari je potrebno utvrditi u laboratoriju.

Naročitu pažnju pri skidanju humusa treba posvetiti koritima vodotoka u kojima je humus pomiješan s muljem i tvori loši sloj veće debljine. Nisko raslinje može se odstraniti zajedno s humusom ako se ovaj neće naknadno koristiti. Na prostoru s kojeg se skida humus treba osigurati dobru poprečnu i uzdužnu odvodnju. Humus se skida strojno buldožerima, tako da se nagurava u hrpe koje se zatim utovarivačem tovaru u prijevozna sredstva i odvozi na odlagalište. Nakon skidanja humusa površinu je potrebno zbiti i zagladiti u blagom nagibu, da se spriječi zadržavanje vode i razmekšavanje tla.

Humus se iskapa i odlaže na trajno odlagalište, kada ga se neće naknadno koristiti ili na privremeno odlagalište kada je predviđeno njegovo naknadno korištenje pri ozelenjavanju površina. Odlaganje treba izvršiti tako da se dobiju stabilni oblici, kako pod utjecajem oborina ne bi došlo do klizanja i oštećenja ovih odlagališta. Ne smije se odlagati s tлом iz iskopa u kojem nema humusa i koje će se kasnije koristiti za nasip. Kada ga se kasnije koristi, nastoji ga se odložiti što bliže budućem mjestu ugradnje. **U stjenovitom tlu može se dogoditi da nema humusa.**

**Uređenje površine okršenog tla.** Površina okršenog tla može biti pokrivena ili gola. Kada je okršeno tlo prekriveno raslinjem, postupa se kako je opisano i kod ostalog tla. Pokriveni krš najčešće na površini ima sloj humusa koji je potrebno odstraniti.



Slika 8.2 Okršena površina tla – usjek sa saniranim dijelom kaverne u nožici

Posebnost krša je da mu je površina izrazito rastrošena, puna pukotina-praznih ili ispunjenih glinom crvenicom, prekrivena nizom nevezanih blokova i vrtača. Ovakvu je površinu potrebno urediti na način da se daljnji radovi obavljaju na čvrstoj i čistoj podlozi. To znači da je potrebno odstraniti sve pojedinačne nevezane blokove. Potrebno je očistiti glinu crvenicu iz pukotina, tamo gdje je to moguće. Nastale neravnine i pukotine potrebno je zatvoriti nasipom propisane kakvoće, uz pažljivu izvedbu i provjeru kakvoće ugradnje. Zatvaranje se može izvesti i mješavinama s vezivom, ovisno o zahtjevima u projektu.

Posebnu pažnju treba posvetiti vrtačama, koje mogu biti mjesta prirodne, površinske odvodnje. Prema OTU „Rad obuhvaća sve poslove koji, prema rješenjima

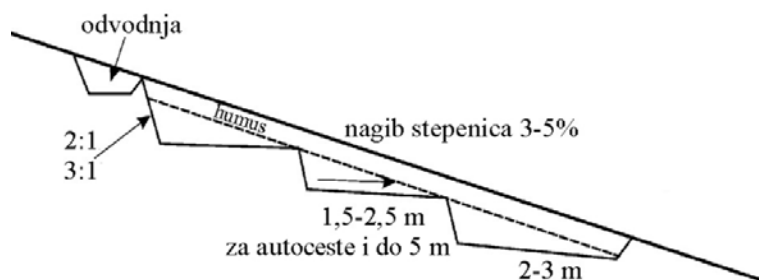
iz projekta treba osigurati prirodnu funkciju vrtača. Sanacije vrtača se u projektu prema obliku, veličini i funkciji dijele u više tipskih tehničkih rješenja. Ta tehnička rješenja osiguranja, na mjestima kraških pojava, dana su u projektima načelno pa ih treba prilagođivati i dopunjavati prema stvarnim prilikama na terenu.“

„Ovisno o otvorenosti ili zatvorenosti vrtače u smislu odvođenja površinskih voda, tipska rješenja sanacije vrtača uglavnom se odnose na ugradnju kamenih blokova ili čistog kamenog gradiva u kombinaciji s geotekstilom koji ima ulogu filtra.“

Projektom se mogu predvidjeti posebne podtemeljne građevine (betonske, armirane) za sanaciju vrtača.

Kontrola kakvoće za upotrijebljeno kameno gradivo kao i pripremu te ugrađivanje betona i drugih gradiva, obavlja se prema odgovarajućim odredbama OTU.

**Zasijecanje.** Kada je teren u nagibu većem od  $20^\circ$ , a na njemu će se kasnije izvoditi nasip, potrebno je radi veće stabilnosti nasipa, **iskop izvoditi** tako da se izvede **u više stepenica**. Ovim se odmah vrši priprema terena za daljnji rad, pa se kasnije nije potrebno vraćati i doradivati podlogu naknadnim iskopima. Zasijecanje se vrši stepenasto na svakih 100 – 300 cm visinske razlike, ovisno o nagibu terena, a ploha nalijeganja treba da je u padu 3-5% (OTU 4%) u smjeru pada terena, kao na slici 8.3.



Slika 8.3 Stepene u nagnutom tlu

Zasijecanje se vrši nakon skidanja humusa i to pomoću buldožera, ako to prilike dopuštaju, odnosno ručno, ako je teren u velikom nagibu ili ako je stjenovit. Ako se na tako pripremljenom iskopu namjerava izvoditi nasip tada zasijecanje treba izvršiti neposredno prije početka nasipavanja, kako se podloga ne bi izlagala dugotrajnijem vlaženju i raskvašenju te eventualnom odronjavanju stepenastih zasjeka. Prije ugradnje nasipa, zamjenskog sloja ili temelja, podlogu treba uvaljati prema zahtjevima iz projekta.

## 8.3 ALATI ZA ISKOP

### 8.3.1 Ručni iskop

Danas se ručni iskop koristi samo na mjestima gdje je nemoguće pristupiti strojem ili se zahtjeva izvanredna preciznosti radova. Ručni iskop vrši se u mekšim tlima lopatom, u miješanim tlima koja sadrže krupnije komade kamena i u krutim glinama pijukom (krampom) i motikom, a u mekim stijenama i zdrobljenim stijenama ručnim, pneumatskim čekićima. Precizno uređenje pokosa u raspucalim stijenama dotjerava se ručno („kavanje“), čeličnim šipkama (pajser, ćuskija). Neki od ovih alata prikazani su na slici 1.1. Ručni iskop sve više zamjenjuju mali građevinski strojevi.

### 8.3.2 Strojni iskop

Prethodno su nabrojani mogući načini strojnog iskopa kao: struganje, ripanje, kopanje, razbijanje, glodanje, rezanje.

Danas postoji niz jakih strojeva koji omogućuju iskop u tlima raznih svojstava. Strojevi su samohodni, najčešće na gusjenicama, ali i na kotačima. Gusjenice se mogu namjenski prilagoditi terenu na kojem će stroj raditi. Za rad u stjenovitom terenu gusjenice mogu biti uske, dok se za rad na mekom, močvarnom ili općenito slabo nosivom tlu koriste široke gusjenice. Gusjeničari mogu imati okretnu platformu, što omogućuje stroju zaokret za 360°. Mnogi su ovi strojevi višenamjenski što znači da mogu raditi s nekoliko vrsti alata.

#### 8.3.2.1 Dozeri

Grupa strojeva koji izvode ravninski iskop guranjem tla (struganjem) su dozeri. Dozeri na prednjoj strani imaju nož sa sječivom na rubu.

Dozeri s nepokretnim nožem nazivaju se **buldozeri**. Kada je nož pokretan i može se zakretati u vodoravnoj ravnini, tada se stroj naziva „**angldozer**“ (angle dozer). Ovaj stroj ima nešto veće manevarske sposobnosti i nož nešto širi od širine samog vozila nego buldozer. Kada se nož može zakretati oko vodoravne osi, naziva se „**tiltdozer**“. Postoji i kombinacija „angl“ i „tilt“ dozera.

Visinski se nož može regulirati. Time se regulira dubina iskopa. Dozer radi tako da zabije sječivo do određene dubine, iskapa tlo i guranjem premješta iskopano tlo prema naprijed do određene točke. Što je udaljenost na koju dozer odlaže tlo kraća, to je učinak dozera manji. Učinak se naglo mijenja između prijevoza na udaljenost od 10-50 metara, a zatim pada postepeno. Proizvođač daje učinak do udaljenosti od 100 metara (Caterpillar, priručnik).



Slika 8.4 Nož (blade) dozera sa sječivom na donjem rubu

Na početni se položaj vraća natraške s podignutim nožem. Dozeri rijetko rade sa okretom. Uglavnom se pomiču naprijed-natrag. Pri kretanju naprijed kopaju i guraju na hrpu, a pri kretanju natrag samo se vraćaju na novi položaj za kopanje.

Noževi mogu biti raznih oblika, a veličina im je prilagođena snazi pogonskog stroja. Na slici 8.5 prikazan je dozer sa zakrivljenim nožem.



Slika 8.5 Buldozer sa zakrivljenim nožem



Slika 8.6 Angldozer na gusjenicama

Na slici 8.6 prikazan je angldozer na gusjenicama u radu. Vidi se plitki iskop koji je moguće postići ovim strojem. Tlo guraju uvijek niz padinu



Slika 8.7 Dozer na kotačima

Prvi strojevi ove vrste nastali su dodavanjem noža za guranje na obični traktor. Zatim im je dodana hidraulika za upravljanje nožem te su im se povećale radne sposobnosti.



Slika 8.8 Traktor kao vozilo za dozer

Danas ih ima različitih veličina, od onih veličine samohodne kosilice za travu do iznimno velikih strojeva koji se koriste za površinski iskop mineralnih sirovina.



Slika 8.9 Mini dozer nove generacije

Vozilu mogu biti dodani rijači (tip pluga), jedan ili više njih, koji služe za razrahljenje (ripanje) čvršćih, površinskih slojeva tla. Tako razrahljenu površinu je lakše kopati nožem dozera.





Slika 8.10 Buldozer na gusjenicama s rijačem za ripanje sa stražnje strane

Dozer se uvijek kreće naprijed. Stoga su rijači postavljeni tako da ih dozer vuče. Hidrauličkim se komandama određuje dubina zabijanja noža kao i dubina zabijanja rijača. Time je određena dubina razrahljenja i iskopa nožem.

Buldozer na kotačima češće se koristi u neke druge svrhe na pr. skupljanja i naguravanja gradiva na hrpe, nego za iskop.

Dozeri osim za iskop služe i za razastiranje i poravnanje razastrtog sloja. Ima ih najrazličitijih vrsta i snage. Da bi se izabrao pravi stroj potrebno je poznavati uvjete na terenu u kojima će stroj raditi. Pri odabiru je važno poznavati mogućnosti kretanja stroja po gradilištu. O tome će ovisiti hoće li to biti vozilo na kotačima ili gusjeničar.



Slika 8.11 Angle dozer na gusjenicama

### 8.3.2.2 Skreperi

Skreperi su strojevi koji istovremeno, u kretanju, vrše više radnji. Pogodni su za iskop pjeskovite gline, a rabe se za masovne zemljane radove.



Slika 8.12 Skreper u radu pri iskopu i utovaru

U prvom koraku vrše iskop, samoutovar i prijevoz iskopanog tla. U drugom koraku nakon pređenog potrebnog puta, vrše istovar, razastiranje i grubo planiranje.

Mogu biti vučeni ili samohodni. Pogonski se dio nalazi na gumenim koračima

Sastoje se od pogonskog dijela na gumenim kotačima i sanduka s nožem, uobičajene zapremine oko 40 m<sup>3</sup>. Sanduk je smješten na nosač na gumenim kotačima.



Slika 8.13 Noviji model skrepera s vlastitom vučom

Mogu raditi u grupama ili s više sanduka. Radna brzina im je 5-10 km/h, a brzina premještanja 30-40 km/sat. Preporučena radna udaljenost je 600-1500 m, a prihvatljiva je i do 3 km.



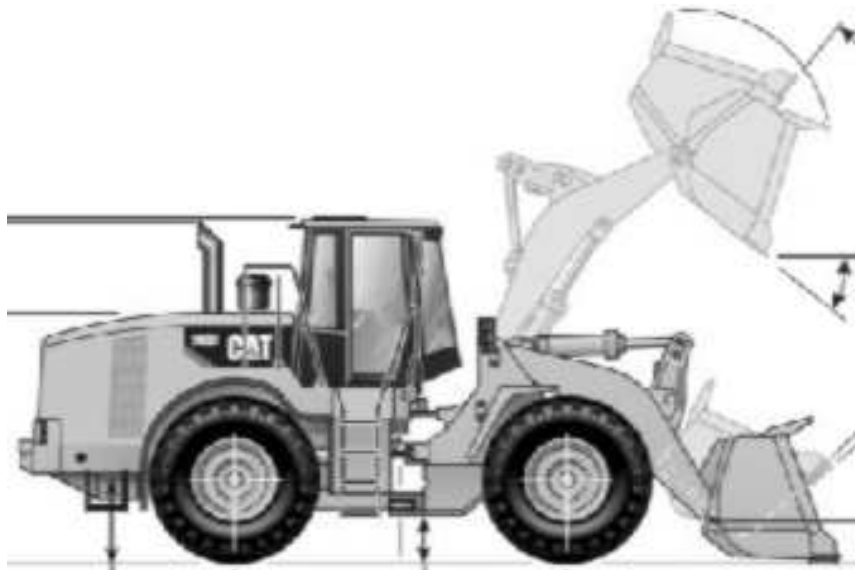
Slika 8.14 Skrejšper vučen traktorom s dva sanduka



Slika 8.15 Grupa dozera i skrepera u radu

### 8.3.2.3 Utovarivači

Tlo iskopano dozerom nagurano je na hrpe. Većinom je ove hrpe iskopanog tla potrebno odstraniti s gradilišta. Iskopano se tlo može odvesti na privremeno odlagalište s kojeg će se kasnije ponovno upotrijebiti, kao na primjer humus s kojim će se kasnije vršiti ozelenjavanje ogoljelih površina. Može se odvesti na trajno odlagalište, kada ne služi više ničemu ili se može kontrolirano ugrađivati u nasipe. Za to je potrebno tlo s hrpe, koju je nagurao dozer, utovariti u prijevozna sredstva. U tu svrhu služe **utovarivači**, jaružala (bager).



Slika 8.16 Utovarivač sa shemom rada

To su strojevi kojima manevarske sposobnosti omogućuju da zagrabe tlo s hrpe, podignu ga i ubace u koš prijevoznog sredstva, danas najčešće kamiona. Utovarivač može biti na kotačima (češće) i na gusjenicama. Ima koš zaobljenog dna i zatvorenih stranica, u koji grabi iskopano tlo. Na donjem rubu koša može imati nož za struganje po površini na kojoj leži nagurano tlo koje treba utovariti ili zube za lakše grabljenje većih komada na pr. kamena nakon miniranja.



Slika 8.17 Utovarivač na kotačima

Ima ih raznih veličina. Koš se uvijek kreće gore-dolje, kao na slici 8.16, ali može biti u vodoravnom smislu nepokretan ili može imati mogućnost okretanja u vodoravnoj ravnini. Može imati koš koji se također može zakretati u raznim

smjerovima. Utovar se može vršiti s čela, sa strane ili preko sebe (preko glave). Mogu se koristiti i za prijevoz gradiva na manje, gradilišne udaljenosti.



Slika 8.18 Utovarivač s zaokretnim košem



Slika 8.19 Utovarivač na gusjenicama

#### 8.3.2.4 Jaružala ili bageri (gliboderi)

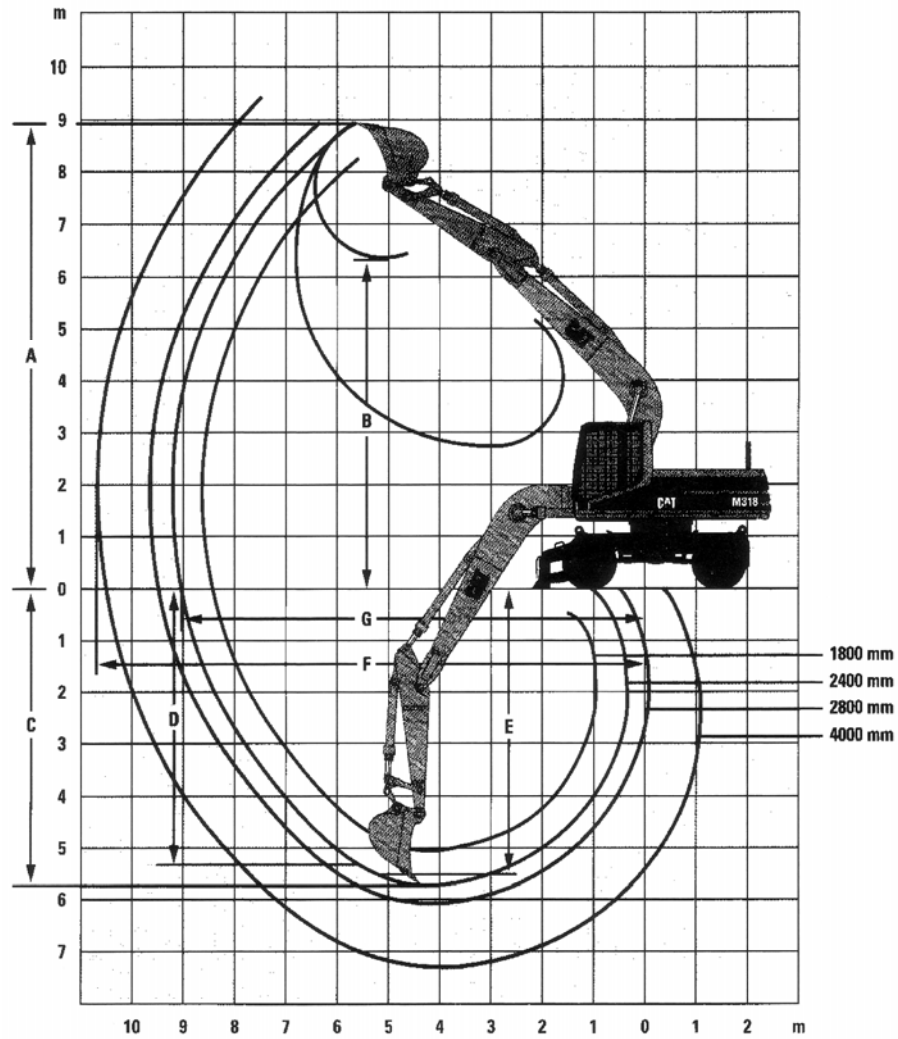
Rastresita tla mogu se jednostavno kopati jaružalima s kašikom kojom se iskopano tlo može odmah utovariti u prijevozno sredstvo. Za jače zbijena i čvršća tla mogu se na kašiku jaružala dodati zubi. Oni služe za lakše prodiranje kašike u tlo.



Slika 8.20 Jaružala-kašikari; u odnosu na automobil (gore) i sa zubima na rubu kašike (dolje)

Širine i oblici kašika mogu se prilagoditi potrebi širine i oblika iskopa. Ovi se strojevi nazivaju još i bageri ili „rovokopači“. Njima se vrši uspravan iskop ispod i iznad ravnine po kojoj se kreće vozilo. Pomoću njih se prilagodbom širine kašike vrši iskop jaraka i kanala tražene širine. U tlima koja do neke visine mogu stajati bez

podgrade, ovakav je iskop vrlo ekonomičan. Iskopano tlo ovakav stroj može odmah utovariti u kamion. Najveći ovakvi strojevi koriste se u rudarstvu.



Slika 8.21 Tehnička svojstva jaružala pri iskopu

A – najveća visina dohvata; B – najveća visina istovara; C – najveća dubina iskopa;  
 E – najveća dubina iskopa za širinu rova od x metara; F – najveći doseg; G – najveći doseg u radnoj ravnini

Pomoću jaružala (bagera s kašikom i zubima) može se vršiti iskop struganjem. Zubi pod pritiskom stružu i tako usitnjavanju površinu koju je potrebno iskopati.

Upotreba im je vrlo široka. Posebno su pogodni za iskope rovova, jaraka i kanala za potrebe komunalne infrastrukture.

Na granu ovih strojeva mogu se umjesto kašike priključiti i drugi alati. Na prethodnoj slici imaju kašiku za iskop, ali mogu imati hvatač za hvatanje krutih predmeta ili pneumatski čekić (montaber).



Slika 8.22 Pneumatski čekić (montaber) priključen na granu stroja na gusjenicama



Slika 8.23 Hvatač za polaganje kamena „rip-rap“ na obalu

Mogućnosti upotrebe osnovnog pogona jaružala s najrazličitijim dodacima danas ima neograničenu primjenu u građevinarstvu, rudarstvu ali i u drugim djelatnostima.





Slika 8.24 Jaružalo s grabalicom na zaklapanje

Za meke stijene, koje ne zahtijevaju razbijanje eksplozivom, za manje površine i prostore gdje bi eksploziv mogao načiniti štetu u okolini, može se koristiti pneumatski čekić na ruci jaružala kako je prikazano na slici 8.25. Stijena se razbije i usitni šiljkom a zatim se kopa bagerom ili izravno utovarivačem tovare u kamione.

Danas postoje i dovoljno jaki strojevi za razbijanje vrlo čvrstih stijena, samo se postavlja pitanje ekonomičnosti i usporedbi s miniranjem.



Slika 8.25 Iskop čvrste stijene montaberom

Jaružala (bageri) se mogu podijeliti na one s mehaničkim prijenosom (stariji tipovi) i s hidrauličkim prijenosom za pogon alata. Mehanički prijenos koristi se kod

grabilica, kojima se čisti dno rijeke, luke ili jezera ili kojima se vadi šljunak i pijesak. Za ove radove jaružala mogu biti smještene na plovilima.



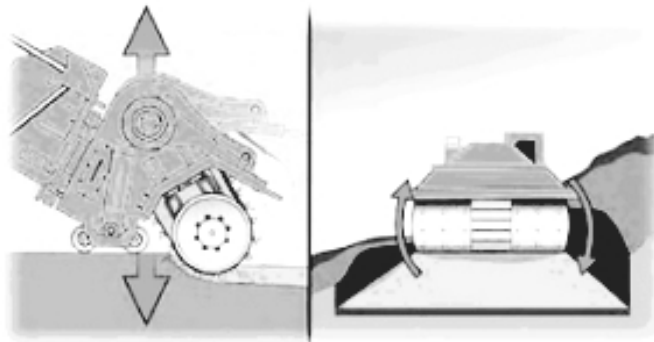
Slika 8.26 Radovi na rijeci Temzi u Londonu

Svi oni danas imaju pogon pomoću diesel motora.

Mogu biti univerzalna, polu univerzalna i posebne namjene. Univerzalna jaružala (bageri) promjenom alata na grani mogu kopati, utovarivati, udarati, podizati, prenositi na kraće udaljenosti, zabijati pilote, zabijati gotove oplate za pridržanje stijenki kanala i raditi još mnoge druge poslove na gradilištu.

#### 8.3.2.5 Glodači

Metode glodanja koriste se na istom principu kao pri iskopu tunela krticama.



Slika 8.27 Princip širokog iskopa glodalicom

Radi se o jakim „zubima“ učvršćenim na valjku, koji se vrti i pri tom usitnjuje tlo. Iza bubnja slijedi sustav za odstranjivanje iskopanog tla koji čisti iskopani prostor i

prihvaća iskopano tlo. Valjak svojom težinom i dodatnim hidrauličkim pritiskom gura „zube“ u tlo do tražene dubine. Na taj se način glodanjem može vršiti površinski iskop.



Slika 8.28 Glodalica



Slika 8.29 Iskop izveden glodalicom sa slike 8.28

Za površinske iskope rovova u čvršćim tlima koriste se glodači sa slike 8.30.



Slika 8.30 Glodač za iskop rova

Zubi su nešto jači od onih za rahla tla. Pritisak se vrši putem hidraulike. Širina valjka na kojeg su pričvršćeni zubi, određuje širinu iskopanog rova.

## 8.4 ŠIROKI ISKOPI

Iskope je potrebno izvoditi do projektom predviđene kote samo onda kada će odmah nakon iskopa slijediti uređenja površine (podloge ili temeljnog tla) i izvedba projektom predviđene građevine, bilo da se radi o temeljima, nasipu ili kolničkoj konstrukciji. U protivnom iskop se izvodi 0,2 do 0,3 m iznad predviđene kote, a na konačnu kotu se iskapa netom prije nastavka izvedbe. Ovo naročito vrijedi za iskope onih vrsta tala koja su podložna trošenju pri utjecaju atmosferilija (lapori, siltiti, neke gline i slična tla).

Široki iskopi su svi oni iskopi koji se vrše unutar nekog prostora bez zahtjeva za osiguranje rubova gradilišta od odrona, klizanja, urušavanja ili ugrožavanja postojećih okolnih građevina i infrastrukture.

Prema „OTU za radove na cestama“ tu spadaju iskopi usjeka, zasjeka, pozajmišta, uređenja vodotoka i regulacije rijeka, izmještanja cesta i putova, iskopi pri gradnji raznovrsnih građevina.

Iskopi se vrše prema projektu koji propisuje visinske kote i nagibe kosina sukladno geotehničkim uvjetima na terenu.

Tehnologija rada ovisi o vrsti tla, konfiguraciji terena, raspoloživoj mehanizaciji za iskop i prijevoz i njenim mogućnostima kao i o visini i dužini radnog poteza, količini koju treba iskopati i dužini prijevoza iskopanog tla. Iskop se može vršiti:

- u uzdužnim slojevima;
- u punom profilu s čela;
- u punom profilu u terasama;
- iskop usjeka i/ili zasjeka sa strane;
- s uzdužnim prosjekom.

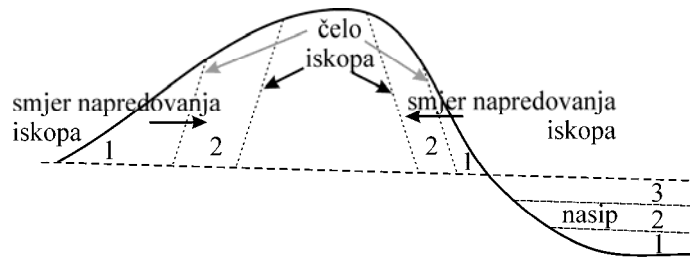
Široki se iskop izvodi strojno, odgovarajućom mehanizacijom. Mehanizacija za iskop se bira ovisno o vrsti tla (kategorije A, B i C, OTU, knjiga 2).

### 8.4.1 Iskop u punom profilu s čela

Ovaj način iskopa ovisi o konfiguraciji terena, a ne o vrsti tla koje se kopa. Može se izvoditi miniranjem u stijeni kao i dozerom ili jaružalom u rastresitim tlima. Koristi se kod kraćih usjeka na strmom terenu. Visina iskopa mora biti dohvatljiva grani stroja. Iskop se vrši od vrha terena do kote nivelete predviđene projektom.

Pri tom se koristi sustav strojeva koji se sastoji od jaružala, za iskop i za povremeno dotjerivanje pokosa (obrušavanje labavih komada stijene ili samaca),

utovarivača, za odvoženje od mjesta iskopa do vozila i kamiona za odvoz iskopanog tla sa radilišta u nasip ili odlagalište.



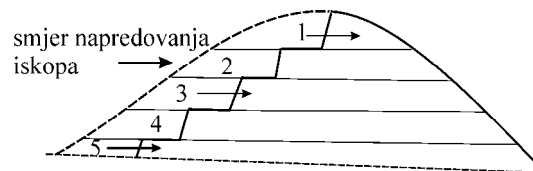
Slika 8.31 Široki iskop s dvije strane s čela

Kada je područje iskopa pretežno ravno iskop se može vršiti buldozerom, koji može ujedno služiti i kao utovarivač.

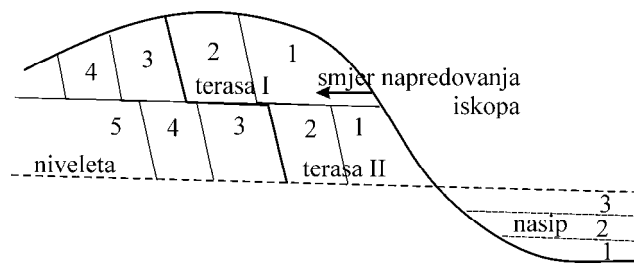
Danas se proizvode vrlo moćni strojevi za iskope kako je prethodno navedeno. Osnovica njihovog razvoja nije u građevinarstvu već je u rudarstvu, gdje ti moćni strojevi služe u površinskim kopovima.

#### 8.4.2 Iskop u terasama

Kada je visina iskopa veća od dohvata grane jaružala, može se primijeniti iskop u punom profilu u više razina – terasa. Ovisno o dužini poteza koji treba iskopati i o konfiguraciji terena, može se iskopati terasa po terasa u cijeloj dužini ili sukcesivno gornja pa donja stepenica naizmjenice, kako je to prikazano na crtežima koji slijede.

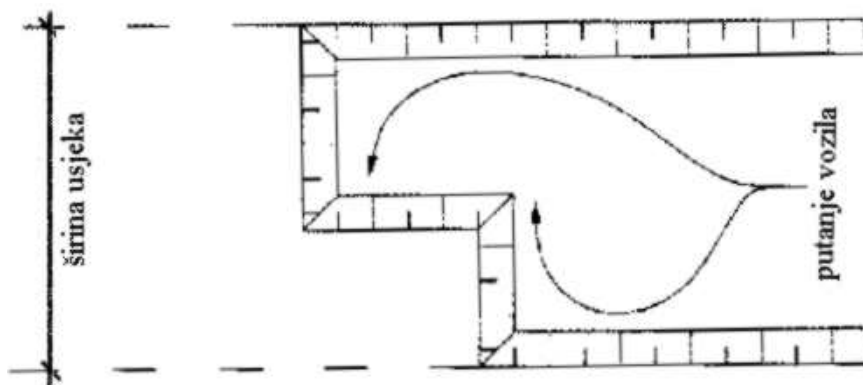


Slika 8.32 Iskop u terasama po cijeloj dužini poteza



Slika 8.33 Iskop u terasama naizmjenično

Pri masovnijim iskopima treba osigurati dovoljan prostor za kretanja većeg broja strojeva i vozila. Jedan primjer je stepenasto napredovanje iskopa kao na slici 8.34.

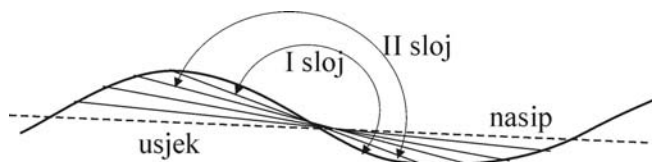


Slika 8.34 Stepenasta izvedba čela iskopa (tlocrt)

#### 8.4.3 Iskop u uzdužnim slojevima u punoj dužini

U blago nagnutim terenima, kada još postoji i mogućnost istovremenog ugrađivanja iskopanog tla u nasip, može se vršiti iskop u uzdužnim slojevima. Istovremeno se iskapa cijela površina i prebacuje u nasip. Pogodan je za iskop u rastresitim tlima. Tada se može vršiti dozerima na hrpe sa kojih se utovaruje u prijevozno sredstvo i odvozi na mjesto ugradnje. Na manjim udaljenostima (do 2 km) može se kopati, odgurati i razastrti skerpjermima, što daje vrlo dobar učinak.

Ovakav iskop omogućuje stvaranje dvostruke, široke fronte rada. Jedna je fronta u iskopu a druga u nasipu. Debljina sloja koji se iskapa ovisi o mogućnostima ugradnje tog istog tla u nasip.

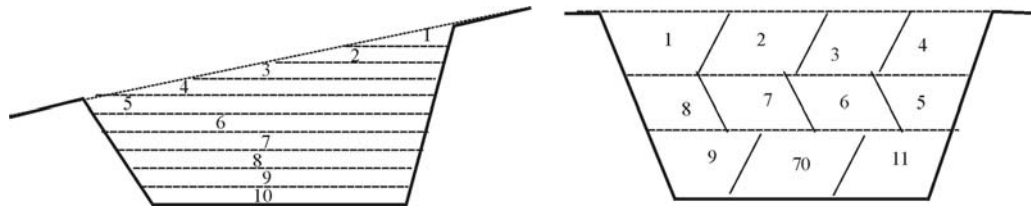


Slika 8.35 Redosljed rada pri iskopu u uzdužnim slojevima

#### 8.4.4 Iskop u vodoravnim slojevima u punoj širini

Primjenjuje se kod iskopa strojevima u rastresitom tlu. Može se raditi u punoj širini odjednom, slično kao kod iskopa u punoj dužini. Pogodan je također kada je tlo odmah moguće ugraditi u nasip. Debljina slojeva iskopa se tada prilagodi debljini slojeva pri ugradnji. Druga je mogućnost, kod vrlo širokih fronti, iskop u

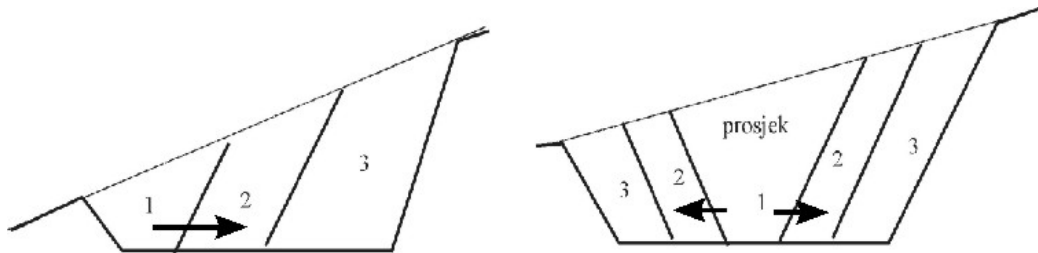
vodoravnom, bočnom slijedu. Koristi se za duboke usjeke. Potrebno je obratiti pažnju na pravilnu odvodnju radne etaže.



Slika 8.36 Iskop u vodoravnim slojevima (lijevo u punom profilu, desno u bočnom slijedu)

#### 8.4.5 Iskop usjeka i zasjeka sa strane

Ovaj način iskopa može se raditi jednostrano, tako da se u iskop ulazi s niže strane i kreće prema višoj ili se može izraditi prosjek u sredini i kopati lijevo i desno prema rubovima. Prosjek služi i za odvoz iskopanog tla što olakšava rad. Iskop se može na ovaj način izvoditi i u nekoliko stepenica (etaža). Na slijedećim crtežima je prikazan ovaj način iskopa.



Slika 8.37 Iskop sa strane i iskop s prosijecanjem

#### 8.4.6 Upute pri izradi usjeka

Usjeci su prostori koji mogu, ali i ne moraju imati mogućnost površinske odvodnj oborinskih voda. Kada se iskop vrši s niveletom koja je u padu, sva oborinska i procjedna voda skupljati će se na najnižoj točki iskopa. Ako je moguće treba kopati s niže kote nivelelele ka višoj, tako da iskop već i prema projektu ima nagib koji omogućuje prirodnu odvodnju površinskih i procjednih voda. Ako to nije moguće treba u točki u kojoj se voda skuplja, predvidjeti mjesto za prihvat i odvođenje ovih voda.

Kada se rade duboki iskopi s vodoravnim završnim površinama, i iskopi s minimalnim ili nikakvim nagibom, koji onemogućuje prirodnu odvodnju u toku izvedbe, treba osigurati minimalni pad dna iskopa i kao i kod iskopa u nagibu. Zatim

treba osigurati mjesto na kojem će se sakupljati, zahvaćati i odvoditi oborinska i procjedna voda.

Da bi se površina osigurala od raskvašenja, potrebno ju je po svakodnevnom završetku iskopa poravnati i osigurati mali pad ka sabirnom mjestu (bunaru). Valja napomenuti da raskvašenu površinu, naročito kod sitnozrnih tala, uopće ili gotovo uopće nije moguće dobro uvaljati.

Da ne dođe do oštećenja završne površine na projektiranoj koti iskopa, potrebno je generalni iskop u rastresitim tlima završiti na cca 30 cm iznad projektirane kote, a u mekim stijenama koje su osjetljive na utjecaj atmosferilija, najmanje 10 cm iznad projektirane kote. Završni iskop treba izvesti neposredno prije uređenja podloge i postavljanja gornjih slojeva, prema projektu.



## 9 ISKOP U STJENSKOJ MASI (MINIRANJE)

Iskop stijene zahtijeva prvobitno njeno razaranje. Ono se može vršiti ručno, kao što se to činilo do pronalaska eksploziva. Za to su korišteni najrazličitiji alati, ali i trikovi. I danas se iako rijetko, u kamenolomima ukrasnog kamena, za pravilno odvajanje blokova, koristi metoda pomoću drvenih klinova natopljenih vodom, umetnutih u pravilni niz bušotina. Naravno da za zamašne građevinske iskope u stijeni ova tehnologija danas nije prihvatljiva.

Krajem prošlog stoljeća u Japanu je patentiran postupak razaranja stijena pomoću ekspandirajućih smjesa. Postupak je više namijenjen razaranju betona prilikom rušenja, tamo gdje bi eksplozije izazvale oštećenja u okolini. Ova metoda može se koristiti i za razaranje stijena u manjim količinama i u slučaju kada je eksploziv iz nekog razloga nedopustiv. Ovih smjesa postoje dvije vrste. Jedne djeluju unutar nekoliko sati, dok druge djeluju unutar jednog dana.



Slika 9.1 Rezultat neeksplozivnog razaranja stijene (Dexpan)

Za masovno razaranje stijena koristi se miniranje. To je postupak kojim se pomoću eksploziva izaziva nagli razvoj plinova u malom prostoru. Plinovi izazivaju veliki pritisak i stijena se raspada u sitnije komade po plohama koje pružaju najmanji otpor. Da bi miniranje bilo uspješno, važno je da eksploziv bude zaista zatvoren u mali prostor. Svaki mogući odušak u takvom prostoru slabi učinak miniranja.

Miniranjem se kao strukom bave rudarski inženjeri. Građevinski inženjer mora poznavati osnove postupka jer se s njime susreće u svom radu, ali je uvijek prikladnije projektiranje i izvođenje miniranja prepustiti osobi, namjenski obučenoj za taj vrlo odgovoran i opasan posao.

## 9.1 EKSPLOZIVI I EKSPLOZIJE

Eksplozivi su tvari koje izazivaju eksploziju. Pri tom je bitno da se razviju visoki pritisci koji će svojim naglim širenjem osvajati novi prostor. Ako je prostor dobro zatvoren, širenje plinova izaziva razaranje. Kod korištenja eksploziva u svrhu izbacivanja streljiva (kod oružja), eksplozija izbacuje streljivo programirano, kroz otvor na cijevi. U građevinarstvu i rudarstvu eksplozija treba kontrolirano razoriti stijensku masu, stoga prostor unutar kojeg djeluje mora biti dobro zatvoren, ali programirano oblikovan.

Eksplozije mogu biti:

- **kemijske**, kada kemijska reakcija prelazi u toplinsku i pri tom nastaju plinovi.
- **fizikalne**, pri kojima samo dolazi do pretvorbe jednog oblika energije u drugi (na pr. parni kotao) bez promjene kemijskog sastava;
- **nuklearne**, pri čemu se nuklearna energija pretvara u toplinsku i druge.

U građevinarstvu se koriste isključivo kemijske eksplozije. One nastaju aktiviranjem eksplozivnih smjesa. Pod tim se podrazumijevaju tehnički eksplozivi koji moraju zadovoljiti uvjete da budu:

- razorne snage;
- podesne za rukovanje i upotrebu i
- sigurne za rad.

Prema načinu uporabe i namjeni eksplozivi se dijele na:

- inicijalne;
- brizantne;
- gospodarske;
- barutne ili potisne i
- specijalne.

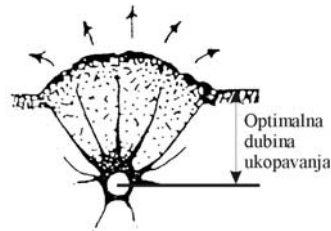
U građevinarstvu i rudarstvu rabe se gospodarski eksplozivi. To su smjese više kemijskih spojeva. Mogu biti praškasti, uljni, poluplastični, plastični i vodoplastični (slurry).

Od ostalih eksploziva zanimljivi su još eksplozivi iz grupe namjenskih i posebnih eksploziva, oni koji se koriste za geofizička (seizmička) istraživanja. Koriste se za izazivanje seizmičkih valova u tlu, stoga moraju biti visokobrizantni s velikom brzinom detonacije. Isporučuju se u plastičnim tubama kako bi bili praktični za rukovanje.

Eksplozija razara stijenu uslijed naglo nastalog visokog pritiska i odbacuje ju u smjeru najmanjeg otpora, odnosno prema slobodnoj površini.

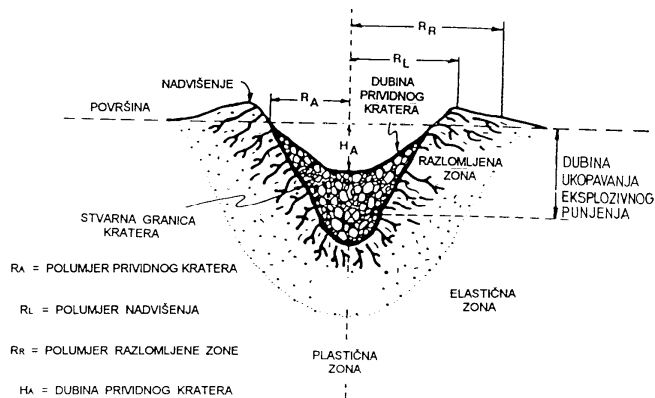
Postoji niz teorija miniranja: Teorija refleksije, ekspanzije plinova, lomljenja uslijed savijanja (teorija ekspanzije plina), tlačnog vala (pukotina) i ekspanzije plinova, teorija kombinirana od prethodnih, teorija jezgara ili tlačnog vala, teorija na načelu kratera. Kako je stijena manje otporna na vlak nego na tlak, tek reflektirajući val, koji izaziva vlačna naprezanja, lomi stijenu prilikom povratka sa slobodne površine prema ishodištu eksplozije.

Prikazati će se teorija kratera. Ona je po svojoj logici lako razumljiva, a u sebi sadrži gotovo sve elemente nabrojanih teorija. Po toj se teoriji eksplozivom puni valjak omjera duljine punjenja prema promjeru 6:1 ili manje, koji detonira na empirijski utvrđenoj udaljenosti od površine tako da daje najveću zapreminu trajno razlomljene stijene između naboja i slobodne površine tj. da daje najveći krater. Ako se naboj ukopa dublje može se dogoditi da eksplozija izazove raspucavanje stjenke mase unutar nje same, ali bez otvaranja kratera, odnosno ako je dubina pre mala potroši se suviše eksploziva u slabu učinak.



Slika 9.2 Optimalna dubina ukopavanja

Pri eksploziji prvo nastaju tlačni valovi koji se šire kružno oko ishodišta eksplozije. Kada val dođe na slobodnu površinu nastaje refleksija i val se vraća u stijenu, izazivajući vlačna naprezanja. Tek tada nastaje izbacivanje stijene prema slobodnoj površini. Učinak je prikazan na slici 9.3.



Slika 9.3 Krater nakon eksplozije i njezin učinak na stijensku masu (Božić, 1998.)

### **9.1.1 Otpucavanje minskih bušotina**

Minska bušotina je namjenski izvedena bušotina u koju se umeće eksploziv, upaljač, štapin i brtvilo.

Otpucavanje minskih bušotina može biti trenutno ili milisekundno.

Trenutno otpucavanje odvija se unutar 1-2 milisekunde. U tom vremenu aktiviraju se sva eksplozivna punjenja u jednom minskom polju. Koristi se za jednoređno otpucavanje i to vrlo rijetko. Granulacija razlomljene stijene je krupna, a nastali potres velikog intenziteta.

Milisekundno otpucavanje je ono pri kojem eksplozivna punjenja u minskom polju eksplodiraju s milisekundnim zakašnjenjem jedno iza drugoga. To se postiže usporivačima koji omogućuju da svaki naboj usitni stijenu prije nego što detonira slijedeći. Tako svaki naboj djeluje kao da ima slobodnu stranu. Prednosti milisekundnog otpucavanja su:

- povećani odlom, drobljenje i usitnjavanje;
- manji zračni udar i potres manjeg intenziteta;
- usmjereno odbacivanje minirane stijene;
- daje veći učinak;
- ekonomičnije je;
- koristi se u nepovoljnim geološkim uvjetima.

Mogu se otpucavati jednoređne minske bušotine i višeredne minske bušotine.

Kod višerednih bušotina postoje stroga pravila redosljeda otpucavanja, koja ovise o željenim učincima miniranja.

## **9.2 PODJELA MINIRANJA**

Današnja teoretska razmatranja miniranja, nastoje proces izvesti tako da se sa što manje količine eksploziva dobije što povoljniji učinak miniranja u smislu da ima što manje potrebe za naknadnim usitnjavanjem razorene stjenske mase. Nastoji se teoretskim proračunom programirati granulometrijski sastav stjenske mase nakon miniranja (fragmentiranje). Na taj se način smanjuje potreba naknadnog miniranja, naročito onda kada se usitnjena stjenska masa koristi za ugradnju u nasipe. To se postiže odabirom najpovoljnije metode miniranja.

U građevinarstvu se pojavljuje nekoliko vrsta miniranja:

- površinsko miniranje;

- podzemno miniranje i
- posebna miniranja.

Od posebnih miniranja za građevinarstvo su najzanimljivija slijedeća:

- podvodna miniranja;
- rušena građevina miniranjem;
- rušenje s položenim eksplozivom (kada nije moguće izvesti bušotinu);
- konturno miniranje (pre splitting), uključujući glatko miniranje (smooth blasting);
- miniranje pri izgradnji prometnica;
- miniranje kanala;
- miniranje panjeva.

Svako od ovih miniranja ima svoje posebnosti. Pri površinskom miniranju valja površinu zaštititi od komada stijene koji lete uokolo prilikom eksplozije. To se postiže prekrivanjem površine koja se minira raznim pomagalicama kao što su mreže, automobilske gume i slično.

Pri podzemnom miniranju potrebno je osigurati dobru ventilaciju prostora koji se ispuni plinovima i prašinom nakon eksplozije. Prostor se mora što brže dovesti u radno sposobno stanje da zastoji traju što kraće.

O složenosti podvodnog miniranja ovdje neće biti govora.

### **9.2.1 Postupak miniranja**

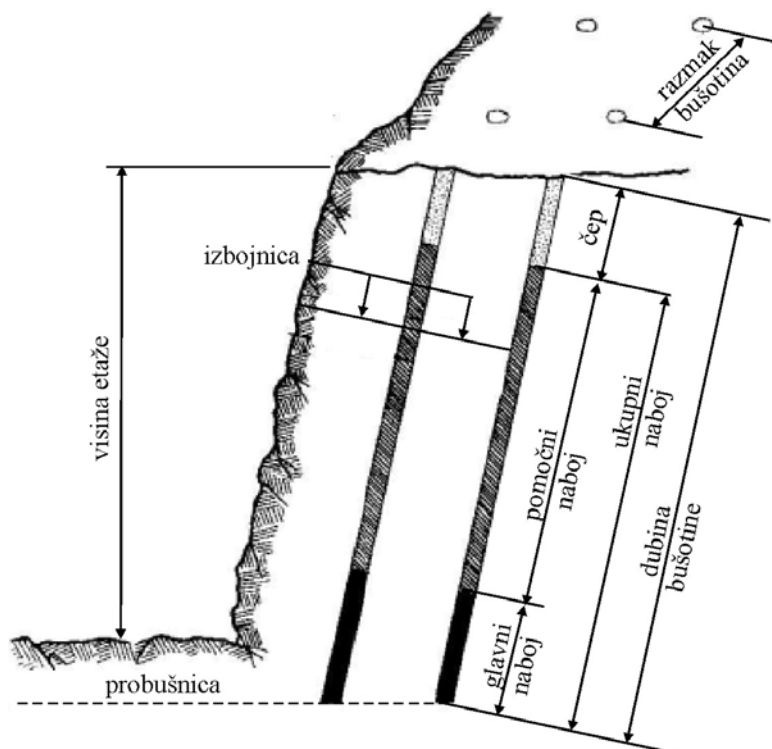
Temeljna inženjerska zadaća, pri miniranju stjenske mase, je odabir najpovoljnije metode miniranja. Odabir metode ovisi o nizu čimbenika, kao što su: strukturna obilježja stjenske mase, prirodna raspucalost, uvjeti stabilnosti radnih i završnih kosina, tražena granulacija odminirane stjenske mase i mjere sigurnosti pri minerskim radovima (Božić, 1998.).

Prilikom miniranja na fragmentaciju (granulaciju) utječu (Winzer, 1983.):

- tektonski sklop i inženjersko-geološke značajke stjenske mase,
- vrsta eksploziva,
- promjer minskih bušotina,
- specifična potrošnja eksploziva,
- raspored minskih bušotina,
- način aktiviranja eksploziva u minskim bušotinama,
- pogreške nastale tijekom bušenja minskih bušotina.

Svi navedeni čimbenici sadržani su u projektu miniranja, kojim se određuje geometrija bušenja, vrsta i količina eksploziva, vrste upaljača i usporivača i način otpucavanja (Strelec, Božić, 1994.). Proračunom se prognozira i granulometrijski sastav odminirane stijenske mase uz izračun troškova miniranja.

Elementi koji imaju odlučujući utjecaj na rezultate miniranja prikazani su na slici 9.4.



Slika 9.4 Etaža s osnovnim veličinama za proračun miniranja

To su: linija najmanjeg otpora (izbojnica), razmak minskih bušotina, vrsta eksploziva i eksplozivni naboj. (Božić i dr. 2006.).

Značajan je također i utjecaj načina otpucavanja minskih bušotina.

Postupak miniranja sastoji se od nekoliko koraka koji moraju slijediti projekt miniranja:

- označavanje mjesta minskih bušotina;
- izrada (bušenje) minskih bušotina;
- punjenje minskih bušotina eksplozivom;
- spajanje minskih bušotina u minsko polje;
- priključak na uređaj za paljenje;
- paljenje mina;

- provjera učinka miniranja;
- odvoz usitnjene stijene.

Ovi koraci se ponavljaju i na taj način napreduje iskop u stjenskoj masi.

Proračunom veličina miniranja teži se postići idealnu fragmentaciju odminirane stjenske mase koju nije potrebno naknadno usitnjavati. Programirana fragmentacija odminirane stjenske mase u prvom redu ovisi o njoj konačnoj namjeni (Božić i Braun 1992.).

Stijenske se mase mogu minirati:

- plitkim minskim bušotinama (do 6 m dubine);
- dubokim minskim bušotinama (preko 6 m dubine i promjera većeg od 60 mm);
- kotlovskim miniranjem;
- komornim miniranjem;
- sekundarnim miniranjem (naknadno usitnjavanje razlomljene stjenske mase).

Na slici 9.4 prikazani su elementi miniranja dubokim minskim bušotinama. Bitan element pri takvom miniranju su linija najmanjeg otpora ili izbojnica i razmak bušotina. Probušenje je dio bušotine koji se nalazi ispod željene kote dna etaže. Ono iznosi prema važećim teorijama 30% širine izbojnice.

Pri proračunu miniranja stjenske mase postoje podaci koji se biraju:

- visina etaže;
- nagib etaže i bušotina;
- promjer bušotine i promjer eksploziva;
- veličina čepa i međučepova i njihovo gradivo;
- vrsta eksploziva, način iniciranja i vrijeme milisekundnog usporenja;
- određivanje širine izbojnice i razmaka među bušotinama.

Zatim postoje geološka, morfološka i inženjerskogeološka svojstva stjenske mase na koja se ne može utjecati i hidrogeološke prilike na koje se djelomično može utjecati.

Učinci miniranja su:

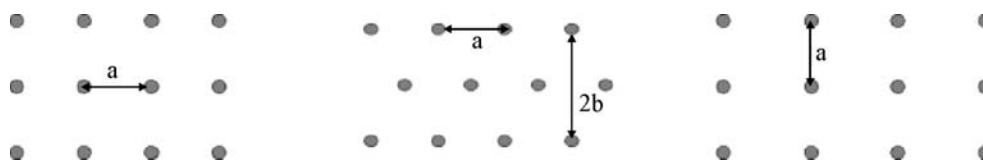
- granulacija kamene mase;
- oblik odminiranih komada;
- potres;
- zračni udar,
- razbacivanje komada kamena;
- zatajenje minskog polja.

### 9.2.2 Bušenje

Najdulja radnja u ciklusu je izrada minskih bušotina koje se mogu izraditi ručno, pomoću dlijeta (štampa), i čekića ili malja. Stijena, na ovaj način zdrobljena u prah vadi se iz bušotine za to prikladnom žlicom. Postupak je spor i rijetko se koristi.

Uglavnom se bušotine izrađuju strojno, udarnim bušenjem s ispuhivanjem prašine pomoću zraka. Bušiti se može pneumatski čekićima, za plitko bušenje, koje radnik drži u ruci i svojom snagom pridržava alat i strojnim, pneumatskim bušilicama.

Bušotine do 6,0 m smatraju se plitke, dok duboke bušotine mogu biti od 6 do 50 metara i više. Na vrhu bušaćeg pribora nalazi se dlijeto. Njegov promjer prilagođen je zahtjevu promjera bušotine. Ovisno o tvrdoći stijene koja se buši, dlijeta mogu biti od najrazličitijeg gradiva, od čelika, vidija čelika do umjetnih dijamanata. Bušače šipke kao i dlijeto su šuplje. Kroz njih prolazi komprimirani zrak i izbacuje usitnjenu kamenu prašinu na površinu. Svrha minerskog (rudarskog) bušenja je isključivo izrada rupe u koju će se ugraditi eksploziv za razliku od geotehničkog bušenja kod kojeg je svrha vađenje jezgre u svrhu izrade geološko-geotehničkog profila tla.



Slika 9.5 Mogući raspored bušotina u minskom polju s više redova

Bušotine mogu biti različitog promjera, što ovisi o proračunu miniranja. Nagib bušotine također se određuje ovisno o potrebi i namjeni. Tlocrtni raspored bušotina može biti kvadratičan, pravokutan i u trokut, kako je to prikazano na slici 9.5. Kada su bušotine raspoređene u trokut, trebaju međusobno činiti istokračne trokute.

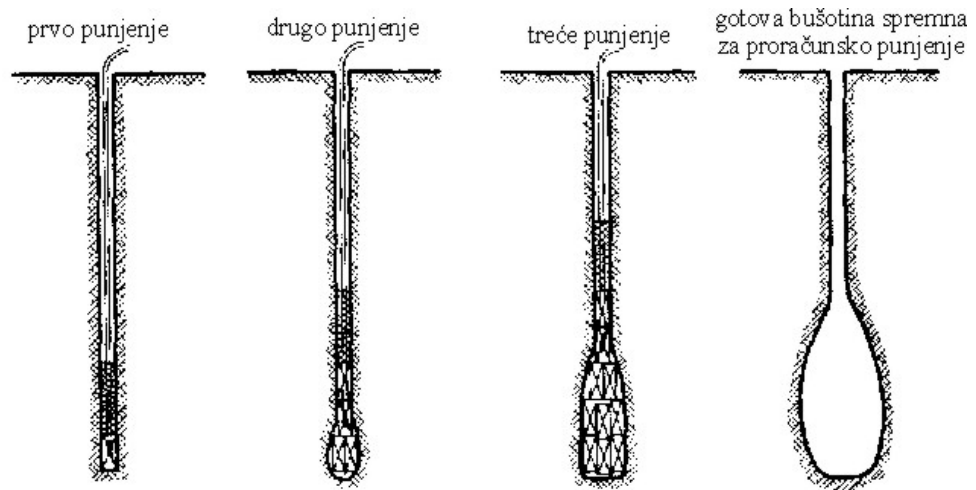
Tako se izborom razmaka bušotina „a“ odabire razmak redova kao:

$$b = a \times \sin 60^\circ \quad (9.1)$$

### 9.2.3 Kotlovsko miniranje

Kotlovsko miniranje se izvodi kada u bušotinu ne stane proračunski potrebna količina eksploziva. Tada se prvo izvede miniranjem s manjom količinom eksploziva, čime se proširi dno bušotine na potrebnu veličinu. Ovo se proširenje može i ponoviti sve dok se ne dobije potreban prostor za predviđenu količinu eksploziva. Nakon svakog proširenja potrebno je bušotinu očistiti komprimiranim zrakom ili posebnim priborom. Tako oblikovani prostor se puni projektiranom količinom eksploziva.

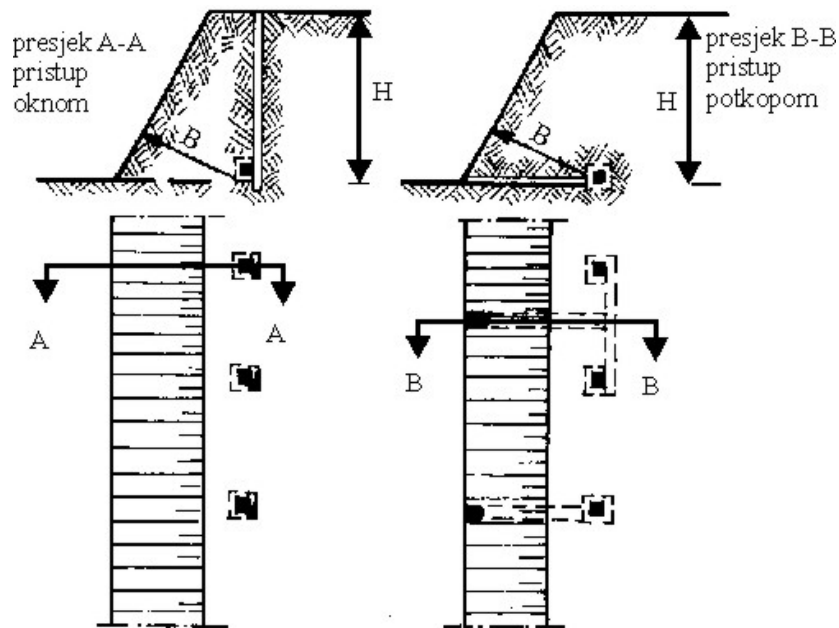




Slika 9.6 Izrada bušotine za kotlovsko miniranje

#### 9.2.4 Komorno miniranje

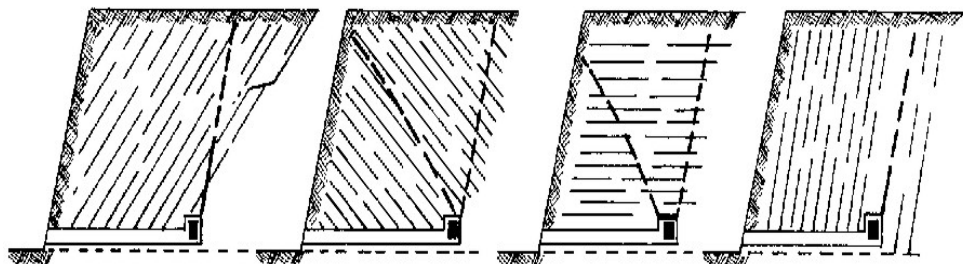
To je najstariji način miniranja koji je dobio ime po minskim komorama u koje se postavlja eksploziv. Minska se komora nalazi na kraju pristupnih hodnika (štolni) ili okana. Na slici 9.7 prikazani su mogući pristupi komorama pri komornom miniranju.



Slika 9.7 Shema presjeka i tlocrta položaja komora za komorno miniranje

Na slici 9.7, udaljenost od komore do površine, označena strelicom s oznakom B, predstavlja izbojnicu, najkraću udaljenost od eksploziva do slobodne površine.

Na rezultate miniranja izrazito utječe uslojenost, raspucalost i rasjedi. Ovaj je utjecaj prikazan na slici 9.8.

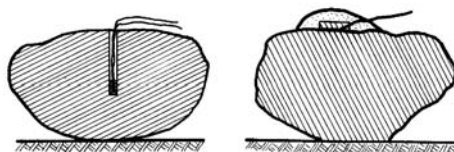


Slika 9.8 Utjecaj slojevitosti na učinak komornog miniranja

Danas se ova metoda koristi uglavnom za miniranje izrazito čvrstih stijena. Razvoj tehnika strojnog bušenja umanjio je korištenje komornog miniranja.

### 9.2.5 Sekundarna miniranja

Ova se miniranja koriste za usitnjavanje krupnih gromada stijene koji nastaju miniranjem ili komada koji se obruše s pokosa nakon miniranja. Mogu se usitniti miniranjem u plitkim bušotinama ili naljepnim minama kako je to prikazano na slici 9.9.



Slika 9.9 Sekundarno miniranje bloka, lijevo plitkom bušotinom, desno naljepnom minom

## 9.3 FRAGMENTACIJA ODMINIRANE MASE

Miniranjem se nastoji dobiti programirana granulometrijska krivulja odminirane stijene. To se naziva fragmentacija. Željena fragmentacija ovisi o konačnoj namjeni usitnjene stijene. Idealna fragmentacija odminirane, usitnjene stijene je ona koju nije potrebno sekundarno minirati. Fragmentacija se može projektno programirati vrstom eksploziva, promjerom i dubinom minskih bušotina i načinom aktiviranja eksploziva.

Do nedavna se fragmentacija programirala empirijski, prilagođavanjem niza elemenata pri miniranju tektonskom sklopu i inženjersko-geološkim značajkama stijenske mase, tj. onim elementima na koje se ne može utjecati. Teoretsko rješenje, koje se danas dalje razvija dao je Kuznetsov 1973. godine u obliku jednadžbe za srednju veličinu fragmenata  $\bar{x}$ .

Njegova izvorna jednadžba glasi:

$$\bar{x} = A \left( \frac{V_0}{Q} \right)^{0,8} Q^{0,167} \quad (9.2)$$

Pri čemu je;

$\bar{x}$  -prosječna veličina fragmenata u odminiranoj masi;

A-koeficijent ovisan o vrsti stijene (od 1 za meke do 13 za tvrde i kompaktne);

$V_0$ -zapremina odlomljene stijene po minskoj bušotini;

Q masa eksploziva (TNT\*), a koja je jednaka energiji količine eksplozivnog naboja u svakoj minskoj bušotini.

(\*TNT –trinitrotoluol, poznat i kao Trotyl, uobičajeni gospodarski eksploziv, uzima se po snazi kao referentni za ostale eksplozive; kemijski sastav:  $C_7H_5N_3O_6$ , žuti kristali, stabilni pri prijevozu)

Kuznetsov rad je veoma važan, budući da ukazuje na vezu između srednje veličine fragmentacije i količine eksploziva korištene u određenoj vrsti stijene.

Posljednjih godina poboljšane su empirijske metode za prognoziranje fragmentacije koja će se dobiti temeljem utvrđenih značajki stijenske mase, eksploziva i rasporeda minskih bušotina. Prognoza i analiza fragmentacije dobivaju sve veću važnost, jer se shvaća da je primarno fragmentiranje jeftinije od sekundarnog.

Jednadžbu (9.2) je kasnije dopunilo više autora, a danas se na njoj temelji numeričko modeliranje fragmentacije.

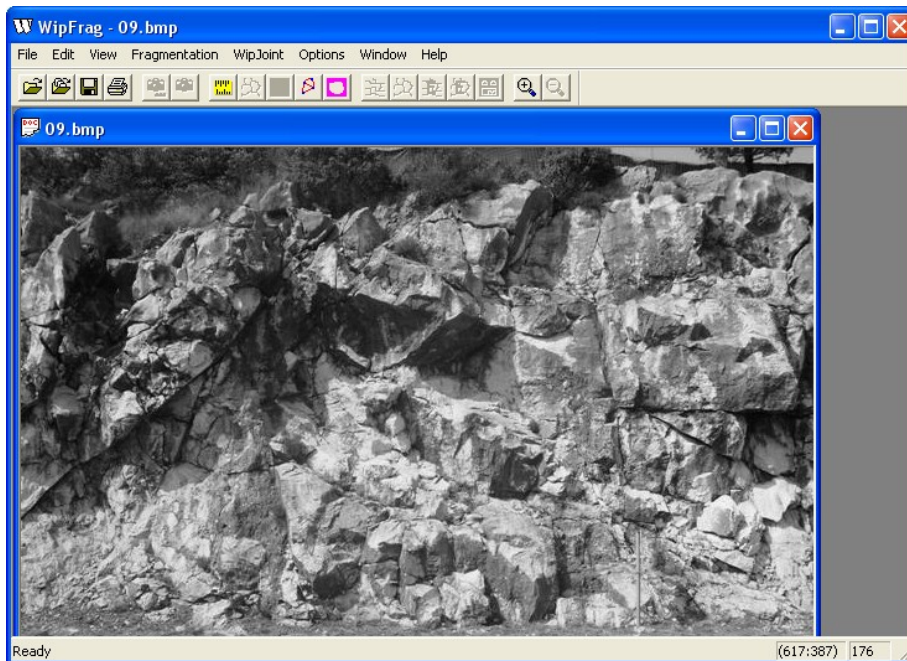
Izvornu Kuznetsovu jednadžbu dopunio je Cunningham (1983.), te se danas koristi u obliku:

$$\bar{x} = A * \left( \frac{V}{Q} \right)^{0,8} * Q^{0,17} * \left( \frac{E}{115} \right)^{-0,6} \quad (9.3)$$

pri čemu su oznake iste kao za prethodnu jednadžbu a E je relativna potisna snaga eksploziva koju daje proizvođač (za ANFO = 100, TNT = 115).

Prirodna fragmentacija stijenske mase, kao i fragmentacija minirane stijenske mase, može se analizirati nekim od postojećih korisničkih programa kao što je na pr. WipFrag.

Program WipFrag analizira digitalne fotografije elementarnog uzorka te na temelju prepoznatih rubova fragmenata statistički analizira raspodjelu fragmenata, izračunava indeks ujednačenosti i klasificira fragmente.



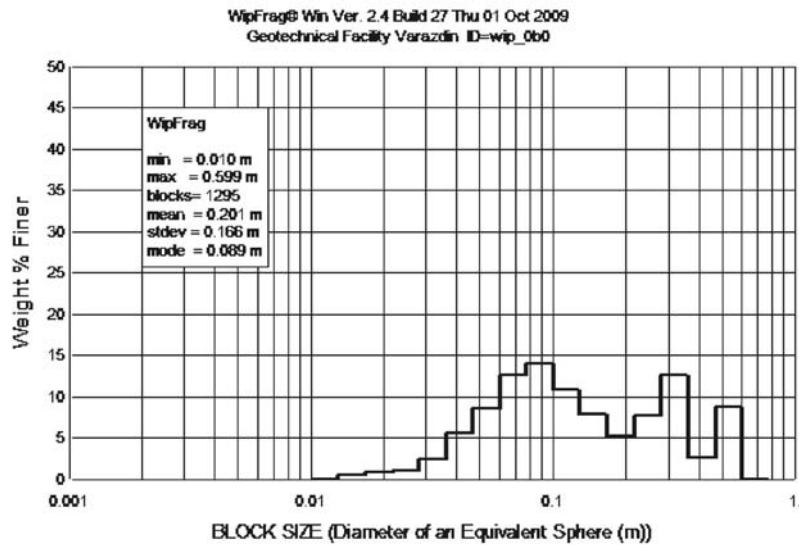
Slika 9.10 Prikaz programa za analizu fragmentacije stijenske mase WipFrag (Lukić 2011.)

Proces analize je jednostavan i temelji se na analizi fotografije lica stijene koja će se minirati. Odvija se u nekoliko koraka, no potrebno je iskustvo operatera tijekom pripreme fotografije za obradu, kako bi rezultati analize bili vjerodostojni. Na fotografiji program generira mrežu fragmenata prikazanu na slici 9.11.

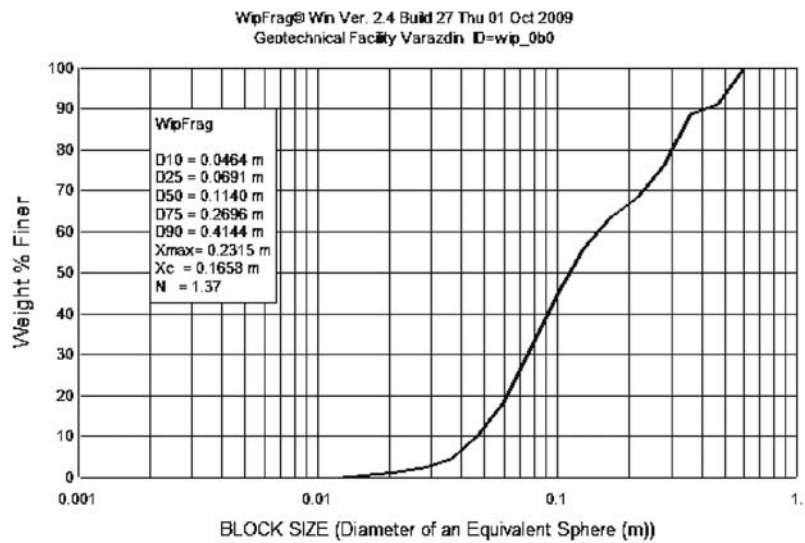


Slika 9.11 WipFrag – automatski generirana mreža fragmenata (Lukić 2011.)

Prema tako generiranoj mreži, softver izračunava površinu koju svaki fragment zauzima na fotografiji te ga klasificira prema preddefiniranim vrijednostima. Izlazni se rezultati mogu dobiti kao histogram raspodjele fragmenata; kao tabelarne vrijednosti promjera zrna i odgovarajućih postotaka i kao granulometrijska krivulja.

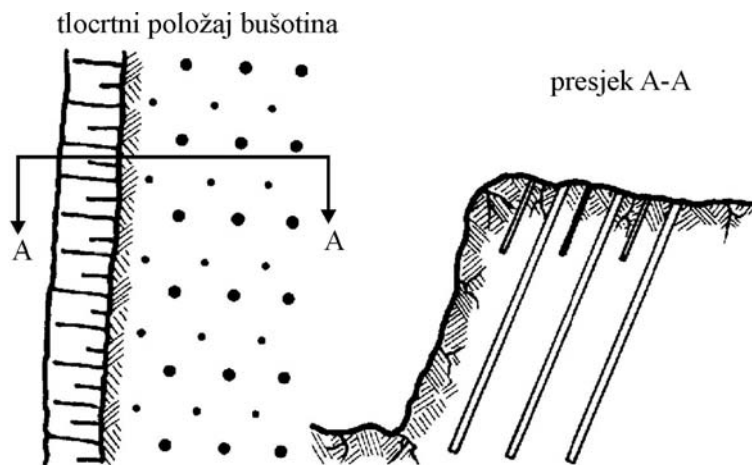


Slika 9.12 Primjer izlaznog rezultata predviđanja fragmentacije u obliku histograma



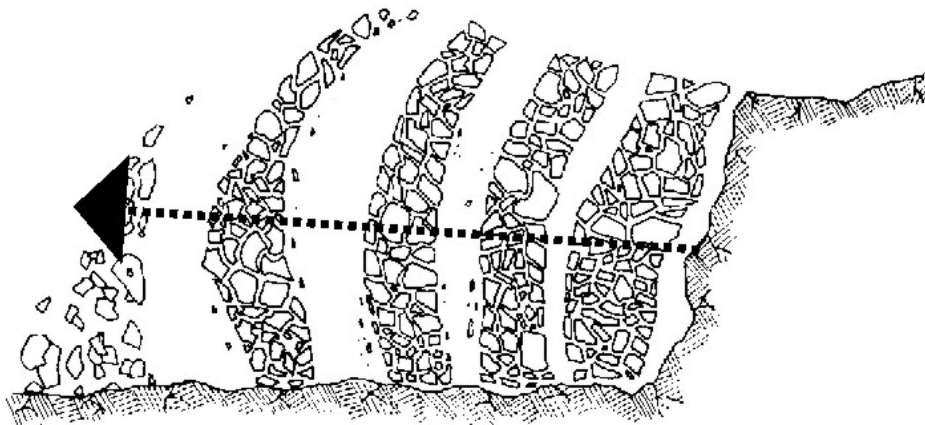
Slika 9.13 Primjer izlaznog rezultata predviđanja fragmentacije u obliku granulometrijskog dijagrama (Lukić 2011.)

Odstupanje od projektom predviđenih veličina uvjetuje odstupanje od željene fragmentacije. U građevinarstvu je ono naročito zanimljivo onda kada se usitnjena stijenska masa koristi za ugradnju u nasipe. U današnjim uvjetima opterećenja cesta i pogotovo autoputova, pravilna granulacija važna je za postizanje projektom predviđene zbijenosti nasip a, koja kod nevezanih gradiva (šljunka i drobljenca) bitno ovisi o granulometrijskom sastavu. Na slici 9.14 prikazano je kako se odabirom rasporeda i dubine bušotina može postići tražena fragmentacija otpucane stijenske mase.



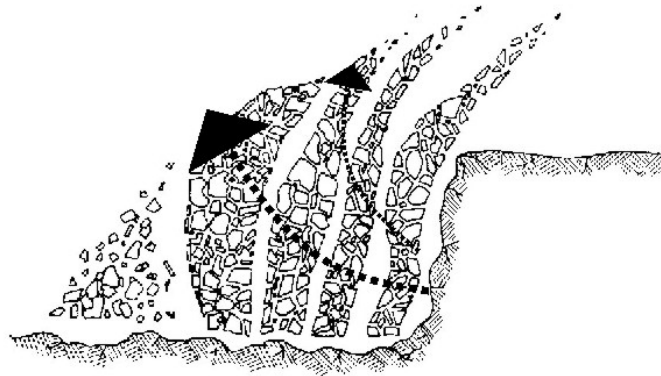
Slika 9.14 Kombinacija bušotina raznih promjera i dubine za postizanje tražene fragmentacije

Pravilno odabrano milisekundno paljenje će izazvati obrušavanje stijenske mase u vodoravnom smjeru prema slobodnoj površini



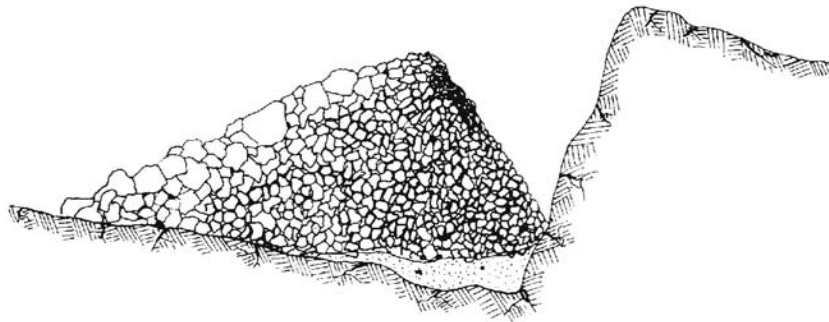
Slika 9.15 Rezultat pravilno odabranog usporenja među redovima

U slučaju prekratkog usporenja, otpucana stjenska masa leti u vis jer nema vremenski dovoljnog slobodnog prostora da se izbací u prostor zasjeka.



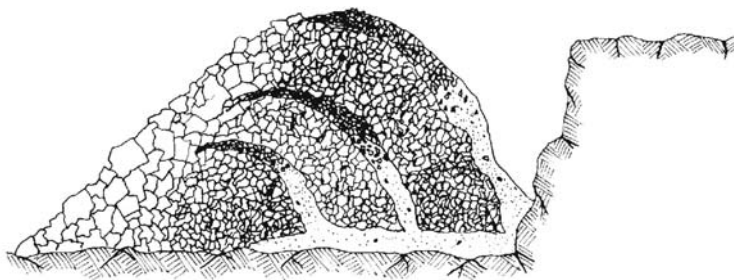
Slika 9.16 Rezultat nepravilnog (prekratkog) usporenje eksplozije između redova

Raspored fragmenata ovisi o tome da li se radi o jednorednom ili o višerednom miniranju. Kod jednorednog su najkrupniji komadi na površini a najsitniji u dnu nastale hrpe, bliže zasjeku.



Slika 9.17 Raspored fragmenata kao posljedica jednorednog miniranja

Kod višerednog miniranja je na površini se također nalazi najkrupnije kamenje ali su u hrpi zrna različite krupnoće izmiješana.



Slika 9.18 Raspored fragmenata kao posljedica višerednog miniranja

## 9.4 MINIRANJE U GRAĐEVINARSTVU

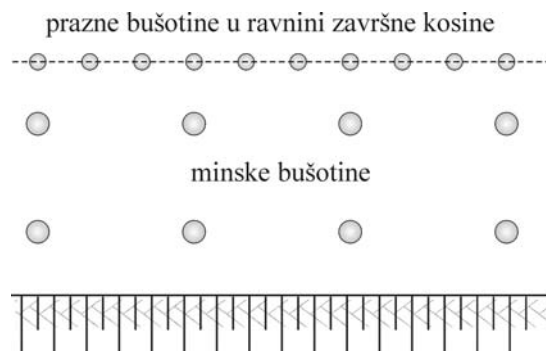
U građevinarstvu se miniranje izvodi pri izgradnji usjeka i zasjeka za prometnice, tunela, podzemnih prostorija razne namjene (strojarnice hidroelektrana, skladišta, skloništa i sl.), kanala, i poboljšanja temeljnog tla. Miniranje se koristi i za rušenje građevina. Rjeđe ali se koristi za vađenje velikih panjeva i razbijanje leda.

Kada se miniranjem želi oblikovati prostor, kao što je to slučaj pri miniranju usjeka, zasjeka, kanala i tunela, bitno je dobiti glatke i neraspucale završne površine. Traži se da ima što manje naknadnog dotjeravanja površina bilo u smislu skidanja viška labavih blokova, bilo ispunjavanja prekopa betonom. U tu svrhu služi konturno miniranje.

### 9.4.1 Konturno miniranje

Konturno se miniranje izvodi na više načina. Može se izvoditi nizom praznih bušotina kao kod linijskog bušenja, ili s malim punjenjem koje samo izvede prslinu na ravnini buduće završne kosine

Konturno miniranje **linijskim bušotinama** izvodi se tako da se izvede rubni red bušotina malog i srednjeg promjera u ravnini buduće završne kosine. One se ne pune eksplozivom. Tako se unaprijed odredi pukotina na plohi buduće završne kosine, koja je bitna za oblik površine ove plohe nakon otpucavanja glavnog minskog polja. Na slici 9.19 prikazan je tlocrt položaja linijskih bušotina.

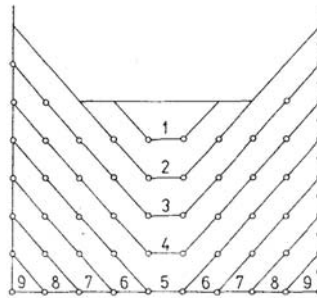


Slika 9.19 Konturno miniranje linijskim bušotinama

Konturno miniranje **glatkim miniranjem** izvodi se u nizu bušotina s manjim razmakom i manjim promjerom od glavnih bušotina minskog polja, kao kod linijskog miniranja, ali se pune malom količinom eksploziva. Otpucavaju se tako da se programira vrijeme aktiviranja mina. One se mogu aktivirati zajedno s minskim

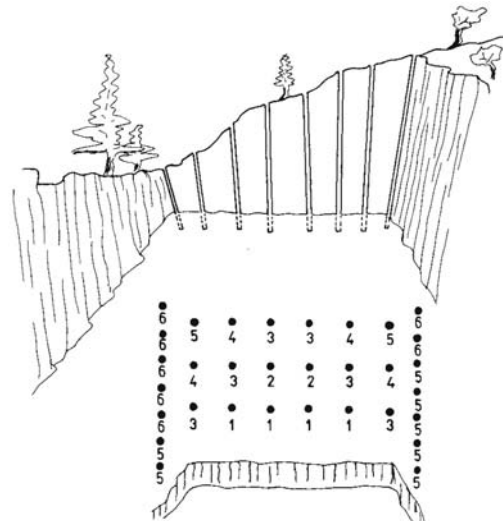


poljem (slika 9.20) ili se aktiviraju nakon što je minsko polje otpucano (redosljed na slici 9.21).



Slika 9.20 Raspored paljenja mina pri glatkom miniranju kada se konturne mine pale istovremeno s glavnim minskim poljem

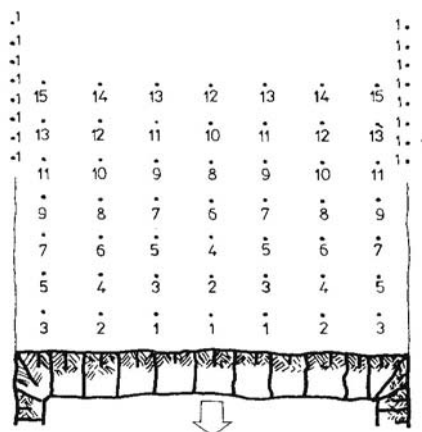
Pokazalo se da je tada preostala stjenska masa u zaleđu ili po obodu tunela, znatno manje oštećena nego kod miniranja klasičnim načinom. Za glatko miniranje koristi se poseban eksploziv.



Slika 9.21 Raspored paljenja mina pri glatkom miniranju kada se konturne mine pale nakon mina u glavnom minskim polju

Konturno se miniranje može izvoditi i **predminiranjem**. Pri toj se tehnicu konturne mine pune eksplozivom i aktiviraju na dva načina. Na slici 9.22 prikazan je način aktiviranja neovisno, ali prije aktiviranja glavnog minskog polja.

Druga je mogućnost da se eksploziv u konturnim minama aktivira neposredno trenutak prije nego što je aktivirano glavno minsko polje.

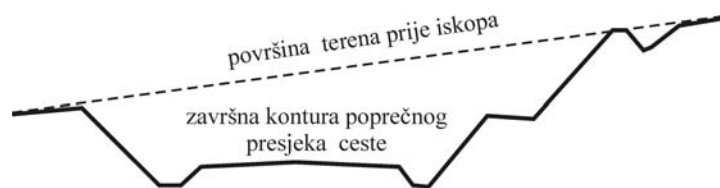


Slika 9.22 Redosljed aktiviranja mina pri metodi preminiranja s prethodnim aktiviranjem konturnih mina.

Kod složenih geoloških struktura može se dogoditi da je potrebno za vrsno konturno miniranje kombinirati neke od prethodno opisanih metoda.

### 9.5 MINIRANJE ZA POTREBE IZGRADNJE PROMETNICA

Prilikom izgradnje prometnica javlja se potreba miniranja u stjenjnoj masi da bi se postigla tražena kota nivelete planuma.



Slika 9.23 Poprečni presjek ceste u usjeku

U stjenjnoj masi ovakvi se usjeci izvode miniranjem. Međutim to nije jedina potreba za miniranjem pri ovakvim radovima. Osim u usjeku, u prometnica se može naći i u nasipu. Tada je potrebno imati dovoljno kamenog gradiva za **nasipanje**.

Osim za trup ceste kamen u raznim oblicima vrlo je važno gradivo za izgradnju prometnica.

Miniranjem se dobiva **lomljeni kamen**. Taj se kamen može dobiti miniranjem trupa prometnice, ali i miniranjem u pozajmištu-kamenolomu, kada ga na trasi nema dovoljno u usjecima i zasjecima.

Lomljeni se kamen može dalje obrađivati na dva načina. Ako će služiti kao gradivo za zidove, može biti obrađen tesanjem u polutesani ili tesani kamen. Ako će

međutim služiti za ugradnju u trup prometnice ili u neki od dijelova kolničke konstrukcije, mora se doraditi na dugi način.

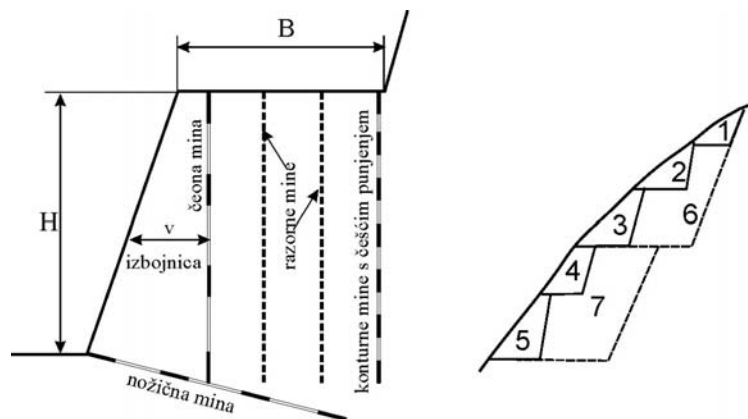
U poglavlju o fragmentaciji, bilo je govora o tome kako se nastoji dobiti takva fragmentacija koja će po svom granulometrijskom sastavu zadovoljiti zahtjeve pri ugradnji. To se provjerava određivanjem granulometrijskog sastava otpucane stijenske mase. Tehnički uvjeti ugradnje propisuju granulometrijsku krivulju kamena koji se može ugraditi u nasipa, a ujedno se propisuje i najveće zrno. Komadi veći od propisanih se odstranjuju i mogu se dalje obraditi drobljenjem i usitnjavanjem.

Tako nastaje **drobljenac**. On se koristi za izradu betona, filtarskih slojeva, zamjenskih slojeva i slično. Drobljenac, ovisno o namjeni, ima propisanu granulometrijsku krivulju. U drobljenac se ubraja **kamena sitnež, drobljeni pijesak i kameno brašno** ili punilo. Sve ove vrste usitnjenog kamena koriste se u gradnji od nasipa do punila u asfaltnim zastorima, žbukama i slično.

Svim ovim građivima nastalim od minirane stijene je zajedničko da moraju biti što čišći, oslobođeni humusa, organskih primjesa (raslinja) i sitnozrnog, koherentnog tla u najvećoj mogućoj mjeri. Stoga je prije miniranja potrebno izvesti predradnje u obliku čišćenja terena kako je opisano u poglavlju o prethodnim radovima, a u skladu s važećim propisima.

### 9.5.1 Načini miniranja usjeka i zasjeka

Niži usjeci i zasjeci miniraju se u jednoj etaži. Viši usjeci i zasjeci miniraju se u više etaža određenim redoslijedom kako je to prikazano na slici 9.24.



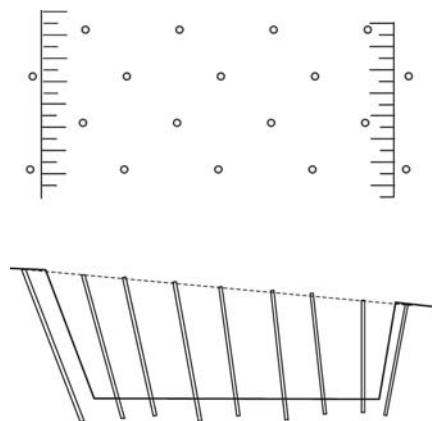
Slika 9.24 Etažno miniranje (prema Lukić i Anagnosti 2010.)

Kada su usjeci i/ili zasjeci većih visina, nije ih moguće izvesti u jednoj etaži. Tada se primjenjuje etažno miniranje u više koraka. Pri miniranju etaže izvodi se tzv.

nožično miniranje, kojim se otpucala masa odbacuje dijelom u vis, da bi se što je moguće više očistila etaža koja se minira. Pri oblikovanju kosine usjeka ili zasjeka i ovo se miniranje vrši kao konturno kako bi se oblikovala ravna završna površina iskopa. Visina i širina etaže je pri tom od  $B \sim H=5-15$  metara.

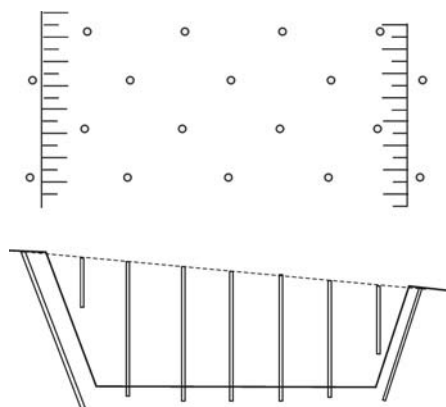
Etažno miniranje koristi se i u kamenolomu. Na slici 9.24 prikazan je redosljed miniranja u etažama.

Minirati se može poprečno na os trase. Pri tom su bušotine kose i prate nagib na mjestu dubljeg iskopa, osim uz sam kraj pliče strane, gdje konturna bušotina diktira nagib završne kosine, a uspravna bušotina otvara slobodan prostor za milisekundno palenje mina. Redovi bušotina su izvedeni tako da bušotine u svakom drugom redu dolaze između bušotina prethodnog reda.



Slika 9.25 Raspored bušotina pri poprečnom miniranju

Usjek se može minirati i uzduž trase. Tada se postavljaju konturne mine u smjeru završnih kosina, a ostale uspravno u redovima popreko na usjek. Pali se red po red.



Slika 9.26 Raspored bušotina pri uzdužnom miniranju trase

## 10 PRIJEVOZ, ODLAGANJE I RAZASTIRANJE

### 10.1 PRIJEVOZ

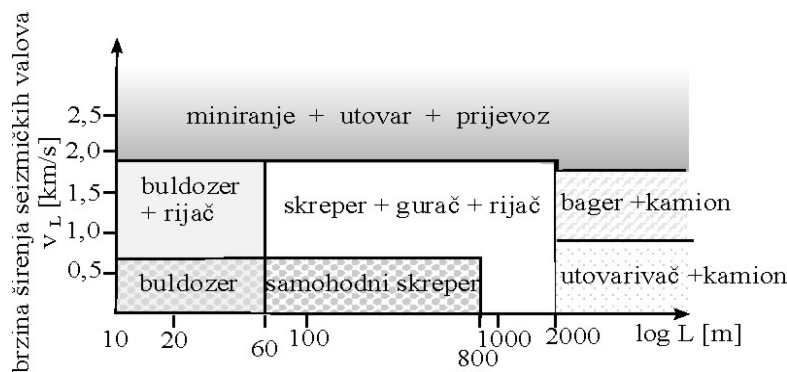
Prijevoz je radnja kojom se iskopano tlo premješta s mjesta iskopa, koje može biti u usjeku, širokom iskopu, rovu ili pozajmištu, do mjesta istovara. Mjesto istovara može biti, mjesto privremenog odlaganja, trajno odlagalište, kada je iskopano tlo višak ili mjesto ugradnje iskopanog tla u nasip.

Prijevoz može biti gradilišni, kada vozila ne prometuju javnim prometnicama već samo gradilišnim putovima, a može biti i prijevoz javnim cestama kada se iskopano tlo odvozi van gradilišta. Prijevoz se vrši najrazličitijim vrstama vozila.

Vrsta vozila za prijevoz kao i načini prijevoza mogu biti različiti s obzirom na: kategoriju i količinu tla koje treba prevesti, način iskopa, utovara, te dužine prijevoza. Kapacitet prijevoza treba biti usklađen s kapacitetom iskopa. Kada se iskopano tlo odmah ugrađuje u nasipe tada kapacitet prijevoza treba uskladiti s kapacitetom strojeva za zbijanje pri izradi nasipa.

Kod prijevoza se mora računati sa zapreminom tla u rastresitom stanju zbog ograničene veličine sanduka prijevoznog sredstva, pa prema tome treba planirati broj prijevoznih sredstava.

Način prijevoza ovisi o više čimbenika. Prvo je vrsta (kakvoća) tla, koja ujedno uvjetuje i izbor stroja za iskop, a druga je udaljenost na koju se iskopano tlo treba prevesti. Za približan izbor može poslužiti francusko rješenje sa slike 10.1 (Les Terrassements 1979.)



Slika 10.1 Izbor prijevoznih sredstava ovisno o kakvoći tla i udaljenosti

U tabeli 10.1 navode se podaci o kakvoće tla ovisno o brzini širenja seizmičkih valova  $v_L$ , temeljm kojih je izrađen grafikon na slici10.1 (Les Terrassements 1979.)

Tabela 10.1 Brzine širanja seizmičkih valova i veza s vrstom tla (može se povezati s vrijednostima iz tabele 3.1)

brzine širenja seizmičkih valova $v_L$ [km/sek]	0,3	0,5	0,8	3,0 i više
kakvoća tla prema pogodnosti za iskop	vrlo meko tlo	meko ali jače zbijeno	mora se razrahliti riječem	stijena
primjer	humus, razrahljeno tlo	gline niske do srednje plastične, vrlo meke stijene	zbijena koherentna tla, krute gline, zdrobljena ili okršena stijena	jedra, čvrsta stijena

Prijevoz treba biti brz i ekonomičan. Da bi se tome udovoljilo, treba:

- primjenjivati prijevozna sredstva većeg kapaciteta,
- primjenjivati prijevozna sredstva koja mogu obavljati više radnji.



Slika 10.2 Buldozer za guranje iskopanog tla na manje udaljenosti

Prijevozne dužine, po gradilištu, prethodno izrađenom putu ili cestama javnog prometa dijele se u ove grupe (OTU):

- guranje ili odlaganje do dužine 10 m (obračunato u iskopu)
- guranje na dužinu 10-60 m
- guranje na dužinu 60-100 m
- prijevoz na dužinu 100-300 m
- prijevoz na dužinu 300-600 m
- prijevoz na dužinu 600-1500 m
- prijevoz na dužinu 1500-5000 m
- prijevoz na dužinu veću od 5000 m.



Slika 10.3 Skreper za iskop i prijevoz gradilištem na udaljenosti do 800m.

Na manjim razdaljinama se tlo, koje se može kopati dozerom, može njime i odgurati na odlagalište ili mjesto ugradnje. Dozerom se može odgurati i razrijano tlo. Risanje i guranje može izvesti isti stroj.

Za malo veće udaljenosti koriste se skreperi. Oni mogu biti samohodni ili vučeni. Kada su vučeni u vuči može biti više sanduka.

Dozerima i skreperima prijevoz se vrši po gradilištu. Za ovaj prijevoz nije potreban uovarivač.

Po gradilištu se mogu kretati i kamioni, damperi i kiperi vrlo velikih dimenzija i razna, namjenski izrađena vozila za prijevoz iskopanog tla.

Za prijevoz javnim cestama koriste se vozila što je moguće veće zapremine sanduka, ali svih dimenzija unutar propisa za teretna vozila koja se kreću javnim cestama.

Za prijevoz iskopanog tla dolaze uglavnom u obzir damperi, namjenska vrsta kamiona za ovakav prijevoz. Damperi su vozila koja mogu podići sanduk tako da iz njega istresu teret na predviđeno mjesto.



Slika 10.4 Damper velikih dimenzija, za prijevoz po gradilištu

Kada za prijevoz služe damperi, potrebno ih je natovariti. U tom je slučaju nužno raspolagati i s utovarivačima.



Slika 10.5 Utovar iskopanog tla u vozilo za prijevoz utovarivačem



Kada se iskop vrši jaružalima (bagerima kašikarima) i rovokopačima, može se utovar vršiti izravno iz kašike.



Slika 10.6 Utovar iskopanog tla u kamion jaružalom (bagerom)

Kada se vozila ne kreću javnim cestama mogu biti i takvih dimenzija, koje prekoračuju one propisane za kretanje po javnim putovima. To je slučaj kod velikih zemljanih radova na izduženim trasama gdje treba vozilom prevesti što veće količine iskopanog tla.

Da bi se omogućio nesmetan prijevoz potrebno je osigurati:

a) na gradilištu

- pravilnim održavanjem gradilišnih prometnica;
- izradom i održavanjem privremenih građevina (propusta, mostova i drugih);
- opremanjem prekopa odgovarajućim oznakama, koje noću treba osvijetliti;

b) na javnim prometnicama

- postavljanjem odgovarajuće prometne i svjetlosne signalizacije;
- primjenom vozila propisanog gabarita i dopuštene nosivosti (osovinskog opterećenja);
- sprječavanjem nanošenja blata na kolnik, a ako do toga dođe, čišćenjem kolnika.

## 10.2 ODLAGANJE

Odlaganje je postupak kojim se privremeno ili trajno odlaže iskopao tlo. Privremeno se odlaže svo tlo koje će kasnije biti ugrađeno u nasipe, kao na pr, humus. Privremeno se može odlagati i kamen usitnjen miniranjem, ako je namijenjen daljnjoj obradi na pr. za agregat za beton ili asfalt.

**Odlagališta** mogu biti privremena i trajna. Osnovno je svojstvo odlagališta (osim komunalnog otpada) da nastaju jednostavnim nasipavanjem bez zbijanja.

**Privremena odlagališta** služe za odlaganje iskopanog tla koje će se kasnije ugraditi u nasipe ili će služiti za daljnju preradu. Privremena odlagališta treba zaštititi od utjecaja oborinske vode, a pokose oblikovati da budu stabilni, s nešto manjim zahtjevima od onih za trajne pokose nasipa. Primjer su odlagališta humusa s kojim će se kasnije oblagati pokosi nasipa ili usjeka.

Javljuju se u pogonima za drobljenje kamena, pri proizvodnji drobljenca koji služi kao punilo (agregat) u mješavini s raznim vezivima ili za razne druge namjene (filtarski i tamponski slojevi). Tu spadaju odlagališta sirovina (rudače) u raznim industrijskim i lučkim skladištima (terminali za rasute terete).

**Trajna odlagališta** su ona koja ostaju trajno na mjestu odlaganja. To su prostori na koje se trajno odlaže višak gradiva iz iskopa. Trajna odlagališta potrebno je oblikovati tako da budu stabilna, što manje podložna utjecaju atmosferilija i ekološki i estetski uređena.

Tu se mogu ubrojiti odlagališta jalovine iz podzemnih i površinskih kopova, odlagališta industrijskog i komunalnog otpada. Ova odlagališta zbog svoje posebnosti zahtijevaju posebnu obradu.

Odlagališta koherentnih tala, osjetljivih na utjecaj vode, potrebno je zaštititi od tog utjecaja. U suprotnom, povećanjem vlažnosti, može doći do promjene konzistentnog stanja tla u odlagalištu i pojave klizanja kosina uz vrlo štetne posljedice po okoliš. Valja napomenuti da odlagališta sadrže (osim onih od humusa) isključivo neplodno tlo, pa trajna odlagališta treba u tom smislu, po završetku nasipavanja, obraditi i zaštititi. Pokosi kod odlagališta ovise o prirodnom kutu unutarnjeg trenja odloženog gradiva.

Posebna grana geotehnike bavi se s projektiranjem odlagališta komunalnog i industrijskog otpada i njihovim ekološkim uređenjem.

### 10.3 RAZASTIRANJE

Razastiranje je radnja kojom se tlo iz iskopa ili pozajmišta, polaže na trasu budućeg nasipa.

Razastiranje se može vršiti dozerima sa privremenih odlagališta – hrpa na koje je gradivo dovezeno damperima. Tada dozeri razastiru gradivo u predviđenoj debljini, ovisno o vrsti tla i načinu zbijanja,

Većina vozila koja služe za prijevoz, može uz istresanje sadržaja iz sanduka, isti i razastrti na način da se prilikom istresanja pomiču takvom brzinom da se istreseno tlo odlaže u sloju željene debljine kako je to prikazano na slici 10.7.



Slika 10.7 Odlaganje s grubim razastiranjem iz dampera

Skreperi su vozila koja osim za prijevoz namjenski služe i za razastiranje tla. Jedno takvo vozilo prikazano je na slici 10.8



Slika 10.8 Namjensko vozilo za prijevoz i grubo razastiranje



Slika 10.9 Skreper vučen traktorom na gusjenicama, prilikom razastiranja

Prilikom ugradnje u nasipe, svaki sloj mora biti određene debljine, ovisno o vrsti tla i načinu zbijanja. Visina razastrtog sloja veća je od visine gotovog sloja za onoliko koliko će se tlo zbiti. Kako je debljina sloja bitna za pravilno zbijanje to je nakon grubog razastiranja sloj, prije zbijanja, potrebno fino isplanirati.

Za fino planiranje nakon razastiranja služe grederi i angl i tilt dozeri.



Slika 10.10 Greder za fino planiranje razastrtog tla

# 11 NASIPI

## 11.1 OPĆENITO

Nasip je građevina izvedena od rastresitog gradiva. Rastresito gradivo može biti iskopano u usjecima i zasjecima na trasi građevine za koju se izvodi nasip ili može biti dopremljeno iz pozajmišta. Nasipi se, osim od prirodnog gradiva, mogu izvoditi i od raznih industrijskih ostataka, šljake, ljevaoničkog pijesak, jalovine i sličnih tvari (Roje-Bonacci, 2006.).

Nasipi se mogu podijeliti na:

- 1) odlagališta – odlagališta viška gradiva iz iskopa, jalovine ili industrije;
- 2) nasipi – građevine, s propisanom (projektiranom) ugradnjom.

Obje vrste građevina moraju imati stabilan oblik. Ne smije se dozvoliti naknadno klizanje nastalih kosina, a naknadno slijeganje treba predvidjeti i svesti na najmanju moguću mjeru.

**Nasip** je građevina koja se izvodi kontrolirano i mora zadovoljiti određene tehničke uvjete iz projekta, koji ovise o namjeni nasipa.

Nasipi imaju svrhu koja im određuje svojstva.

**Nasipi za trup prometnice** osiguravaju kotu planuma, tako da je naknadno slijeganje svedeno na minimum. To se osigurava propisanom zbijenošću.

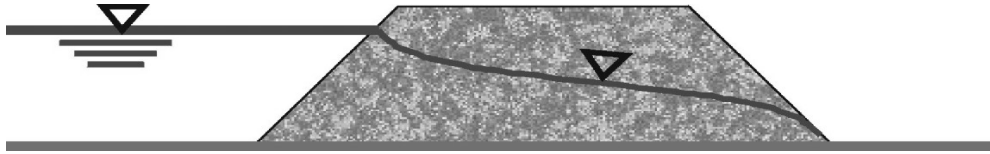


Slika 11.1 Nasip za prometnicu

Nasipi kod prometnica moraju biti tako izvedeni da kolnička konstrukcija bude trajna i stabilna u smislu ravnosti i krutosti. To znači da po završetku izvedbe nasipa, moguća slijeganja budu što manja ili da ih uopće ne bude.

Nasipi u današnjoj cestogradnji imaju velike površine. Kada leže na stišljivom tlu, izazivaju slijeganja temeljnog tla. Tada je potrebno izvesti posebne zahvate u tlu koji će to slijeganje svesti na najmanju moguću mjeru.

**Nasipi u hidrotehnici** moraju osigurati vododrživost različitog trajanja.



Slika 11.2 Hidrotehnički nasip

Hidrotehnički nasipi moraju biti vododrživi u mjeri u kojoj to zahtjeva njihova namjena. Ovi nasipi moraju, po završetku građenja, imati stabilnu krunu na projektiranoj koti da ne dođe do prelijevanja.

Vododrživi nasipi mogu biti trajno vododrživi, povremeno vododrživi, privremeno vododrživi i nasipi u vodi.

Trajno vododrživi nasipi služe za izgradnju kanala slijedećih namjena: plovnih, derivacijskih (hidroelektrane), za regulacije rijeka, navodnjavanje, odvodnjavanje, oblikovanje bazena (ribnjaci). Ovdje spadaju i velike brane s posebnim zahtjevima.

Povremeno vododrživi nasipi služe za obranu od poplava, regulacije vodotoka i melioracije.

Privremeno vododrživi nasipi su oni nasipi koji nisu trajne građevine, kao na primjer, zagati ili njihovi sastavni dijelovi. Kada obave svoj zadatak ovi nasipi gube svrhu. Mogu biti čak i propusni za vodu u mjeri koja to ne smeta njihovoj namjeni, kada se procjedna voda može savladati crpkama.

Nasipi u vodi su lukobrani i valobrani. Rade se od srednje krupnog i krupnog kamena. Za osvajanje većih morskih površina, rade se nasipi tehnikom refuliranja pijeska (nova luka u Shanghaiu). Ovi su nasipi naročito skloni pojavi likvefakcije jer su vrlo rahle strukture.

Stabilni pokosi su uvjet koji moraju zadovoljiti svi nasipi. Naknadno slijeganje kod svih nasipa treba ili potpuno onemogućiti ili svesti na najmanju moguću mjeru.

### 11.1.1 Kriteriji kakvoće

Svi gornji zahtjevi ovise o vrsti gradiva od koje će se izvoditi nasip, načinu ugradnje i svojstvima temeljnog tla.

Krutost, čvrstoća, a u manjoj mjeri i vododrživost, rastu s porastom zbijenosti tla. Zbijenost, pojam usko povezan s gustoćom, opisno označava relativni odnos zapremine čvrstih čestica u zapremini tla. Suha gustoća tla ovisi isključivo o zapremini čvrstih čestica u jediničnoj zapremini tla, a može se izraziti pomoću

parametara odnosa zapremine, vlažnosti, zasićenosti, kako je to prikazano u poglavlju o laboratorijskim ispitivanjima tla.

Zbijenije tlo je ono koje ima veći postotak zapremine čvrstih čestica u zapremini tla. Praktično i jasnije je zbijenost nekog tla opisati u relativnom odnosu prema nekoj referentnoj gustoći razmatranog tla. Kao referentnu gustoću je pak povoljno izabrati onu koja se jednostavno može postići nekim uobičajenim strojevima i postupcima na terenu. Za sitnozrna tla to je stupanj zbijenosti, **Sz**. On pokazuje omjer postignute suhe gustoće prema najvećoj mogućoj dobivenoj prema standardnom (modificiranom) Proctoru.

$$Sz = \frac{P_d}{\rho_{d\max}} [\%] \quad (11.1)$$

Za krupnozrna tla mjera kakvoće je omjer modula stišljivosti, **Ms**, izmjenog pločom Ø 30 cm prema onom zadanom u projektu ili propisima.

Povećanje gustoće tla se može postići na razne načine: opterećenjem, gnječenjem, nabijanjem i vibriranjem. Od ovih načina najučinkovitijim su se pokazale metode nabijanja, gnječenja i vibriranja. Učinak postupka za povećanje gustoće tla jako **ovisi o** njegovoj vlažnosti i o načinu zbijanja.

Krupnozrna tla je najlakše zbijati vibriranjem, a sitnozrna gnječenjem i nabijanjem. Zbog slabe vodopropusnosti zbijanje sitnozrnih tala predstavljati će znatno složeniji zahvat od zbijanja krupnozrnog tla. Slaba vodopropusnost znatno otežava istiskivanje vode iz pora tla bez obzira na uloženu energiju u zbijanje. Zbog toga će vlažnost tla imati presudnu ulogu na mogućnost zbijanja sitnozrnog tla.

Izvedbi nasipa treba posvetiti posebnu pažnju i stalnu provjeru, jer se ove građevine izvođe iz prirodnog gradiva koje nije standardizirani industrijski proizvod zagarantirane kakvoće, nego je to gradivo s vrlo čestim i velikim (a često nezamjetljivim) razlikama u svim svojstvima bitnim za buduću građevinu.

Gotovu građevinu treba dobro zaštititi od svih nepovoljnih utjecaja, te na njoj organizirati stalnu ili povremenu službu provjere i održavanja.

Pravilnim odabirom gradiva i strogim nadzorom nad izvedbom, prema uputama iz projekta, u nasipe se mogu ugraditi najrazličitije vrste gradiva, ne samo prirodnih već i umjetnih (drobljeno staklo, usitnjena guma) kao i različite vrste građevinskog i industrijskog otpada (topionička šljaka, šljaka iz toplana i energana, leteći pepeo, i slično).

### 11.1.2 Pripremni radovi

Izgradnja svakog nasipa započinje pripremnim radovima kao i kod izvedbe usjeka. Osim toga treba izvesti određene dodatne radnje koje prethode samoj izgradnji. To su: priprema podtla i ako je potrebno, tj. ako nema dovoljno ili uopće gradiva iz iskopa, otvaranje pozajmišta. Priprema podtla najčešće se odnosi na uređenje i poboljšanje plitkih slojeva tla.

Kod nasipa velike rasprostranjenosti potrebno je provjeriti i svojstva dubljih slojeva tla jer utjecaj dodatnog naprezanja, od takvog nasipa, seže u veliku dubinu. Ako i loše tlo seže u veću dubinu, neće biti dovoljno urediti samo plitke slojeve podtla da bi se izbjeglo naknadne dugotrajne deformacije.

Tek nakon što je podtlo zadovoljavajuće uređeno, može se pristupiti izvedbi nasipa, koja se sastoji od: dovoza i istovara, razastiranja, optimiziranja vlažnosti (vlaženje ili sušenje), zbijanja, održavanja do ugradnje slijedećeg ili završnog sloja, osiguranja kosina od erozije.

Sve ove radnje izvode se pod strogom provjerom kakvoće kojom se dokazuje da građevina zaista ima svojstva predviđena projektom.

## 11.2 PRIPREMA PODTLA

Nasipanje nije moguće izvesti bez uređenja podtla. Nakon skidanja humusa, potrebno je izvršiti radnje ovisne o vrsti i kakvoći tla (OTU). Da bi se moglo odrediti potrebne postupke uređenja temeljnog tla potrebno je izvršiti osnovna ispitivanja koja će dati podatke o tom tlu. To su:

- prirodna vlažnost tla,
- specifična težina čvrstih čestica,
- zapreminska težina tla,
- granulometrijski sastav,
- granice konzistencije tla, Aterbergove granice,
- sadržaj sagorljivih i organskih tvari u tlu,
- optimalna vlažnost i suha gustoća po Proctoru,
- modul stišljivosti metodom kružne ploče,
- ispitivanje dubljih slojeva podtla penetracijama (SPT, CPT),
- krilna sonda (naročito za morska i jezerska dna)



Svi ovi postupci nalaze se u skupini propisa HRN U.B1.0\*\*/\*\*. Na osnovu rezultata tih postupaka određuje se kakvoća temeljnog tla. Da bi se moglo započeti s nasipavanjem, temeljno tlo mora zadovoljiti kriterije iz tabele 11.1.

Tabela 11.1 Kriteriji za ocjenu kakvoće temeljnog tla (OTU, knjiga 2)

vrste tla	stupanj zbijenosti <b>Sz</b> (u odnosu na standardni Proctorov postupak), najmanje (%)	modul stišljivosti <b>Ms</b> (ploča Ø 30cm), najmanje (MN/m <sup>2</sup> )
<b>vezana tla:</b> (dio tla iskopne kategorije „C“ –sve gline niske do visoke plastičnosti i prašinasta tla)		
a) srasla tla sastavljena od koherentnih zemljanih tala, a projektirani nasip nije viši od 2,00 m	97	20
b) srasla tla sastavljena od koherentnih zemljanih tala, a projektirani nasip je viši od 2,00 m	95	20
<b>nekoherentna i miješana tla:</b> (tla iskopne kategorije „A“ i „B“ i dio tla kategorije „C“, kamen, miješani kamen i zemlja, glinoviti šljunci, zaglinjene kamene drobine, flišni pješčenjaci, dolomiti, škriljci, konglomerati, pijesci, pjeskoviti šljunci)		
c) srasla tla sastavljena od nekoherentnih zemljanih i miješanih tala, a projektirani nasip nije viši od 2,00 m	100	25
d) srasla tla sastavljena od nekoherentnih zemljanih i miješanih tala, a projektirani nasip je viši od 2,00 m	95	25

Suha gustoća po Proctoru i modul stišljivosti dobiven kružnom pločom su **referentne gustoće** s kojima se uspoređuju zahtjevi na gustoću (zbijenost) iz projekta.

Ako se sa sigurnošću može reći da dublji slojevi tla ne zahtijevaju poboljšanje, ili je veličina nasipa takva da nema utjecaja na dublje slojeve tla, može se pristupiti uređenju plitkih slojeva temeljnog tla

### 11.2.1 Uređenje i priprema plitkih slojeva temeljnog tla

Temeljem naprijed nabrojanih, dobivenih podataka o temeljnom tlu, određuje se potreba i način njegovog uređenja. OTU predviđa slijedeće radnje pri uređenju plitkih slojeva temeljnog tla:

- uređenje temeljnog tla mehaničkim zbijanjem,
- zamjena sloja slabog temeljnog tla boljim gradivom,
- sanacija vrtača,
- stabilizacijazemljanih tala vapnom i hidrauličnim vezivima,
- uređenje slabo nosivog temeljnog tla i posteljice geotekstilom,
- uređenje slabog temeljnog tla primjenom polimernih geomreža.

#### 11.2.1.1 Uređenje temeljnog tla mehaničkim zbijanjem

**Vezano (koherentno) tlo** se mora osposobiti da bez štetnih posljedica preuzme opterećenje od nasipa i onih opterećenja kojima će biti opterećen sam nasip. Dubina, do koje se uređuje temeljno tlo, određena je projektom, a iznosi do 30cm, ovisno o vrsti tla.

Tlo s kojeg je skinut humus treba dovesti u stanje vlažnosti koje omogućuje optimalni utrošak energije zbijanja. To se postiže vlaženjem ili rahljenjem i sušenjem tla. Tek kada tlo postigne optimalnu vlažnost po standardnom Proctorovu postupku, pristupa se zbijanju.

Ako vlažnost dopusti, temeljno tlo je najbolje zbiti odmah nakon skidanja humusa. Kod tala osjetljivih na vodu, veliku pažnju treba posvetiti očuvanju temeljnog tla od prekomjernog vlaženja. Za vrijeme građenja mora biti osigurana odvodnja temeljnog tla. Prije zbijanja, površinu tla treba izravnati. Zbijanje temeljnog tla obavlja se prema odabranoj tehnologiji, odgovarajućim sredstvima za zbijanje, ovisno o vrsti vezanog tla.

Kod **nevezanih tala** postupak uređenja temeljnog tla isti je kao i kod vezanih tala, samo što ono nije toliko osjetljivo na promjene vlažnosti, a zbijanje se obavlja pretežno vibracijskim sredstvima za zbijanje.

Kada se uvjeti zbijenosti iz tablice 11.1 ne mogu postići mehaničkim zbijanjem podloge zbog pre velike vlažnost, potrebno je poboljšati površinsku odvodnju sustavom drenaža i jaraka. Ova je mjera često dovoljna da se tlo prosuši i dovede u stanje optimalne vlažnosti što omogućuje daljnji rad. Ponekad treba odvodnju osigurati i za vrijeme ugradnje tla u nasip, dok se ne postigne izvjesno opterećenje na temeljno tlo.

U **stjenovitom terenu** ne zbija se tlo na kojem je predviđena izrada nasipa, nego mu se samo čisti površina i osigurava dobro nalijeganje nasipa, posebno ako je teren nagnut i ako se izrađuju stepenice. Stjenovito tlo se izravna slojem potrebne debljine (do 20 cm) od usitnjenog kamena ili šljunka, propisane granulacije i zbija sredstvima za zbijanje (vibrovaljci, vibrožabe).

Ako se sastav temeljnog tla često mijenja (vrtače, škrape, manji ponori itd.) potrebno je prije gradnje nasipa temeljno tlo pripremiti, odnosno sanirati, kako (i ako) je to dano u projektu. Pojava vrtača i škrapa vrlo je česta u području krša. Stoga je sanacija vrtača u OTU spomenuta kao posebni zahvat pri pripremi temeljnog tla. U projektu je gotovo nemoguće predvidjeti sve ove pojave te se one rješavaju od slučaja do slučaja i obračunavaju se posebno. U svrhu sanacije većih razmjera izvode se podtemeljne građevine.

#### 11.2.1.2 Zamjena tla

Loše temeljno tlo zamijenit će se prikladnijim, kada se uz odgovarajući način zbijanja u temeljnom tlu ne mogu postići zahtjevi kakvoće prema OTU.

Izvodi se kod niskih nasipa, gdje zbog manjih debljina sloja nasipa nije moguće primijeniti neke druge metode poboljšanja temeljnog tla. Svaki nasip mora u svom završnom sloju zadovoljiti projektom traženu zbijenost. Kod visokih nasipa ta se zbijenost može postići, uvažavajući Voss-ov dijagram.

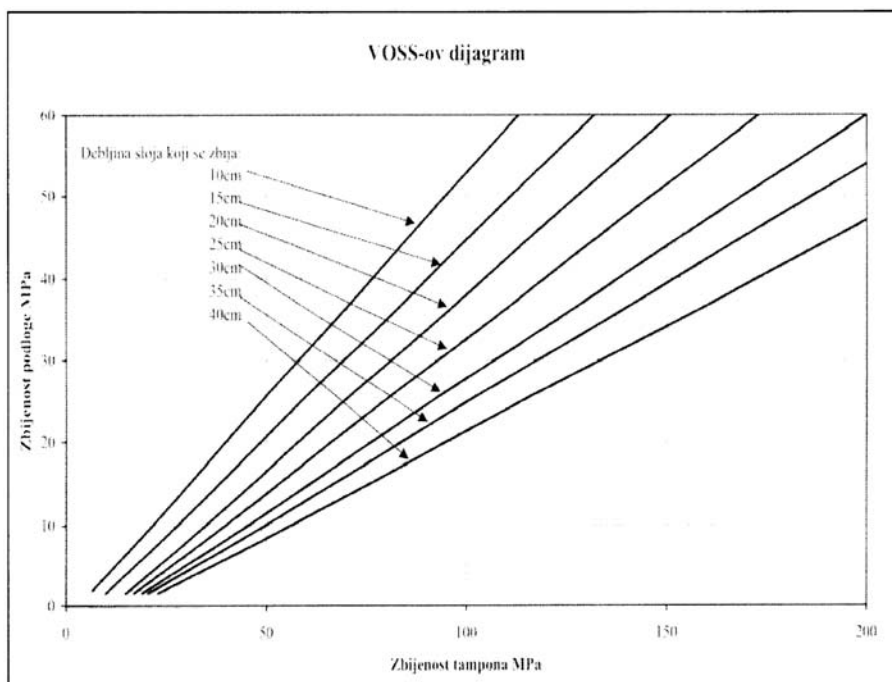
Vossov dijagram daje vezu između zbijenosti i debljine sloja. Kada je poznata zbijenost podloge ili ugrađenog sloja, onda se pomoću tog dijagrama može za odabranu debljinu slijedećeg sloja odrediti najveća moguća zbijenost tog slijedećeg sloja. Uočava se da moguća zbijenost slijedećeg sloja raste vrlo brzo.

Visoki nasip ima dovoljno kontrolirano ugrađenih slojeva kod kojih zbijenost postepeno raste i u završnim slojevima može doseći propisanu.

Kod niskog nasipa iskopa se sloj lošeg tla potrebne debljine. Isti se zamijeni nasipom boljih ugradbenih svojstava. Pri tom je potrebno izvesti sva potrebna ispitivanja radi uvida u kakvoću zamjenskog sloja.

Debljina sloja koji će se zamijeniti treba biti određena projektom, a ako nije, određuje se na pokusnoj dionici. Na pokusnoj dionici određuje se tehnologija rada, vrsta strojeva za zbijanje i način njihova rada. Dužina pokusne dionice iznosi najmanje 50 m. Na pokusnoj dionici ispituje se zbijenost tla standardiziranim

metodama, te vrijede i prethodno opisani kriteriji za ocjenu kakvoće. Zbijenost se ispituje najmanje na pet mjesta.



Slika 11.3 Vossov dijagram

#### 11.2.1.3 Stabilizacija plitkih slojeva tla

Loše temeljno tlo može se poboljšati stabilizacijom tla dodacima. Pod stabilizacijom tla dodacima se podrazumijeva miješanje prirodnog tla s različitim dodacima i/ili vezivima.

Postoje dvije mogućnosti izvedbe plitke, površinske stabilizacije tla.

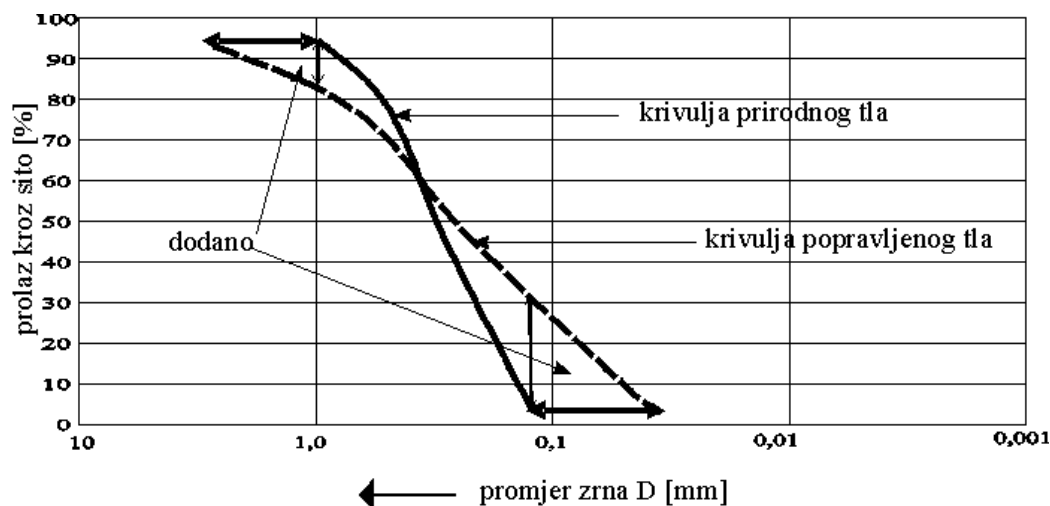
1) Stabilizacija na licu mjesta kada se izvodi rijanje prirodne površine tla s dodavanjem sredstva za stabilizaciju. Nakon toga se ponovnim rijanjem miješa tlo s dodatkom i konačno zbija valjanjem bez ili sa vibriranjem, ovisno o vrsti tla. Na ovaj se način mogu stabilizirati samo relativno tanki, površinski slojevi tla.

2) Stabilizacija ugradnjom zamjenjujućeg, stabiliziranog sloja, kada se stabilizirana podloga pripravi van prostora ugradbe i ugrađuje slično kao i zamjenjujuće tlo, u slojevima uz valjanje, bez ili sa vibriranjem, ovisno o vrsti tla.

Mješavine i učinci se provjeravaju terenskim i laboratorijskim pokusima kao i mehanički uređena podloga.

### Stabilizacija promjenom granulometrijskog sastava

**Krupnozrnim tlima**, lošeg granulometrijskog sastava (naročito zrna jednakog promjera), mogu se dodavati zrnati dodaci tla u onom području u kojem nedostaje čestica i tako poboljšati granulometrijski sastav. Potrebno je izvršiti miješanje temeljnog tla s dodatnim granulacijama da bi se dobila tražena granulometrijska krivulja. Potrebni dodaci teoretski se mogu odrediti teorijama mješavina (Bonacci, Mladineo, 1981.).



Slika 11.4 Promjena granulometrijskog sastava prirodnog tla programiranim dodavanjem granulacija koje nedostaju

Nakon što je postignuta pravilna mješavina, vrši se zbijanje valjanjem ili vibriranjem ovisno o vrsti tla.

Pri ovim miješanjima treba voditi računa o osjetljivosti mješavine na zamrzavanje.

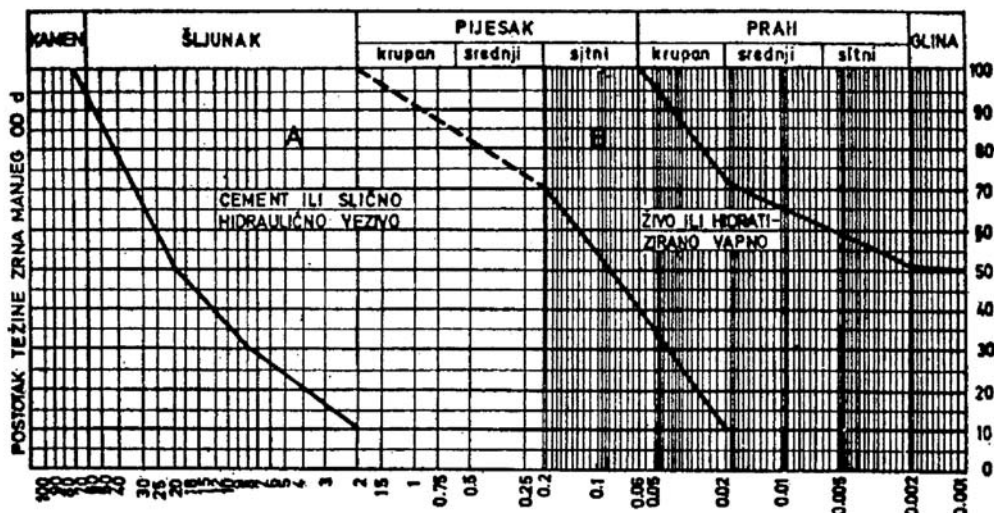
### Stabilizacija vezivima

Tlu se mogu dodavati veziva (prema OTU):

- a) 1 Vapno, hidratizirano;  
2 Vapno, mljeveno, živo (negašeno);
- b) 1 Cement, portland;  
2 Cement, portland s dodacima (zgura ili pucolan);
- c) Industrijski ostaci (topionička šljaka, šljaka iz termoelektrana, leteći pepeo, cementna prašina troska i drugo);
- d) Veziva na bazi bitumena i neka druga kemijska veziva.

Vapno je jedno od klasičnih dodataka. Koristi se za stabilizaciju sitnozrnog, vezanog tla. Cement se koristi za stabilizaciju nekoherentnog tla i miješanog tla.

Nisu sva tla jednako pogodna za stabilizaciju. OTU daje slijedeći dijagram s oznakama područja primjene sredstava za stabilizaciju:



Slika 11.5 Područja primjene sredstava za stabilizaciju

**Stabilizacija vapnom** je odavno poznata metoda za poboljšanje svojstava tla. Koristi se za poboljšanje svojstava koherentnog tla. U mješavini nastaje kemijska reakcija između vapna i minerala gline. Kemijska je reakcija brza pa poboljšanje kakvoće nastaje gotovo trenutno u smislu bolje obradivosti, mogućnosti zbijanja i početne čvrstoće. Nakon toga nastaje dugotrajna pucolanska reakcija između vapna, aktivnih silikata i minerala gline. Na taj se način povećava čvrstoća tla. U tlu dolazi do bitnih kemijskih promjena koje sljepljuju zrna tla, smanjuju vlažnost i indeks plastičnosti. Time se povećava čvrstoća na smicanje i nosivost.



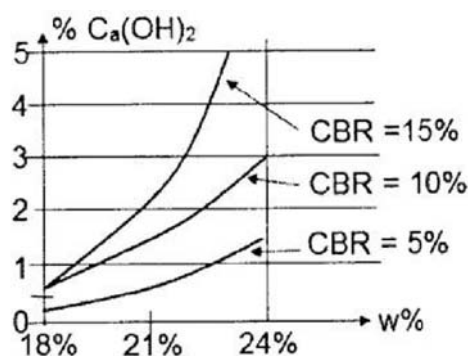
Slika 11.6 Granulometrijsko područje tla pogodnog za stabilizaciju vapnom

Stabilizacija se izvodi dodavanjem 3-5%, iznimno 10% vapna na masu suhog tla ili 10-15 kg/m<sup>2</sup> stabilizirane površine (za dubinu od 15-20 cm).

Primjena vapna ekonomičnija je od primjene cementa. Učinci stabilizacije su sljedeći:

- smanjenje vlažnosti tla zbog kemijske reakcije pri kojoj nastaje toplina a voda isparava,
- stvara se čvrsti kostur vezivanjem vapna za čestice gline,
- spora, pucolanska reakcija s glinom tvori polako čvrsti silikatni kostur (kroz 2-3 godine),
- kemijska reakcija uvjetuje smanjenje  $I_p$ , raste granica plastičnosti  $w_p$ .

Učinak je mjerljiv CBR pokusom prikazanim na sljedećem dijagramu.



Slika 11.7 Ovisnost vrijednosti CBR-a stabiliziranog tla o postotku dodatka vapna

CBR pokus određen je normom HRN U.B1.042.

**Stabilizacija cementom** ima najveći učinak kod prašinih i pjeskovitih tala i kod glinovito prašinih tala. Učinak cementne stabilizacije različit je kod koherentnog i nekoherentnog tla.

Kod koherentnog tla, dodatkom cementa uz prisutnost vode dolazi do hidratacije cementa i sljepljivanja i povezivanja zrnaca. Zbog relativno male količine cementa obavijanje zrnaca je nepotpuno, tako da mješavina ima veliku poroznost, ali je čvrsta i stabilna, sa znatno poboljšanom otpornošću na djelovanje vlage i mraza.

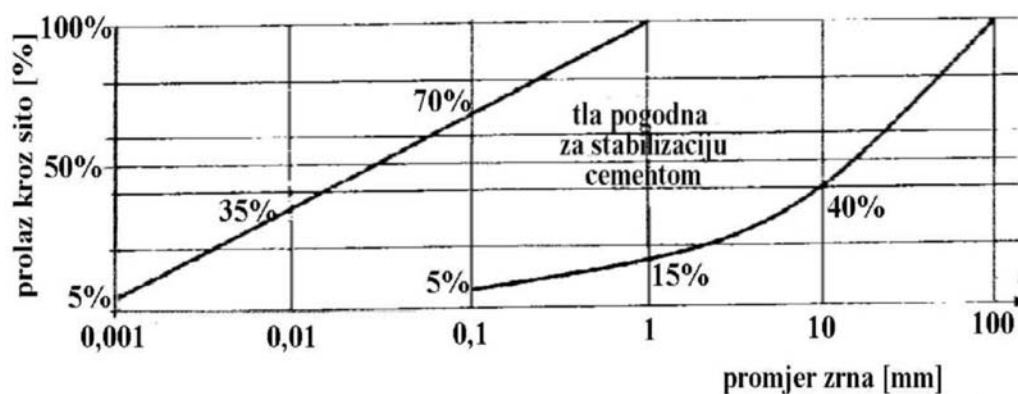
Kod koherentnog tla postoji i dodatni stabilizacijski učinak. Pri hidrataciji se iz cementa oslobađa određena količina živog vapna, koja reagira s aktivnim silikatima i mineralima gline iz tla i u jednom daljem razdoblju dodatno povećava čvrstoću stabiliziranog tla.

Poboljšano koherentno tlo sadrži 6-12% mase cementa u odnosu na masu suhog tla odnosno 22 do 37 kg/m<sup>2</sup> stabiliziranog sloja.

Kod mješavine nekoherentnog tla i cementa dolazi do hidratacije i pojave vezivanja čestica tla. Dodatkom manje količine cementa u stabilizacijskoj mješavini se mogu stvoriti jezgre koje međusobno nisu povezane, ali ipak učvršćuju strukturu, dok se kod većih količina cementa razvija fini cementni kostur, koji prožima tlo i poboljšava njegova mehanička svojstva.

Tlo, stabilizirano cementom, ne mijenja ili tek malo mijenja svoja svojstva sa promjenom vlažnosti, temperature ili drugih klimatskih utjecaja, tako da predstavlja pouzdanu podlogu.

Razlikuje se nekoherentno (zrnato) *tlo poboljšano cementom* sa 2-5% cementa i *cementirano tlo* sa 5-15% cementa u odnosu na masu suhog tla.



Slika 11.8 Granulometrijski dijagram s područjem pogodnim za cementnu stabilizaciju

Tlo poboljšano cementom koristi se za stabilizaciju temeljnog tla pri izvođenju nasipa.

U poboljšanom tlu, cement samo djelomično ispunjava šupljine, pa su grude tla spojene cementom na dijelu svoje površine tj. nije oblikovana neprekinuta cementna rešetka. Zrnato tlo poboljšano cementom ima poboljšana svojstva čvrstoće.

Miješanjem tla i cementa u "prašinastom" stanju s vodom (vodenom prašinom) i zbijanjem mješavine, dobiva se "cementno" tlo ili "cementirano" tlo (soilcrete). U cementnom tlu, cementi kristali oblikuju rešetku (kostur) u kojoj su smještene (zarobljene) male grude tla. To je homogeno tlo, visoke čvrstoće (2-7 MPa), otporno je na eroziju, mraz i udar. Koristi se kao nosivi sloj ili završna kolnička konstrukcija za šumske ceste, parkirališta, podove u industriji, skladištima i dr.

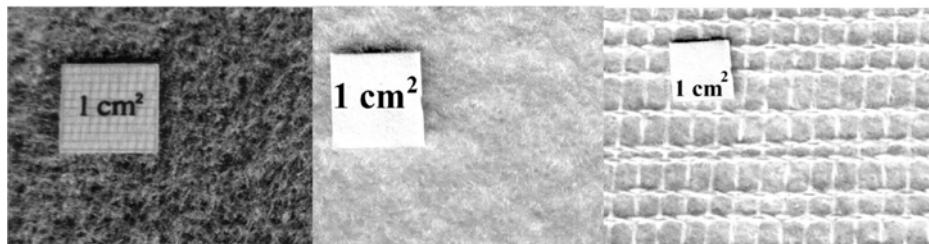


Tabela 11.2 Zahtjevi kakvoće za stabilizaciju zemljanih tala (OTU)

svojstvo sloja ugrađene stabilizacije		dio ceste	stabilizacija vapnom	stabilizacija cementom
stupanj zbijenosti (Sz) u odnosu na standardni Proctor, najmanje, %		temeljno tlo, nasip	95	95
		posteljica	100	100
tlačna čvrstoća nakon određenog broja dana njege probnih tijela najmanje, MN/m <sup>2</sup>	7dana	temeljno tlo	0,2	0,7
	28 dana		0,3	-
	7dana	nasip	0,3	-
	28 dana		0,4	1,0
	7dana	posteljica	0,4	1,4
	28 dana		0,5	1,75
otpornost na smrzavanje i vodu		temeljno tlo, nasip	nije obavezna	nije obavezna
		posteljica	prema projektu	prema projektu
CBR najmanje, %		temeljno tlo, nasip	5	5
		posteljica	15	20
ravnost sloja mjerena letvom nasip duljine 4m (odstupanje od referentnog ruba, cm)		temeljno tlo, nasip	-	-
		posteljica	3	3

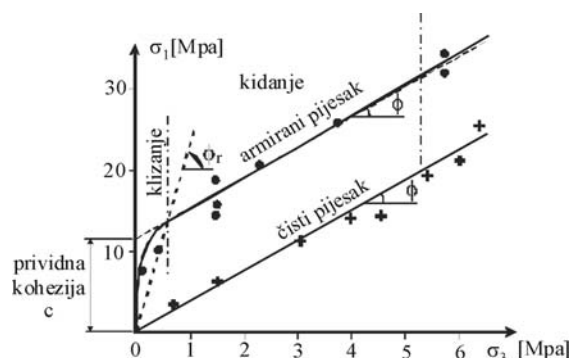
#### 11.2.1.4 Uređenje temeljnog tla geotekstilom

Geotekstil je gradivo izrađeno od sintetičkih vlakana. Može biti tkani, pleteni i netkani. U građevinskoj praksi se pod geotekstilom najčešće podrazumijeva netkani geoteksil. Nastao je početkom 70-tih godina kao podna obloga. Pokazao je izvanredna svojstva za višenamjensku primjenu u građevinarstvu. Geotekstil djeluje razdvajajuće, ojačavajuće (kao armatura), filtrirajuće i drenirajuće.



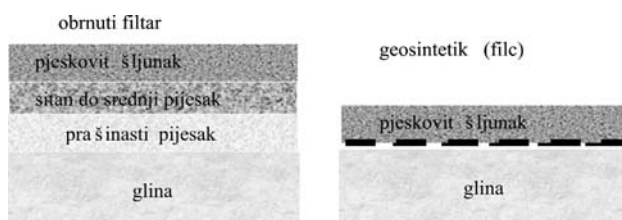
Slika 11.9 Tri vrste geotekstila, desno složenac (kompozit) od tkanog i netkanog tipa

Geotekstil ugrađen u tlo djeluje kao armatura, tj. daje tlu vlačnu čvrstoću. Laboratorijska ispitivanja tla u koje je ugrađen geotekstil, pokazuju da su rezultati slični onima kod ispitivanja koherentnog tla.



Slika 11.10 Rezultat laboratorijskog ispitivanja pijeska ojačanog geotekstilom

Razdvajajućom sposobnošću može zamijeniti filtarske slojeve jer sprječava miješanje tla bitno različitih krupnoća. Propustan je za vodu, ali ne i za čestice tla pa djeluje filtrirajuće. Ugrađen na pravi način može djelovati i kao drenažni sloj.



Slika 11.11 Zamjena obrnutog filtra slojem geotekstila

Geotekstil omogućava jednostavnu zamjenu površinskog, lošeg sloja tla slojem zrnatog tla (šljunka ili tucanika) koji se daje dobro uvaljati, a da pri tom ne dođe do miješanja s temeljnim tlom. Pri visokoj razini podzemne vode, voda slobodno izlazi kroz geotekstil, koji djeluje i kao armatura. U nasutim građevinama ima danas vrlo značajnu ulogu.

Za postavljanje mehaničkih zahtjeva za geotekstil, namijenjen stabilizaciji prirodnog tla, mjerodavni su sljedeći parametri:

- vrsta tla,
- vrsta nasipa,
- prometno opterećenje.

Ovisno o najvećem zrnu ( $d_{max}$ ) nasipa i obliku zrna (okruglo, četvrtasto do 63 mm ili četvrtasto > 63 mm) primjenjuje se tablica određene vrste geotekstila prema OTU.

Ovisno o modulu deformacije  $E_{v1}$  tla i prometnom opterećenju, moraju biti ispunjeni zahtjevi iz tablica. Vrijednosti u tablicama zasnivaju se na jakosti (čvrstoći) prvoga sloja od 40 cm i na prethodno određenoj vrsti gradiva za nasipanje.

Tabela 11.3 Moduli deformacije i stišljivosti ( $M_s$ ) za vrste tala U1 do U3(OTU2)

Tlo	$E_{v1}$	$M_s$
U1	$\leq 5 \text{ MN/m}^2$	$\leq 6 \text{ MN/m}^2$
U2	$5-15 \text{ MN/m}^2$	$6-20 \text{ MN/m}^2$
U3	$> 15 \text{ MN/m}^2$	$> 20 \text{ MN/m}^2$

Posebni zahtjevi postavljaju se na geotekstil za filtriranje. OTU daje tablice obilježja geotekstila posebno za razdvajanje i pojačanje, a posebno za filtriranje i dreniranje. Vodopropusnost okomito na tok mora zadovoljiti uvjet da je:  $k \geq 10^{-3} \text{ m/s}$ .

Vodopropusnost, prilikom razdvajanja, određena je efektivnom veličinom otvora,  $O_{90,w}$ , koja se mora kretati u rasponu od:  $0,06 \text{ mm} \leq O_{90,w} \leq 0,2 \text{ mm}$

Efektivna veličina otvora  $O_{90,w}$  je onaj promjer zrna kod kojeg 90% tla ostaje na geotekstilu. Dovoljnom permitivnošću i transmisivnošću kao i odgovarajućom veličinom otvora osigurana je djelotvorna odvodnja susjednih tala (OTU) .

Prilikom ugradnje geotekstila vrijede određena pravila.

Polaze se na ravnu površinu. Preklapa se obrnuto od smjera ugradnje nasipa kao na slici 11.12.



Slika 11.12 Smjer polaganja geotekstila na podlogu na koju se nasipava

Geotekstili se mogu spajati:

- preklapanjem;
- zavarivanjem i
- šivanjem.

Preklapa se tako da gornji sloj bude u smjeru nasipavanja, što znači da je samo preklapanje u obrnutom smjeru, tj. da slijedeći sloj treba podvući pod prethodni. Duljina preklapanja za netkani geotekstil iznosi 50 cm a za tkani geotekstil 80 cm.

Vari se vrućim zrakom, plinskom plamenikom ili namjenskim uređajem za varenje. Zagrije se položeni sloj, a zatim se prekrije slijedećim i spoj učvrsti hodanjem po zagrijanom traku.

Šiva se namjenskom opremom za što su potrebni obučeni radnici. Traje duže od prethodnih načina spajanja.

Nasipanje prvog sloja iznad geotekstila vrši se s čela. Ne smije se voziti strojevima po položenom geotekstilu. Visina prvog sloja u zbijenom stanju mora biti trostruko veća od promjera najvećeg zrna odnosno najmanje 40 cm.



Slika 11.13 Nasip na geotekstilu

#### 11.2.1.5 Uređenje temeljnog tla geomrežama

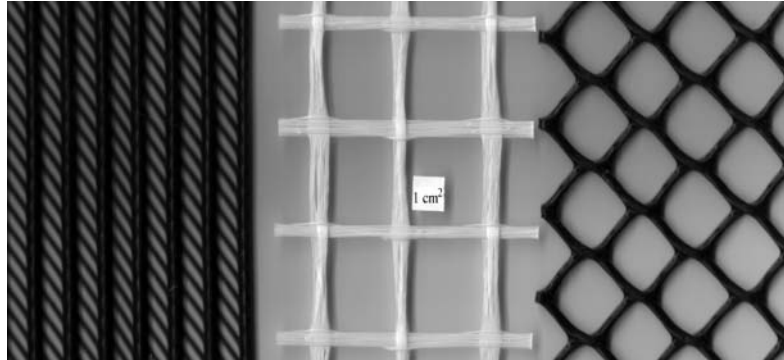
Geomreže su gradiva od raznih vrsta plastičnih masa, proizvedene raznim tehnologijama razvijenim u industriji plastičnih masa. Mogu biti homogene, izradene od isprepletenih vlakana ili isprepletenih traka.

Izrađuju se izvlačenjem, sječenjem, termovarovom i sl. Njihova je proizvodnja toliko raznolika da je teško izdvojiti neke određene vrste.

Geomreže služe za izvedbu nasipa na slabo nosivom i vrlo vlažnom temeljnom tlu.

Prije njihovog polaganja potrebno je izvršiti sve predradnje kao i kod polaganja geotekstila osim što nije predviđeno valjanje površine na koju se polaže.

Kod malih visina nasipa primjenjuju se u kombinaciji s odstranjivanjem površinskog sloja slabo nosivog tla potrebne debljine. Ovo je potrebno stoga da bi se na planumu završenog nasipa mogla postići tražena zbijenost. Površina sloja kamenog nasipa nad geomrežom, smatra se temeljnim tlom za izradu nasipa.



Slika 11.14 Geomreže

One nemaju filtrirajuća i drenirajuća svojstva pa ih se može primijeniti tamo gdje takvi učinci nisu potrebni.

Osim za ojačanje slabo nosivog i vlažnog temeljnog tla, mogu služiti i za armiranje nasipa.

Polimerne se geomreže dobavljaju u svitcima, a razastiru se na pripremljeno temeljno tlo u uzdužnom smjeru. Treba ih položiti tako da budu dobro i jednoliko napete u uzdužnom i poprečnom smjeru, tj. ne smije doći do većih boranja. Zbog toga se rubovi moraju učvrstiti željeznim ili drvenim klinovima na razmacima od po dva metra.

Uzdužne i poprečne nastavke treba spojiti i učvrstiti željeznim spojnicama promjera 5-8 mm u obliku slova "U" na razmacima od po dva metra. Ako se uzdužni i poprečni nastavci ne spajaju, treba izvesti preklop od 20 do 30 cm.

Ne smiju se polagati na smrznuto tlo niti za vrijeme dok pada kiša.

Rad treba organizirati tako da se razastire samo tolika površina polimernih geomreža koja će se istog dana prekriti nasipnim slojem.

Za izvedbu kamenog nasipa na geomreži vrijedi isto što i za izradu nasipa na geotekstilu. Potrebnu debljinu nasipnog sloja i tehnologiju izrade treba odrediti na pokusnoj dionici.



Slika 11.15 Ojačanje posteljice i nasipa geomrežom i geotekstilom

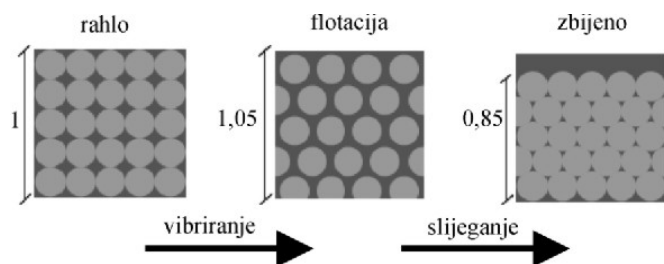
### 11.2.2 Poboljšanje dubokih slojeva tla ispod nasipa

Moderne tehnologije za poboljšanje dubokih slojeva tla su mnogobrojne. Mogu biti mehaničke, kada se tlu ne dodaju nikakvi dodaci, već se raznim načinima vibriranja povećava gustoća tla. Mogu biti one pri kojima se u tlo dodaju određena gradiva i tako povećava njegova gustoća, a time i zbijenost. Najnovije generacije strojeva omogućuju dodavanje veznih sredstava i njihovo miješanje s dubljim slojevima tla. Za nasipe velikih površina bitne su one kojima se u tlu postiže vremenski projektirano slijeganje i ubrzani proces konsolidacije. Postupci se mogu nabrojiti nastavno.

- 1) Mehanički postupci bez i sa dodavanjem gradiva bez veziva su slijedeći:
  - dinamička stabilizacija s površine;
  - dinamička stabilizacija vibriranjem ispod površine i vibroflotacija sa i bez dodavanja gradiva;
  - zbijanje i zamjena tla miniranjem;
- 2) Stabilizacija dodavanjem veziva .
- 3) Projektirano vrijeme slijeganja i ubrzani proces konsolidacije može se postići:
  - predopterećenjem;
  - uspravnim drenovima.

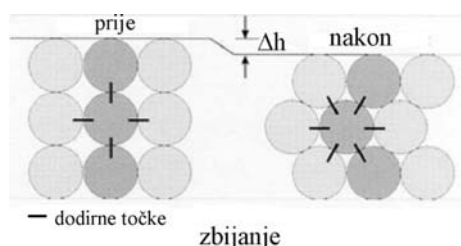
### 11.2.2.1 Postupci poboljšanja svojstava tla vibriranjem

Postupci poboljšanja svojstava tla vibriranjem temelje se na činjenici da se rahlo složena struktura potresanjem može presložiti u gustu. Postupak se temelji na pobudi čestica nevezanog tla, koje se premještaju iz rahlog u zbijeniji položaj. Na taj se način postiže veća relativna gustoća ( $D_r$ ) i poboljšavaju fizičko-mehanička svojstva tla. Potresanje pokreće rahlo složene čestice u čemu pomaže i podzemna voda te nastaje pojava pod nazivom „flotacija“. Proces je shematski prikazan na slici 11.16.



Slika 11.16 Postupak premještanja čestica prilikom vibroflotacije

Kada se odabere pravilan raspored izvođenja, stvara se zgusnuti prostor ispod površine tla. Smanjeni obujam rezultira gušćim rasporedom čestica na račun pora. Povećava se broj točaka dodira između pojedinih čestica, što bitno utječe na povećanje trenja među česticama i poboljšanje ostalih fizičko-mehaničkih svojstava tla. Učinak zbijanja može se objasniti slikom 11.17.



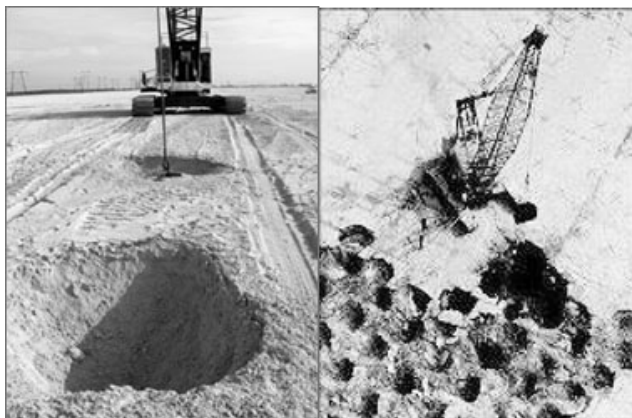
Slika 11.17 Premještanje čestica nakon vibriranja i povećanje broja dodirnih točaka

### Dinamička stabilizacija tla s površine

Dinamička stabilizacija vrši se dinamičkim učinkom građevinskih strojeva na tlo. Izvodi se tako da uteg težine od 0,6 do 2,0 MN, slobodno pada s visine od 15-25m. To je jeftini način da se poboljšaju svojstva slojeva tla u dohvatnim dubinama ispod površine.

Pogodna je za učinkovito zbijanje rahlih, zasićenih pijesaka i prašina, organskih tala, starih nasipa, odlagališta jalovine i komunalnog otpada.

Prema podacima iz literature (TerraSystem, 2009.), kada postoji sumnja da u podzemlju postoje kaverne, vrtače ili ponori, ovaj način poboljšanje tla je također učinkovit.

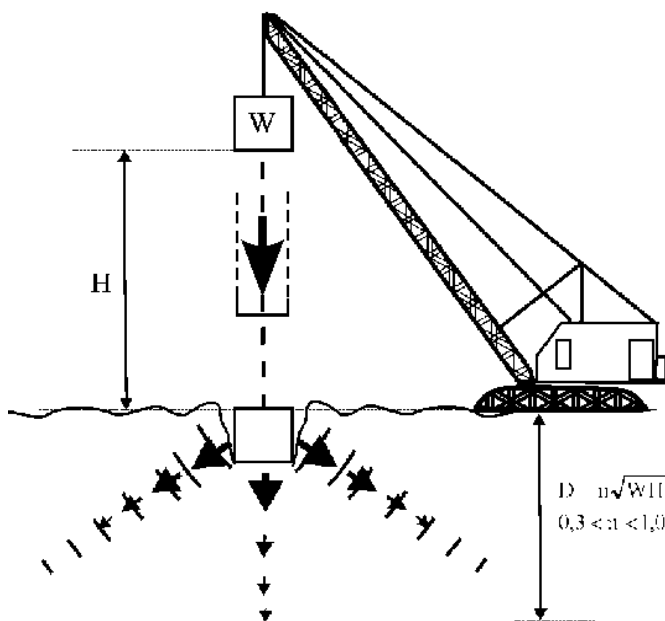


Slika 11.18 Učinak pada utega pri dinamičkoj stabilizaciji (WEB 6)

Učinak zbijanja može se približno proračunati pomoću jednadžbe 11.2 (WEB 11)

$$D_{\text{maks}} = n\sqrt{WH} \quad (11.2)$$

pri čemu je  $W$  = težina utega u tonama,  $H$  = visina padanja u metrima, a  $n$  je iskustveno 0,3-1,0. Dubina utjecaja prikazana je na slici 11.19.



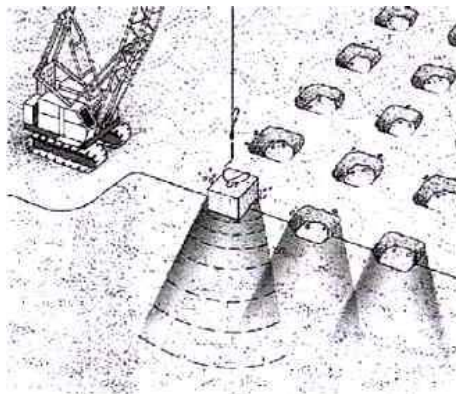
Slika 11.19 Dubina utjecaja dinamičke stabilizacije.

Za čiste pijeske,  $n$ , može biti i veći od 0,9.



Stabilizacija se osniva na učinku širenja valova kroz tlo, pod utjecajem kojih dolazi do zbijanja rahlog tla. U slučaju većih šupljina učinak je malo drugačiji, tj. trebalo bi da zbijanje izazove slom krovine koja će se urušiti u šupljine. U oba slučaja na površini ostaju šupljine koje je naknadno potrebno popuniti i kontrolirano zbiti na traženu mjeru, prema projektu. To se može učiniti nasipavanjem nekoherentnog tla uz zbijanje ili razgrtanjem okolnog tla u rupe, uz površinsko zbijanje valjcima, vibrovaljcima i drugim sličnim strojevima.

Na slijedećoj slici dana je skica učinka dinamičke stabilizacije tla u prostoru tj. po dubini. Da bi postupak bio uspješan potrebno je pažljivo razraditi razmak među mjestima udara.



Slika 11.20 Učinak zbijanja u dubini tla

Stupanj poboljšanja tla svodi se na povećanje relativne gustoće ( $D_r$ ), pri čemu se mijenja porozitet,  $e$ . Provjera učinka zbijanja se vrši nekim od penetracijskih pokusa, presiometrom, ili nekim drugim pokusom za provjeru gustoće tla.



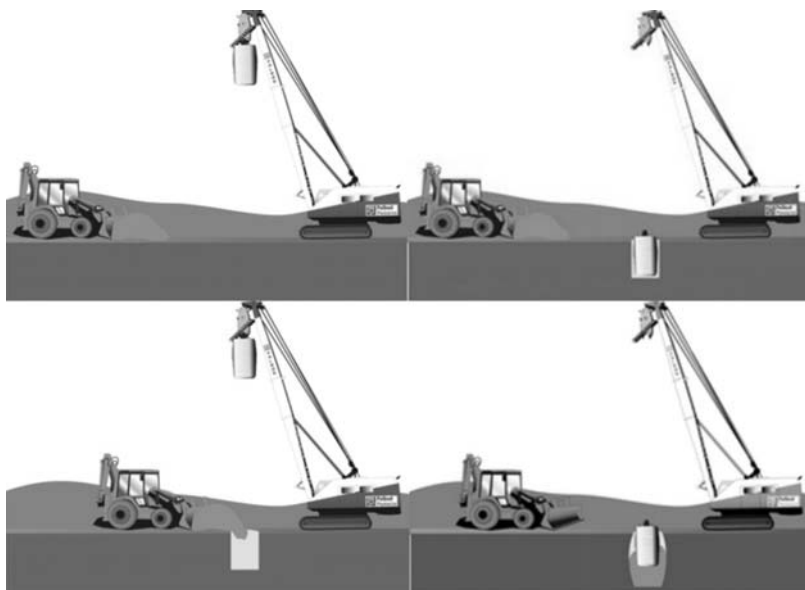
Slika 11.21 Veličina rupe koja nastaje pri udaru tereta o tlo

Pri visokoj razini podzemne vode u dohvat utjecaja udara je potrebno voditi računa o disipaciji pornih pritisaka koji se pojavljuju prilikom ovog postupka. Na slici 11.22 prikazano je polje s nizom dizalica i nabijača u radu.



11.22 Polje s nizom strojeva s utegom za dinamičko poboljšanje tla

Postoji postupak s dodavanjem i zbijanjem dodanog nasipa (WEB 16). Na slici 11.23 prikazana je shema ovakvog zbijanja.

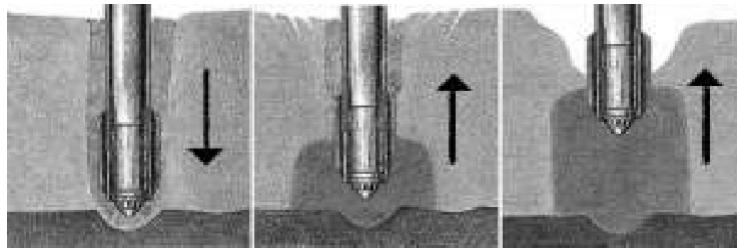


Slika 11.23 Dinamička stabilizacija s površine sa zbijanjem dodatnog nasipa

### Dinamička stabilizacija vibriranjem ispod površine i vibroflotacija

Ovaj način poboljšanja temeljnog tla je učinkovitiji od zbijanja s površine. Vrlo je koristan za tla sklona likvefakciji (rahli pijesci jednolikog granulometrijskog sastava), kao i za ojačanje hidrauličkih nasipa, nastalih refuliranjem pijeska. Primijenjen je prvi put 70-tih godina 20. stoljeća u Njemačkoj. Relativno je jeftin i vremenski brz. Pokazalo se da je učinkovit do dubine od oko 4,0m. Može se izvoditi bez ili sa dodavanjem nekoherentnog tla u temeljno tlo. Praksu prati i razvoj teorija u smislu numeričkog modeliranja zbijanja vibroflotacijom (Geise, 2003.).

Prvobitni se postupak temeljio na upuštanju pribora u tlo isključivo vibriranjem. Zatim je izrađen pribor koji uz vibriranje pospješuje pokretljivost čestica mlazom vode koji izlazi na vrhu pribora. Stoga se ova tehnika naziva vibroflotacija. Danas postoji niz izvođača koji nude vlastitu tehnologiju s učinkom vibroflotacije.



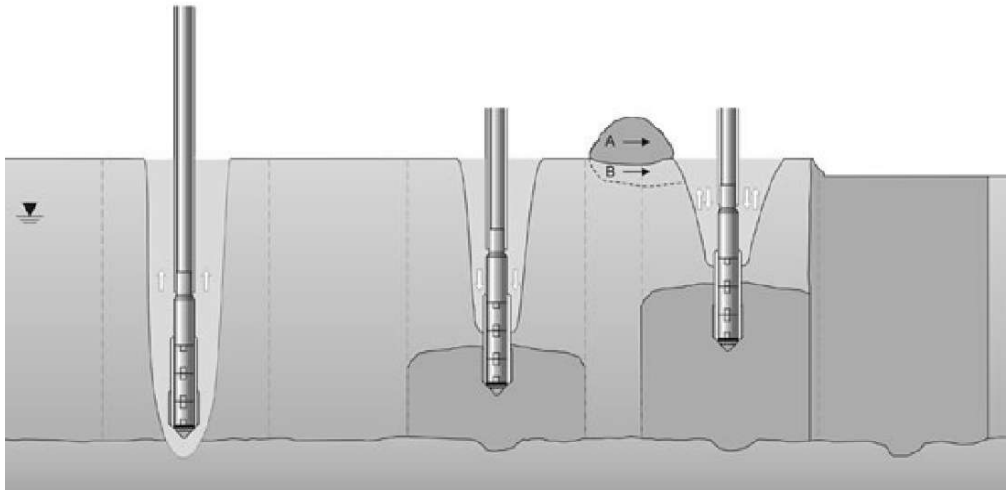
Slika 11.24 Učinak vibriranja bez dodataka (detalj)

U koherentnim tlima postupak vibriranja i vibroflotacije ima učinak različit od onoga u rahlim, nekoherentnim tlima. U koherentnom se tlu ne može pobuditi premještanje čestica, već uređaj isključivo stvara prostor u tlu u koji ulazi, zbjija okolno tlo, ne bitno, ali povećava porne pritiske ako je tlo potpuno zasićeno. Novostvoreni prostor se puni nekoherentnim tлом i nastaju šljunčani stupovi u tlu. Šljunčani stupovi u tlu imaju učinak povećanja gustoće tla, osiguravaju ojačanje tla, a učinkoviti su i kao šljunčani drenovi koji znatno mogu ubrzati proces konsolidacije. (WEB 6).

Na slici 11.25 uočava se hrpa tla uz vibriranu površinu, koja tone. Na taj se način može nadomjestiti dio utonulog tla oko mjesta ugradnje. Ovo treba razlikovati od postupka s dodavanjem šljunka. Ovdje se ne djeluje na dodani materijal, već on samo nadomješta nastali prostor.

Odabir razmaka mora biti takav da dođe do preklapanja učinka vibracije.

Postupak se sastoji u tome da sonda vibriranjem ulazi u tlo do određene dubine i idući prema gore vibrira i zbjija okolno tlo.



Slika 11.25 Vibriranje sa slijeganjem površine na račun smanjenja poroziteta

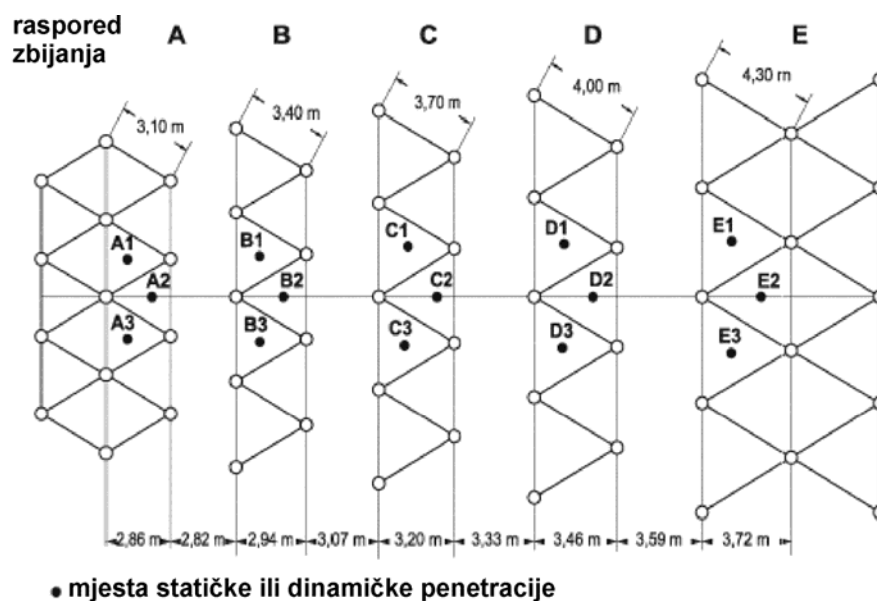
Prilikom dodavanja šljunka, vibriranjem se zbija i šljunak, ubačen u nastalu šupljinu u koherentnom tlu. Tako nastali stupovi u tlu djeluju kao uspravni drenovi.



Slika 11.26 Sonda za vibroflotaciju sa cijevi kroz koju se dodaje šljunak u osvojeni prostor u koherentnim tlima, vide se otvori za vodu

Razvoj građevinskih strojeva čini izvedbu dubinskog vibriranja tla sve bržom. Tako danas postoje tzv. tandemi, dizalice koje nose dva vibratora.

Najbolji podaci o postupku dubinskog vibriranja tla mogu se postići izradom pokusnog (probnog) polja.



Slika 11.27 Shema pokusnog (probnog) polja za dubinsko vibriranje tla s mjestima vibriranja i mjestima provjere učinka statičkom ili dinamičkom penetracijom

Provjera zbijenosti vrši se, kao i kod dinamičke stabilizacije s površine, statičkim (CPT) penetracijskim pokusom ili dinamičkim, standardnim (SPP) penetracijskim pokusom, ili nekim drugim pokusom za utvrđivanje poboljšanja svojstava tla. Podrazumijeva se naravno da postoje podaci o zbijenosti tla prije zahvata kako bi se mogli usporediti s rezultatima nakon zahvata i ocijeniti učinkovitost zbijanja.

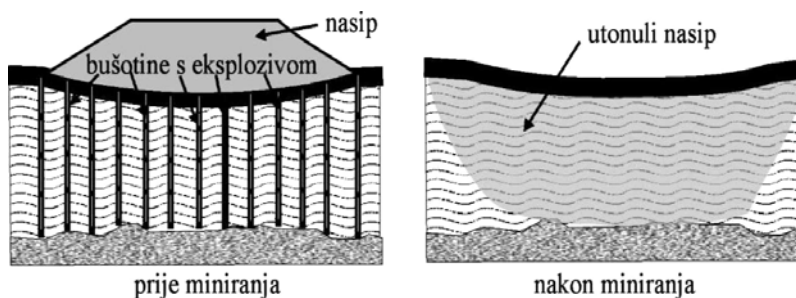


Slika 11.28 Uređaj za vibroflotaciju u radu

### Zbijanje i zamjena tla miniranjem

Metoda je poznata dugi niz godina. Korištena je u Rusiji sredinom 20. stoljeća za zamjenu lošeg, površinskog sloja tla, naročito treseta, pri gradnji prometnica. Postupak se sastoji u tome da se u tlu izvedu bušotine u koje se ugradi eksploziv, a zatim se prostor prekrije određenom količinom šljunka tako da nakon eksplozije šljunak utone u novonastali prostor.

Tehnologija je usavršena tako da se danas izvodi na niz načina. Učinkovita je za pobuđivanje potresnih valova unutar mase tla, koji izazivaju flotaciju čestica. Koristi se za površinsko i dubinsko zbijanje rahlih, nekoherentnih tala, najčešće rahlih pijesaka sklonih likvefakciji kao i za zbijanje mekih sitnozrnih tala kao na pr. mulj i treset.



Slika 11.29 Zamjena tla miniranjem na trasi buduće prometnice

Učinak miniranja na površini sličan je dinamičkoj stabilizaciji s površine. Prema postojećim podacima, 1kg eksploziva (TNT) odgovara energiji udarca malja od 5 tona koji slobodno padne s visine od 100 metara.

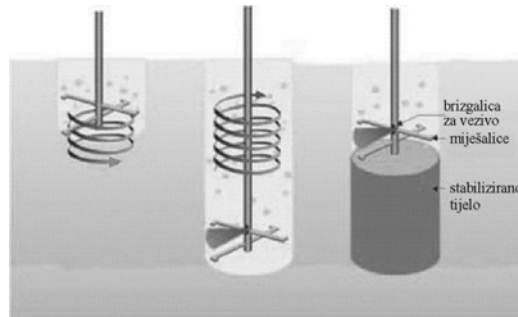


Slika 11.30 Učinak miniranja na površini (<http://www.polbud-pomorze.pl>)

Osim s površine, zbijanje je moguće provoditi i u dubini, u bušotini. Pažljivo odabranom količinom eksploziva mogu se postići različiti učinci zbijanja, koji odgovaraju konkretnoj lokaciji, vrsti tla i zahtjevima buduće građevine koja će na lokaciji biti temeljena.

#### 11.2.2.2 Stabilizacija dubljih slojeva tla vezivima

Današnja tehnologija omogućuje dodavanje veziva i miješanje s podtemeljnim tlom u dubokim slojevima. Na slici je prikazan jedan od načina izvedbe ovakvog poboljšanja tla. Pribor se vrti i razrahljuje tlo do potrebne dubine. Zatim se kroz središnju cijev pod pritiskom ubacuje vezno sredstvo, pribor ubrzano rotira i miješa tlo i vezivo, a istovremeno se pribor programirano podiže.



Slika 11.31 Shema miješanja tla i veziva u dubini (WEB Keller)

Kao dodaci koriste se: cement, leteći pepeo, šljaka iz visokih peći i termoelektrana, vapno, razni drugi dodaci kao i međusobne kombinacije navedenih tvari, (Hayward Baker, 2004.). Postoji suhi i mokri postupak. Fotografija ovog pribora dana je na slici 11.32.



Slika 11.32 Pribor za dubinsko miješanje sustava Keller

Mješavinom vapna i cementa u različitim omjerima moguće je prilagoditi vezivo određenoj vrsti tla. O omjeru vapna, cementa i tla ovisi čvrstoća stabilizirane mase, pa se tako može dobiti poboljšanje čvrstoće podtemelnog tla u širokom rasponu.

Učinak se može provjeriti nekom od metoda penetracije.

### 11.2.2.3 Projektirano vrijeme slijeganja i ubrzani proces konsolidacije

Konsolidacija je pojava slijeganja tla u vremenu. Nastaje u slabo propusnim, koherentnim tlima s malim vrijednostima koeficijenta propusnosti,  $k$ . Pojava je naročito neugodna kada na ovakvom tlu leže nasipi velikih površina, koje nije moguće točkasto temeljiti u dublje, bolje slojeve tla.

Na raspolaganju stoji nekoliko mogućnosti savladavanja ovakvih poteškoća

#### **Predopterećenje**

Kada graditeljima na raspolaganju stoji dovoljno vremena, može se koristiti postupak predopterećenja. On se sastoji u tome da se na površinubudućeg nasipa nanese teret veći od onoga koji će na tom prostoru izazvati budući nasip.

Predopterećenje  $q_1$  izazvati će ukupno slijeganje  $s_1$ , u nekom vremenu  $t$ . Nasip, koji će na tlo predati teret  $q_2$ , znatno manji od predopterećenja  $q_1$  ( $q_2 \ll q_1$ ), izazvao bi proporcionalno manje slijeganje  $s_2 < s_1$ . Kako je konsolidacijsko slijeganje većim dijelom nepovratno, to se trajanje predopterećenja može programirati tako, da izazove odgovarajući, odabrani postotak slijeganja (konsolidacije  $U\%$ ), koje bi izazvao nasip, a nakon kojeg su slijeganja dovoljno mala da ne mogu više imati štetan utjecaj na stabilnost i uporabivost nasipa.

Kada se predviđeno slijeganje postigne, predopterećenje se zamjenjuje projektiranim nasipom. Ovaj je postupak moguće primijeniti na površinama, za koje se unaprijed zna da će kroz neko vrijeme postati podloga nasipu s unaprijed približno određenim opterećenjem.

Postupak se često koristi za slijeganje većih površina stišljivog malo propusnog tla (mulj) ispod budućih platoa koji nastaju nasipanjem (naročito refuliranjem). Tada se može izvesti nasipe dvostruko i više veće visine od projektiranih. Kada se postigne zadovoljavajući stupanj konsolidacijskog slijeganja, nasipi se skidaju na projektiranu kotu, a slijeganje je ili završeno ili preostaje vrlo mali postotak koji ne šteti budućoj namjeni platoa. Uobičajene visine nasipa za predopterećenje su 4-6 metara, a uobičajeno izazovu slijeganje od 0,3 do 1,0 metra.

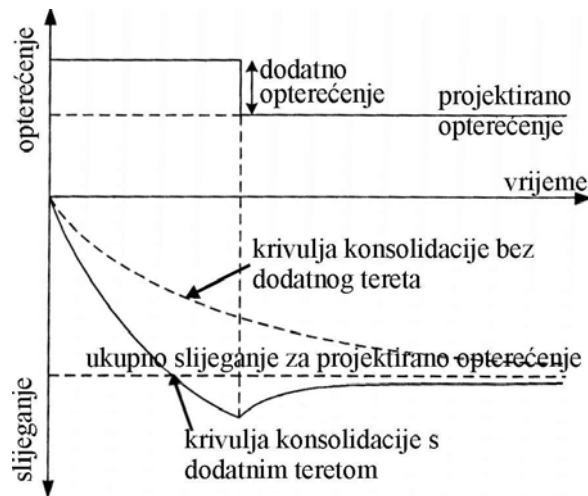
Ukupno slijeganje je:

$$s = \int_0^z \frac{\Delta\sigma}{M_k} dz \quad (11.3)$$

Kako je vrijednost dodatnog, efektinog naprezanja  $\Delta\sigma_1$ , veća za veći dodirni pritisak  $q_1$ , to će predopterećenje izazvati određeno konsolidacijsko slijeganje, u

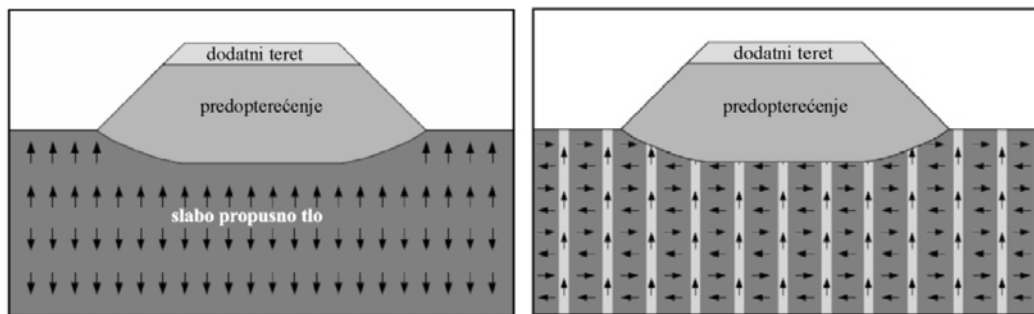


vremenu, dovoljno veliko da bude jednako barem 80 – 90% ukupnog slijeganja pod korisnim teretom. Na slici 11.33 prikazan je dijagram slijeganja s učinkom predopterećenja.



Slika 11.33 Konsolidacijsko slijeganje ubrzano dodatnim opterećenjem (Stapelfeldt, 2006.)

Postupak se može ubrzati izvedbom uspravnih drenova u malo propusnom tlu ispod predopterećenja, što je prikazano na slici 11.34.



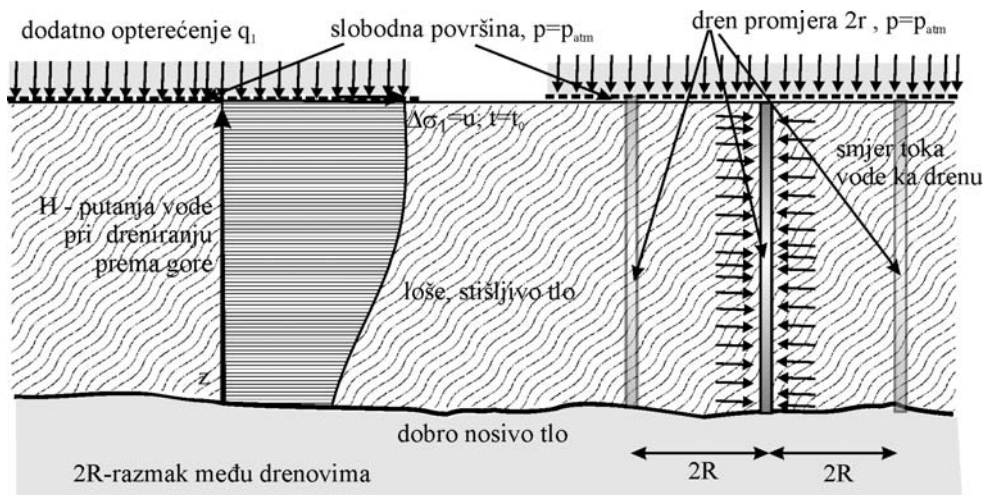
Slika 11.34 Učinak predopterećenja i uspravnih drenova s označenim smjerom kretanja čestica vode (Stapelfeldt, 2006.)

### Uspravna drenaža – radijalna konsolidacija

Prema teoriji (Terzaghi, 1943.), vrijeme,  $t$ , potrebno da se odvijee određeni postotak konsolidacije,  $U\%$ , ovisi između ostalog o kvadratu puta koji je potreban da prijeđe čestica vode od mjesta najvišeg do mjesta najnižeg potencijala u promatranom sloju tla.

$$t = \frac{T * H^2}{c_v} \quad (11.4)$$

Bezdimenzionalni vremenski faktor  $T$  ovisi isključivo o prosječnom stupnju konsolidacije ( $T=f(U\%)$ ), a koeficijent konsolidacije  $c_v$  o svojstvima tla i gustoći vode ( $m_v, k, \gamma_w$ ). Te se dvije vrijednosti za određenu lokaciju i tlo ne mogu mijenjati. Ostaje jedino put vode,  $H$ , kao vrijednost pomoću koje se može regulirati vrijeme potrebno da se odvijer željeni stupanj konsolidacije. Za postizanje takvog učinka pokazali su se idealni uspravni drenovi. Odabirom njihovog međusobnog razmaka ( $2R$ ), odabire se najkraći put vode ( $H=R$ ), te se tako regulira vrijeme potrebno da se postigne željeni stupanj konsolidacije.

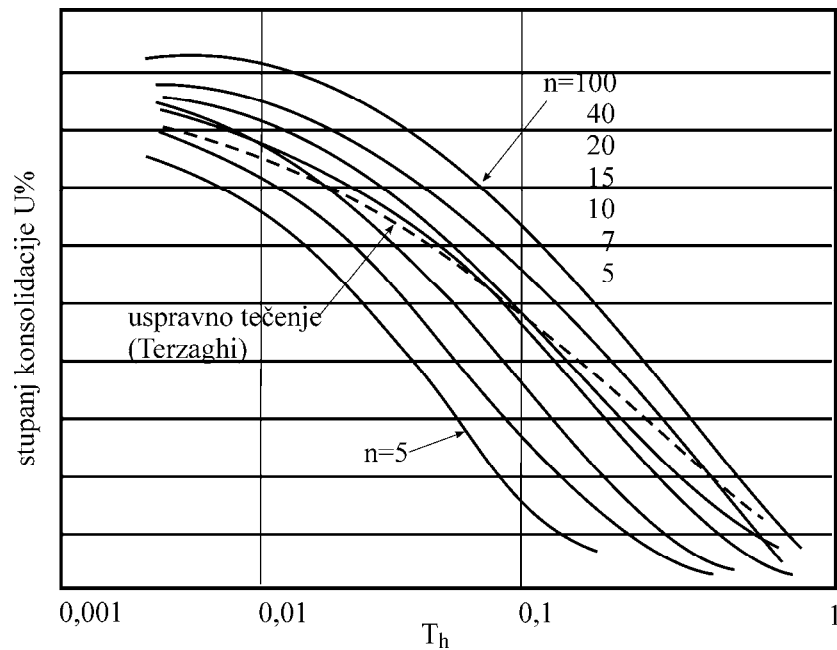


Slika 11.35 Skraćenje putanje čestica vode pri procesu konsolidacija primjenom uspravne drenaže

Ugradnjom drenova unosi se u tlo atmosferski ili u najboljem slučaju hidrostatski pritisak jednak visini stupca podzemne vode. Ovaj je pritisak manji od pornog pritiska uzrokovanog dodatnim naprezanjem. Zato voda počinje teći prema drenovima tj. prema najbližim točkama pritiska nižeg od okolnog u porama tla. Drenovi mogu biti ispunjeni dobro propusnim tлом, pijeskom i/ili šljunkom, koji se može ugraditi nekim od prethodno opisanih postupaka.

Većina tala pokazuje anizotropiju u pogledu veličine koeficijenta procjeđivanja,  $k$ , na način da je  $k_h > k_v$ . Ova činjenica pogoduje primjeni uspravnih drenova u skraćenju vremena primarne konsolidacije.

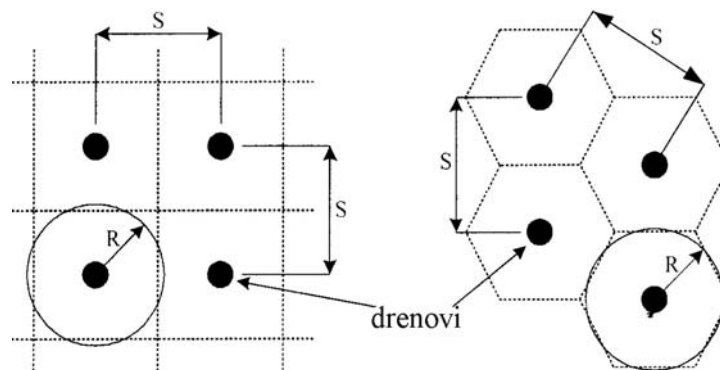
Na slici koja slijedi dana je familija krivulja odnosa prosječnog stupnja konsolidacije  $\bar{U}$  i vremenskog faktora  $T_h$  za različite vrijednosti,  $n = R_e / r_w$ , pri čemu je  $2R_e$  osni razmak drena a  $2r_w$  promjer drena.



Slika 11.36 Krivulje odnosa vremenskog faktora  $T_h$  i prosječnog stupnja konsolidacije  $\bar{U}$ , za različite vrijednosti koeficijenta  $n$  pri radijalnoj konsolidaciji

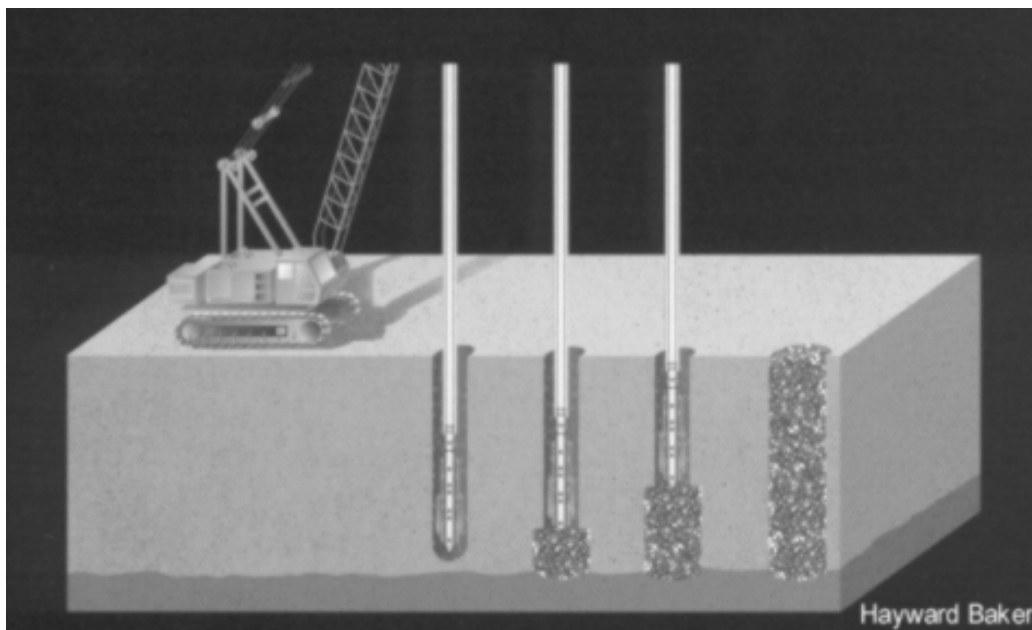
Ove metode poboljšanja tla nisu učinkovite za organska tla i tresete, u kojima se slijeganje očituje kao sekundarno.

Uspravni se drenovi u pravilu postavljaju u pravokutnim ili šesterokutnim rasterima kako je pokazano na slici 11.37.



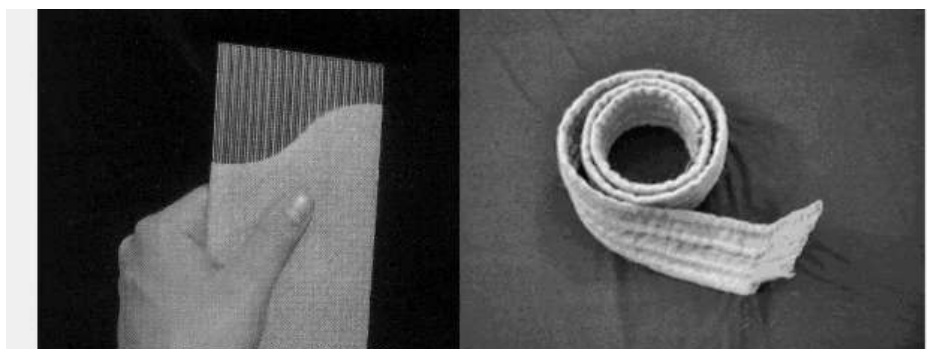
Slika 11.37 Razmak drenova

Na slici 11.38 shematski je prikazana ugradnja šljunčanih (ili pješčanih) drenova vibriranjem. Potrebno je prilagoditi granulometrijski sastav da ne dođe do miješanja materijala – poštovati filtarsko pravilo.



Slika 11.38 Ugradnja šljunčanih drenova (Hayward Baker, 2004.)

Uspravni drenovi mogu se izvoditi kao predgotovljeni drenovi. Najčešće se izvode kao savitljivi, od predgotovljenih drenažnih traka od plastične mase, a danas već i od prirodnih tvari. Trake su prikazane na slici 11.39.

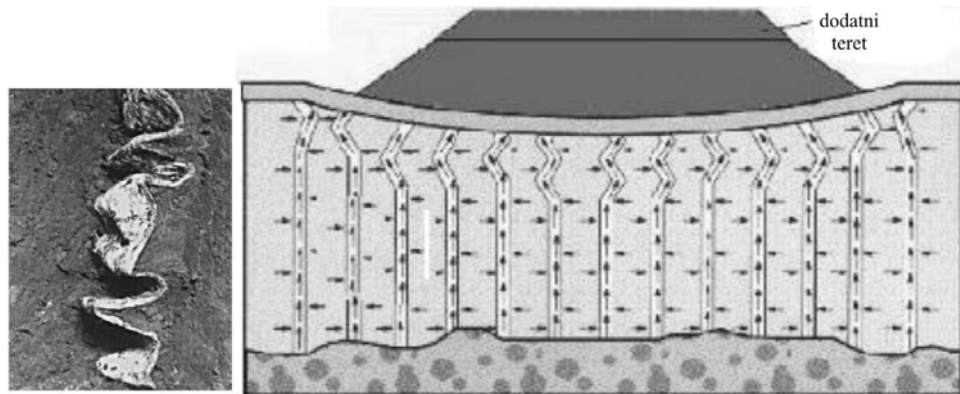


Slika 11.39 Savitljivi, predgotovljeni dren: lijevo plastični, desno prirodna vlakna

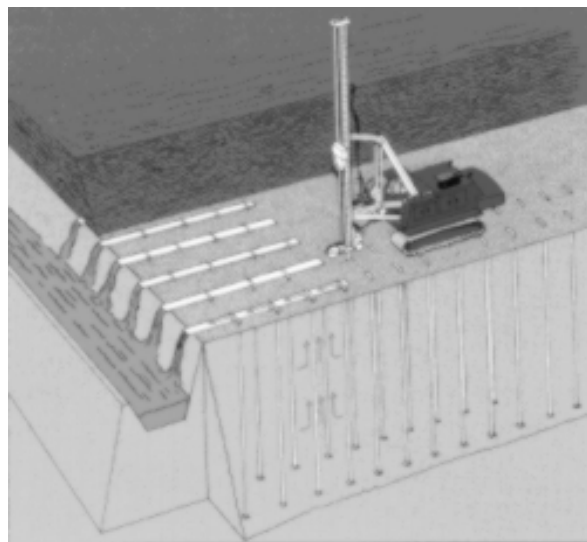
Plastični se dren sastoji od ovojnice od geotekstila, koji ima ulogu filtra, i nešto čvršće rebraste trake koja omogućuje tok vode kroz kanale između rebara. Široke su oko 10 cm, a presjek im je oko 3 cm. Trake od prirodnih vlakana su također dvodijelne, s filtrom kao ovojnicom i propusnom jezgrom. Danas postoji niz proizvođača ovih traka. Prednost savitljivih (mekih) drenova je u tome što se oni slobodno gužvaju u gornjem dijelu nasipa u koji su ugrađeni, zajedno sa tlom koje se sliježe.

Najbolji učinak postiže se kada se ugrade uspravni drenovi, a na površini izvrši predopterećenje. Najčešće se predopterećenje postavlja na sloj geotekstila. Geotekstil omogućava dreniranje podloge i sprječava prodiranje i utapanje nasipa u temeljno tlo (Stapelfeldt, 2006.).

Na slici 11.40 prikazan je presjek a na slici 11.41 shema jedne ovakve drenaže.



Slika 11.40 Savitljivi (meki) drenovi, lijevo detalj, desno shema gužvanja u nasipu



Slika 11.41 Shema uspravne drenaže s predopterećenjem i način rada

### Izvedba šljunčanih stupova

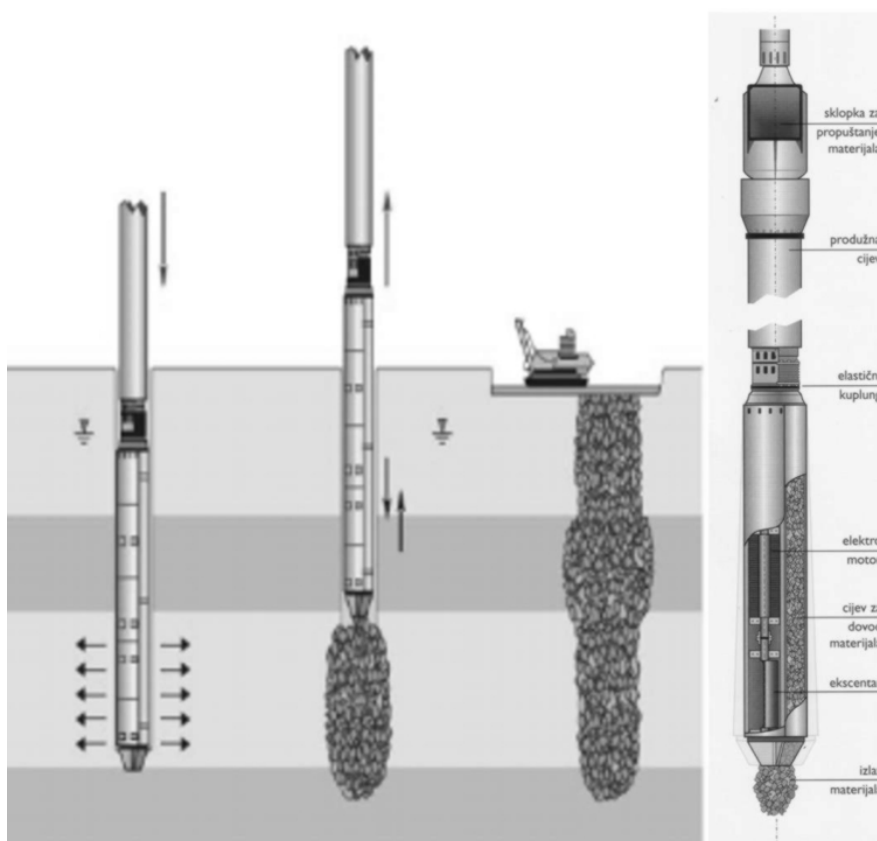
Ugradnja šljunčanih stupova je odavno poznati način poboljšanja podtemeljnog tla. Izvodili su se nekom od tehnika za izvođenje pilota, s tim da je umjesto betona u tlo ugrađen šljunak. Većinom su to tehnologije koje znatno zbijaju okolno tlo, te su šljunčani stupovi imali dvostruki učinak; zbijanja i dreniranja.

Nove tehnologije znatno su proširile mogućnosti izvedbe šljunčanih stupova kao i njihovu učinkovitost. Danas se izvode uz vibriranje, što bitno povećava poboljšanje podtemelnog tla u smislu dodatnog zbijanja. Ovako zbijenije tlo ima povećanu čvrstoću na smicanje, čime je povećana nosivost i smanjeno slijeganje. ubrzano je dreniranje (tečenje ka drenovima), a što smanjuje opasnost od likvefakcije.

Za drenirajući učinak je potrebno razmak šljunčanih stupova projektirati tako da zadovolje traženi zahtjev skraćenja vremena konsolidacijskog slijeganja u smislu radijalne konsolidacije.

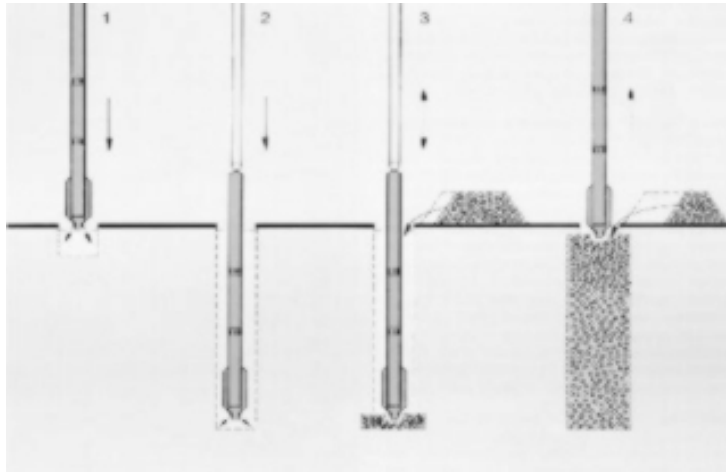
Razvoj strojeva za poboljšanje svojstava rahlog i mekog tla u dubini, omogućio je razne načine i mogućnosti ugradnje šljunčanih stupova. Temeljno je da se ugradnja vrši usporedo s dubinskim vibriranjem te se na taj način zbija okolno tlo, ali se zbija i ugrađeni kameni agregat te postižu značajni učinci.

Na slici 11.42 prikazana je izvedbe šljunčanog stupa pomoću vibratora (Keller)



Slika 11.42 Shema izvedbe šljunčanog stupa uz vibriranje s punjenjem odozdo i poprečni presjek vibratora

Na slici 11.43 prikazana je izvedba šljunčanog stupa s punjenjem odozgo.



Slika 11.43 Šljunčani stup punjen odozgo

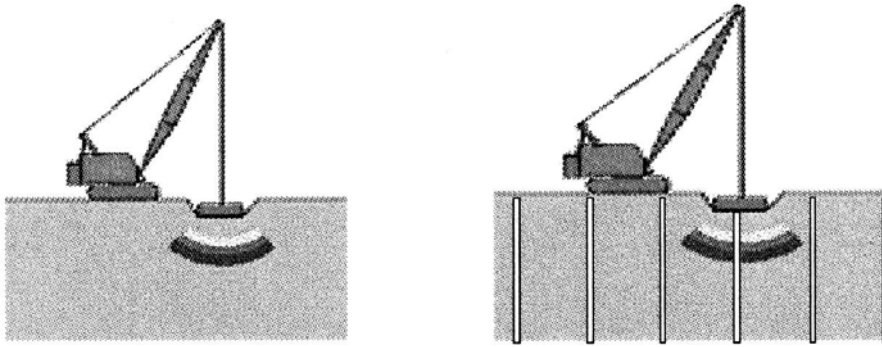
Na slici 11.46 prikazan je niz gotovih šljunčanih stupova na površini tla. Vidljiv je niz stupova na relativno malom razmaku, u traci sa četiri reda stupova. Ovim je poboljšano tlo za izgradnju nasipa za još jedan kolosjek brze željeznice.



Slika 11.44 Šljunčani stupovi na površini tla

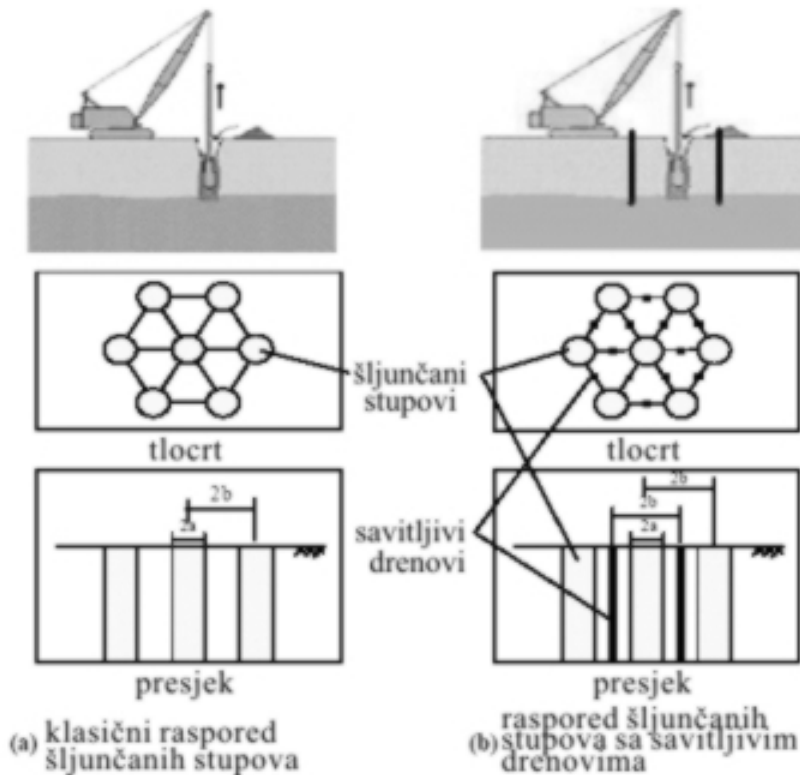
Najnovija istraživanja se kreću u području primjene **više metoda poboljšanja podzemnog tla istovremeno.**

Razmatra se učinkovitost vibriranih šljunčanih stupova i tehnike dinamičke stabilizacije uz dodatak savitljivih drenova. Svrha zbijanja tla je i smanjenje mogućnosti pojave likvefakcije u zasićenim pijescima i prahovima niske plastičnosti.



Slika 11.45 Dinamička stabilizacija s površine bez i sa mekim drenovima

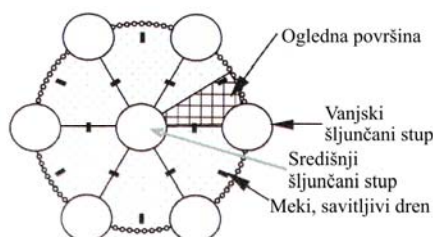
Rezultati pokazuju bitno povećanje relativne zbijenosti, kao mjere povećanja otpora likvefakciji, kada se koriste meki drenovi. Oni omogućuju disipaciju povećanog porednog tlaka koji nastaje tijekom postupka vibriranja. Na taj je način omogućen veći porast gustoće tla. Na slici 11.46 prikazana je kombinacija šljunčanih stupova i savitljivih drenova malog promjera.



Slika 11.46 Zbijanje uvibriranim šljunčanim stupovima bez i s dodatkom savitljivih drenova



Na slici 11.47 prikazano je ogledno polje za ispitivanje učinkovitosti metode sa slike 11.46.



Slika 11.47 Ogledni tlocrtni raspored šljunčanih stupova i mekih drenova

Učinkovitost se provjerava mjerenjem promjene relativne gustoće tla  $D_r$  ( $I_d$ ) nekom od terenskih metoda penetracije ili gofizičkim mjerenjima gustoće tla po dubini.

Rezultati ovih istraživanja bi trebale biti upute za projektiranje šljunčanih stupova i višestrukih tehnika dinamičkog zbijanja tla u prašinstim i rahlim, pjeskovitim tlima.

### 11.2.3 Osiguranje odvodnje

Svako je radilište potrebno osigurati od vanjske i vlastite površinske, oborinske i podzemne vode. U tu svrhu potrebno je izraditi sustav obrane od vanjskih voda koji sprječava dotok vanjske vode na gradilište ili pozajmište.

Podloga na koju se izvodi nasip kao i slojevi nasipa moraju zadovoljiti uvjete optimalne vlažnosti prilikom zbijanja. Potrebno je da se zbijena površina svakog ugrađenog sloja naknadno ne vlaži. Stoga je površine izložene kiši, nakon završetka valjnja ili kada prijeti kiša, potrebno zaravnati i izvesti u blagom radnom nagibu od 3-5%, prema sustavu odvodnje ili rubnim kosinama, ako voda neće na kosini nanijeti štetu uslijed erozije ili kada će se kosina naknadno urediti. Zagladiti je potrebno slojeve koji se valjaju ježevima i valjcima sa stopama, koje u površini ostavljaju udubine.

Razina podzemne vode bitno utječe na mogućnost zbijanja tla. Ispod razine podzemne vode nemoguće je izvršiti zbijanje tla. Stoga je potrebno kod visoke razine podzemne vode izvršiti dreniranje poteza koji se želi zbiti. Razinu podzemne vode potrebno je držati sniženom sve dok se ne izvede nasip u punoj visini, koji tada ima ulogu kontra tereta i ne dozvoljava povećanje poroziteta. Ovo jednako tako vrijedi pri izradi tamponske podloge ispod budućih temelja. Sniženje je potrebno održavati do izgradnje barem jedne etaže koja vrši opterećenje na uređenu podlogu.

Kada se, neposredno iznad razine podzemne vode, treba izvršiti nasipanje i zbijanje zamjenskog ili tamponskog sloja (na pr. kod zamjene tla), potrebno je primijeniti pravilo obrnutog filtra i granulometrijsku krivulju zamjenskog sloja prilagoditi granulometriji temeljnog tla prema filtarskom pravilu. Umjesto obrnutog filtra može koristiti geotekstil kao sloj za odvajanje. Ponekad je potrebno koristiti i geotekstili i princip obrnutog filtra da bi se postigla tražena kakvoća ugrađenog tla. Također se može koristiti geomreža, kada se nasipa sloj kamena kao podloga budućem nasipu.

### 11.3 OTVARANJE POZAJMIŠTA

Pozajmište je prostor s kojeg se uzima tlo za ugradnju u nasip. Prethodno se istražnim radovima utvrđuje kakvoća i količina raspoloživog tla. Iskop pozajmišta spada u široki iskop i izvodi se strojno. Kada se otvara kamenolom, iskop se vrši miniranjem uz pažljivi proračun s obzirom na traženu fragmentaciju.

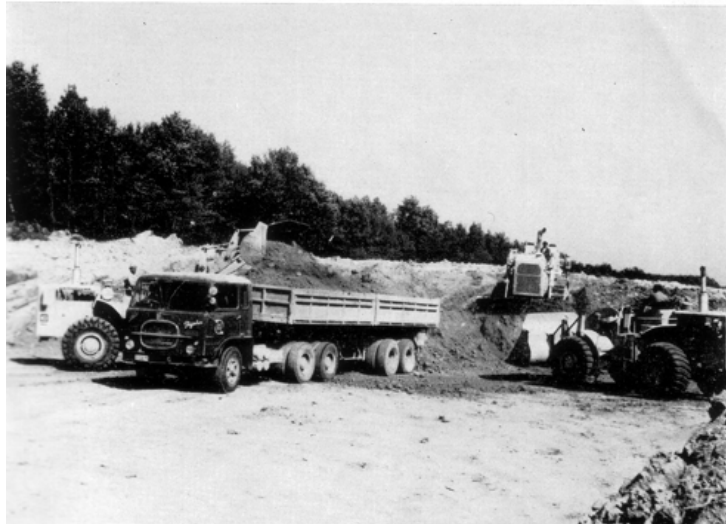
Pri otvaranju pozajmišta najprije se skida humus do dubine za koju se može utvrditi da više ne sadrži štetne količine organskih tvari.

Kako će se tlo koristiti za nasip, potrebno je kod tala kod kojih to utječe na zbijenost pri ugradnji, stalno provjeravati vlažnost i uspoređivati s optimalnom. Površini pozajmišta potrebno je osigurati dobru odvodnju. Iskop i odvoz treba osigurati tako da se tlo što manje remeti prolazom vozila po površini pozajmišta.

Prije početka iskorištavanja pozajmišta potrebno je snimiti teren i izraditi prijedlog tehnologije iskopa. Prijedlog tehnologije mora sadržavati:

- situaciju s poprečnim profilima predviđenog iskopa,
- način iskopa u uspravnom i vodoravnom smjeru,
- vrstu strojeva i vozila,
- mjesta odlaganja humusa i ostalih neupotrebljivih gradiva,
- prijedlog za uređenje pozajmišta nakon završene uporabe,
- studiju utjecaja na okoliš.

Kapacitet iskopa u pozajmištu mora biti usklađen s mogućnostima prijevoza i ugradnje, posebno ako je tlo osjetljivo na atmosferilije. Odvodnja pozajmišta, kao i nagibi pokosa u upotrebi, moraju biti u skladu s danim uvjetima za iskope u zemljanim tlima (kategorije C prema OTU).



Slika 11.48 Iskop tla na pozajmištu za autocesti Zagreb-Karlovac (Celmić 1974.)

Zapremina iskopa u pozajmištu računa se na osnovi količine nasipa u zbijenom stanju, izrađenog od gradiva iz pozajmišta, prema načelu da je jedan kubični metar nabijenog nasipa jednak jednom kubičnom metru iskopa u pozajmištu. Rastresitost se uzima u obzir samo ako se posebno obračunava prijevoz.

U skladu s načelima očuvanja okoliša, pozajmište bi po završetku iskorištavanja trebalo odgovarajuće urediti.

## **11.4 IZVEDBA NASIPA**

### **11.4.1 Općenito**

Gradiva za nasip propisuju se projektom. OTU predviđa izradu nasipa od:

- zemljanih materijala;
- miješanih materijala;
- kamenitih materijala.

Pod izradom nasipa podrazumijeva se

- dovoz gradiva;
- nasipanje;
- razastiranje;
- osiguranje optimalne vlažnosti vlaženjem ili sušenjem za koherentna tla;
- zbijanje prema zahtjevima iz projekta.

Izrada nasipa se može podijeliti na dva načina:

- 1) ovisno o tlu i mjestu na koje se nasipa i
- 2) ovisno o načinu na koji se nasipa.

ad 1) Nasipa se na dobro nosivom tlu, na loše nosivom tlu i uz objekte.

Nasipavanje, ovisno o tlu na koje se nasipa, obrađeno je u poglavlju o uređenju podloge. Nasipavanje uz objekte će se prikazati u tekstu koji slijedi.

ad 2) Postoje razni načini nasipavanja. Na raspolaganju su dvije mogućnosti izvedbe nasipa: nasipavanje bez zbijanja i nasipanje uz kontrolirano zbijanje. Koji će način biti odabran ovisi o namjeni nasipa i stvarnim mogućnostima na terenu.

Neke nasipe, kao pri nasipanju u vodi, nije moguće kontrolirano ugrađivati, a potrebno ih je izvesti.

#### **11.4.2 Nasipavanje bez zbijanja**

Postoji nekoliko mogućnosti nasipavanja bez zbijanja. Kameni nasipi nisu podložni naknadnom slijeganju, pa se odabirom ispravne granulometrijske krivulje mogu dobiti tražena svojstva nasipa i bez zbijanja. Ma kako ispravan bio odabrani granulometrijski sastav ovi nasipi uvijek pokazuju izvjesna slijeganja.

##### **11.4.2.1 Nasipavanje s čela**

Prilikom ovog nasipavanja nema mogućnosti provjere kakvoće izvedenog nasipa. Zbijanje se vrši isključivo prolazom vozila koji dovoze gradivo za nasipavanje. Pokos nasipa zauzima kut prirodnog pokosa gradiva kojim se vrši nasipavanje. Nasipavanjem s čela izvode se nasipi kojih zbijenost nije od velikog značaja, nasipi u vodi, kameni nasipi za oblikovanje zagata i slično. Prilikom ovog nasipavanja uslijed djelovanja gravitacije, krupniji komadi odlaze dalje od sitnijih te se uvijek nalaze u podnožju nasipa. Tako nastaje segregacija koju nije moguće spriječiti

##### **11.4.2.2 Nasipavanje kamenometa**

Nasipava se u tekućoj i/ili dubokoj vodi, gdje ne postoje druge mogućnosti izvedbe nasipa. Nasipa se s namjenski građenih plovila s dnom koje se otvara. Služi kao podloga izradi obalnih građevina od plivajućih sanduka, za gradnju lukobrana i valobrana.

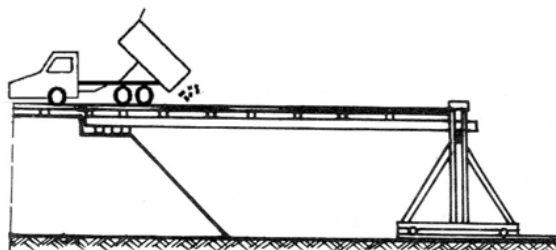
##### **11.4.2.3 Refuliranje**

Nasipavanje pijeska usisavanjem s vodom i odlaganje na određenu površinu na kojoj se voda ocijedi a pijesak stvara novo osvojenu površinu. Ovako nastali nasipi vrlo su slabo zbijeni. Ovisno o granulometrijskom sastavu mogu biti izrazito podložni likvefakciji. Refuliranje se može izvoditi tako da se pijesak i voda na jednoj strani usisavaju a na drugoj odlažu u za to predviđeni prostor ili da se usisani pijesak odlaže

u brodsko spremište, otegli na mjesto ugradnje i tamo istovari bilo otvaranjem dna spremišta, bilo ponovnim usisavanjem i izbacivanjem na mjesto odlaganja.

#### 11.4.2.4 Nasipavanje sa skele

Nasipanje bez zbijanja, moguće je izvoditi sa skele. Ovo se može koristiti u pri nasipanju u vodu. Skela se može izvesti na pilotima-stupovima, zabijenim u tlo u vodi.



Slika 11.49 nasipavanje sa skele

### 11.4.3 Nasipavanje sa zbijanjem

Većinu nasipa ugrađuje se kontrolirano, u slojevima, uz zbijanje. Svaki sloj se provjerava prije i nakon ugradnje (zbijanja).

Slojevi su određene debljine, a stvarna najveća debljina razgrnutog sloja nasipa koja će se zbijati, određuje se na *pokusnoj dionici*, ako ne postoje provjerena iskustva o debljinama slojeva u kojima se ta tla mogu pravilno zbiti određenim sredstvima za zbijanje.

#### 11.4.3.1 Opći postupci pri izvođenju nasipa

##### Nasipanje i razastiranje

Nakon dopreme tla na mjesto izvedbe uslojeno ugrađenog nasipa, slijedi razastiranje. Postupci razastiranja opisani su u poglavlju 10.3.

Nasipa se, razastire i zbija sloj u cijeloj širini, a po mogućnosti i u cijeloj dužini.

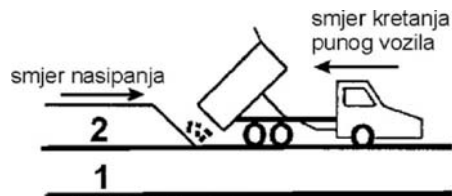
Kada se nasipa tlo za nasutu branu, potrebo je nasipavati i zbijati sloj na cijeloj površini.

Kada se nasipava za izrazito duge nasipe potrebno je postići neprekinutost rada.

Nasipavati se može u vodoravnim i u nagnutim uzdužnim slojevima, ali uvijek u cijeloj širini.

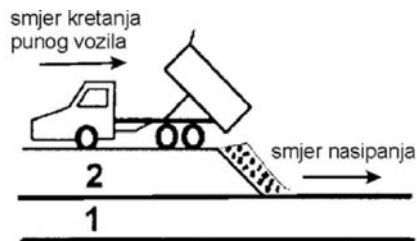
Svaki sloj nasipnog tla mora se razastrti vodoravno u uzdužnom smjeru ili nagibu koji je najviše jednak projektiranom uzdužnom nagibu nivelete. Od toga se može odstupiti jedino pri izradi silaznih rampi za dublje udoline, kada slojevi nasipa mogu biti i u većem nagibu. U poprečnom smjeru nasip mora uvijek imati minimalni poprečni pad u svim fazama izrade.

Nasipati se može u vodoravnim slojevima tako da se gradivo dovozi po gotovom zbijenom sloju;



Slika 11.50 Nasipavanje po gotovom sloju

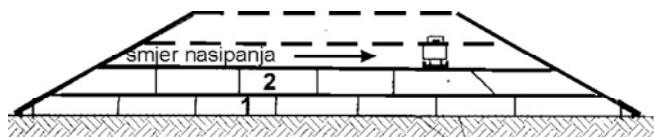
ili gradivo treba voziti po sloju koji se ugrađuje. Tada se svježe razastrti sloj prvo zbija pod kotačima vozila a tek nakon toga strojevima za zbijanje.



Slika 11.51 Navoženje po novom sloju

Optimalno je navoziti po već djelomično zbijenom nasipu, po mogućnosti uvijek po novom tragu, tako da se i navoženjem omogući određeno i jednolično zbijanje slojeva nasipa.

Prilikom nasipavanja, u poprečnom presjeku nasipa, vozila se kreću tako da pri svakom prolazu mijenjaju položaj.

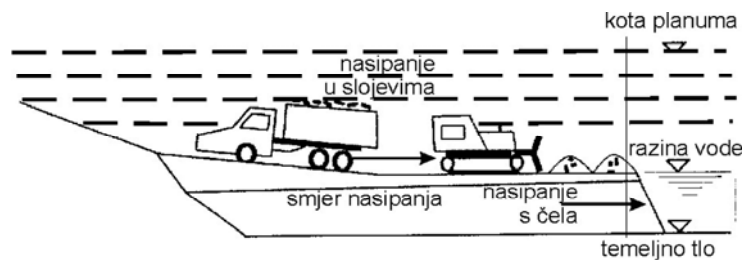


Slika 11.52 Redoslijed nasipanja i razastiranja tla u poprečnom presjeku nasipa



Slika 11.53 Angldozer za razastiranje i guranje tla istovarenog na hrpe

Kada je potrebno nasipati teren na kojem je voda iznad površine, kombinira se nasipanje s čela dok se ne izađe iz vode i nasipanje u vodoravnim slojevima nakon što se izađe iz vode. Ako je moguće i/ili potrebno, može se podlogu urediti podvodnim zahvatima sličnim onima koji su prethodno opisani kao prethodni i pripremni radovi.

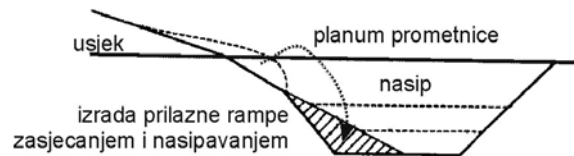


Slika 11.54 Nasipanje s čela u vodu do visine vodnog raza, a zatim u slojevima s kontroliranim zbijanjem

Za lošu podlogu, na maloj dubini, moguće je rješenje kao kod uređenja podloge geotekstilom sa ili bez zamjene sloja lošeg tla u podlozi.

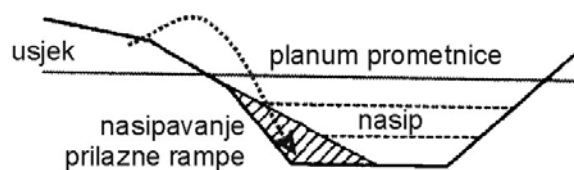
Na prijelazu iz usjeka u nasip potrebno je prvo izgraditi pristup vozilima. Moguće ga je izraditi na dva načina:

1) dodatnim zasijecanjem:



Slika 11.55 Prijelaz iz usjeka u nasip dodatnim zasijecanjem

2) prethodnim nasipanjem



Slika 11.56 Prijelaz iz usjeka u nasip prethodnim nasipanjem

### Optimaliziranje vlažnosti

Pokazano je da se zbijanjem nasipa može postići tražena suha gustoća kada on ima optimalnu vlažnost. Stoga je potrebno nakon razastiranja provjeriti vlažnost razastrtog tla i usporediti sa zahtjevom glede vlažnosti iz Proctorovog pokusa.

Kada je vlažnost manja od optimalne odnosno dozvoljene u odnosu na optimalnu, potrebno je izvršiti dodatno vlaženje. Ovo se naročito može dogoditi kada je zrak izrazito suh, te se uslijed prijevoza i razastiranja tlo brzo suši. Vlaženje je potrebno izvršiti polijevanjem određene, proračunom utvrđene količine vode (dodati potreban postotak u odnosu na razastrtu količinu tla), tlo razrijati da se vlaga jednoliko rasporedi i zatim izvršiti zbijanje.

Kada je razastrto tlo pre vlažno, a vrijeme dozvoljava, potrebno ga je ostaviti razastrtog neko vrijeme, možda i izmiješati i ponovo razgrnuti i sušiti do optimalne vlažnosti i zatim zbijati.

Kada se očekuje kiša, a ugrađuju se tla osjetljiva na promjenu vlažnosti, potrebno je površinu zagladiti glatkim valjkom, u blagom padu, tako da se spriječi zadržavanje vode na površini nasipa. Tek kada se površina prosušila treba ponovo provjeriti vlažnost i nastaviti s radom.

### Zbijanje

Svaki nasuti sloj se mora zbijati u punoj širini odgovarajućim sredstvima za zbijanje. Zbijati treba od nižega ruba prema višemu.

S nasipanjem novog sloja može se otpočeti tek kada je prethodni sloj dovoljno zbijen i kada je tražena zbijenost dokazana ispitivanjem.

Zbijanje, ovisno o vrsti tla koje se zbija, vrši se glatkim valjcima, vibro valjcima, ježevima, valjcima sa stopama, valjcima s više gumenih kotača.

Visina svakog pojedinog razgrnutog sloja mora biti u skladu s vrstom gradiva i dubinskim učinkom strojeva za zbijanje



Debljina nasipnog sloja, mogućnosti zbijanja pojedinih vrsta gradiva pojedinim vrstama strojeva određuje se na pokusnoj dionici (PROBNO POLJE) .

Tabela 11.4 Uobičajeni kriteriji zbijenosti nasipa (Szavits)

vrsta tla		krupnozrna	sitnozrna
Stupanj zbijenosti Sz [%] prema modificiranom Proctorovom pokusu	granično moguće zbijanje	98% ( $D_r \sim 90\%$ )	96%-98%
	granično moguće zbijanje bez poteškoća	95%	95%
	nasipanje suho bez zbijanja	88%-91%	—
	nasipanje vlažno bez zbijanja	80%-85%	—
	zadovoljava većinu nasipa (osim brana koje zahtijevaju veće vrijednosti)	90%-92%	93%
	za sprječavanje likvefakcije	95% ( $D_r \sim 70\%-75\%$ )	—
dopustivi raspon vlažnosti oko optimalne		—	$\pm 2\%$ ( $< \pm 1,5\%$ teško dostupno)
kontrola zbijenosti		suha gustoća	suha gustoća
utjecaj vlažnosti na mogućnost zbijanja		mali	veliki
utjecaj strukture zbijenog tla na čvrstoću, krutost i vodopropusnost		mali	veliki
strojno zbijanje		glatki vibro-valjci	valjci sa stopama i ježevi
ručno zbijanje		vibro-ploče	nabijači
tipične visine sloja u rahlom stanju (mora se odrediti probnom dionicom)	uobičajeno	15-30 cm	15-20 cm
	jako zbijanje teškim strojevima	do 60 cm, do 150 cm za kamen	do 30 cm
	srednje jako zbijanje		
	ručno zbijanje		
	dozvoljeni najveći promjer zrna	1/3 visine sloja i < od 40 cm	

Pokusna dionica može se izvoditi na mjestu budućeg nasipa i, ako je zadovoljavajuće zbijenosti, uklopiti u njega. Može se izvoditi i van budućeg nasipa.



Slika 11.57 Valjak sa širokim stopana

Novi sloj se nanosi na uređeno temeljno tlo ili na već izrađeni sloj nasipa tek nakon što su tekuća ispitivanja za temeljno tlo ili sloj izrađenog nasipa dala zadovoljavajuće rezultate. Po završetku nasipa dotjeruju se i planiraju njegovi pokosi.

#### **11.4.4 Izvedba pokusnih dionica**

Tehnički uvjeti za ugradbu tla u nasipe propisuju se projektom, na temelju rezultata laboratorijskih istraživanja i iskustva dobivenih upotrebom raznih vrsta strojeva. U fazi projektiranja gotovo nikada nije poznat izvođač, a time ni mehanizacija kojom će se nasip izvoditi.



Slika 11.58 Glatki valjak

Iznimka je jedino kad Investitor organizaciji ustupa kompletan inženjering pa projektant poznaje vrstu i svojstva mehanizacije. No i u ovom slučaju mogu nastupiti izmjene, jer se može dogoditi da planirana mehanizacija bude angažirana na izvedbi drugog objekta. Kod ustupanja objekta na izgradnju licitacijom na temelju gotovog projekta, gotovo uvijek postoji velika razlika između propisane mehanizacije i mehanizacije kojom raspolaže Izvođač.



Slika 11.59 Teški vibrovaljak nove generacije (Christopheri dr.2006.)



Slika 11.60 Vibroploča, valjak s gumenim kotačima i glatki valjak

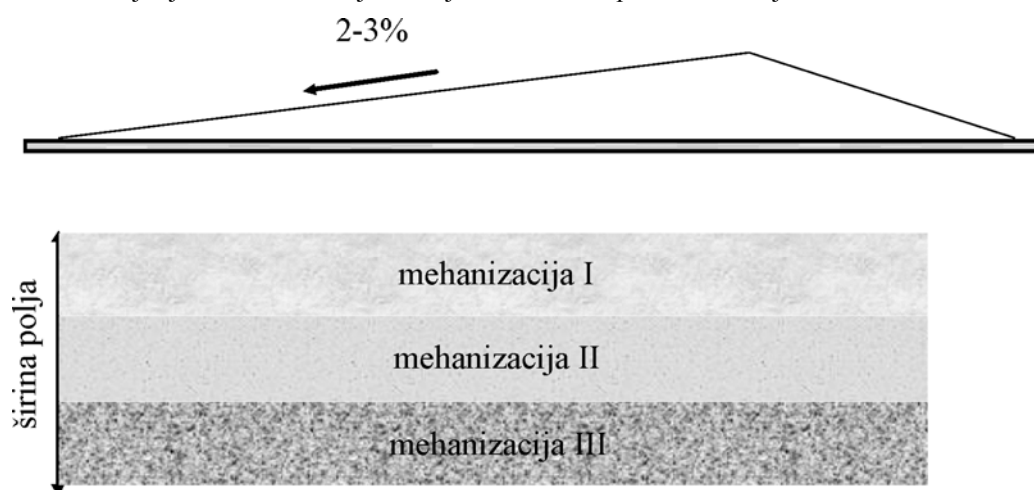
Pokusne dionice (probna polja) izvode se na pozajmištu ili na lokaciji samog objekta kako bi se smanjili troškovi za njihovu izvedbu. U svakom slučaju treba osigurati približno iste uvjete kakvi će biti kod izvedbe samog nasipa.

Ispitivanje se obavlja na pokusnoj dionici dužine 50 metara kako slijedi:

Naveze se sloj tla pogodne vlažnosti i debljine za koju se pretpostavlja da se može u cijelosti zbiti predviđenim sredstvima za zbijanje. Sloj se zbija raznim brojem prijelaza raznih strojeva za zbijanje. Nakon određenog broja prijelaza ispituje se zbijenost.

Zbijenost se ispituje na najmanje četiri mjesta od kojih najmanje na dva mjesta u donjoj polovici sloja. Na osnovi dobivenih rezultata odabire se pogodan stroj za zbijanje i način rada. Postignuti učinak zbijanja provjerava se praćenjem promjene postignute suhe gustoće, preko koje se provjerava stupanj zbijenosti prema Standardnom ili Modificiranom Proctoru (Sz) ili modul stišljivosti (Ms).

Izvedbom probnog polja, prema prikazanoj shemi, moguće je detaljno utvrditi učinke zbijanja za razne debljine sloja i za svaki tip mehanizacije.



Slika 11.61 Shema probnog polja, u presjeku , gore; tlocrt, dolje

Na probnom polju detaljno se bilježe podaci o vlažnosti i granicama plastičnosti koherentnog tla te granulometrijskom sastavu nekoherentnog tla.

Strojeve za zbijanje treba prilagoditi vrsti tla, kako je to prikazano na crtežu 11.62.

Na isti se način utvrđuju sredstvai način zbijanja tla stabiliziranog vezivima.

Tabela 11.5 Svojstva zbijanja nasipa prema OTU

svojstvo	<b>zemljana tla</b> (gline, prašine, glinoviti pijesci i slična tla osjetljiva na prisutnost vode)	<b>miješana tla</b> (glinoviti šljunci, zaglinjene kamene drobine, trošne stijene-škriljci, lapor, flišna tla i slično –manje osjetljivi na djelovanje vode)	<b>kameni nasipi</b> (građivo dobiveno miniranjem stijene, kamena drošina i šljunci)
visina sloja za zbijanje (cm)	30-50	30-60	50-100
strojevi za zbijanje	ježevi, glatki valjci na kotačima s gumama, vibro ploče	valjci	vibro valjci, vibro nabijači, kompaktori
granulacija, $C_u = D_{60}/D_{10}$	veći od 9	veći od 9	veći od 4
najveće zrno	-	-	½ debljine sloja, ne veće od 40 cm
sadržaj organskih tvari	do 6 %	-	-
najveća optimalna vlažnost (po standardnom Proctorovom pokusu)	manja od 25 %	-	-
najmanja suha gustoća	nasipi do 3 m: veća od 1,5 Mg/m <sup>3</sup> nasipi viši od 3 m: veća od 1,55 Mg/m <sup>3</sup>	-	-
najviša granica tečenja	65 %	-	-
najviši indeks plastičnosti	30 %	-	-
najveće bubrenje pod vodom nakon 4 dana	4%	-	-
raspon vlažnosti oko optimalne (po standardnom Proctorovom pokusu)	±2 %	-	-
najmanji stupanj zbijenosti (Sr) u odnosu na standardni Proctorov pokus ili slijedeće	donji dio nasipa:95 % gornjih 2 m nasipa: 100 %	donji dio nasipa:95 % gornjih 2 m nasipa:100 %	donji dio nasipa:95 % gornjih 2 m nasipa:100 %
ili najmanji edometarski modul određen probnom pločom promjera 30 cm	donji dio nasipa: 20 MPa gornjih 2 m nasipa: 25 MPa	donji dio nasipa: 35 MPa gornjih 2 m nasipa: 40 MPa	donji dio nasipa: 40 MPa gornjih 2 m nasipa: 40 MPa
kontrolna ispitivanja			



Slika 11.62 Prilagodba strojeva za zbijanje vrsti tla (Coduto 2010.)

#### 11.4.5 Ugradnja sitnozrnog tla u nasipe

Pretpostavka za ugradnju sitnozrnog tla u nasipa je, da su izvršena sva potrebna ispitivanja tla iz iskopa i/ili pozajmišta te da je utvrđeno:

- da ima dovoljno gradiva potrebnog za ugradnju (iz iskopa na trasi i predviđenih pozajmišta);
- da su svojstva gradiva zadovoljavajuća prema traženim tehničkim uvjetima.

Tehničkim uvjetima predviđena **svojstva** za ugradnju u nasipe moraju se stalno provjeravati.

Prilikom svake promjene lokacije bilo trase ili pozajmišta s kojeg se uzima gradivo za nasip, potrebno je izvršiti sva osnovna ispitivanja (razredbena, vlažnost, sadržaj organskih tvari i Proctor).

Pod sitnozrnim tlima razumijevaju se gline niske do visoke plastičnosti, prašine, glinoviti pijesci i slična tla, osjetljiva na prisutnost vode (dio tala obuhvaćenih iskopnom kategorijom "C").

Ta se tla zbijaju ježevima, glatkim valjcima na kotačima s gumama i vibropločama.

Nasip se radi u slojevima debljine od 30-50 cm. Da bi se postigla tražena zbijenost novog sloja, temeljno tlo, kao i/ili prethodni sloj mora zadovoljiti određenu zbijenost.

Pri određivanju pogodnosti zemljanih tala za izradu nasipa, treba prethodno ispitati sva tla iz usjeka i pozajmišta, kao i utvrditi svaku njihovu promjenu. Treba ispitati najmanje dva uzorka za svaku vrstu tla.

Gradivo za izradu nasipa mora zadovoljavati određene uvjete.

Granulacija tla treba biti takva da koeficijent nejednolikosti zadovoljava:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 9 \quad (11.5)$$

Gradivo za nasip ne smije sadržavati više od 6% organskih primjesa. Ako sadrži od 6% do 10% organskih tvari, njegovu pogodnost za ugradnju treba dokazati detaljnijim laboratorijskim ispitivanjima. (Uvjet se odnosi na jednoliko raspoređene i rastvorene organske tvari). Organske tvari u komadima ili nakupinama (drvo i slično) treba izbaciti iz gradiva za nasip.

Optimalna vlaga mora biti manja od  $w_{opt} \leq 25\%$ .

Gradivo ne smije imati suhu gustoću manju od  $\rho_d = 1,50 \text{ g/cm}^3$  (po standardnom Proctoru) za nasipe visine do 3,0m, a za nasipe više od 3,0m  $\rho_d = 1,55 \text{ g/cm}^3$ .

Granica tečenja ne smije biti veća od  $w_l \leq 65\%$ .

Indeks plastičnosti ne smije biti veći od  $I_p \leq 30$ .

Bubrenje tla pod vodom nakon četiri dana ne smije biti veće od 4%.

Proctorov broj mora iznositi  $P_b = 0$  do 0,20.

$$P_b = \frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_{\check{c}\check{c}}} \quad (11.6)$$

Vlažnost gradiva ne smije varirati više od  $\pm 2\%$  od optimalne vlažnosti određene standardnim Proctorovim postupkom.

To znači da se previše vlažno tlo mora prije ugrađivanja prosušiti (razastiranjem, sitnjenjem, prebacivanjem, izlaganjem suncu, vjetru) a previše suho tlo navlažiti (prskanjem, polijevanjem) do tražene vlažnosti. Prije zbijanja poprskanog, pre suhog tla, treba stanovito vrijeme pričekati da se vlaga jednolično raspoređi. Pri izradi nasipa od zemljanog, vezanog tla, svo gradivo dopremljeno na gradilište mora se ugraditi tj. zbiti istog dana.

Rad na nasipavanju i zbijanju treba prekinuti u svako doba kad nije moguće postići tražene rezultate (zbog kiše, visokih podzemnih voda ili drugih nepogoda).

Gradivo za nasip ne smije se ugraditi na smrznutu podlogu. Isto tako u nasip se ne smije ugrađivati snijeg, led ili smrznuto zemljano tlo.

Kriteriji za ocjenu kakvoće ugrađenog tla u slojeve nasipa dani su u tablici 11.6.



Slika 11.63 Dozer s rijačem za razastiranje i sitnjenje tla

Tabela 11.6 Kriteriji kakvoće ugradnje zemljanog tla u nasipe

položaj nasipnih slojeva	stupanj zbijenosti $S_z$ (u odnosu na standardni Proctorov postupak), najmanje (%)	modul stišljivosti $M_s$ (ploča Ø30 cm) najmanje (MN/m <sup>2</sup> )
a) slojevi nasipa visokih preko 2 m na dijelu od podnožja nasipa do visine 2 m ispod planuma posteljice	95	20
b) slojevi nasipa nižih od 1 m i slojevi nasipa viših od 2 m u zoni 2 m ispod planuma posteljice	100	25

Ova se tla zbijaju ježevima.



Slika 11.64 Samohodni jež



U upotrebi su i ježevi koje vuku dozeri ili višenamjenski strojevi, a mogu biti i na daljinsko upravljanje.

#### 11.4.6 Izrada nasipa od miješanih vrsta tla

Pod miješanim tlima razumijevaju se mješavine kamenih i zemljanih tala, glinoviti šljunci, zaglinjene kamene drobine, trošne stijene - škriljci, lapor, flišna tla i slično, tj. tla koja su manje osjetljiva na djelovanje vode prilikom ugradnje zbijanjem u slojevima u nasip (većina tla kategorije "B" i dio tla kategorije "C").

Lapori, sastavni dijelovi flišnih serija, osjetljivi su na proces sušenje-vlaženje te u tom smislu na djelovanje vode. U tom procesu lapori se raspadaju i mijenjaju granulometrijski sastav. Kada se to dešava u zbijenom sloju nasipa, nastaju vrlo velika slijeganja (i do 10% visine sloj) kroz dugo vremensko razdoblje. Iskustvo pokazuje da **laporovite frakcije fliša** mogu biti ugrađene uz prethodno pažljiva ispitivanja rastrošbe pod utjecajem atmosferilija. Uz određenu obradu ova tla mogu biti ugrađena u vrlo kvalitetne nasipe.

Nasipi od miješanih tala se rade u slojevima debljine od 30 do 60 cm. Gradivo za izradu nasipa mora zadovoljavati ovaj uvjet:

- ganulacija tla treba biti takva da je koeficijent nejednolikosti

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 9 \quad (11.7)$$

Ako se radi o tlima koja su sklona pregranulaciji prilikom zbijanja, kao što su npr. neke vrste trošnih stijena, te im se koeficijent nejednolikosti ne može odrediti ili nije realan, njihova se pogodnost mora odrediti na praktičan način, tj. na pokusnoj dionici.

Ta se gradiva zbijaju valjcima.



Slika 11.65 Glatki valjak s nožem dozera, za fino planiranje

Gradivo se ne smije ugrađivati u nasip kad vlažnost prelazi granice koje omogućuju postizanje propisane kakvoće ugradnje.

Tlo se u nasip ne smije se ugraditi na smrznutu podlogu. Isto tako, u nasip se ne smije ugrađivati snijeg, led ili smrznuto tlo. Kriteriji za ocjenu kakvoće ugrađenog tla u slojeve nasipa dani su u tablici 11.7.

Tabela 11.7 Kriterij kakvoće ugradnje miješanih gradiva u nasip

položaj nasipnih slojeva	stupanj zbijenosti $S_z$ (u odnosu na standardni Proctorov postupak), najmanje (%)	modul stišljivosti $M_s$ (ploča Ø30 cm) najmanje (MN/m <sup>2</sup> )
a) slojevi nasipa visokih preko 2 m na dijelu od podnožja nasipa do visine 2 m ispod planuma posteljice	95	35
b) slojevi nasipa nižih od 1 m i slojevi nasipa viših od 2 m u zoni 2 m ispod planuma posteljice	100	40

#### 11.4.7 Izrada nasipa od usitnjenog kamena

Pod usitnjenim kamenom razumijevaju se gradiva dobivena miniranjem, kamene drobine i šljunci, tj. gradiva koja praktički nisu osjetljiva na prisutnost vode (iskopne kategorije "A" i dio iskopne kategorije "C").

Ta se gradiva zbijaju vibrovaljcima (samohodnim i vučenim), vibronabijačima i kompaktorima, ovisno o vrsti upotrijebljenog gradiva.

Takvi nasipi izrađuju se u slojevima debljine od 50 do 100 cm, a stvarna debljina razgrnutog sloja nasipa određuje se na pokusnoj dionici, ako ne postoje provjerena iskustva o debljinama slojeva u kojima se to gradivo može pravilno zbiti određenim sredstvima za zbijanje.

Gradivo za nasip treba zadovoljavati **ove uvjete**:

Granulacija treba biti takva da je koeficijent nejednolikosti:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \quad (11.8)$$

Najveći promjer zrna smije biti jednak najviše polovici debljine sloja, ali ne veći od 40 cm (pri čemu se dopušta da 15% zrna bude veličine i do 50 cm).

U blizini objekata treba promijeniti način rada na nasipanju i zbijanju, jer veliki vibracijski strojevi na upravo završenim i starim objektima mogu prouzročiti oštećenja.

Radovi na izradi nasipa ne smiju se obavljati kada je tlo smrznuto, odnosno kada na trasi ima snijega i leda. Kriteriji za ocjenu kakvoće ugrađenog kamenitog tla u slojeve nasipa dani su u tabeli 11.8.

Tabela 11.8 Kriteriji ugradnje kamena u nasip

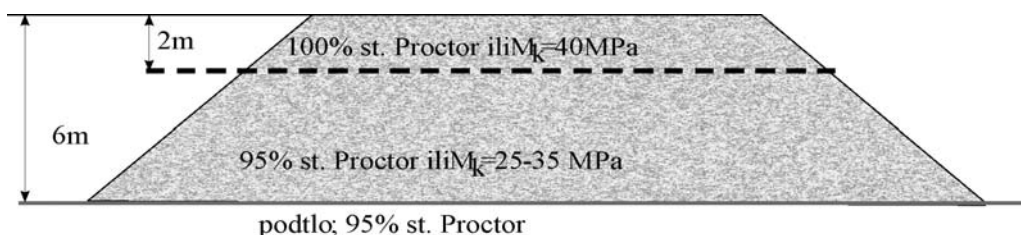
položaj nasipnih slojeva	stupanj zbijenosti $S_z$ (u odnosu na standardni Proctorov postupak), najmanje (%)	modul stišljivosti $M_s$ (ploča $\varnothing 30$ cm) najmanje ( $\text{MN/m}^2$ )
a) slojevi nasipa visokih preko 2 m na dijelu od podnožja nasipa do visine 2 m ispod planuma posteljice	95	40
b) slojevi nasipa nižih od 1 m i slojevi nasipa viših od 2 m u zoni 2 m ispod planuma posteljice	100	40

Nasipi od kamenitog gradiva ugrađuju se uz pomoć vibrovaljaka.

Kod ugradnje kamenih dijelova nasutih brana, kamen se ugrađuje u slojevima i do 2 m debljine.

Pokazalo se da je i kod kamena važan široki granulometrijski sastav. Kamene nasipe je dobro vlažiti kako bi pojedini veći komadi osjetljivi na vlagu ispucali već prilikom ugradnje. Time se sprječava naknadno slijeganje ovakvih nasipa. To je naročito bitno kod visokih kamenih nasipa kod velikih brana.

Ugradnja takvog kamenog nasipa pospješuje se polijevanjem kamena vodenim topovima. Na slici 11.66 su prikazani uvjeti kakvoće nasipa visine do 6,0 m od lomljenog kamena kada je: promjer najvećeg zrna,  $D \leq 20$  cm,  $\gamma_d > 17,5$  kN/m<sup>3</sup>,  $M > 40$  MPa



Slika 11.66 Uvjeti kakvoće nasipa od lomljenog kamena



Slika 11.67 Valjak za nabijanje kamenog nasipa

#### 11.4.8 Ugradnja razlomljene meke stijene u nasipe

U meke stijene spadaju sve one vrste stijena koje su izrazito podložne rastrošbi bilo da čine površine usjeka ili da su ugrađene u nasipe. Rastrožba je proces raspadanja meke stijene pod utjecajem sušenja i vlaženja. Tipičan predstavnik mekih stijena je laporovita komponenta flišnih naslaga. Ove stijene prekrivaju velike površine uz sjevernu obalu Jadranskog mora, ali i drugdje. U prirodnom stanju flišne naslage ponašaju se kao stijene koje je potrebno kopati ili jakim pneumatskim čekićima ili miniranjem. Njihovu podložnost rastrošbi koristi domaće stanovništvo prilikom iskopa na način da površinu poliju vodom, pričekaju cca 24 sata i tada izvrše iskop s mnogo lakšom mehanizacijom pa čak i ručno.

OTU svrstava ova tla u grupu miješanih materijala „trošne stijene-škriljci, lapori, flišni materijali i slično“, zajedno s miješavinama kamena i zemlje, glinovitim šljuncima, zaglinjenim kamenim drobinama. To dovodi do njihove ugradnje u nasipe na nezadovoljavajući način. Posljedica su naknadna, dugotrajna, velika slijeganja gotovih nasipa. Kada se ugrađuju oko gotovih betonskih građevina, kao što su potporni zidovi, vrše na njih pritisak znatno veći od aktivnog, upravo zbog učinka rastrošbe i naknadnog slijeganja. Stoga prilikom ugradnje ovih mekih stijena u nasipe treba obratiti posebnu pažnju na uzroke i način njihovog raspadanja.

Lapori flišne serije nisu trošne stijene koje se trošenjem samo usitnjavaju i pretvaraju u sitnije frakcije kamenog agregata. Ova tla se u potpunosti mijenjaju. Dobar primjer je odlagalište lapora iz iskopa zasjeka, pri izgradnji platoa koksare u Bakru (oko 1971-72. godine). Nakon nekog vremena je izgledalo kao odlagalište

srednjeplastične gline s kutom prirodnog pokosa od  $8^\circ$ . Nakon nasipanja velikih količina lapora iz iskopa u Splitu u područje Žnjana, uočeno je da gromade i krupni komadi koji su ostali na suhom, zadržavaju nagib pokosa niskih nasipa od  $70-80^\circ$ , dok dio nasipa koji je dospio u more i u područje oscilacije plime i oseke, nakon nekog vremena ima kut nagiba pokosa između  $15$  i  $20^\circ$  (Roje-Bonacci, 1998.).

Kako se prilikom građevinskih radova uz Jadransku obalu, iskopa velika količina ovih stijena, to ih se nastoji iskoristiti ugradnjom u nasipa raznih namjena. Pokazalo se da tokom vremena svi ovi nasipi doživljavaju veliku deformaciju. Na nekoliko primjera potvrđeno je da ta deformacija iznosi do 10% ukupne visine nasipa.

U svom radu Mišćević i dr, (2001.) pokazuju kako u laboratorijskim uvjetima, u procesu sušenja i vlaženja nakon određenog broja ciklusa, ovo slijeganje može iznositi i preko 15%.



Slika 11.68 Nasip od svježe iskopanog fliša i slijeganje (strelica) istog nakon nekoliko godina (prilaz Sveučilišnoj knjižnici u Splitu, snimio P. Mišćević)

Rezultat svega naprijed rečenog je da ovakva tla nije preporučljivo ugrađivati u nasipe bez izvjesne prethodne obrade.

Istraživanjima u laboratoriju Katedre za geotehniku Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, pokazano je da je ove meke stijene moguće koristiti za izradu nasipa uz poštivanje izvjesnih uvjeta.

Za vrsnu ugradnju ovih gradiva potrebno je postići slijedeće (Mišćević, Roje-Bonacci 2001.):

- onemogućiti učestalo vlaženje i sušenje nasipa
- ugraditi tlo tako da raspadanje zrna na utječe na pojavu dodatnog slijeganja.

Za prvi uvjet je rješenje dobra zaštita nasipa od utjecaja oborinske vode, podzemne i procjedne vode i vode koja se može pojaviti iz puknutih cijevi ugrađenih u nasip. Ovo je teško i skupo izvesti.

Drugi uvjet je lakše zadovoljiti na način da se smanji šupljikavost nasipa tako da se u prostore između krupnih zrna ugrade sitnije frakcije. Inače u ovaj prostor ulaze sitnije frakcije zrna lapora koje nastaju njegovim raspadanjem te nastaje slijeganje. Ako se prostor pora smanji ugradnjom sitnijih frakcija, ne ostavlja se prostora za naknadno slijeganje.

Za ovu mogućnost postoje razna rješenja. Jedan je da se lapor umjetno usitnjava do određene frakcije i ugrađuje kao znato tlo potrebne granulometrijske krivulje kao za zemljana gradiva.

Druga je mogućnost da se iskopani lapor ostavi jedno vrijeme na odlagalištu da se sam raspadne. Tada će sadržavati dovoljno sitnih čestica koje će obaviti zrna i stvoriti gustu strukturu koja više neće moći popunjavati preostale pore malih dimenzija. Cijeli proces naravno vremenski ovisi o vrsti lapora odnosno sadržaju karbonata. U ovom slučaju postoji mogućnost proračuna udjela usitnjenog tla (čestice  $\varnothing D < 0,1\text{mm}$ ) u mješavini, koji osigurava dovoljnu obavijenost zrna sitnim česticama, da se spriječi naknadno slijeganje. Izračun glasi:

$$P_{de} = \frac{(\rho_{gr} - \rho_d) * \rho_{de}}{(\rho_{gr} - \rho_{de}) * \rho_d} \quad (11.9)$$

gdje je:  $p_{de}$ , udio usitnjenog tla;  $\rho_d$ , suha gustoća zbijene mješavine;  $\rho_{gr}$ , suha gustoća nerastošenog lapora;  $\rho_{de}$ , suha gustoća usitnjenog lapora ((čestice  $\varnothing D < 0,1\text{mm}$ ), određena kao masa usitnjenog tla raspoređenog u ukupnoj zapremini „makropora“ između neusitnjenih zrna.



Slika 11.69 Komad svježe iskopanog lapora lijevo i isti komad nakon nekoliko ciklusa sušenja i vlaženja (geotehnički laboratorij Fakulteta, Split )

Ugradnja ovakvih mješavina, uz odgovarajuće zbijanje, može osigurati vrlo dobre nasipe raznih namjena. Jedino nije preporučljivo i vrlo štetno ovu vrstu tla nasipavati u vodu ili more. Tu se ne može kontrolirano zbiti, a raspadne se u neplodni mulj koji uništava život na dnu.

#### 11.4.9 Nasipavanje uz objekte

Nasipavanje uz objekte (upornjake, propuste, preljeve, temeljne ispuste) izvodi se s posebnom pažnjom. Potrebno je nasip izvesti zbijenosti prema projektu, a da se pritom ne ošteti izvedena građevina kao ni hidroizolacija, ako je ugrađena.

Pristup strojeva za zbijanje pojedinim dijelovima nasipa uz gotove objekte često je nemoguć iz niza razloga. Stoga se za ovu ugradnju koriste manji strojevi, a ponekad čak i ručni nabijači.

Klinovi uz objekte izvode se od istog gradiva od kojeg se izvodi i nasip.

Razlikuje se izvedba nasipa od nekoherentnog tla uz gotove građevine (upornjaci mostova, propusti, potporni zidovi) i glineni naboji u hidrotehničkim građevinama.

Najosjetljivija su mjesta uz objekte kod vododrživih nasipa. Tu mogu nastati štete do katastrofalnih razmjera, ako zbijanje i veza s objektom nije pažljivo izvedena. Prije ugradnje nasipa na ovakvim se mjestima mora pripremiti betonsko lice građevine. Dobro je budući spoj premazati razmućenom glinom. Nasip se reporuča ugrađivati s nešto manje vlažnosti od optimalne uz utrošak veće energije zbijanja. Time se može postići veća suha gustoća ugrađenog tla i bolje brtvljenje spoja.

Zbijanja ovih nasipa izvode se s malim strojevima ili ručno, uz strogu provjeru kakvoća.

Najveća dozvoljena debljina sloja uz objekt je 50 cm.



Slika 11.70 Nabijači lijevo i vibro ploča desno, za zbijanjetla oko gotovih građevina

## 11.5 PROŠIRENJE POSTOJEĆIH NASIPA

Ovi radovi zahtijevaju posebnu pažnju iz više razloga.

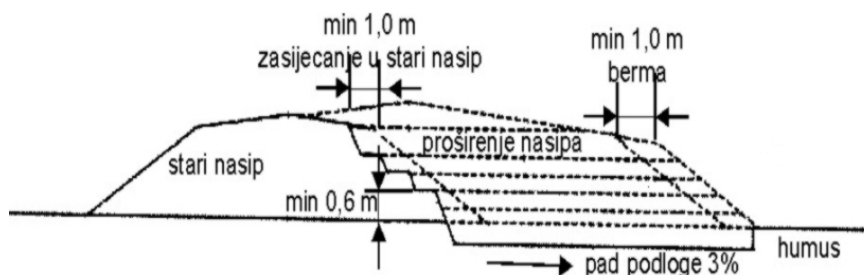
Stari nasipi ne zadovoljavaju zahtjeve današnjih uvjeta ugradnje. Stoga je potrebno ujednačiti zbijenost starog i novog nasipa, što često nije jednostavno. To je bitno stoga da oni postanu jedno tijelo s približno istim svojstvima krutosti i deformacije.

Ovakvi se radovi često izvode uz neprekidno odvijanje prometa na starom nasipu što otežava organizaciju gradilišta.

Na području proširenja valja izvesti sve one zahvate koji su potrebni i pri izgradnji novog nasipa u smislu pripremnih i prethodnih radova.

Potrebno je prethodno, terenskim ispitivanjima, utvrditi zbijenost starog nasipa da bi joj se mogla prilagoditi ona novog. Ti podaci služe za određivanje vrste tla novog nasipa, debljine slojeva i odabira sredstava za zbijanje.

Stari je nasip potrebno zasjeći u stepenicama da bi se dobio bolji spoj starog i novog nasipa. Stepence visinski moraju odgovarati odabranoj debljini slojeva novog nasipa.



Slika 11.71 Elementi proširenja cestovnog nasipa (Lukić, Anagnosti, 2010 .)

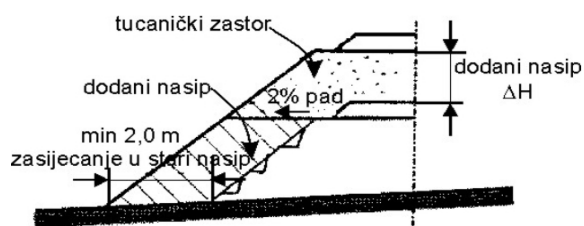
### 11.5.1 Princip i elementi proširenja nasipa

Proširenje nasipa ne smije se izvoditi **nasipavanjem bočno** s postojećeg nasipa, tj. nasipanjem bočno s čela bez zbijanja. Takav nasip ne može sigurno zadovoljiti traženu kakvoću nakon ugradnje.

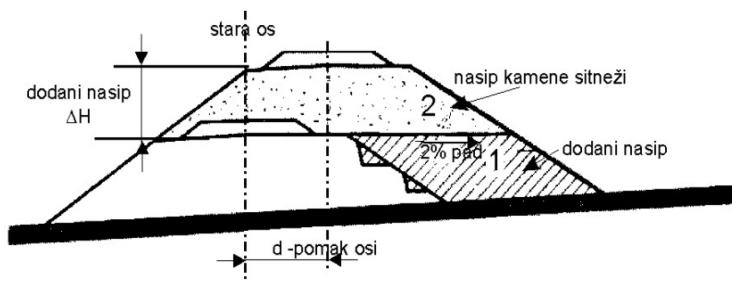
Proširenje nasipa za željezničke pruge može se izvoditi sa svrhom:

- podizanje gornjeg ruba šine (GIŠ-a) pruge, kada se proširenje vrši simetrično obostrano;
- podizanje i promjena trase pruge, kada se proširenje vrši jednostrano.





Slika 11.72 Nadvišenje nasipa željezničke pruge dodavanjem nasipa simetrično s obje strane (Lukić, Anagnosti, 2010.)



Slika 11.73 Nadvišenje nasipa željezničke pruge dodavanjem nasipa s jedne strane

## 11.6 NASIPI U HIDROTEHNICI

Ovi nasipi moraju biti tako izvedeni da budu vododrživi u uvjetima za koje su namijenjeni.

Nasipimogu biti **trajno vododrživi**, kada su stalno pod utjecajem vode, razina koje oscilira ali je uvijek prisutna. Takvi su nasipi za plovne kanale, glavne kanale za navodnjavanje, odvodnju (kanalizacije), nasipi za regulacije rijeka, dovodni kanali za hidroelektrane, nasipi u ribnjacima i slično.

Nasipi mogu biti **privremeno vododrživi**, kada služe kao zagati za zaštitu građevnih jama ili neku drugu privremenu namjenu. Tada su trajno vododrživi dok traju, ali nisu trajne građevine. Nakon što više nisu potrebni mogu se, ali i ne moraju ukloniti. Uklanjanje se samo ako smetaju bilo čemu. Kada služe za građevne jame velikih brana, mogu se uklopiti u branu ako je nasuta ili uzvodni zagat ostaviti u akumulaciji. Nizvodni zagat može postati također dio nasute brane a može se i srušiti kada više nije potreban.

Kod svih nasipa takve namjene bitno je da je gubitak vode kroz nasip što manji i da je nasip siguran od proloma uslijed ispiranja čestica zbog velikih izlaznih gradjenata na virnoj plohi.

Mogu biti **povremeno vododrživi**. To su nasipi za obranu od poplava, za odvodne kanale kod hidroelektrana, kanale u melioracijskim sustavima za odvodnjavanje i

navodnjavanje i slično. Ovi nasipi povremeno brane neko područje od vode ili ju povremeno zadržavaju. Kod njih je bitno da budu stabilni, a nije bitno koja se količina vode kroz njih procjeđuje jer u takvim slučajevima gubici nisu bitni sve dok ne čine znatniju štetu erozijom nožice nasipa ili količinom procjedne vode u zaobalju.

Apsolutno nepropusni nasipi ne postoje.

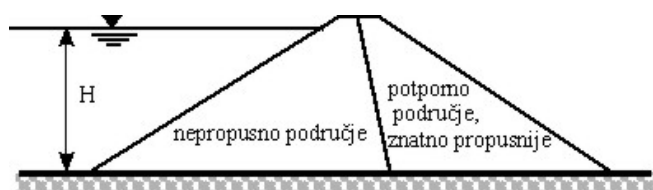
### 11.6.1 Osiguranje vododrživosti

Osnovna namjena hidrotehničkih nasipa je da budu vododrživi. To znači da uz sve što je o gradnji nasipa do sada rečeno vrijedi i za hidrotehničke nasipe ali oni moraju imati i tu sposobnost za koju su namijenjeni.

Trajno vododrživi nasipi moraju zadovoljiti uvjet da je gubitak procjeđivanjem kroz nasip što manji. Kod privremenih nasipa ovo nije najbitniji uvjet jer se procjedna voda može uvijek crpiti iz prostora koji se štiti.

Nasipi se mogu izvesti od raznih nasipnih gradiva, ali se na neki način mora osigurati vododrživost. Jedan od načina, koji je moguć kod privremenih nasipa je dovoljna širina nasipa da ne dođe do erozije uslijed iznošenja čestica vodom iz tijela nasipa na nizvodnoj kosini. To međutim ponekad zahtijeva suviše veliku širinu nasipa.

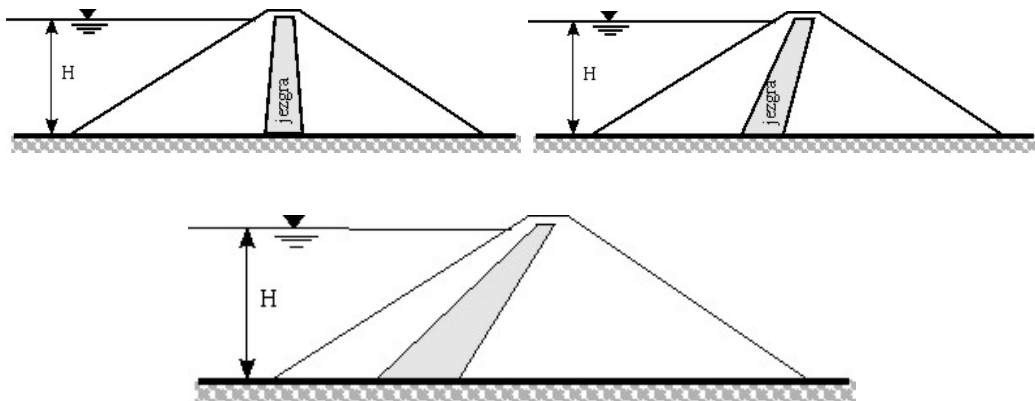
Kod nasipa koji su trajno vododrživi bitna je i količina procjeđivanja kroz nasip, što predstavlja neželjene gubitke. Kada nema dovoljno slabo propusnog tla za izgradnju nasipa, primjenjuje se izvedba zoniranih nasipa. Vododrživost se postiže ugradnjom slabo propusnog sloja dovoljne debljine i takve propusnosti da se postigne dopustiva količina gubitka procjeđivanjem, a ostali se dijelovi nasipa - potporne zone, izvode od najjeftinijeg gradiva koje stoji na raspolaganju, a zadovoljava ostale uvjete za nasip. Nepropusni dio nasipa može se smjestiti unutar nasipa ili na njegovoj uzvodnoj strani.



Slika 11.74 Zonirani nasip s dva područja različite namjene

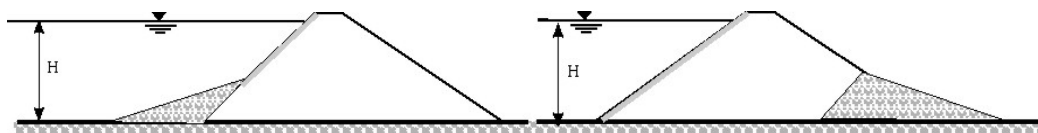
Jedno od mogućih rješenja je vodonepropusna jezgra u sredini nasipa. Između tijela nasipa i nepropusne jezgre potrebno je ugraditi tlo po filtarskom pravilu, da ne dođe do miješanja čestica i sufozije - cijevljenja, uslijed iznošenja sitnih čestica u sloj

veće krupnoće. Između nasipa, jezgre i filtarskih slojeva, može se koristiti geotekstil kao razdvajajući sloj. Filtarski se slojevi mogu i zamijeniti pravilnim odabirom geotekstila koji djeluje razdvajajuće i filtrirajuće.

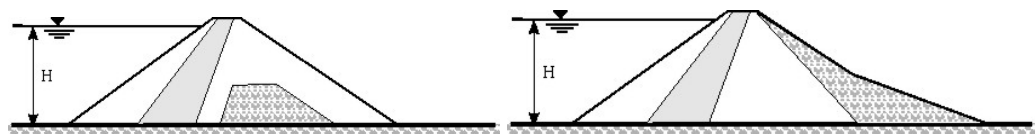


Slika 11.75 Mogući položaji nepropusne jezgre u nasipu

U nosiva područja mogu se ugraditi tla razne kakvoće ili industrijski ostaci.



Slika 11.76 Uzvodna i nizvodna potporna zona od otpadnog tla ili industrijskog ostatka



Slika 11.77 Otpadno tlo u potpornom dijelu nasipa, lijevo i mješavina gline i kamena na nizvodnom pokosu, desno (podloga za ozelenjavanje)

Osim glinene jezgre, mogu se ugraditi površinski uzvodne vododržive membrane od asfalta, betona i nepropusnih folija.



Slika 11.78 Nasip s nepropusnom membranom na uzvodnoj strani

### 11.6.2 Proračuni hidrotehničkih nasipa

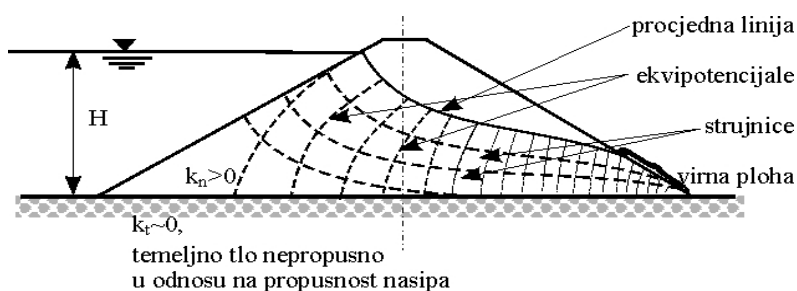
Za sve ove nasipe bitan je proračun procjeđivanja, koji daje podatke o strujnom polju i hidrauličkim gradijentima. Bitni su izlazni gradijenti na virnoj plohi (području na kojem voda izlazi iz nasipa), jer tamo može doći do iznošenja čestica vodom i do unutarnje erozije nožice. Posljedica je rušenje nasipa, što može biti katastrofalno. Ovoj su pojavi najviše podložni nasipi koji povremeno zadržavaju vodu. Pojava strujnog tlaka u hidrotehničkim nasipima, zahtjeva dodatne analize stabilnosti u koje treba uključiti utjecaj strujnog polja.

#### 11.6.2.1 Proračun procjeđivanja

Za proračun procjeđivanja potrebno je poznavati strujno polje u nasipu za određenu razinu vodostaja. Dimenzioniranje se vrši na najviši mogući vodostaj kao najopasnije stanje.

Strujno polje sastoji se od strujnica i ekvipotencijala. Za proračun postoji niz analitičkih i grafičkih rješenja, a danas se najviše koristi metoda konačnih elemenata.

Razlikuju se nasipi na nepropusnoj i na propusnoj podlozi. Nepropusnom podlogom u odnosu na nasip može se smatrati tlo kojem je koeficijent hidrauličke provodljivosti (filtracije)  $k$ , 100 puta ( $10^2$ ) manji od onoga u nasipu.



Slika 11.79 Procjeđivanje kroz nasip na nepropusnoj podlozi

Proračun izlaznog hidrauličkog gradijenta može se izvesti iz podataka sa slike 11.79, strujnog polja.

$$i_{\text{izl}} = \frac{H}{L_{\text{min}}} \quad (11.10)$$

Gdje je  $H$  visinska raulika između gornje i doljnje vode a  $L_{\text{min}}$ , dužina procjedne linije kao najkraćeg puta čestice vode kroz nasip.

Dobiveni izlazni gradijent se uspoređuje s kritičnim izlaznim gradijentom pri kojem dolazi do iznošenja čestica. Pri tom mora biti zadovoljena nejednakost:

$$i_{\text{izl.}} < i_{\text{krit.}} \quad (11.11),$$

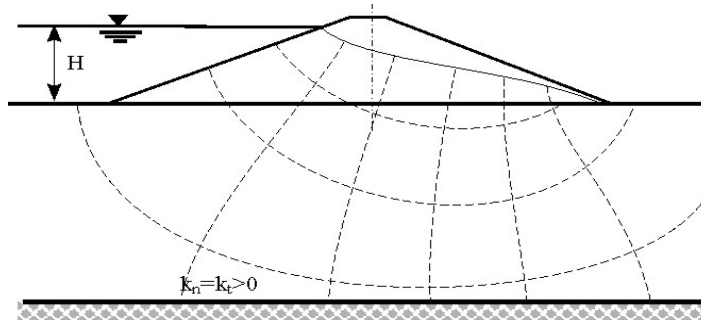
a izraz za kritični izlazni gradijent ovisi o prostornoj težini kako slijedi:

$$i_{\text{krit.}} = \frac{\gamma_{\text{zas.}} - \gamma_{\text{vode}}}{\gamma_{\text{vode}}} \quad (11.12)$$

što proizlazi iz uvjeta da je efektivno naprezanje, izraženo vektorski preko prostornih težina, na promatranoj plohi jednako nuli.

$$\bar{\gamma}'' = \bar{\gamma}' - \bar{i} * \gamma_{\text{vode}}; \quad \bar{\gamma}'' = 0 \quad (11.13)$$

Procjeđivanje kroz nasip na propusnoj podlozi uključuje i procjeđivanje kroz podlogu.



Slika 11.80 Potencijalno polje pri procjeđivanju kroz nasip i podlogu.

#### 11.6.2.2 Ostali proračuni

S podacima o potencijalnom polju, za hidrotehničke se nasipe provodi analiza stabilnosti uvažavajući moguće najnepovoljnije djelovanje sile strujnog tlaka.

Ovi su nasipi ugroženi mogućnošću prelijevanja preko krune bilo zbog slijeganja bilo zbog pojave valovanja.

Stoga je nužno izvršiti analizu slijeganja nasipa i podloge ako je stišljiva, da bi se nasip mogao izvesti s potrebnim nadvišenjem.

Jednako tako ako postoji opasnost od pojave valovanja mora se izvršiti i taj proračun i uvažiti visinu vala te izvršiti dovoljno nadvišenje da do prelijevanja ne dođe.

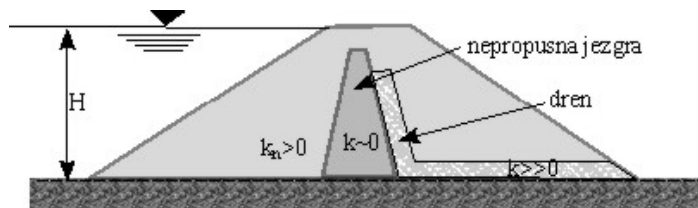
#### 11.6.3 Osiguranje hidrotehničkih nasipa od unutrašnje erozije

Pojavu unutarnje erozije moguće je spriječiti izradom zoniranih nasipa. To znači da se nasip izvodi od nekoliko vrsta tla različitih propusnosti. To je potrebno izvesti i kada postoji opasnost od nedopustivo intenzivnog procjeđivanja kroz podlogu. U nastavku je prikazano nekoliko načina zaštite od štetnog utjecaja procjeđivanja.



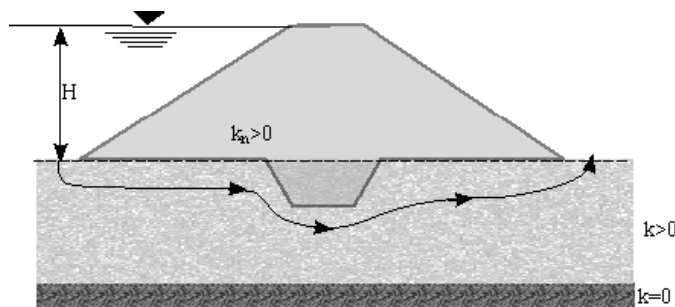
Slika 11.81 Homogeni nasip s kosim drenom, prikladan za nasipe za obranu od poplava

Homogeni nasip može imati i jednostavnije postavljen dren, na pr. trokutasto na dnu nizvodne nožice, samo kao drenažni tepih na nizvodnoj strani, bez uspravnog dijela. Bitno je da virna ploha ostane u nutar drena a ne na vanjskom licu nasipa.

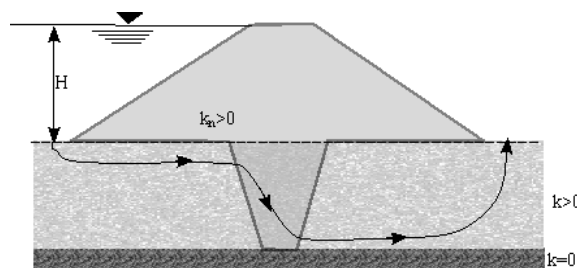


Slika 11.82 Zonirani nasip s nepropusnom jezgrom i drenažom nizvodne strane

Nasip s gornje slike prikladan je za trajno zadržavanje vode. Rješenja postoje i za vodopropusne podloge.



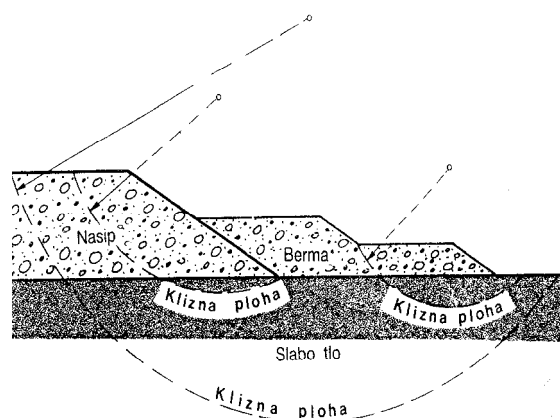
Slika 11.83 Nasip na propusnoj podlozi s djelomičnim klinom propusnosti manje od podloge, produžen put vode L, ispod nasipa



Slika 11.84 Nasip s potpunim, nepropusnim klinom (za manje debljine podloge) u propusnoj podlozi ili s glinobetonskom dijafragmom (za veće debljine podloge)

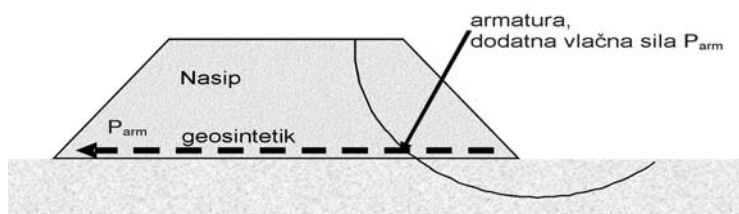
## 11.7 GEOSINTETICI U NASIPIMA

U nasipima geosintetici imaju višestruku ulogu. U poglavlju o uređenju posteljice opisana su svojstva geosintetika i njihova primjena. Tu korisna primjena geosintetika ne prestaje. U samim nasipima, geosintetici imaju ulogu armiranja. Učinak je moguće prikazati na djelovanju armature u sprječavanju podnožičnog klizanja nasipa na slabo nosivom tlu. Stabilizacija ovih nasipa se, do pronalaska geosintetika, izvodila dodavanje bermi uz nasip, kako je to prikazano na slici 11.85.



Slika 11.85 Osiguranje posnožičnog loma nasipa bermama (Babić i sur, 1995.)

Pojavom geosintetika rješenje postaje vrlo jednostavno. Geosintetik u kritičnu kliznu plohu dodaje vlačnu silu ( $P_{arm}$ ), pomoću koje se može izračunati potrebna dužina sidrenja armature  $L_a$ .



Slika 11.86 Geosintetik na slabo nosivom tlu sprječava podnožično klizanje

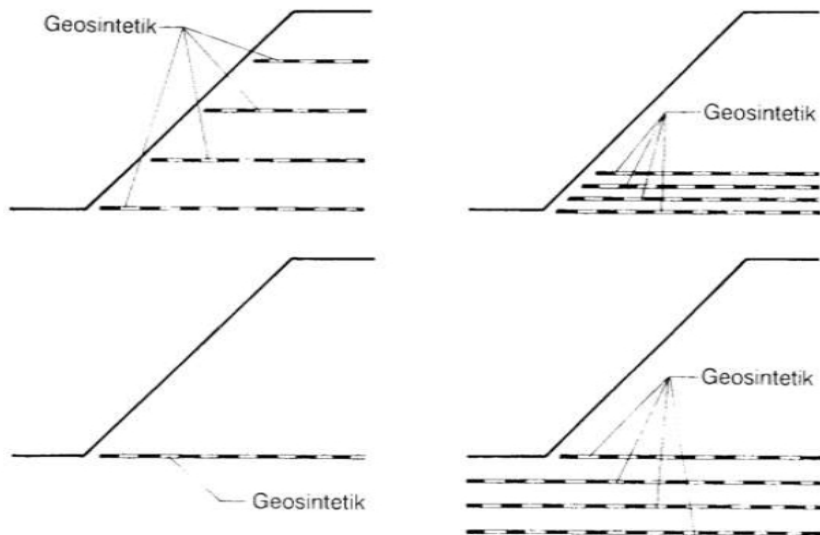
Iz analize stabilnosti može se proračunati potrebna vlačna sila u armaturi,  $P_{arm}$  koja uvjetuje dužinu sidrenja armature  $L_a$ .

$$L_a = \frac{P_{arm}}{2 * \sigma_v * tg\phi_G} \quad (11.14)$$

gdje je  $\sigma_v$  uspravno naprezanje na razini armature, a  $tg\phi_G$  trenje armatura- tlo.

U opisanom slučaju armatura ima i razdvajajući učinak. Može ju se ugrađivati i ispod razine vode, na tlo očišćeno od raslinja. Prvi sloj nasipa treba izvesti tako da se izađe iz vode.

Ugradnjom geosintetika mijenjaju se svojstva čvrstoće na smicanje tla u nasipu, kao složencu, do te mjere da nasipi mogu imati, ovisno o visini, vrlo strme pokose (do gotovo uspravnih). Na skicama slike 11.87 pokazan je različiti razmještaj armature unutar temeljnog tla i nasipa. Veći je učinak u nižim slojevima nasipa.



Slika 11.87 Različiti smještaj armature unutar nasipa i temeljnog tla

Učinak je najbolje vidljiv na nasipu bez lica kojem armatura sprječava osipanje tla i pored opterećenja teškim radnim strojem (slika 11.88).

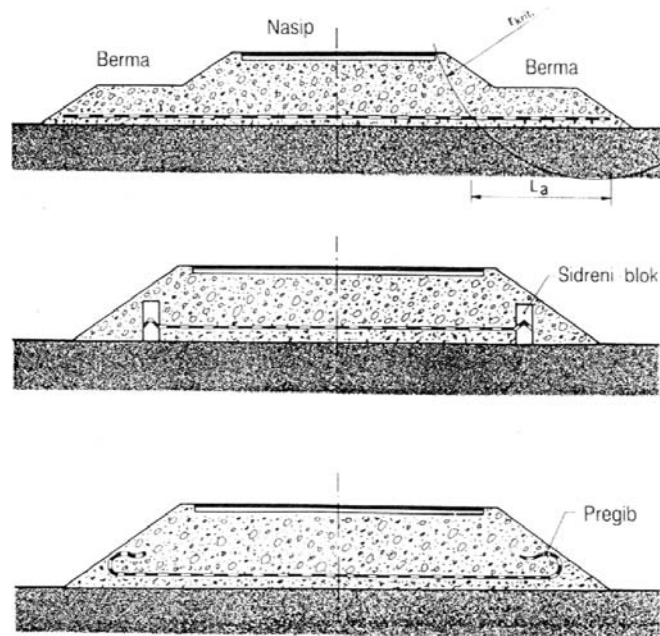


Slika 11.88 Armirani nasip bez lica

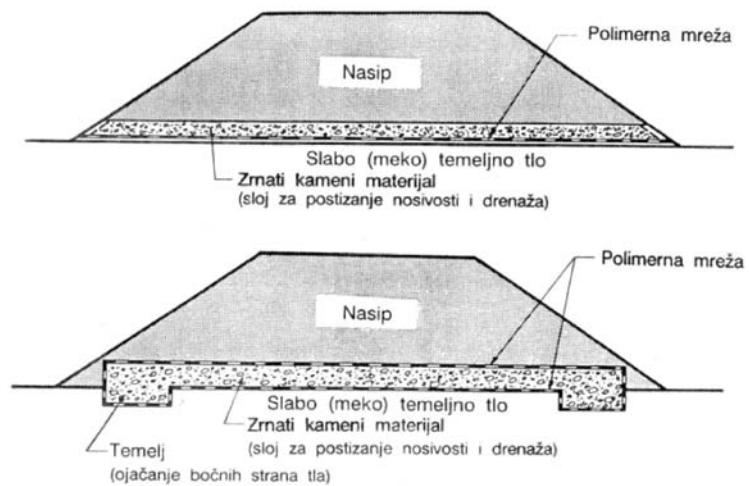


Kad se želi postići potpuno uspravni rub nasipa, dodaje mu se lice s kojim je armatura od geosintetika vezana ili preklopljena. Na taj način nastaju potporne građevine od armiranog tla.

Odvajajuća, filtrirajuća i drenirajuća svojstva geosintetika biti će prikazana u nekoliko primjera u nastavku.



Slika 11.89 Način pričvršćenja rubova geosintetika na dnu nasipa pri odvajanju (Babić i sur, 1995.)



Slika 11.90 Odvajajuća i drenirajuća uloga geosintetika (Babić i sur, 1995.)

## 11.8 PROVJERA KAKVOĆE PRI IZGRADNJI NASIPA

Provjera kakvoće odnosi se na:

- provjeru geometrije izvedene nasute građevine;
- provjeru kakvoće tla prije ugradnje (u pozajmištu i nakon razastiranja);
- provjeru kakvoće nakon ugradnje.

Dimenzije nasipa se tijekom rada provjeravaju tako da se uspoređuju s onima iz projekta. Detaljna provjera obavlja se pri preuzimanju završnog sloja nasipa (posteljice) mjerenjem od osiguranih iskolčenih točaka po vodoravnoj i uspravnoj projekciji.

Ako se ustanovi da je nagib pokosa nasipa različit od projektiranog, može se zahtijevati ispravka prema projektiranom nagibu. Popravke nagiba treba izvesti pomoću stepenica s gradivom istih svojstava kao što je ono iz nasipa, primjenom istih strojeva za zbijanje i istim brojem prijelaza.

Propisi na osnovi kojih se obavlja provjera kakvoće gradiva za izradu i pri izradi nasipa su HRN U.B1.0\*\*/\*\* i : HRN U.E\*.0\*\*/81 (prema OTU)

- određivanje vlažnosti uzoraka tla;
- određivanje specifične težine tla;
- određivanje zapreminske težine tla;
- određivanje granulometrijskog sastava;
- određivanje granica konzistencije tla;
- aterbergove granice;
- određivanje sadržaja sagorljivih i organskih tvari u tlu;
- određivanje optimalnog sadržaja vode;
- zemljani radovi na izgradnji putova;
- nosivost i ravnost na razini posteljice.

Propisi na osnovi kojih se obavljaju tekuća i kontrolna ispitivanja HRN U.B1.0\*\*/\*\* :

- određivanje vlažnosti uzoraka tla;
- određivanje zapreminske težine tla;
- određivanje modula stišljivosti metodom kružne ploče.

### 11.8.1 Tekuća ispitivanja

Za ova ispitivanja kod zemljanih nasipa ključni su rezultati Proctorovog pokusa, a za nasipe od miješanih i kamenih gradiva ključna su ispitivanja probnom pločom.

Kod zemljanih tala ispituje se prirodna vlažnost  $w_0$  u pozajmištu ili neposredno nakon razastiranja i uspoređuje s optimalnom vlažnošću po Proctoru. U tabeli 11.4 dan je uvjet za odstupanje vlažnosti tla koje se ugrađuje, od optimalne i iznosi  $\pm 2\%$ . Postoje uređaji za terensko, brzo određivanje vlažnosti. Ako tlo ima manju vlažnost od tražene, može se ugraditi uz veći utrošak energije zbijanja. Ako je vlažnije ne može se zbiti pa se mora prosušiti.



Slika 11.91 Elektronska zamjena za probnu ploču

Drugi korak u tekućim ispitivanjima je određivanje stupnja zbijenosti u odnosu na standardni Proctorov postupak ( $S_z$ ) ili određivanje modula stišljivosti ( $M_s$ ) kružnom pločom  $\varnothing 30\text{cm}$  (ovisno o vrsti tla) najmanje na svakih  $1000\text{ m}^2$  svakog sloja nasipa, te ispitivanje granulometrijskog sastava najmanje na svakih  $4000\text{ m}^3$  izvedenog nasipa. Kriteriji koji moraju biti zadovoljeni dani su u prethodnom tabelama 11.5, 11.6 i 11.7.

Za nasip od kamena, dobivenog miniranjem, ispituje se granulometrijski sastav zrna manjih od  $10,00\text{ cm}$ , a udio većih frakcija ( $10\text{-}40\text{ cm}$ ) određuje se vizualnom provjerom i procjenom.

U jednoj seriji, jedan od pet rezultata ispitivanja zbijenosti može biti manji od minimalno traženog s tim da po apsolutnoj vrijednosti ne odstupa za više od:

- $5\%$ , pri mjerenju suhe gustoće ( $\rho_d$ )
- $10\%$ , pri mjerenju modula stišljivosti ( $M_s$ ).

Ako je broj pokusa u jednoj kontrolnoj seriji manji od pet, tada sve vrijednosti (rezultati) određene ispitivanjem, trebaju biti veće od najmanje tražene.

Ako rezultati ispitivanja zadovoljavaju, može se razastrti i zbiti slijedeći sloj nasipa.

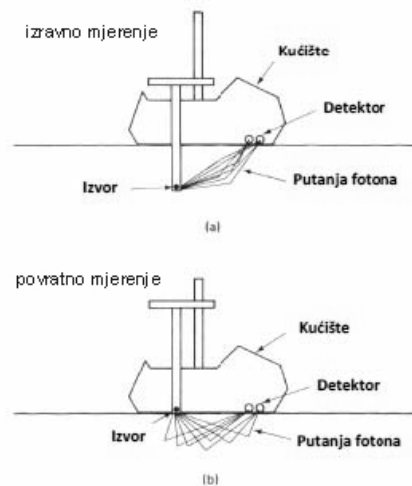
### 11.8.1.1 Uređaji za određivanje gustoće tla ugrađenog u nasip

Za određivanje suhe gustoće potrebno je raspolagati s dva podatka da bi se mogli uvrstiti u izraz (vidi poglavlje 4.5.2):

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \quad (11.15)$$

gdje je  $m_d$  masa suhog tla izvađena iz određene zapremine nasipa  $V$ .

Masa se jednostavno određuje sušenjem u sušioniku i vaganjem uzoraka iz izvađenih površine i sredine sloja tla.



Slika 11.92 Mjerenje gustoće tla nuklearnim densimetrom

Najnoviji uređaji, nuklearni denziometri daju, kao rezultat mjerenja, vrijednost suhe gustoće ugrađenog tla  $\rho_d$ . Da bi podatak bio ispravan potrebno je uređaj prethodno kalibrirati na tlu poznate gustoće. To je najbrži način ispitivanja koji zahtijeva posebno obučeno osoblje s obzirom da se radi o uređaju koji zrači.

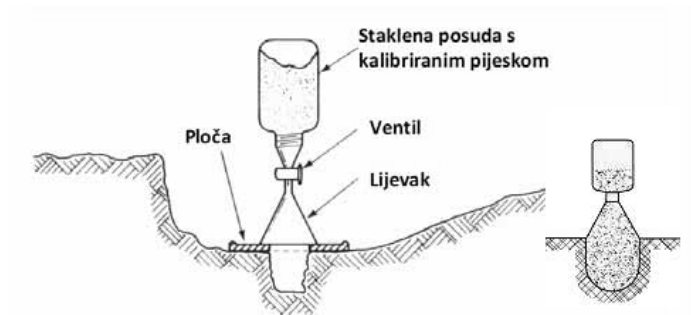
Za određivanje zapremine postoji nekoliko naprava.

Za sitnozrna tla vadi se uzorak pomoću valjka poznate zapremine  $V$ , s površine i iz sredine sloja u propisanom broju ovisno o količini ugrađenog tla. Svaki se uzorak pažljivo bilježi i prolazi proceduru u laboratoriju kao svaki drugi uzorak. Uzorku se izmjeri masa  $m_s$ , suhog tla. Postupak traje 24 sata jer je toliko potrebno da se tlo osuši u sušioniku.

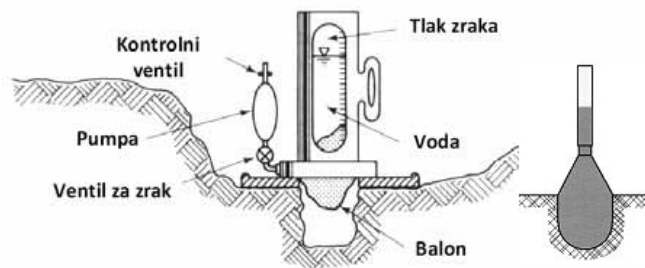


Slika 11.93 Uzimanje uzorka cilindrom iz nasipa

Za tla veće krupnoće, kada se ne može izvaditi dobar uzorak, može se zapremina tla  $V$ , izvađena iz gotovog nasipa, izmjeriti metodom kalibriranog pijeska ili pomoću balona s vodom. Izvađeno tlo se suši i važe te se tako dobije masa suhog uzorka  $m_s$ .



Slika 11.94 Pokus s kalibriranim pijeskom, u sredini shema, desno uređaj



Slika 11.95 Pokus s balonom s vodom, desno shema

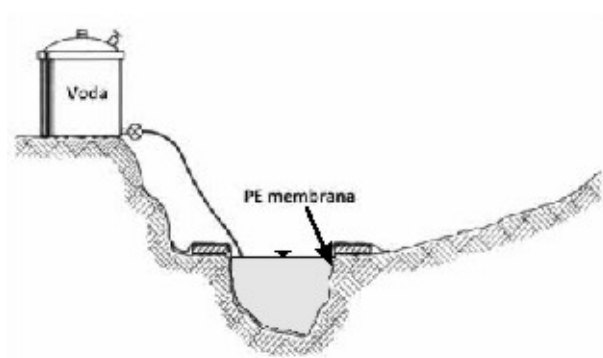
Kontrola zbijenosti provodi se za krupnozrna, nekoherentna tla pomoću probne ploče. Način ispitivanja opisan je u poglavlju o terenskim istražnim radovima. Za brzu ocjenu zbijenosti postoje gotovi dijagrami naprezanje  $\sigma$ – slijeganje  $s$ , u kojima

su ucrtani pravci koji označavaju vrijednosti modula stišljivosti ( $M_s$ ), tako da se rezultat ne mora izračunavati već se očita grafički. Iz mjerenih se podataka modul stišljivosti ( $M_s$ ), računa prema izrazu:

$$M_s = 1,8 * \frac{\sigma}{s} * B \quad (11.16)$$

Gdje je  $\sigma$  [kPa], naprezanje,  $s$  [m] slijeganje, a  $B$  [m] promjer ploče u metrima.

Za kamene nasipe izvodi se pokus tako da se zapremina odredi pomoću količine vode u iskopanoj jami većih dimenzija, prekrivenoj vodonepropusnom folijom, kako je prikazano na skici.



Slika 11.96 Pokus određivanja zapremine u kamenom nasipu

Iskopana masa kamena se važe. Najčešće iskopanu masu nije potrebno sušiti.

#### 11.8.1.2 Ispitivanje zbijenosti probnom pločom

Ova se ispitivanja vrše u nekoherentnim tlima. Najčešće se izvode za ocjenu kakvoće podloge završnim slojevima cesta, filtarskim slojevima i slično.

Postupak i rezultati su prikazani u opisu terenskih istražnih radova.

#### 11.8.2 Kontrolna ispitivanja

Kontrolna ispitivanja propisana su u tehničkim uvjetima izvedbe ili onako kako je propisano u OTU. Tijekom izvedbe nasipa mijenja se izvor gradiva, bilo da se radi o onom iz usjeka ili onom iz pozajmišta. Stoga je nužno pažljivo pratiti tekuća ispitivanja da bi se uočile moguće promjene u sastavu i kakvoći gradiva za nasip. To upućuje također na potrebu provedbe kontrolnih ispitivanja.

Ako se uoče promjene potrebno je osim klasifikacionih pokusa optimalne vlažnosti, provesti, odnosno ponoviti i dodatna, složenija ispitivanja da bi se utvrdila fizičko-mehanička svojstva tla kao što su:

- Proctorov pokus,
- ispitivanje stišljivosti u edometru,
- ispitivanja vodopropusnosti,
- parametru čvrstoće na smicanje.

Za nekoherentna tla to je:

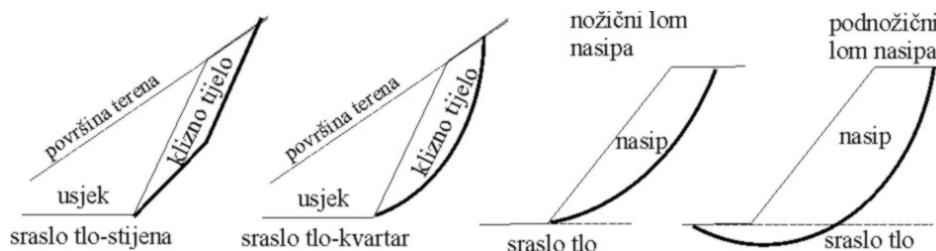
- ispitivanje probnom pločom  $\varnothing 30$  cm,
- ispitivanje granulometrijskog sastava.

Temeljem dobivenih podataka provjeravaju se proračuni temeljem kojih je nasip projektiran i dimenzioniran.

## 12 STABILNOST POKOSA USJEKA I NASIPA

Kod usjeka i nasipa, kao trajnih građevina, nagib pokosa mora trajno biti stabilan i siguran za okolinu. Bitna je razlika u stabilnosti pokosa usjeka u stijeni i usjeka u kvartarnim naslagama, bez obzira da li se radi o vezanim ili nevezanim tlima.

Stabilnost pokosa nasipa, jednostavnije je osigurati, jer se radi o tlu kao gradivu. Svojstva tog gradiva mogu se predvidjeti i propisati projektom. Osim stabilnosti samog nasipa kao gotove građevine potrebno je u nekim slučajevima provjeriti i stabilnost temeljnog tla zajedno s nasipom na njemu. Potrebno je provjeriti stabilnost podnožičnog loma.



Slika 12.1 Nekoliko mogućih oblika kliznih ploha

Usjeci i nasipi za hidrotehničke građevine su nešto zahtjevniji od onih na koje izravno ne utječe voda. Oni moraju biti vododrživi. Razina vododrživosti ovisi o tome jesu li stalno pod utjecajem vode ili ju samo povremeno zadržavaju. Prilikom analiza stabilnosti pokosa hidrotehničkih građevine utjecaj vode je potrebno obavezno uzeti u obzir.

Najsloženije nasute građevine, velike brane, zahtijevaju analize stabilnosti pokosa posebno uzvodnih, a posebno nizvodnih. Zahtijevaju analize stabilnosti za različita stanja razine vode u budućem jezeru. Za ove građevine pri projektiranju nagiba kosina ne postoje gotovi obrasci i jednostavna rješenja. Potrebno je izraditi precizne proračune za koje danas postoje gotovi, računarni, korisnički programi, koji u velikoj mjeri olakšavaju odabir ispravnog nagiba ovih kosina. Ovi proračuni neće biti obuhvaćeni ovim radom.

### 12.1 STABILNOSTI HOMOGENIH POKOSA (DO 15 M VISINE)

Za pokose homogenih nasipa do 15 metara visine postoje jednostavna rješenja za određivanje njihovog nagiba. Koriste se dijagrami, pomoću kojih se može odrediti stabilni nagib ovih pokosa. Pretpostavka je, da je tlo u nožici pokosa vodoravno kao i površina iznad kosine. U slučaju dodatnog opterećenja na vrhu kosina, potrebno je



izvršiti dodatne analize uvažavajući taj teret. Rješenje postoji i za slučaj kada je iznad kosine teren u nagibu (do 10°) (Maslov i dr.1969.).

Da bi se dijagrami mogli koristiti, potrebno je prethodno odrediti parametre čvrstoće na smicanje,  $c$  i  $\varphi$ , tla ugrađenog u nasip. Ovi se parametri, za nasipe, dobiju ispitivanjem umjetnih uzoraka u laboratoriju, zbijenih u Proctorovom uređaju pri optimalnoj vlažnosti. Za kosine usjeka u prirodnom tlu parametri se dobivaju iz neporemećenih uzoraka. Koriste se uglavnom rezultati pokusa direktnog smicanja.

U usjecima u stijenskoj masi, za analize stabilnosti kosina, potrebno je poznavati nagib i smjer pružanja slojeva i međuslojnih pukotina kao niza drugih svojstava stijene, nabrojanih u poglavlju o detaljnim inženjersko geološkim istražnim radovima.

Pri proračunu stabilnosti kosina valja uvažiti postojeće propise (Eurocode7).

Za analizu stabilnosti koja se osniva na poznavanju parametara čvrstoće na smicanje ( $c$  i  $\varphi$ ), treba odabrati odgovarajući projektni pristup. Preporuča se projektni pristup 2, gdje se parametri faktoriziraju parcijalnim koeficijentima  $\gamma_{\varphi'}$  i  $\gamma_{c'}$ . Tada su računске vrijednosti parametara:

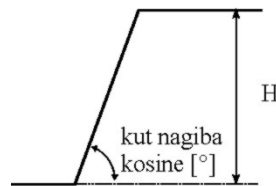
$$\varphi_r = \arctg \frac{\text{tg}\varphi'}{\gamma_{\varphi'}}; c_r = \frac{c'}{\gamma_{c'}}; \quad (12.1)$$

S tako odabranim parametrima odredi se broj stabilnosti E:

$$E = \frac{c_r}{(\rho * g) * H} \quad (12.2)$$

pri čemu je E broj stabilnost;  $c_r$ , računska kohezija (ovisno o projektnom pristupu);  $(\rho * g)$  prostorna težina gradiva nasipa (vlažna), a H visina kosine.

Jednostavni model homogene kosine prikazan je na slici koja 12.2.



Slika 12.2 Jednostavni model homogene kosine

Kada se na prostoru iznad kosine nalazi dodatni teret, od ruba kosine regionalno, tako da njegov utjecaj djeluje na ukupnu visinu kosine, može se koristiti isti dijagram uz popravak visine kosine.

Treba provjeriti da dodatno opterećenje ,q, nije veće od graničnog,  $q < q_0$ :

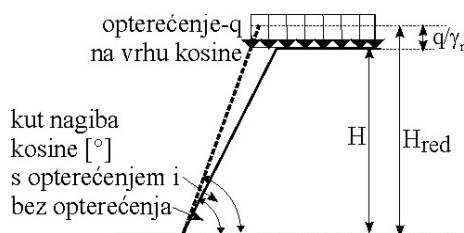
$$q_0 = \frac{2c_r \cos \varphi_r}{1 - \sin \varphi_r} \quad (12.3)$$

Zatim treba izvršiti popravak računske visine kosine  $H_{red}$  na način da je:

$$H_{red} = H + \frac{q}{\rho_r * g} \quad (12.4)$$

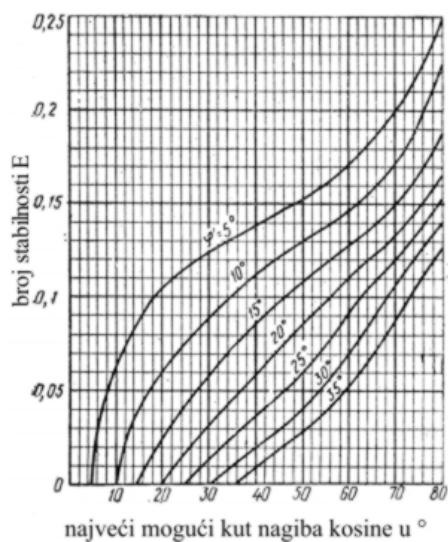
Gdje je  $\rho_r$  računaska vrijednost gustoće tla ( $\gamma_r = \rho_r * g$ ).

S tako dobivenom reduciranom visinom kosine može se ući u proračun broja stabilnosti E, a zatim koristiti dijagram.



Slika 12.3 Kosina vodoravnog zaleđa s regionalnim opterećenjem

Kut trenja  $\varphi_r$  na dijagramu je predstavljen familijom krivulja.



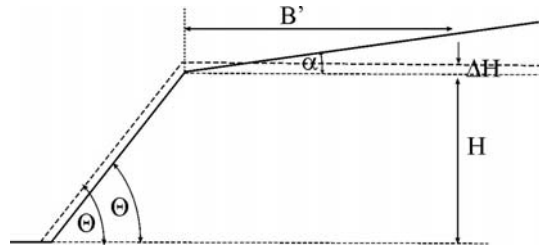
Slika 12.4 Dijagram za određivanje nagiba kosine pomoću broja stabilnosti E

Za slučaj kosine koja ima nagnuto tlo u zaleđu (ne više od  $10^\circ$ ) može se također koristiti prethodni dijagram, ali je potrebno izvršiti popravak visine kosine H i dobiti računsku vrijednosti H'.

Za taj proračun potrebno je odrediti dužinu od ruba vrha kosine prema zaleđu, B' (slika 12.5), koja ima utjecaj na stabilnost kosine. Kada se odredi B' može se odrediti i H' na način:

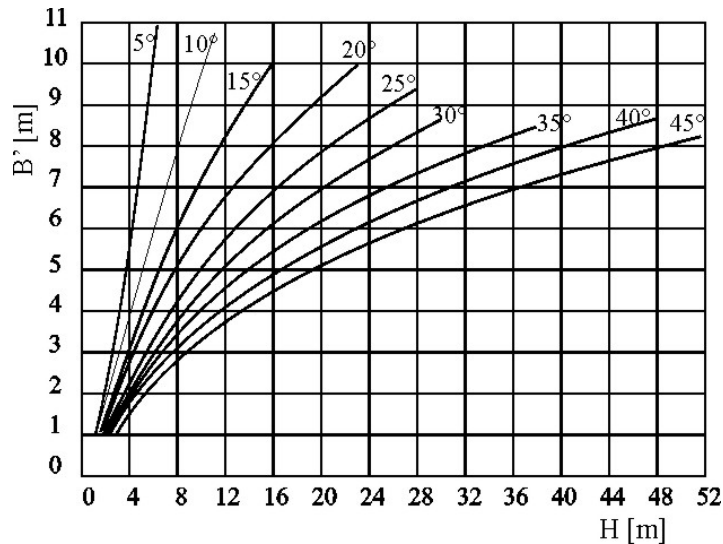
$$H + \Delta H = H + \frac{B' \operatorname{tg} \alpha}{2} \quad (12.5)$$

Na slici 12.5 su prikazane vrijednosti potrebne za proračun.



Slika 12.5 Kosina s nagibom u zaleđu

Vrijednost B' može se odrediti iz dijagrama ovisnosti visine kosine H i kuta trenja gradiva kosine phi, prikazanog familijom krivuljana slici 12.6.



Slika 12.6 Dijagram za određivanje udaljenosti B' koja ima utjecaj na stabilnosti kosine (krivulje se odnose na kut trenja phi)

S tako dobivenom novom, računskom vrijednosti kosine H, potrebno je odrediti broj stabilnosti E i ući u dijagram za određivanje najvećeg mogućeg nagiba kosine.

U literaturi je moguće naći podatke za kutove nagiba stabilnog pokosa dobivene pretežito iskustveno. Nastavno se navodi nekoliko takvih tabela.

Tabela 12.1 Kut nagiba pokosa građevne jame prema DIN 4124 (Weissenbach, 1975.)

vrsta tla	kut nagiba pokosa $\beta$ [°]	pokos 1/n
nevezano i vrlo slabo vezano tlo	45	1:1
čvrsto i polučvrsto koherentno tlo	60	1:0,58
meka stijena	80	1 : 0,18
čvrsta stijena	90	uspravno

Tabela 12.2 Ovisnost nagiba kosine usjeka o dubini usjeka i vrsti tla (Lukić, Anagnosti, 2010. )

kategorija tla prema GN 200	brzina širenja seizmičkih valova $v_p$ [km/sek]	vršni kut trenja $\varphi$ °	dubina usjeka [m]			
			<3	3-6	6-9	9-12
I	<0,2	10-15	1:2	1:3	1:4	1:5
II	0,2-0,5	15-35	1:1,75	1:2	1:3	1:4
III	0,5-1,0	35-40	1:1,5	1:2	1:1,25	1:3
IV	1,0-2,0	40-50	1:1	1:1,5	1:1,75	1:2
V	2,0-3,0	50-60	1:0,5	1:0,75	1:1	1:1
VI	>3	>60	1:0,2	1:0,2	1:0,2	1:0,2

Tabela 12.3 Određivanje nagiba kosina iskopa na temelju RQD vrijednosti (Lukić, Anagnosti, 2010. )

kategorija tla prema GN 200	RQD [%]	jednoosna čvrstoća monolita [MPa]	nagib kosine
VII	90-100	150-200	5:1-10:1 ispucala stijena 3:1
VI	70-90	80-150	5:1-10:1 ispucala stijena 3:1
V	50-75	40-80	2:1-1,5:1
IV	25-50	15-40	1,5-1:1

Tabela 12.4 Orijentacione veličine nagiba kosina usjeka i nasipa za određene vrste tla (Joksić, 1984.)

vrsta tla	svojstvo	stanje tla	prostorna težina $\gamma_{kN/m^3}$	visina nasipa [m]				dubina usjeka [m]***			
				<3	3-6	6-9	9-12	<3*	3-6	6-9	9-12
				Nagib kosine							
stijena	čvrsta			-	-	-	-	uspravan			
	trošna			-	-	-	-	2:1-5:1			
	lomljeni kamen (krupan)			1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
nevezano	lomljeni kamen (sitn)			1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5
	šljunak, krupnozrni ili pjeskoviti šljunak		21-24	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5
	krupno do srednje zrnati pijesak, bez praha, jednolik		18-21	1:1,5	1:1,5	1:1,75	1:1,75	1:1,5	1:1,5	1:1,75	1:1,75
	sitnozrni, prašinski pijesak, jednolik		17-21	1:1,5	1:1,75	1:2	1:2	1:1,5	1:1,75	1:2	1:2
vezano	prašinski pijesak, vezani			17-21	1:1,5	1:1,25	1:2,75	1:3	1:1,5	1:2	1:2
	srednje do visoko - plastični prah vezani			18-22	1:1,25**	1:2	1:2,25	1:3	1:1,25	1:1,25	1:1,75
	pjeskovita glina, vezana			18-22	1:1,25**	1:1,75	1:2	1:2,75	1:1,25	1:1,25	1:1,5
	srednjeplastična glina, vezana			17-23	1:1,25**	1:1,75	1:1,25	1:3	1:1,25	1:1,5	1:1,75
	visokoplastična glina			17-23	1:1,25**	1:1,75	1:3	1:4	1:1,25	1:1,25	1:2

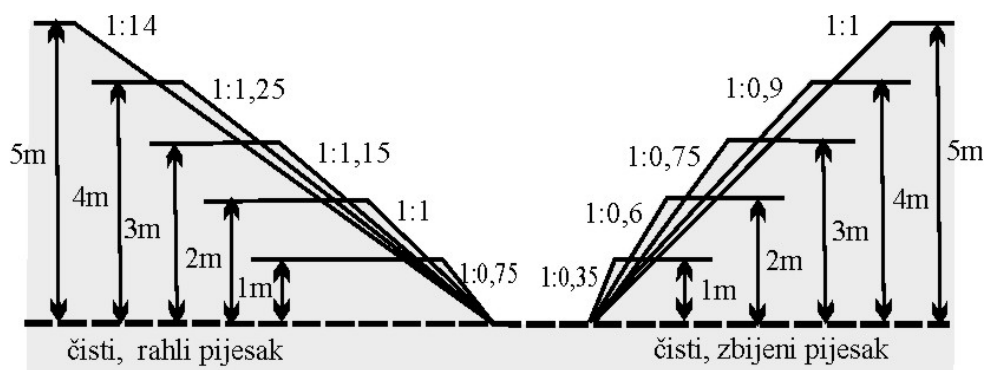
Napomena: \*pri manjim dubinama usjeka od 2 m, ako je moguće, zbog estetskih razloga treba primijeniti nagib kosine od 1:2,5

\*\*ako to ne izaziva znatnije prekoračenje troškova, poželjno je da nagib kosine bude 1:1,5

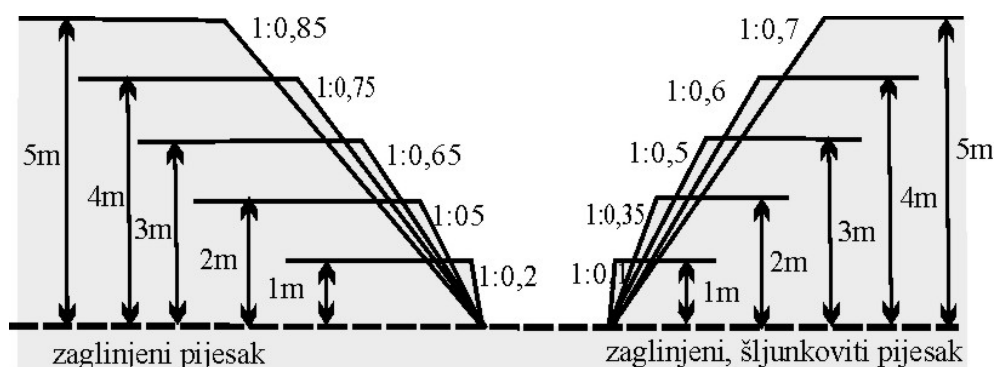
\*\*\* gornji rubovi usjeka su zaobljeni

Osim tabelarnih podataka, može se u literaturi naći i grafičkih prikaza nagiba pokosa usjeka i nasipa, ovisno o vrstama tla, dobivenih na temelju iskustva.

Na crtežima 12.7 i 12.8 prikazani su nagibi pokosa iskopa u nekoherentnim i slabo vezanim tlima ovisno o njihovim svojstvima i dubini iskopa prema preporukama Bellina (1951.)



Slika 12.7 Nagibi pokosa iskopa u čistim, nevezanim tlima



Slika 12.8 Nagibi pokosa iskopa u miješanim tlima (Bellina, 1951.)

Za jednostavne kosine iskopa u stijenskim masama postoje dijagrami za određivanje nagiba u ovisnosti o visini kosine  $H$ , jednoosne čvrstoće uzorka monolita  $\sigma_{ci}$  (izraženih preko broja stabilnosti  $N = \sigma_{ci} / \gamma H$ ) i GSI (Geological Strength Index) geološkog indeksa čvrstoće. GSI se dobije bodovanjem iz podataka dobivenim geološkim istražnim radovima. (Hoek, Bray, 2001.).

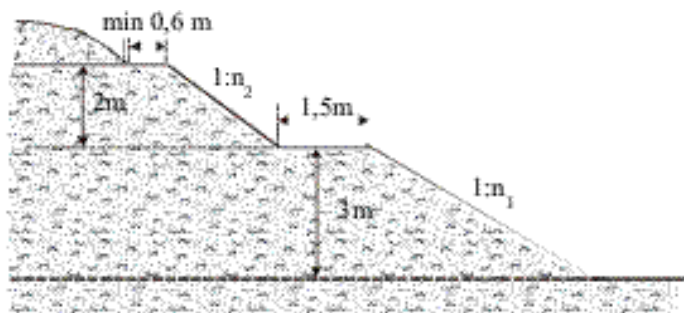
Kada iskop po visini obuhvaća dva ili više slojeva kvartarnih naslaga, različitih svojstava, potrebno je prilagoditi kosinu iskopa svojstvima tla kako je to prikazano na slici koja 12.9.



Slika 12.9 Iskopi promjenjivih nagiba pokosa u tlu različitih svojstava, lijevi i u sredini i u homogenom tlu, desno

U homogenom tlu može se stabilnost pokosa osigurati promjenjivim nagibom kosine po visini kako je to pokazano na slici 12.9 desno.

Kosine veće visine, u nekoherentnim tlima, mogu se izvoditi s bermom kao na slici 12.10.



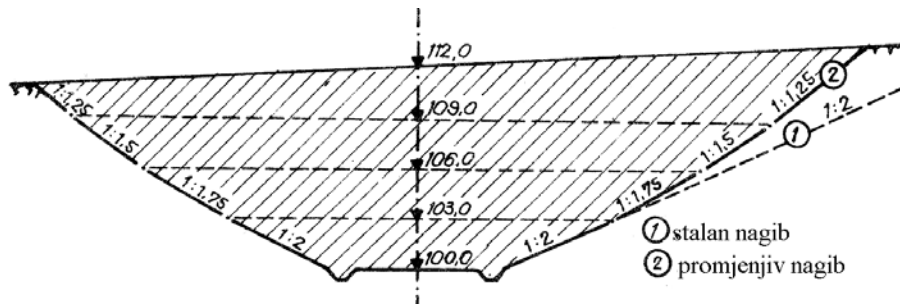
Slika 12.10 Iskopina slobodnom prostoru, većih dubina, suhi s bermom

Berma služi za prekid nagiba kosine. Ona smanjuje nagib kosine ukupne visine, a ujedno često služi i kao put između dna iskopa i okolnog terena. Pritom treba voditi računa da:

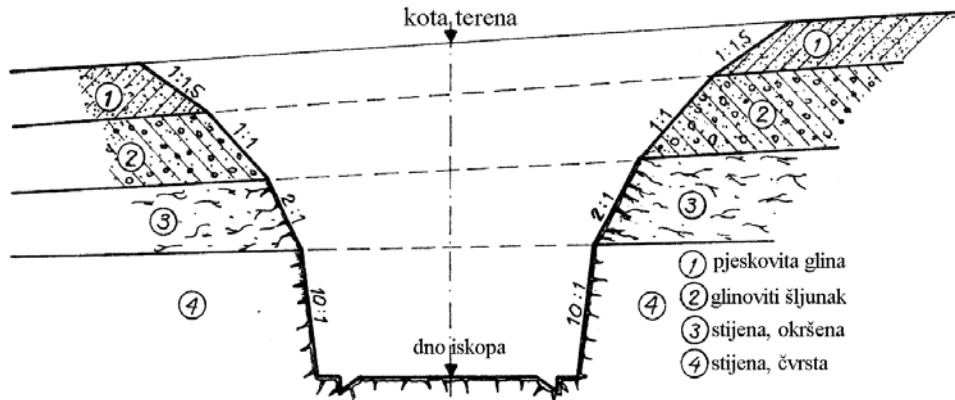
- odloženo iskopano tlo treba odmaknuti od ruba iskopa za barem 0,6 m, kako ne bi djelovao kao dodatni teret na vrhu kosine i kako bi se osiguralo slobodno kretanje uz rub;
- berma treba biti širine najmanje 1,5 m, da bi djelovala kao prekid pokosa; pokosi se tada mogu odrediti za visinu od dna iskopa do berme i od berme do berme, ako ih ima više od jedne.

U nekoherentnim tlima kosine treba dimenzionirati tako da zadovolje uvjete stabilnosti, uporabivosti i projektne trajnosti.

Približne nagibe kosina usjeka može se odabrati prema podacima sa crteža koji slijede (Joksić, 1984.)



Slika 12.11 Promjena nagiba usjeka s visinom

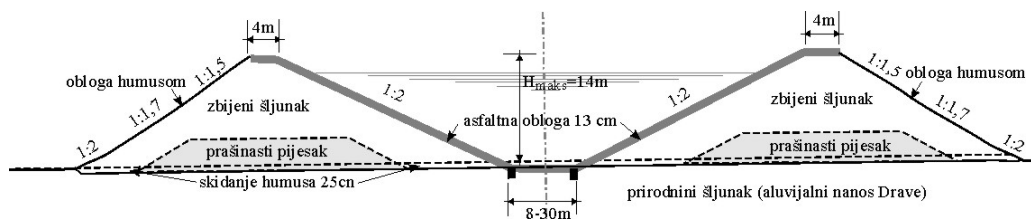


Slika 12.12 Nagib kosina usjeka prilagođen vrsti tla

## 12.2 NAGIBI POKOSA USJEKA I NASIPA KOD HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA

Prikazati će se nagibi pokosa usjeka i nasipa kod različitih hidrotehničkih građevina koje su izvedene i trenutno su u funkciji. (Müller, 1974.)

HE Varaždin, dovodni i odvodni kanal. HE Varaždin je jedna u nizu protočnih hidroelektrana na rijeci Dravi. Dovodni kanal izveden je u nasipima, a odvodni u usjeku. Na taj je način povećan pad koji koristi hidroelektrana.

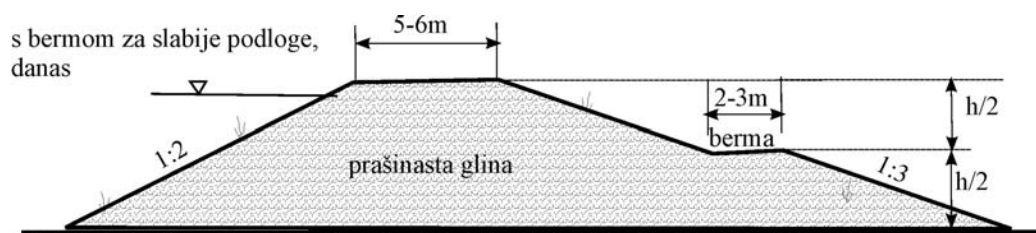


Slika 12.13 HE Varaždin, dovodni kanal

Uočljiv je promjenjivi nagib zračnih pokosa obaju nasipa. Vododrživost je postignuta asfaltnim ekranom u kanalu.





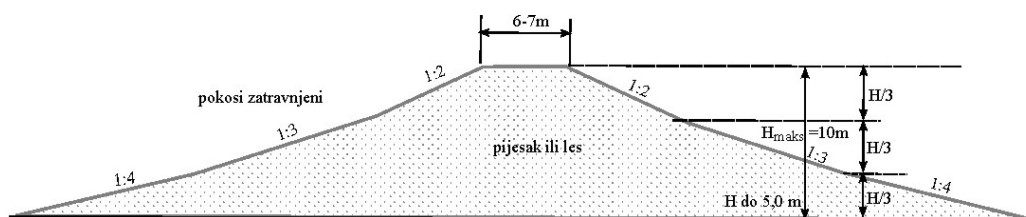


Slika 12.18 Savski nasip s bankinom

Berma kod gornjeg nasipa služi za stabilizaciju podnožičnog sloma tla kada je podloga nasipa loša.

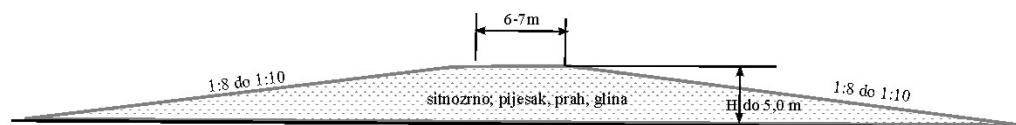
#### Nasipi na Dunavu

U nastavku su prikazani poprečni presjeci nasipa na rijeci Dunav u srednjem toku kroz Mađarsku i kroz Hrvatsku.



Slika 12.19 Nasip za regulaciju rijeke Dunav kroz Mađarsku

Na dunavskom nasipu kroz Mađarsku uočljivi su promjenjivi nagibi pokosa na zračnoj i vodenoj strani.



Slika 12.20 Dunavski nasip kroz Hrvatsku, izrazito blagih nagiba pokosa

Pokosi nasipa uz Dunav u Hrvatskoj su izrazito blagih nagiba, što nije vezano za potrebe stabilnosti već iz nekih drugih razloga.

## 13 ZAŠTITA OD OBORINSKE I PODZEMNE VODE

### 13.1 OPĆENITO

Gradilište je prostor koji mora biti suh. Pozajmište je prostor koji mora biti zaštićen od utjecaja vode, da bi se mogao nesmetano koristiti. Usjeci i zasjeci su udubine u tlu iz kojih voda ne može uvijek gravitaciono isteći. Posteljica, na koju dolazi kolnik kao i nasipi, se tijekom izvedbe moraju pažljivo štititi od vode da ih ne raskvasi. Vlažnost mora biti u granicama propisane. Iz tog razloga potrebno je svim ovim građevinskim zahvatima osigurati dobru odvodnju.

Kod prometnica se razlikuje zaštita od vode za vrijeme građenja i trajna zaštita od vode u tijeku korištenja građevine. Zaštita od vode u tijeku korištenja građevine je sastavni dio glavnog i izvedbenog projekta prometnice.

OTU u knjizi 2, poglavlje 3, posvećuje posebnu pažnju odvodnji prometnica, ali to nije jedina potreba za odvodnjom u zemljanim radovima.

Ta se potreba javlja kod svih značajnih iskopa koji tvore ono što se jednim imenom može nazvati „građevna jama“.

I samo izvođenje pojedinih sastavnica u sustavu odvodnje, zahtijeva značajne iskope i sve daljnje radnje koje se inače javljaju kod iskopa (odvoz, odlaganje i slično).

Svaku odvodnju je moguće izvesti pomoću SAKUPLJAČA VODE koji ju odvede do mjesta na kojem postoji prostor za prikupljanje ove vode, a koji se povremeno ili stalno prazni. Pod tim se podrazumijeva sustav kanala i/ili cijevi, koji imaju blagi pad dna prema lokalnom recipijentu ili najnižem mjestu unutar građevne jame. Ako se voda ne može odvesti gravitaciono, izbacuje se povremeno ili stalno crpkama.

Kada se ne može spriječiti dotok vanjske vode, veće količine kiše i stalni dotok podzemne vode na gradilište, potrebno je osigurati CRPNU STANICU. Koristi se za trajno crpljenje vode kada nema mogućnosti njenog gravitacionog odvođenja. Nužno je imati rezervni pogon i rezervne crpke da se gradilište osigura od poplave i u najsloženijim situacijama.

Pri određenim geološko – geotehničkim uvjetima u tlu, može se voda iz zatvorenog prostora gradilišta upuštati u UPOJNI BUNAR. Upojni bunar je bušotina na najnižoj točki gradilišta, u koju se dovodi voda i upušta u dublje slojeve tla kada je podzemna

voda duboko, voda koja se odvodi ne sadrži tvari štetne po okoliš, a tlo dovoljno propusno.

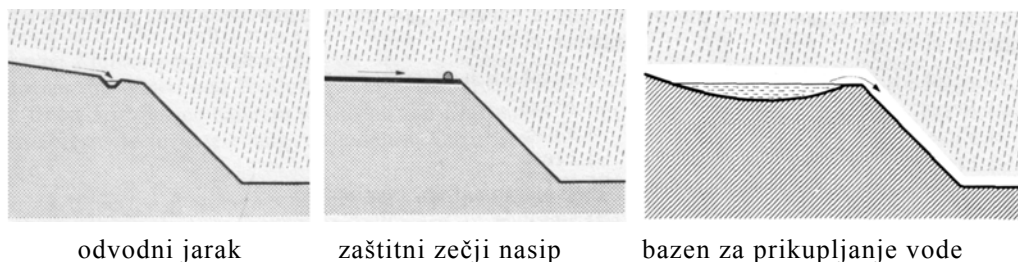
Zaštita od utjecaja vode može biti privremena, dok se ne završe radovi i ne uredi trajna odvodnja i može biti povremena, najčešće kada je svaka druga odvodnja riješena nekim sustavom, a gradilište treba štititi isključivo od vlastite vode pri jakim pljuskovima kada ono predstavlja zatvoreni prostor bez mogućnosti gravitacionog otjecanja kišnice.

### 13.1.1 Zaštita od oborinske vode

Svako gradilište je potrebno osigurati od vanjske i vlastite oborinske vode. Razina osiguranja od oborinske vode ovisi o režimu kiša u području gradilišta, godišnjem dobu, razini podzemne vode, konfiguraciji okolnog terena i slično. Za velika gradilišta potrebno je kako za vanjske tako i za vlastite vode izraditi hidrološku analizu projektiranih pljuskova. Temeljem takvih podataka dimenzioniraju se uređaji za zahvat i odvodnju ovih voda.

#### 13.1.1.1 Zaštita od vanjske oborinske vode

Ova zaštita se mora provesti tako da spriječi dotok vanjske vode na gradilište. To se postiže izradom odvodnih jaraka, kanala i/ili bazena uz rub gradilišta. Zahvaćena voda odvodi se u prirodni recipijent ili u najbližu kanalizaciju. Na slici 13.1 prikazano je nekoliko primjera vanjske odvodnje oborinske vode.

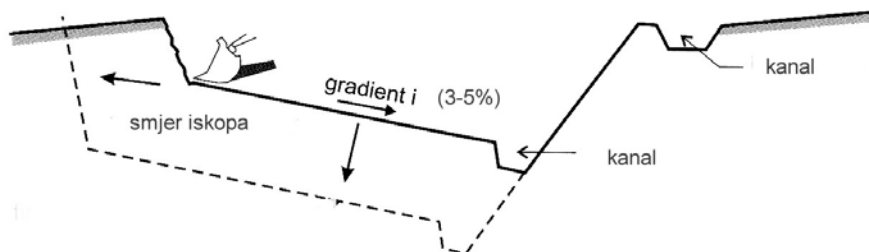


Slika 13.1 Zaštita gradilišta od vanjske, oborinske vode (Weissenbach, 1975.)

OTU predviđa privremenu i trajnu odvodnju izvedbom:

- odvodni jarak bez obloge.
- odvodni jarak obložen betonom-monolitno
- odvodni jarak obložen betonom-montažno
- odvodni jarak obložen kamenom
- odvodni jarak obložen busenom

Na slici 13.2 prikazan je način odvodnje vanjskih i vlastitih voda radilišta kod širokog iskopa a na slici 13.3 sustav kanala, pad dna i položaj bunara za odvodnju gradilišta kod kojeg nema mogućnosti odvodnje vode gravitacijom.



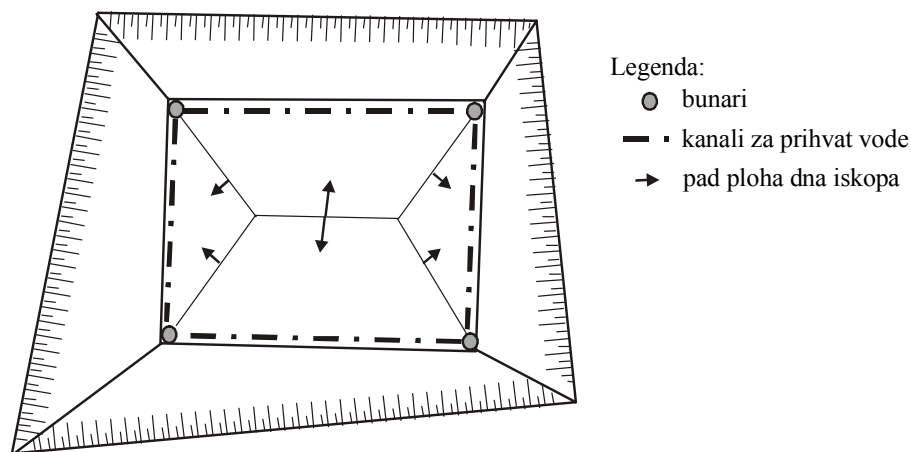
Slika 13.2 Odvodnja vanjskih i oborinskih voda gradilišta i pozajmišta

Kod prometnica, gdje se smjenjuju usjeci i nasipi, potrebno je usjeke trajno štititi od vanjske oborinske vode. Zbog toga se na višoj strani padine izvode zaštitni jarci (slika 13. 1) kao trajna zaštita od vanjskih oborinskih voda.

#### 13.1.1.2 Zaštita od vlastite oborinske vode

Bitna je razlika u zaštiti radilišta koje se može odvodniti gravitaciono i iz kojih se voda mora crpiti.

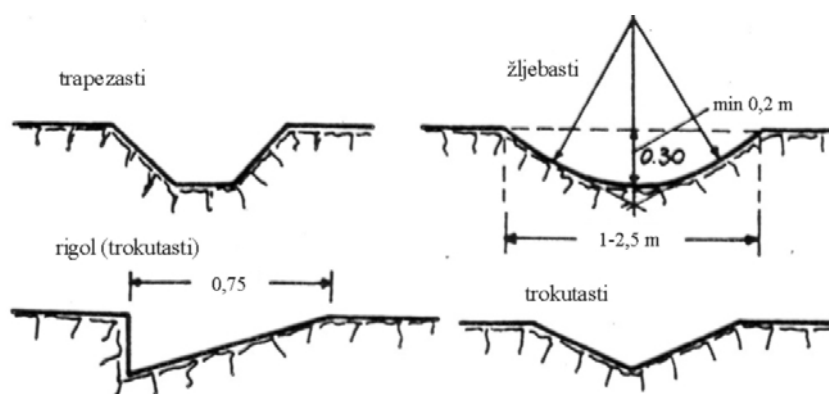
Uski kanali štite se na način da se izvode u uzdužnom padu. Na najnižoj točki izvodi se privremeni bunar iz kojeg se može iscrpiti prikupljena kišnica. Napredovanjem radova pomiče se privremeni bunar te na taj način rov uvijek ostaje suh. Iscrpljena se voda odvodi u obližnji recipijent ili najbližu kanalizaciju.



Slika 13.3 Shema odvodnje oborinskih voda kada nema mogućnosti prirodnog otjecanja

Gradilište zatvorenog oboda, velikih tlocrtnih površina, potrebno je pažljivo i kontrolirano odvodniti od vlastitih oborinskih voda. Temeljem hidroloških podloga potrebno je odrediti razinu zaštite građevne jame (100 godišnje, 200 godišnje ili 500 godišnje povratno razdoblje projektiranog pljuska), a temeljem toga broj bunara (i crpki) iz kojih će se crpiti voda. U tu se svrhu dno izvodi u blagim padovima prema određenim mjestima na kojima se nalaze stalni bunari iz kojih se crpi nakupljena voda. U bunare se ugrađuju automatske crpke, koje rade neprekidno. Pretpostavlja se neprekidna opskrba gradilišta potrebnom energijom za rad crpki i automatike. Odvodnja se projektira s dvostrukim osiguranjem tj. svaka crpka mora imati zamjenu u slučaju kvara. Voda se odvodi u recipijent ili najbližu kanalizaciju.

Kod gradilišta koja se mogu odvodniti gravitaciono, što je najčešći slučaj kod trasa prometnica, izvode se odvodni jarci, prema OTU. Odvodni jarci mogu biti površinski i ukopani u tlo; ovisno o vrsti tla, mogu biti bez obloge kao na slici 13.4 ili obloženi na razne načine (slika 13.5)



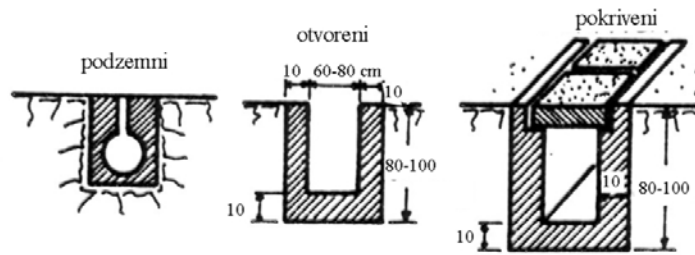
Slika 13.4 Otvoreni jarci za odvodnju

Pad im mora biti ili takav da prati pad nivelete ili od 0,5-3%. Ako im nagib mora biti veći od 10% potrebno je izvesti stepenice za smanjenje pada.

Pri izgradnji prometnica, neki jarci za odvodnju odmah se izvode za konačnu namjenu tj. za odvodnju u tijeku korištenje građevine a ujedno služe i za odvodnju samog radilišta. To su podzemni jarci raznih oblika, izvedeni monolitno ili montažno u betonu.

Rigoli se izvode u usjecima i zasjecima uz nožicu kosine. Prema njima je nagnut pad posteljice, a oni nagibom prate niveletu.

Na slici 13.6 prikazano je nekoliko rigola bez i sa oblogom.



Slika 13.5 Ukopani jarci za odvodnju s oblogom



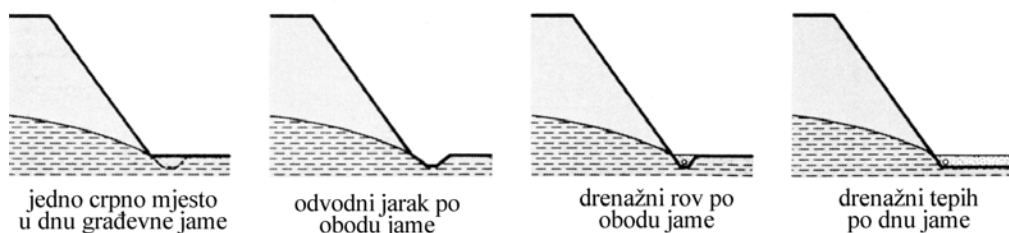
Slika 13.6 Rigoli u nožici pokosa usjeka ili zasjeka

Rigoli vodu odvede do najniže točke, na kojoj se nalazi propust kroz trup prometnice. Propustima se voda prevodi niz padinu u prirodni recipijent. Propusti su betonske građevine, otvora manjeg od 5,0 m.

### 13.1.2 Zaštita od podzemne vode

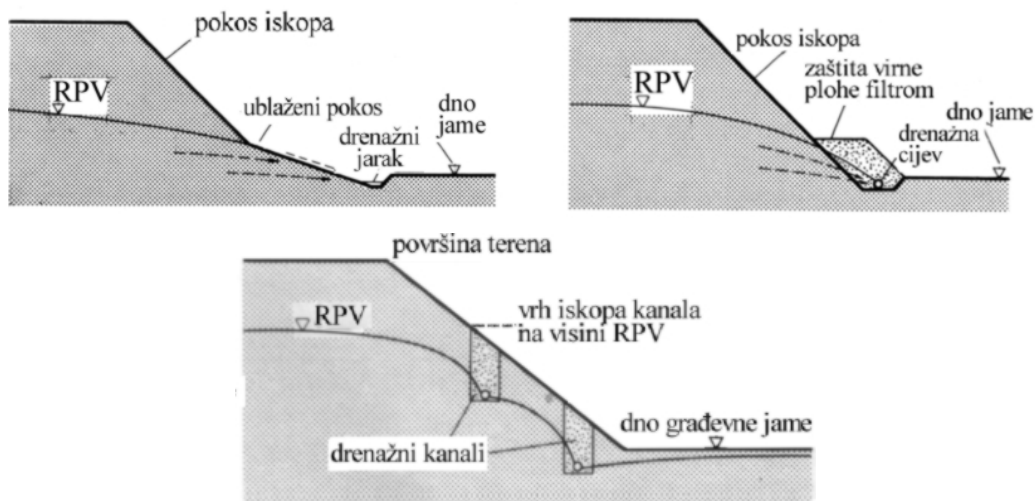
#### 13.1.2.1 Odvodnja iz jame

Voda se može prikupljati unutar gradilišta, u građevnoj jami, a iz nje odvoditi na jedno crpno mjesto padom dna, odvodnim jarcima, obodnim drenažnim rovovima ili drenažnim tepihom i padom dna iskopa ispod tepiha. Iz crpnog mjesta (bunara) voda se, ovisno o dotoku, crpi povremeno ili stalno i odvodi u recipijent. To može biti vodotok, kanalizacija, upojni bunar ili nešto drugo prikladno za prihvatanje vode s prostora gradilišta. Na slici 13.7 prikazane su navedene mogućnosti prikupljanja vode.



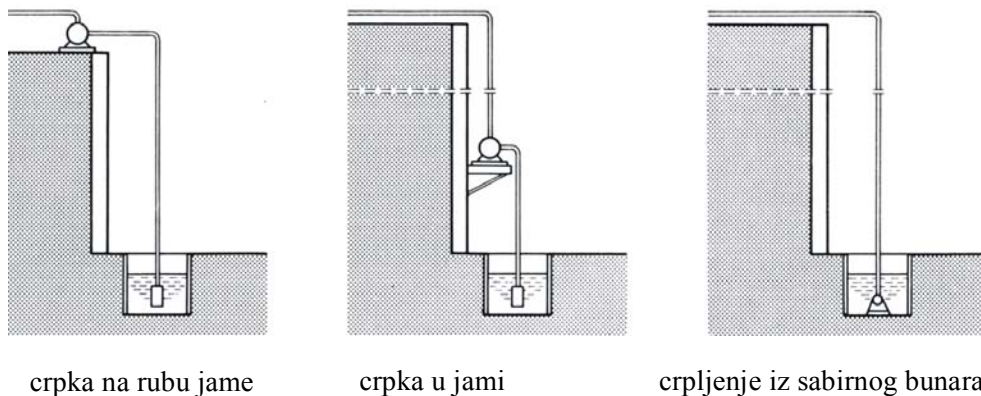
Slika 13.7 Odvodnja procjedne podzemne vode iz građevne jame

Pri ovakvoj odvodnji podzemne vode, potrebno je osigurati da ne dođe do hidrauličkog sloma na virnoj plohi. Na slici 13.8 prikazana su tri moguća detalja zaštite pokosa iskopa, u tlima osjetljivim na djelovanje vode, od oštećenja procjeđivanjem u nožici kosine, kod načina odvodnje prikazanih na slici 13.7 (Weissenbach, 1975.).



Slika 13.8 Detalji zaštite pokosa pri odvodnji procjedne vode iz građevne jame

Kada se podzemna voda crpi iz građevne jame, potrebno je, sabirne jarke i drenove, padovima prilagoditi tako da se voda prikuplja na mjestima iz kojih se crpi. Dno jame treba izvoditi u padu slično kao na slici 13.3, tako da ima pad prema sabirnim kanalima. U nekim se slučajevima izvode provizorne sabirne jame koje se povremeno premještaju, tako da ne smetaju radovima.



Slika 13.9 Mogući položaj crpki za crpljenje vode s gradilišta bez prirodnog otjecanja



Crpljenje se može izvoditi stalno ili povremeno ovisno o veličini dotoka, veličini površine koja se odvodnjava, vrsti temeljnog tla i osjetljivosti radova na pojavu vode. Na slici 13.9 prikazani su mogući položaji crpki pri crpljenju kada nema gravitacionog otjecanja s radilišta (služi pri odvodnji bilo koje vode, oborinske, procjedne ).

Može se dogoditi da ovakvo crpljenje treba održavati stalno i po završetku građevine, odnosno dokle god je građevina u upotrebi. Razlozi za takvu potrebu su vrlo različiti. Na primjer, sprječavanje plavljenja najnižih, podrumskih prostorija; smanjenje uzgona na građevinu, trajno ili u nekoj fazi korištenja i slično.

Kod viših razina podzemne vode u odnosu na dno gradilišta i kod većih dotoka, prikladnije je sniziti razinu podzemne vode izvan prostora gradilišta.

#### 13.1.2.2 Vodoravne drenaže

Kada nije moguće zaštititi pokos od erozije uslijed procjeđivanja, a ima dovoljno prostora, drenaža se može izvoditi izvan prostora gradilišta. Položaj drenažnih rovova ovisi o hidrogeološkim prilikama na gradilištu. Vodoravne drenaže se izvode za manja sniženja razine podzemne vode koja se nalazi u sloju tla u kojem se nalazi i gradilište tj. kada se drenira podzemna voda sa slobodnim vodnim licem.

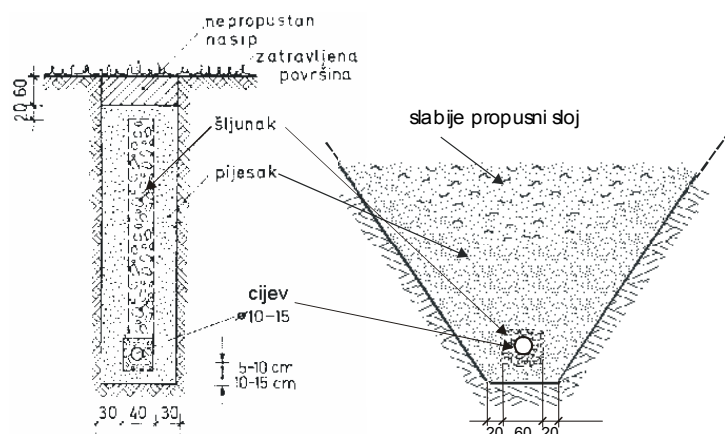
U vodoravne drenaže spadaju OTVORENI DRENAŽNI KANALI, DRENAŽNI ROVOVI punjeni drenažnim materijalom sa i bez drenažne cijevi, PODZEMNE GALERIJE – ŠTOLNE, za odvodnju oko podzemnih građevina i VODORAVNE BUŠOTINE. Katkada se vodoravne bušotine, na većim dubinama, izvode zrakasto iz bunara (reni-bunari).

Drenažni rovovi za potrebe vodoravne drenaže, mogu biti dubine do 6 m, a najviše do 8 m (Maslov i sur., 1975.). Veće dubine rovova se ne preporučuju, a u praksi su obično manje od 6 m. Plići drenažni kanali mogu se izvoditi kao otvoreni. Iskopi za drenažne rovove se mogu izvoditi s pokosima, ako nisu previše duboki i ako ima dovoljno slobodnog prostora. Ako su većih dubina izvode se kao rovovi s podgradom.

Na slici 13.10 prikazani su poprečni presjeci dva drena ispunjena filtarskim gradivom s ugrađenom cijevi.

Pad dna otvorenih kanala mora biti takav da tečenje ne erodira kanal, ali i da u njemu ne ostavlja talog. Minimalni uzdužni pad preporuča se 0,3‰, rjeđe 0,2‰. Otvoreni se kanali, ako je potrebno, mogu obložiti da bi se zaštitili od erozije. U tom je slučaju bolje izvoditi drenažne rovove. Drenažni rovovi mogu, ali i ne moraju,

imati cijev za odvod vode. Kada se očekuju manji dotoci dovoljno je umjesto cijevi ugraditi jače propusni materijal, na primjer kamen šakavac.



Slika 13.10 Poprečni presjeci drenažnih rovova

Drenažni se rovovi izvode kao i svi ostali rovovi, uz sve potrebne mjere zaštite. Na dno rova polaže se propusna posteljica. Vrsta gradiva, od kojeg će posteljica biti, ovisi o krupnoći tla u kojem se izvodi drenažni rov. Mora se poštivati filtarsko pravilo. Na posteljicu se polaže perforirana drenažna cijev.

U drenaže se ugrađuju plastične, savitljive, perforirane cijevi, koje se danas proizvode i s već navučenim filtrom od geotekstila ili kokosovog runa. Na slici 13.11 prikazane su takve drenažne cijevi.

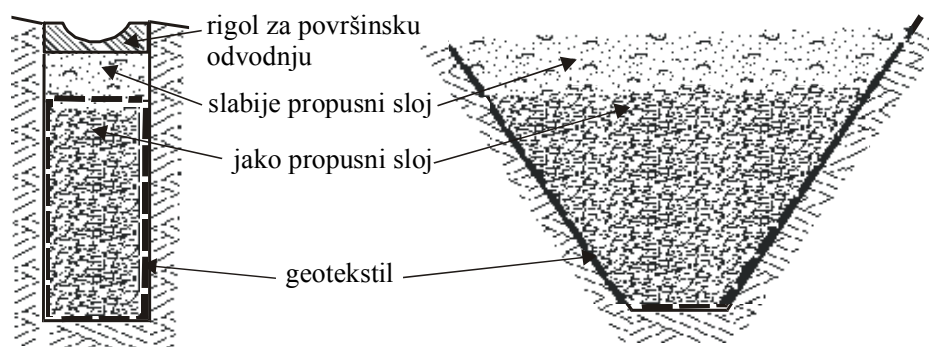


Slika 13.11 Korugirane drenažne cijevi, zaštićene runom od zamuljenja

Pojavom geotekstila, nema više potrebe ugrađivati pažljivo odabrane granulirane materijale prema filtarskom pravilu. Rovovi se mogu oblagati uz vanjski rub geotekstilom, a sredina puniti krupnim vodopropusnim gradivom. Na taj se način rovovi mogu izvoditi mnogo brže i ekonomičnije. Mogu se izvoditi sa i bez drenažne cijevi kao na slici 13.12.

Za drenažne je rovove bitno da u njih ne ulazi površinska, oborinska voda. U tu se svrhu vrhovi drenažnih rovova mogu zatvoriti glinenim čepom, a za hvatanje

oborinske vode, u glineni čep se može ugraditi predgotovljeni betonski rigol. Drenove je potrebno voditi prema mjestu na kojem se voda može površinski odvesti u recipijent ili gdje će se skupljati i odvoditi crpljenjem.



Slika 13.12 Geotekstil umjesto filtarskog sloja kod vodoravnih drenaža (bez cijevi)

Kada se kopaju rovovi s pokosom preporučljivo je kosine izvoditi s nagibima koji ovise o vrsti tla u kojem se rov izvodi, i o dubini rova. U tabeli 13.1 dane su preporuke za nagibe pokosa iskopa drenažnih rovova koji se izvode s pokosom bez podgrađivanja.

Tabela 13.1 Nagibi pokosa pri iskopu drenažnih rovova (Maslov i sur., 1975.)

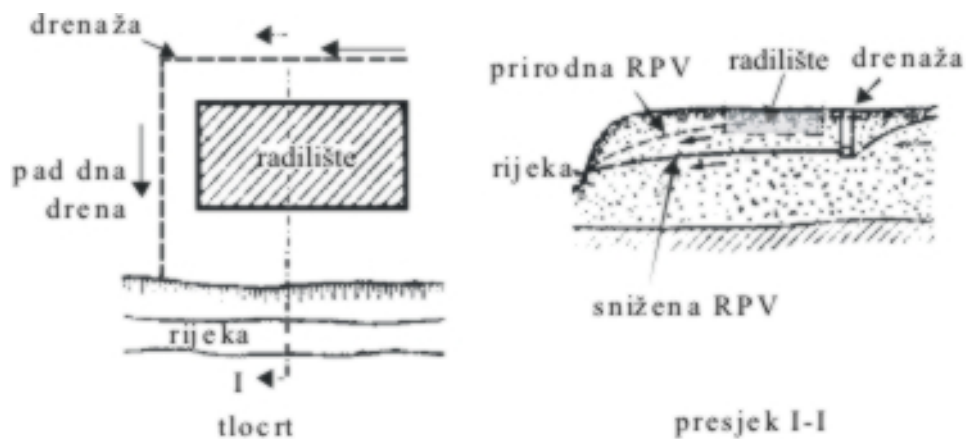
vrsta tla	nagib kosine za dubinu rova u m		
	< 1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 5,0
nasip	1:0,25	1:1	1:1,25
vlažni šljunci i pijesci ( $S_r < 1$ )	1:0,5	1:1	1:1
zaglinjeni pijesak	1:0,25	1:0,67	1:0,85
pjeskovita glina	uspravni iskop	1:0,5	1:0,75
glina	uspravni iskop	1:0,25	1:0,5
suhi les	uspravni iskop	1:0,5	1:0,5

Za dubine veće od 5,0 m potrebno je izvršiti analizu stabilnosti pokosa.

Na nekoliko slijedećih crteža prikazani su položaji vodoravnih drenažnih sustava za osiguranje gradilišta od dotoka podzemne vode. Način osiguranja gradilišta od podzemne vode vodoravnim drenažama ovisi o odnosu građevine i smjeru dotoka

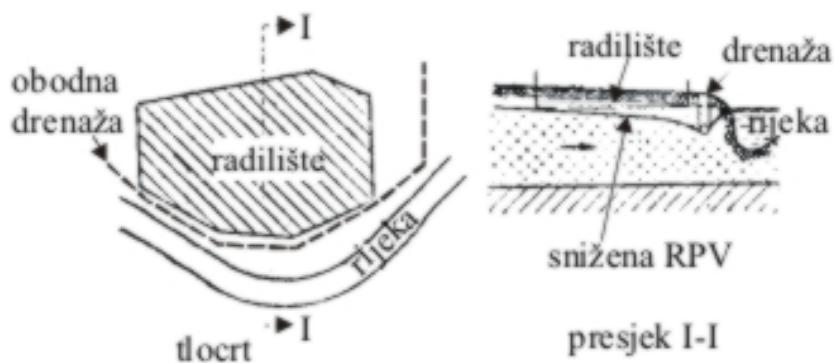
podzemne vode kao i o odnosu visina dna iskopa i razine podzemne vode (Maslov i sur. , 1975).

Na slikama 13.13 i 13.14 prikazana je obrana gradilišta koje je smješteno uz vodotok. Ovisno o odnosu razina vode u vodotoku i podzemne vode, može se vodoravna drenaža smjestiti dvojako. Zaštita samo od zaobalne vode, koristi se kada nema mogućnosti velikih oscilacija razine vode u vodotoku, a podzemna je voda visoko.



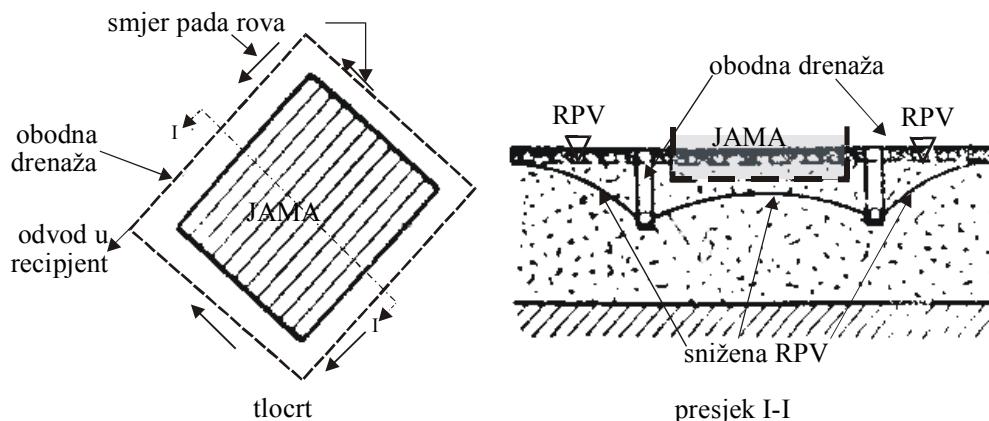
Slika 13.13 Zaštita gradilišta samo od zaobalne, podzemne vode kod malih promjena razine vode u vodotoku

Kod velikih kolebanja vode u rijeci ili velikih oscilacija plime i oseke i ustaljenog režima podzemne vode, povoljnija je priobalna drenaža.

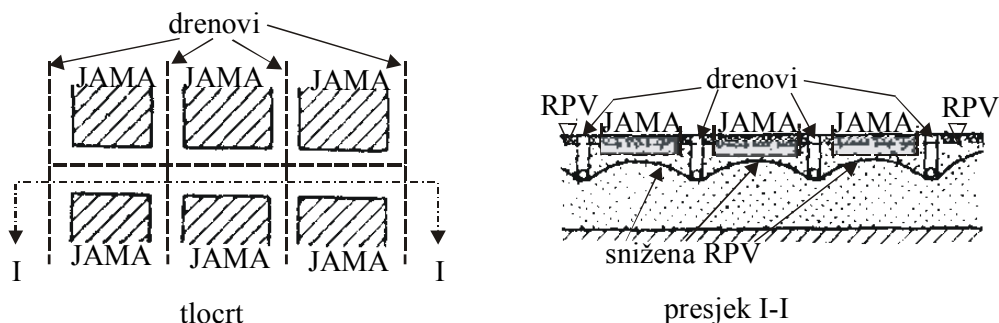


Slika 13.14 Zaštita građevne jame od priobalne podzemne vode

Za osiguranje gradilišta u području visoke podzemne vode daleko od vodotoka prikladan je način osiguranje prikazan na slikama 13.15 i 13.16.



Slika 13.15 Prstenasta drenaža za gradilišta manjih površina



Slika 13.16 Sustavna drenaža za gradilišta velikih površina s mogućnošću rada u više odvojenih polja

Za svaku od naznačenih mogućnosti dreniranja postoje u literaturi obrasci za proračun utjecaja drenova (Maslov i sur., 1975.). Da bi se mogli koristiti potrebno je izvršiti terenska i laboratorijska ispitivanja u svrhu određivanja koeficijenta propusnosti tla. Bez tog podatka proračuni nisu mogući..

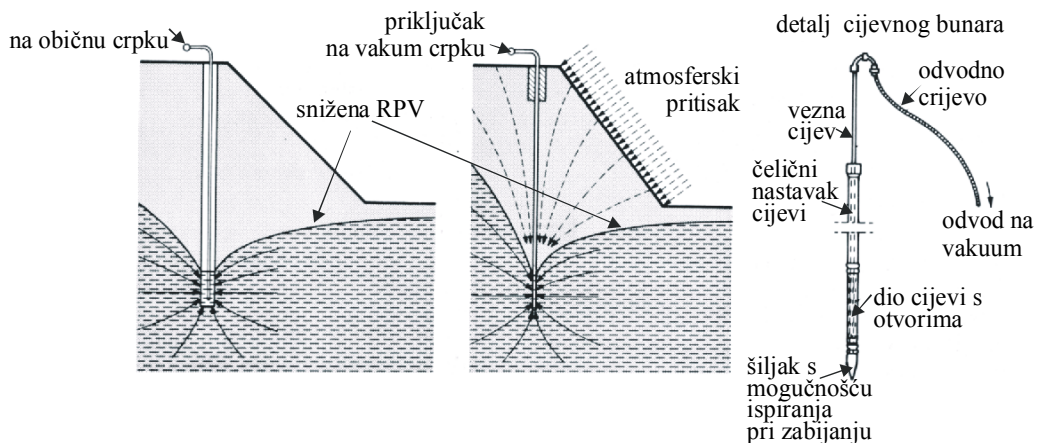
### 13.1.2.3 Uspravne drenaže

Kada nije moguće dovoljno sniziti razinu podzemne vode drenažnim rovovima, mora se primijeniti odvodnja pomoću bunara. Njihovim pravilnim razmještajem i neprekidnim crpljenjem vode, mogu se postići zadovoljavajuća sniženja podzemne vode. Postoje dvije različite vrste uspravnih drenaža.

Jedna je, snižavanje razine podzemne vode moguće je pomoću klasičnih bunara većeg promjera. Njih se može izvoditi u nizu, pravilnim i/ili nepravilnim razmacima, ovisno o potrebni sniženja razine podzemne vode i o obliku prostora koji treba

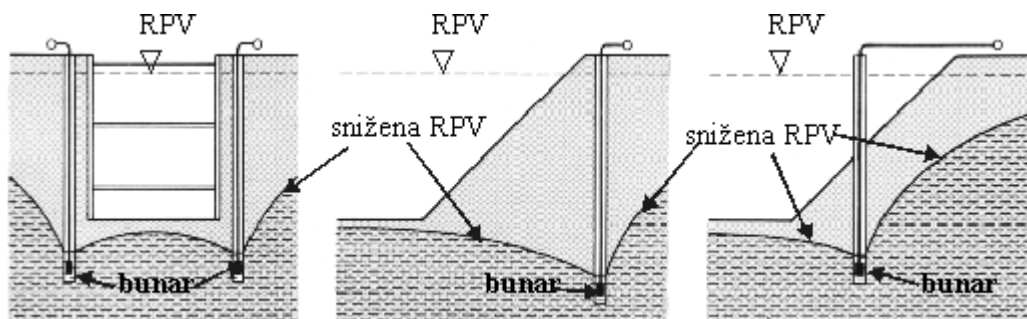
zaštiti. Drugi način snižavanja razine podzemne vode je pomoću cijevnih bunara. Vakuum u sustavu cijevnih bunara pojačava učinak dreniranja. Pomoću njih se razina podzemne vode može sniziti za 4-5 m.

Na slici 13.17 prikazan je način djelovanja bunara i cijevnih bunara kao i detalj jedne cijevi s opremom za cijevni bunar.



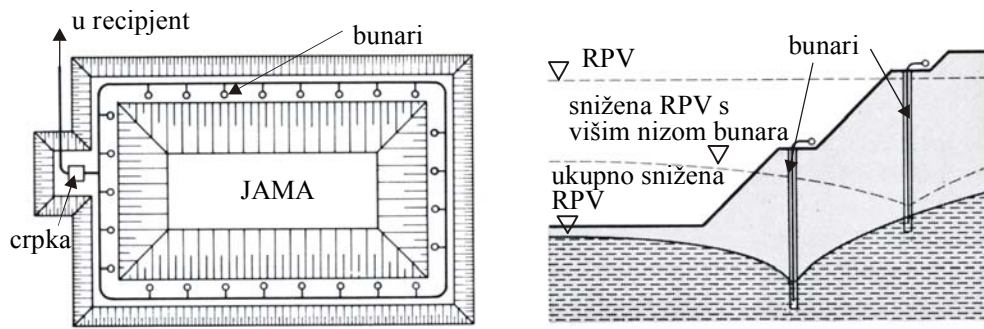
Slika 13.17 Način odvodnje pomoću bunara i pomoću sustava cijevnih bunara s detaljem jednog cijevnog bunara

Bunari i cijevni bunari mogu biti smješteni različito u odnosu na gradilište. Koriste se kod izvođenja usjeka i zasjeka s kosinama kao i kod građevnih jama s podgradom. Na slici 13.18 prikazani su poprečni presjeci s mogućim položajem bunara.

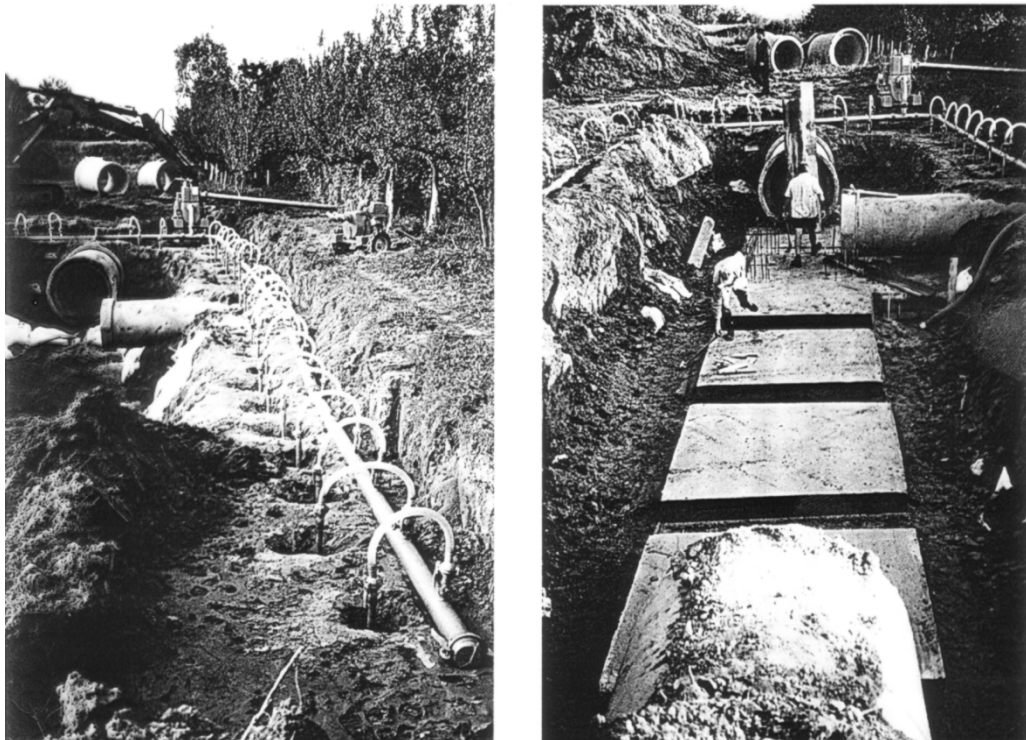


Slika 13.18 Položaj bunara za sniženje razine podzemne vode u zaleđu gradilišta

Ponekad nije moguće dovoljno sniziti razinu podzemne vode s jednim nizom bunara. Tada se bunari mogu izvoditi u dvije visine kao na slici 13.19



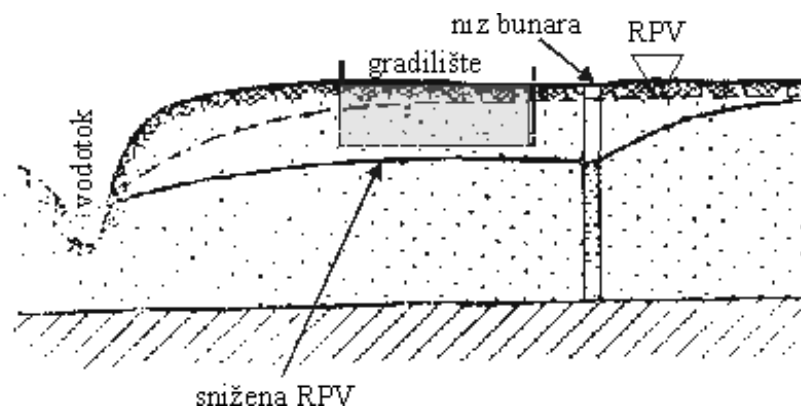
Slika 13.19 Tlocrt građevne jame s jednim redom bunara i sustav bunara u dvije visine



Slika 13.20 Zaštita usjeka za ugradnju cjevovoda s cijevnim bunarima

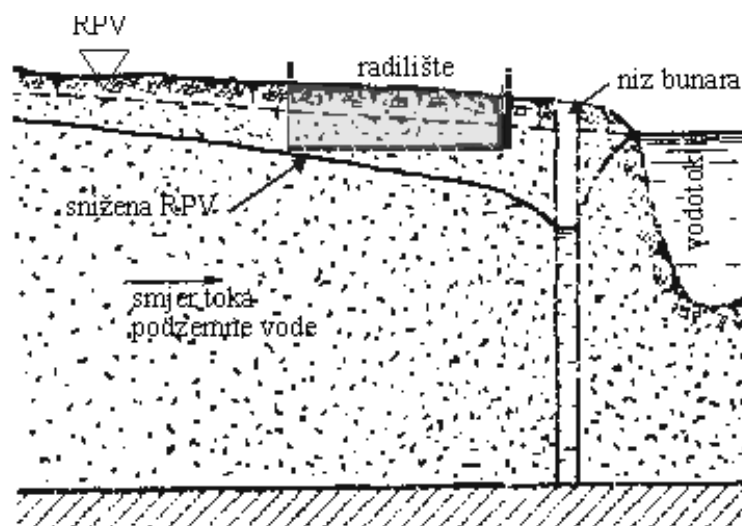
Na slikama koje slijede prikazane su mogućnosti rasporeda bunara u odnosu na gradilište u tlocrtu i poprečnom presjeku za uspravnu odvodnju (Maslov i sur., 1975.). Za svaki od ovih načina odvodnje potrebno je izvršiti proračun razmaka bunara i njihov polumjer utjecaja, kako bi se osiguralo stalno sniženje razine podzemne vode u području gradilišta na način da ona uvijek bude suha.

To ne isključuje osiguranje gradilišta od zaobalnih površinskih dotoka i odvodnju kiše s gradilišta.



Slika 13.21 Odvodnja zaobalnih voda bunarima

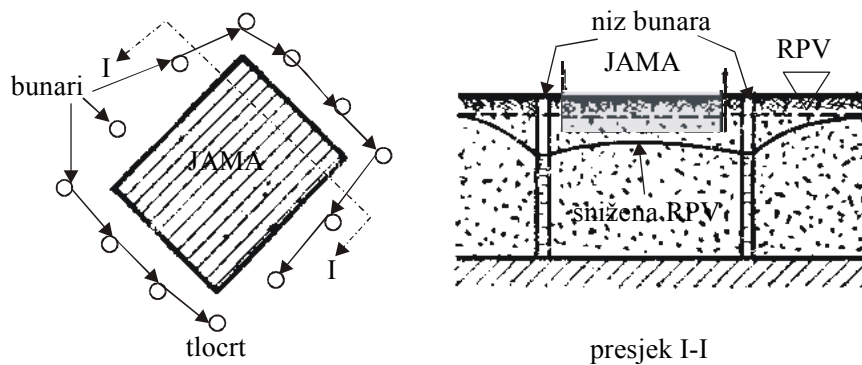
Na slici 13.22 prikazan je način zaštite gradilišta od vode iz vodotoka. Kod vodotoka koji naglo i značajno mijenjaju protok, a time i razinu vodnog lica, potrebno je prethodno izraditi hidrološku studiju vodotoka i odrediti povratno razdoblje na koje će se dimenzionirati odvodnja građevne jame. Sto postotna sigurnost nije uvijek optimalna.



Slika 13.22 Odvodnja priobalnih voda bunarima

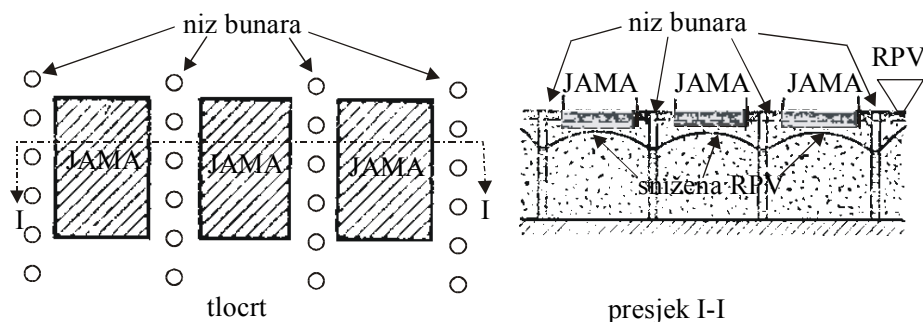
Na slici 13.23 prikazana je odvodnja prstenastim sustavom bunara izvan granica gradilišta.





Slika 13.23 Prstenasta uspravna drenaža nizom bunara

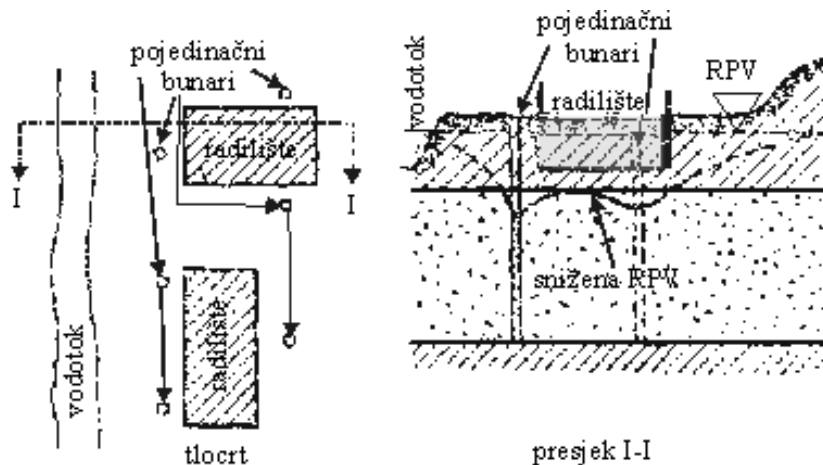
Za veće tlocrtne površine jedinstvenog gradilišta, nije moguće upotrijebiti samo jedan prsten po obodu radilišta, već je potrebno sustav bunara ugraditi unutar građevne jame. Ovakav je način odvodnje prikazan na slici 13.24.



Slika 13.24 Sustavna uspravna drenaža s nizom bunara između branjenih jama

Slično nizu bunara moguća je odvodnja pomoću cijevnih bunara, sustava iglofiltera. Oni rade na principu vakuuma. To je sustav međusobno povezanih, djelomično perforiranih cijevi zabijenih u tlo. Ugrađuje se oko prostora koji treba štiti od podzemne vode. Za veće sniženje razine podzemne vode mogu se i oni ugraditi na dvije različite visine (kao na slici 13.19) i tako postići potrebno sniženje razine podzemne vode. Cijevi cijevnih bunara su uvijek smještene na međusobno pravilnim, proračunom dokazanim udaljenostima. Sustavi cijevnih bunara se nakon korištenja vade i ponovo koriste na drugom mjestu što kod pravih bunara nije moguće.

Osim u pravilnom rasporedu, bunari mogu biti smješteni i nepravilno kada to zahtijevaju hidrogeološki uvjeti na terenu, kao na slici 13.25

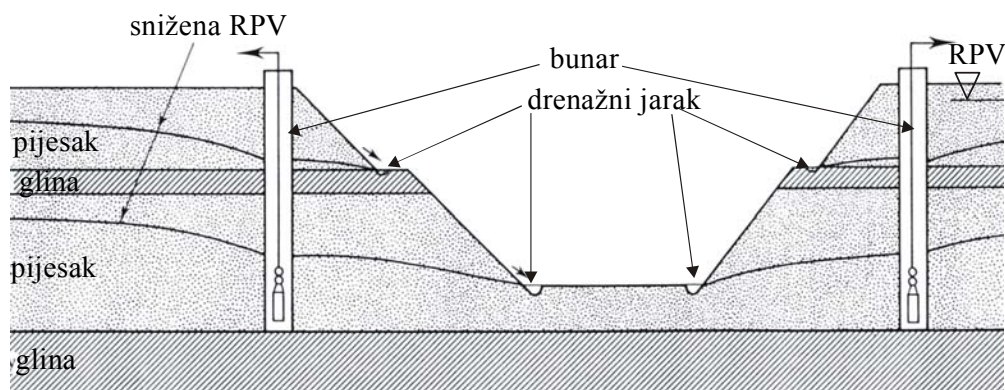


Slika 13.25 Uspravna drenaža s nepravilno raspoređenim bunarima

Ima razina podzemne vode koje nije moguće sniziti samo uspravnom drenažom. Tada se koriste kombinacije prethodnih.

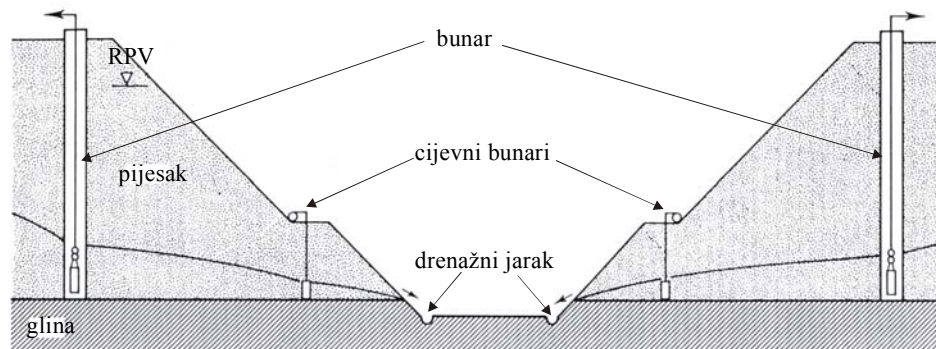
#### 13.1.2.4 Kombinirane drenaže

Ove se drenaže koriste kada je potrebno zahvatiti površinski i duboki vodonosni sloj. Mogu se kombinirati drenažni kanali i bunari, drenažni rovovi i bunari, bunari i cijevni bunari, kao i sve tri grupe zajedno. Na slici 13.26 prikazan je poprečni presjek kroz sustav bunara i odvodnih jaraka.



Slika 13.26 Kombinacija bunara i otvorenih drenažnih jaraka

Kod značajnih sniženja razine podzemne vode i značajnih dotoka zbog veće propusnosti tla, nije moguće odvodnju riješiti jednim nizom bunara. Tada se u koristi kombinacija bunara i cijevnih bunara slično kao što je to prikazano na slici 13.27.

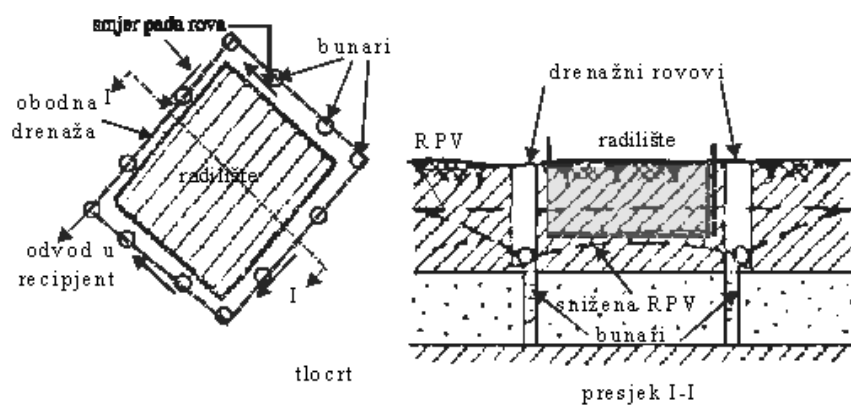


Slika 13.27 Kombinacija bunara, cijevnih bunara i otvorenih drenažnih jaraka

Ovi sustavi ovisni su o stabilnom napajanju energijom, te je stoga gradilištu potrebno osigurati ili priključak na lokalnu električnu mrežu ili napajanje osigurati sustavom agregata. Na gradilištu je potrebno osigurati dovoljan broj rezervnih crpki i pojedinačnih cijevnih bunara, da bi se moglo pravovremeno izvršiti potrebne zamjene, popravke i/ili nadopune sustava za crpljenje. O njihovoj učinkovitosti često zavisi djelotvornost i uspješnost svih radova koji su ovisni o sniženjima razine podzemne vode i održavanju radilišta suhim.

Na slijedećim crtežima prikazane su kombinacije drenažnih rovova i sustava bunara za nekoliko slučajeva kombinirane odvodnje. Ovi sustavi prihvatljivi su kada se vodonosni sloj nalazi ispod relativno slabo propusnog sloja, koji je moguće odvodniti drenažnim rovovima, dok se vodonosni sloj, koji može imati i subarteški ili čak arteški pritisak, odvodni pomoću bunara. Složenost sustava ovisi o složenosti i veličini tlocrta gradilišta.

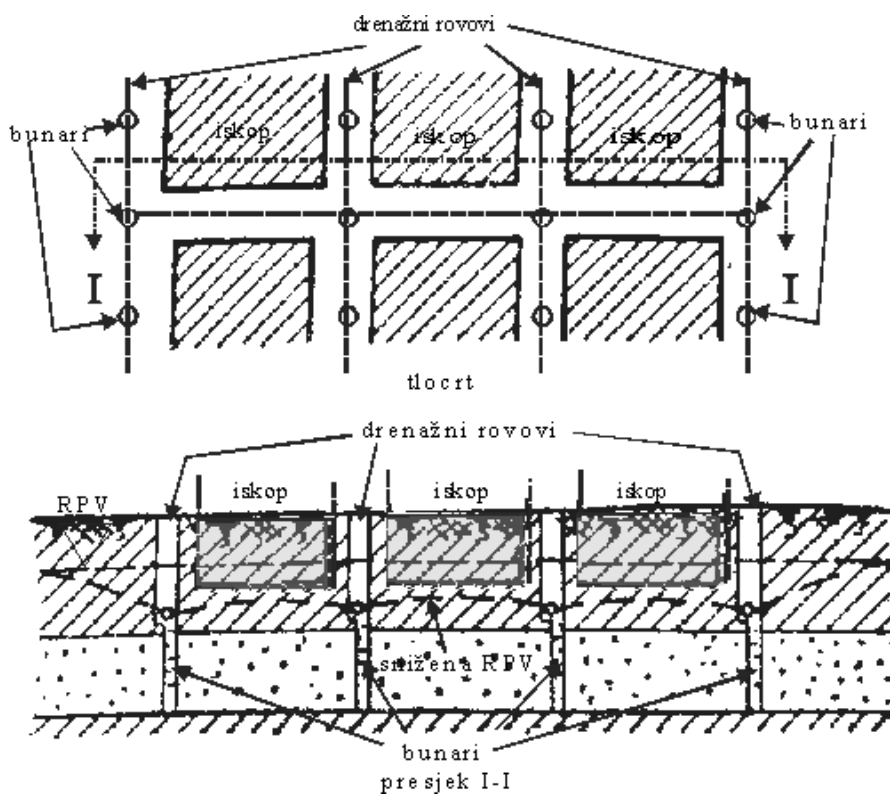
Na slici 13.28 prikazana je kombinirana odvodnja pravilnog tlocrta gradilišta manje površine, koju svojim radijusom utjecaja mogu obuhvatiti bunari po obodu tlocrta.



Slika 13.28 Složena drenaža jednostavnog tlocrta

Na slici 13.29, prikazana je odvodnja kombiniranom drenažom složenog, površinski široko rasprostranjenog tlocrta, unutar kojeg je potrebno održavati razinu podzemne vode dugotrajno ispod dna iskopa.

Na crtežima 13.28 i 13.29 prikazana je samo položajna i visinska raspodjela bunara i rovova dok način crpljenja nije određen. Crteži su preuzeti iz Maslova i sur. (1975.).



Slika 13.29 Složena kombinirana drenaža gradilišta velike površine

Kada je prostor gradilišta bez gravitacione odvodnje, vrlo slabo propustan, može se odvodnja izvesti pomoću drenažnog tepiha. Dno iskopa treba izvesti u padu prema odvodnim jarcima (kao na slici 13.3).

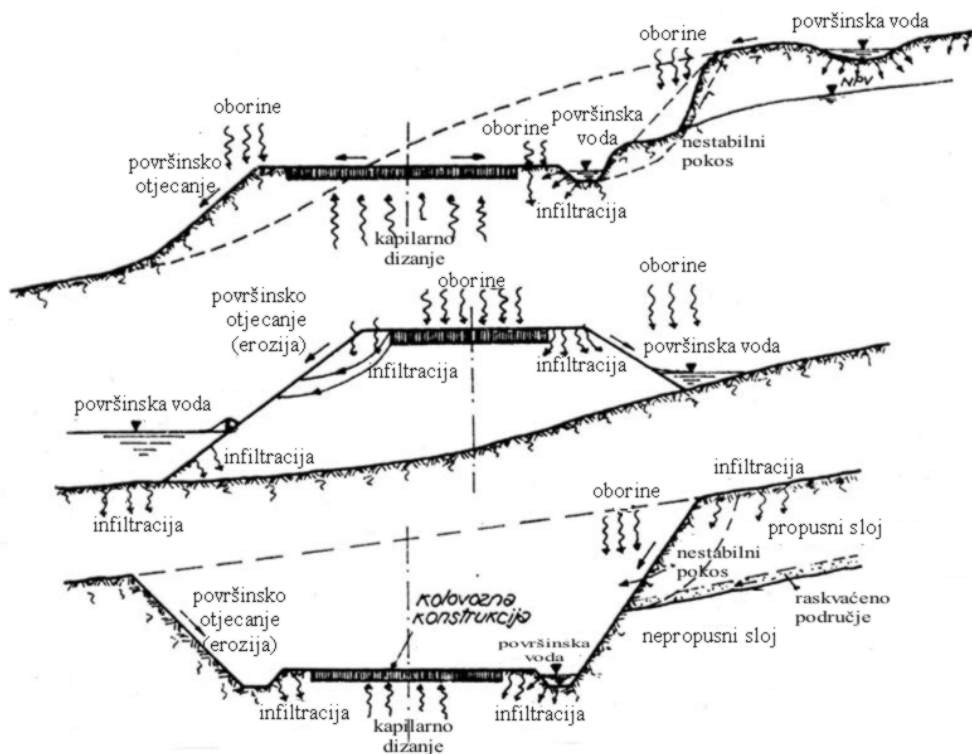
Na temeljno tlo je potrebno položiti geotekstil da ne dođe do miješanja čestica temeljnog tla i drenažnog zasipa. Geotekstil je nadomjestak za obrnuti filter koji se mora izvoditi ako nema geotekstila, da ne dođe do miješanja čestice i stavljanja drenažnog sloja van funkcije. Voda se prikuplja u jarcima sa ili bez cijevi i odvodi na sabirna mjesta – bunare, iz kojih se crpi. Ovakva se drenaža može koristiti kod malih dotoka.

## 13.2 ODVODNJA PROMETNICA

Pri izgradnji prometnica odvodnja ima vrlo značajnu ulogu kako prilikom građenja tako i u toku korištenja. Prometnice su građevine trajno izložene utjecaju oborinske, procjedne i podzemne vode.

Jedan vid utjecaja vode na prometnice, opisan je u poglavlju o utjecaju mraza.

Kosine usjeka i nasipa stalno su izložene površinskoj eroziji oborinske vode. Na slici 13.30 prikazani su najrazličitiji utjecaji vode na prometnice.



Slika 13.30 Utjecaj vode na prometnicu u tijeku izgradnje i pri korištenju

Voda je smetnja kako pri iskopu tako i pri nasipanju. Manje je smetnja u stijenskoj masi, a više u kvartarnim naslagama. Najveća je smetnja pri iskopu koherentnog i miješanog tla u pozajmištu. Tada tlo treba imati vlažnost što bližu optimalnoj i svako dodatno vlaženje je nepoželjno. Pri ugradnji tla u nasipe, opet naročito koherentnog i miješanog tla, voda mijenja vlažnost, a time i pogodnost za ugradnju.

Veliki zemljani radovi i izgradnja izduženih trasa prometnica zahtijevaju povremeno izmiještanje puteva na trasi i izvedbu putova za lokalni prijevoz. Ovi se putevi izvode kao privremeni s niskim zahtjevima za kakvoćom vozne površine. Tu

voda čini posebno velike poteškoće. Ako se zadrži na takvim kolnicima stvara se blato i kolotrazi. Zato se posebna pažnja mora posvetiti nagibima kako površina pri glavnim radovima, tako i padovima, uzdužnim i poprečnim, privremenih i gradilišnih puteva.

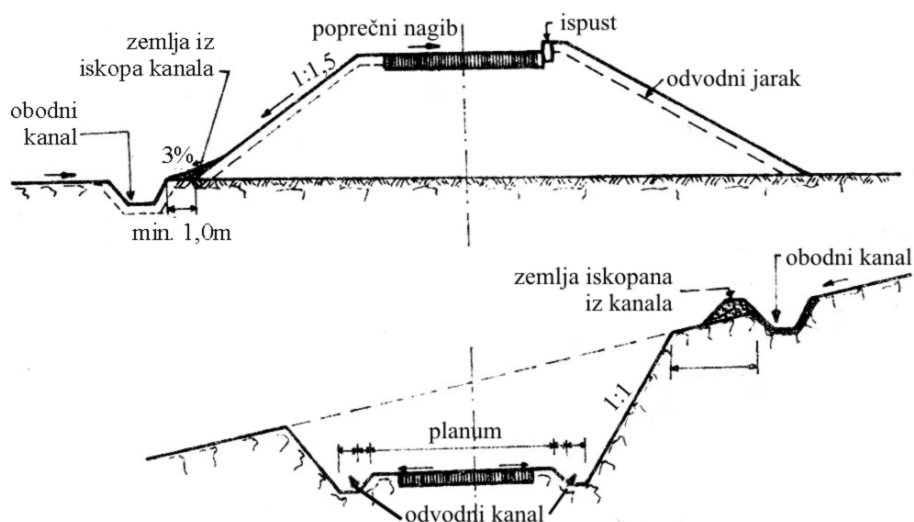
Za vrijeme korištenja prometnice voda uzrokuje:

- unutrašnju eroziju;
- površinsku eroziju na pokosima;
- smanjenje stabilnosti kosina zbog strujanja niz kosinu;
- smanjenje nosivosti zbog povećanja porednih pritisaka;
- oštećenja uslijed zamrzavanja.

Iz svih ovih razloga potrebno je kod prometnica utjecaj površinske i podzemne vode svesti na najmanju moguću mjeru.

### 13.2.1 Posebnosti površinske odvodnje kod prometnica

Prometnice su građevine kod kojih je odvodnja ključni, sastavni dio. Mora se obuhvatiti projektiranjem, izvedbom i naročito održavanjem. Na slici 13.31 prikazani su nužni dijelovi odvodnje gotovog nasipa i usjeka.



Slika 13.31 Ključni dijelovi površinske odvodnje kod prometnica

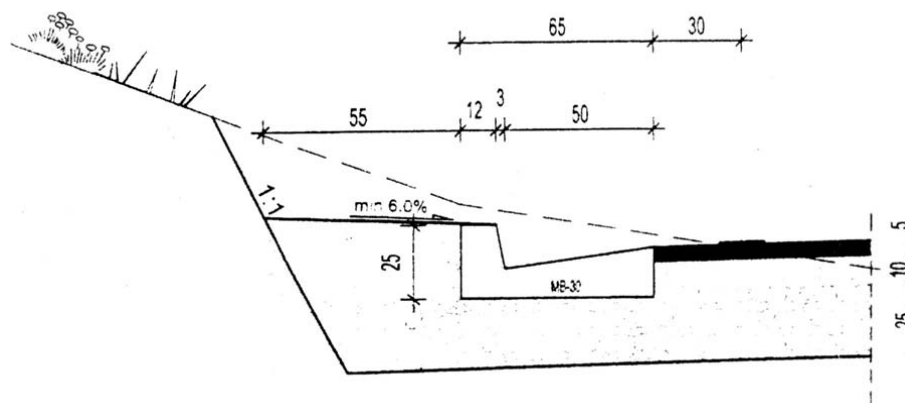
Za odvodnju površinskih voda koriste se:

- odvodni jarci (kanali);
- rigoli;

- slivnici;
- ispusti;
- propusti;
- kanalizacija i
- prirodni jarci i vodotoci.

Većina ovih elemenata odvodnje prikazana je ranije. Kao trajne građevine kanali i rigoli moraju zadovoljiti uvjet da vodu odvedu što kraćim putem, da se u njima ne taloži nanos, da se njihova površina ne erodira i da je hrapavost što manja. Odvodni kanali mogu biti površinski i podzemni kao na slikama 13.4 i 13.5.

Rigoli su prikazani na slici 13.6. Oni su samo iznimno geiz obloge. Dužina im je najviše 200 metara , a nakon toga treba izvesti slivnik i propust ili odvesti vodu u kanalizaciju.



Slika 13.32 Položaj tipskog betonskog rigola na pribrdskoj strani prometnice

Da bi se pravilno dimenzionirali jarci, kanali i rigoli, potrebno je poznavati očekivanu količinu oborine na pojedinoj dionici ka kojoj gravitira pojedina slivna površina. Za tako određenu količinu vode potrebno je dimenzionirati ili provjeriti odabrani kanal za odvodnju prema izrazu:

$$q = v_{sr} * A = A * C \sqrt{RI}; \quad C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}; \quad R = \frac{A}{O} \quad (13.1)$$

gdje je:  $q$  – protok (količina vode) koji treba propustiti kroz jarak a da ne dođe do prelijevanja, plavljenja,  $v_{sr}$  – prosječna brzina tečenja u kanalu ili jarku,  $A$  – površina korisnog poprečnog presjeka kanala ili jarka,  $O$  – omočeni obod kanala ili jarka, a  $n$  koeficijent hrapavosti.

Vrijednosti koeficijenta hrapavosti  $n$  i dopuštenih brzina tečenja u kanalima i jarcima dane su u tabelama 13.2 i 13.3.

Tabela 13.2 Koeficijenti hrapavosti  $n$

gradivo	$n$
glina	0,02
neravna stijena	0,04
beton	0,014
neravni torkret	0,019
opločenje kamenom	0,025
trava, grmlje	0,03

Tabela 13.3 Dopuštene brzine u kanalima zavisno o vrsti tla ili obloge

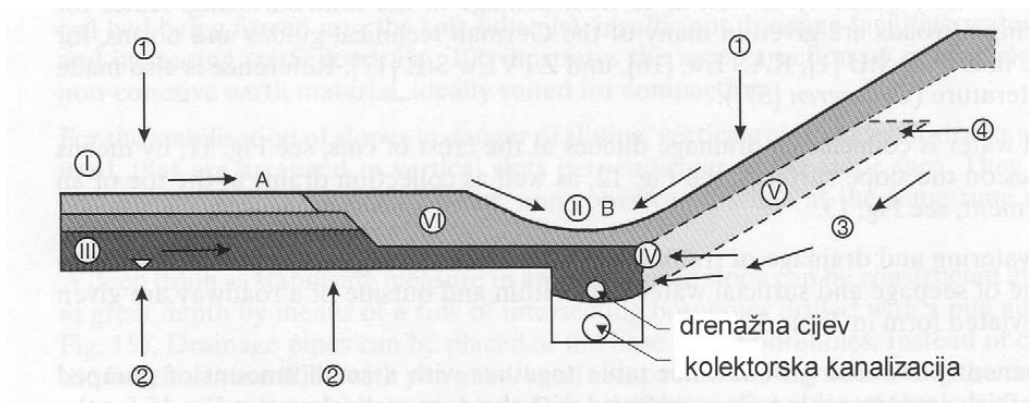
gradivo	$v_{dop}$ [m/s]
prah	0,12-0,17
pijesak, sitan	0,17-0,27
pijesak, krupan	0,27-0,53
šljunak, sitan	0,53-0,65
šljunak, krupan	0,8-0,95
opločenje kamenom	< 3

### 13.2.2 Posebnosti odvodnje podzemnih voda kod prometnica

Odvodnja podzemnih voda kod prometnica je vrlo značajna stoga što njeno prisustvo može uzrokovati znatne štete. Najvažnije je odvesti vodu iz posteljice i tamponskog sloja. Za to se koriste plitke drenaže.

Za odvodnju podzemne vode iz okoliša prometnice koriste se duboke drenaže, prikazane na slikama 13.10 i 13.12. Duboki drenovi mogu biti na površini zabrtvljeni glinenim čepom ili mogu imati ugrađeni kanal za odvod površinske vode, ovisno o njihovom položaju. Danas se za njihovu izvedbu koristi geotekstil u koji se zamata drenažna cijev i drenažni zasip. Na taj se način izbjegava mukotrpana ugradnja u slojevima prema filtarskom pravilu.





Slika 13.33 Plitka drenaža i površinska odvodnja za odvodnju prometnice

(1-oborine; 2- kapilarno dizanje; 3-tok podzemne vode; 4- procjedna voda s površine, I-nagib kolnika; II-obodni jarak; III- propusni, tamponski sloj; IV i V-prihvat procjedne vode s površine i podzemlja; VI-naboj gline ili humusa male propusnosti)

### 13.2.3 Propusti

Propusti su građevine svojstvene izduženim trasama prometnica i njihov su nezaobilazni sastavni dio. Izdužene trase prometnica razdvajaju svojim tijelom prostor u svakom smislu. Između ostalog prelaze preko vodotoka i postojećih putova. One razdvajaju životni prostor životinjama. To naročito vrijedi za moderne autoputeve. Slično se događa i kod odlagališta ako zatvore dno doline.

Velike rijeke i duboke udoline savladavaju se mostovima i vijaduktima. Manjim vodotocima i lokalnim putovima, za prolaz kroz trup prometnice služe propusti. Propustom se smatra otvor do 5.0 m raspona. Za veće raspone objekt se tretira kao most, vijadukt ili slično. Propust služi i za odvođenje vode, prikupljene u pribrežnim jarcima i kanalima, na drugu stranu trase, u jarugu ili prirodni vodotok.

Propusti mogu biti:

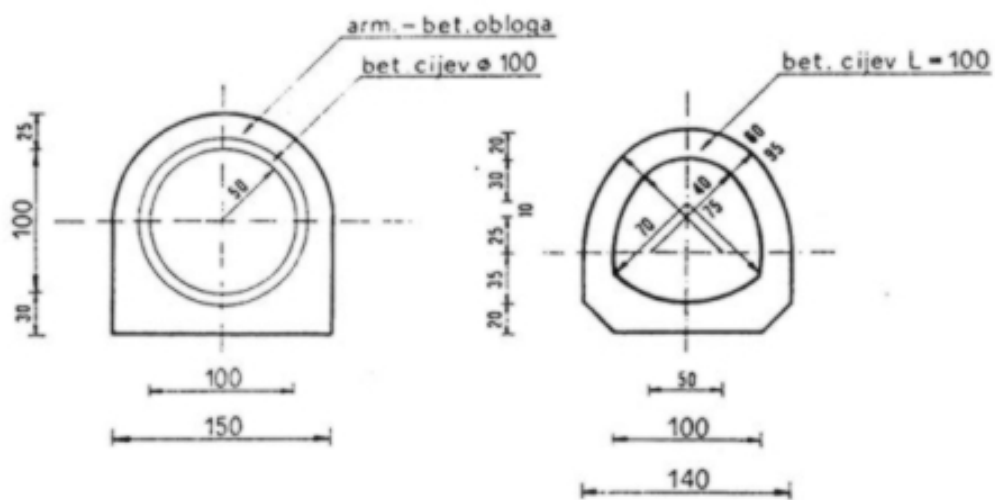
- izvedeni na licu mjesta kao: cijevni, svođeni, pločasti i okvirni;
- montažni cijevni i okvirni propusti.

Propuste treba dimenzionirati što znači da treba odrediti:

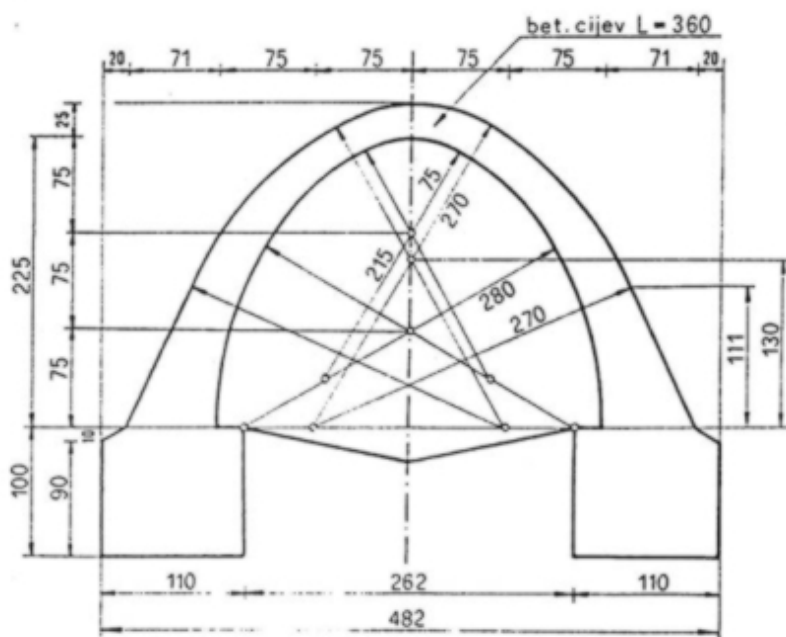
- veličinu otvora prema količini vode ( $q$  iz jednadžbe 13.1), koja se očekuje, ili potrebnoj širini prometnice;
- položaj propusta u odnosu na os prometnice;
- kote ulaza i izlaza s obzirom na mogućnost uvođenja vode iz vodotoka, kanala, rigola i slično;

- način temeljenja propusta s obzirom na svojstva temeljnog tla.

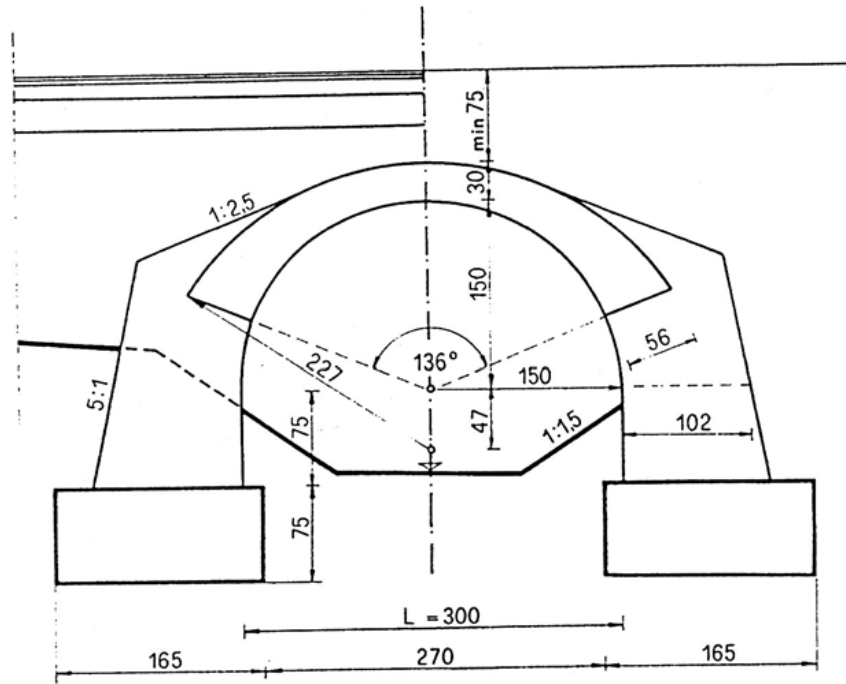
Nastavno je prikazano nekoliko propusta.



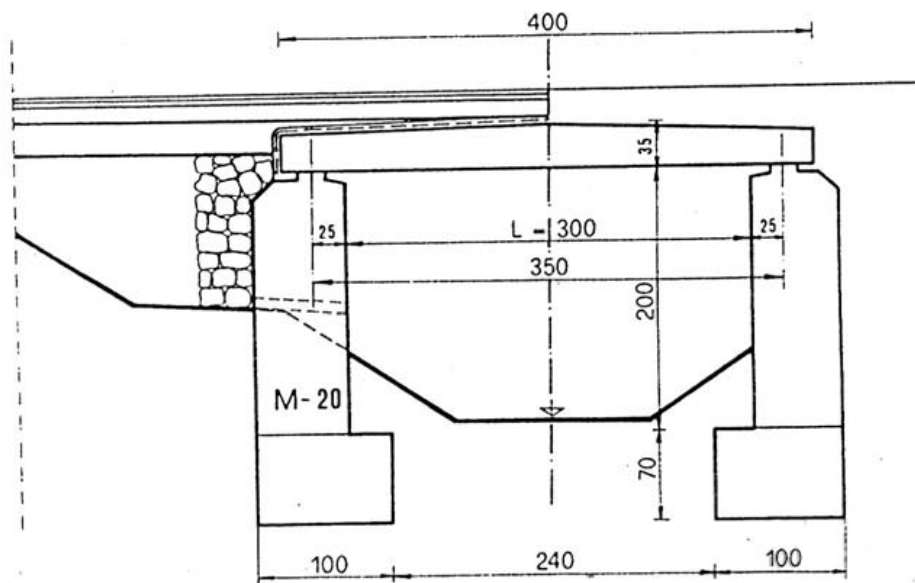
Slika 13.34 Cjevni propusti za vodu, lijevo monolitni, desno montažni



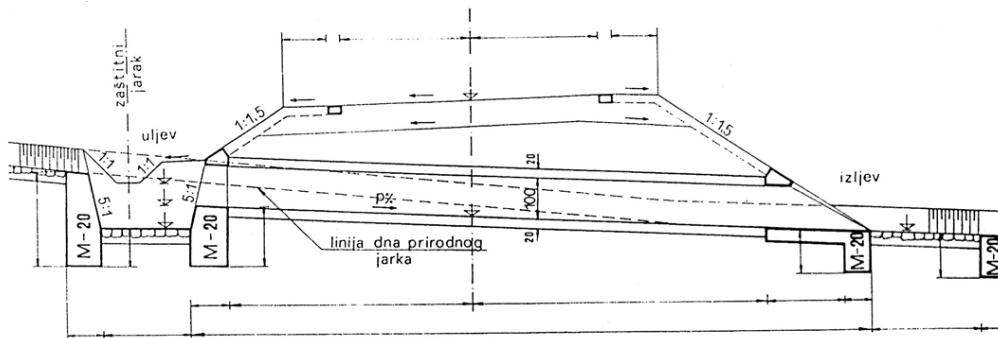
Slika 13.35 Cjevni montažni propust za vodu veće propusne moći



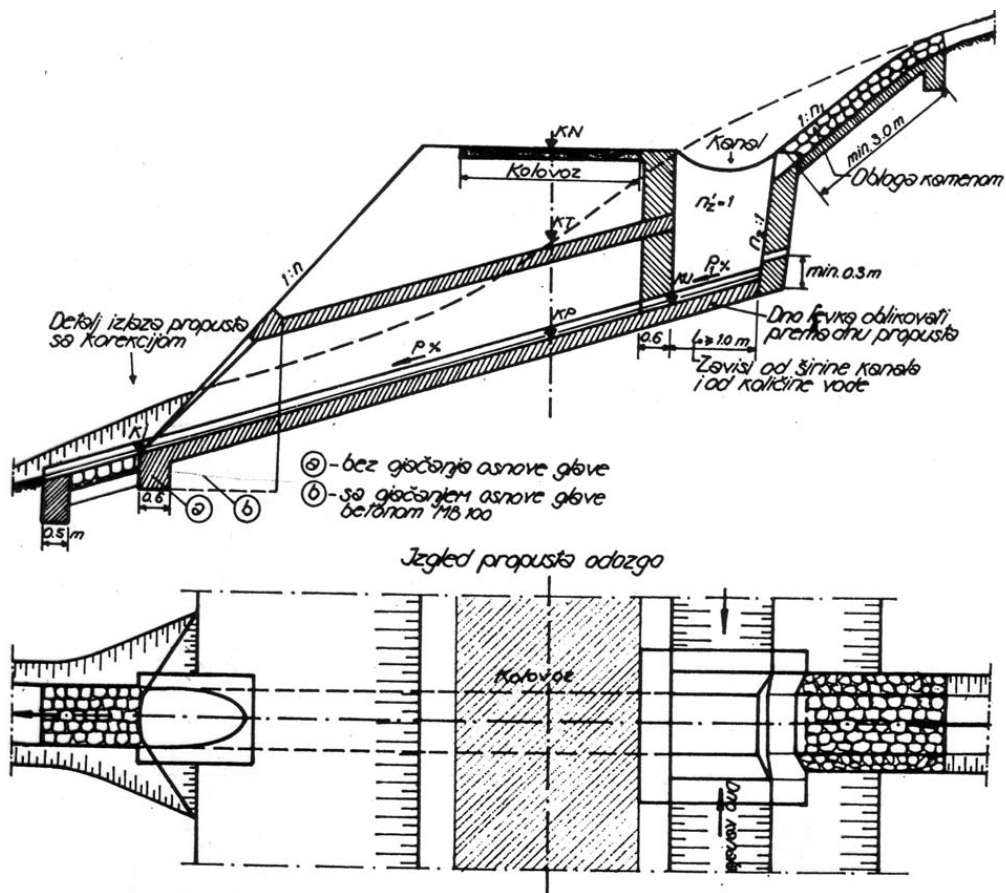
Slika 13.36 Svođeni propust veće propusne moći, monolitni



Slika 13.37 Pločasti propust s koritom za vodu



Slika 13.38 Uzdužni presjek cjevnog propusta s uljevnim mjestom odvodnih pribrežnih jaraka, nagib  $p_{\min}=0,5\%$



Slika 13.39 Uzdužni presjek, gore i tloctr, dole, cjevnog propusta

Propusti za vodu su hidrotehničke građevine i koa takve ih je potrebno dimenzionirati.

## 14 ZAŠTITA POKOSA OD EROZIJE

Zemljanim radovima pojavljuju se nove površine tla u nagibu izložene utjecaju atmosferilija. Takve svježe površine znatno su osjetljivije od onih koje su nastale prirodnim putem ili su već duže vrijeme izložene utjecaju atmosferilija.

Na eroziju su jednako osjetljive površine usjeka kao i nasipa, ali svaki na svoj način. Također je bitna razlika u osjetljivosti na ovaj utjecaj ovisno o vrsti stijene odnosno gradiva od kojeg su izgrađeni usjek odnosno nasip.

Za zaštitu pokosa usjeka i nasipa postoje norme HRN U.S4.064 (Tipovi osiguranja kosina nasipa i usjeka i nožice usjeka) i poglavlje u OTU (2-15, Zaštita pokosa i drugih površina izloženih eroziji)

### 14.1 PODJELA ŠTIĆENIH POVRŠINA

Prva podjela može se izvršiti na zaštite:

- pokosa usjeka i
- pokosa nasipa.

U usjecima se podjela može izvršiti na zaštite:

- zdravih, kompaktnih stijena;
- raspucalih, okršenih i zdrobljenih stijena;
- mekih stijena i
- kvartarnih, rastresitih naslaga.

U nasipima se podjela može izvršiti na zaštitu nasipa izgrađenih od:

- kamenog gradiva;
- miješanog gradiva;
- zemljanog gradiva i
- umjetnog gradiva.

Različit je način zaštite nasipa (moguće i usjeka) koji su uvijek na suhom i onih pored kojih povremeno ili stalno teče voda. Tako HRN razlikuju:

- osiguranje kosina nasipa i usjeka;
- osiguranje kosine i nožice nasipa pored vodotoka;
- osiguranje kosina visokih kamenih nasipa;
- osiguranje kosine usjeka kamenim rebrima.

U istoj su normi prikazani zaštitni jarci koji štite usjek i zasjek od vanjske vode.

Za svaki od ovih pokosa postoji čitav niz mogućnosti zaštite, prikladan površini koju štiti, određene cijene koštanja i određene trajnosti. U spomenutoj normi prikazani su i neki povijesni načini zaštite jer norma datira iz daleke 1965. godine, koji se danas rijetko izvode. Postoje jednostavnija i brža tehnička rješenja. Njih norma iz razumljivih razloga ne spominje, ali su obuhvaćeni u OTU.

Osim namjene zaštite površina, neke od zaštita moraju imati i estetski učinak kada se nalaze u okruženju koje takav učinak zahtijeva. Primjer takve zaštite su površine u naseljima i zaštićenom okolišu.

Da bi zaštita pokosa bila uspješna potrebno je pokose izvesti takvih nagiba da budu stabilni. Sve uočene nestabilne dijelove pokosa treba prethodno urediti (odkavati usjek ili ublažiti pokos nasipa). Potrebno je izvesti kontroliranu odvodnju vanjske oborinske i podzemne vode.

Pokose nije moguće osloboditi vlastite vode tj. one koja kao kiša padne izravno na pokos i koja najčešće uzrokuje oštećenja svježih nasipa, ali i usjeka u mekim stijenama.



Slika 14.1 Usjek u flišu ostavljen duže vremena bez zaštite, vidi se učinak oborinske vode (Mišćević)

### 14.1.1 Zaštita pokosa u stijeni

Kod usjeka, osim što se javljaju različite vrste stijena za koje je potrebno odabrati odgovarajući način zaštite, javlja se i pitanje što se zapravo štiti. Može se štiti sam usjek od rastrožbe, ali se može štiti i prostor koji se nalazi na dnu usjeka od najrazličitijih tipova odrona s kosine, ako isti na samoj kosini nisu spriječeni.

Kompaktna, zdrava stijena najčešće je takva da ju u usjeku ili zasjeku nije uopće potrebno štiti. Ovakav je pokos dovoljno samo dobro očistiti i odkavati labave komade nakon miniranja. Svježa lica pokosa u kompaktnoj i zdravoj stijeni, vrlo su malo osjetljiva na utjecaj atmosferilija. Bitno je provjeriti eventualni utjecaj procjeđivanja podzemne vode na stabilnost pokosa i taj čimbenik uzeti u obzir prilikom projektiranja nagiba pokosa predmetnog usjeka.



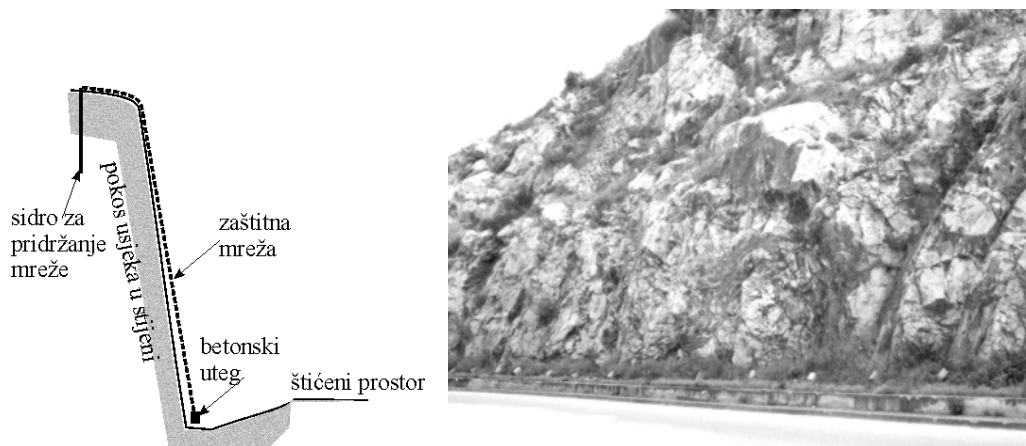
Slika 14.2 Duboki usjek (oko 80 m) u granitu, za brodsku prevodnicu na brani 3 klanca u Kini osiguran redovima sidara (snimka autorice)

Odroni kamena s pokosa nisu posebnost hrvatskih građevinara. Oznake na slici 14.3 jasno pokazuju da se svugdje na svijetu javlja ista pojava, bez obzira na kakvoću i ozbiljnost izvedbe i oblikovanja pokosa usjeka i zasjeka u stijenskoj masi.



Slika 14.3 Znakovi za opasnost od padajućeg i kotrljajućeg kamena

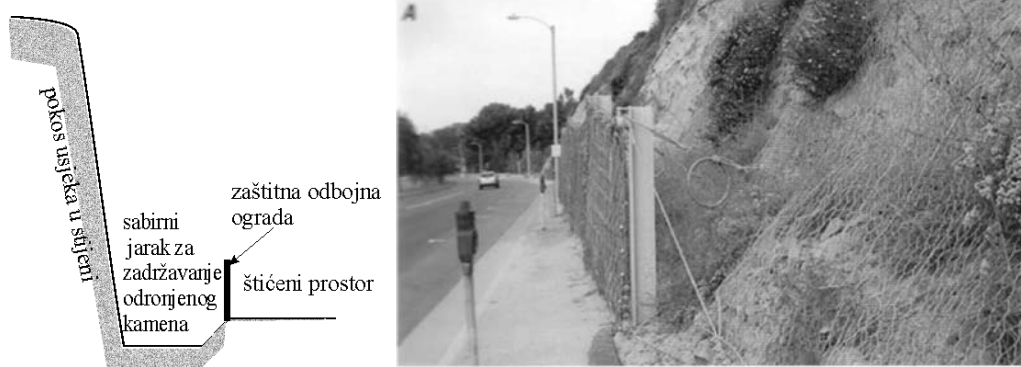
Na pokosima usjeka, na kojima bi moglo doći do otkidanja manjih komada stijene, a prostor ispod pokosa mora biti apsolutno zaštićen, dovoljno je pokos prekriti mrežom s opteživačima na dnu. Ovakva mreža ne sprječava obrušavanje manjih komada ali sprječava njihovo kotrljanje i odskakanje prilikom kotrljanja niz padinu pa se takvi komadi lagano kližu između mreže i lica pokosa i ostaju na dnu kosine uz samu nožicu.



Slika 14.4 Shematski prikaz zaštitne mreže i mreže na pokosu



Na pokosima usjeka na kojima bi se mogli obrušiti komadi koji olabave tijekom vremena, mogu se izvesti zaštitni jarci s ogradom ili postaviti namjenske elastične ograde. Ove ograde sastoje se od elastičnih mreža koje hvataju komade odlomljene stijene, a ujedno su tako izvedene da razbijaju energiju koju udarom prenosi stijena na mrežu. Dodatno energiju prihvaćaju elastični držači mreže koji se sastoje od stupova sa zglobnim ležajem na dnu, tako da su pokretni, i užadi koja ima mogućnost istežanja jer na krajevima ima svitke koji se odmataju i oslobađaju stup da se giba.



Slika 14.5 Jarak za hvaranje komada i mreže za razbijanje energije odronjenog kamena s pokosa usjeka (Geobrugg)

Okršene i raspucale stijene i pri najpažljivijoj izvedbi i kavanju mogu biti nestabilne. Ovi pokosi osjetljivi su na utjecaj temperaturnih promjena i oborinske vode u pukotinama bez ispune. Kod njih se javlja „starenje“, tj. postepeno odvajanje od matične stijene duž sekundarnih i tercijarnih pukotina.



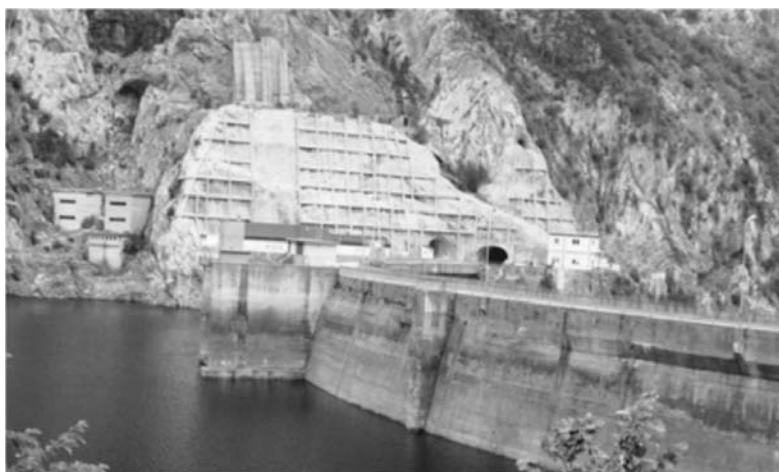
Slika 14.6 Zaštita pokosa usjeka u stijeni sidrima i veznim gredama (Mišćević)

Ovaj je proces nezaustavljiv na otvorenim pokosima. Stoga kod jače raspucalih i okršenih stijena kao što je na pr. površinski sloj golog krša, mreže nisu dovoljna zaštita (Roje-Bonacci, 1996.). Tada se mogu primijeniti neke od metoda sidrenja ili potpornih građevina. Sidriti se mogu pojedinačni blokovi ili dijelovi pokosa. Kada se sidre dijelovi pokosa, sidra se najčešće međusobno povezuju veznim gredama.

U okršenim stijenama je najoštećeniji površinski sloj u kojem se izvode usjeci i zasjeci. U tom se sloju pojavljuju i pukotine raznih širina, prazne ili ispunjene glinom crvenicom. Kada su većih širina potrebno ih je posebno osigurati od raspadanja. Najčešće rješenje je oblaganje kamenom uz osiguranje dobre odvodnje.

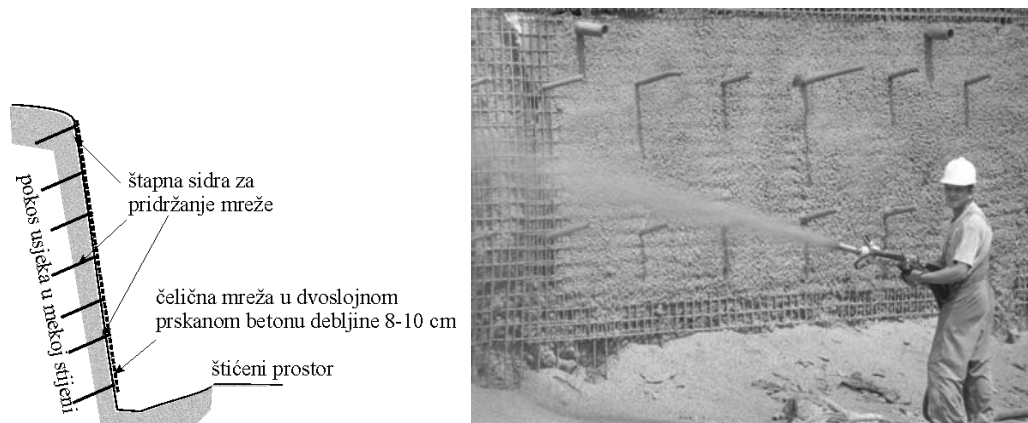


Slika 14.7 Zaštita pokosa u okršenoj stijeni na mjestu kaverne



Slika 14.8 Zaštita pokosa zasjeka u lijevom boku brane Mratinje (Crna Gora) u okršenim vapnencima, armirano-betonskim roštiljem i sidrima

Najosjetljiviji su na utjecaj atmosferilija pokosi u mekim stijenama podložnim rastrošbi (slika 11.69). Pokose usjeka i zasjeka u takvim stijenama je nužno štiti odmah po završetku iskopa. Ako ostanu nezaštićeni, stalno se raspadaju. U nožici njihovog pokosa skuplja se rastrošeno tlo koje više nije meka stijena već glinovito-prašnasto tlo koje raznosi voda. Ovakve pokose je najbolje zaštititi slojem prskanog betona, što vizualno, estetski i ekološki nije najbolje rješenje, ali je naj učinkovitije. Može se kombinirati i sa sidrima ako je potrebno osigurati veću stabilnost visokih pokosa u flišu. Ako se očekuje procjedna voda potrebno je u pokos ugraditi drenažne cijevi.



Slika 14.9 Prskani beton, vide se cijevi za drenažu zaleđa.

Kod zaštite pokosa prskanim betonom bitno je osigurati odvodnju procjedne vode iz zaleđa. Ako ova odvodnja nije pravilno izvedena, pritisak vode odlijepiti će prskani beton, a zaštita pokosa će biti uništena.

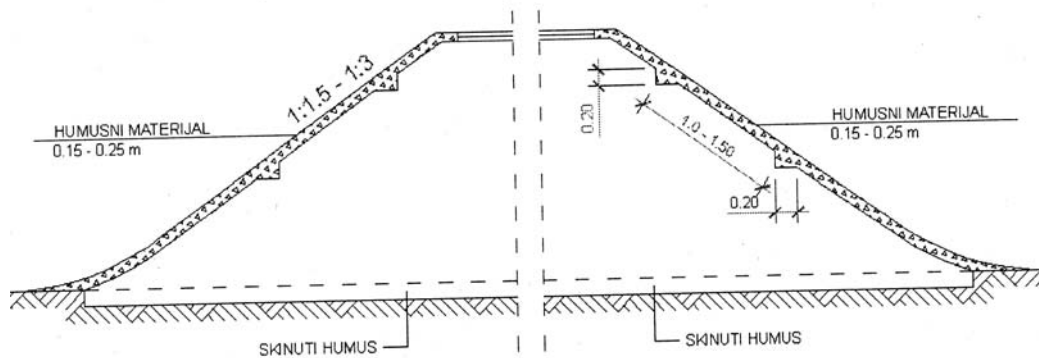
Blaže nagnuti pokosi u flišu mogu se zaštititi ozelenjavanjem hidrosjetvom. Na očišćenu podlogu razastre se sloj slame, pričvršćen žičanim pletivom. Na to se prska smjesa gnojiva, sjemena i ljepljive tvari, koja u početku drži sjeme pričvršćeno za slamu. Ovo je moguće izvesti u podneblju koje je dovoljno vlažno da omogući klijanje sjemena. U sušnim područjima hidrosjetva općenito teško uspijeva.

Postoji još čitav niz mogućnosti ozelenjavanja usjeka u fliševima kada to zahtjeva uređenje okoliša. Postupci su gotovo isti kao kod ozelenjavanja nasipa.

#### 14.1.2 Zaštita pokosa u miješanim i zemljanim tlima

Zaštita se provodi jednako na pokosima usjeka i nasipa. Temeljna je ideja zaštititi svježi pokos od šteta koje načine intenzivni pljuskovi. Uz to se zahvat nastoji izvesti brzo, jeftino, sa što manje zahtjeva na održavanja i ekološki prihvatljivo.

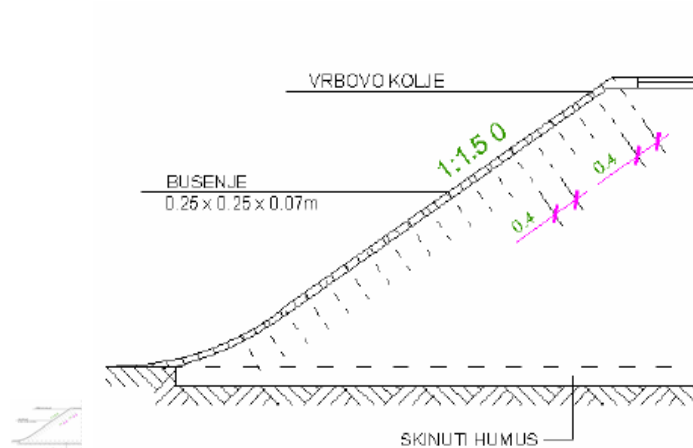
Najčešća i najjednostavnija zaštita je prekrivanje pokosa humusom, koji je skinut prilikom iskopa i privremeno odložen. Na tako pripremljenu podlogu sije se trava. Ovakva zaštita može se izvesti i kod hidrotehničkih nasipa koji povremeno dolaze u dodir s tekućom vodom (nasipi za obranu od poplava i melioracioni kanali). Jedini zahtjev za održavanje ove zaštite je redovita košnja. Prekrivanjem humusa geomrežama za pridržavanje dok ne naraste trava i korištenjem veže humus uz nasip, poboljšan je ovaj način ozelenjavanja.



Slika 14.10 Oblaganje pokosa humusom (OTU)

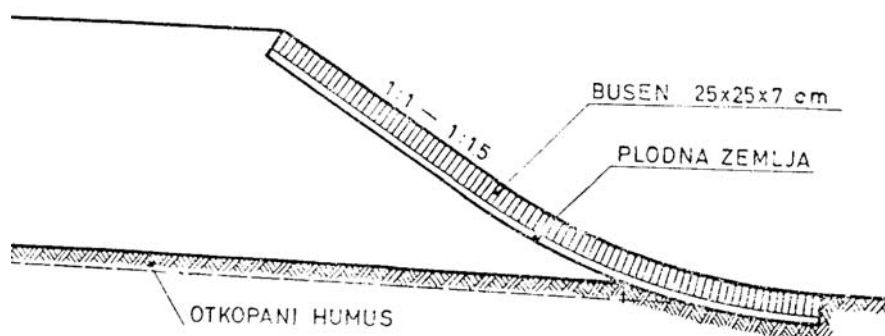
Nešto skuplji, ali učinkovitiji način zaštite je oblaganje pokosa busenom. Pri tom se prema HRN U.S4.064 busen može postavljati na više načina. Busen se polaže na sloj plodne zemlje.

Može se pokos naprosto obložiti busenom. Tada ga je potrebna najmanja količina.



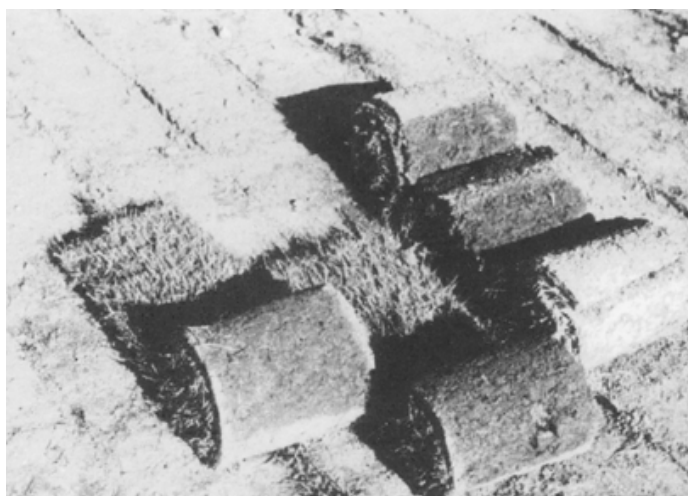
Slika 14.11 Oblaganje busenom pljoštimice (OTP)

Može ga se polagati tako da bočna stranica naliže na pokos, pa je obloga debela oko 25 cm, kao na slici 14.12.



Slika 14.12 Oblaganje pokosa busenom okomito na površinu (OTU)

Može se polagati stepenasto busen na busen. Tada se buseni učvršćuju za podlogu kolcima dužine 0,7 do 1,00 m, promjera 3-5 cm.



Slika 14.13 Buseni u rolama spremni za polaganje

Buseni se prethodno trebaju uzgojiti na pogodnom prostoru. Mogu biti u rolama kao na prethodnoj slici ili u komadima veličine 25×25 cm.

Za travnate obloge još se koristi i hidrosjetva. Prema OTU može se primijeniti na svim vrstama tala. „To mogu biti tla bez humusa, sterilna i devastirana tla (naplavni pijesci, riječni nanosi, kamenolomi, nasipni materijali, odlagališta industrijskih otpadaka, ugljen, šljaka, jalovina i drugo). Nedostatak humusnih tvari i fiziološko aktivnih hranjiva u tlu navedenih tala nadoknađuje se organskim humusno-tresetnim sastojcima u baznoj suspenziji.“

Ova konstatacija se iskustveno nije pokazala posve točna (nizvodni pokos brane Ričica). Stoga se preporuča za hidrosjetvu u uvjetima ekstremno neplodnih podloga

(kamen, industrijski ostaci) podlogu pripremiti kako je to opisano u primjeni hidrosjetve za ozelenjavanje usjeka u stijeni.



Slika 14.14 Hidrosjetva (Miščević)

Na tržištu su se pojavili i netkani geotekstili s već umetnutim sjemenom trave, koji se jednostavno rasprostru i učvrste po pokosu. Nakon što sjeme proklija spoji geotekstil s podlogom i tako trajno, učinkovito i brzo zaštiti pokos.

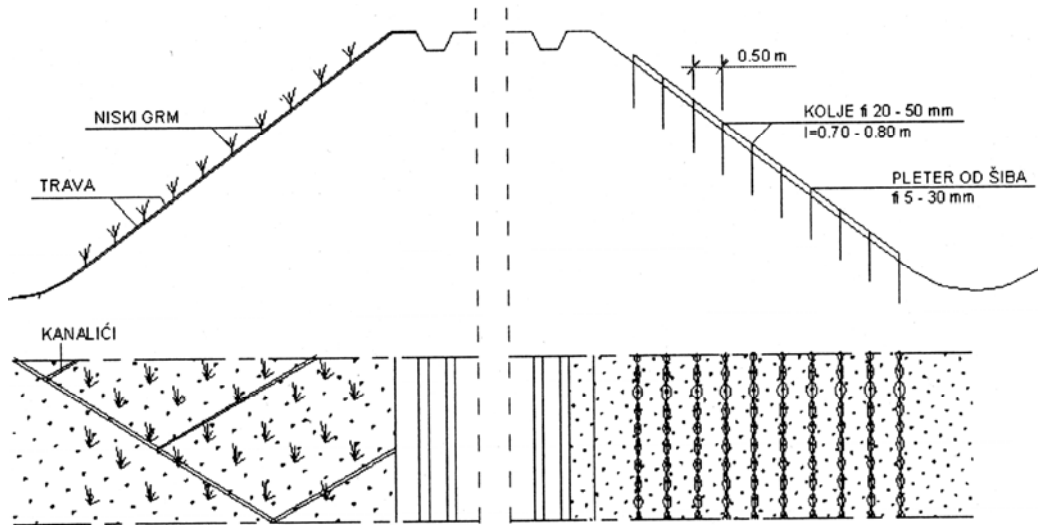
Za ozelenjavanje strmijih pokosa na kojima se humus teško zadržava, a busen je pre skup, danas postoji niz varijantnih rješenja s travnim rešetkama. Mogu biti betonske, ali su sve češće od plastičnih masa. U prostore u rešetkama se ubaci humus ili namjensko tlo za sadnju trave i zatim se sije trava kao i na humus, Rešetka zadržava tlo pri pljusk, dok trava dovoljno ne naraste da korijenov sustav veže travu za podlogu.



Slika 14.15 Travna rešetka od PVC-a

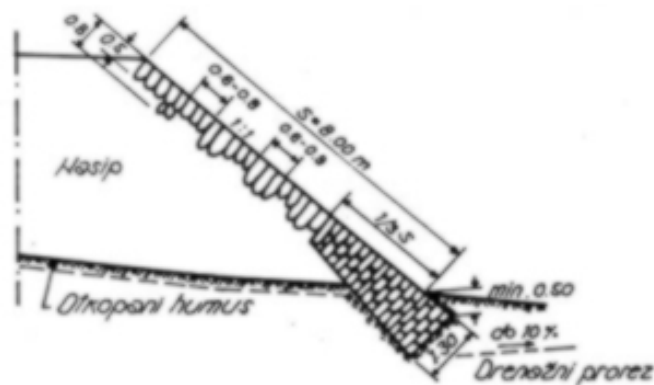
Pokos se može štiti i sadnjom grmlja između trave. Za ovaj način ozelenjavanja postoji mogućnost prekrivanja pokosa folijom sa otvorima na mjestima na koje dolazi sadnica. Folija može biti razgradiva, te traje toliko dugo koliko je biljkama potrebno da se zakorijene. Kada se folija raspadne, može se na neki način pristupiti ozelenjavanju cijele površine travom.

Slijedeća je mogućnost zaštite pokosa pleterom od pruća. Svojstvo ove zaštite je da pleter sprječava eroziju, a pruće u pleteru nakon nekog vremena pusti korijenje i propupa. Na taj se način dobije zaštita pokosa od erozije odmah, a zelena površina nakon određenog vremena.



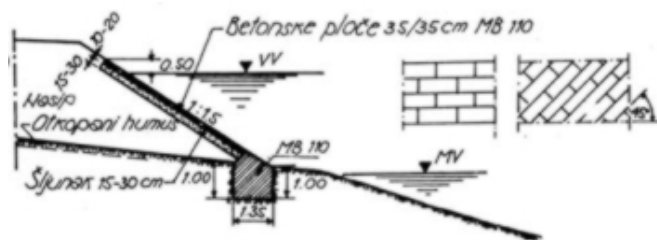
Slika 14.16 Ozelenjavanje grmljem i pleterom (OTU)

Kameni nasipi mogu se izvesti u strmom pokosu (1:1) i obložiti slaganim kamenom, „rolirati“.



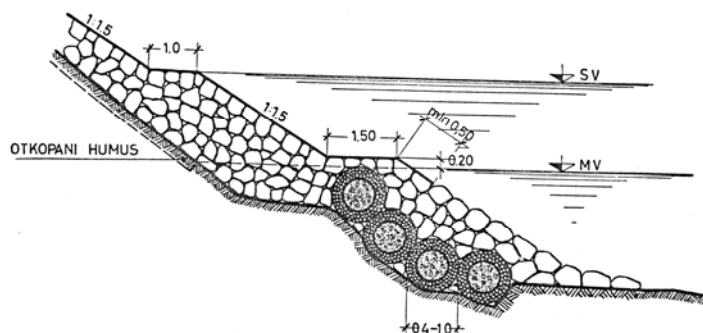
Slika 14.17 Rilirani pokos kamenog nasipa (HRN)

Pokosi hidrotehničkih nasipa, podložni utjecaju tekuće vode, mogu se oblagati betonskim pločama.

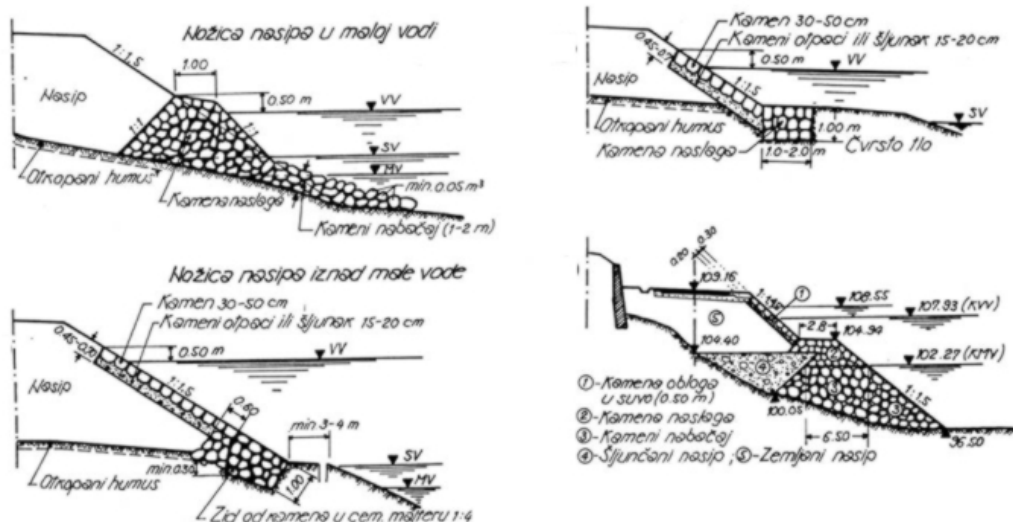


Slika 14.18 Obloga betonskim pločama

Hidrotehnički nasipi moraju se naročito dobro osigurati u nožici da ne dođe do podlokavanja.



Slika 14.19 Zaštita pokosa nasipa pod stalnim utjecajem tekuće vode (HRN, u dnu se vide tonjače od pruča, punjene šljunkom)



Slika 14.20 Zaštita hidrotehničkih nasipa kamenim oblogama i osiguranje nožice (HRN)



Klasični tehnički zahvati ove zaštite danas su zamijenjeni oblaganjem nožice gabionima, gabionskim madracima i drugim najrazličitijim kombinacijama geosintetika i kamena. Pri tom se naročito koriste drenirajuća, filtrirajuća i pogorovo odvajajuća svojstva geosintetika.



Slika 14.21 Tonjača (sa slike 14.19) od geosintetika, punjena šljunkom

Prva upotreba geotekstila u građevinarstvu bila je upravo oblaganje nasipa krupnim kamenom gdje je geotekstil služio za razdvajanje krupnog kamena od sitnozrne prašinasto-pjeskovite podloge koju je trebalo zaštititi.

Gabionima se može štiti pokos na više načina. Oni mogu služiti za zaštitu nasipa na suhom kao i onih u vodi. Prvi gabioni korišteni su u pravo za zaštitu pokosa nasipa kod hidrotehničkih građevina. Gabion može zamijeniti kamenu oblogu, kojom su se nekad štitali kameni nasipi, a može služiti i za ozelenjavanje nasipa izgrađenih od bilo koje vrste gradiva.



Slika 14.22 Zaštita pokosa gabionima punjenim kamenom (Miščević), zamjenjuju roliranje kamenom



Slika 14.23 Gabionska zaštita kao podloga za travu (Mišćević)

Zaštita pokosa nasipa može se postići i licima kada se nasipi izvode od ojačanog (armiranog) tla. Tada se zaštita lica zajedno s armaturom postepeno pretvara u potpunu građevinu. Tu prestaje oštra granica između ojačanog tla i potporne građevine.



Slika 14.24 Nasip od ojačanog tla s zelenim licem za uređenje okoliša

## 15 OBRAČUN RADOVA

Obračun radova bitna je stavka za izvođača. Obračun se vrši putem izračuna zapremine iskopanog i ugrađenog tla u količini iskopa u nerastresenom stanju i u količini nasipa u ugrađenom stanju (OTU). Kada se prijevoz vrši kamionima (damperima) obračunava se u rastresitom stanju, jer je to stvarna zapremina koja se prevozi.

Različiti su obračuni za iskope temelja, građevnih jama, kanala i slično i izduženih trasa prometnica.

Iskopi za temelje, građevne jame i kanale obračunavaju se izmjerom geometrije iskopanog prostora.

### 15.1 POPREČNI PRESJECI (PROFILI)

Na izduženim trasama prometnica pojavljuju se iskopi i nasipi pa se kod tih izduženih trasa, nastoji što više iskopanog gradiva ugraditi u nasipe. Za te proračune koristi se postupak koji se naziva „izjednačenje masa“.

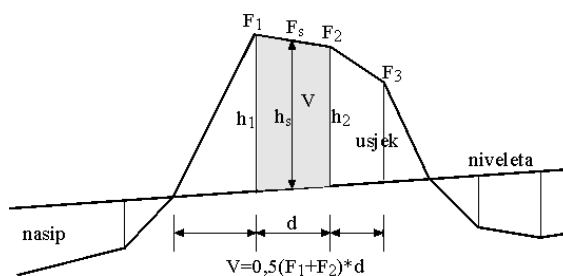
Za obračune količina pri izgradnji prometnica, bitne su površine poprečnih presjeka usjeka i nasipa duž trase. One se mogu odrediti:

- grafički, podjelom trapeznih oblika na niz trapeza i trokuta i zbrajanjem površina;
- namjenskom spravom, planimetrom;
- pomoću grafikona ili nomograma;
- pomoću računala prikladnim programom, (Auto Cad).

U pravilu se u nacrtima uz poprečni presjek upisuje i njegova površina.

### 15.2 IZRAČUN KOLIČINA

Poprečni presjeci vezani su sa stacionažama. Razmak između dviju stacionaža je ujedno i razmak između dva poprečna profila. Ovi podaci služe za proračun kubatura tla, iskopanog iz usjeka odnosno količine gradiva potrebnog za ugradnju u nasipe.



15.1 Uzdužni profil s označenim poprečnim presjecima i udaljenošću između njih

Količine iskopanog i nasutog (ugrađenog) tla računaju se pomoću površina poprečnih presjeka i međusobne udaljenosti između njih. Ima nekoliko mogućih načina obračuna.

- pomoću Winklerove jednadžbe; s podacima sa slike 15.1, gdje su  $F_1$  i  $F_2$  površine poprečnih presjeka, a  $d$  razmak između njih može se pisati:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} * d \quad (15.1)$$

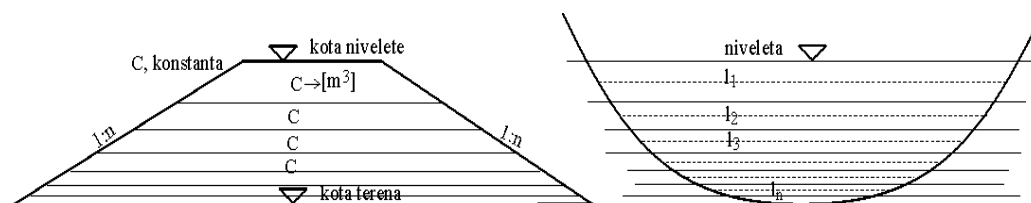
- pomoću jednadžbe Murzova, koji uzima u obzir srednju vrijednost površina  $F_s$  između dva presjeka izračunatog pomoću srednje visine  $h_s = (h_1 + h_2)/2$  i množi ju s razmakom  $d$  (sa slike 15.1):

$$V = F_s * d \quad (15.2)$$

- pomoću Simpsonove formule za točnije vrijednosti i s oznakama sa slike 15.1:

$$V = \frac{d}{6} (F_1 + 4F_s + F_2) \quad (15.3)$$

- izračun kubature iz uzdužnog profila korištenjem Šparovih dijagrama sa slike 15.2,



Slika 15.2 Šparov dijagram za obračun kubature

izrađenih u mjerilu koje odgovara onom za visine u uzdužnom profile.

Postupak se vrši integracijom (zbrajanjem) linija koje su visinski tako raspoređene da uvijek zatvaraju trapez jednake površine ( $C$ ), na poprečnom presjeku usvojenom kao tipski. Množenjem površine  $C$  s odgovarajućom dužinom  $l_i$  s uzdužnog profila, dobije se zapremina odsječka  $V_i$ . Zbrajanjem pojedinih zapremina dobije se ukupna kubatura odabranog odsječka kako slijedi:

$$V = D \sum_{i=1}^n l_i \quad (15.4)$$

Ovo vrijedi kada je teren u poprečnom nagibu približno vodoravan. Kada je u poprečnom presjeku teren u nagibu, treba izvršiti popravak proračuna. Proračun nije pretjerano precizan pa služi za razinu idejnih projekata.

Danas postoje računalni programi kao dijelovi paketa programa za projektiranje prometnica, koji obračunavaju količine i vrše raspored i izjednačenje masa.

### 15.2.1 Rastresitost

U tabeli 8.1 prikazane su rastresitosti pojedinih vrsta tala prilikom iskopa u postocima promjene gustoće tla. To je početna rastresitost. Ona je bitna za proračun količina tla koje se prevoze kamionima i damperima.

Pri obračunu kubatura ugrađenog tla, potrebno je uzeti u obzir razlike između količine sraslog tla u usjeku i/ili pozajmištu i količine tla propisane zbijenosti ugrađenog u nasipe. Ta rastresitost naziva se stalna rastresitost. Nastala razlika ovisi o vrsti tla i propisanoj zbijenosti.

Propisana zbijenost može biti različita po visini nasipa. Ovo se najčešće odnosi na nasipe više od 2,00 m gdje je dopušteno da niži slojevi imaju manju zbijenost od završnih. Za pravilan izračun potrebno je izvršiti ponderiranje količine u zbijenom stanju svođenjem na odabranu zbijenost. Preporuča se svesti količine na zbijenost po standardnom Proctoru ( $\gamma_d/\gamma_{dmax}$ ).

U tabeli 15.1 prikazani koeficijenti početne i stalne rastresitosti za neka tla bitna za zemljane radove. Jedinična mjera je sraslo tlo.

Tabela 15.1 Koeficijenti početne i stalne rastresitosti (Dragičević i Rukavina2006.)

vrsta tla	koeficijent početne rastresitosti $K_{0p}$	koeficijent stalne rastresitosti $K_{0s}$
sitan pijesak i les	1,06-1,12	0,96-0,85
krupni pijesak, jako pjeskovita glina	1,12-1,22	0,98-0,90
srednje krupni šljunak	1,18-1,24	1,00-0,92
teška, masna glina	1,20-1,27	0,98-0,95
mješavine gline i kamena	1,20-1,30	0,98-1,03
lapori i čvrste gline	1,20-1,32	1,00-1,05
rastresite stijene, pješčari	1,32-1,35	1,05-1,10
čvrste stijene	1,30-1,45	1,07-1,15

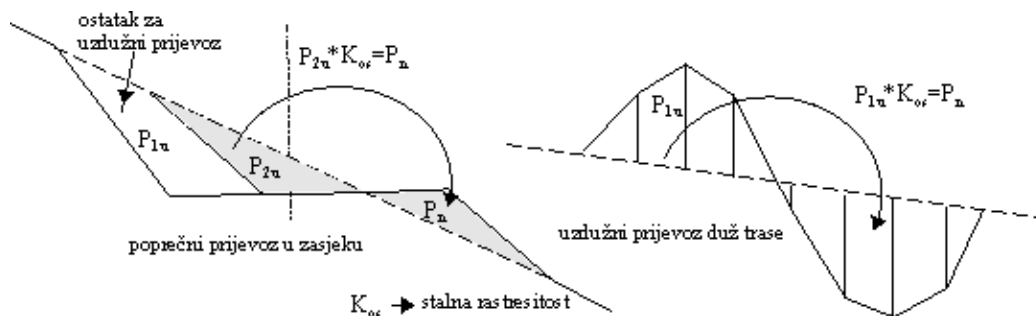
Koeficijenti iz tabele 15.1 nisu zanemarivi i bitni su za proračun količina potrebnih za ugradnju u nasipe. Kada se duž trase mijenjaju vrste tla potrebno je za svaku posebno odrediti ove vrijednosti.

### 15.3 IZJEDNAČENJE MASA

Izjednačenje masa je postupak kojim se nastoji, prilikom izvedbe građevina koje se sastoje od usjeka i nasipa, optimalno koristiti tlo iz iskopa, tako da ostaje što manje viška tla, a da se pri tom troškovi prijevoza svedu na najmanju moguću mjeru. Ujedno se nastoji uzimati što je moguće manje tla iz pozajmišta, ako tlo iz iskopa odgovara propisanom kakvoćom za ugradnju u nasipe.

Izjednačenje mase se izvodi u sekcijama, koje se odrede na uzdužnom profilu. Prisilne točke su objekti (mostovi, vijadukti, duboke udoline, vodotoci, klizišta) i dionice lošeg tla, koje zahtjeva poboljšanje. Tako nastaju prijevozne sekcije. One se, ako su pre duge, mogu podijeliti na prijevozne dionice, duž kojih se razvozi iskopano tlo iz usjeka u buduće nasipe.

Izjednačenje masa može se vršiti poprečno, uzdužno i kombinirano.



Slika 15.3 Poprečno i uzdužno izjednačenje masa ( $K_{0S}$ =stalna rastresitost)

Poprečno se izvodi u zasjecima, kada se dio tla iskopan u usjeku, prebacuje i ugrađuje u nasip.

### 15.3.1 Linija masa

Linija masa je grafički prikaz količina (zapremine) tla. Na apscisi je prikazana stacionaža, a kubature su predstavljene ordinatama. To je sumarna krivulja kubatura usjeka i nasipa.

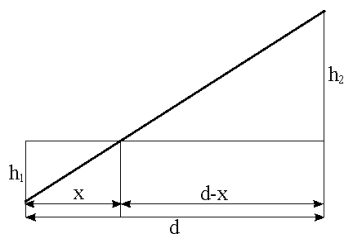
Izvor ovog grafičkog prikaza je uzdužni profil trase. Mora biti nacrtan tako da se dobro vide nagibi trase, položaji objekata, usjeka i nasipa.

Postupak počinje proračunom nultih točaka na uzdužnom profilu. Nulte točke su one točke na uzdužnom profilu na kojima trasa prelazi iz usjeka u nasip i obratno. Proračun nultih točaka prikazan je crtežom (slika 15.4) na kojem su  $h$  – visinske kote terena na susjednim poprečnim profilima, a  $d$  njihov međusobni razmak.

Udaljenost  $x$  dobije se iz jednadžbe:

$$x = \frac{h_1 * d}{h_1 + h_2} \quad (15.5)$$

Stacionaži profila visine  $h_1$  dodaje se vrijednost  $x$  [m] i dobiva stacionaža nultog profila. Nulte točke služe za izradu uzdužnog profila površina i uzdužnog profila masa.



Slika 15.4 Proračun nultih točaka na uzdužnom profilu

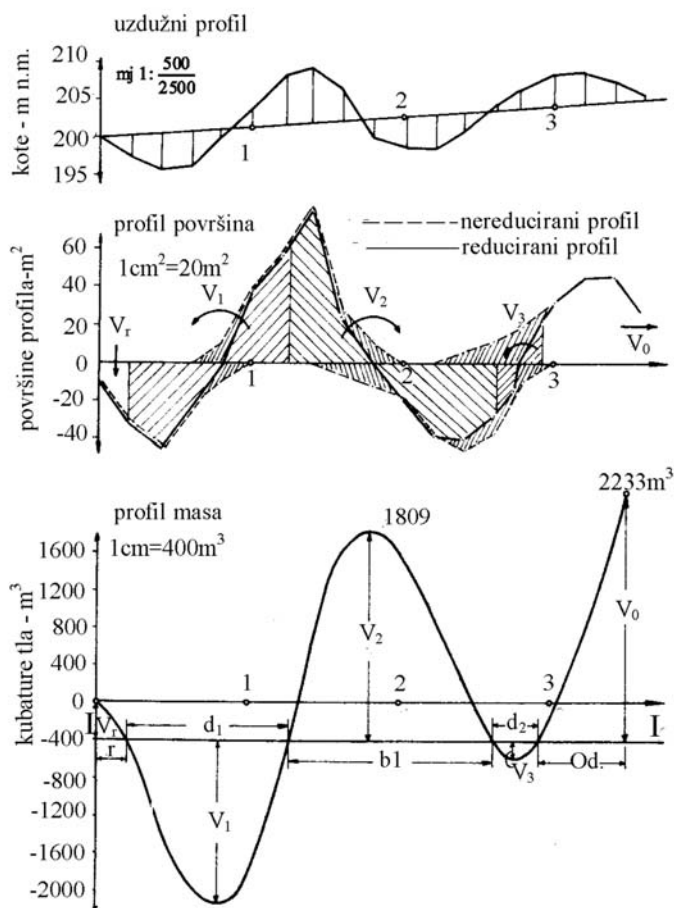
Slijedi profil površina nacrtan na identičnoj osi apscisa, kao i uzdužni profil trase, koji na ordinati ima vrijednosti površina poprečnih profila u [m<sup>2</sup>].

Tamo gdje se pojavljuju zasjeci, a to je najčešće na prijelazu iz usjeka u nasip, pojavljuju se na istom profilu dvije ordinate, za usjek i za nasip (slika 15.5).

Tabela 15.2 Proračun linije masa pomoću površine poprečnih profila (Joksić, 1984.)

stacionaža	površine profila [m <sup>2</sup> ]							razmak profila [m]	kubature [m <sup>3</sup> ]				Linija masa
	pojedinačne		koef. redu. k <sub>c</sub>	reducirane		srednje			reducirane		za razvoz		
	F <sub>u</sub>	F <sub>n</sub>		F <sub>u</sub> <sup>r</sup>	F <sub>n</sub> <sup>r</sup>	F <sub>u</sub>	F <sub>n</sub>		V <sub>u</sub>	V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub>	V <sub>n</sub>	
0		10			10								
20		34			34		20	20		440		-440	
40		46			46		40	20		800		-800	-440
60		22			22		34	20		680		-680	-1240
80	10	10	1,05	10,5	10	5,25	16	20	105	320		-215	-1920
1	36		1,05	37,8		24,15	5	20	483	100	+383		-2135
20	52		1,05	54,6		46,20		20	924		+924		-1752
40	78		1,05	81,9		68,25		20	1365		+1365		-828
60	28	6	1,05	29,4	6	55,65	3	20	1113	60	+1053		+537
80	10	12	1,05	10,5	12	19,95	9	20	399	180	+219		+1590
2		18			18	5,25	15	20	105	300		-195	+1809
20		38			38		28	20		560		-560	+1614
40	6	46	0,95	5,7	46	2,85	42	20	57	840		-783	+1054
60	12	38	0,95	11,4	38	8,55	42	20	171	840		-669	+271
80	20	10	0,95	19,0	10	15,2	24	20	304	480		-176	-398
3	34		0,95	32,3		25,65	5	20	513	100	+413		-161
20	48		0,95	45,6		38,95		20	779		+779		+618
40	48		0,95	45,6		45,60		20	912		+912		+1530
60	26		0,95	24,7		35,15		20	703		+703		+2233
											+6751	-4518	
kontrola										+6751	-4518	= +2233	

Za proračun količina tla iskopanog iz usjeka, koje će biti ugrađene u nasip, potrebno je izvršiti redukciju količina iz iskopa pomoću koeficijenta stalne rastresitosti ( $K_{0S}$ ). To se može učiniti već redukcijom površina poprečnih profila, a zatim s takvim podacima nastaviti proračun količina. Tako nastaje reducirani profil površina. Već na reduciranom profilu površina vidi se što se od iskopanog tla može iskoristiti za ugradnju u susjedni nasip, a koje količine moraju biti odvezana na odlagalište.



Slika 15.5 Uzdužni profil, profil nereduciranih i reduciranih površina i profil masa

Integracijom površina profila nastaje profil masa. Profil masa crta se tako da se odabere vodoravni pravac po volji od nekog odabranog profila (najčešće nulte točke) tako da se na ordinati crta vrijednost kubatura. Vrhovi ordinata spojeni su linijom



masa. Što su poprečni profili za izračun kubatura bliži, to linija masa od izlomljene linije sve više prelazi u krivulju.

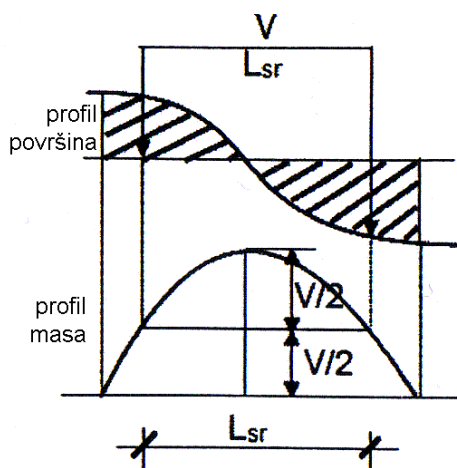
Na profilu masa ekstremi se nalaze u nultim točkama s ordinatom veličine upotrebljivih količina ili količina koje se odvoze na odlagalište.

Ideja je da se duž trase pojavi što manje bilo viška bilo manjka, što bi dalo najjeftiniju gradnju. Ovo je naravno moguće ostvariti samo tamo gdje trasa prolazi kroz morfološki razvijen krajolik koji će uvjetovati oblikovanje trupa prometnice u usjecima i nasipima. U tabeli 15.2 je prikazan proračun linije masa za grafički prikaz sa slike 15.5. Na slici 15.5 prikazan je postupak izrade profila masa i izjednačenja temeljem reduciranih površina profila.

### 15.3.2 Linija izjednačenja

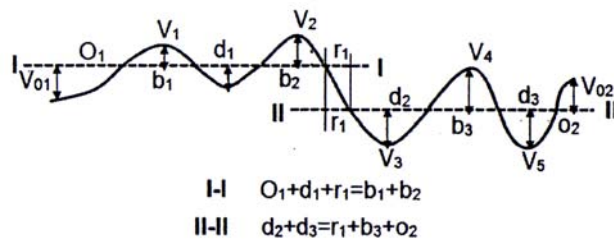
Da bi se moglo izjednačiti mase potrebno je odrediti „liniju izjednačenja“, koja određuje granicu prijevoza iskopanog tla iz usjeka u susjedne nasipe (I-I) na slici 15.5.

Linija izjednačenja određuje se grafički, kao je to pokazano na slici 15.6. Vodoravna crta povučena između dvije točke linije masa, naziva se linija izjednačenja ili ravnalica. Na valu profila masa vrši se njihovo izjednačenje tako da se maksimalna zapremina na liniji masa podijeli na pola ( $V/2$ ). Na toj se visini povuče vodoravna crta s kojom se presiječe linija masa. Dužina tako dobivene crte ja srednja dužina razvoza masa iz iskopa u nasip ( $L_{sr}$ ).



Slika 15.6 Konstrukcija linije izjednačenja

Kod trase na kojoj se smjenjuju usjeci i nasipi, linija masa je izrazito valovita. Na dugim trasama može se pojaviti više linija izjednačenja, kao na slijedećem primjeru:



Slika 15.7 Primjer s više linija izjednačenja (Lukić i Anagnosti 2010.)

Proračun je nešto složeniji kada se radi o zasjecima gdje se pojavljuje i iskop i nasip, ali je sam princip proračuna isti.

Na mjestima vijadukata javlja se nedostatak mase pa se to u liniji masa odražava kao pravac usporedan s osi apscisa, ako linija masa na mjestu vijadukta (mosta) nije prekinuta. Na mjestima tunela javlja se višak koji se također vidi na liniji masa kada ona prolazi i tim dijelom trase.

Danas se ovi proračuni izrađuju pomoću gotovih korisničkih računalnih programa.

Literatura:

- Babić, B., Jašarević, I., Kvasnička, P., Prager, A., Schwabe, Ž., Šimetin, V. (1995.), *Geosintetici u graditeljstvu*. Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb
- Bellina, W. (1951.), *Einführung in den Grundbau, Flachgründungen*. G. Braun, Karlsruhe
- Bonacci, O., Mladineo, N. (1981.), *Primjena linearnog programiranja za određivanje optimalnih smjesa u građevinarstvu*. *Građevinar* 33 (4): 173-179
- Božić, B. (1998.), *Miniranje u rudarstvu, graditeljstvu i geotehnici*, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin
- Božić, B., Braun, K. (1992), *Optimizacija miniranja u kamenolomu vapnenca Lakovići u Istri*, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 4, 81-85
- Božić, B., Žetko, T., Lukić, I. (2006), *Importance of defining Engineering-geology Rock Parameters for Blasting on the Highway Rijeka-Rupa*, Proceedings of the International Conference on Process Engineering in Mining Technology 2006, Sarajevo, 481-493
- Celmić, I. (1974.), *Autocesta Zagreb-Karlovac i uloga IGH u njejoj izgradnji*. Zbornik radova 1, IGH Zagreb
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C., Simons, N.E. (2005.), *Site investigation*, Second edition, University of Surrey ([www.geotechnique.info](http://www.geotechnique.info))
- Christopher, B.R., Schwartz, C., Boudreau, R., (2006.) *Geotechnical Aspects of Pavements*, FHWA NHI-05-037, National Highway Institute Federal Highway administration U.S. Department of Transportation Washington, D.C.
- Coduto, D.P., Man-chu, R.Y., Kitch, W. A., (2010.), *Geotechnical Engineering: Principles & Practice* (2nd ed.), Pearson College Div
- Dexpan – [www.dexpan.com](http://www.dexpan.com)
- DMRB – Design Manual for Road and Bridges, Department of Transport, Highways Agency, UK
- Duglas, B.J., Olsen, R.S., (1981.), *Soil classification using electric cone penetrometer. Cone Penetration Testing and Experience*. Proceedings of the ASCE National convention, St. Louis, 209-27, American Society of Engineering (ASCE)
- Earth Manual, Second Edition, (1974.), *A guide to the use of soils as foundations and construction materials for hydraulic structures*, U.S. Department of the interior, Bureau of Reclamation, Washington
- Earth Manual, Third Edition, (1998), U.S. Department of the interior, Bureau of Reclamation, Earth Sciences and Research Laboratory, Geotechnical Research, Technical Service Center, Denver, Colorado

- Emami, K., Saarang, A., Abedi, F., Hemtian, S. ( ??? ), *A review of systematic approach of storage and transfer for water resources management in Tabris, Iran in 13<sup>th</sup> century*,
- EUROCODE 7 (2007.) -Geotechnical design-Part 2: ground investigation and testing
- FHWA, (2002.) *Subsurface investigations-Geotechnical site characterization*. NHI Course No. 132031, Publication No. FHWA NHI-01-031, may 2002, US Department of transportation
- Geobrugg. A. G. ([www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com))
- GN 200 (1978.) Prosječne norme u građevinarstvu II dio, niskogradnja. Građevinska knjiga, Beograd.
- Grupa autora, (2001.), *Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (knjiga 1 i 2)*. Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb
- Hayward Baker Inc. (2004.), <http://www.haywardbaker.com/>.
- Hazen, A. (1911.) Journal New England Water Works Association v. 25
- Head, K.H.(1984.), *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1, Soil classification and compaction tests*, ELE International Ltd. England, 1984.
- Hoek, D., Bray, J. (2001.), *Rock Slope Engineering*, (for Institution of mining and Metallurgy), Spon Press, London, New York.
- HRN EN ISO 14688-1:2002
- HRN EN ISO 14688-1:2008
- IGH (2010.), *Sustav upravljanja kvalitetom institut IGH d.d.* (Interne upute zavoda za geotehniku, Zagreb ([www.igh.hr](http://www.igh.hr)))
- ISRM, (1978), *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. ISRM, 1978. (Međunarodno društvo za mehaniku stijena)
- Joksić, Z. (1984.) *Donji stroj saobraćajnica*. Građevinski fakultet i Naučna knjiga, Beograd
- Keil, K., (1959.) Vorschlag für die Richtlinien zur Verhütung for Frostscha-den an Strassen. Wissenschaftl. Ztch der Hochschule für ver Verkehrswesen, Dresdn, band 1.
- Keller, [www.keller-ge.co.uk](http://www.keller-ge.co.uk)
- Kuznetsov, V.M. (1973): The mean diameter of fragments formed by blasting rock, Soviet Mining Science, Moskva, 9(2), 144-8
- Les Terrassements-II partie (1979.) *Guide pratique da construction routière*. Paris
- Lukić, D.Č., Anagnosti P.V., (2010.), *Geotehnika saobraćajnica*. Građevinski fakultet Subotica
- Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M., (2002.), *Cone Penetration Testing in geotechnical practice*. Spon Press, Taylor & Francis group, London

- Maslov, N.N. ur.(1969. ), Složeno fundiranje, stabilnost kosina i drenaže, priručnik za projektante izvođače. (izvornik na ruskom). Prijevod (1975.) Građevinska knjiga, Beograd
- Michalowski, R., Zhu, M., (2006.), *Frost heave modelling using porosity rate function*. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech, 2006; **30**; 703-722  
([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com))
- Miščević, P., *Interni tekstovi za predavanja* (www.gradst.hr)
- Miščević, P., Roje-Bonacci, T. (2001.): *Uvjeti uporabe lapora za izradu nasipa*. Građevinar, 53 (2001) 1, 9-16
- Müller, B. (1974.) *Geotehnički radovi i objekti*. Viša geotehnička škola varaždin i RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Neumann, E. & suradnici, (1959.) *Savremeno građenje puteva (Der neuzeitliche Straßenbau, Aufgaben und Technik*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg)  
Građevinska knjiga, Beograd, 1963.
- OTU; Grupa autora, (2001.), *Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (knjiga 1 i 2)*. Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb
- Phukan, A., (1991), *Foundations in cold regions* (in Fang, H-Y. ur., Foundation engineering handbook), Chapman &Holl, London
- Roje-Bonacci, T., (1993.), *Mogućnost optimalizacije kontrole kvalitete ugrađenih zemljanih materijala kod velikih zemljanih radova*, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb
- Roje-Bonacci, T., (1996.), *The landslides on old high cut-offs in the Mediterranean karst*. Landslides, Glissements de terrain, (K.Senneset, ed.). 7th International Symposium on Landslides ,Trondheim, Norveška, 17-21. 06. 1996. 1163-1168, A.A.Balkema , Rotterdam
- Roje-Bonacci, T., (1998.), *Parameter changes after weathering of soft rock in flysch*. In: The Geotechnics of Hard Soils-Soft Rocks, (A. Evangelista and L. Picarelli, eds.), Proc. Of the second international symposium on hard soils-soft rocks/Naples, itali/12-14- Oct. 1998. 799-804, A.A.Balkema Rotterdam
- Roje-Bonacci, T., (2005.), *Potporne građevine i građevne jame*, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split
- Roje-Bonacci, T., (2007.), *Mehanika tla*. Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split
- Sanglerat, G., (1972.), *The penetrometer and soil exploration*, Elsevier, Amsterdam, London
- Stojić, P., (1997.) *Hidrotehničke građevine*, knjiga I. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split,
- Szavits-g7\_nasipi\_i\_bране-radno[1] (e-udžbenik)
- Schroeder, W. L. (1975). *Soils in Construction*. John Willy&sons, Inc. New York

- Schroeder, W. L., Dickenson, S. E., Warrington, Don C. (2004). *Soils in Construction*. 5th Edition. Pearson – Prentice Hall, NJ.
- Strelec, S., Božić, B. (1994): *Determination of the drilling geometry for Blasting*, Croatian Geotechnical Journal, Varaždin, 1, 19-29
- Terzaghi, K. (1943.), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, London
- Terzaghi, K. (1955), *Evaluation of Coefficient of Subgrade Reactions*. Geotechnique, Vol 4, 297-326
- Verić, F., (1980.), *Projektiranje, izvedba i održavanje nasutih građevina*, interna publikacija Instituta Geoexpert, Zagreb
- Vesić, A.B., (1961.a) *Bending of beams resting on isotropic elastic solid*. ASCE Jnl Engineering Mech. Div. 87, EM2: 35-53.
- Vesić A.B. (1963.), *Beam on Elastic Subgrade and The Winckler's Hypothesis*. Proc. 5th Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, p. 845-850.
- Winzer, S.R., Anderson, D.A., Ritter, A.P. (1983), *Rock Fragmentation by Explosives*, Proceedings of the First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, Sweden, 225-249
- Westergaard, H.M., (1923.) *Om Beregning Af Plader Paa Elastisk Underlag Med Sæligt Henblik Paa Pørgsmaalet Om Spændinger I Betonveje (na dansk)*. Ingeniøren, pp 513-524.
- Weissenbach, A. (1975.) *Baugruben*. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [www.dexpan.com](http://www.dexpan.com)
- [www.training.ce.washington.edu](http://www.training.ce.washington.edu)
- Zelenika, M., (1995.), *Tehnologija izrade bušotina*. Geotehnički fakultet Varaždin, Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin

Kazalo:

**A**

AASHO

standard, 77

analiza

statistička, 175

WipFrag, 175

analiza stabilnosti, 269

analize stabilnosti, 14, 87, 97, 268, 272,

281

u stijenskoj masi, 282

anglodozer, 143

areometriranje, 63

armatura, 210

razmještaj, 272

armirano tlo, 336

armiranje

geosintetikom, 271

atmosferilije, 321

atterbergove granice, 104

Atterbergove granice, 60, 66, 111

**B**

bager, 191

balon s vodom, 278

berma, 271, 289, 290

bijeli put, 4

blato, 313

blok

inženjersko-geološki, 15, 87

pojedinačni, usidreni, 327

blok-dijagram, 88

blokovi

nevezani, 141

bodovanje, 96

brana, 3, 63, 120, 134, 246, 258, 265

nasuta, 243, 265

brana Peruča, 6

Brana Sadd-el-Kafara, 3

broj prijelaza

stroja za zbijanje, 250

broj stabilnosti, 282, 283, 285

broj udaraca, 35

bubrenje

djelovanjem mraza, 118

bubrenje tla, 253

bučkalica, 28

buldozer, 94, 143

bunar, 298

cijevni, 305, 308

nepравilan razmještaj, 308

odvodnja pomoću, 304

polumjer utjecaja, 306

privremeni, 295

razmak, 306

stalni, 296

busen

oblaganje pokosa, 330

polaganje, 331

bušače šipke, 171

bušaća kruna, 29

bušače šipke, 30

bušenje

na suho, 28

u čvrstim glinama, 28

u nevezanom tlu, 28

u okršenoj stijeni, 28

bušenje s jezgrovanjem, 26

bušotina

duboka, 171

konturna, **184**  
minska, 166, 171  
nagib, 171  
plitka, 171  
položaj, **87**  
profil, **87**  
razmak, 169  
tlocrtni raspored, 171

## C

Casagrande, 97  
Cassagrandeova treskalica, 68  
CBR pokus, 207  
  na terenu, 83  
cement, 226  
  hidratacija, 208  
  portland, 206  
  portland s dodacima, 206  
cijev  
  drenažna, 301  
cijevi  
  pucanje, 261  
crpka  
  položaj, 299  
  rezervna, 310  
crpljenje  
  iz jame, 299  
crpna stanica, 293

## Č

čep  
  veličina, 170  
čestice  
  složene rahlo, 216  
čvrsta stijena, 92  
čvrstoća na smicanje, 272

## B

parametri, 282  
poboljšana, 233  
povećanje, 207

## Ć

ćelija  
  za mjerenje pritiska, 31

## D

damper, 189  
debljina  
  orijentacijska, 257  
detaljni istražni radovi, **8, 9, 13**  
determinacija jezgre, 14  
detonacija  
  velikom brzinom, 165  
dijagram  
  za proračun nagiba kosine, 281  
dijagram plastičnosti, 111, 113  
dijagram toka  
  za identifikaciju, 98  
dimenzije  
  vozila, 191  
Dioklecijan, 2  
djelomični klin, 270  
dlijeto, 171  
dodirni pritisak, 228  
dodirno naprezanje, 55  
dopunski istražni radovi, **8, 10**  
dozer, 92, 189, 193  
  na kotačima, 145  
  učinak, 143  
drenaža, 135, 202  
  priobalna, 303  
  prstenasta, 304  
  uspravna, 229, 304



drenažni  
  bunari, 309  
  kanali, 309  
drenažni rov, 299, 300  
  nagib pokosa, 302  
drenažni tepih, 270, 311  
dreniranje  
  podloge, 232  
  ubrzano, 233  
drenovi  
  ispuna, 230  
  meki, 232, 236  
  ogledni raspored, 237  
  plastični, 232  
  predgotovljeni, 231  
  savitljivi, 231, 232  
  skraćenje vremena konsolidacije, 230  
  tečenje vode ka, 229  
  učinkovitost, 235  
  uspravni, 228, 229  
  uspravni, tlocrtni raspored, 230  
  uspravni, učinak, 232  
drobljenac, **183**  
drobljenje, 183  
dubina utjecaj, 217  
dubina utjecaja, 56  
dubina zamrzavanja, 121, 124  
Duch Cone uređaj, 35  
dužina razvoza  
  srednja, 345  
dužina sidrenja  
  armature, 271

## **Dž**

džepna  
  krilna sonda, 26

džepni  
  penetrometar, 26  
džepni pribor, 26

## **E**

efektivni promjer zrna, 64  
efektivno naprezanje, 269  
eksplozija  
  fizikalna, 164  
  kemijska, 164  
  nuklearna, 164  
eksploziv, 92, 94  
  posebni, 165  
  potisna snaga, 175  
  visokobrizantni, 165  
  vrsta, 170  
  za geofizička istraživanja, 165  
eksplozivi  
  gospodarski, 164  
  plastični, 164  
  podjela, 164  
  praškasti, 164  
  uljni, 164  
  vodoplastični, 164  
elastična ograda, 326  
elastični val, 23  
električna pornostot, 18  
električno polje, 18  
elektroda  
  mjerna, 19  
  naponska, 19  
energija  
  razbijanje, 326  
  veći utrošak, 263  
energija zbijanja, 73  
erenski uređaji, 26

erozija  
kosine, 199, 238  
nasipa, 266  
nožice, 267  
površinska, 312  
etaža, 169, **183**  
Eurocode 7, 31, 33, 39, 86  
EUROCODE 7, 58, 82  
probna ploča, 53  
Eurocode7  
stabilnost kosina, 282

## F

faktor  
vremenski, 229  
filtar  
obrnuti, 238  
filtarsko pravilo, 231, 266, 301  
fliš, 255, 259  
pokosi u, 329  
flotacija, 216  
folija  
razgradiva, 333  
s otvorima za sadnju, 333  
fragmentacija, 170  
analiza minirane, 175  
analiza prirodne, 175  
programiranje, 174  
frakcija  
sitna, 261

## G

g minsko polje  
glavno, 181  
gabioni, 335  
geoelektrična ispitivanja, 17

geoelektrična tomografija, 21  
geofon, 22, 23  
geološka karta, **9**, 15  
Geometrija podloge, 18  
geomreža, 238, 330  
homogena, 213  
izrada, 214  
od isprepletenih traka, 213  
od isprepletenih vlakana, 213  
postavljanje, 214  
geosintetik, 335  
svojstva, 273  
geotehnička bušotina  
reperna, 24  
geotehnički projekt, **87**  
opseg, **87**  
geotehnički proračun, **87**  
geotehničko izvješće, **9**  
opseg, 86  
geotekstil, 201, 232, 245, 301, 311  
filtritajući, 266  
razdvajajući, 266  
sa sjemenom, 332  
stabilizacija podtla, 211  
ugradnja, 212  
za filtriranje, 212  
za odvajanje, 238  
za razdvajanje, 335  
geotekstili  
spajanje, 212  
glatki valjak, 246  
glina  
anorganska, 112  
organska, 112  
glineni čep, 301  
gnječenje, 198

## D

gornji rub šine, 264  
 gradijent  
     izlazni, 267  
 gradilišni put, 313  
 gradivo  
     kamenno, 321  
     miješano, 321  
     nasipa, 199  
     prirodno, 199  
     rastresito, 196  
     umjetno, 199, 321  
     zemljano, 321  
 građevina  
     oštećenje, 262  
 građevine  
     podtemeljne, 142  
 građevna jama, 293, 299  
     dimenzioniranje, **87**  
     odvodnja, 296  
 građevnia jama  
     s kosinama, 305  
     s podgradom, 305  
 granica  
     plastičnosti, 107, 112  
     tečenja, 112  
 granica plastičnosti, 67, **88**, 102  
 granica smrzavanja, 122  
 granica stezanja, 67  
 granica tečenja, 68, 98, 253  
     pomoću jedne točke, 70  
 granice plastičnosti, 250  
 granulometrijska  
     analiza, 129  
 granulometrijska krivulja, 63, 177  
     odminirane stijene, 174  
     tražena, 205  
 granulometrijska krivulja  
     oblik, 105  
 granulometrijski  
     sijagram, 129  
 granulometrijski sastav, 106, 250, 276  
     poboljšanje, 205  
     široki, 258  
 greder, 195  
 grmlje  
     sadnja na pokosu, 333  
 grumen  
     ispitivanje, 131  
     tvrdoća, 131  
 GSI, 287  
 guranje, 189  
 gusjenice, 143  
 gustoća  
     povećanje, 198  
     projektom predviđena, 136  
     referentna, 74, 198, 201  
     suha, 198  
     ugrađenog tla, 277  
 gustoća čvrstih čestica, 76

## H

Hazen, 126  
 hidraulički gradijent  
     izlazni, 268  
 hidraulički slom, 27, 298  
 hidroelektrana, **6**, 265  
 hidroizolacija  
     oštećenje, 262  
 hidrometrijska analiza, 63  
 hidrosjetva, 329, 331  
 hidrotehničke građevine, 262  
 histogram

raspodjele fragmenata, 177  
hodokrona, 23  
hrapavost stjenki, 13  
Hrvatska  
  gorska, 125  
  kontinentalna, 125  
humus, 91, 100, 140, **183**, 202, 239

## I

**identifikacijski** pokusi, 26  
iglofilter  
  sustav, 308  
indeks  
  grupni, 115  
  konzistencija, 108  
  plastičnosti, 115  
indeks gustoće, 39, 72  
indeks konzistencije, 71, 102  
indeks mraza, 124  
indeks plastičnosti, 71, 103, 253  
indeks tečenja, 71  
indeksni pokazatelji, 66  
industrijski ostatak  
  nasip od, 196  
inženjersko-geološka karta, 16  
inženjersko-geološki blok, 14  
inženjersko-geološki profil, 15  
iskop, 239  
  alati, 91  
  buldozerom, 159  
  bunarskog tipa, 134  
  debljina sloja, 161  
  dozerom, 158  
  dozetima, 160  
  dubokih usjeka, 161  
  jaružalom, 158

## F

kapacitet u pozajmištu, 239  
količina, 91  
lakim strojevima, 92  
  miniranjem, 158  
  način, 92  
  nagib, 162  
  pad dna, 162  
  račun količine, 240  
  strojevi, 91  
  strojni, 92  
  struganjem, 143  
  široki, 186  
  teškim strojem, 92  
  u rastresitom tlu, 158  
  završni, 162  
iskopi  
  bez zaštite, 136  
  humusa, 134  
  kanala, 134  
  s pokosima, 135  
  sa zaštitom, 136  
  složeni, 135  
  široki, 134, 135  
  tehnike, 136  
  u pozajmištu, 134  
  usjeka, 134  
  za rovore, 134  
  za temelje, 134  
Iskopi, 1, 2, 134  
iskustvo  
  provjereno, 242  
ispitivanje  
  na oglednom polju, 237  
  temeljnog tla, 200  
istražne  
  bušotine, 26

jame, 26  
istražni  
  bunari, 26  
  potkopi, 26  
istražni radovi, 86  
  dopunski, **87**  
  prethodni, 91  
izbojnica, 169, 173  
  širina, 170  
izdizanje kolnika, 122  
izdizanje zamrzavanjem, 121  
izjednačenje masa, 338  
  kombinirano, 341  
  poprečno, 341  
  uzdužno, 341  
izlazni gradijenat, 265  
izlazni gradijent  
  kritični, 268  
izvori, 14

## J

jalovina, 2  
jama  
  položaj, **87**  
  presjek, **87**  
jame  
  s pokosima, 26  
  u nekoherentnom tlu, 26  
jaružalo, 92, 191  
jedinični koeficijent reakcije tla, 59  
jednoosna tlačna čvrstoća, 96  
jezgra, 27, 28  
  neugodna mirisa, 100  
  u nasipu, 266  
jezgrena cijev, 27, 29  
jež, 255

## K

K. Terzaghi, **5**  
kakvoća  
  propisana, 341  
kalibrirani pilesak, 278  
kamen  
  lomljeni, 183  
  polutesani, 183  
  tesani, 183  
  usitnjeni, **183**  
  za nasipanje, 182  
kameni agregat, 234  
kamenolom, **184**  
kanal  
  derivacioni, 197  
  otvoreni, 300  
  plovni, 197  
  uski, odvodnja, 295  
  utjecaj mraza na, 133  
  za navodnjavanje, 197  
  za regulaciju, 197  
kapilarno dizanje, 122, 127  
  prekid, 132  
kartiranje, 13  
kategorija  
  iskopa, 94  
  stijenske mase, 96  
kavanje, 143, 326  
kaverna, 217  
klimatsko područje, 125  
klinovi  
  uz objekte, 262  
klizanje  
  podnožično, 271  
klizna ploha  
  kritična, 271

## G

koeficijent  
jednolikosti, 105, 125  
konsolidacije, 229  
oblika, 106  
procjeđivanja, 230  
propusnosti, 227  
stalne rastresitosti, 343  
zakrivljenosti, 105  
koeficijent filtracije, 268  
koeficijent jednolikosti, 64  
koeficijent nejednolikosti, 253, 255, 257  
koeficijent pora, 72  
koeficijent propusnosti, 304  
koeficijent reakcije podloge, 52  
koeficijent vodopropusnosti, 46, 65  
koeficijent vodooptopusnosti, 50  
koeficijent zakrivljenosti, 64  
kohezija  
računska, 282  
kolnička konstrukcija, 196  
podloga, 83  
završna, 209  
kolnik  
elastični, 119  
savitljivi, 82  
kolona  
obložna, 30  
zaštitna, 30  
kolotrazi, 313  
kombinirana analiza, 64  
komora  
pristup, 172  
kompaktori, 257  
komunalni otpad, 217  
konsolidacija, 215, 227  
radijalna, 233  
kontrolna ispitivanja, 10, 33, 53, 60, 275,  
280  
konzistencija  
promjena, 92  
konzistentno stanje, 66, 70, 88, 92, 104  
kosina  
dijagram za određivanje nagiba, 285  
dodatni teret na, 283  
približni nagibi usjeka, 289  
promjenjivog nagiba, 288  
računska visina, 283  
reducirana visina, 283  
teren iza u nagibu, 282  
u višeslojnom tlu, 288  
završna, 180  
kosina homogena  
model, 283  
košnja  
trave na pokosu, 330  
kota  
nivelete, 182  
kotrljanje, 325  
krater, 166  
krilna sonda, 104  
krilca, 41  
krivulja potpunog zasićenja, 80  
krš, 203  
pokriveni, 141  
kruna nasipa  
prelijevanje, 197  
krupnoća zrna, 98  
kružna ploča, 201  
kubatura  
obračun, 340

## H

## L

laboratorijska ispitivanja, **9, 10, 31, 60**

laboratorijski pokusi

za razredbu, 97

lapor, 255, 259, 261

suha gustoća usitnjenog, 261

lažnost

prirodna, 105

leća leda, 127, 131

led, 256, 257

homogeni, 126

kristali u porama, 122

leće, 121

leteći pepeo, 206, 226

lice

armiranog nasipa, 273

likvefakcija, 221, 236

pojava, 198

linija masa

proračun, 343

valovita, 345

linijsko bušenje, 180

## M

makropore, 261

manevar, 27

masa

suhog tla, 278

masa suhog tla, 277

McAdam, 3

mehanizacija

planirana, 248

za iskop, 158

meka stijena, 92

oštećenje, 322

podložna rastrošbi, 328

melioracijski sustav, 265

membrana

vododrživa, 267

miješanje

temeljnog tla, 205

miješanje u dubini

s vezivima, 226

milisekundno

paljenje, 178

milisekundno otpucavanje

prednosti, 166

mina

konturna, 181, **185**

naljepna, 174

miniranje, 92

etažno, **184**

glatko, 181

jednoredno, 179

podzemno, 167

poprečno, **184**

površinsko, 167

učinci, 170

višeredno, 179

vrste, 167

minske bušotine

jednoredne, 166

višeredne, 166

minsko polje

zatajenje, 170

mjerenja pomoću zračenja, 17

mjerenje vodopropusnosti

metoda Le Franc, 48

mjerenje vodopropusnost

pomoću bunara, 46

mjerenje vodopropusnosti

metodom po Lugeonu, 50

mješavina  
  izračun, 261  
močenje  
  u vodi, 98  
modeliranje  
  stijenske mase, 14  
modul  
  deformacije, 211  
  stišljivosti, 198, 211  
modul deformacije, 52  
modul elastičnosti, 38, 42  
modul reakcije podloge, 58  
modul stišljivost, 250  
modul stišljivosti, 37, 52, 55, 200, 254,  
  256, 257, 276  
  dijagram, 279  
  proračun, 279  
mokro sijanje, 64  
more  
  život na dnu, 262  
morski mulj, 93  
mraz  
  utjecaj na površinu usjeka, 123  
  utjecaj na temelje, 121  
mreža  
  elastična, 326  
  elastični držači, 326  
  na pokosu, 325  
mreža fragmenata  
  generirana, 176  
mulj  
  neplodni, 262  
Murzov, jednadžba, 339

## N

nabijanje, 198

nadvišenje  
  nasipa, 269  
nagib  
  bušotine, 170  
  etaže, 170  
nasip, 186  
  armirani, bez lica, 273  
  armiranje, 214  
  djelomično zbijen, 244  
  dravski, 291  
  dugi, 243  
  erozija nožice, 265  
  gradiva, 240  
  hidraulički, 221  
  hidrotehnički, 197, 265, 329  
  homogeni, 270  
  izrada, 240  
  kakvoća, 264  
  kakvoća kamenog, 258  
  kameni, 215, 258  
  kameni, ispitivanje, 279  
  male visine, 214  
  manje vlažnosti, 262  
  na slabo nosivom tlu, 214  
  na stišljivom tlu, 197  
  nepropusni dio, 266  
  niski, 203  
  nožica pored vodotoka, 321  
  oblaganje krupnim kamenom, 335  
  od šljunka, 290  
  otpadno tlo, 267  
  podjela, 196  
  pokos, 321  
  potporna zona, 266  
  potporni dio, 267  
  povremeno vododrživ, 197



povremena obranu od poplava, 197  
 povremena obrza melioracije, 197  
 površina, zadržavanje vode, 246  
 privremeno vododrživ, 197  
 privremopustan za vodu, 197  
 rušenje, 267  
 savski, 291  
 slijedeći sloj, 276  
 složenac, 272  
 stabilnost pokosa, 281  
 stari, 263, 264  
 tijelo, 266  
 trajno vododrživ, 197  
 trajno vodovrživi, 266  
 u vodi, 197  
 ugradnja u, 178  
 velika deformacija, 260  
 velike površine, 227  
 visoki, 203  
 visoki kameni, 321  
 vododrživ povremeno, 265  
 vododrživ trajno, 265  
 vododrživi, 197, 262, 265  
 za prometnice, 196  
 završni sloj, 203  
 zbijenost, 178  
 zonirani, 266, 269  
 željezničke pruge, 264  
 nasip svježi  
   oštećenje, 322  
 nasipanje  
   kombinirano, 244  
   s čela, 244, 264  
   s čela, na geotekstil, 213  
   u vodoravnim slojevima, 244  
 nasipavanje  
   bez zbijanja, 241  
   načini, 241  
   nekoherentnog tla, 218  
   prekid rada, 254  
   s plovila, 241  
   sa zbijanjem, 241  
   u dubokoj vodi, 241  
   u slojevima, 242  
   u tekućoj vodi, 241  
   u vodi, 241  
   uz objekte, 241  
   uz zbijanje, 242  
 nasipi  
   vododrživ povremeno, 265  
 Nasipi, 2, 63, 242  
 nedrenirana čvrstoća, 41  
 nedrenirani uvjeti, 33  
 nekoherentno tlo  
   cementirano, 208  
   poboljšano cementom, 208  
 nep hidrosjetva  
   neplodna podloga, 331  
 nerazarajuća istraživanja, 9  
 nosivost  
   krupnozrnog tla, 82  
   povećanje, 207, 233  
 nož  
   dozera, 144  
 nožica  
   osiguranje od podlokavanja, 334  
 nuklearni denziometar, 277  
 nulte točke  
   proračun, 342  
 nulti profil  
   stacionaža, 342

## O

objekt  
gorovi, 262  
obloga  
betonskim pločama, 334  
obračun količina, 138  
obračun troškova, 94  
obrana od poplave,, 265  
obrnuti filtar, 311  
**odlagališta**  
otpada, 2  
odlagalište, 192, 343  
humusa, 140  
industrijskog otpada, 192  
jalovine, 192  
koherentnog tla, 192  
komunalnog otpada, 192  
lapora, 261  
privremeno, 186, 192  
trajno, 186, 192  
odmrzavanje, 121  
odron, 323  
odron kamena, 324  
odskakanje, 325  
odušak  
kod miniranja, 163  
odvodni jarak, 294, 296  
odvodnja, 327  
gravitaciono, 297  
poprečna, 140  
površinska, 202  
pozajmišta, 239  
prirodna, 162  
prometnice, 293  
prstenasti susrav bunara, 307  
temelnog tla, 202

## L

usjeka, 162  
uzdužna, 140  
odvoz, 239  
okno, 134, 172  
opterećenje  
dodatno, 283  
granično, 283  
opteživač, 325  
optimalna vlaga, 253  
**optimalna vlažnost**, 6, 79, 202  
organske tvari, 60, 91, 105, 253  
osjetljivost na mraz  
ocjena, 128  
osjetljivost tla na mraz  
terenska provjera, 130  
osteljica  
za autocestu, 115  
otpor prodiranja šiljka, 35  
otpor šiljka, 37  
otpor trenja  
po plaštu, 41  
otpucavanje  
milisekundno, 166  
trenutno, 166

## P

pad  
poprečni, minimalni, 243  
pad slojeva, 13  
panjevi  
vađenje, 139  
parametri  
računska vrijednost, 282  
stijenske mase, 96  
parametri čvrstoće na smicanje, 282  
parametri tla, 33

parcijalni koeficijenti, 282  
 Penetracije, 33  
 penetracijski pokus, 219  
     dinamički, 223  
     statički, 223  
 piezometar, 31  
 pijesak rahli  
     zbijanje, 217  
 pijeometri, 87  
 pijuk, 94  
 plan iskolčenja, 139  
 planiranje  
     fino, 194  
 planum, 133, *See*  
 plastičnost, 92, 98  
     dijagram, 108  
     niska, 108  
     srednja, 108  
     visoka, 108  
 platforma  
     okretna, 143  
 pleter, 333  
 plosnati dilatometar  
     rezultati, 45  
 pljusak  
     intenzivni, 329  
 Pactor  
     modificirani, 198  
     standardni, 198  
 podkopi s podgrađivanjem, 26  
 podloga  
     loša, 245  
     nepropusna, 268  
     propusna, 268  
     smrznuta, 254, 256  
     stišljiva, 269  
     uređenje, podvodno, 244  
 podloge  
     tamponska, 238  
 podnožični lom, 281  
 podtemeljne građevine, 203  
 podtlo  
     uređenje, 200  
 podzemna voda, 26, 27, 28, 33, 87, 89, 90,  
     96, 131, 132, 136, 211, 219, 229, 238,  
     293, 302, 303  
     pod pritiskom, 46  
     slobodno lice, 46  
 podzemni radovi, 93  
 Poissonov koeficijent, 55  
 pokos  
     naasipa, grafički prikaz, 287  
     nepodgrađeni, 91  
     prekrivanje humusom, 329  
     rolirani, 333  
     stabilni, 285  
     stabilnost, 91  
     strmi, ozelenjavane, 332  
     svježi, 329  
     usjeka, grafički prikaz, 287  
 pokos usjeka  
     zaštita, 325  
 pokos usjeka i nasipa  
     hidrotehničkih građevina, 290  
 pokosi  
     privremeni, 135  
     stalni, 135  
 pokusi  
     klasifikacijski, 104  
 pokusna dionica, 203, 215, 242, 247, 249,  
     256  
     dužina, 203

za izbor strojeva, 246  
polimerne geomreže, 201  
ponor, 217  
ponori, 14  
poprečni presjek  
  površina, 338  
pore, 65  
poremećeni uzorci, 27  
porni pritisak, 41, 229  
  disipacija, 219  
porni pritisci  
  povećanje, 221  
porni tlak  
  disipacija, 236  
porozitet, 219  
porporni zid  
  projektiranje, **87**  
posmična čvrstoća  
  nedrenirana, 104  
posteljica, 82, 132  
  ispitivanje, 82  
postupak  
  s dodavanjem nasipa, 220  
  s dodavanjem šljunka, 221  
potporna građevina  
  od armiranog tla, 273  
potporne građevine, 327  
potporni zidovi, 262  
potpuni klin, 271  
potresanje  
  reakcija na, 131  
površina  
  raskvašena, 162  
pozajmište, 27, 97, 186, 249, 275, 312,  
  340, 341  
  orvaranje, 199

Pozajmište, 2, 293  
  kamena, 2  
pozaljište, **10**  
pravokutni  
  raspored drenova, 230  
predminiranje, 181  
pregranulacija  
  tlo sklono, 255  
prelijevanje  
  preko krune, 269  
presiometar, 219  
prethodna obrada, 260  
prethodni istražni radovi, **8, 13**  
pribor  
  za dubinsko miješanje, 226  
prijedlog temeljenja, **87**  
prijevoz  
  dužina, 188  
  gradilišni, 186  
  javnim cestama, 186, 189  
  kapacitet, 186  
  na gradilištu, 191  
  na javnim prometnicama, 191  
  po gradilištu, 189  
  udaljenost, 186  
  vrsta, 186  
prijevozna dionica, 341  
prijevozna sekcij, 341  
prikupljanje podloga, **9**  
priprema  
  betonskog lica, 262  
prirodna vlažnost, 62, **88**, 275  
prisilne točke, 341  
pristup  
  vozilima, 245  
  vozilima, nasipanjem, 245

vozilima, zasijecanjem, 245

pritisak

- arteški, 310
- na zidove, 259
- subarteški, 310

prividna kohezija, 92

probna ploča, 275, 279

probno polje, 223

probušenje, 170

proces konsolidacije, 216

- ubrzanje, 221

procjedna linija, 268

procjeđivanje

- gubitak, 266
- kroz nasip, 266
- kroz podlogu, 270
- proračun, 267
- u nožici, zaštita, 298
- zaštita od, 270

Proctor, 6, 209, 250, 252, 282, 340

- standardni, 253

Proctorov broj, 253

Proctorov pokus, 62

- dijagram, 78
- standardni, 73
- uređaj, 76

Proctorov pokzs, 275

profil masa, 344

profil površina, 342

- reducirani, 343

program ispitivanja, 33

projekt miniranja, 168

projektirani pljusak, 296

projektirani pristup, 282

prolom

- uslijed ispiranja, 265

promet

- neprekidno odvijanje, 263

prometnica, 338

promjer

- nominalni, 101

promjer zrna

- najveći, 257

propust, 297

- nasipavanje uz, 262

prosjek, 161

prostorna težina, 269, 282

provjera kakvoće, 72

Provodljivost tla, 19

prskani beton, 328

prvobitno stanje, 139

pucolanska reakcija, 206

pukotina, 13, 15, 18, 28, 96

- ispunjena crvenicom, 327
- međuslojna, pružanje, 282

prazna, 327

- sekundarna, 326
- tercijarna, 326
- završne kosine, 180

pukotine

- ispunjene, 141
- prazne, 141

put

- privremeni, 313

## R

R.Q.D., 96

radovi

- glavni, 134
- pripremni, 134
- završni, 134

ragmentacija

idealna, 174  
rasjedi, 13  
raskop  
    položaj, 87  
rastresitos  
    iz literature, 137  
rastresitost, 240  
    stalna, 340  
rastročba  
    učinak, 259  
rastročba, 259  
ravnalica, 345  
razaranje  
    betona, 163  
    masovno, 163  
    pomoću eksploziva, 163  
    smjesa za, 163  
    stijene, 163  
    stijenske mase, kontrolirano, 164  
razastiranje, 243  
    grubo, 194  
razmak  
    drenova, 230  
razredba  
    "A", 97  
    AC, 100, 107  
    dijegram toka, 100  
    jedinstvena, 97  
    uc, 100  
    UC, 107  
razredba tla, 27  
razredbena ispitivanja, 62  
razvoz tla  
    iz usjeka u nasip, 341  
redosljed  
    otpucavanja, 167

## P

redukcija količina, 343  
reflektirajući val, 165  
refuliranje, 221, 227  
    pijeska, 197  
relativna gustoća, 103, 105, 216, 219  
reni-bunar, 300  
reperna bušotina, 14  
reset, 110  
rigol, 297, 301  
rijanje, 189  
    prirodne površine, 204  
RMR metoda, 97  
rotacijsko bušenje, 29  
rovokopač, 92  
RQD, 14, 286  
ručni iskop, 1, 143  
ručni nabijač, 262  
ručno  
    zbijanje, 263

## S

sakupljač vode, 293  
sanacija klizišta, 87  
savitljivi, 231  
segregacija  
    pri nasipavanju, 241  
seizmičk valovi  
    brzina, 22  
seizmička ispitivanja, 17  
seizmički  
    valovi, 165  
seizmički valovi, 22  
    brzina, 25  
    brzina širenja, 187  
    uzdužni, 25  
serija

kontrolna, 276  
sidra, 328  
sidrenje, 327  
    dijelovi pokosa, 327  
sigurnost  
    pri miniranju, 168  
silazna rampa, 243  
situacija terena, **II**  
skela, 242  
skreper, 193  
    samohodni, 189  
    vučeni, 189  
slijeganje  
    dovoljno malo, 227  
    izazvano predopterećenjem, 228  
    konsolidacijsko, 227, 228, 233  
    naknadno, 261  
    naknadno, dugotrajno, 259  
    nasipa, 269  
    nasipa, naknadno, 198  
    podloge, 269  
    postotak, odabrani, 227  
    predviđeno, 227  
    sekundarno, 230  
    smanjeno, 233  
    ukupno, 227, 228  
    većih površina, 227  
    vremenski projektirano, 215  
    završeno, 227  
sloj  
    debljina, 194, 203, 215, 242, 246, 263  
    kamenog nasipa, 214  
    nosivi, 209  
    novi, nanošenje, 248  
    slabo nosivi, debljina, 214  
    smjer pružanja, 282  
    visina, 246  
    vodoravni, 243  
    završni, 199, 209  
slom krovine, 218  
smicanje  
    direktno, 282  
smjer pružanja, 13  
snijeg, 256, 257  
soilcrete, 209  
sonda  
    za vibriranje, 222  
    za vibroflotaciju, 222  
sondažni profil, 87  
spoj  
    starog i novog nasipa, 264  
SPP  
    podaci, **89**  
sredstva za stabilizaciju  
    područje primjene, 206  
sržna cijev, 29  
stabilizacija vapnom  
    učinci, 207  
stabilizacija  
    dinamička, 235  
    nekoherentnog tla, 206  
    sitnozrnog tla, 206  
stabilizacija tla  
    hidrauličkim vezivom, 201  
    na licu mjesta, 204  
    vapnom, 201  
    zamjenjujućim stabiliziranim slojem,  
        204  
stabilizirano  
    tlo, 82  
stabilizirano tlo, 83  
stabilnost

- temelnog tla, 281
- stabilnost pokosa, 323
  - hidrotehničkih građevina, 281
- stacionaža, 338
- stalne točke
  - osiguranje, 139
- standard
  - američki, 107
- standardni penetracijski pokus, 27
- standatdno tlo, 84
- starenje
  - stijene, 326
- statički penetrometar, 36
- stepenica, 264
- stepenice
  - zasijecanje, 142
- stijena
  - okršena, 327
  - podložna rastrošbi, 259
- stijene
  - čvrste, monolitne, 93
  - eruptivne, 92
  - metamorfne, 92
  - sedimentne, 92
- Stokesov zakon, 101
- stroj
  - pogodan za zbijanje, 250
- strojev
  - za poboljšanje dubokih slojeva tla, 233
- strojevi
  - za zbijanje, 203
- strujni tlak, 268, 269
- strujno polje, 135, 268
- strukturni dijagram, 15
- stup
  - sa zglobnim ležajem, 326

## R

- stupanj poboljšanja, 40
- stupanj zasićenosti, 79
- stupanj zasićenja, 65
- stupanj zbijenost, 200, 246
- stupanj zbijenosti, 250, 254, 256, 257, 276
- stupov
  - šljunčani, razmak, 233
- stupovi
  - šljunčani, 233, 238
  - šljunčani, učinkovitost, 235
- sufozija, 266
- suha gustoća, 72, 73, 77, 201, 250, 253
  - veća, ugrađenog tla, 263
- suho sijanje, 63
- sumarna krivulja
  - kubatura, 342
- sušenje
  - do optimalne vlažnosti, 246
  - tla, 199
- svojtvo
  - ugradbeno, 203

## Š

- šesterokutni
  - raspored drenova, 230
- škrape, 202
- šljaka, 206, 226
- šljunak
  - dodavanje, 222
- šljunčani drenovi, 221
- šljunčani stupovi, 221
- Šparov dijagram, 339
- štolna, 172
- šupljina
  - urušavanje, 218



## T

- tandard
  - britanski, 107
- tandem
  - za vibriranje, 223
- tehnički uvjeti izvedbe, 279
- tehnologija rada, 203
- tekuća ispitivanja, 248
- temeljno
  - tlo, dreniranje, 232
  - tlo, poboljšanje, 233
- temeljno tlo
  - loše, 204
- temperaturna provodljivost, 125
- teorija miniranja, 165
- teorija mješavine, 205
- terenska
  - identifikacija, 97
- terenski pokusi, 9
- tiltdozer, 143
- tlak mirovanja, 42
- tlo
  - dobro graduirano, 110
  - gradivo, 97
  - iskopano, 186
  - iskopano iz usjeka, 338
  - jednoliko graduirano, 110
  - katgorije "A", 95
  - katgorije "B", 95
  - katgorije "C", 95
  - katgorije C, 97
  - kkohherentno, 111
  - količina ugrađenog, 339
  - krupnozrno, 110, 112
  - mješavina, 92
  - nekoherentno, 92
  - niske plastičnosti, 103
  - okršene površine, 141
  - organsko, 230
  - otporno na eroziju, 209
  - otporno na mraz, 209
  - plitki slojevi, 199
  - pogodno za stabilizaciju, 206
  - prašinasto, 112
  - previše suho, 253
  - previše vlažno, 253
  - proppisane zbijenosti, 340
  - rahljenje, 202
  - rastresito, 91
  - sitnozrno, 107, 110, 112
  - sitnozrno, koherentno, 92
  - slabo graduirano, 110
  - slabo nosivo, 271
  - sraslo, 340
  - stjenovito, priprema, 202
  - sušenje, 202
  - u nožici pokosa, 328
  - ugrađeno u nasip, 97
  - usitnjeno, udio, 261
  - visoke čvrstoće, 209
  - višak, 186, 341
  - vlaženje, 202
  - za nasipe, 140
- TNT, 174
- tonjača, 334
- traktor, 145
- trasa
  - izdužena, 134, 191
  - uzdužni profil, 342
- trase pruge
  - promjena, 264
- travna rešetka, 332

trenje  
armatura - tlo, 272  
povećanje, 216  
treset, 93, 100, 113  
zamjena miniranjm, 225  
trodjelni sustav, 65  
troska, 206

## U

učinak  
razdvajajući, 272  
ugovor  
posebni, 87  
umjetni uzorci, 62  
upojni bunar, 294, 298  
upornjak  
nasipavanje uz, 262  
usjek, 186  
pokos, 321  
pokos u kvartaru, 281  
pokos u stijeni, 281  
površina, 259  
u stijenskoj masi, 182  
u zdravoj stijeni, 323  
usporenje  
prekratko, 179  
usporivači, 166  
uteg, 217  
utovar  
iz kašike, 190  
utovarivač, 190  
uzdužni profil, 342  
uzorak  
iz sloja nasipa, 277  
neporemećeni, 31, 32, 282  
neporemećeni, pribor za vađenje, 32

## T

neporemećeni, uzimanje, 32  
poremećeni, 31  
umjetni, ispitivanje, 282  
užad  
istezljiva na kraju, 326

## V

vađenje jezgre  
pribor, 29  
vakuum, 305, 308  
valovanje, 269  
valovi  
širenje kroz tlo, 218  
valjak, 256  
vapno, 226  
hidratizirano, 205  
negašeno, 205  
veličina otvora  
efektivna, 212  
velike brane, 6, 26, 197, 281  
ventilacija, 167  
vezna greda, 327  
Via Appia, 4  
vibriranje, 74, 198, 221, 236  
dubinsko, 223, 234  
vibroflotacija, 221  
vibronabijači, 257  
vibrovaljak, 202  
vibrovaljci, 257  
vibrožaba, 202  
virna ploha, 265, 267, 270, 298  
visina etaže, 170  
višak gradiva  
iz iskopa, 192  
vlaženje  
dodatno, 245

tla, 199

vlažnost, 65, 250, 253

- odstupanje od optimalne, 275
- optimalna, 239
- optimalna, 238, 245, 253, 312
- početna vrijdnost, 80
- prirodna, 32, 66
- promjena, 202
- raspon, 112
- tla, 199
- velika, 202

vlažnost tla, 73

- optimalna, 73

voda

- iz vodotoka, zaštita, 307
- kapilarno vezana, 122
- oborinska, 140, 162, 261, 301, 312
- oborinska, odvodnja, 294
- podzemna, 140, 238, 261, 312
- pritisak na prskani beton, 329
- procjedna, 162, 261, 312, 329
- procjeđivanje, 265
- vanjska, 140, 238, 293
- vlastita, 238, 294
- zaobalna, zaštita, 302

voda podzemna

- procjeđivanje, 323

voda vlastita

- na pokosu, 322

vode

- doljnja, 268
- gornja, 268

vodeni topovi

- polijevanje, 258

vodonosni sloj

- duboki, 309
- površinski, 309

vodopropusnost

- kod razdvajanja, 212
- slaba, 199

Vossov dijagram, 203

vozila, 186

vozna površina

- kakvoća, 313

vremenski faktor, 230

vrtača, 141, 217

vrtače, 201, 202

## W

Winklerova jednadžba, 339

## Z

zacjevljenje, 28

zagalat

- nizvodni, 265

- uzvodni, 265

zamjena

- lošeg tla, 245

- temeljnog tla, 201

zamjena tla, 211

zamjenski sloj, 203

zamrzavanje, 121

- osjetljivost na, 205

zapremina

- krupnozrnog tla, 278

- određivanje, 277

- promjena, 137

- rastresita, 186

- sraslog tla, 136

zastor

- safaltni, 83

- savitljivi, 83

zaštita od vode  
  povremena, 294  
  privremena, 294  
zaštita pokosa  
  estetski učinak, 322  
zaštite pokosa  
  povijesna, 322  
zaštitna kolona, 28  
zaštitni jarak, 295  
zaštitni jarci  
  s ogradom, 325  
zbijanje, 73, 74  
  dinamičko, 238  
  dubinsko, 225  
  jednolično, 244  
  krupnozrnog tla, 199  
  mehaničko, 202  
  miniranjem na površini, 225  
  miniranjem u dubini, 226  
  način, 194  
  površinsko, 225  
  rahlog tla, 218  
  sitnozrnog tla, 198  
  sredstva za, 202  
  strojevi za, 246  
  svrha, 235  
  tla, 199  
  učinak, 216  
  učinak za razne debljine sloja, 250  
zbijanje podloge, 3, 51, 139, 238, 250, 275  
zbijenost, **6, 55, 73, 74, 79, 88, 104, 109, 137, 198, 201, 203, 239**  
  ispitivanje, 204, 250  
  ispitivanje, kriteriji, 276  
  nasipa, 246  
  nižih slojeva, 340  
  planuma, 214  
  podloge, 203  
  povećanje gustoće, 215  
  propisana, 340  
  provjera, 223  
  relativna, 236  
  starog i novog nasipa, 263  
  starog nasipa, 263  
  stupanj, 198  
  tla, 82, 198  
  ugrađenog sloja, 203  
  završnog sloja, 340  
zemljani radovi  
  veliki, 191  
zijek, 13  
zrna  
  izdužena, 101  
  obla, 101  
  pločasta, 101  
  uglata, 101  
zrno  
  najveće, 183

## Ž

željeznička pruga  
  nadvišenje, 264