

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**LATVIJAS KVARTĀRA SMILŠAINO NOGULUMU ANALĪZE, IZMANTOJOT  
PROKTORA METODI**

BAKALaura DARBS

Autors: Dāvis Lapiņš

Stud. apl. dl15032

Darba vadītājs: Māris Krievāns

docents, Dr. geol.

RĪGA 2018

## SATURS

ANOTĀCIJA .....	3
ANNOTATION .....	4
IEVADS .....	5
1. GRUNŠU RAKSTUROJUMS .....	7
1.1. Grunts uzbūve .....	7
1.2. Grunts īpašības .....	8
1.3. Smilšaino grunšu raksturojums .....	10
GRUNTS SABLĪVĒŠANA .....	12
2.1. Grunts sablīvēšana lauka apstākļos .....	12
2.2. Nestandarta blīvēšanas metodes lauka apstākļos .....	14
2.3. Proktora tests .....	16
2.3.1. Standarta proktora tests .....	16
2.3.2. Modificētais proktora tests .....	19
2.4. Faktori, kas ietekmē grunts sablīvēšanos .....	20
2.5. Proktora analīzes datu izmantošana .....	22
3. PARAGU IEGŪŠANAS VIETU TERITORIĀLAIS RAKSTUROJUMS .....	23
4. METODES .....	27
4.1. Potenciālo teritoriju izvēle un kamerālie darbi .....	27
4.2. Lauka pētījumi .....	27
4.3. Laboratorijas darbi .....	27
4.3.1. Granulometriskā sastāva noteikšana izmantojot sietu analīzi .....	28
4.3.2. Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšana izmantojot piknometra analīzi .....	28
4.3.3. Modificētā proktora analīze .....	29
5. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	32
5.1. Granulometriskā sastāva rezultāti gruntīm .....	32
5.2. Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšana .....	33
5.3. Pārbaudes rezultāti granulometriskā sastāva un proktora analīzēm .....	33
5.4. Modificētā proktora analīžu rezultāti .....	35
SECINĀJUMI .....	46
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	47

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darba mērķis ir analizēt smilšaino grunšu optimālo mitruma daudzumu, pie kura grunts ir maksimāli sablīvējama. Galvenais mērķis ir noskaidrot cik prognozējams ir optimālais mitruma daudzums pie kura var maksimāli sablīvēt grunti, zinot tās granulometrisko sastāvu un šķirotību.

Pētījumā iegūtie rezultāti liecina, ka smilšaino grunšu sablīvēšanās spējas ietekmē grunts smalko daļiņu (māla un aleirīta), kā arī grants piejaukum. Ir vērojama likumsakarība starp granulometriski rupjgraudaināku materiālu un zemāku optimālā mitruma pakāpi, pie kura grunts iegūst maksimālo blīvumu. Turklāt ir vērojama likumsakarība, ka rupjgraudainākam materiālam piemīt augstākas maksimālā blīvuma vērtības kā smalkgraudainiem materiāliem.

Atslēgas vārdi: inženierģeoloģija, grunts, sablīvēšana, grunts blīvums, grunts mitrums

## ANNOTATION

The objective of bachelor's thesis is to analyse optimal moisture content of sandy soils to which soil can be most compacted. The main objective is to understand how predictable is optimal moisture content of a given soil, to which it can be most compacted, knowing its granulometry and its grading.

Study results show that compaction abilities of sandy soils are affected by admixture of fine particles (clay and dust), aswell as gravel content of a given soil. Regularity can be observed between granulometricaly coarse material and lower optimal moisture content. Moreover we can observe that coarse material has higher maximal density values that finer grained soils.

Key words: engineering geology, soil, compaction, soil density, soil moisture content

## IEVADS

Inženierģeoloģisko būvju pamatu izveide ir viena no nozīmīgākajām stadijām būvniecības gaitā, kā rezultātā, liela daļa ģeotehnisko laboratoriju gan Latvijā, gan cituriet pasaulē nosaka grunts blīvumu pie optimālā mitruma, izmantojot proktora metodi.

**Problēmas raksturojums:** Apkopojot informāciju par grunts sablīvējamības ietekmējošajiem faktoriem tika noskaidrots, ka galvenie grunts sablīvēšanas ietekmējošie faktori ir grunts granulometriskais sastāvs un šķirotība. Tomēr pieejamajā literatūrā nav analizēts cik paredzama ir šo faktoru ietekme. Ģeotehnisko laboratoriju laiks maksā naudu un, ja tiktu veikts kāds datu apkopojums, kas sniegtu informāciju par to, ar kādu mitruma pakāpi būtu jāsāk veikt Proktora analīze gruntīm, zinot to granulometriskā sastāvu, tad tiktu ietaupīts daudz laiks un enerģija, kuru varētu novirzīt kam citam.

Bakalaura darbā analizētas tikai smilšainās gruntis, ar atšķirīgiem granulometriskajiem sastāviem, un grunts cieto daļiņu blīvumiem. Pētījuma mērķis ir rast lielāku izpratni par grunts sablīvējamības ietekmējošo faktoru ietekmi uz gruntīm.

Lai Bakalaura darba mērķis tiktu sasniegts, autors ir izvirzījis sekojošus darba uzdevumus:

- iepazīties ar pieejamo literatūru par faktoriem, kas ietekmē grunts sablīvējamību, jau iepriekš veiktajiem pētījumiem šajā nozarē, proktora analīzi un grunts lauka blīvēšanas metodēm;
- veikt paraugu iegūšanas vietu izvēli, ar mērķi iegūt dažādas granulometrijas un šķirotības smilšainos grunts paraugus;
- veikt lauka darbus izvēlētajās teritorijās paraugu iegūšanai;
- veikt laboratorijas darbus iegūtajiem paraugiem, kas ietver granulometriskā sastāva noteikšanu, grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšanu, kā arī proktora metodes izmantošanu;
- veikt datu apkopošanu, iegūto rezultātu analīzi un secinājumus.

Bakalaura darba izstrāde sastāv no literatūras apskata, kamerālajiem darbiem, kas tika veikti paraugošanas vietu noskaidrošanai, lauka un laboratorijas darbiem, datu apkopošanas, analīzes un secinājumiem. Autors darbu realizēja laika posmā no 2018. gada janvāra līdz 2018. gada maijam. Pamatojoties uz darba gaitā iegūtajiem rezultātiem, ir izdarīti secinājumi par smilšainajām gruntīm un to sablīvējamību.

Bakalaura darbs sastāv no piecām nodaļām, kurās sniegta informācija par grunts raksturojumu, grunts blīvēšanas metodēm gan laboratorijas, gan lauka apstākļos. Metodikas nodaļa sniedz ieskatu par grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšanu, granulometriskā sastāva

noteikšana un proktora analīzi. Pētījuma rezultātu nodaļā tiek apkopota laboratorijas darbu gaitā iegūtā informācija. Pēc rezultātu nodaļas tiek veikti secinājumi, kas izriet no iegūtajiem rezultātiem.

Darbs izklāstīts uz 49 lpp, kuras ir papildinātas ar 34 attēliem, 5 tabulām un 4 formulām. Darba tapšanā izmantoti 35 literatūras avoti.

# 1. GRUNŠU RAKSTUROJUMS

Grunts ir minerālu, organisku vai abu veidu izcelsmes maisījums nogulumu formā, kurus var sadalīt ar mehāniskiem paņēmieniem, un kuri satur ūdeni, gaisu (arī citas gāzes) dažādās proporcijās. Gruntis var būt veidotas no cilvēka saimnieciskajā darbībā veidotajām komponentēm ar līdzīgām īpašībām kā dabiskai gruntij (Bell 1998). Pēc Latvijas standarta, LVS – 437 ‘‘Būvniecība. Gruntis. Klasifikācija.’’, gruntis ir jebkuri ieži un nogulumi, kurus izmanto par pamatni, vidi vai materiālu būvēm un novērtē kā laikā mainīgu vairākkomponentu sistēmu. Atsaucoties uz 7. Eirokodeksu (LVS EN 1997-1), tiek izdalītas klinšaino grunšu klases un irdeno, jeb disperso grunšu klases.

Sakarā ar to, ka šī pētījuma ietvaros analizētas tiek tikai irdenās gruntis, tad klinšaino grunšu klase tālāk apskatīta netiek.

## 1.1. Grunts uzbūve

Disperso, jeb irdeno grunšu klasē ietilpst dažādi zemas litifikācijas pakāpes nogulumieži, tai skaitā arī mākslīgi veidotie. Šī grunšu klase apvieno tādas nogulumiežus kā: nesaistītos rupjdrupu iežus, smiltsiežus, vāji saistītos putekļiežus, māliežus, biogēnos iežus, mākslīgos nesaistītos iežus, kā arī augsnes (Bell 2007). Irdenās gruntis raksturo kā daudzkomponentu savienojumu sistēmu, kas galvenokārt sastāv no trīs fāzēm – cietās, šķidrās un gāzveida (1.1. attēls) (Bell 1998).



1.1. attēls. Grunts fāzu shematisks attēlojums.

Cietā fāze sastāv no minerālajām daļiņām, jeb grunts skeletu. Irdeno grunšu gadījumā cieto fāzi raksturo ar granulometrisko sastāvu kā arī ar grunts cieto daļiņu blīvumu (Bell 1998). Grunts cieto fāzi kvalitatīvi var raksturot tikai laboratorijas apstākļos, nosakot granulometrisko sastāvu ar sietu metodi vai hidrometru, kā arī cieto daļiņu blīvumu,

izmantojot kādu no ģeotehnisko laboratoriju piejamajām metodēm, piemēram, fluīdu piknometra metodi.

Šķidro fāzi galvenokārt veido ūdens, kas aizpilda starp grunts cietajām daļiņām esošos tukšumus, jeb poras. Gruntis var būt gan piesātinātas, gan daļēji piesātinātas, kas nozīmē, ka ūdens poras aizpilda pilnībā vai tikai daļēji (Bell 1998). Laboratorijas apstākļos ir iespējams noskaidrot cik piesātināta ir konkrēta grunts. Lai to kvalitatīvi veiktu, grunts paraugs ir jāizžāvē līdz tas iegūst gaissausu stāvokli. Zinot masu paraugam pirms un pēc žūšanas, ir iespējams aprēķināt cik lielu daļu no grunts masas aizņem ūdens (Bell 2007).

Tāpat kā grunts šķidrā fāze, tā arī gāzveida fāze aizpilda starp grunts cietajām daļiņām esošos tukšumus, jeb poras. Gāzveida fāze galvenokārt sastāv no gaisa, tomēr tās var būt arī citas gāzes. Gāzveida fāze var tikai daļēji aizpildīt poras starp cietajām daļiņām, jo vismaz neliels ūdens, jeb šķidrās fāzes daudzums ir sastopams vienmēr (Bell 1998). Bez šīm trīs galvenajām grunts fāzēm, gruntīs mēdz būt arī dažādi organiskie savienojumi, kuru klātesamība negatīvi ietekmē grunts fizikālās un mehāniskās īpašības (Fratta et al. 2007).

## **1.2. Grunts īpašības**

Dispersajās, jeb irdenajās gruntīs minerālu daļiņu savstarpējās saites ir ievērojami vājākas, nekā neirālā materiālā stiprība, jeb atsevišķu daļiņu stiprība. Grunts veidojošās cietās daļiņas (atkarībā no grunts veidojošā ieža) pašas par sevi ir izturīgas, bet pateicoties vājām saitēm starp minerāli daļiņām, tām nav tik labi sasaistes stiprības rādītāji. Grunts cieto daļiņu deformāciju un nobīdes rezultātā mainās visa grunts slāņa kopējā nestspēja un mehāniskās īpašības, kas var būt neatgriezeniski un negatīvi ietekmēt visu būvi. Raksturojot gruntis, tiek izdalītas fizikālās un mehāniskās īpašības, kuras raksturo grunts stiprību, deformējamību, un ūdens uzņēmību (Fratta et al. 2007).

Fizikālās grunts īpašības raksturo grunts fizikālo stāvokli. Kā nozīmīgākās un biežāk analizētās var minēt:

1. Porainību – kas tiek izteikta procentuāli vai kā daļa. Bieži tiek lietots porainības koeficients ( $e$ ) kas tiek izteikts kā poru tilpuma un grunts minerālo daļiņu tilpuma attiecība (Aysen 2005).
2. Grunts dabiskais mitrums – tiek izteikts (lielākoties procentuāli), kā ūdens daudzums no konkrēta grunts parauga (Bell 1998).
3. Grunts blīvums – atkarīgs no minerālā sastāva, porainības, kā arī ūdens piesātinājuma. Grunts blīvums tiek izteikts, kā grunts masas attiecība pret visu grunts tilpumu.

Minot iežu porainību, kā iežu mehānisko īpašību raksturojošu parametru, ir jāizdala efektīvā porainība un porainības koeficients. Efektīvā porainība ( $P_{ef}$ ) ir visu atvērto poru, caur kurām filtrējas ūdens un dažādas gāzes, relatīvais tilpums iezī, ko izsaka procentuāli. Porainības koeficients ( $k_p$ ) ir visu poru tilpuma attiecība pret visu minerālkomponentu iezī (Noviks 1998). Efektīvo porainību nosaka pēc formulas 1.1.

(1.1.)

$$P_{ef} = \rho_{sk} g$$

Kur  $G_p$  – ar šķidrumu piesātinātā ieža svars;

$G$  – sausā ieža svars;

$\rho_{sk}$  – šķidruma blīvums.

Gruntīm piemīt arī citas fizikālās īpašības, tomēr, ņemot vērā, ka šajā bakalaura darbā tiek apskatītas tikai smilšainās gruntis, tad sīkāk netiek aprakstītas īpašības, kuras piemīt mālainajām un organiskajām gruntīm, kā piemēram lipīgums, plasticitāte, uzbriešana, pelnainība, sarukšana, saplakšana, kā arī citas īpašības (Bell 1998).

Grunts mehāniskās īpašības ir grunts spēja pretoties ārējiem spēkiem, jeb slodzēm, kas iedarbojas uz grunti (Bell 1998).

Kā galvenās irdeno grunšu mehāniskās īpašības var minēt:

1. Pretestība bīdei – grunts cieto daļiņu savstarpēja nobīde ārējo spēku iedarbības rezultātā. Irdenajās gruntīs grunts daļiņu nobīdi rada savstarpēja berze starp grunts daļiņām, kas ir proporcionāla pievienotajai ārējai slodzei (Aysen 2005)
2. Saspiežamība – jeb irdeno grunšu deformējamība, kas tiek noteikta pēc grunts porainības samazināšanās, kad tai tiek pievienota ārējā slodze (Bell 1998).

Grunts īpašību veidošanā būtiska nozīme ir mālu minerāliem, kuriem to augstās dispersitātes pakāpes dēļ, piemīt koloīdu īpašības. Pat neliela mālu daļiņu klātbūtne smiltīm var piešķirt plastiskas īpašības, uzbriešanas spējas, lipīgumu un citas mehānisko īpašību pasliktinošas īpašības. Tādēļ ir sevišķi nozīmīgi noteikt māla saturu jebkurai gruntij laboratorijas apstākļos (Bell 2007).

Nereti gruntīm ir lielāks vai mazāks organisko vielu piejaukums. Ņemot vērā, ka organikai piemīt lielāks hidroskopiskums nekā minerālajām gruntīm, tad organisko vielu klātbūtne gruntī ievērojami paaugstina grunts mitrumietilpību, plastiskumu un uzbriešanas spēju, kā rezultātā samazināts grunts stiprība, mehāniskās īpašības un to izmantošana par būvpamatni tiek apgrūtināta (Bell 2007).

### 1.3. Smilšaino grunšu raksturojums

Smilšainās grunts tiek raksturotas un klasificētas pēc LVS EN ISO 14688-2. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identifikācija un klasificēšana. 1. daļa: Identificēšana un aprakstīšana* un LVS EN ISO 14688-2. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identifikācija un klasificēšana. 2. daļa: Klasificēšanas principi*. 1.1. tabulā redzamas vērtības minerālgrunšu izdalīšanai procentuāli.

1.1. tabula

Dažādu frakciju procentuālais sadalījums minerālgrunšu izdalīšanai pēc LVS EN ISO 14688-2

Frakcija	Frakcijas saturs, no materiāla kopējās masas,% ≤ 63 mm	Frakcijas saturs, no materiāla kopējās masas,% ≤ 0,063 mm	Modificējamais nosaukums	Galvenais nosaukums
Grants	20 – 40 >40		Grantaina	Grants
Smilts	20 – 40 >40		Smilšaina	Smilts
Aleirīts + māls (grunts smalkne)	5 – 15  15 – 40  > 40	< 20 ≥ 20  < 20 ≥ 20  < 10 10 – 20 20 - 40 > 40	Viegli aleirītiska Viegli mālaina Aleirītiska Mālaina  Mālaini aleirītiska	Aleirīts Aleirīts Māls Māls

Projektējot inženierģeoloģisko būvju pamatnes, izmantotajām smilšainajām gruntīm ir jābūt pēc iespējas izturīgākām, tātad to veidojošajiem minerāliem ir jābūt noturīgiem pret fizikālo un ķīmisko dēdēšanu. Lielākoties smilšainās grunts veido kvarcs, laukšpats un citu minerālu piejaukums. Organikas, aleirīta un māla piejaukums ievērojami pasliktina grunts fizikālās īpašības (Bell 1993). Organikas piejaukums pasliktina visa grunts masīva kopēju nestspēju, jo organiskajam materiālam ir krietni zemāka noturība kā minerālajām daļiņām (Franklin et al. 1973). Organiskais materiāls, kas ticis pakļauts aerobai videi, ir sācis sadalīšanās procesus, kuru gala rezultātā grunts slāņos var rasties vājās zonas (Lancaster et al.

1996). Aleirītam un mālam piemīt zemas filtrācijas īpašības. Šie materiāli uzņem daudz ūdeni un slikti to filtrē, kā arī pie konkrēta mitruma piesātinājuma kļūst plūstoši, kas slikti ietekmē kopējās grunts fizikālās un mehāniskās īpašības.

Smilšainajām gruntīm ir raksturīgas labas filtrēšanās īpašības. Ir novērojama likumsakarība – jo rupjgraudaināks materiāls, jo augstāka filtrācija. Tātad, jo smilšaināks materiāls, ar mazāku smalko daļiņu piejaukumu, jo labākas filtrācijas īpašības tam piemīt (Leonards et al. 1980). Veicot grunts blīvēšanu laboratorijas apstākļos, izmantojot modificētā proktora testu, ir novērojama šī likumsakarība. Smilšainajām gruntīm ar augstu māla un aleirīta daļiņu piejaukumu (virs 15%) nav novērojama ūdens filtrācija no sablīvētā parauga, lai gan ūdens pārsātinājums jau ir ticis sasniegts. Tas ir skaidrojams ar to, ka materiālam piemīt sliktas filtrācijas īpašības un proktora testa veikšanas laikā ūdens vēl nav paspējis izfiltrēties caur sablīvēto paraugu.

## GRUNTS SABLĪVĒŠANA

Grunts sablīvēšana ir mehāniska iejaukšanās grunts virsējā slānī ar mērķi uzlabot tā fizikālās īpašības – izspiežot lieko gaisu un ūdeni no grunts porām, kā rezultātā grunts slāni padarot blīvāku. Sablīvēšanas procesā gruntij pievienojot ūdeni, tas veicina grunts cieto daļiņu labāku slīdamību vienai gar otru, kā rezultātā iegūstams blīvāks stāvoklis. Gruntij pievienojot ūdeni, sablīvētā grunts masa atiecīgi pieaug līdz ar pievienotā ūdens daudzumu. Pakāpeniski pievienojot ūdeni, tiek sasniegta robeža, kad pievienotais ūdens vairs nepaaugstina sasblīvētā parauga masu. Tas ir izskaidrojams ar to, ka ūdens aizņem vietu, kuru varētu aizņemt grunts cietās daļiņas. Mitruma pakāpe, pie kuras tiek iegūts maksimālais sausa parauga svars, ir saukts par optimālo mitruma daudzumu. Grunts sablīvēšana arī samazina nevēlamu struktūru, tādu kā plaisu un deformāciju veidošanos, kā arī paaugstina grunts noturību pret slodzi un mazina noslīdeņu veidošanās risku (Das and Sobhan 2014).

### 2.1. Grunts sablīvēšana lauka apstākļos.

Galvenokārt grunts sablīvēšanu attiecina uz ceļu un dambju būvi. Šo inženiertehnisko būvju grunšu sablīvēšanā tiek izmantoti veltni. Grunts sablīvēšanā izmanto šāda veida veltnus:

1. Gludā ruļļa veltnis (2.1. attēls);
2. Pneimatiskais riepu veltnis (2.2. attēls);
3. ‘‘Zobotais’’ veltnis (2.3. attēls);
4. Vibroveltnis.



2.1. attēls. Gludā ruļļa veltnis (Adams 2014).

Gludā ruļļa veltņi (2.1. attēls) galvenokārt tiek izmantoti smilšainām un grantainām gruntīm. Šie ruļļi nodrošina 100% pārklājumu blīvējamajai zonai. Pielietotais spēks ir atkarīgs no konkrētā veltņa svara, bet galvenokārt tie ir 310 – 380 kN/m<sup>2</sup>. Šī tipa veltņu ietekmējamais dziļums ir 20 – 30 cm un tie nav piemēroti biežāku slāņu sablīvēšanai. To galvenais pielietojums ir vairāku plānu uzbērtu slāņu sablīvēšana (Das and Sobhan 2014).

Pneimatiskais riepu veltnis (2.2. attēls) galvenokārt tiek izmantots mālainu, puteļlainu un smalkgraudaināku smilšu sablīvēšanai, ar vidējo blīvēšanas efektivitāti 25 cm. Metāla veltņa vietā tam ir 4 – 6 tuvu izvietotas riepas, kuras nodrošina 600 – 700 kN/m<sup>2</sup> lielu pielietoto spēku. Pielietotais spēks ir atkarīgs no agregāta svara, riepu platuma un gaisa spiediena riepās (Das and Sobhan 2014).



2.2. attēls. Pneimatiskais veltnis (Construction Equipment 2015).

‘‘Zobotais’’ veltnis (2.3. attēls) ir efektīvākais mālainu nogulumu sablīvēšanā. Tas sastāv no metāla ruļļa uz kura ir izvietoti 25 – 85 cm<sup>2</sup> lieli izvirzījumi. Pielietotais spiediens tieši zem izvirzījumiem var būt pat līdz 7000 kN/m<sup>2</sup> liels. Šī veltņa efektīvais blīvēšanas dziļums ir līdz 25 cm (Bell 2004)



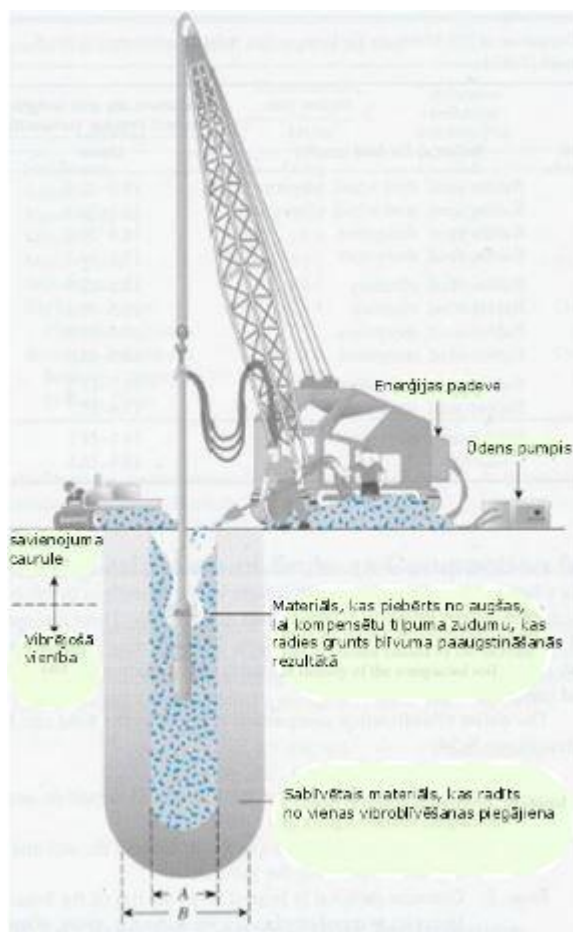
2.3. attēls. ‘‘Zobotais’’ veltnis (Equiphunt 2018).

Vibroveltnis var būt jebkura tipa veltnis, kas ir aprīkots ar vibrēšanas iekārtām. Visplašāk izmantotais ir vibrējošais gludā ruļļa veltnis. Vibroveltni ir sevišķi efektīvi rupjākas frakcijas materiāliem, rupjgraudainai smiltij un grantij. Vibrējošais efekts sniedz iespēju sablīvēt materiālu ievērojami lielākā dziļumā nekā ar vienkāršu gludā ruļļa veltni. Efektivitāti nosaka konkrētā veltna masa, kā arī pielietotās vibrācijas amplitūda un frekvence (Das and Sobhan 2014).

## 2.2. Nestandarta blīvēšanas metodes lauka apstākļos

Pasaulē tiek izmantotas vairākas īpašas metodes, lai veiktu dziļāku grunšu slāņu blīvēšanu. Šīs metodes lauka apstākļos izmanto galvenokārt liela mēroga projektos, inženiertehniskajām būvēm, kurām ir nepieciešami dziļi pamati. Starp populārākajām metodēm ir vibroblīvēšana un dinamiskā blīvēšana (Das and Sobhan 2014).

**Vibroblīvēšana** ir biezu un irdenu grunts slāņu blīvēšanas metode. Tā tika radīta Vācijā, 1930. gadu sākumā, bet pirmo reizi izmantota ASV, 10 gadus vēlāk. Šīs metodes galvenais instruments ir apmēram 2 metrus gara vibrējoša iekārta (2.4. attēls). Vibrējošā agregāta augšā un apakšā ir atveres ūdens pieplūdei. Šīs atveres ir paredzētas, lai blīvēšanas gaitā gruntij tiktu pievadīts ūdens, kas grunts masīvu mitrina, uzlabojot tā blīvēšanās īpašības.



2.4. attēls. Vibroblīves iekārta darbībā. (Brown 1977).

Vibroblīvēšanas procesu var iedalīt četrās stadijās:

1. Vibrējošo cilindru novieto uz zemes virsas, ar spiedienu aktivizē ūdens plūsmu un aktivizē cilindra vibrēšanu;
2. Pateicoties ūdens plūsmai un vibrēšanai, vibroblīve var viegli iegrimt gruntī;
3. No augšas tiek pievadīts materiāls, kuru ir nepieciešams sablīvēt, jo blīvēšanas procesā grunts paliek blīvāka un tās tilpums samazinās, kā rezultātā ir jāpievada papildus materiāls, lai aizpildītu radušos tukšumus. Tajā pašā laikā ūdens plūsma nāk no vibroblīves augšpusē, piebērtajam materiālam ļaujot slīdēt uz izveidotās bedres apakšu;
4. Vibroblīvi ik pēc 30 sekunžu perioda pavirza 30 centimetrus uz augšu. Atkārtotot šos vibrēšanas ciklus tiek sasniegts vēlamais grunts blīvums.

Sablīvētā zona, pēc platības, ir atkarīga no izmantotās vibroblīves. Izmantojot 23 kW blīvi, rādiuss ir 2 metri, savukārt izmantojot 75 kW blīvi, rādiuss ir 3 metri (Das and Sobhan 2014).

**Dinamiskā blīvēšana** (2.5. attēls) plaši tiek pielietota ASV, kur tā tiek izmantota galvenokārt smilšaino grunšu blīvēšanā. Šī metode izpaužas kā liela svara triekšana pret

grunts slāni regulāros intervālos. Izmantoto āmuru masa svārstās no 8 līdz 36 tonnām, savukārt triekšanas augstums svārstās no 7,5 līdz 30,5 metriem. Āmura trieciena rezultātā radītie mehāniskie viļņi rada grunts cieto daļiņu kustību un to sablīvēšanos. Dinamiskās blīvēšanas rezultātus galvenokārt ietekmē trīs faktori:

1. Āmura masa;
2. Augstums, no kāda āmurs tiek triekts pret zemi;
3. Triecienu intervāls, jeb attālums starp vietām, kur āmurs tiek triekts.



2.5. attēls. Dinamiskā blīve darbības procesā (Lampsoncrane 2012).

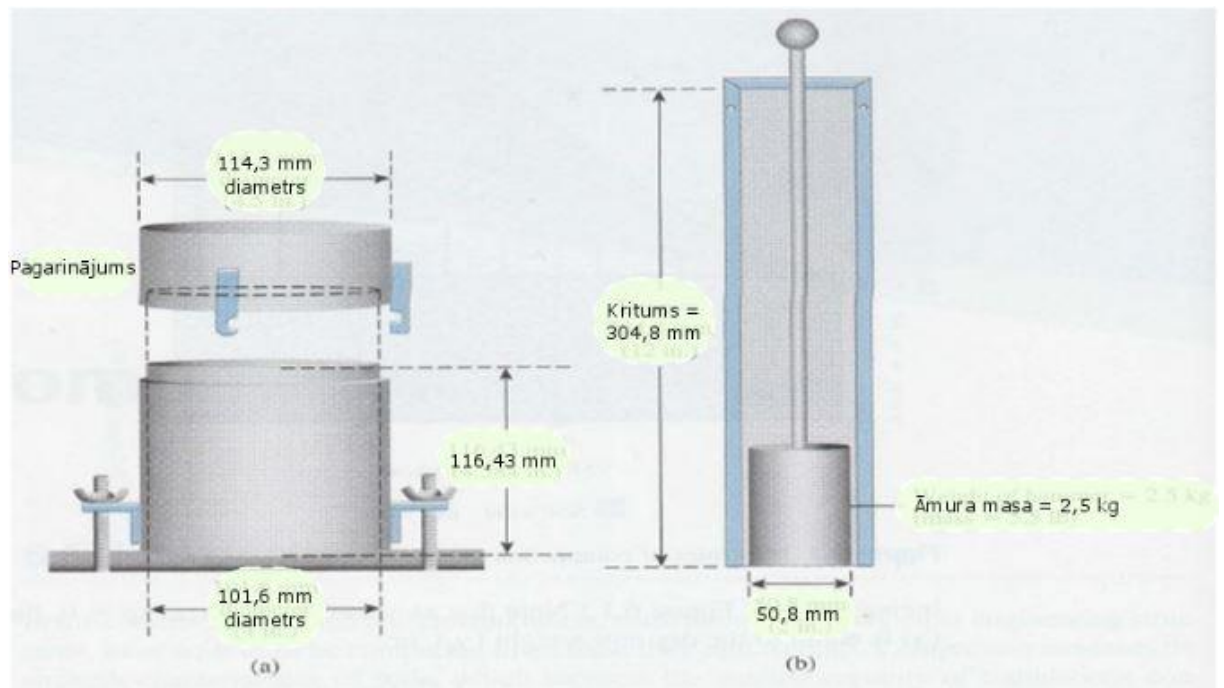
### 2.3. Proktora tests

Augstāk darbā aprakstītās metodes attiecas uz praktisku grunts blīvēšanu lauka apstākļos pēc grunts paraugu izpētes laboratorijā. Pirms tiek veikta grunts masīva sablīvēšana lauka apstākļos, ir jāveic grunts paraugu analīzes un aprēķini, lai izvēlētos efektīvāko metodi konkrētās grunts blīvēšanā. Proktora testā tiek noteikta efektīvākā mitruma pakāpe, pie kuras grunti ir iespējams sablīvēt iegūstot tās maksimālo blīvumu (Murthy 2002). Metode tika radīta 1933. gadā, kad Ralfs Proktors pierādīja, ka sausas grunts blīvums ir atkarīgs no pievienotā ūdens daudzuma blīvēšanas laikā.

#### 2.3.1. Standarta proktora tests.

Standarta proktora testā izvēlētā grunts tiek iebērtā un blīvēta veidnē (2.6. attēls) ar tilpumu  $944 \text{ cm}^3$  un diametru ir 101,6 mm. Konkrētā veidne ar skrūvju palīdzību ir piestiprināta pie metāla pamatnes, kā arī veidnei tiek pievienots augšējais pagarinājums, kuru,

pēc blīvēšanas atvieno. Šis pagarinājums ir paredzēts, lai būtu iespējams piepildīt zemāk esošo veidni ar sablīvētu materiālu (Das and Sobhan 2014).



2.6. attēls. Standarta proktora testa aprīkojums.

A attēlā redzama veidne, kas ar skrūvēm piestiprināta pie metāla plāksnes un veines pagarinājums uz augšu. B attēlā redzams āmurs, ar kuru notiek blīvēšana (Das and Sobhan, 2014).

Standarta proktora testā gruntij tiek pievienots atšķirīgs ūdens daudzums, iegūstot vairākus paraugus ar dažādu mitruma saturu. Katrs paraugs tiek blīvēts trīs vienādos slāņos ar 2,5 kg āmuru. Katram slānim tiek veikti 25 sitieni no 30,5 centimetru augstuma. Katram testam mitruma daudzums sablīvētai gruntij tiek aprēķināts, izmantojot (2.1.) formulu.

(2.1)

$$\frac{W}{V_m} = \gamma$$

, kur  $W$  = sablīvētās grunts masa veidnē;  $V_m$  = veidnes tilpums ( $944 \text{ cm}^3$ ).

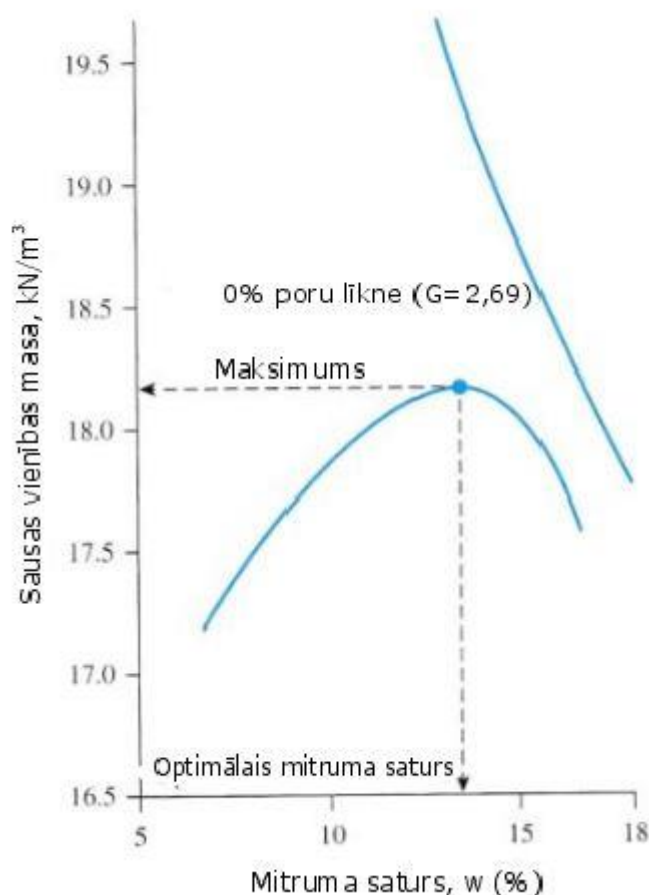
Kad ir zināms mitruma daudzums sablīvētā gruntī, sausas grunts īpatnējais svars ir aprēķināms pēc (2.2.) formulas.

(2.2.)

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

kur  $w(\%)$  = procentuālais mitruma saturs;  $\gamma$  = mitruma daudzums sablīvētai gruntij.

(2.2.) formulā iegūtos datus ir iespējams attēlot grafiski pret atbilstošajiem mitruma daudzumiem, iegūstot maksimālo sausās grunts masu un optimālo mitruma daudzumu priekš konkrētās grunts (2.7. attēls) (Das and Sobhan, 2014). Grafikā redzamā apakšējā līkne norāda atiecību starp sausās grunts īpatnējo masu un pievienotā ūdens daudzuma blīvēšanas laikā. No šīs līknes nolasa optimālo mitruma daudzumu pie maksimālā sablīvējuma, kas grafikā ir redzams kā zilais punkts uz apakšējās līknes. Grafikā redzamā augšējā līkne ir nulles procenta poru līkne, kas apzīmē to, cik grunts būtu blīva, ja tai būtu 0 % poras. Sakarā ar to, ka nav iespējams izspiest visu gaisu no grunts porām, apakšējā līkne nevar saskarties ar augšējo nulles procenta poru līkni.

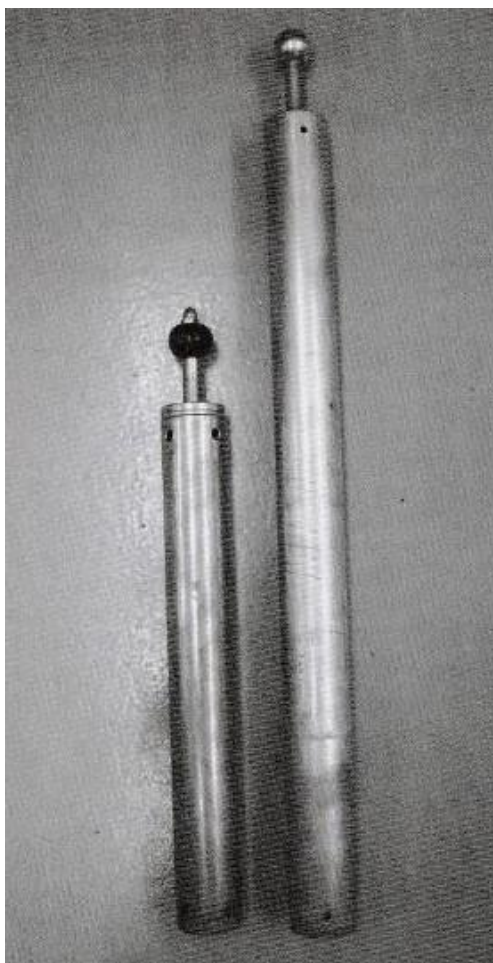


2.7.attēls. Standarta proktora testa rezultāts aleirītiskam mālam (Das and Sobhan 2014).

### 2.3.2. Modificētais proktora tests.

Attīstoties laukā izmantotajai blīvēšanas tehnikai un to pielietojumam lauka apstākļos, dažādās inženiertehniskajās būvēs, standarta proktora tests tika modificēts, lai labāk atainotu lauka apstākļus (Das and Sivakugan 2017). Pateicoties tādiem mehāniskajiem blīvēšanas instrumentiem, kā vibroblīves un smagi gludā ruļļa veltni, kļuva iespējams sasniegt augstākus sausas grunts blīvuma rādītājus, kā standarta proktora metodes radīšanas periodā (Bell 2004). Tādēļ, mūsdienās, ģeotehniskajās laboratorijās ir augsts pieprasījums tieši pēc modificētās proktora analīzes.

Modificētā proktora testā tiek izmantota tā pati veidne, kas standarta proktora testā, ar tilpumu 944 cm<sup>3</sup>. Galvenā atšķirība starp šīm divām metodēm ir tāda, ka modificētā proktora gadījumā grunts paraugs tiek blīvēts 5 vienādos slāņos ar 4,54 kg smagu āmuru un sišanas augstumu ir 457 mm (2.8. attēls). Sitienu skaits, tāpat kā standarta proktora gadījumā, paliek 25 sitienu katram slānim (Das and Sobhan 2014).



2.8. attēls. Standarta (pa kreisi) un modificētais (pa labi) proktori (Das and Sobhan 2014).

Blīvēšanas enerģija modificētā proktora testa gadījumā ir 2700 kN-m/m<sup>3</sup>. Līdz ar to, modificētā proktora testā tiek pielietots lielāks spēks, iegūstot lielāku sausās grunts īpatnējo svaru veidnē (Bell 2004).

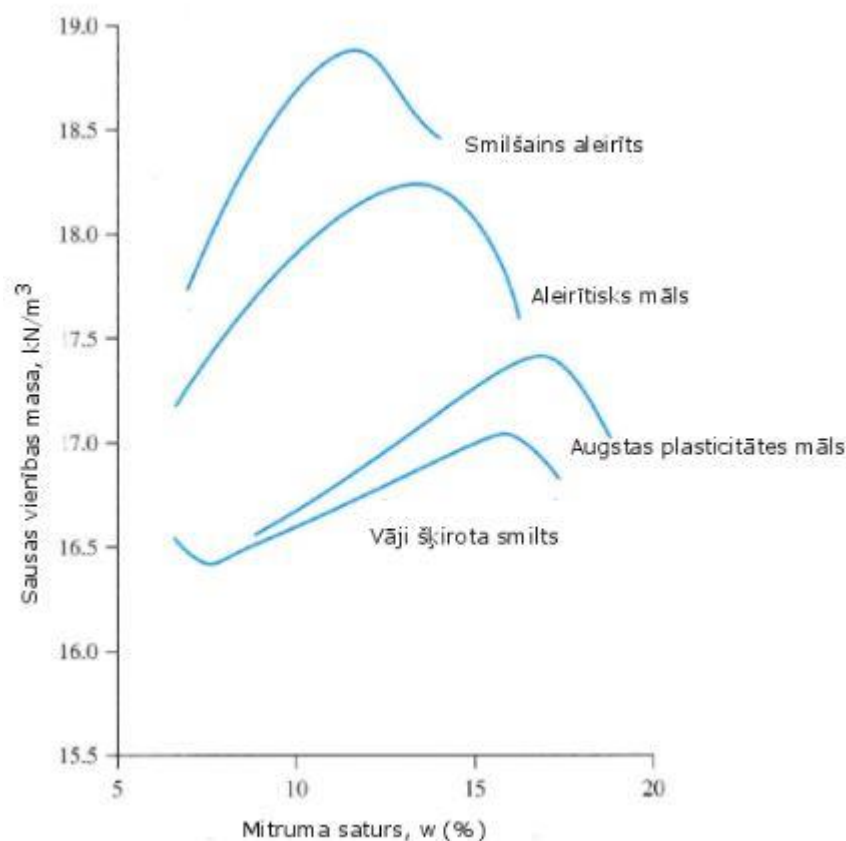
#### **2.4. Faktori, kas ietekmē grunts sablīvēšanos**

Iepriekšējā nodaļā tika aprakstīts, ka mitrums ir nozīmīgs faktors, kas ietekmē grunts sablīvēšanās spējas. Bez šī faktora, grunts sablīvēšanās spējas ietekmē arī citi faktori (Das and Sobhan 2014).

Nozīmīgs faktors ir grunts tips, respektīvi grunts cieto daļiņu izmērs, jeb granulometriskais sastāvs, grunts cieto daļiņu forma, jeb noapaļotības pakāpe, kā arī māla daļiņu tips un daudzums gruntī. Māla daļiņas gruntī ietekmē sausās grunts īpatnējo svaru un optimālo mitruma daudzumu. (2.9. attēls) ir redzamas tipiskas līknes pēc modificētā proktora analīzes dažādām gruntīm. Attēlā redzamās līknes iegūtas pēc modificētā proktora testa (Das and Sobhan 2014).

Granulometriskā sastāva ietekme uz grunts sablīvēšanos ir viena no nozīmīgākajām, jo novērojama likumsakarība – rupjgraudainākam materiālam ir raksturīgs zems efektīvā mitruma daudzums, pie kura sauss materiāls ir maksimāli blīvs. Tas ir skaidrojams ar rupjgraudainu materiālu labām ūdens filtrācijas spējām. Tajā pašā laikā aleirīta un sevišķi māla daļiņu piejaukums palielina nepieciešamā ūdens daudzumu, pie kura sauss materiāls ir maksimāli blīvs (Bell 2007).

Grunts graudu noapaļotībai, kā faktoram, kas ietekmē grunts sablīvēšanos, arī ir nozīme, tomēr tā ir ievērojami mazāka nekā iepriekš minētie faktori. Un šī pētījuma veikšanā šis faktors netiek ņemts vērā, tādēļ turpmāk tas netiks neapskatīts.



2.9. attēls. Tipiskās kompresijas līknes četrām dažādām gruntīm (Lee and Suedkamp 1972).

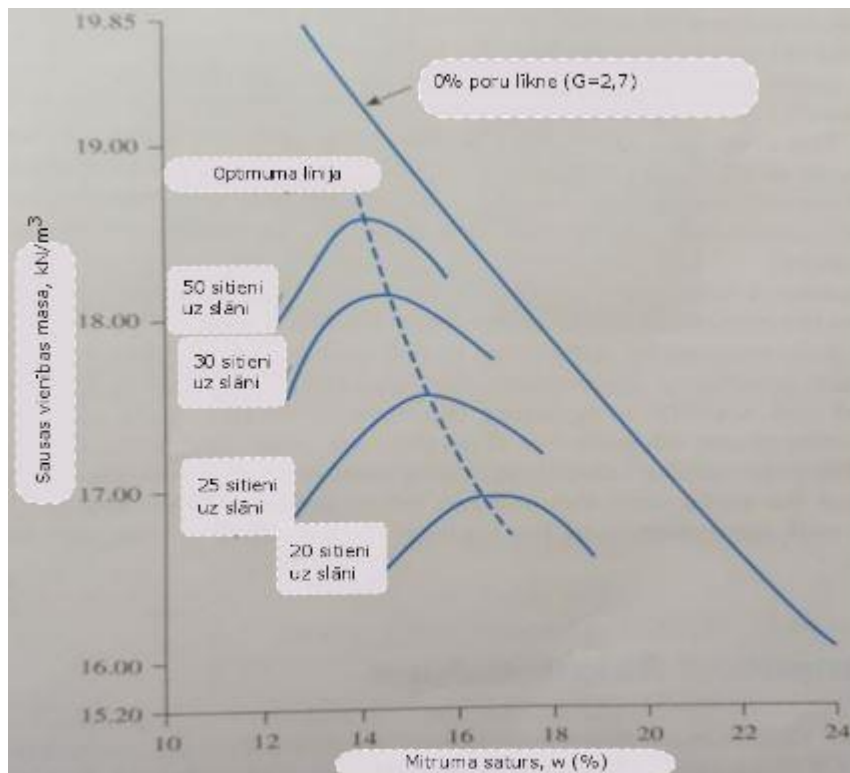
Attēlā (2.9.) ir redzams, ka smilšainajās, vāji šķirotajās gruntīs, ir novērojama tendence samazināties sausas grunts īpatnējam svaram, kamēr pievienotā mitruma daudzums paaugstinās līdz brīdim, kad sausas grunts īpatnējais svars sāk paaugstināties paralēli pievienotajam mitruma daudzumam. Sausas grunts īpatnējā svara pazeminājums ar pievienotā mitruma daudzuma pieaugumu ir izskaidrojams ar kapilārās spriedzes efektu. Mālainām gruntīm ir raksturīgas ‘‘zvana’’ formas līknes, kas ir redzams attēlā, sevišķi aleirītiskam mālam (Gurtug and Sridharan 2004).

Grunts blīvēšanā izmantotā enerģija ir sevišķi nozīmīgs faktors, kas ietekmē maksimālās grunts sablīvēšanās spējas. Standarta proktora testam kopējā blīvēšanas enerģija var tikt izteikta ar (2.3.) formulu.

(2.3.)

$$E = \frac{(25) * (3) * \left(\frac{2,5 * 9,81}{1000} kN\right) * (0,305)}{944 * 10^{-6} m^3} = 594 kN - m/m^3$$

Sakarā ar to, ka mainās pievienotās enerģijas daudzums uz grunti, pievienotā mitruma un sausas grunts īpatnējam svara līkne arī mainās. Šo sakarību var redzēt (2.10. attēlā).



2.10. attēls. Pievienotās enerģijas efekts uz smilšainu mālu (Das and Sobhan, 2014).

Aprakstīto līkņu konstruēšanā tika izmantots standarta proktora āmurs un veidne. Visu līkņu gadījumā tika blīvēti trīs slāņi, pēc ASTM standarta un sitienu skaits tika mainīts no 25 līdz 50 sitieniem uz slāni. Galvenie novērojumi un secinājumi, kurus var izdarīt pēc (1.8. attēlā) redzamā grafika ir sekojoši: (Das and Sobhan 2014).

1. Paaugstinoties grunts blīvēšanā pievienotajai enerģijai, maksimālā sausā grunts masa arī palielinās.
2. Paaugstinoties grunts blīvēšanā pievienotajai enerģijai, optimālais mitruma daudzums gruntī kaut kādā mērā pazeminās.

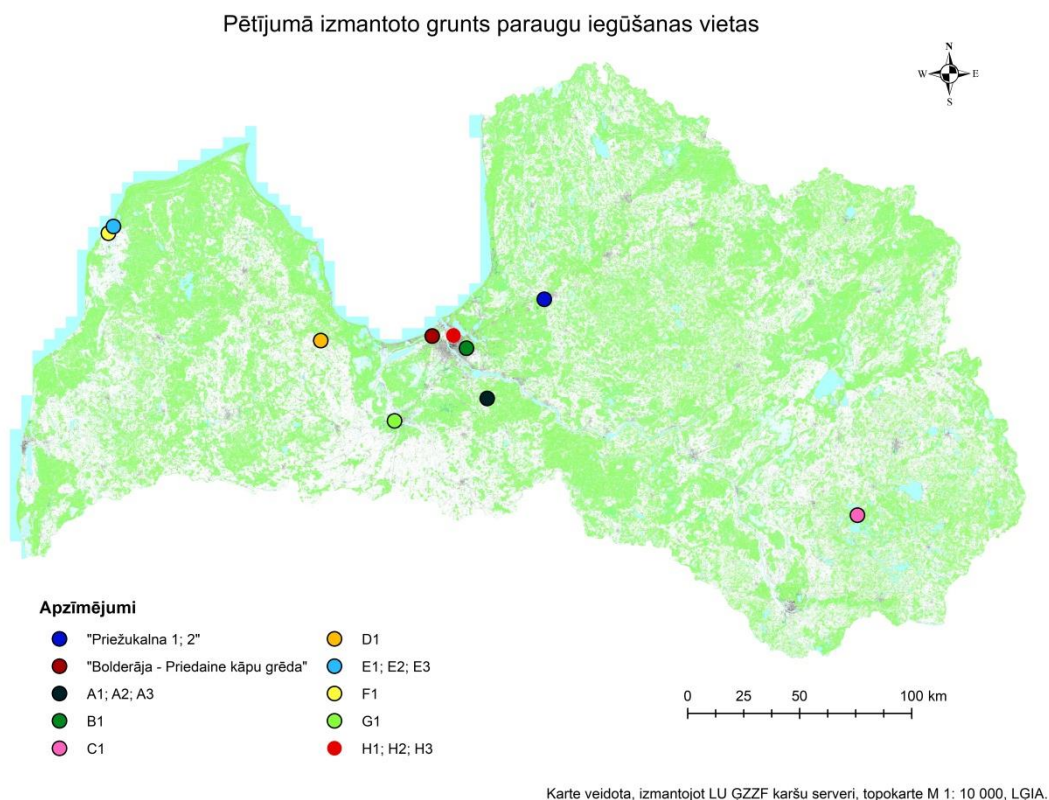
Šie novērojumi ir atbilstoši visām gruntīm.

## 2.5. Proktora analīzes datu izmantošana

Proktora analīzes laikā tiek noteikts mitruma daudzums, kāds būtu jāpievieno sausai gruntij, lai tā pēc blīvēšanas, būtu maksimāli blīva. Lai noskaidrotu šo vērtību ir jāaprēķina sablīvētas porcijas tilpumblīvums (sablīvētas porcijas masas un veidnes tilpuma dalījums) dalījums ar procentuālo ūdens saturu izzāvētam gruntis paraugam pie konkrētā mitruma. Šāds solis ir jāveic katram proktora analīzes laikā veiktajam mitruma procentam. Šie dati tiek atspoguļoti grafiski, lai labāk būtu uzskatāma efektīvā mitruma pakāpe konkrētajai gruntij. Izmantojot iegūtos datus un, zinot lauka apstākļos blīvējamā materiāla masu, ir aprēķināms pievienojamā ūdens daudzums pirms grunts blīvēšanas.

### 3. PARAUGU IEGŪŠANAS VIETU TERITORIĀLAIS RAKSTUROJUMS

Bakalaura izstrādes gaitā tika analizēti 17 smilšaino grunšu paraugi no dažādām vietām Latvijas teritorijā (3.1. attēls). Trīs no šiem paraugiem ieguva pats autors lauka pētījumu laikā un šīs teritorijas tiek aplūkotas un raksturotas detalizētāk. Pārējie 14 paraugi tika iegūti A/S “Ceļuprojekts” vajadzībām un autors veica šo grunšu pilnu analīzi.



3.1. attēls. Visu pētījumā izmantoto grunšu ieguves vietas.

Paraugs “Baltā kāpa” (3.2. attēls) tika iegūts no Rīgavas līdzenumā esošās Bolderājas – Priedaines kāpu grēdas, kas ir 10 km gara un stiepjas no Bolderājas līdz Lielupei. Paraugs iegūts vietā, kur kāpa ir rakta un to šķērso ceļš, kas ir aptuveni 600 metru DDA virzienā no Buļļupes. Kāpu grēdas platums variē no 0,4 – 1,5 km. Bolderājas – Priedaines kāpu grēda sastāv no divām paralēlām, asimetriskām, 4 – 10 metrus augstām, vairākus kilometrus garām, vaļņveida kāpām un 2 – 8 metrus augstiem pauguru masīviem, kurus nodala deflācijas ieplakas un joslas (Eberhards et al 2006).

## Paraugs no Bolderāja - Priedaine kāpu grēdas

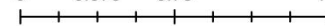


Karte veidota, izmantojot LU ĢZZF karšu serveri, topokarte M 1: 10 000, LĢIA.

### Apzīmējumi

● objekta atrašanās vieta

0 0.375 0.75 1.5 km



3.2. attēls. Grunts parauga "Baltā kāpa" iegūšanas vieta.

Bolderājas – Priedaines kāpu grēda sākusī veidoties uz senas, apraktas jūras krasta kraujas, kas veidojusies Litorīnas jūras regresijas laikā, vēja plūstajām smilšu masām pārvietojoties uz iekšzemi, aprokot Babītes lagūnas līdzenumu. Grēdas rietumu daļā gar Bulļupi sastopams viļņots līdzenums ar deflācijas formām. Kāpu absolūtais augstums

sasniedz 22 – 27,5 metrus virs jūras līmeņa, no kuriem eolo smilšu biezums ir 8 – 25 metri (Saltupe 1994). Bolderājas apkaimē, divu kilometru garā posmā, 15 – 20 hektāru lielā platībā kāpas ir noraktas Bolderājas – Buļļupes smilts atradnēs. Šī teritorija ir daļēji apbūvēta, bet ir saglabājies neliels, nenorakts viena hektāra liels kāpu grēdas fragments (Saltupe 1994). Šajā vietā, pēc kāpas norakšanas, ir izveidojies Bolderājas karjera ezers, kura maksimālais dziļums ir 14 metri. Lielākā daļa Bolderājas – Priedaines kāpu grēda ir apaugusi ar priežu mežu, starp kuru ir novērojami nelieli, reti bērzi, ozoli un pīlādži.

Grunts paraugi “Priežukalna 1” un “Priežukalna 2” (3.3. attēls) tika iegūti no Priežukalna smilts, grants karjera. Karjers atrodas nepilnus divus kilometrus RDR virzienā no Siguldas, Krimuldas novadā, Krimuldas pagastā. Pēc dabas apvidu iedalījuma teritorija atrodas Madlienas nolaidenuma un Ropažu līdzenuma krustpunktā, netālu no Gaujas senlejas augšā, Gaujas kreisajā krastā.

Grunts paraugu ieguves teritorijā (Priežukalna karjerā), sastopami augšpleistocēna Latvijas svītas smilšainie nogulumu – smilts, smilts ar aleirītu un grants (LVGD Kvartārġeoloģija). Šajā teritorijā, Gaujas kreisajā krastā, leļpus Lorupes ietekai Gaujā, ir izplatīti seno deltu nogulumu (Āboltiņš un Eniņš 1979).

Gaujas senieleja posmā, pie Siguldas un Lorupes ietekas, ir izgrauzusies cauri dolomīta pacēlumam, labajā pusē atstājot Turaida paliksni. Šajā dolomīta iegrauzumā ieļļa sašaurinās līdz vienam kilometram platumā un sasniedz tās lielāko dziļumu – vairāk kā 85 metrus. Šajā apkārtnē senlejas nogāzes ir šauras un stāva, izrobotas ar īsām sāņgravām. Nogāžu piekāļēs atsedzas Gaujas svītas devona smilšakmens. Gaujas senleja šajā posmā ir skaidri norobežota – aiz nogāžu augšmalas šķautnes sākas apkārtnes paceltie, viļņotie līdzenumi.

Kvartāra segas biezums Priežukalna karjera apkārtnē variē no 15 – 38 metriem (Kvartāra biezuma karte). Kvartāra segu karjerā veido smilšainie nogulumu – aleirīts, smilts un grants ar atsevišķiem lieliem laukakmeņiem. Nogulumu teritorijā ir diezgan labi šķiroti, veidojot smalkāku un rupjgraudaināku materiālu slāņu mijas, kuru biezums variē no pāris centimetriem līdz, dažiem metriem.

## Grunts paraugi no Priežukalna karjera.



Karte veidota, izmantojot LU ĢZZF karšu serveri, topokarte M 1: 10 000, LĢIA.

### Apzīmējumi

● objekta atrašanās vieta

0 0.175 0.35 0.7 km

3.3. attēls. Grunts paraugu "Priekule 1" un "Priekule 2" iegūšanas vietas.

No visām analizētajām gruntīm, četras atrodas Rīgas pilsētas teritorijā, viena Jelgavas pilsētas teritorijā, četras Ventspils pilsētas teritorijā, viena Tukuma pilsētas teritorijā, Trīs Baldones pilsētas apkārtnē un viena Latgalē, starp Daugavpili un Rēzekni.

## 4. METODEDES

Pētījuma gaitā veikta paraugu iegūšanas vietu izvēle, kamerālie darbi, lauka pētījumi un laboratorijas darbi. Lauka pētījumi šī pētījuma ietvaros ir nelieli, tie ir saistīti tikai ar paraugu iegūšanu laboratorijas darbu vajadzībām.

### 4.1. Potenciālo teritoriju izvēle un kamerālie darbi

Šī pētījuma ietvaros ir iegūtas dažādu grunts frakciju un šķirotību smilšainās gruntis. Grunts frakciju un šķirotības atšķirības ir saistītas ar vēlmi iegūt un atspoguļot atšķirīgus grunšu blīvuma datus. Smilšaino grunšu izvēle ir saistīta ar atšķirīgo analīžu procesu un gaitu, salīdzinot, piemēram, ar mālainajām gruntīm. Mālainajām gruntīm granulometriskais sastāvs būtu jānosaka izmantojot sedimetru. Svarīgs faktors teritorijas izvēlē ir tās pieejamība. Izvēloties paraugošanas teritorijas tika ņemta vērā atrašanās vieta – attālums no Rīgas un infrastruktūra, jeb ceļu pieejamība. Tas ir skaidrojams ar to, ka viena parauga analīzei nepieciešams aptuveni 12 kg smags grunts paraugs.

Pētījumu teritorijas tika izvēlētas konsultējoties ar pasniedzējiem, darba vadītāju, kā arī veicot kamerālos darbus, kuru mērķis bija noskaidrot paraugošanas vietu atrašanos, pieejamo infrastruktūru, kā arī ģeomorfoloģiju.

### 4.2. Lauka pētījumi

Lauka pētījumi norisinājās laika periodā no 2018. gada janvāra līdz 2018. gada aprīlim, kuru ietvaros tika ievākti trīs dažādi smilšaino grunšu paraugi.

Bakalaura darba ietvaros lauka pētījumi izpaužas kā teritorijas apsekošana, potenciālās ieguves vietas izvēle, kā arī paraugu iegūšana. Ņemot vērā to, ka paraugu ieguves vietas atrodas pie aizsargājamiem ģeoloģiskajiem objektiem, vai privātās teritorijās, tad paraugošanas vietas izvēle un iegūstamā materiāla daudzums bija limitēts.

### 4.3. Laboratorijas darbi

Laboratorijas darbi šī pētījuma ietvaros bija laikietilpīgākā daļa, kas sastāv no vairākām analīzēm – granulometriskā sastāva noteikšanas, grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšanas, izmantojot fluīdu piknometra metodi, kā arī modificētās proktora analīzes. Laboratorijas darbi sākotnēji veikti Dabaszinātņu akadēmiskajā centrā, Jelgavas ielā 1, 008. un 009. laboratorijā. Tomēr lielākā daļa laboratorijas darbu tika veikti A/S "Ceļuprojekts" ģeotehniskajā laboratorijā, Rīgā, Murjāņu ielā 7A. A/S "Ceļuprojekts" rīcībā ir akreditēta ģeotehniskā laboratorija. Šajā laboratorijā autors veica visas šī bakalaura darbam nepieciešamās analīzes

pēc Latvijas un ISO standartiem.

#### **4.3.1. Granulometriskā sastāva noteikšana izmantojot sietu analīzi**

Ievāktajam grunts paraugam tiek noteikts granulometriskais sastāvs ar sietu analīzi pēc LVS EN 933-1:2012. *Minerālmateriālu ģeometrisko īpašību testēšana. 1. daļa: Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšana. Sijāšanas metode.*

Granulometriskā sastāva noteikšanai tika izmantots A/S "Ceļuprojekts" ģeotehniskajā laboratorijā esošā "Matest Sieve-Tronic YGM15418" vibrējošā iekārta. Uz esošās iekārtas katrs paraugs tika sijāts 15 minūtes, izmantojot sietu kolonnu, kas atbilst ISO standartam, ir tikusi kalibrēta, kā rezultātā atbilst ģeotehnisko laboratoriju akreditācijas prasībām. Sietu kolonna sastāvēja no 7 sietiem (4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 un 0,063 mm) un pannas. Autors uzskata, ka izmantotā sietu kolonna ir pietiekami izvērsta, lai raksturotu grunšu granulometriskā sastāva ietekmi uz sablīvēšanos.

No lauka pētījumu gaitā iegūtā grunts parauga tiek atsverti vairāk kā 200 grami. Grunts tika žāvēta žāvskapī, nepārsniedzot 105°C temperatūru. Pēc izžuvušās grunts atdzišanas tika iesvērti (smalkas grunts gadījumā) 200 gramu vai nedaudz vairāk parauga. Grunts paraugs tika mazgāts caur 63 μm sietu, kas jau pirms sijāšanas no parauga izskalo materiālu, kas smalkāks par smalkgraudainu smilti, jeb 63 μm. Pēc skalošanas grunts tiek žāvēts žāvskapī nepārsniedzot 105°C temperatūru. Kad grunts ir izžuvusi un atdzisusi, tā tiek nosvērta un masa piefiksēta. Pēc tam grunts tiek iebērtā kolonnā ar sietiem, ko liek sijāties 15 minūtes. Pēc sijāšanas pārbauda vai grunts paraugs ir izsijājies pilnība un vai uz sietiem nav kādu daļiņu, kas ir mazākas par konkrētā sieta acs izmēru. Ja ir grunts daļiņas, kuras birst ārā, tad sijāšana ir jāveic vēlreiz, līdz uz sieta vairs nav materiāla, kurš pēc granulometrijas ir smalkāks par konkrētā sieta acs izmēru. Tika nosvērts un piefiksēts materiāls, kurš atrodas uz katra sieta.

#### **4.3.2. Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšana izmantojot piknometra analīzi.**

Grunts cieto daļiņu blīvumu ir nepieciešams noteikt, lai konstruētu nulles procentu poru līkni priekš proktora analīzes grafikiem. Grunts cieto daļiņu blīvums tika noteikts izmantojot piknometra analīzi, pēc ISO 17892-3:2015. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts testēšana laboratorijā. Grunts daļiņu blīvuma noteikšana. Fluīdu piknometra metode standarta.*

Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšanai sagatavo 20 gramu sausa parauga, kas ir ticis žāvēts žāvskapī, līdz 105°C temperatūrā. Blīvuma noteikšanai paralēli izmanto divus piknometrus ar vienu un to pašu grunts paraugu, lai iegūto vidējo vērtību. Tika nosvērti tukši

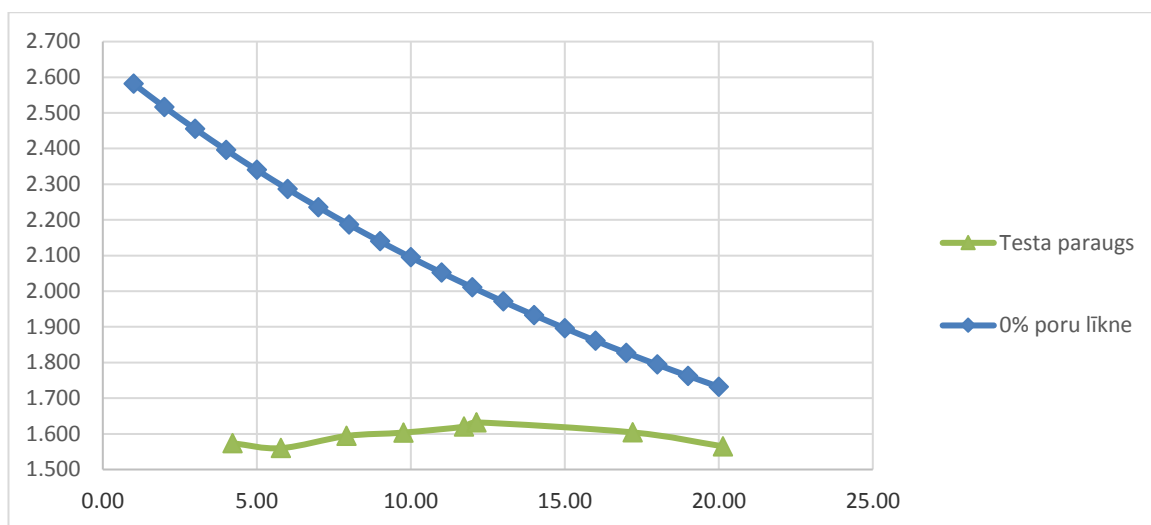
piknometri un to masa fiksēta. Katrā piknometrā tika iesvēta konkrēta sausas grunts parauga masa, kas ir mainīga, atkarībā no grunts tipa. Tika fiksēta masa piknometram ar sausas grunts paraugu. Tika pievienots destilēts ūdens katram paraugam, aptuveni pusi no piknometra. Piknometri tika aizvērti ar tiem paredzētajiem vāciņiem un tos liek karsēties smiltī, uz plīts. Kad tika sasniegts vārīšanās punkts, paraugiem atļauj vārīties vairāk kā stundu. Pēc šī soļa piknometri tika noņemti un tos atstāj atdzist dabiski, istabas temperatūrā vai arī ūdens vidē ar kontrolētu ūdens temperatūru. Pēc paraugu nostāvēšanās tie tika piepildīti ar destilētu ūdeni, kura temperatūra atbilst piknometrā esošās grunts temperatūrai, respektīvi ūdens vides vai istabas temperatūrai. Ar destilētu ūdeni un paraugu pildītie piknometri tika nosvērti un to masa piefiksēta. Piknometri tika izskaloti ar destilētu ūdeni un vēlreiz ar istabas temperatūras destilētu ūdeni pieliti līdz atzīmei un nosvērti, šoreiz bez grunts masas. Nosvērtā masa tika piefiksēta.

#### **4.3.3. Modificētā proktora analīze.**

Proktora analīzei tika izmantots modificētais proktors (4.2. attēls) ar veidnes tilpumu 944 cm<sup>3</sup>, āmura masu 4,54 kg, veidnes masu 5,23(8) kg un āmura kritiena augstumu 457 mm. Grunts tika blīvēta piecos vienādos slāņos un katrs slānis ir pakļauts tieši 25 sitieniem. Mitrums paraugiem tiek pievienots ar 2% soli. Proktora analīze veikta pēc LVS EN 13286-2:2010. *Nesaistītie un hidrauliskie saistītie maisījumi. 2.daļa: Laboratorijas atsauces blīvuma un ūdens satura testēšanas metodes. Proktora sablīvēšana*. Bakalaura darba izstrādē tika izmantots Vācu ražotais *Frogwag* proktora komplekts – veidne ar modificētā proktora āmuru.

Ievāktais paraugs, aptuveni 10 – 12 kg, tika žāvēts istabas temperatūrā vai žāvskapī, nepārsniedzot 55°C atzīmi. No izžāvētā parauga bļodā iesvēra 2 kg. Pirmajam 2 kg paraugam pievieno, piemēram, 4% no parauga masas kā ūdeni. Paraugu vienmērīgi samaisa. Veic proktora analīzi paraugam pie 4% mitruma, daudzot 5 slāņos, katru slāni 25 reizes. Āmura sitieniem ir jābūt vienmērīgi izretotiem pa visu proktora veidnes laukumu, sitienus veicot sākot no viena punkta, turpinot to darīt pulksteņa rādītāja virzienā. Katram nākamajam sitienam ir jāpārklāj puse no iepriekšējā sitiena laukuma, lai veidnē esošais paraugs tiktu vienmērīgi sablīvēts. Pēc 5. slāņa noblīvēšanas proktora veidni notīra, noskrūvē augšējo pagarinājuma daļu un nolīdzina sablīvēto grunts masu līdz apakšējās veidnes augšai. Veidni vēlreiz kārtīgi notīra un nosver kopā ar pamatni un sablīvēto grunts masu. No veidnes apakšas un augšas noņem paraugus, ~100 gramus, lai noteiktu mitruma piesātinājumu sablīvētā gruntī pie 4% mitruma. Piefiksē noņemto paraugu masu un liek tos žāvskapī. Proktora veidni, pamatni un veidnes pagarinājumu kārtīgi notīra. Testu atkārto, šoreiz nākošajam grunts paraugam pievienojot 6% ūdens no grunts parauga masa. Testu atkārto tik daudz reižu līdz

cilindra un sablīvētās grunts masa ir sasniegusi maksimumu un pēc sasniegtā masas maksimuma būtu vēl divi piegājieni, kas liecinātu, ka ir noticies mitruma pārsātinājums, kad pievienojot ūdeni, cilindra un sablīvētās grunts masa sāk kristies.



4.1. attēls. Proktora analīzes rezultāts vienam no testa paraugiem. Grafikā uz asīm ir ūdens procentuālais daudzums sablīvētā gruntī pret sausas grunts mēpatnēji svaru.



4.2. attēls. Modificētās proktora analīzes komplekts – āmurs ar masu 4,54 kg, veidne un tās pagarinājums uz augšu.

Kad tika izžāvēti visi noņemtie paraugi, tad tie tika nosvērti. Tādējādi tika noskaidrots mitruma piesātinājums sablīvētā gruntī. Tikai pēc tam ir iespējams veikt pilnu aprēķinu, lai noskaidrotu sausas grunts masas maksimālo sablīvējumu. Iegūtie rezultāti tiek attēloti grafiski veidojot līkni (4.1. attēls) no ūdens procentuālā satura sablīvētajā gruntī un sausas grunts masas maksimālo sablīvējumu.

## 5. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Bakaulura darba izstrādes gaitā ir iegūta informācija par smilšaino grunšu sablīvēšanās īpašībām, pamatojoties uz 17 analizētiem grunts paraugiem. Šie paraugi tika analizēti meklējot sakarības starp grunts spēju sablīvēties un grunts granulometrisko sastāvu – grunts smalknes un grants frakciju ietekme uz grunts sablīvēšanos. Papildus 17 analizētām gruntīm ar proktora metodi, 3 gruntīm tika noteikts cieto daļiņu blīvums, izmantojot fluīdu piknometra metodi un visiem paraugiem tika noteikts granulometriskais sastāvs, kā arī gruntis tika klasificētas pēc LVS EN ISO 14688-2. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augšnes identificēšana un klasificēšana. 1. daļa: Identificēšana un aprakstīšana.*

### 5.1. Granulometriskā sastāva rezultāti gruntīm

Pētījumā izmantoto smilšaino grunšu granulometriskie sastāvi apkopoti 5.1. tabulā.

5.1. tabula.

Granulometriskā sastāva apkopojums smilšainajām gruntīm

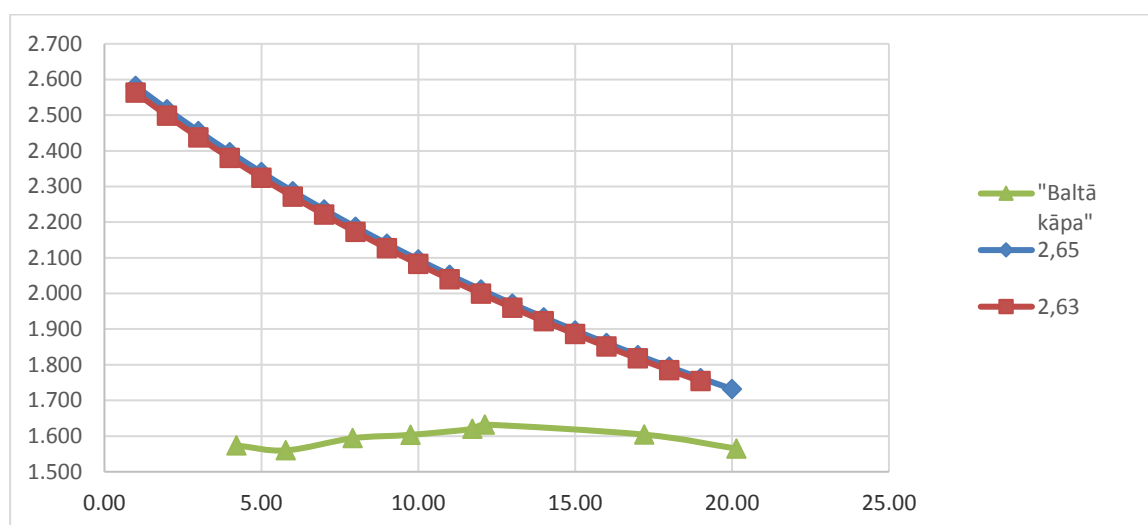
Paraugšs	SMILTS	GRANTS	MĀLS+ PUTEKĻI	Opt. Mitrums, %	Klasifikācija
A1	88,2	0,3	11,5	12	Putekļaina
A2	94,9	0	5,1	14	Putekļaina
A3	93,6	0	6,4	14	Putekļaina
B1	97,2	0	2,8	12	Smalka
C1	89,3	1,8	8,9	8	Vidēji rupja
D1	65,1	18,4	16,5	6	Rupja
E1	95,8	0,1	4,1	14	Smalka
E2	95,4	0	4,6	12	Smalka
E3	94,3	0,3	5,4	12	Smalka
F1	86,6	0	13,4	12	Putekļaina
G1	95,5	0,4	4,1	14	Putekļaina
H1	97,4	0,5	2,1	12	Smalka
H2	96,9	0,3	2,8	12	Smalka
H3	96,2	0,8	3,0	12	Smalka
"Priežukalna 2"	98,1	0,7	1,2	16	Smalka
"Baltā kāpa"	100,0	0,0	0,0	14	Smalka
"Priežukalna 1"	87,2	8,5	4,3	12	Rupja

Tabulā redzams, ka analizētas 5 putekļainas smilšainās gruntis, 9 smalkas smilšainās gruntis, viena vidēji rupja smilšainā grunts un divas rupjas smilšainās gruntis. Pēc granulometriskā sastāva analīzes secināts, ka visos, izņemot vienā paraugā ir novērojama smalknes klātbūtne, kā arī 11 grunts paraugos ir vismaz neliels grants piejaukums.

## 5.2. Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšana

Kopumā grunts cietās daļiņas tika noteiktas tikai 3 paraugiem – ‘‘Priežukalna 2’’, ‘‘Baltā kāpa’’ un ‘‘Priežukalna 1’’. Pārējiem 14 paraugiem grunts cieto daļiņu blīvums tika pieņemts kā  $2,63 \text{ Mg/m}^3$  (Noviks 1998). Paraugam ‘‘Baltā kāpa’’ grunts cieto daļiņu blīvums tika noteikts kā  $2,65 \text{ Mg/m}^3$ . Paraugam ‘‘Priežukalna 1’’ grunts cieto daļiņu blīvums ir  $2,67 \text{ Mg/m}^3$  un ‘‘Priežukalna 2’’ paraugam tas ir  $2,68 \text{ Mg/m}^3$ . Katram paraugam cieto daļiņu blīvums tika noteikts divas reizes, no kurām iegūts vidējais rādītājs.

Attēlā 5.1. redzams grafiks paraugam ‘‘Baltā kāpa’’, kur atspoguļots salīdzinājums starp pieņemtu cieto daļiņu blīvuma vērtību  $2,63 \text{ Mg/m}^3$  un aprēķinātu vērtību  $2,65 \text{ Mg/m}^3$ .



5.1. attēls. Grunts cieto daļiņu blīvuma aprēķināto un pieņemtu vērtību salīdzinājums paraugam ‘‘Baltā kāpa’’.

## 5.3. Pārbaudes rezultāti granulometriskā sastāva un proktora analīzēm

Lai noskaidrotu, cik uzticamas un precīzas ir autora veiktās granulometriskā sastāva analīzes, tika veikta granulometriskās analīzes pārbaude. Tika nejauši izvēlēts viens paraugs, kuram granulometriskā sastāva analīze tika veikta piecas reizes. Kopējais materiāls tika kvartēts, kā rezultātā ieguva piecus atsevišķus grunts paraugus. Iegūtie rezultāti redzami 5.2. tabulā.

5.2. tabula

Pārbaudes rezultāti pieciem paraugiem granulometriskajai analīzei

Partijas nr.	Sietu izmēri								Klasifikācija
	4,00	2,00	1,00	0,500	0,250	0,125	0,063	panna	
1	1,34	3,94	12,35	44,57	91,47	34,46	2,68	0,08	vidēji rupja
2	1,44	9,39	18,26	58,99	95,18	28,09	1,24	0,04	vidēji rupja
3	1,26	5,17	12,31	46,10	93,49	31,70	2,04	0,07	vidēji rupja
4	0,60	6,28	17,45	50,08	83,72	25,12	1,79	0,05	vidēji rupja
5	1,03	6,05	13,72	47,58	85,11	26,91	1,60	0,03	vidēji rupja

Analizējot tabulā redzamos datus, ir skaidri redzams, ka kvartēšanas procesā var nostrādāt cilvēka faktors un granulometriskā sastāva analīze vienam paraugam var gadīties mazliet atšķirīga. Tomēr tika veikta salīdzinošā pārbaude ar autora iegūtajiem rezultātiem un ar A/S ‘‘Ceļuprojekts’’ laboratorijas vadītāju. Iegūtie rezultāti apkopoti 5.3. tabulā. Tabulas augšējā daļā rezami datu pieņemšanas kritēriji, kas veidoti pēc laboratorijas vadītājas datiem. Tabulas apakšā redzams vidējais rezultāts, kas iegūts no piecām granulometriskā sastāva analīzēm. Analizējot iegūto informāciju, ir redzams, ka autora veiktās granulometriskā sastāva analīzes ir pieņemamas. 5.3. tabulā redzams, ka grunts procentuālās daļas uz sietiem atbilst pieņemšanas kritērijiem.

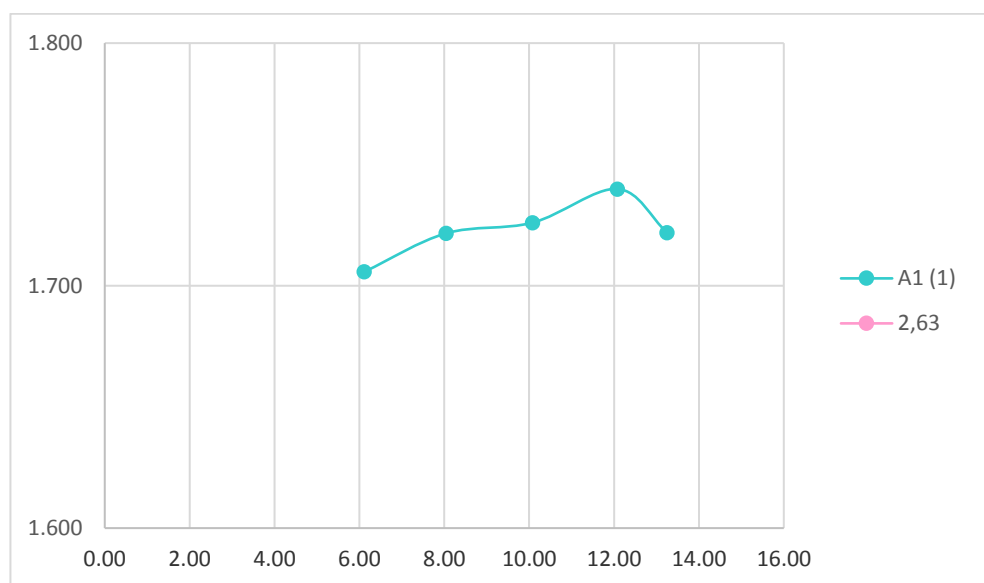
5.3. tabula

Pārbaudes granulometriskās analīzes rezultātu datu atbilstība

Pieņemšanas kritēriji	0.5 - 0.7	0.7 - 1.1	12.4 - 14.4	40.1 - 46.1	25.5 - 30.1	8.8 - 11.2	2.7 - 4.3	0.3 - 1.0
	Sietu izmēri							
Partijas	4,00	2,00	1,00	0,500	0,250	0,125	0,063	<0,063
1. - 5.	0,6	3,7	10,1	28,7	41,9	13,3	1,0	0,6

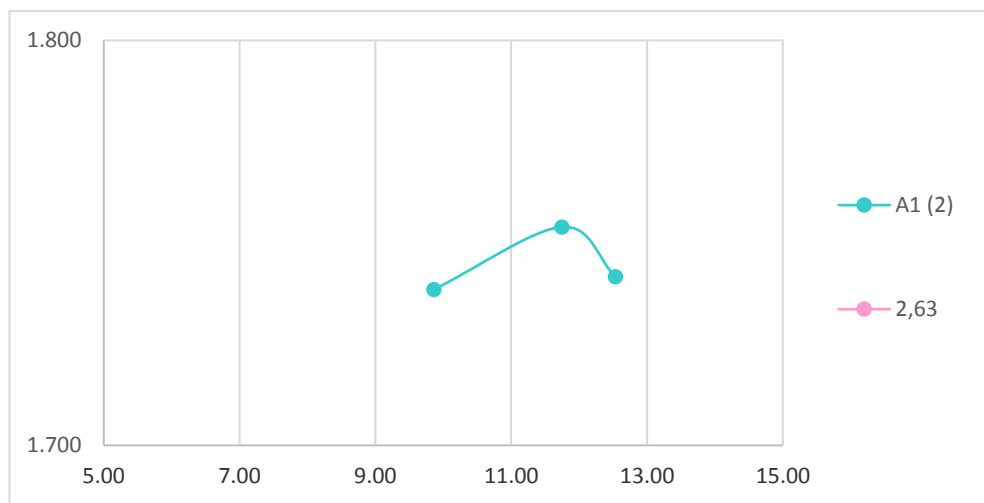
Lai noskaidrotu ar kādu precizitāti autors veic proktora analīzi, nejaušā kārtībā tika izvēlēts viens grunts paraugs (šajā gadījumā A1), kuram proktora analīze tika veikta trīs reizes.

Pirmās proktora analīzes (5.2. attēls) rezultāti A1 gruntij uzrāda optimālo mitrumu 12% un maksimālo blīvumu sausai gruntij 1,740 Mg/m<sup>3</sup>.



5.2. attēls. Pārbaudes pirmais rezultāts A1 gruntij, kur maksimālais blīvums ir 1,740 g/cm<sup>3</sup>.

Otrās proktora analīzes rezultāti (5.3. attēls) A1 gruntij arī uzrāda optimālo mitrumu 12%, bet grunts maksimālo blīvumu 1,754 Mg/m<sup>3</sup>.



5.3. attēls. Pārbaudes otrais rezultāts A1 gruntij, kur maksimālais blīvums ir 1,754 g/cm<sup>3</sup>.

Trešās proktora analīzes rezultāti A1 gruntij uzrāda tieši tādus pašus rezultātus, kā otrais rezultāts – optimālais mitrums 12% un maksimālais blīvums sausai gruntij 1,754 Mg/m<sup>3</sup>.

Otrā un trešā pārbaude savstarpēji uzrāda vienādus rezultātus. Pirmās pārbaudes maksimālais blīvums atšķiras par 0,014 Mg/m<sup>3</sup>. Pieļaujamā norma proktora analīzes ir 0,02 Mg/m<sup>3</sup> atšķirība, tātad arī pirmā A1 grunts pārbaude ir derīga un kopējie rezultāti uzrāda, ka autors proktora analīzi veic ar precizitāti, kas ir atbilstoša LVS EN ISO 13286-2 standartam.

#### 5.4. Modificētā proktora analīžu rezultāti

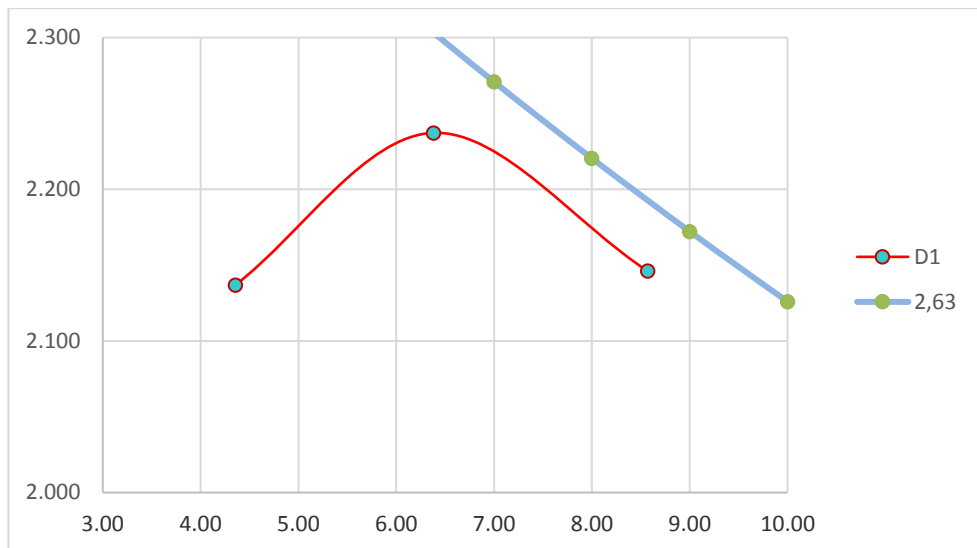
Analizēto 17 smilšaino grunšu proktora blīvēšanas datu rezultāti uzrāda sausa parauga maksimālās blīvuma vērtības no 1,632 Mg/m<sup>3</sup> līdz 2,237 Mg/m<sup>3</sup>. Šie rezultāti apkopoti 5.4. tabulā, kur tie ir sakārtoti augošā secībā pēc sausa parauga maksimālajām blīvuma vērtībām.

Analizēto smilšaino grunšu maksimālās blīvuma vērtības sausiem paraugiem, sakārtotas augošā secībā.

Paraugs	Opt. Mitrums, %	Klasifikācija	Sausas gr. Īpatn. Svars, Mg/m <sup>3</sup>
"Baltā kāpa"	14	Smalka	1,632
"Priežukalna 2"	16	Smalka	1,665
G1	14	Putekļaina	1,693
A2	14	Putekļaina	1,696
A3	14	Putekļaina	1,706
H2	12	Smalka	1,711
H1	12	Smalka	1,721
H3	12	Smalka	1,727
E1	14	Smalka	1,739
A1	12	Putekļaina	1,740
E2	12	Smalka	1,769
E3	12	Smalka	1,769
B1	12	Smalka	1,779
F1	12	Putekļaina	1,803
"Priežukalna 1"	12	Rupja	1,916
C1	8	Vidēji rupja	2,057
D1	6	Rupja	2,237

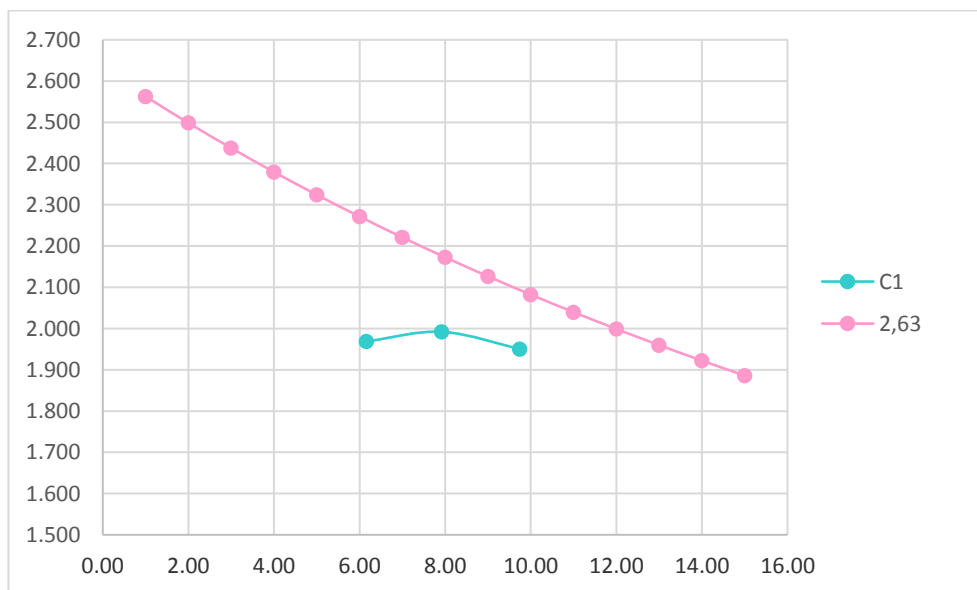
Analizējot maksimālo blīvumu rezultātus, kas iegūti pēc proktora analīzes, var novērot likumsakarību, ka sausa parauga maksimālās blīvuma vērtības ir augstākas gruntīm, kuras pēc granulometriskā sastāva ir rupjgraudainākas. Šī tendence ir novērojama par spīti tam, ka no visām 17 analizētajām gruntīm, tikai divas ir rupjgraudainas un viena vidējigraudaina smilts ar rupjgraudainas smilts piejaukumu.

Visaugstākā blīvuma vērtībā ir D1 gruntij (5.4. attēls), kas ir rupjgraudaina smilts ar grants piejaukumu. Sausai, sablīvētai D1 gruntij maksimālais blīvums ir 2,237 Mg/m<sup>3</sup>. Šim paraugam ir vislielākais grants frakcijas piejaukums no visām testētajām gruntīm – 18,4 % no kopējās parauga masas. Smalknes piejaukums ir 8,25 % no kopējās parauga masas. No testētajām gruntīm ir vēl divas, kurām grants frakcijas piejaukums pārsniedz 1 %. Tās ir C1 un "Priežukalna 1". To grants piejaukums procentuālo pret kopējo paraugu masu ir 1,8 % un 8,5 % atiecīgi.



5.4. attēls. Sausas D1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 6%.

Pie C1 (5.5. attēls) parauga ir novērojama anomālija – ar zemāku grants frakcijas piejaukumu un augstāku māla frakcijas piejaukumu, šim paraugam ir augstākas blīvuma vērtības kā paraugam “Priežukalna 1”, kam atiecīgi ir augstāks grants frakcijas piejaukums, bet zemāks māla frakcijas piejaukums. Tas varētu būt skaidrojams ar to, ka C1 paraugs ir uzbērtas grunts, kas ir tikusi izmantota ceļu būvē un jau ir tikusi pakļauta blīvēšanai.



5.5. attēls. Sausas C1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 8%.

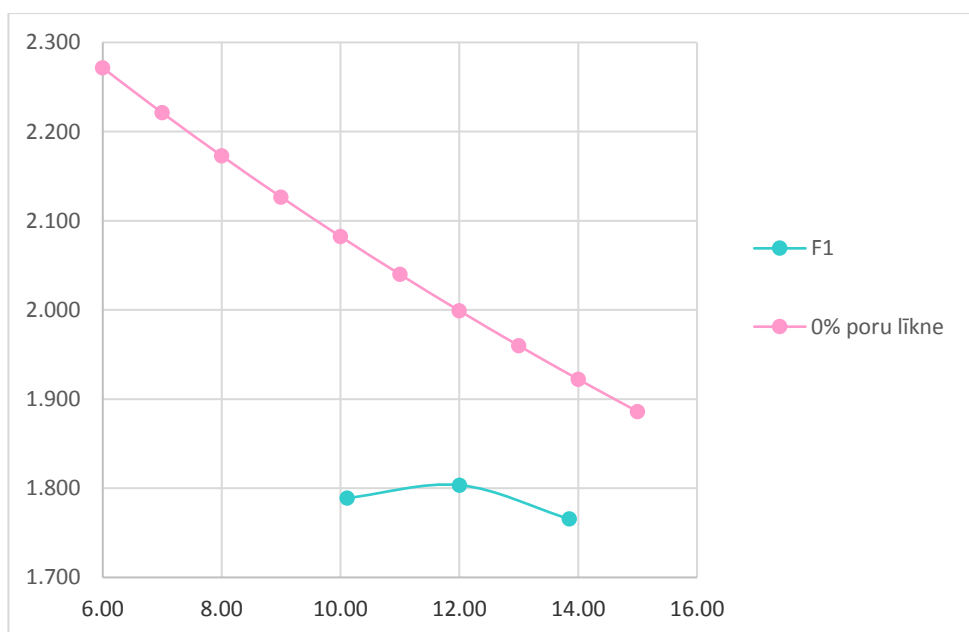
Grunts paraugam “Priežukalna 1” (5.18. attēls) ir trešais augstākais sausas grunts īpatnējais svārs, kas ir  $1,916 \text{ Mg/m}^3$ . Tomēr tādu kā neskaidrību rada optimālā mitruma pakāpe, kas ir 12% no parauga masas. Smalknes saturs šajā gruntī ir 4,3% un grants piejaukums ir diezgan augsts – 8,5% no visas grunts masas. Augstais grants frakciju piejaukums izskaidro augsto sausas grunts īpatnējā svāra vērtību, kas arī ir novērojams citās

gruntīs, bet pie tik augsta grants piejaukuma gruntij vajadzētu piemist labākām filtrācijas īpašībām un optimālajam mitrumam vajadzētu būt zemākam. Piemēram veicot salīdzinājumu ar C1 grunti, kurai ir daudz augstāks smalknes piejaukums un zemāks grants frakcijas piejaukums, ir redzams, ka C1 gruntij ir augstāks sausas grunts īpatnējais svars un zemāks optimālais mitrums, lai gan pēc iepriekš veiktajiem secinājumiem šādai sakarībai nevajadzētu būt.

Skatoties pēc grunts klasifikācijas ir izdalāmas 3 grunšu grupas – putekļainas smilšainās gruntis, smalkas smilšainās gruntis un rupjas smilšainās gruntis.

Kopumā ir piecas putekļainas smilšainās gruntis (A1;A2;A3;F1;G1). Smilšainajām gruntīm sausas grunts īpatnējais svars variē no 1,693 – 1803 Mg/m<sup>3</sup>, kas vidēji ir tāds pats kā smalkām gruntīm. Optimālais mitrums variē no 12 – 14 %, kas ir vidēji par 2% augstāks kā smalkām gruntīm.

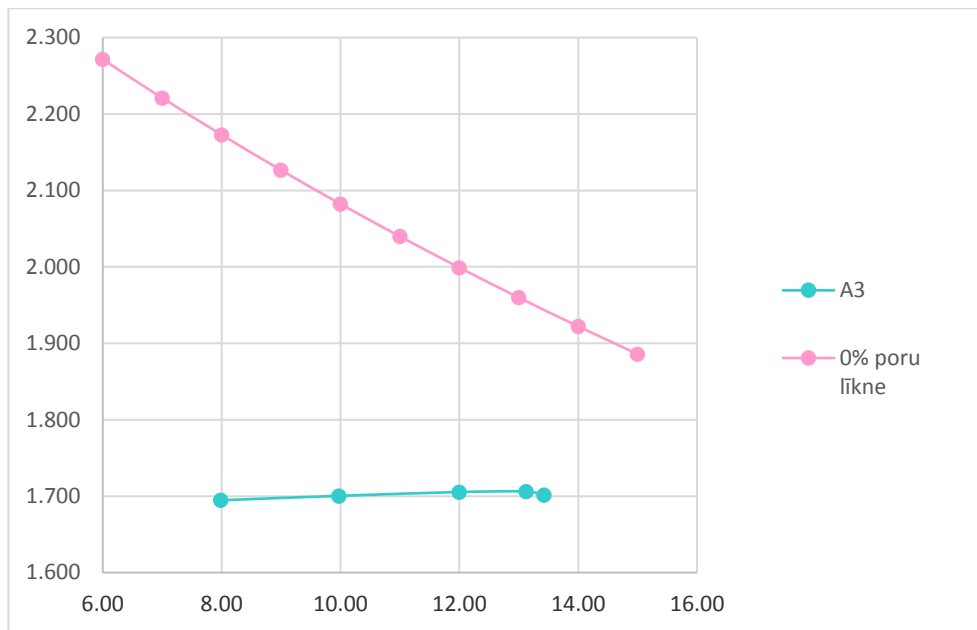
Visaugstākais sausas grunts īpatnējais svars no visām putekļainajām gruntīm ir F1 gruntij (5.6.attēls), kas ir 1,803 Mg/m<sup>3</sup>. Šīs grunts smalknes saturs ir 13,4%, kas arī ir augstākais no visām analizētajām putekļainajām gruntīm, kamēr šai gruntij nav nekāds grants piejaukums.



5.6. attēls. Sausas F1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

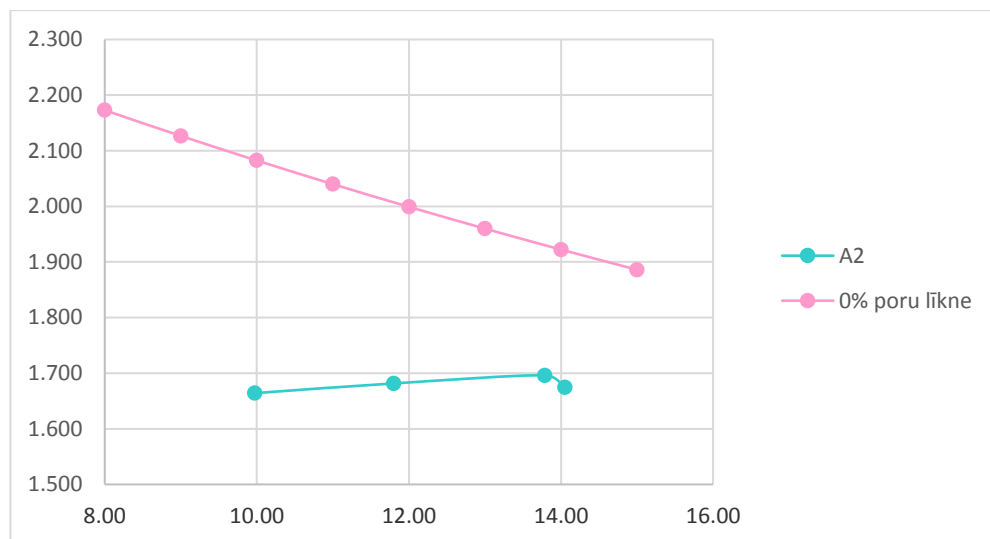
Otrs augstākais sausas grunts īpatnējais svars ir A1 gruntij (5.2. attēls). Sausas grunts īpatnējais svars ir 1,740 Mg/m<sup>3</sup> un optimālais mitrums ir 12%. Smalknes saturs gruntī ir 11,5% un grants piejaukums ir 0,3%.

Trešais augstākais sausas grunts īpatnējais svars ir A3 (5.7. attēls) gruntij, kas ir 1,706 Mg/m<sup>3</sup> un optimālais mitrums 14%. Smalknes saturs gruntī ir 6,4%.



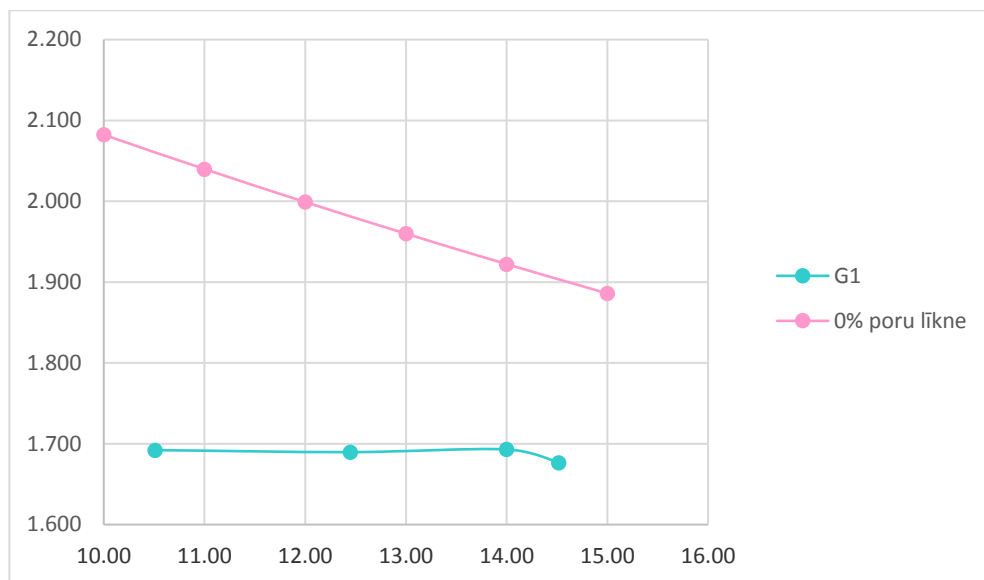
5.7. attēls. Sausas A3 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 14%.

A2 (5.8. attēls) gruntij sausas grunts īpatnējais svars ir  $1,696 \text{ Mg/m}^3$  un optimālais mitrums 14%. Smalknes piejaukums gruntij ir 5,1%.



5.8. attēls. Sausas A2 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 14%.

G1 gruntij (5.9. attēls) sausas grunts īpatnējais svars ir  $1,693 \text{ Mg/m}^3$ , kas ir zemākais no visām 5 putekļainajām smilšainajām gruntīm. Optimālais mitrums ir 14%. Smalknes piejaukums arī ir zemākais no putekļainajām smilšainajām gruntīm – 4,1%. Grants piejaukums ir neliels, 0,4%.

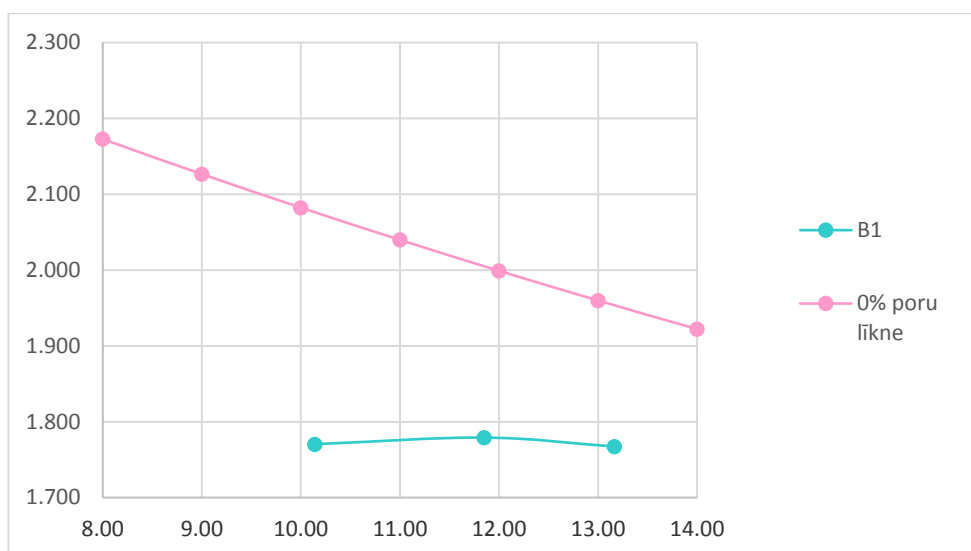


5.9. attēls. Sausas G1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 14%.

Aplūkojot iegūtos datus par putekļainajām smilšainajām gruntīm, ir skaidri redzama likumsakarība – zemāks smalknes piejaukums gruntī rezultējas ar zemāku sausas grunts īpatnējo svaru. Optimālā mitruma gadījumā ir redzama likumsakarība, ka pazeminoties smalknes piejaukumam paaugstinās optimālā mitruma vērtības.

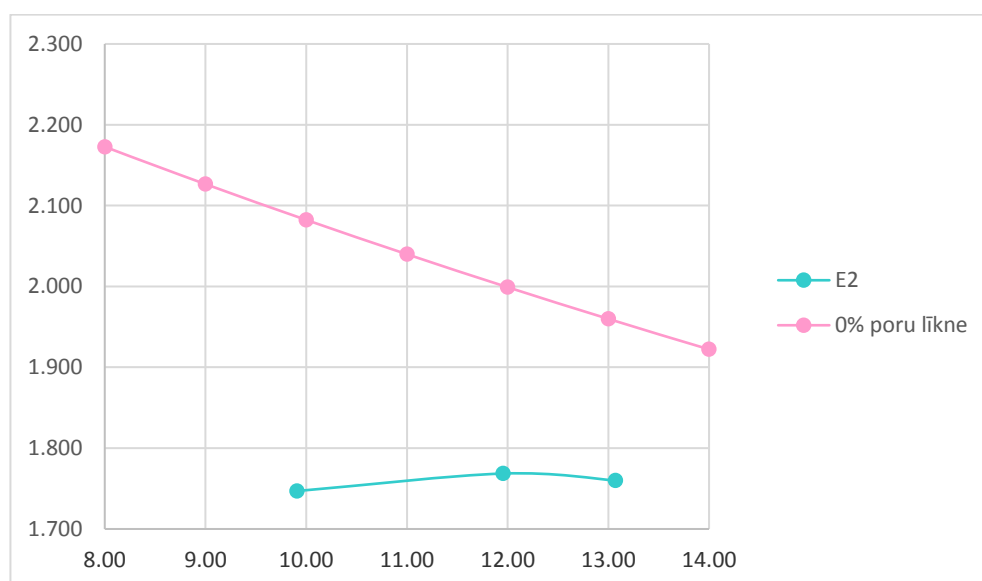
Kopumā tika analizētas 8 smalkas smilšainās gruntis (Priežukalna 2;B1:E2:E3:H1:H2:H3:E1 un Baltā kāpa). Šo grunšu sausas grunts īpatnējie svārstās no 1,632 Mg/m<sup>3</sup> līdz 1,779 Mg/m<sup>3</sup> un optimālie mitrumu svārstās starp 12% līdz pat 16% vienai gruntij. Smalknes daļiņas grunts paraugos svārstās starp 0% līdz 5,4% un grants piejaukumi šīm gruntīm ir diezgan zemi – no 0% līdz 0,8%. Analizējot visas smalkās smilšainās gruntis likumsakarības nav tik labi novērojamas, kā tas bija putekļaino smilšaino grunšu gadījumā. Tomēr ir redzama likumsakarība starp smalknes piejaukumu paaugstināšanos gruntīs un augstākiem sausas grunts īpatnējām svaru vērtībām.

Grunts paraugam B1 (5.10. attēls) sausas grunts īpatnējais svārs ir 1,779 Mg/m<sup>3</sup> un optimālā mitruma pakāpe 12%. No smalkajiem smilšainās grunts paraugiem B1 ir ar visaugstāko sausas grunts īpatnējo svaru.



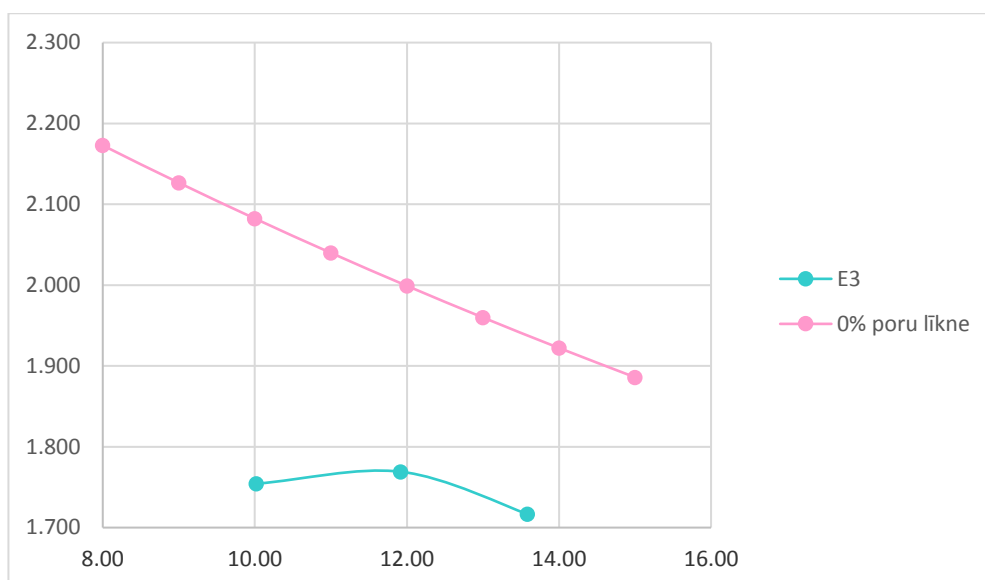
5.10. attēls. Sausas B1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

E2 gruntij (5.11. attēls) ir otrs augstākais sausas grunts īpatnējais svars no visām smalkajām smilšainajām gruntīm, kas ir  $1,769 \text{ Mg/m}^3$ . Smalknes piejaukums ir 4,6% un optimālais mitrums arī ir 12%, kā lielākajai daļai smalkajām smilšainajām gruntīm.



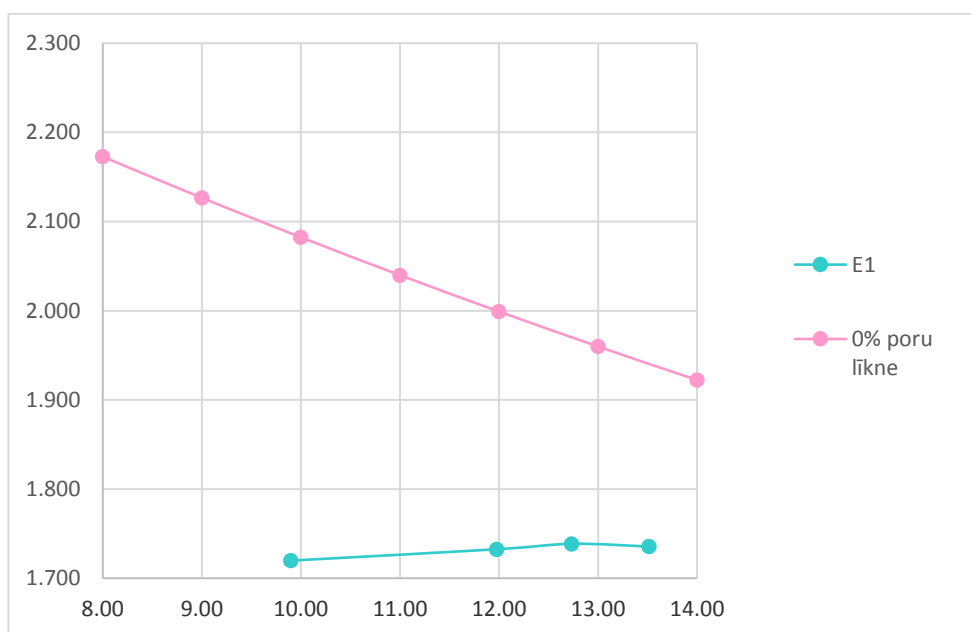
5.11. attēls. Sausas E2 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

E3 gruntij (5.12. attēls) ir tieši tāds pats sausas grunts īpatnējais svars kā E2 gruntij, kas ir  $1,769 \text{ Mg/m}^3$ . Abām gruntīm ir vienāda optimālā mitruma pakāpe, kas ir 12%. Smalknes piejaukums E3 gruntij ir nedaudz augstāks kā E2 gruntij – 5,4% pret 4,6% atiecīgi. E3 gruntij ir arī neliels grants piejaukums, kas 0,3% no visas kopējās masas. Kopumā gruntis ir ļoti līdzīgas un to arī atspoguļo proktora analīzes rezultāti.



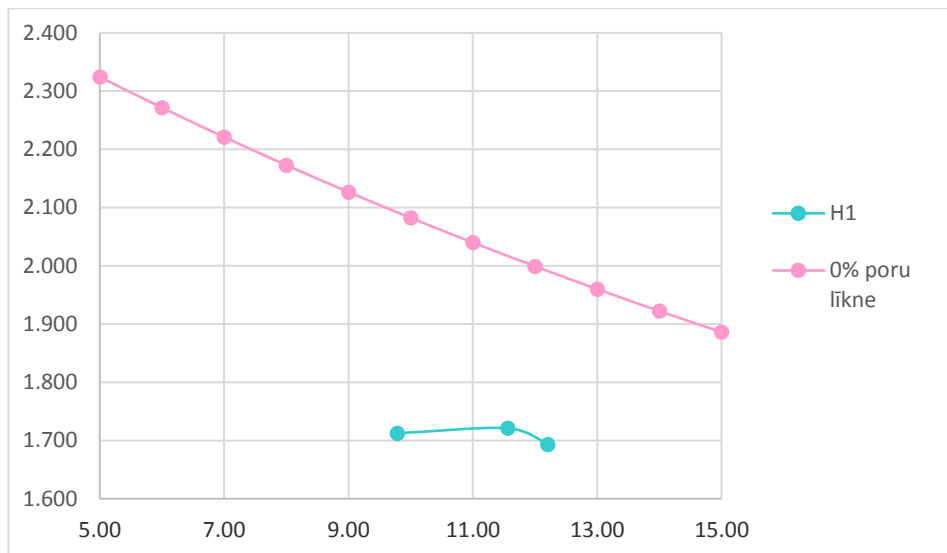
5.12. attēls. Sausas E3 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

E1 paraģa sausas grunts maksimālais blīvums ir 1,739 Mg/m<sup>3</sup>. Optimālā mitruma pakāpe ir 12%. Pēc granulometriskā sastāva šī grunts ir līdzīga E2 un E3 gruntīm, smalknes piejaukums ir 4,1% un ir pavisam neliels grants frakcijas piejaukums. Līdzības arī atspoguļojas proktora analīzes rezultātā (5.13. attēls).

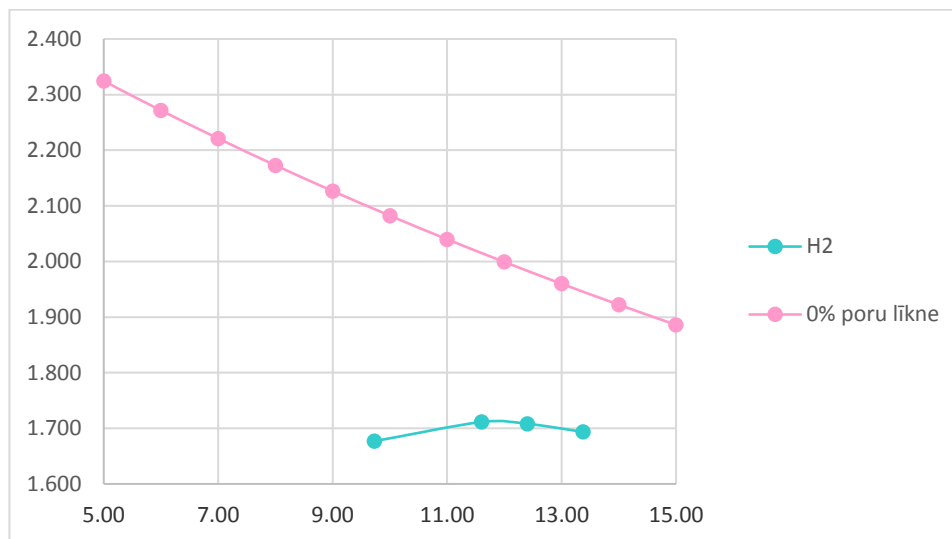


5.13. attēls. Sausas E1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

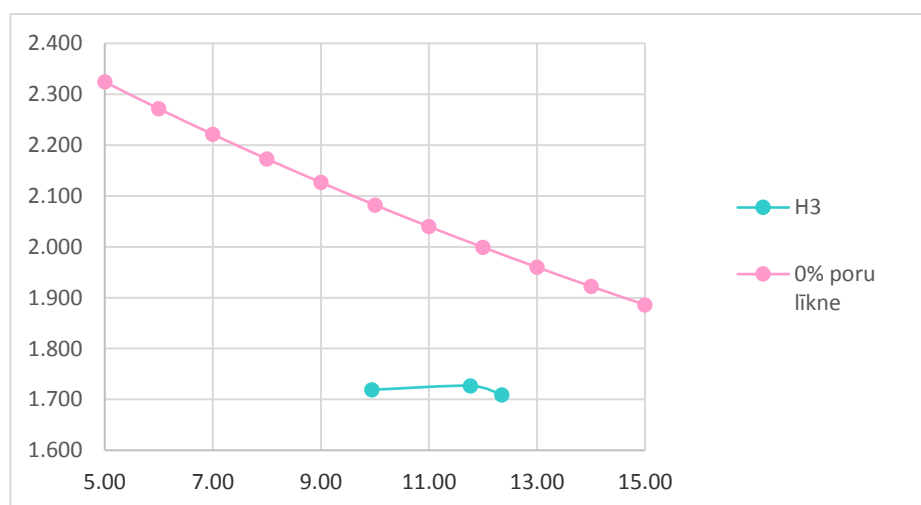
H1; (5.14. attēls) H2; (5.15. attēls) H3 (5.16. attēls) gruntis uzrāda ļoti līdzīgas sausas grunts īpatnējā svara vērtības, kas ir 1,711 Mg/m<sup>3</sup> līdz 1,727 Mg/m<sup>3</sup>. Smalknes saturs šajās gruntīs ir 2,1%, 2,8% un 3,0% atiecīgi. Kā arī ir neliels grants piejaukums šīm gruntīm – 0,5%, 0,3% un 0,8% atiecīgi. Visām trim gruntīm optimālā mitruma vērtības ir 12%.



5.14. attēls. Sausas H1 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.



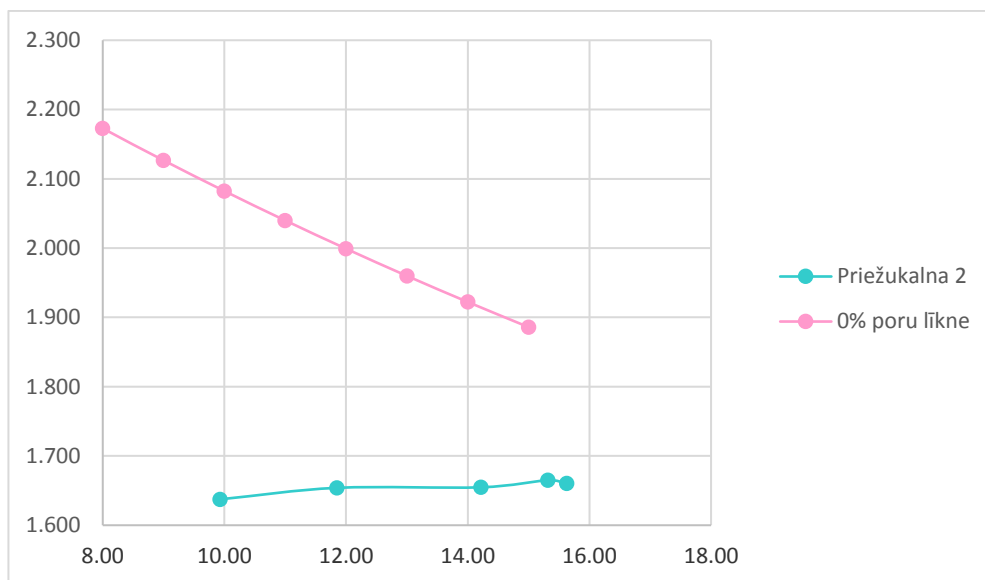
5.15. attēls. Sausas H2 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.



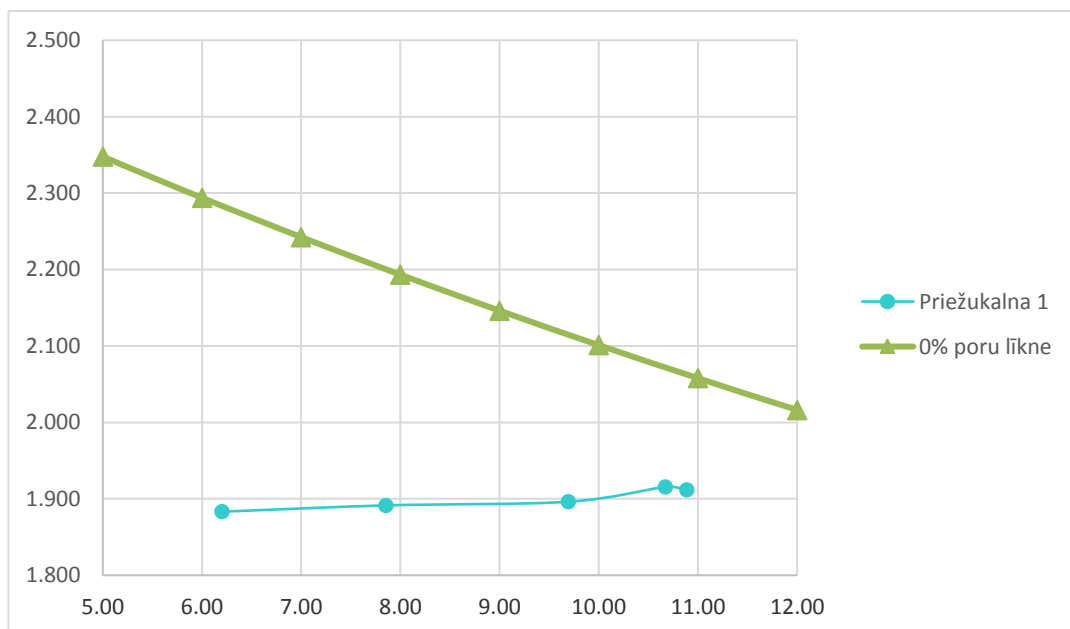
5.16. attēls. Sausas H3 grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

“Priežukalna 2” (5.17. attēls) sausas grunts īpatnējais svars ir 1,665, kas ir otrs zemākais no visām smalkajām smilšainajām gruntīm. Šai gruntij smalknes piejaukums ir

1,2% un grants piejaukums ir 0,7%. Taču "Priežukalna 2" gruntij ir visaugstākā optimālā mitruma vērtība no visām analizētajām gruntīm, kas ir 16% no grunts masas. Pēc granulometriskā sastāva šī grunts ir ļoti līdzīga un pielīdzināma citām smalkajām smilšainajām gruntīm, kuru optimālie mitrumi ir 14% un pat 12%. Spriežot tikai pēc granulometriskā sastāva ietekmes, nav skaidrs kāpēc tieši šai gruntij ir tik augsta optimālā mitruma vērtība.



5.17. attēls. Sausas "Priežukalna 2" grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 16%.



5.18. attēls. Sausas "Priežukalna 1" grunts blīvuma vērtības ar efektīvo mitruma pakāpi pie 12%.

No visām analizētajām gruntīm vissliktāk sablīvējamais materiāls ir "Baltā kāpa", kas ir eolā kāpa, ļoti labi šķiroti eolie nogulumi (5.1. attēls). Šis grunts ir smalkgraudaina smilts ar vidējigraudainas smilts piejaukumu. Ņemot vērā to, ka materiāls ir ļoti labi šķirots, tam nav grants, ne aleirīta, ne māla piejaukuma. No vienas puses materiālam nepiemīt sablīvēšanās uzlabojošas īpašības – nav grants piejaukuma. No otras puses šim materiālam nepiemīt sablīvēšanās pasliktinošas īpašības – nav smalknes piejaukuma. Šis grunts galvenā atšķirība ir tāda, ka nogulumi ir labi šķiroti, pēc kā var izdarīt secinājumu, ka laba materiāla šķirotība ir sablīvēšanās pasliktinoša īpašība. Tomēr ietekmējošs faktors varētu būt grunts cieto daļiņu noapaļotība. Tomēr, pēc viena parauga nav iespējams izdarīt pilnvērtīgus secinājumus.

Spriežot pēc grunšu optimālā mitruma, ir skaidri redzams, ka optimālais mitrums pie kura grunts ir maksimāli sablīvējama ir zemāks rupjgraudainām smilšainajām gruntīm. Vismāk optimālā mitruma pakāpe ir D1 paraugam (5.4. attēls), kas ir 6% no kopējās parauga masas, pie kuras grunts ir sasniegusi maksimālo blīvuma atzīmi. Smalkām smilšainajām gruntīm ar relatīvi augstu aleirīta un māla piejaukumu ir augstāka optimālā mitruma pakāpe. Tas ir skaidrojams ar to, ka rupjgraudainam materiālam piemīt daudz labākas filtrācijas īpašības kā smalkgraudainiem, putekļainiem vai mālainiem materiāliem. Proktora analīzes procesā ūdens lēnāk filtrējas cauri sablīvētajam slānim, gadījumos, kad gruntij ir māla daļiņu piejaukums vai materiāls ir smalkgraudains. Savukārt grants frakciju piejaukums paātrina filtrācijas ātrumu, kā rezultātā grunts piesātinājums tiek sasniegts ātrāk.

Kā zināms, smalkne gruntīs piesaista ūdeni, kā rezultātā optimālo mitrumu gruntī vajadzētu sasniegt pie augstākas mitruma pakāpes, tomēr D1 paraugam tas ir pie 6% mitruma pakāpes. Šim paraugam smalknes daļiņu saturs gruntī ir 8,25%, kas ir otrais augstākais rādītājs no visiem testētajiem paraugiem. Šī informācija ir pretrunīga iepriekš apkopotajai – māla piejaukumam gruntī vajadzētu palielināt optimālā mitruma līmeni, tomēr tas tā nenotiek šīs grunts gadījumā. Pēc šī novērojuma var secināt, ka grants frakciju piejaukuma ietekme uz grunts sablīvēšanās spējām ir lielāka kā māla daļiņu ietekme (līdz kādam noteiktam līmenim). Jo šī parauga grants saturs ir 18,4 % un šīs frakcijas ietekme uz kopējās grunts īpašībām ir lielāka.

## SECINĀJUMI

Bakalaura darbā izvirzītie uzdevumi un mērķi ir sasniegti – iegūts priekšstats par granulometriskā sastāva ietekmi uz smilšaino grunšu spēju sablīvēties un par šī faktora ietekmes paredzamību. Apkopojot rezultātus ir veikti sekojoši secinājumi:

1. Granulometriskajam sastāvam ir būtiska nozīme grunts sablīvēšanās spēju ietekmē.
2. Smalknes piejaukums gruntī, paaugstina grunts optimālā mitruma pakāpi un pazemina sausas grunts īpatnējo svaru.
3. Grants piejaukumam ir līdzvērtīga nozīme kā smalknes piejaukumam, bet ar pretēju ietekmi – pazemina grunts optimālā mitruma pakāpi un paaugstina sausas grunts īpatnējo svaru.
4. Grants piejaukumam gruntī ir lielāka ietekme kā līdzvērtīgam smalknes piejaukumam.
5. Ļoti laba šķīrotība ir grunts sablīvēšanās spēju pasliktinoša īpašība.
6. Turpmāko spētījumos būtu jānoskaidro tādu faktoru kā grunts cieto daļiņu noapaļotības un māla piejaukuma ietekme uz grunts spējām sablīvēties.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

### Publicētā literatūra

- Aysen, A. 2005. *Soil mechanics: Basic concepts and engineering applications*. Taylor & Francis Group, London, UK, 428 – 430.
- Āboltiņš, O., Eniņš, G. 1979. *Stāsti par dabu: Gaujas senieleja*. Liesma, Rīga, Latvija.
- Bell, F. G. 1993. *Engineering Geology*. Blackwell Science Ltd, Cambridge, UK.
- Bell, F. G. 1998. *Environmental geology. Principles and practice*. Blackwell Science,
- Bell, F. G. 2004. *Engineering geology and construction*. Taylor & Francis Grup, London, UK, 55 – 60, 327.
- Bell, F. G. 2007. *Engineering Geology. Second Edition*. Elsevier Ltd, Oxford, England.
- Brown, E. 1977. Vibroflotation Compaction of Cohesionless Soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. Vol. 103, 1437 – 1451.
- Das, M. Braja, Nagaratnam S. 2017. *Fundamentals of Geotechnical Engineering, International Edition*. Global Engineering, Stamford, USA.
- Das, M. Braja, Sobhan Khaled. 2014. *Principles of Geotechnical Engineering, Eighth Edition, SI*. Global Engineering, Stanford, USA.
- Eberhards G. 2006. Stop 2: Geological monument sand dune “Baltā kāpa” at the mouth of the River Lielupe. In: Stinkulis Ģ. and Zelčs V. (compilers) 2006. *The Baltic Sea Geology: The Ninth Marine Geological Conference. Pre-Conference and Post-Conference Field Excursion Guidebook*. University of Latvia. Rīga, pp. 15-16.
- Franklin, A. F., Orozco, L. F. and Semrau, R. 1973. Compaction of Slightly Organic Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Vol. 99, No. SM7, 541-557.
- Fratta, D., Aguetant J., Smith R. L. 2007. *Introduction to Soil Mechanics Laboratory testing*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
- Gurtug, Y., Sridharan, A. 2004. Compaction Behaviour and Prediction of Its Characteristics of Fine Grained Soils with Particular Reference to Compaction Energy. *Soils and Foundations*. Vol. 44, No. 5, 27 – 36.
- Lancaster, J., Waco, R., Towle, J. and Chaney, R. 1996. The Effect of Organic Content on Soil Compaction. *Proceedings*, 3rd International Symposium on Environmental Geotechnology, San Diego, 152-161.
- Lee, P. Y., Suedkamp, R. J. 1972. Characteristics of Irregularly Shaped Compaction Curves of Soils. *Highway Research Record No. 381*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1 – 9.

- Leonards, G. A., Cutter, W. A. And Holtz, R. D. 1980. Dynamic Compaction of Granular Soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 106, No. GT1, 35-44. London, UK, 287 – 305.
- Murthy, V.N.S. 2003. *Geotechnical Engineering. Principles and practices of soil mechanics and foundation engineering*. Marcel Dekker, New York, 332 – 341.
- Noviks, G. (1998). *Inženierģeoloģija. Iežu Fizikālās Īpašības*. Rēzeknes augstskola, Rēzekne, Latvija.
- Saltupe, B. (1994) Baltā kāpa. Grām.: Latvijas daba: enciklopēdija. Red.: Kavacs G., Cinovskis R., Danilāns I. u.c., 1. sēj. Rīga: Latvijas enciklopēdija.
- Sowers, G. F. 1979. *Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering*. Macmillan, New York, USA.

### **Elektroniskie resursi**

- Adams, B. 2014. *CAT CS533E Vibratory Smooth Drum Roller*. Flickr. Sk. 19.05.2018. Pieejams <https://www.flickr.com/photos/satransport/15270646822/>
- ATLAS COPCO C2700 Pneumatic Roller*. 2015. Construction Equipment. Sk. 19.05.2018. Pieejams <https://www.constructionequipment.com/atlas-copco-cp2700-pneumatic-roller>
- Volvo SD 115 B Pneumatic Roller*. 2018. Equiphunt. Sk. 19.05.2018. Pieejams <https://www.equiphunt.com/r/category/Compactor/Sheep%20foot%20roller/>
- LAMPSON LDC-350 Dynamic compactor*. 2012. Sk. 19.05.2018. Pieejams <http://www.lampsoncrane.com/equipment/dynamic-compactors/>

### **Normatīvie akti**

- ISO 17892-3:2015. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts testēšana laboratorijā. Grunts daļiņu blīvuma noteikšana. Fluīdu piknometra metode*. Internacionālais standarts.
- LVS EN 13286-2:2010. *Nesaistītie un hidrauliskie saistītie maisījumi. 2.daļa: Laboratorijas atsauces blīvuma un ūdens satura testēšanas metodes. Proktora sablīvēšana*. Eiropas standarts, pārņemts Latvijas standarta status.
- LVS EN 1997-1. 2009. 7. *Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1. Daļa: Vispārīgie noteikumi*. Latvijas Standarts.
- LVS EN 933-1:2012. *Minerālmateriālu ģeometrisko īpašību testēšana. 1. daļa: Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšana. Sijāšanas metode*. Eiropas standarts, pārņemts Latvijas standarta statusā.

LVS EN ISO 14688-2. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identificēšana un klasificēšana. 1.daļa: Identificēšana un aprakstīšana*. Eiropas standarts.

LVS EN ISO 14688-2. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identificēšana un klasificēšana. 2. daļa: Klasificēšanas principi*. Eiropas standarts.

### **Kartogrāfiskie materiāli**

Cilvēka ģeogrāfija. *Administratīvais iedalījums*. LU ĢZZF WMS. Skatīts 21.04.2018.

Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>

Fizikālā ģeogrāfija. *Dabas apvidi*. LU ĢZZF WMS. Skatīts 17.04.2018. Pieejams

<http://kartes.geo.lu.lv/karte/>

Kvartārģeoloģija. *Kvartāra biezuma karte*. LU ĢZZF WMS. Skatīts 16.04.2018. Pieejams

<http://kartes.geo.lu.lv/karte/>

LVGD Kvartārģeoloģija. *Latvijas PSR Ģeoloģijas Pārvaldes Kvartāra nogulumu karte, M*

*1:200 000*. LU ĢZZF WMS. Skatīts 16.04.2018. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>

LVGP Kvartārģeoloģija. *Latvijas PSR Ģeoloģijas Pārvaldes Kvartāra nogulumu karte, M*

*1:200 000*. LU ĢZZF WMS. Skatīts 16.04.2018. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>