

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. ...

ANDRIS KARPOVIČS

**LATVIJAS GLACIGĒNO GRUNŠU
ĢEOTEHNISKĀS ĪPAŠĪBAS UN
TO MAINĪGUMS**

DISERTĀCIJA

RĪGA 2010

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. ...

ANDRIS KARPOVIČS

**LATVIJAS GLACIGĒNO GRUNŠU
ĢEOTEHNISKĀS ĪPAŠĪBAS UN
TO MAINĪGUMS**

DISERTĀCIJA

doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares
lietišķās ģeoloģijas apakšnozarē

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

Disertācija izstrādāta
Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļas Lietišķās ģeoloģijas katedrā no 2005. gada līdz
2010. gadam

Disertācijas vadītājs:

Valdis Segliņš, profesors, Dr. ģeol. (Latvijas Universitāte)

Recenzenti:

Promocijas padomes sastāvs:

Vitālijs Zelčs, profesors, Dr. ģeol. – padomes priekšsēdētājs

Ervīns Lukševičs, profesors, Dr. ģeol. – padomes priekšsēdētāja vietnieks

Valdis Segliņš, profesors, Dr. ģeol.

Laimdota Kalniņa, asoc. profesore, Dr. ģeog.

Aija Dēliņa, Dr. ģeol.

Ivars Zupiņš, Dr. ģeol.

Padomes sekretārs:

Ģirts Stinkulis, asoc. profesors, Dr. ģeol.

Disertācija pieņemta aizstāvēšanai ar Latvijas Universitātes Ģeoloģijas promocijas
padomes gada sēdes lēmumu Nr. .../.....

Disertācijas atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē
gada, Rīgā, Alberta ielā 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorijā (313.
telpa).

Disertācijas kopsavilkuma izdošanu ir finansējusi Latvijas Universitāte.

Ar disertāciju ir iespējams iepazīties Latvijas Universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Rīgā,
Kalpaka bulvārī 4 un Latvijas Akadēmiskajā bibliotēkā Rīgā, Lielvārdes ielā 4.

Atsaukmes sūtīt: Dr. Ģirts Stinkulis, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Raiņa
bulvāris 19, LV-1586, Rīga. Fakss: +371 6733 2704, e-pasts: Girts.Stinkulis@lu.lv

© Andris Karpovičs

Latvijas Universitāte
www.lu.lv

SATURS

ANOTĀCIJA.....	6
ANNOTATION	7
IEVADS	8
1. GLACIGĒNĀS GRUNTIS UN TO PĒTĪJUMI LATVIJĀ.....	14
1.1. PĒTĪJUMU VĒSTURE.....	15
1.1.1. Grunšu īpašību novērtēšana.....	21
1.1.2. Grunšu pētījumu metožu attīstība.....	22
1.2. GLACIGĒNIE NOGULUMI UN GRUNTIS – KLASIFIKĀCIJA UN PIENĒMTĀ TERMINOLOĢIJA	25
1.3. GLACIGĒNO GRUNŠU ĢEOTEHNISKĀS ĪPAŠĪBAS	28
1.4. SAKARĪBAS STARP GLACIGĒNO GRUNŠU SASTĀVU, FIZIKĀLAJĀM UN MEHĀNISKAJĀM ĪPAŠĪBĀM	30
1.5. GLACIGĒNO GRUNŠU INŽENIERĢEOLŌĢISKĀ IZPĒTE UN DETALIZĒTU PĒTĪJUMU SPECIFIKA	33
2. MATERIĀLI UN METODES	35
2.1. PIEEJAMIE DATI UN TO IZVĒRTĒJUMS	35
2.2. PĒTĪJUMĀ IZMANTOTIE INSTRUMENTI	44
2.3. PĒTĪJUMA VIETAS IZVĒLE UN SAGATAVOŠANA.....	45
2.4. PĒTĪJUMA VIETU ĢEOLŌĢISKAIS RAKSTUROJUMS.....	48
2.5. PĀRBAUDES PĒTĪJUMA PAMATOTĪBAI UN INTERPRETĀCIJAS NODROŠINĀJUMAM AR EKSPERIMENTĀLAJEM DATIEM	52
2.5.1. Grunts stiprības salīdzinošie mērījumi.....	53
2.5.2. Grunts stiprības atkarība no tās dēdējuma pakāpes	55
2.5.3. Konusa iespiešanas pretestības atkarība no mērīšanas dziļuma.....	58
2.5.4. Penetrometra konusa virsmas nodiluma pakāpes ietekme uz mērījumu precizitāti	59
2.5.5. Dabīgā mitruma mērījumu precizitātes novērtējums.....	63
2.5.6. Grunts dabīgā mitruma izmaiņas laikā	69
2.5.7. Konusa iespiešanas pretestības atkarība no dabīgā mitruma.....	71

2.5.8. Konusa iespiešanas pretestības vērtību sadalījuma atkarību novērtējums	73
2.6. DATU INTERPRETĀCIJAS PAŅĒMIENI, TO IZVĒLE UN METODIKA....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.1. ATSEVIŠĶO EKSPERIMENTU REZULTĀTI	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.2. DETALIZĒTI GRUNTS PĒTĪJUMI	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.3. DATU STATISTISKAIS NOVĒRTĒJUMS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.4. DATU GRAFISKĀ VIZUALIZĀCIJA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.5. ĪPAŠĪBU SADALĪJUMA TĒLPISKĀS KONSTRUKCIJAS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.6. GRUNŠU NEVIENDABĪGUMS UN TĀ NOVĒRTĒŠANA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.7. GLACIGĒNO GRUNŠU ANIZOTROPIJA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.8. PĒTĪJUMA VIETAS IZVĒLE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.9. IN SITU MĒRĪJUMU NEPIECIEŠAMĪBA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.10. ROKAS PENETROMETRA IZMANTOŠANAS IESPĒJAS DETALIZĒTOS GRUNŠU PĒTĪJUMOS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.11. VĒSTURISKO DATU IZMANTOŠANAS IESPĒJAS, ĢEOTEHNISKO ĪPAŠĪBU DATU BĀZES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.12. KONUSA IESPIEŠANAS PRETESTĪBAS UN DABĪGĀ MITRUMA MĒRĪJUMU NOZĪMĪGUMS UN PRECIZITĀTE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
SECINĀJUMI	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

ANOTĀCIJA

Pētījumā „Latvijas glacigēno grunšu ģeotehniskās īpašības un to mainīgums” raksturots glacigēno grunšu ģeotehnisko īpašību mainīgums un anizotropija detalizētā – decimetru mērogā. Īpašu uzmanība veltīta eksperimentāliem mērījumiem, lai nodrošinātu interpretācijas korektumu inženierģeoloģisko jautājumu risināšanai Latvijas ģeoloģiskajos apstākļos. Pētījums izstrādāts par pamatu ņemot autora veiktos vairāk kā 10 000 konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumus *in situ*.

Pētījuma ietvaros izveidota iepriekšējos gados veikto glacigēno grunšu inženierģeoloģisko pētījumu datu bāze. Tajā iekļautie dati ļāva iegūt vispārīgu priekšstatu par šo grunšu granulometriskā sastāva, kā arī fizikālo un mehānisko īpašību vērtību izmaiņu robežām un to sadalījumu Latvijas teritorijā.

Eksperimentāli mērījumi *in situ* ļāva noteikt rokas penetrometra, konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa), un mitruma mērītāja dabīgā tilpuma mitruma (W , tilp. %) mērījumu precizitāti un to ietekmējošos faktorus gan glacigēnajās, gan arī citas ģenēzes – kvartāra un devona mālainajās un smilšainajās gruntīs. Iegūtie rezultāti parāda ļoti būtiskas atšķirības starp konusa iespiešanas pretestību un dabīgā mitruma vērtību sadalījumu homogēnās un masīvās sablīvējuma morēnās, kas vizuāli nav konstatējamās. Noskaidrots, ka konusa iespiešanas pretestības mērījumu vērtības ir atkarīgas no virziena, kurā tās mērītas, kas liecina par glacigēno grunšu anizotropiju, kas mazāk izteikta attiecībā uz dabisko mitrumu.

Disertācijas apjoms ir 102 lappuses; to veido 3 nodaļas, 10 tabulas un 50 attēli.

Raksturvārdi: glacigēnās gruntis, konusa iespiešanas pretestība, dabīgais mitrums, ģeotehniskās īpašības, neviendabīgums, anizotropija.

ANNOTATION

This dissertation „Glacigenic soil geotechnical properties and their variability in Latvia” deals with variability and anisotropy of geotechnical properties of glacigenous soil in detailed – decimeter scale. Experimental measurements have been carried out with special notion, in order to ensure correct interpretation in resolution of engineering geology for Latvia geological conditions. Study is based on more than 10 000 measurements, performed by author, of cone resistance and natural moisture *in situ*.

Within the frame of research, glacigenous soil's engineering geological studies of past years have been organized into a data base, allowing for a general conception of variation of soil's geotechnical properties and grain size composition distribution in Latvia.

Experimental *in situ* measurements allowed to determine measurement precision and the impacting factors of manual penetrometer's cone resistance (q_c , MPa) and the moisture meter's measured natural volumetric moisture (W , vol. %), both in glacigenous soil and the soil of other genesis – Quaternary and Devonian clay and sandy – soils. The results demonstrate essential differences in the distribution of cone resistance and natural moisture values in homogenous and massive lodgement till, that are visually unascertainable. Furthermore, it has been noted that cone resistance measurement values depend on the direction in which the measurement is being carried out, indicating the anisotropy of glacigenous soil, which in minor extent applies to values of natural moisture.

The dissertation consists of 102 pages; it includes 3 chapters, 10 tables and 50 figures.

Key words: glacigenic soil, cone resistance, natural moisture, geotechnical properties, heterogeneity, anisotropy.

IEVADS

Grunšu neviendabīgums būtiski ietekmē to ģeotehnisko īpašību sadalījumu grunts masīvā, kas rada apgrūtinājumus novērtēt šīs īpašības. Sistemātiski grunšu neviendabīguma pētījumi inženierģeoloģisko jautājumu risināšanai sākti 20. gs. septiņdesmito gadu beigās ar pirmajiem mēģinājumiem modelēt šo parādību (Morgenstern, 2000). Savukārt mūsdienās pasaulē plaši pētīti dažādi grunšu neviendabīguma aspekti, izmantojot plašu mērījumu un analītisko pieeju kopumu, tomēr būtisks progress šīs parādības izprašanā nav sasniegts (Elketab *et al.* 2003).

Lai novērtētu jaunāko teorētisko metožu izstrādes, apzināti un analizēti teorētiskie priekšstati (Terzaghi *et al.* 1996; Mitchel, Soga, 2005), pētījumu tehniskie ziņojumi (Murad, Abu-Farsakh, 2004; Sabatani *et al.* 2002), kā arī profesionālo organizāciju rīkoto konferenču, semināru un kursu (Mayne *et al.* 1995) materiāli.

Disertācijas ietvaros veiktais pētījums balstīts uz autora veiktajiem eksperimentālajiem un praktiskajiem glacigēno grunšu konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumiem lauka apstākļos (*in situ*) vairākos iepriekš izvēlētos objektos. No tiem svarīgākie ir divi: Sila karjerā (netālu no Kalvenes Liepājas rajonā) un Kažoku karjerā (uz dienvidiem no Ozolpils Tukuma rajonā). Papildu datus autors ieguvis arī citās šim mērķim izvēlētajās glacigēno grunšu pētījumu vietās Latvijā. Izvēlētajās pētījumu metodes un instrumentu precizitātes pārbaudei mērījumi veikti ne tikai glacigēnajās gruntīs, bet arī atšķirīgas ģenēzes un sastāva gruntīs: kvartāra mālainajās, smilšainajās un devona mālainajās gruntīs.

Šajā pētījumā veikts glacigēno grunšu konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību sadalījuma telpā decimetru mērogā novērtējums, izmantojot zinātniskas precizitātes rokas mērinstrumentus: rokas penetrometru un mitruma mērītāju. Darbs izstrādāts, par pamatu ņemot autora veiktos ap 10 000 konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumus *in situ*.

Pētījuma aktualitāte

Ir zināms, ka grunšu fizikālās un mehāniskās īpašības ir saistītas gan savā starpā, gan ar to veidojošo iežu sastāvu, ģenēzi un vairākiem citiem parametriem un gruntis ietekmējošiem faktoriem. Glacigēnās gruntis raksturo mainīgs sastāvs, fizikālās un mehāniskās īpašības, kas nosaka arī Latvijas glacigēno grunšu neviendabīgumu.

Glacigēno un arī citu grunšu īpašību un sastāva savstarpējā atkarība un to vērtību sadalījuma likumsakarības teritorijā un – īpaši – telpā ir intensīvu zinātnisko pētījumu priekšmets visā pasaulē. Turklāt glacigēnās gruntis bieži kalpo par dažādu būvju pamatnēm, tādēļ īpaši nozīmīgi ir šo grunšu detalizēti pētījumi. Tas nosaka pētījuma aktualitāti un mūsdienīgumu.

Veiktā pētījuma **mērķis** ir raksturot glacigēno grunšu ģeotehnisko īpašību mainīgumu un anizotropiju detalizētā – decimetru – mērogā, īpašu uzmanību veltot eksperimentālajiem mērījumiem, lai nodrošinātu interpretācijas korektumu inženierģeoloģisko jautājumu risināšanai Latvijas ģeoloģiskajos apstākļos.

Pētījuma uzdevumi

Veicot detalizētus, decimetru mēroga, glacigēno grunšu pētījumus, nepieciešams:

1. novērtēt iepriekš veikto glacigēno grunšu inženierģeoloģisko pētījumu datu izmantošanas iespējas;
2. eksperimentāli noteikt un izvērtēt galvenos faktorus, kas ietekmē pētāmo īpašību (konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma) mērījumu precizitāti;
3. veikt ģeotehnisko īpašību mērījumus atšķirīgos grunšu tipos, lai pamatotu glacigēnajās gruntīs konstatētās sakarības;
4. novērtēt konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību sadalījumu pēc minēto parametru mērījumiem *in situ* vizuāli homogēnā masīvā sablīvējuma morēnā;
5. novērtēt glacigēno grunšu neviendabīgumu un anizotropiju un tās iespējamās iemeslus;

Pētījuma metodiskie risinājumi vairumā gadījumu sakrīt ar tiem, kas mūsdienās izmantoti grunšu īpašību zinātniskajos pētījumos pasaulē, un tas ļauj salīdzināt autora pētījumā iegūtos rezultātus ar citur veikto inženierģeoloģisko pētījumu rezultātiem.

Izmantojot jaunākos metodiskos risinājumus, disertācijā izskatīts ģeotehnisko īpašību mainīgums, to savstarpējās atkarības un anizotropija Latvijas glacigēnajās gruntīs, sniegta to analīze un izvērtējums.

Novitāte

Atšķirībā no iepriekš veiktajiem līdzīgas ievirzes pētījumiem Latvijā, disertācijas autora veiktais pētījums ir augstākas detalitātes. Tajā iegūtie konusa iespiešanas pretestības

un dabīgā mitruma *in situ* mērījumu rezultāti pārbaudīti vairākās iepriekš izvēlētās Latvijas vietās, tā pilnīgāk apzinot Latvijas glacigēno grunšu daudzveidību. Turklāt minēto parametru mērījumi veikti arī atšķirīga sastāva, vecuma un ģenēzes gruntīs.

Autora pētījumā ģeotehnisko analīžu veikšanai izmantoti zinātniskas klases portatīvi mērinstrumenti, lai ar augstu precizitāti noteiktu grunšu konusa iespiešanas pretestību un dabīgo mitrumu.

Pētījuma metodiskie risinājumi vairumā gadījumu sakrīt ar tiem, kas mūsdienās izmantoti līdzīgos zinātniskajos pētījumos citur pasaulē, un tas ļauj tieši salīdzināt pētījumā iegūtos rezultātus ar citu pētnieku iegūtajiem rezultātiem.

Autora iepriekš veiktajos pētījumos (Karpovičs, 2004; Karpovičs, 2006^a; 2006^b) novērtētas līdz šim iegūto Latvijas glacigēno grunšu inženierģeoloģisko pētījumu (analīžu rezultātu) izmantošanas iespējas un veikta šo datu izvērtēšana un analīze, kas netika turpināta kopš divdesmitā gadsimta sešdesmitajiem gadiem.

Lietišķā nozīme

Pētījumā raksturots Latvijas glacigēno grunšu īpašību neviendabīgums un atkarība no mērījumu veikšanas virziena. Šī sakarība būtu ņemama vērā, veicot detalizētus inženierģeoloģiskos pētījumus.

Izmantojot disertācijas ietvaros izveidoto elektronisko glacigēno grunšu ģeotehnisko īpašību datu bāzi, var veikt šo datu matemātisku apstrādi. Datu bāze būtu papildināma ar kvalitatīviem grunšu analīžu rezultātiem, jo nākotnē tā var kalpot par bāzi zinātniskajiem un lietišķajiem pētījumiem.

Aprobācija

Balstoties uz pētījuma rezultātiem par atsevišķām pētījuma sadaļām un darbu kopumā: sagatavoti pieci raksti zinātniskajos žurnālos, starptautiskajās zinātniskajās konferencēs sniegti seši ziņojumi, kā arī seši – Latvijas zinātniskajās konferencēs.

Zinātniskie raksti:

1. Segliņš, V., Gilucis, A., Karpovičs A., 2009. Glacigēno grunšu fizikālās īpašības un to savstarpējās korelācijas. *RTU zinātniskie raksti*, "Materiālzinātne un lietišķā ķīmija", 1(19), 69–77.
2. Karpovičs, A. 2008. Detalizēti decimetru mēroga grunšu pētījumi. *RTU zinātniskie raksti*, "Materiālzinātne un lietišķā ķīmija", 1(18), 154–162.

3. Karpovičs A., Segliņš V. 2009. Morēnas fizikālo īpašību atšķirības atkarībā no mērījumu veikšanas virziena. *Latvijas Universitātes raksti "Zemes un vides zinātņu sērija"* 724, 52–61.
4. Karpovičs, A., Popovs, K., Segliņš, V., Irbe, Z., 2010. Dažu ģeotehnisko īpašību sadalījums pamatmorēnā. *Latvijas Universitātes raksti "Zemes un vides zinātņu sērija"*, 752, 45–54.
5. Karpovičs, A., Segliņš, V., 2010. Anisotropy of geotechnical properties in glacial lodgement till. *Geological Quarterly*, (in press).

Starptautiskās konferences:

1. INQUA Lauka simpozijs, „Late Pleistocene glacial deposits in the central part of the Scandinavian ice sheet“, Somija, 2006. gada 11.–15. septembris. Referāta tēma: „Relations between granulometrical composition and geotechnical properties of glacial soils of Latvia.”;
2. INQUA Lauka simpozijs, „The Quaternary of Western Lithuania: from the Pleistocene glaciations to the evolution of the Baltic Sea“, Lietuva, Plateliai, 2007. gada 27. maijs–2. jūnijs. Referāta tēma: „Geotechnical properties of glaciodynamic structures at outcrop of Ulmale.”;
3. Starptautiska zinātniska konference, „GeoPomerania 2007, Geology cross-bordering the Western and Eastern European Platform” Polija, Ščecina, 2007. gada 24.–26. septembris. Referāta tēma: „Subsoil moisture loses from open surfaces.”;
4. Starptautiska zinātniska konference, „Clays, clay minerals and layered materials 2009”, Krievija, Zvenigorod, 2009. gada 21.–25. septembris, Referāta tēma: „Anisotropy of geotechnical properties of glacial soils in decimeter scale.”

Konferences Latvijā:

1. LU 64. zinātniskā konference, Rīga, 2006. Referāta tēma: „Latvijas apledošanas glacigēno grunšu granulometriskais sastāvs un fiziomehāniskās īpašības, to izplatība un savstarpējās atkarības.”;
2. LU 65. zinātniskā konference, Rīga, 2007. Referātu tēmas: „Monolītu veidošana detalizētiem inženierģeoloģiskiem pētījumiem in

situ.” un „Glacigēno nogulumu inženierģeoloģisko īpašību atkarība no iespējamā ledāja kustības virziena.”;

3. LU 66. zinātniskā konference, Rīga, 2008. Referāta tēma: „Glacigēno grunšu fizikāli mehānisko īpašību izmaiņas dēdēšanas ietekmē.”;

4. LU 67. zinātniskā konference, Rīga, 2009. Referāta tēma: „Glacigēno grunšu fizikālo īpašību anizotropijas pētījumi”.

5. LU 68. zinātniskā konference, Rīga, 2010. Referātu tēmas: „Sablīvējuma morēnas inženierģeoloģiskie pētījumi Lodesmuižas apkārtnē”; „Oļu orientācijas telpiskas vizualizācijas iespējas”; „Lāzerdifrakcijas granulometrijas izmantošanas specifika mālu granulometriskā sastāva noteikšanā”

Atsevišķi disertācijā izstrādātie jautājumi tika apskatīti arī citās starptautiskajās zinātniskajās konferencēs:

1. „Zemes degradācija 2009”, Latvija, Rīga, 2009. gada 17.–19. februāris. Referāta tēma: „Ķīmisko elementu uzkrāšanās un pārvietošanās Latvijas augsnēs”;

2. Iesniegtas tēzes konferencei MECC 2010, Ungārija, Budapešta, 25-29 augusts: referātu tēmas „Clays and authigenic minerals composition of the glacigenic and bedrock contact zone”; „Clay mineral composition: a significant tool for glaciation till studies and paleo reconstruction, with a reference to the glacial history in Drenthe, the Netherlands, North-West Germany and the Baltic”; „Natural pigments in clayey sediments of Kuprava pit in Latvia”.

Pateicības

Disertācija izstrādāta ar Eiropas Sociālā fonda finansētā projekta Nr. 2004/0001/VDP1/ESF/PIAA/04/3.2.3.1/0001/0063 (LU ESS2004/3) „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēc-doktorantūras pētījumiem” un LZP granta Nr. 05.1505 (2005–2007) „Efektīvās porainības un granulometriskā sastāva atkarības nogulumos aerācijas zonā” atbalstu.

Autors izsaka pateicību par darba izstrādes gaitā sniegtajām metodiskajām konsultācijām un auglīgajām diskusijām pētījuma zinātniskajam vadītājam, ģeoloģijas doktoram un Latvijas Universitātes profesoram Valdim Segļiņam. Autors pateicas arī

Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras galvenajam ģeologam Zigurdam Meironam un SIA „UNICONE” speciālistiem Jevgenijam Okuncovam, Svetlanai Terentjevai un citiem kolēģiem par ieguldījumu atsevišķu pētījuma posmu realizācijā.

Īpašu pateicību autors izsaka Jānim un Birutai Karpovičiem, Ilzei Lūsei, Elīnai Podskočijai, Valdim Vircavam, Mārai Tūnai, Vinetai Kleinbergai, Viesturam Lūsim, Sandijam Mešķim, Guntim Šneideram, Jurim Paškevičam, Līgai, Gunāram un Santai Jaujeniekiem, kā arī citiem labiem cilvēkiem par palīdzību lauka darbos un atbalstu disertācijas tapšanas laikā.

1. GLACIGĒNĀS GRUNTIS UN TO PĒTĪJUMI LATVIJĀ

Attīstoties grunšu pētniecības metodēm un tehniskajiem paņēmieniem, pasaulē pēdējos gados arvien plašāk realizēti augstas detalizācijas inženierģeoloģiskie pētījumi, kas vērsti uz grunšu īpašību izzināšanu, to savstarpējām atkarībām un veidošanās apstākļiem. Nepieciešamību pēc šādiem pētījumiem nosaka mūsdienu saimnieciskās darbības prasības attiecībā uz grunšu noteikšanas pareizību un prognožu precizitāti.

Līdz šim Latvijā augstas detalizācijas grunšu pētījumi veikti ierobežotā skaitā, un tie attiecināmi uz inženierģeoloģiskajiem pētījumiem kopumā. Šī situācija atspoguļota Latvijas inženierģeoloģisko pētījumu vēsturē, kas apskatīta, nosacīti sadalot to pa posmiem pēc pētījumu satura un detalitātes:

- 17. gs. – 20. gs. sākums – novērojumi un apraksti par Latvijas teritorijas ģeoloģisko uzbūvi un konstatētajiem ģeoloģiskajiem procesiem;
- 20. gs. 30. – 40. gados nodibinātas pirmās grunšu pētīšanas laboratorijas, veikti pirmie inženierģeoloģiskie pētījumi mūsdienu izpratnē;
- 20. gs. 40. – 60. gados veikta kompleksa un plānveidīga Latvijas teritorijas ģeoloģiskā izpēte, kas veidoja pamatu tālākai inženierģeoloģiskai izpētei;
- 20. gs. 60. – 80. gadi – plānveidīga Latvijas teritorijas inženierģeoloģiskā izpēte, tās rajonēšana, vairāku lielu būvju pamatņu projektēšana;
- 20. gs. 90. gadi līdz mūsdienām apsīka sistemātiska Latvijas teritorijas izpēte, un inženierģeoloģiskie pētījumi realizēti atsevišķos būvlaukumos. Tomēr, ņemot vērā pieaugošās prasības pret pētījumu detalizāciju, trūkst pārskata pētījumu un apkopojumu, nav detalizētu pētījumu, kas pārsniedz komerciālo pētījumu prasības.

1.1. Pētījumu vēsture

Glacigēno grunšu inženierģeoloģisko pētījumu vēsturi ir grūti apskatīt atrauti no inženierģeoloģisko pētījumu vēstures kopumā, tādēļ šajā apakšnodalā glacigēno grunšu izpētēs attīstība tiek apskatīta plašākā grunšu pētījumu kontekstā.

Pirmās ziņas par Latvijas ģeoloģisko uzbūvi sastopamas 17. gs. sākumā, lai gan vēl līdz pat 20. gs. sākumam tie ir dažādu Latvijas vietu sporādiski aprakstoši pētījumi. Savukārt tās izzināšana un detalizācija galvenokārt veikta pagājušā gadsimtā, it īpaši laika posmā pēc Otrā pasaules kara (Zobena, 1965; Tracevskaya, Venska, 1992). Mūsdienās Latvijas ģeoloģiskais griezumš pētīts salīdzinoši detalizēti, bet Latvijas inženierģeoloģiskie apstākļi ir ievērojami mazāk apzināti un pētīti (Tracevskaya, 1981). Kaut gan visnenākās ziņas par ģeoloģisko uzbūvi sniedz informāciju arī par inženierģeoloģiskajiem apstākļiem, tiem bieži vien ir gadījuma raksturs kā blakus novērojumiem citos ģeoloģiskos un ģeomorfoloģiskos pētījumos. Tā, piemēram, 1619. gadā G. Mancelis apraksta zemes nogrūvumu, ko, pēc viņa domām, izraisījusi zemestrīce (Zobena, 1965). Tomēr šādu ziņu ir ļoti maz, un tikai 1784. gadā publicēti Jelgavas Akadēmijas un Tērbatas (Jura) Universitātes profesora J. Fišera raksts (Fischer, 1784), kur pirmo reizi minētas karsta procesu izpausmes Latvijā. Arī nākamajā laika posmā zināmas tikai atsevišķas piezīmes, starp kurām izceļami 1891. gadā K. Rugeviča aprakstītie novērojumi pētījumā par Ķemeru un Baldones apkārtnes ģeoloģisko uzbūvi un minerālūdeņiem, kur minētas karsta piltuves, un Rugēvičs to veidošanos saista ar ģipšu šķīdināšanu (Zobena, 1965). Tikai 1903. gadā, atzīmējot Rīgas 700. gadadienu, publicēts pētījumu apkopojums „Riga und seine bauten”, kur B. Doss sniedz ziņas par Rīgas hidrogrāfiskajiem apstākļiem un kvartāra nogulumiem, pieminot arī karsta procesus un pazemes ūdeņu horizontus devona smilšakmeņos (Doss, 1905). Vēlāk publicētajā rakstā „Latvijas kritenes (Zemes iebrukumi)” Z. Lancmanis (Lancmanis, 1925) apraksta karsta un sufozijas procesus. Lai gan visos minētajos pētījumos aprakstīti mūsdienās atpazīstami ģeoloģiskie procesi un to atsevišķas izpausmes, tomēr tie nesniedz teritorijas inženierģeoloģisko novērtējumu, turklāt tajos nav ziņu par šo procesu ietekmi uz būvju pamatu noturību.

Lai gan šajā vēsturiskajā laikā neveica inženierģeoloģiskos pētījumus, jau pagājušā gadsimta sākumā celtnieki nostiprinājuši gruntis, izmantojot zināšanas par būvlaukuma ģeoloģisko uzbūvi un grunšu īpašībām. Kā piemērs minama Lielupes tilta balstu būvniecība Jelgavā, kur gruntis nostiprinātas, izmantojot ģeoloģiskās zināšanas par vietas

ģeoloģisko uzbūvi (Zobena, 1965). Tomēr līdz pat 20. gadsimta 30. gadiem būvniecības darbi Latvijā, līdzīgi kā citur pasaulē, veikti bez iepriekšējas ģeoloģiskās izpētes mūsdienu izpratnē, kā rezultātā bieži vien notika avārijas, piemēram, 1925. gadā Amatas HES būvniecības laikā (Zobena, 1965).

Pirmie specializētie inženierģeoloģiskie pētījumi Latvijā veikti kopš pagājušā gadsimta 30. gadiem, Latvijas valdībai 1932. gadā noslēdzot līgumu ar firmu „The Foundation Company” par tehniskā projekta izstrādi Daugavas hidroenerģētiskai izmantojamībai ar pirmās HES būvniecības vietas nospraušanu (Stakle, 1934). Lai gan pirmās šāda veida shēmas izstrādāja firma „Daugavbūve” jau 1910.–1914. gadā un 1920.–1921. gadā, šajos gadījumos netika izmantota informācija par teritorijas ģeoloģisko uzbūvi, un tādēļ tās jau pēc desmit gadiem atzītas par neatbilstošām (Zobena, 1965). Firma „The Foundation Company” piedāvāja sešu aizsprostu izbūvi posmā no Pļaviņām līdz Rīgai (Stakle, 1934) un, lai noskaidrotu būvniecības iespējas minētajās vietās un izvēlētos piemērotāko profilu, veikti urbšanas darbi. To dziļums ir atšķirīgs, galvenokārt – līdz augšējā devona smilšakmeņiem, un šo pētījumu gaitā novērotas pazemes ūdeņu līmeņu svārstības. No trīs urbumiem netālu no Ķeguma veikta atsūkņošana un ņemti paraugi ūdens ķīmiskajām analīzēm (Stakle, 1934). Savukārt 1934. gadā plānotā, mazo upju apgūšanas un transporta projektu ietvaros Hidroenerģētiskās būvniecības pārvalde uzsāk Ventas ielejas ģeoloģisko izpēti Kuldīgas apkārtnē (Kaliyants *et al.* 1949).

Pagājušā gadsimta 30. gados Latvijas Universitātē izveidota ģeotehnikas laboratorija, kur veica Rīgas apkārtnes kāpu smilšu izpēti, bet plašāki, sistemātiski grunšu fiziomehānisko īpašību pētījumus iesāka pēc 1940. gada, kad Zemes bagātību institūtā organizēta pirmā grunšu pētīšanas laboratorija Baltijas valstīs (Bambergers *et al.* 1949).

Otrā pasaules kara laikā vācu armijas vajadzībām inženierģeoloģiskie apstākļi pētīti daudz plašāk. Izbūvējot galvenos infrastruktūras objektus (dzelzceļi, ceļi, tilti, pārvadi), veikti arī plaši pētījumi laboratorijā, bet dati par šiem pētījumiem nav saglabājušies.

Valsts teritorijas kompleksā un plānveidīga izpēte sākās tikai pēc Otrā pasaules kara. Iegūstot plašākas un precīzākas zināšanas par Latvijas ģeoloģisko uzbūvi un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem, uzsāka teritorijas detalizētu inženierģeoloģisko izpēti. Īstenots salīdzinoši liels inženierģeoloģisko darbu apjoms atsevišķos būvlaukumos, taču šo pētījumu materiāli arhīvos sistemātiski uzkrāti tikai kopš 1945. gada, bet publikācijas par inženierģeoloģijas jautājumiem pieejamas kopš 1948. gada. Starp tām īpaši ir izceļamas L. Gaiļa, R. Knapa, R. Baloža un K. Cukermaņa, B. Bulgakova, V. Nikolajeva un D. Sokolova atsevišķu pētījumu publikācijas.

Turpmākajos gados veikto pētījumu ziņojumu (pārskatu un atskaišu) lielākā daļa ir veltīta konkrētu būvlaukumu inženierģeoloģisko apstākļu izziņai. Pētījumi raksturo lielākās Latvijas pilsētas, taču tie ir neliela apjoma izpētes darbi un nesatur detalizētu un vispusīgu informāciju par šo pilsētu inženierģeoloģiskajiem apstākļiem. Ārpus lielajām pilsētām nozīmīgākie inženierģeoloģiskie pētījumi veikti mazo HES un tiltu būvniecības vajadzībām. Veikta inženierģeoloģiskā izpēte Latvijas lielāko lidostu būvniecībai (Il'inskijs, 1951, Brūvelis, 2003). Bet kopš 1946. gada „Hidroenerģoprojekta” institūta Maskavas filiāle sāk Daugavas ielejas inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko izpēti tās kompleksai izmantošanai un 1948. gadā tos papildina „Hidroenerģoprojekta” Ļeņingradas filiāles pētījumi Ķeguma HES rekonstrukcijai (Prochukhan, 1948).

Laika posmā no 1940. līdz 1950. gadam inženierģeoloģiskie pētījumi galvenokārt veltīti industriālās un civilās apbūves areālu inženierģeoloģiskajiem apstākļiem, bet retāk – tiltu pārvadu hidrotehnisko un ostu būvniecības vajadzībām. Tomēr šajā laikā iezīmējās vairāki svarīgākie inženierģeoloģiskās izpētes nozīmīgākie virzieni Latvijā: reģionālie pētījumi, konkrētu grunšu īpašību novērtēšana, pētījumu metožu attīstība un pilnveide, inženierģeoloģisko procesu novērtēšana un prognoze, kā arī latviešu valodas terminoloģijas attīstība šajā pētījumu jomā.

Reģionālo pētījumu aizsākumi jau pieminēti iepriekš, bet pēckara posmā kā pirmais izceļams A. Mutuļa veikums, kurš aizsākās ar 1950. gadā sastādīto atskaiti par Rēzeknes inženierģeoloģiskajiem apstākļiem, tai pievienojot pētītās teritorijas inženierģeoloģiskās rajonēšanas shēmu (Uļģis, 1983). Tajā pašā gadā A. Mutuļš sastādīja paskaidrojošo aprakstu Rīgas apbūves plānošanas projektam (Zobena, 1965), kam pievienoja 1:25 000 mēroga kartes, tai skaitā inženierģeoloģisko darbu veikšanas pārskata un inženierģeoloģiskās rajonēšanas kartes. Jāpiebilst, ka pēdējai autors pievienoja izdalīto inženierģeoloģisko rajonu un apakšrajonu raksturojuma pārskata tabulu un visu būvlaukumu sarakstu, kur veikta inženierģeoloģiskā izpēte. Šajā pētījumā, balstoties uz ģeomorfoloģiskām pazīmēm, A. Mutuļš Rīgas pilsētas teritorijā izdala četrus rajonus: a) seno kāpu rajonu; b) līdzenumu rajonus; c) deltas un piedeltas palieņu rajonus d) piekrastes kāpu rajonu. Savukārt rajonu robežās izdalīti apakšrajoni atkarībā no ģeoloģiskās uzbūves, bet tie – laukumos, atkarībā no kultūrslāņa biezuma un piekrastes kāpu rajonā pēc to pārveidošanas pakāpes vai nostiprinājuma. Vēlāk – 1953. gadā – A. Mutuļš sastāda pirmo Latvijas inženierģeoloģisko aprakstu, ar inženierģeoloģiskās rajonēšanas shēmu mērogā 1:1 000 000. Reģionālos pētījumus papildina 1954. gadā K. Papševas sastādītā atskaite par Ventas ielejas ģeoloģisko uzbūvi un inženierģeoloģiskajiem apstākļiem hidrotehniskās

būvniecības plānošanai. Tajā apvienoti maršrutveida inženierģeoloģiskās kartēšanas (mērogā 1:50 000) rezultāti posmam no Šerkšnes līdz Abavas ietekai un 8 profilu izpētes rezultāti. Savukārt, 1955. gadā E. Sprinģis un O. Varfolomejeva noslēdz pētījumu par Daugavas ielejas inženierģeoloģiskajiem apstākļiem un kartēšanas (mērogā 1:25 000) rezultātu apkopojumu posmam no Trepes līdz Lauces ietekai, bet 1959. gadā minētie autori raksturo Pļaviņu HES teritorijas inženierģeoloģiskos apstākļus un sastāda oriģinālu inženierģeoloģiskās rajonēšanas karti (Vetrennikov *et al.* 1976).

Kā visai nozīmīgi izceļami A. Zobenas pētījumi, sākot ar publikāciju par Latvijas inženierģeoloģiskās rajonēšanas principiem (Zobena, 1959). Divus gadus vēlāk izdevumam „Latvijas PSR ģeoloģija” sagatavota inženierģeoloģiskās rajonēšanas karte mērogā 1:1 000 000 un nodaļa „Inženierģeoloģiskie apstākļi” (Zobena, 1965). Bet 1964. gadā A. Zobena pabeidz darbu pie pārskata „Rīgas apkārtnes inženierģeoloģiskais raksturojums” (Zobena, 1964), kurā sniegta izvērsta informācija par teritorijas ģeoloģisko uzbūvi, grunšu fiziomehāniskajām īpašībām un piedāvāta teritorijas inženierģeoloģiskā rajonēšanas karte mērogā 1:100 000. Svarīgi atzīmēt, ka šajā pētījumā grunšu inženierģeoloģiskās īpašības raksturotas ar autores analizētiem, aptuveni 100 paraugu analīžu rezultātiem, kā arī citu organizāciju veikto darbu rezultātiem. Vienlaicīgi atzīstams, ka minētās analīzes veiktas vismaz sešās dažādās laboratorijās ar visai atšķirīgu precizitāti, un piedāvātais faktū materiāls aptver tikai aptuveni 20% no Latvijas teritorijas. Vēlāk, 1967. gadā A. Zobena un I. Dzilna (Dzilna, Zobene, 1967) šo karti papildina ar Latvijas pamatiežu un kvartāra nogulumu pamata formāciju raksturojumu un sniedz atsevišķu reģionu inženierģeoloģisko apstākļu aprakstu. Autores pēc tektoniskās uzbūves izdala divus reģionus: a) Latvijas – Lietuvas ielieces reģions un b) Baltijas vairoga dienvidu nogāzes un Baltkrievijas – Lietuvas masīva rietumu nogāzes reģions. Detalizētāks reģionu iedalījums apgabalos izstrādāts pēc ģeomorfoloģiskajām pazīmēm, savukārt apgabali sadalīti rajonos pēc kvartāra nogulumu ģeoloģiskās uzbūves īpatnībām. Minētā pieeja atspoguļo teritoriju izdalīšanas universālos principus atbilstoši tā laika normatīvajiem aktiem un tikai aptuveni raksturo konkrētās teritorijas inženierģeoloģiskos apstākļus. Tomēr citu principu ieviešanai trūkst nepieciešamā faktū materiāla un, sākot ar 1965. gadu, inženierģeoloģisko karšu sastādīšana iekļauta valsts ģeoloģiskās kartēšanas programmā, lai arī šajā laikā jau pabeigta inženierģeoloģiskā karte Rīgai un tās apkārtnē 1:50 000 mērogā. Šo nosacīti izdalīto pētījumu posmu noslēdz 1964. gadā I. Dzilnas sastādītā Latvijas inženierģeoloģiskā pārskata karte mērogā 1:2 500 000, kas papildināta ar paskaidrojošo tekstu (Dzilna, 1964). Kartē izdalīti reģioni un apgabali pēc ģeoloģiskajām

struktūrām un reljefa, bet paskaidrojošajā tekstā aprakstītas izdalītās vienības, kas papildinātas ar neliela skaita grunšu fizikālo un mehānisko īpašību analīžu rezultātiem. Tomēr karte ir sastādīta tradicionāli šim pētījuma periodam – pēc formāciju analīzes un nogulumu ģeoloģiski ģenētisko kompleksu principa.

Kopsavilkumu par Latvijā veiktajiem inženierģeoloģiskiem pētījumiem laika posmā līdz 1965. gada sākumam un plašu to analīzi sniedz A. Zobenas disertācija (Zobena, 1965). Minētajā darbā ir apkopoti un sistematizēti tajā laikā pieejamie inženierģeoloģiskās izpētes materiāli, izklāstītas Latvijas teritorijas galvenās inženierģeoloģisko apstākļu veidošanās un to izmaiņu likumsakarības par pamatu ņemot teritorijas tektonisko uzbūvi, reljefa veidojošos apstākļus un grunšu vielisko sastāvu, aprakstīti arī hidroģeoloģiskie apstākļi un mūsdienu ģeoloģiskie procesi. Apskatīts kvartāra nogulumu un pamatiežu stratigrāfiskais iedalījums, kas papildināts ar formāciju un litofaciālo analīzi. Būtiska sadaļa A. Zobenas pētījumā ir grunšu ģeoloģiski ģenētisko kompleksu inženierģeoloģisko īpašību raksturojums. Pētījumā ir aprakstīts katra kompleksa grunšu vieliskais sastāvs, fizikālo un mehānisko īpašību vidējās aritmētiskās, kā arī minimālās un maksimālās vērtības. Jāatzīmē, ka liela daļa no A. Zobenas apkopotajiem grunšu parametriem, ar nelielām izmaiņām, izmantoti vēlākajos reģionāla rakstura inženierģeoloģiskajos aprakstošajos darbos (Tratsevskaya, Vikhot', 1987, Tratsevskaya *et al.* 1983, Tratsevskaya, Klepatskaya, 1978).

Vēlāk, 1979. gadā L. Tracevska un V. Kļepatska izstrādā Latvijas inženierģeoloģisko karti (Tratsevskaya, Klepatskaya 1979) mērogā 1:500 000, kuras sagatavošanai apkopoti visi tajā laikā pieejamie inženierģeoloģisko pētījumu materiāli. Sagatavotās kartes sastādītas pēc ģeoloģiski ģenētisko kompleksu, pirmskvartāra nogulumu formāciju un inženierģeoloģisko iežu grupu un apakšgrupu principa. Kartē attēloti inženierģeoloģiskie apstākļi būvju aktīvās iedarbības zonā, t.i., līdz 10–15 m dziļumam. Savukārt, karšu paskaidrojošajā tekstā pirmo reizi sniegti grunšu sastāva un īpašību statistiskās analīzes rezultāti, ņemot vērā grunšu veidojošo iežu ģeoloģisko vecumu, ģenēzi un petrogrāfisko sastāvu. Kartes sagatavošanai izmantoti grunšu analītisko pētījumu rezultāti, kas kopā aptver 5362 paraugus, kuros noteikti 10-12 parametri, tajā skaitā saistīgās gruntis raksturo 2937 paraugi, īpaša sastāva gruntis – 68, smilšainās gruntis – 1863, klinšainās un pusklinšainās – 494. Šajā pētījumā kvartāra un pirmskvartāra grunšu īpašību apkopošana realizēta, sadalot izlasēs pa litoloģiski petrogrāfiskajiem tipiem raksturīgajos ģeomorfoloģiskajos apgabalos, bet grunšu īpašību un sastāva mainība analizēta gan griezumā, gan plānā raksturīgo ģeomorfoloģisko apgabalu ietvaros nodalot

atšķirīgu ģenētisko tipu veidojumus. Minētajā pētījumā grunšu īpašības pirmo reizi raksturotas ne tikai pēc laboratorijas analīžu, bet arī *in situ* penetrācijas - karotāžas testu rezultātiem astoņos profilos (Barkava, Rīga, Jūrmala, Ventspils, Pampāļi, Jelgava, Liepāja – Priekule). Pirmo reizi visai Latvijas teritorijai sastādīta specializēta inženierģeoloģiskās rajonēšanas karte, kur īpaši izdalītas teritorijas, kas būtu piemērotas poligonu izveidei sadzīves atkritumu glabāšanai. Pētījumā pirmo reizi veikta arī korekta salīdzinoša mālaino grunšu fizikālo īpašību statistiskā analīze ģeomorfoloģisko apgabalu ietvaros, kā arī veikta teritorijas kompleksa inženierģeoloģisko apstākļu novērtēšana ar mērķi veikt teritorijas rajonēšanu pēc grunšu piemērotības būvniecībai (Tratsevskaya, Klepatskaya 1979).

Turpmākajos gados Kompleksā ģeoloģiskās izpētes ekspedīcija vairākos posmos veica pētījumus plānotajai metro būvniecībai Rīgā (Tratsevskaya, Vikhot', 1987, Tratsevskaya *et al.* 1983, Tratsevskaya, Klepatskaya, 1978). Šo darbu rezultātā uzkrāts bagātīgs pētījumu materiāls par pilsētas ģeoloģisko uzbūvi, hidroģeoloģiskajiem un inženierģeoloģiskajiem apstākļiem līdz 60–80 metru dziļumam no zemes virsmas. Šo salīdzinoši augstas detalizācijas darbu ietvaros veikti apjomīgi lauka un laboratorijas pētījumi, kā rezultātā daudzos paraugos noteiktas kvartāra nogulumu un pirmskvartāra iežu fizikālās un mehāniskās īpašības un sastāvs. Atzīmējams, ka grunšu elastības mehāniskās īpašības noteiktas ar statiskām un dinamiskām metodēm, tajā skaitā izmantojot seismoakustisko profilēšanu.

Visai atšķirīga pieeja ir institūtā „Latgiprogorstroj” sagatavoto kompleksas teritoriālas dabas aizsardzības (TerkSOP) shēmu sagatavošanai Rīgai 1987. gadā un vēlāk, 1988. gadā, visai Latvijas teritorijai (Tratsevskaya, Venska, 1992). Šajās shēmās ir iekļauta informācija par teritorijas nodrošinājumu ar minerālajiem resursiem un pazemes ūdeņiem un par hidroģeoloģiskajiem un inženierģeoloģiskajiem apstākļiem. Īpaša uzmanība veltīta mūsdienu eksogēnajiem ģeoloģiskajiem un inženierģeoloģiskajiem procesiem, kuru izpausme nodara ievērojamus zaudējumus tautsaimniecībai. Jauninājums ir arī Latvijas teritorijas sadalījums pēc tehnogēnās slodzes trīs grupās (stipra, vidēja, vāja). Vēlāk, 1990. gadā L. Tracevskas vadībā pabeigta Rīgas un tās apkārtnes inženierģeoloģiskā kartēšana 50 km rādiusā mērogā 1:200 000 ar mērķi raksturot minētās teritorijas inženierģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos apstākļus pazemes būvniecības plānošanai līdz 200 m dziļumam (Tratsevskaya, 1990). Šajā kartē izdalīti klinšaino iežu kompleksi, kas piemēroti pazemes būvniecībai, kā arī raksturoti šo iežus pārklājošie nogulumi. Pētījumu papildina pazemes būvniecības apstākļu rajonēšanas shēma, kas sastādīta mērogā 1:500 000. Šajā shēmā izdalīti trīs tipu klinšaino iežu izplatības areāli: piemēroti, mazāk piemēroti un nepiemēroti

pazemes būvniecībai. Minēto darbu papildina 1992. gadā L. Tracevskas un V. Venskas sastādītā Latvijas inženierģeoloģiskā karte mērogā 1:500 000 teritorijas tehnogēnās noslodzes karte mērogā 1:1 000 000. Jāpiebilst, ka kopš 1992. gada Latvijā šādi plaši reģionāli pārskata darbi vairs netiek izstrādāti un pētījumi galvenokārt ir daudz šaurāk orientēti visai ierobežotās teritorijās.

Valsts ģeoloģiskās kartēšanas rezultātā ievākts ļoti bagātīgs faktisko datu materiāls, kas apkopots un ierobežoti papildināts V. Venskas (1974), L. Tracevskas, V. Kļepatskas (1979) un L. Tracevskas, V. Venskas (1992) pārskata pētījumos. Minēto reģionālo pārskata pētījumu rezultātā izstrādātas arī vairākas apjomīgas disertācijas, kas veltītas Latvijas inženierģeoloģiskajiem apstākļiem un to rajonēšanas problēmām. Viena no tām ir O. Varfolomejevas disertācija (Varfolomejeva, 1963) par mūsdienu ģeoloģiskajiem procesiem, kurā īpaši akcentēti karbonātiskā karsta procesu pētījumi. Savukārt 1965. gadā A. Zobena izstrādāja līdz šim visplašāko zinātnisko pētījumu par Latvijas inženierģeoloģiskajiem apstākļiem – tā ir labi zināmā disertācija „Inženierģeoloģiskā kharakteristika teritorijai Latvijai SSR”, kura papildināta ar shematisko inženierģeoloģiskās rajonēšanas karti mērogā 1:500 000 (Zobena, 1965).

Atzīmējama arī 1982. gadā, L. Turkinas disertācija (Turkina, 1982), kur analizēti Rīgas teritorijas inženierģeoloģiskie apstākļi, sniedzot vājo grunšu raksturojumu un apkopojot būvniecības pieredzi uz šādām gruntīm; svarīgs turpmākajiem pētījumiem ir disertācijas papildinājums ar Rīgas inženierģeoloģisko apstākļu karti mērogā 1:20 000.

1.1.1. Grunšu īpašību novērtēšana

Atsevišķu grunšu īpašību pētījumi Latvijā iesākti 20. gs. 30. gados (Bambergis *et al.* 1947), un tie turpināti un daudz plašāk izvērsti pēc Otrā pasaules kara. Starp tradicionālās ievirzes pētījumiem izceļami vairāki, piemēram, 1954.gadā O. Varfolomejevas, P. Žvagina, J. Klišana un A. Mutuļa pētījums (Kasyanov, 1966) par vājo, organominerālo grunšu nostiprināšanas iespējām, iestrādājot tajās smilšu pāļus ar vibrācijas metodi. Attīstoties industriālo un civilo ēku un ostu būvniecībai Rīgā un Ventspilī, kur vājas, organominerālas grūtis ir visai izplatītas, nepieciešams realizēt dārgus pamatu nostiprināšanas paņēmienus, veicot šo grunšu meliorāciju. Minētais rosināja Latvijas Zinātņu akadēmijas Ģeoloģijas un derīgo izrakteņu institūta laboratorijā veikt plašus

eksperimentālus grunšu pētījumus Latvijas ZA daļā, kā rezultātā 1956. gadā publicēts V. Staprena, P. Žvagina, J. Klišana un O. Varfolomejevas kopsavilkums par iegūtajiem rezultātiem, kas galvenokārt veltīts organominerālo grunšu nostiprināšanas termo- un elektroapstrādes paņēmieniem (Staprens *et al.* 1956). Svarīgi ir arī vēlāk publicētie pētījumi, piemēram, V. Staprēna apjomīgs darbs „Kapilāri saistītā mitruma migrācija aerācijas zonā” un E. Sprinģa raksts „Hidrotehniskās būvniecības apstākļi Daugavas ielejā” (Zobena, 1965).

Latvijas inženierģeoloģiskā karte 1:500 000 mērogā izstrādāta 1979. gadā L. Tracevskas un V. Kļepatskas vadībā, apkopojot visus tolaik pieejamos inženierģeoloģiskās izpētes materiālus. Minētajā darbā pirmo reizi grunšu īpašības raksturotas ne tikai pēc laboratorijas analīžu, bet arī *in-situ*, penetrācijas - karotāžas testu rezultātiem pa 8 profiliem, un iegūtie testu rezultāti ļāva konstatēt šādas korelatīvās saiknes starp grunšu fizikālajām un mehāniskajām īpašībām: 1) dabisko mitrumu un kopējo deformācijas moduli; 2) dabisko mitrumu un iekšējās berzes koeficientu 3) saisti, iekšējās berzes leņķi un konusa iespiešanas pretestību; 4) dabisko gamma aktivitāti un māla daļiņu saturu (Tratsevskaya, Klepatskaya, 1979).

1.1.2. Grunšu pētījumu metožu attīstība

Līdz 20. gs. 70. gadiem Latvijā veikti dažādas detalitātes lietišķi inženierģeoloģiskās izpētes darbi gan kā reģionāli (kartēšanas), gan atsevišķu būvju pamatu projektēšanai, taču *in situ* metodes izmantotas reti (Tratsevskaya, Klepatskaya, 1979).

Institūts „Latgiprogorstroj” veica penetrācijas – karotāžas mērījumus Rīgas teritorijā jau kopš 1975. gada, kad paralēli konusa iespiešanas pretestības mērījumiem veikta urbšana un iegūto monolītu laboratoriskās analīzes un pārbaudes. Tos papildina laika posmā no 1976. līdz 1977. gadam institūta „VSEGINGEO” Penetrācijas karotāžas nodaļas pētījumi - pirmo reizi Latvijā uzsākts metodiski pamatots eksperimentāls pētījums, kura ietvaros veikti konusa iespiešanas pretestības mērījumi izplatītākajās kvartāra gruntīs. Pēc šo darbu veikšanas secināts, ka penetrācijas, karotāžas metode ir efektīva vājo, lielākās daļas smilšaino grunšu un glaciolimnisko mālu stiprības novērtēšanai. Taču marīnās smilšainās un glaciģenajās gruntīs to paaugstinātā blīvuma dēļ šī metode atzīta par

neefektīvu, jo mērījumu dziļums sasniedza tikai dažus metrus (Tratsevskaya, Klepatskaya 1979).

Citi penetrācijas karotāžas mērījumi, kas veikti ar mobilu eksperimentālu iekārtu, ar kuru iespējams noteikt konusa iespiešanas pretestību, nosacīto iespiešanas berzi, dabīgo gamma aktivitāti, blīvumu un tilpuma mitrumu, realizēti nedaudz vēlāk (Tracevskaya, Venska, 1992). Šajos pētījumos pavisam veikti mērījumi 52 punktos ar vidējo dziļumu 30 m, paralēli veicot ģeoloģisko urbšanu, kas kopā sasniedza 1283 m. No veikto mērījumu rezultātiem aprēķināti vairāki grunts parametri: porainība, skeleta blīvums, ūdens piesātinātība, deformācijas modulis, iekšējās berzes leņķis un saiste. Minētie pētījumi veikti, lai iegūtu raksturīgās konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtības dažādos nogulumu ģenētiskajos tipos ar minēto iekārtu un noskaidrotu iespējamās korelatīvās saiknes starp iespiešanas pretestības mērījumiem un laboratorijas testu rezultātiem. Kā viena no šādām sakarībām, ir iegūtā saikne starp mālaino grunšu konusa iespiešanas pretestību un konsistenci. Konstatēja, ka glaciolimniskajos nogulumos vērojama empīriskā lineāra atkarība starp iespiešanas pretestību un iekšējās berzes leņķi un saisti, bet glaciģēnajos nogulumos šādas atkarības netika novērotas (Tracevskaya, Venska, 1992). Oļu un laukakmeņu saturs glaciģēnajos nogulumos pētījumā īpaši akcentēts kā viens no statistiskās zondēšanas rezultātus ietekmējošajiem faktoriem, jo tā ietekmē maksimālais zondēšanas dziļums minētajos nogulumos sasniedzis 15 m, bet vidēji 2–6 m (Tratsevskaya, Klepatskaya, 1979). Tika noteiktas vidējās konusa iespiešanas pretestības vērtības smilšmāla morēnās, kas ir 3–4 MPa (1,747,2 MPa) robežās, no tām visaugstākās vērtības novērotas Viduslatvijas zemienē – 10–12 MPa, ko autori saista ne tikai ar šo nogulumu konsistenci, bet arī ar paaugstinātu rupjo frakciju saturu. Teritorijas ar izteikti minimālām konusa iespiešanas pretestības vērtībām šajā pētījumā netika konstatētas.

Zināms (Paquet, Clauer, 1997), ka nogulumu un iežu dabīgā gamma aktivitāte bieži saistīta ar māla daļiņu saturu. Pagājušā gadsimta 70. gados (Tracevskaya, Venska, 1992) veikts detalizēts empīrisks pētījums ar mērķi noskaidrot, ar kādu precizitāti var noteikt māla daļiņu saturu pēc gamma aktivitātes mērījumu rezultātiem Latvijas mālainajās gruntīs. Veiktā pētījuma rezultāti apliecināja, ka konstatējama empīriskā lineāra atkarība starp māla daļiņu saturu un gamma aktivitāti, ja māla daļiņu saturs salīdzināmajā paraugā pārsniedz 50% (Tracevskaya, Venska, 1992). Visciešākā saikne novērota mālainajos jūras nogulumos un glaciolimniskajos nogulumos, kur korelācijas koeficienti ir tikuši novērtēti attiecīgi 0,68 un 0,92.

Ekspērimētālajā pētījumā (Sharibrov, 1978), kas veikts Zaķusalas televīzijas torņa būvlaukumā, novērtējot smilšaino nogulumu noblīvētību pēc statistiskās zondēšanas rezultātiem un salīdzinot tos ar laboratorijā iegūtajiem kompresijas testu rezultātiem, secināts, ka pirmie sniedz ticamāku informāciju.

Izceļami 1983. gadā sāktie kvartāra nogulumu un grunšu pētījumi Rīgas Civilās aviācijas inženieru institūtā prof. M. Finkelšteina vadībā, izmantojot radiolokācijas metodi. Ekspērimētāli pētījumi realizēti Ģeoloģijas pārvaldes Kompleksās ģeoloģiskās ekspedīcijas Kūdras partijā 1985.–1987. gadā, un noslēguma ziņojumā (Sichov *et al.* 1987) empīriski noteica nogulumu un grunšu atstaroto signālu tiešo atkarību no mitruma, kā arī no mitrumu veidojošā ūdens mineralizācijas (elektrovadītspējas). Norādītas arī citas empīriskas atkarības starp pētīto nogulumu (galvenokārt kūdras un tās substrāta, arī glaciģēno nogulumu) blīvumu, mitrumu, granulometriskā sastāva rādītājiem (Sichov *et al.* 1987).

Nozīmīga daļa no Latvijā veiktajiem specializētajiem un reģionālajiem inženierģeoloģiskajiem pētījumiem īstenoti Baltijas jūras akvatorijā – tos veica Vissavienības jūras ģeoloģijas un ģeofizikas institūta (VNIIMORGEО) laboratorija, kuru 1991. gadā pārveidoja par Zinātniski pētniecisko centru „UNICONE SIA”. Atzīmējami arī tie inženierģeoloģiskie pētījumi, kas realizēti plašāku reģionālo ģeoloģisko pētījumu programmu ietvaros. Tā, piemēram, sekmīgi realizēts Baltijas jūras dienvidu daļas kvartāra nogulumu inženierģeoloģiskais iedalījums (Gol'dfarb, 1990), kā arī jūras grunšu fizikālo īpašību pētījumi (Fedotova, 1991).

Kopš 1992. gada iznāk Zinātniski–pētnieciskā centra „UNICONE SIA” žurnāls, rakstu krājums „Unicone proceedings. Geotechnics and Ecology” (Dzilna, 1992), kur apskatīti dažādu, pamatā ģeotehnisko pētījumu rezultāti, kā arī tajā laikā pieejamās jaunākās pētījumu metodes un iekārtas. Lielākā daļa no tiem apskata ģeotehniskos pētījumus jūrā. Vienlaicīgi izceļama arī publikāciju sadaļa, kas veltīta speciālās terminoloģijas attīstībai Latvijā. Kopumā jāatzīmē, ka šajā jaunākajā pētījumu posmā valstī veikts liels skaits komerciālo pētījumu, kuros īpaša uzmanība pievērsta ekspērimētālajai grunti īpašību un to maiņu noteikšanai, kuru rezultātus nēpublicēja, turklāt tie publiski nav pieejami, jo uz vairākiem no tiem piemērots noteikta gadu skaita liegums tos iepazīt. Zināmu priekšstatu par šī posma pētījumiem sniedz ikgadējo Baltijas ģeotehniķu savienības konferenču materiāli.

Rezumējot iepriekš izklāstīto inženierģeoloģisko pētījumu vēstures pārskatu Latvijā, jāatzīmē šādi darba izstrādei nozīmīgākie aspekti :

Sistemātiski grunšu, tai skaitā glacigēno, ģeotehnisko īpašību pētījumi veikti no 20. gs. 50.–80. gadiem, galvenokārt papildinot ģeoloģiskās kartēšanas pētījumus. Turklāt apjomīgi grunšu pētījumi veikti atsevišķu, lielu inženiertehnisko būvju vajadzībām. Šo pētījumu rezultāti ietverti pārskatos. Ievērojama daļa no grunšu analīzēm veiktas pēc vienotas metodikas centralizētās laboratorijās, kas norāda, ka šo analīžu rezultāti var būt savstarpēji salīdzināmi. Diemžēl pētījumu veikšanas apstākļi bieži vien nav fiksēti vai arī to kvalitāte neatbilst mūsdienu prasībām, kas nosaka, ka to lietojums mūsdienās ir ierobežots un noderīgs tikai plašākiem vispārīgajiem un orientējošajiem grunšu īpašību novērtēšanai. Jāpiebilst, ka šo pētījumu sākotnējie rezultāti jau apkopoti A. Zobenā disertācijā (Zobena, 1965) un turpmāk ļoti fragmentāri pieminēti tikai I. Danilāna monogrāfijā (Danilans, 1973). Savukārt specializēti grunšu īpašību pētījumi veikti ierobežotā skaitā un vēl mazāk datu ir pieejams publikācijās. Jo īpaši tas attiecināms uz pēdējiem 20. gadiem, kuru gaitā inženierģeoloģiskie pētījumi realizēti atsevišķos būvobjektos; pamatā tie ir komerciāli pētījumi un to rezultāti nav publiski pieejami.

Minētie aspekti noteica, ka disertācijā izmantojami tikai līdz 20. gs. 80. gadiem veikto analīžu rezultāti un tikai orientējošajiem glacigēno grunšu īpašību novērtēšanai. Turklāt detalizētu grunšu pētījumu trūkums norāda uz nepieciešamību tāda veida pētījumu veikt disertācijas ietvaros, paredzot tos attīstīt turpmākajos gados.

1.2. Glacigēnie nogulumi un gruntis – klasifikācija un pieņemtā terminoloģija

Morēnas nogulumi ir vairāku Zemes zinātņu – kā kvartārģeoloģijas, glaciālās ģeoloģijas, augsnes zinātnes, inženierģeoloģijas – un citu zinātņu pētījumu priekšmets (Legget, 1980). No visiem nogulumu ģenētiskajiem tipiem tieši glacigēnie ir visdaudzveidīgākie un tiem līdz mūsdienām joprojām nav vienotas definīcijas un terminoloģijas (Menzies *et al.* 2006; Āboltniņš, Dreimanis, 1995), turklāt nav vienota viedokļa arī par izdalīto morēnas tipu diagnosticēšanas pazīmēm (Krüger, Kjær, 1999). Disertācijā glacigēnās gruntis apskatītas kā morēnas nogulumi (diamiktions), sekojot A. Dreimaņa vadītās INQUA komisijas C–2 morēnas darba grupas (2–A) izstrādātajai definīcijai „Morēna ir atlūzu materiāls, ko transportējis un pēc tam izgulsnējis ledājs tā

pamatnē vai atlūzu materiālam izkūstot no ledus, bet kušanas ūdeņi nogulumus nav vai tikai nedaudz šķirojuši” (Dreimanis, 1988, 34 lpp.). Pētījumam izvēlēta vizuāli homogēnā sablīvējuma morēna uz lauka noteikta vadoties pēc iepriekšminētajā darbā (Dreimanis, 1988) aprakstītajām identificēšanas pazīmēm.

Inženierģeoloģijā un ģeotehnikā nogulumi un nogulas apskatītas kā gruntis ar atšķirīgu sastāvu un īpašībām un klasificēšanas pamatkritērijs ir to granulometriskais sastāvs (Terzaghi *et al* 1996). Zinātniskajos pētījumos pasaulē plaši izmantotas vairākas grunšu klasifikācijas sistēmas, ko vispārinot var iedalīt divās lielās grupās – universālās un specifiskās grunšu klasifikācijas (Dundulis, 1997; Terzaghi *et al.* 1996; Classification..., 1985; Standard..., 2004; Eswaran *et al.* 2003). Jāpiebilst, ka nav vienas universālas izmantoto klasifikāciju grupēšanas pazīmes, turklāt arī pašas klasifikācijas atsevišķos reģionos un valstīs vēsturiski veidotas visai atšķirīgi, aptverot konkrētajam reģionam raksturīgās gruntis, pieņemto grunšu sastāva un īpašību noteikšanas specifiku. Jāņem vērā, ka atšķirīgi ir arī paši grunšu klasificēšanas principi, kurus nosacīti (Dundulis, 1997) var iedalīt trīs grupās: ģenētiskās klasifikācijas, klasifikācijas pēc granulometriskā sastāva un būvniecības vajadzībām. Principiālas atšķirības pastāv starp Krievijas un Britu ģeoloģijas skolu izstrādātajām grunšu klasifikācijām. Vispirms atšķiras grunts definīcijas: ja Krievijas skolā par gruntīm uzskatīti (Lomtadze, 1984) visi dabiski veidoti Zemes garozas ārējās daļas ieži un nogulumi, kā arī mākslīgās gruntis, tad Britu skolā (Casagrande, 1948; Code..., 1999; Classification..., 1985) iežus (klintis) pie gruntīm nepieskaita. Turklāt tikai bijušajā PSRS par grunšu klasifikācijas papildu kritēriju izmantoja to ģenēzi (Sergeyev, 1971; Grunty..., 1982). Katra no minētajām klasifikācijām, lai arī veidota, par pamatu ņemot granulometrisko sastāvu, dalījumu grunšu klasēs veido atšķirīgi. Pasaulē izplatītāko grunšu klasifikāciju salīdzinājumu izstrādājis K. Dundulis (1997) un pēdējo desmit gadu laikā nozīmīgu panākumu klasifikāciju unificēšanā joprojām nav (Thomas, 2006).

Iepriekšminētais norāda, ka dažādajās klasifikācijās glacigēnās gruntis (morēna) aptver dažādus grunts tipus. Jāņem arī vērā, ka grunšu klasificēšanas pamatā ir to granulometriskais sastāvs un vēsturiski dalījums pa frakcijām (raksturīgās analizējamās frakcijas un to proporcijas vai no tiem aprēķinātie lielumi) dažādās valstīs ir visai atšķirīgs (Dundulis, 1997). Īpaša uzmanība morēnas grunšu klasificēšanai pievērsta Zviedrijā (Dundulis, 1997; Karlson, Hansbo, 1989), kur tās grupētas gan pēc granulometriskā sastāva (6 tipos), gan pēc ģeotehniskajām īpašībām.

Dažādās klasifikācijās pastāv atšķirīgs dalījums galvenajās grunšu grupās. Ja ASV, Lielbritānijas un Krievijas standartos tās iedala divās grupās: rupjās un smalkās gruntis,

tad, pēc Vācijas, Zviedrijas un Lietuvas standartiem, ir trīs grupas: rupjās, smalkās un jaukta sastāva grunts, turklāt atšķiras arī granulometrisko frakciju relatīvās attiecības grunts grupu izdalīšanai. Lietuvā 120 morēnas paraugi, kam noteikts granulometriskais sastāvs un plasticitāte, klasificēti pēc dažādu valstu klasifikācijām un veikts iegūto grunts nosaukumu salīdzinājums (Dundulis, Gadeikis 2002), kas aplūkojams 1.1. tabulā. Līdzīgi veikts Lielbritānijas morēnas grunšu salīdzinājums (Clarke *et al.* 1997).

1.1. tabula. Lietuvas morēnas grunšu nosaukumi (% no kopējā paraugu skaita) pēc dažādu valstu klasifikācijām (pēc Dundulis, Gadeikis 2002)

Table 1.1. Names of Lithuanian till soil (in % from common number of samples) in classifications of different countries (after Dundulis, Gadeikis, 2002)

Grunts nosaukums	Valstis				
	ASV	Lielbritānija	Vācija	Zviedrija	Lietuva
Mālaina smilts	35	3	-	-	1
Smilts un putekļu maisījums	-	-	17	13	-
Smilšains māls	-	90	-	-	46
Smilšains putekļains māls	-	-	-	-	52
Putekļains māls	-	-	-	74	1
Māls	65	7	83	23	-

Tabulā (1.1. tabula) redzams, ka praktiski nav divu klasifikāciju, kur morēnas atbilstu vienai grupai. Tas nozīmē, ka īpaša uzmanība pievēršama, salīdzinot dažādās valstīs veikto morēnu inženierģeoloģisko pētījumu rezultātus.

Kopumā pētījumu jomas **terminoloģijas attīstība latviešu valodā** ievērojami kavējas pat attiecībā pret kaimiņu valstīs paveikto, tomēr jau 1999. gadā iznācis Zinātniski-pētnieciskā centra SIA UNICONE rakstu krājums „Unicone proceedings. Geotechnics and Ecology”, kurā iztirzāti dažādi ģeotehniska satura pētījumi un ar nozares terminoloģiju saistīti jautājumi; izdevuma pielikumā publicēta arī īsa ģeotehnisko terminu vārdnīca latviešu, angļu un krievu valodā (Dzilna *et al.* 1999). Ar ģeotehnisko terminu izstrādi nodarbojas arī Ģeotehniķu savienība un LZA Terminoloģijas komisija. Izstrādājot disertāciju, autors vadījies pēc minētajā vārdnīcā (Dzilna *et al.* 1999) apkopotajiem terminiem.

1.3. Glacigēno grunšu ģeotehniskās īpašības

Inženierģeoloģijā un ģeotehnikā pētījumos lietots plašs grunšu īpašību spektrs, ko iedala vairākās īpašību grupās (Terzaghi *et al.* 1996; Mitchel, Soga, 2005), tas ir, identifikācijas un mehāniskās īpašības. Ar identifikācijas īpašībām parasti raksturo grunšu granulometrisko, mineraloģisko, ķīmisko sastāvu un tādas fizikālās īpašības, kā blīvumu, mitrumu, konsistenci (mālainajām gruntīm) un mehāniskās īpašības, kā deformācija, ko raksturo deformācijas modulis, un stiprība, ko raksturo iekšējās berzes leņķis un saiste.

Starp visiem dabā sastopamajiem grunšu ģenētiskajiem tipiem tieši glacigēnās raksturo liela sastāva un īpašību daudzveidība (Boulton, Paul, 1976). Glacigēno grunšu raksturošanai Baltijas teritorijā izmantoti šo grunšu pētījumu apkopojumi Latvijā un Lietuvā (1.2. tabula). Apkopojums veidots uz iepriekšējos gados veikto ģeoloģiskās kartēšanas datu bāzes, ņemot vērā, ka tolaik pastāvēja vienota grunšu analizēšanas metodika un vienotas prasības pret analīžu kvalitāti, apliecinot, ka rezultātus salīdzināt ir korekti.

1.2. tabula. Glacigēno grunšu fizikālās īpašības Baltijas valstīs

Table 1.2. Physical properties of glacigenic soils in the Baltic States

Parametrs	Latvija	Piezīmes	Lietuva	Piezīmes
W, %	13,1	Pēc autora sastādītās datu bāzes (n=664)	13,2	Pēc (Alikonis <i>et al.</i> 1995) datiem n=400
	6,0–33,9		4,3–23,2	
ρ , g/cm ³	2,09		2,22	
	1,65–2,30		1,97–2,44	
ρ_d , g/cm ³	1,87		1,96	
	1,40–2,13		1,75–2,23	
n, %	29,90		27,6	
	20,50–41,80		14,7–35,0	
e	0,431	0,37		
	0,258–0,719	0,17–0,66		

1.2. tabulas turpinājums
Continuation of Table 1.2.

Parametrs	Latvija	Piezīmes	Lietuva	Piezīmes
Wp, %	12,5		13	Pēc (Alikonis <i>et al.</i> 1995) datiem n=200
	9,6–30,4		10–17	
Wl, %	20,2		20,5	
	12,7–54,1		15–29	
Ip	7,7		7,5	
	2,9–27,9		2–12	
Piezīmes	<div style="text-align: center;"> vidējais _____ min – max </div>			

Pētījumos par morēnu veidošanos, kas veikti 20. gadsimta 70. gados, īpaša uzmanība pievērsta šo nogulumu inženierģeoloģiskajām īpašībām un to savstarpējām atkarībām (Kagan, Solodukhin, 1971; Boulton, 1978). Tajos raksturotas morēnas nogulumu sastāva un īpašību izmaiņu likumsakarības gan teritorijā, gan griezumā, kā arī mēģināts rast morēnas sastāva un īpašību sakarības ar tās veidošanās apstākļiem.

Vēlāk, 20. gs. 80. gados, veikts salīdzinoši maz specializētu glaciģēno grunšu inženierģeoloģisko pētījumu, starp kuriem būtu minami (Sladen, Wrigley, 1983; Atkinson, Little, 1988) pētījumi par glaciģēno grunšu ģeotehnisko īpašību pētījumu specifiku. Savukārt 20. gs. 90. gados glaciģēno grunšu pētīšanai pievērsta lielāka uzmanība, kā sakarā jāmin vairāki Klarka (*Clarke*) un kolēģu pētījumi (Robertson *et al.* 1995; Clarke *et al.* 1997; Hughes *et al.* 1998), kas apskata gan morēnu ģeotehnisko īpašību sadalījuma reģionālās likumsakarības, gan šo grunšu pētīšanas metodiskos aspektus.

Pēdējos gados, attīstoties pētījumu metodēm, ir iespējams veikt dažāda mēroga un detalitātes glaciģēno grunšu pētījumus, izmantojot to ģeotehniskās īpašības, kas noteiktas gan *in situ*, gan laboratorijā, lai veiktu ledāja darbības un tā nogulumu veidošanās interpretācijas (Hart, Rose; 2001; Christoffersen, 2003; Clarke, 2005).

Pēc sava sastāva un īpašībām glaciģēnie nogulumi ir ļoti mainīgi teritorijā un griezumā, un to nosaka gan veidošanās apstākļu neviendabība, pārvietotā un izgulsnētā materiāla atšķirīgs granulometriskais sastāvs, gan arī nozīmīgas īpašību izmaiņas pēcsedimentācijas procesu gaitā (Ehlers 1996; Dreimanis 1980, 1988; Elson 1961). Īpašību atšķirības ir konstatējamās nogulumus veidojošo individuālo graudiņu sastāvā un telpiskajā

orientācijā līdz plašām ledāja nogulumu veidotām struktūrām ar tām raksturīgām deformācijām.

Objektīvi nav iespējams konstatēt un pārbaudīt visu vai pat vairākumu no tām fizikālām īpašībām, kuras pētītas līdz šim, kā arī viennozīmīgi nodalīt tās īpašības, kuras varētu viennozīmīgi atzīt par raksturīgām, tipiskām vai indikatīvām. Iepriekš veiktie eksperimentālie pētījumi (Karpovičs, 2008^a) apliecināja, ka par šādiem mērāmiem parametriem var tikt izmantoti nogulumu dabiskais mitrums un konusa iespiešanas pretestība. Tās ir visai atšķirīgas īpašības, kuras nosaka nogulumu granulometriskais sastāvs (Boulton, Paul, 1976), bet mērītas visai atšķirīgi – tā konusa iespiešanas pretestību nosaka, mehāniski deformējot paraugu, savukārt dabisko mitrumu nosaka, mērot vielas elektrovadītspēju. Tādējādi ar savstarpēji nesaistītām pētījumu metodēm iegūtie empīriskie rezultāti ir objektīvāki attiecībā pret izzināmām likumsakarībām. Svarīgi, ka ir pieejami kalibrēti mērinstrumenti šo īpašību mērīšanai lauka apstākļos.

1.4. Sakarības starp glacigēno grunšu sastāvu, fizikālajām un mehāniskajām īpašībām

Glacigēno grunšu īpašības un to savstarpējās atkarības pēdējos 60. gados pētītas dažādos aspektos – gan īpašību vērtību sadalījums teritorijā un griezumā, gan to savstarpējās korelatīvās saiknes (Kagan, Solodukhin, 1971, Terzaghi *et al.* 1996; Mitchel, Soga, 2005). Viens no šādu pētījumiem mērķiem ir noskaidrot dažādu grunšu, tai skaitā glacigēno, īpašību sadalījuma atkarību no reljefa formām. Tas veikts Lietuvā (Alikonis *et al.* 1995), konstatējot, ka glacigēno grunšu granulometriskā sastāva un fizikālo īpašību vērtību īpašību rādītāju vidējās vērtības starp zemienēm un augstienēm ir līdzīgas (1.3. tabula), turklāt šo parametru vidējie rādītāji Lietuvas teritorijā ir nedaudz mainīgi, turklāt šis grunšu tips ir salīdzinoši homogēns. Autori vēl piebilst, ka nav konstatētas arī korelatīvas saiknes starp mehānisko īpašību raksturlielumiem un to piederību kādai no reljefa formām.

1.3. tabula. Glacigēno grunšu granulometriskā sastāva un fizikālo īpašību vērtības Lietuvas augstienēs un zemienēs (pēc Alikonis *et al.* 1995)

Table 1.3. Glacigenic soil grain size composition and physical property values in highlands and lowlands of Lithuania (after Alikonis *et al.* 1995)

Parametri	Augstienes			Zemienes		
	Vidējais	min	max	Vidējais	min	max
W _p , %	13	11	17	13	10	16
W _l , %	20	16	29	21	15	26
I _p , %	7	5	12	8	2	12
Frakcijas 2–0,05 mm saturs, %	48	31	59	48	32	71
Frakcijas <0,05 mm saturs, %	20	13	38	21	8	30
G _s , g/cm ³	2,71	2,69	2,74	2,71	2,68	2,74

Minētajā pētījumā (Alikonis *et al.* 1995) secināts, ka, neskatoties uz glacigēno grunšu augsto blīvumu, zemo mitrumu un grunts graudiņu stipro cementējumu, kas būtiski ietekmē grunšu mehāniskās īpašības, korelatīvās saiknes starp tām nav konstatētas. Līdzīgas sakarības novērotas arī Latvijā (1.4. tabula), izvērtējot ģeoloģiskās kartēšanas datus (Tracevskaya, Venska, 1992). Lai gan absolūtajās vērtībās tie ir atšķirīgi, tomēr saglabājas sakarība, t.i., nav būtisku atšķirību starp glacigēno grunšu granulometriskā sastāva un fizikālo īpašību vērtībām zemienēs un augstienēs. Salīdzinot arī mehānisko īpašību vidējos rādītājus, secināts, ka iekšējā berzes leņķa (φ°) vērtības būtiski neatšķiras (1.4. tabula). Tomēr veiktie statistiskās zondēšanas mērījumi apliecina, ka statistiskās zondēšanas konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtības morēnas smilšmālam vidēji ir 3–4 MPa, savukārt Viduslatvijas zemienē – 10–12 MPa (Tracevskaya, Venska, 1992). Pētījuma autori min, ka paaugstinātās q_c vērtības saistītas gan ar konsistenci, gan paaugstināto rupjās frakcijas saturu.

1.4. tabula. Glacigēno grunšu granulomertriskā sastāva, fizikālo un mehānisko īpašību vidējās vērtības Latvijas augstienēs un zemienēs (pēc Tracevskaya, Venska, 1992)
 Table 1.4. Glacigenic soil grain size composition, physical and mechanical property values in highlands and lowlands of Latvia (after Tracevskaya, Venska, 1992)

Parametri		Augstienes		Zemienes	
		Smilšmāls	Mālsmilts	Smilšmāls	Mālsmilts
Granulometrisko frakciju saturs %	> 2 mm	4,0	5,3	4,9	5,6
	2–0,05 mm	40,8	52,2	40,2	53,8
	0,05–0,005 mm	26,7	23,6	30,2	25,4
	< 0,005 mm	28,5	18,9	24,8	15,0
Ip, %		9,4	5,5	9,4	5,4
φ, grādi, minūtes		19°27''	23°25''	22°26''	24°26''

Līdz šim realizēts daudz pētījumu, kas veltīti dažādu grunšu ģeotehnisko īpašību atkarībām no fizikālā stāvokļa un sastāva (mineralogiskā, granulometriskā). Tai skaitā vairāki pētījumi veltīti minēto sakarību pētījumiem glacigēnajās gruntīs (Boulton, Paul, 1976; Roderick, 1978; Alikonis *et al.* 1995).

Atšķirībā no citas ģenēzes gruntīm lielākā daļa glacigēno grunšu ir vāji šķirotas. Līdz ar to glacigēnajām gruntīm raksturīga liela ģeotehnisko īpašību dažādība. Kā liecina pētījumi (Kagan, Solodukhin, 1971), tad lielā daļā gadījumu glacigēnajās gruntīs fizikālo un mehānisko īpašību vērtības ietekmē frakcijas < 2 mm, turklāt, ja smilts frakcija gruntī sastāda vairāk par 40%, bet māla frakcija – vairāk par 30%, tad pēdējai būs izšķiroša nozīme. Uzsvērts, ka ievērojama nozīme ir smalkajām, mālu minerālus saturošajām frakcijām (Boulton, 1980), taču ne tikai granulometrisko frakciju attiecības gruntī ietekmē to īpašības, bet arī to forma. Glacigēnajās gruntīs šādas sakarības konstatējis Lebūrs (Lebourg *et al.* 2003), kas konstatējis glacigēno grunšu (smilts un grants frakcijām) graudiņu formas pagarinājuma koeficienta (*elongation factor*) vērtību atkarība no to iekšējās berzes leņķa vērtībām, ko apstiprina augsts korelācijas koeficients $R = 0,95$.

1.5. Glacigēno grunšu inženierģeoloģiskā izpēte un detalizētu pētījumu specifika

Līdzīgi kā kvartārģeoloģijā un glaciālajā ģeoloģijā, arī inženierģeoloģijā glacigēno grunšu pētīšanas īpatnības (apgrūtinājumi) saistītas galvenokārt ar to saguluma un tekstūras neviendabīgumu un rupjgraudainā materiāla ieslēgumiem (Kagan, Solodukhin, 1971; Boulton, Paul, 1976). Līdz šim lielākā daļa ar glacigēnajām gruntīm saistīto inženierģeoloģisko pētījumu veikti, lai noskaidrotu šo grunšu sastāva un dažādu īpašību vērtību iespējamās variācijas gan tipa robežās, gan to sadalījumam greizumā un teritorijā, gan arī kā pēc īpašībām tās atšķiras no citām glaciālajām un citām gruntīm (Clarke *et al.* 1998; Barański, 2008). Otrs pētījumu virziens ir metodiska rakstura, t.i., šīm specifiskajām gruntīm piemērotāko laboratorijas un *in situ* metožu attīstīšana, un iegūto rezultātu interpretācija (Atkinson, Little, 1988; Barański, 2008).

G. S. Boltons (Boulton, 1978) norāda, ka glacigēno grunšu ģeotehnisko uzvedību ietekmē četru to īpašību kopums, t.i., granulometriskais sastāvs, konsolidācijas pakāpe, plaisainība un saguluma apstākļi, un glacigēno grunšu ģeotehnisko īpašību veidošanos ir ietekmējuši to sedimentācijas apstākļi un pēcsedimentācijas izmaiņas. No minētajām īpašībām īpaša uzmanība, sevišķi pēdējos gados, pievērsta gan morēnu plaisainības veidošanās mehānismiem (Kirkaldie, Talbot, 1992), gan plaisainības ietekmei uz šo grunšu ģeotehniskajām īpašībām (Allred, 2000) un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem (Haefner, 2000). Lai iegūtu patiesas glacigēno grunšu plaisainības parametru vērtības svarīgi šādi aspekti: dokumentēšana (Christy *et al.* 2000), paraugu ņemšanas metodes un shēmas pareiza izvēle, kā arī analizējamo paraugu lielums un orientācija attiecībā pret slāņojuma virsmu (McKinlay *et al.* 1978).

Kā viena no glacigēno grunšu īpatnībām, kas plaši aprakstīta ģeoloģiskajā literatūrā (Kagan, Solodukhin, 1971; Kjær *et al.* 2003), ir to saguluma augsts mainīgums gan griezumā, gan teritorijā un atšķirīga sastāva lēcas, atrauteņi, kā arī dažādas izcelsmes un formas krokas. Bieži vien morēnas slāņkopā sastopamas, tā saucamās, „vājās morēnas”, t.i., gruntis, kas ir mīksti plastiskas vai pat plūstošas konsistences (Kagan, Solodukhin, 1971; Boulton, Paul, 1976).

Kā liecina pētījumi (Kagan, Solodukhin, 1971), glacigēno grunšu slāņu saguluma apstākļu noskaidrošanā bieži vien rodas sarežģījumi to augstā mainīguma dēļ, jo konstatētais neviendabīgums bieži vien ir atkarīgs no izpētes detalitātes. Kā perspektīvas glacigēno grunšu saguluma apstākļu izpētes metodes atzītas seismoizpēte un elektroizpēte, kā arī statiskā un dinamiskā zondēšana (Trenter, 1999). Taču ne vienmēr šīs metodes dod

vēlamos rezultātus, piemēram, ja glacigēnās grunts uzguļ sadēdējušām klinšainajām gruntīm, šo robežu ar seismiskajām metodēm noteikt neizdodas (Kagan, Solodukhin, 1971). Savukārt statiskā, dinamiskā un citu veidu zondēšana, kas papildināta ar urbumiem, ļauj pietiekami precīzi noteikt glacigēno grunšu slāņa ieguluma dziļumu un biezumu, kā arī izdalīt dažādas konsistences slāņus un noteikt virkni fizikālo un mehānisko īpašību (Lunne *et al.* 1997).

Morēna kā grunts, pateicoties tās augstajam blīvumam un zelai ūdenscaurlaidībai, uzskatīta par labu būvju pamatni. Tomēr tā ir vispārināta pieeja, jo, ņemot vērā morēnu sastāva un īpašību augsto mainību, tajās bieži sastopamas pavājinātas zonas. Iepriekšējos gados veiktie morēnas grunšu īpašību apkopojumi (Milligan, 1980), rāda, ka to konsistence mēdz būt robežās no cietas līdz plūstoši plastiskai, līdz ar to arī ģeotehniskās īpašības var mainīties plašā intervālā. Minētais norāda, ka morēnas grunšu detalizētiem pētījumiem būtu veltāma īpaša uzmanība (Culshaw *et al.* 1991).

Lai gan grunšu pētījumi mūsdienu izpratnē uzsākti jau 20. gs. 30. gados ar Karla Tercagi (*Karl Terzaghi*) publikācijām (Cooling *et al.* 1969), taču grunšu īpašību saistība ar to ģenēzi apskatīta salīdzinoši maz. Pastiprināta uzmanība tādiem pētījumiem pievērsta, sākot ar 20. gs. 70. gadiem, kad organizēts šiem pētījumiem veltīts simpozījs un konference (Hoole, 1978), kuras rezultāti publicēti rakstu krājumos (Leget, 1980), kur apkopotas dažādu Zemes zinātņu nozarēs uzkrātās zināšanas. Starp tolaik veiktajiem pētījumiem īpaši izceļami Boltona (Boulton, 1978, 1980) un Milligana (Milligan, 1980), kā arī citi (Radhakrishna, Klym, 1974; May, Thomson, 1978) darbi. Savukārt pagājušā gadsimta nogalē Lielbritānijas Būvniecības ražošanas pētniecības un informācijas asociācija (*CIRIA*) publicēja tieši morēnas grunšu inženierģeoloģiskajiem pētījumiem veltītu grāmatu (Trenter, 1999), kur pievērsta uzmanība arī morēnu ģenēzes ietekmei uz to ģeotehniskajām īpašībām. Atsevišķu pētījumu rezultāti publicēti līdz pat mūsdienām (Long, Menkiti, 2007; Barański, 2008; Clarke *et al.* 2008), atzīstot, ka vēl arvien ir daudz neatrisinātu jautājumu.

Pētījumi apliecina, ka glacigēnās (morēnas) grunts nepieciešams pētīt atsevišķi, jo empīriskās korelācijas un teorētiskie modeļi, kas radīti tīrām smilts un māla gruntīm, var būt nepatiesi jaukta sastāva gruntīm, kādas ir glacigēnās (morēnas) grunts (Clarke *et al.* 1998). Tas noteica nepieciešamību veikt glacigēno grunšu pētījumus, īpašu uzmanību pievēršot tā metodiskajiem aspektiem.

2. MATERIĀLI UN METODEDES

Tradicionāli inženierģeoloģiskajos pētījumos rokas instrumentus izmanto visai reti, savukārt specifiskos grunšu pētījumos – vēl retāk (Terzaghi *et al.* 1996). Literatūrā šādu instrumentu izmantojums zinātniskajos pētījumos apskatīts, tomēr šajos darbos pētījumu realizācijas metodiskie jautājumi iztirzāti visai ierobežoti. Tādēļ viens no disertācijas uzdevumiem bija rast risinājumu mērījumu organizēšanai un īstenošanai *in situ* apstākļos, kā arī objektīvi novērtēt iegūto mērījumu rezultātu precizitāti.

2.1. Pieejamie dati un to izvērtējums

Lai gūtu priekšstatu par Latvijā sastopamo glacigēno grunšu fizikālo un mehānisko īpašību, kā arī granulometriskā sastāva izmaiņu robežām, un noskaidrotu iespējamās korelatīvās saiknes starp minētajiem parametriem, tika izskatīti un izvērtēti iepriekšējos gados Latvijas teritorijā veiktie inženierģeoloģisko laboratorisko analīžu rezultāti, aptverot galvenokārt no 1958. gada līdz 1992. gadam veikto ģeoloģiskās kartēšanas darbu rezultātus. Kopumā izvērtēti Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras (LVĢMA) Ģeoloģijas fondā apkopotie glacigēno grunšu rezultāti – aptuveni 5000 paraugu inženierģeoloģisko analīžu. Šie analīžu dati, kas galvenokārt iekļauti grunšu pasēs, tika izvērtēti un ievadīti īpaši šim mērķim izveidotā datu bāzē datorprogrammā *MS Excel*. Tomēr, jau ievadot datus un uzsākot to vienkāršotu salīdzināšanu, konstatēts, ka lielākā daļa no tiem turpmāk nav izmantojami. Galvenais iemesls šādam nelabvēlīgam konstatējumam ir paraugu analīžu realizācija dažādās laboratorijās ar atšķirīgām metodēm un iekārtām, turklāt atbilstoši dažādiem mērīšanas nosacījumiem un, lielākoties, nezināmu precizitāti. Jāpiebilst arī, ka šajos materiālos ne vienmēr norādīta grunts ģenēze, un pieejamās grunšu pasēs lielākoties nav pārbaudāmas arī pēc LVĢMA Ģeoloģijas fonda arhīvā saglabātajiem sākotnējiem ģeoloģiskajiem materiāliem. Ar līdzīgām problēmām savā pētījumā saskārusies arī A. Zobena (Zobena, 1965), norādot, ka šādi iegūtus datus nav korekti salīdzināt un statistiski apstrādāt.

Tādēļ šajā pētījumā analītisko datu vērtēšanai un aprēķiniem turpmāk izmantoti tikai tādi analīžu rezultāti, kas iegūti vienā laboratorijā pēc vienotas metodikas un ar noteiktu precizitāti, – dažāda mēroga valsts ģeoloģiskās kartēšanas darbu laikā iegūto

glacigēno grunšu paraugu analīžu rezultāti. Minētais ļāva pētījumam nodalīt glacigēno grunšu laboratorijas analīžu rezultātus, kas savulaik noteikti 664 paraugiem. Datu apstrādei tie sākotnēji ievadīti autora izveidotajā *MS Excel* datu bāzē (2.1. attēls). Laboratorisko pārbaudītu datus ievadīti un uzglabāti *.xls formātā, jo tas ir savietojams ar lielāko daļu datorprogrammu to turpmākajai statistiskajai apstrādei.

Disertācijas vajadzībām datu analīze veikta, izmantojot dažādas statistiskās metodes datorprogrammā *Statistica 5.1*. Pētījuma gaitā konstatētas visai būtiskas datu pārnesanas un pārrakstīšanās kļūdas sākotnējos laboratoriju sagatavotajos protokolos. Tādēļ, lai mazinātu gadījuma neprecizitāšu iespējamību, ievadei datu bāzē tika izmantoti tikai pārbaudīti sākotnējie analītiskie dati, t. i., grunšu pases. Tajā pašā laikā, vairākkārtīgi pārbaudot datus un vērtējot to kvalitāti, datu bāzē tie ievadīti oriģinālā izteiksmē, saglabājot savulaik izmantotos ģeoloģiskos indeksus, datu mērvienības un apzīmējumus.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	urb. & par. nr	dziļ. (m)	indekss.	>10	10-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005	0.005-0.002	<0.002	W%	n	e	W ₁	W ₂	
2	45-1	0.5	gIIIbt			0.6	0.2	5.0	13.0	20.0	15.8	20.6		1.6	23.2		20.3	36.4	0.672	20.0	13.0	
3	54-1	0.8	gIIIbt			0.2	0.6	0.4	8.4	16.8	24.4	24.4		8.8	16.0		12.8	30.6	0.442	18.2	11.2	
4	122-1	2.0	gIIIbt			0.8	0.4	3.4	13.2	13.2	21.4	19.8		4.8	23.0	5.6	17.4	11.7	33.1	0.495	18.6	11.9
5	122-2	5.0	gIIIbt			1.2	0.6	2.6	12.2	13.2	20.2	20.4		7.2	22.4	8.8	13.6	10.8	35.0	0.537	18.8	12.2
6	122-3	10.0	gIIIbt			1.2	1.0	3.3	9.9	15.0	18.8	18.0		7.2	25.6			10.6	29.4	0.417	18.9	11.8
7	123-1	1.5	gIIIbt			0.6	0.4	4.4	10.2	14.4	22.8	20.8		4.0	22.4	5.6	16.8	12.8	31.3	0.455	19.0	12.0
8	123-2	6.5	gIIIbt			0.6	0.2	7.2	16.2	12.4	14.2	16.4		7.2	25.6	8.0	17.6	11.2	31.6	0.462	18.8	12.0
9	123-3	9.5	gIIIbt			1.1	0.2	4.4	12.0	13.1	19.0	18.2		8.0	24.0	6.4	17.6	13.0	35.0	0.537	18.8	11.6
10	124-1	2.1	gIIIbt			9.2	2.8	5.8	10.8	23.4	7.6	16.4		4.8	19.2			11.3	29.8	0.422	17.2	11.2
11	124-2	5.6	gIIIbt			0.6	0.4	1.2	3.2	12.2	5.0	38.2		12.0	27.2			12.5	29.0	0.408	18.2	11.0
12	125-1	2.4	gIIIbt			3.2	1.8	4.6	9.8	23.0	7.8	23.4		6.4	20.0			11.6	28.7	0.402	17.9	10.8
13	125-2	4.2	gIIIbt			4.4	2.6	5.8	12.4	25.8	8.0	16.2		4.8	20.0			11.0	29.0	0.408	17.4	10.4
14	125-3	7.1	gIIIbt			3.8	2.2	5.8	12.2	26.8	9.2	12.0		8.0	20.0			10.4	29.7	0.423	17.0	11.0
15	126-1	2.0	gIIIbt			0.8	1.2	4.4	12.0	14.8	16.2	19.4		6.4	24.8			13.0	31.6	0.462	18.2	11.0
16	126-2	4.0	gIIIbt			0.6	0.8	5.2	11.8	15.2	14.0	18.8		7.2	26.4	5.6	20.8	12.6	32.0	0.470	18.4	11.4
17	126-3	8.5	gIIIbt			0.8	2.2	6.0	13.2	16.0	11.8	16.4		8.0	25.6	10.4	15.2	12.4	33.5	0.502	18.6	11.8
18	127-1	2.1	gIIIbt			2.6	1.2	3.2	9.2	25.8	7.6	20.8		7.2	22.4			10.7	29.4	0.416	16.9	10.7
19	127-2	4.1	gIIIbt			2.8	1.4	3.8	10.0	25.8	7.4	16.8		8.0	24.0			10.4	29.8	0.422	17.0	10.8
20	220-1	2.6	gIIIbt			1.6	2.8	5.2	13.0	21.6	14.4	11.8		4.8	24.8			11.7	30.9	0.447	18.8	11.6
21	220-2	6.3	gIIIbt			1.6	0.8	1.6	4.0	27.6	13.2	24.4		9.2	17.6			11.6	29.2	0.411	16.7	11.2
22	221-2	3.3	gIIIbt			2.1	0.6	1.4	12.4	27.6	13.6	16.7		4.8	20.8			10.8	30.6	0.446	18.2	10.3
23	221-3	6.0	gIIIbt			1.2	0.5	2.5	9.2	31.0	14.6	5.8		12.0	23.2			11.8	32.0	0.470	17.6	10.4
24	222-2	2.5	gIIIbt			1.0	1.8	2.4	4.8	21.2	16.0	11.2		16.0	25.6			10.9	32.0	0.470	19.1	12.0
25	222-3	6.8	gIIIbt			1.3	2.3	5.2	13.2	24.4	10.8	12.4		5.6	24.8			12.5	27.5	0.380	18.6	11.6
26	222-4	10.5	gIIIbt			1.5	3.0	4.0	6.3	26.2	12.2	14.0		6.4	26.4			14.8	30.1	0.432	18.8	12.0
27	223-1	1.5	gIIIbt			1.2	0.5	2.5	9.2	31.0	14.6	5.8		12.0	23.2			11.0	24.2	0.319	18.6	11.6
28	223-2	6.0	gIIIbt			1.8	0.7	5.0	17.0	30.8	16.8	12.7		1.6	13.6			10.2	28.0	0.389	21.0	18.0
29	224-1	4.3	gIIIbt			1.4	0.8	2.8	8.4	26.8	8.0	20.6		4.8	26.4			10.9	32.0	0.470	19.1	12.0
30	224-3	10.6	gIIIbt			2.4	2.0	3.6	8.4	22.0	10.0	13.2		12.8	25.6			11.5	30.5	0.506	18.4	11.2
31	226-1	1.6	gIIIbt			1.2	1.6	4.4	10.8	14.2	21.4	16.8		6.4	23.2	8.8	14.4	12.2	30.9	0.446	18.8	12.2
32	226-2	3.4	gIIIbt			0.6	3.0	2.8	12.4	13.6	18.0	20.0		4.8	24.8	8.0	16.8	11.0	27.5	0.380	18.8	12.0
33	226-3	4.9	gIIIbt			1.2	2.4	6.0	12.6	16.0	12.8	16.2		7.2	25.6	6.4	19.2	11.8	30.1	0.431	18.4	11.3

2.1. attēls. Glacigēno grunšu parametru datu bāzes fragments

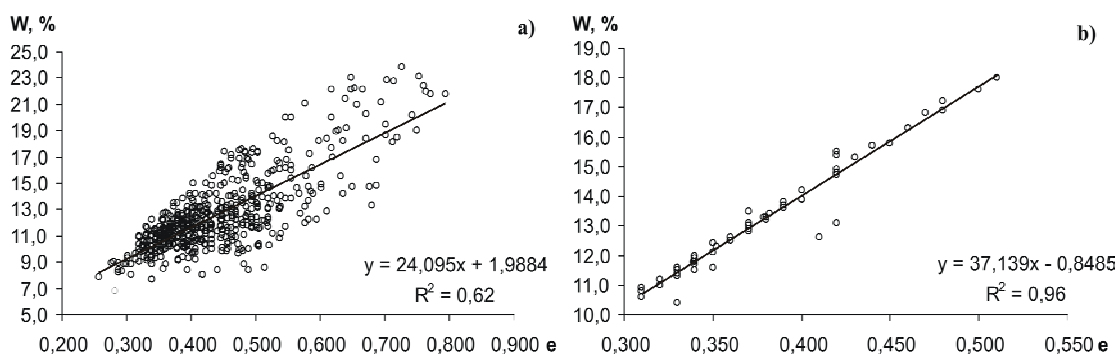
Figure 2.1. Fragment of glacigenic soil parameters data base

Datu bāzē ievadīti šādi glacigēno grunšu analīžu rezultāti:

- urbuma un parauga numurs;
- parauga ņemšanas dziļums;
- ģeoloģiskais indekss;

- granulometriskais sastāvs – frakciju > 10 mm, 5–10 mm, 2–5 mm, 1–2 mm, 0,5–1 mm, 0,25–0,5 mm, 0,1–0,25 mm, 0,1–0,05 mm, 0,05–0,01 mm, 0,01–0,005 mm < 0,005 mm, 0,005–0,002 mm, <0,002 mm saturs;
- grunts dabiskais mitrums, %;
- grunts blīvums, g/cm³;
- grunts skeleta blīvums, g/cm³;
- grunts daļiņu blīvums, g/cm³;
- porainība, %;
- porainības koeficients;
- plūstamības robeža;
- drupšanas robeža;
- plastiskuma skaitlis;
- iekšējās berzes koeficients;
- iekšējās berzes leņķis, grādos un minūtēs;
- saiste, g/cm²;
- saspiežamības koeficients;
- kopējais deformācijas modulis, MPa.

Iepriekšminēto vēsturisko datu novērtējums un analīze parādīja, ka arī pēc rūpīgas sākotnējās izvērtēšanas tie ir atšķirīgas kvalitātes, ko pirms tālākas datu apstrādes nepieciešams rūpīgi izvērtēt. Turklāt mūsdienās būtiski pieaugusi iekārtu un mērījumu precizitāte, uz ko norāda, piemēram, pēc vēsturiskajiem datiem un mūsdienās veikto analīžu rezultātiem sastādīto morēnas smilšmāla un mālsmilts dabīgā mitruma un porainības koeficienta atkarību regresijas grafiki.



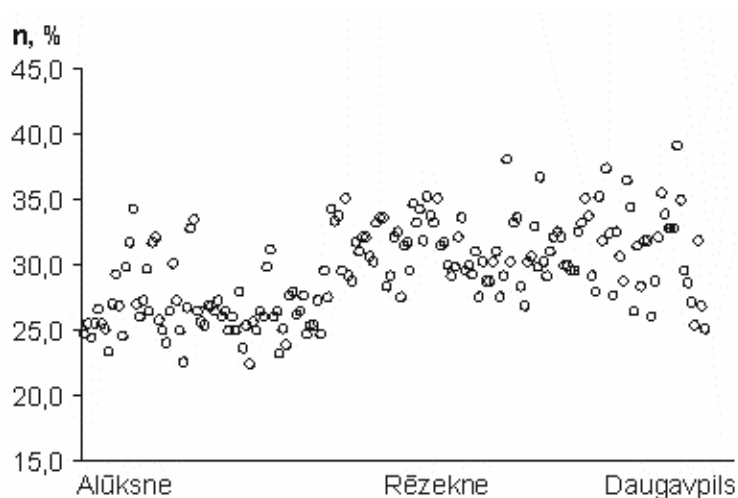
2.2. attēls. Morēnas smilšmāla un mālsmilts dabīgā mitruma (W, %) un porainības

koeficienta (e) vērtību korelācijas grafiki, a) pēc vēsturiskajiem datiem (n=609) un b) mūsdienās veikto analīžu rezultātiem (n=104)

Figure 2.2. Correlation graphs between till loam and sandy loam natural moisture (W, %) and void ratio (e) values, a) using historical data (n=609) and b) using contemporary analysis results (n=104)

Grafikā (2.2. a attēls), kas sastādīts pēc vēsturiskajiem datiem, novērojama lielāka datu izkliede, salīdzinot ar mūsdienās realizēto pētījumu datiem. Minētais pastarpināti norāda, ka apskatītie parametri noteikti ar atšķirīgām metodēm, tādēļ disertācijā iepriekšējo pētījumu vēsturiskie dati diemžēl izmantojami tikai vispārinātam grunšu raksturojumam.

Iepriekš veiktie pētījumi norāda, ka šādā vispārinājumā pārliecinoši ļoti grūti konstatēt pat reģionālās iezīmes. Minēto apliecina autora izstrādātais maģistra darba pētījums „Glacigēno grunšu sastāvs un fiziomehāniskās īpašības un to izmaiņu likumsakarības Austrumlatvijā” (Karpovičs, 2004), kā arī vēlākie pētījumi (Karpovičs, 2006^a, 2006^b). No ģeoloģiskās kartēšanas gaitā veikto grunšu inženierģeoloģisko analīžu rezultātiem tika izveidota datu bāze, lai noskaidrotu glacigēno grunšu sastāva un ģeotehnisko īpašību parametru izmaiņu ģeogrāfiskās telpas zonalitāti Latvijas austrumu daļā (Karpovičs, 2004). Šajā pētījumā konstatētas glacigēno nogulumu dažu īpašību izmaiņu ģeogrāfiskā platuma zonalitātes likumsakarības, piemēram, porainības vērtību izmaiņas ziemeļu – dienvidu virzienā no Alūksnes uz Daugavpili (2.3. attēls).



2.3. attēls. Glacigēno grunšu porainības izmaiņas Latvijas austrumu daļā virzienā no

Alūksnes uz Daugavpili (pēc Karpovičs, 2004)

Figure 2.3. Changes in glacial soil porosity in eastern part of Latvia in direction from Aluksne to Daugavpils (after Karpovičs, 2004)

Lai gan pētījumā iegūtais atkarību grafiks norāda, ka novērojams neliels porainības vērtību paaugstinājums dienvidu virzienā, tomēr redzams, ka šo izmaiņu raksturs nav viennozīmīgi interpretējams un ir sarežģītāks nekā domāts līdz tam. Tādēļ šī darba noslēgumā uzsvērta turpmāko pētījumu lietderība, kas ļautu noskaidrot konstatētā grunšu īpašību reģionālo neviendabīgumu ietekmējošos faktoros.

Tomēr šie pētījumi (Karpovičs, 2004; Karpovičs, 2006^a, 2006^b) deva iespēju noskaidrot gan minēto parametru iespējamo izmaiņu diapazonu, gan to savstarpējo saikni. Piemēram, veiktā Sprimana rangu korelācijas analīze apliecināja, ka ir konstatējamās zināmas sakarības un, iespējams, arī likumsakarības starp glacialgēno grunšu granulometrisko sastāvu un fizikālajām un mehāniskajām īpašībām, kā arī šo īpašību savstarpējās atkarības. Samērā cieša sakarība konstatēta starp frakcijas < 0,002 mm saturu un plastiskuma skaitli (I_p) – korelācijas koeficients $r = 0,68$ un saisti (c) attiecīgi $r = 0,37$ (Karpovičs, 2006^a, 2006^b). Turklāt konstatēta korelatīvā saikne starp glacialgēno grunšu mitrumu un to porainību, skeleta blīvumu, konsistences rādītāju ($r = 0,7$) un plastiskuma skaitli ($r = 0,6$).

Vienlaicīgi arī zināmas un aprakstītas dažādas konusa iespiešanas pretestības (q_c) korelatīvas atkarības no citiem svarīgākajiem grunšu parametriem (Robertson, Campanella, 1983; Lunne *et al.* 1997). Lai noskaidrotu glacialgēno grunšu konsistences atkarību no to konusa iespiešanas pretestības un laboratorijā noteikto mehānisko parametru – iekšējās berzes koeficienta un deformācijas moduļa – vērtībām, veikta ģeoloģiskās kartēšanas gaitā iegūto analītisko rezultātu izvērtēšana un analīze.

Tā, izmantojot iepriekš sagatavoto datu bāzi (skat. 34.–35. lappusē) un tematiskajos pētījumos (Tracevskaya, Venska 1992) iegūtos datus, tika novērtētas glacialgēno grunšu konsistences koeficienta vērtību atkarības no to konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un iekšējās berzes koeficienta ($\tan \phi$) un deformācijas moduļa (E , MPa). Visu minēto parametru aprēķināto intervālu vidējās vērtības tika apkopotas tabulās (2.1. un 2.2. tabula) un izvērtētas pirms to vizualizācijas. Rezultātu vizualizācijai grafikos uz y -ass tika norādītas vidējās konsistences rādītāja vērtības katram no šādiem intervāliem – plūstoša ($IL > 1$), plūstoši plastiska ($0,75 \leq IL \leq 1$), mīksti plastiska ($0,5 \leq IL \leq 0,75$), sīksti plastiska ($0,25 \leq IL \leq 0,5$), puscietā ($0,25 \leq IL \leq 0$), cietā ($IL < 0$), bet uz x -ass

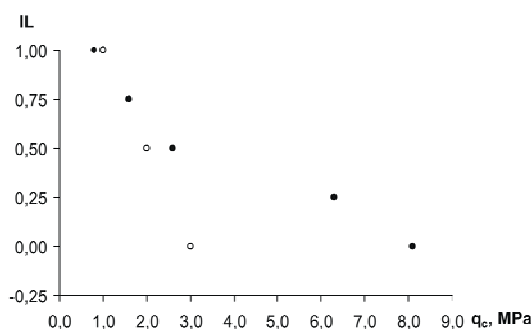
attiecīgajam konsistences rādītāja vērtību intervālam atbilstošas vidējās mehānisko īpašību parametru vidējās vērtības.

2.1. tabula. Glacigēno grunšu statiskās zondēšanas konusa iespiešanas pretestība (q_c) un to konsistences rādītājs (IL) statistiskie rādītāji (pēc Tracevskaya, Venska, 1992)

Table 2.1. Statistical indices of static cone penetration resistance (q_c) and liquidity index (LI) of glacigenic soils (after Tracevskaya, Venska, 1992)

Konsistence	Smilšmāls		Konsistence	Mālsmilts	
	q_c , MPa	n		q_c , MPa	n
Plūstoša (IL > 1)	-	-	Plūstoša	0,4	4
Plūstoši plastiska ($0,75 \leq IL \leq 1$)	0,8	2	Plastiska	2,8	57
Mīksti plastiska ($0,5 \leq IL \leq 0,75$)	1,6	15	Cieta	10	10
Sīksti plastiska ($0,25 \leq IL \leq 0,5$)	2,6	13			
Puscieta ($0,25 \leq IL \leq 0$)	6,3	13			
Cieta (IL < 0)	8,1	8			
<i>kopā = 51</i>			<i>kopā = 71</i>		

Tabulā ietvertie statistiskie rādītāji raksturīgi morēnas smilšmāla un mālsmilts gruntīm. Mālsmilts grunšu rādītāji ir ģeneralizēti, dodot iespēju šīs gruntis novērtēt vispārinātāk. Tas norāda, ka šī atkarība būtu pētāma detalizētāk, lai turpmāk izvairītos no līdzīgiem vispārinājumiem. Tomēr iegūtās sakarības (2.4. attēls) ir saskaņā ar iepriekš veikto pētījumu rezultātiem (Ismail, Gasmelseed, 1988; Anagnostopoulos *et al.* 2003).



2.4. attēls. Glacigēno grunšu statistiskās zondēšanas konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtību atkarība no to konsistences rādītāja (IL)

Figure 2.4. Mutual correlation of glacial soil static cone penetration resistance (q_c) with liquidity index (LI) values

Apzīmējumi: ● – smilšmāls (n=51); ○ – mālsmilts (n=71)

Legend: ● – loam (n=51); ○ – sandy loam (n=71)

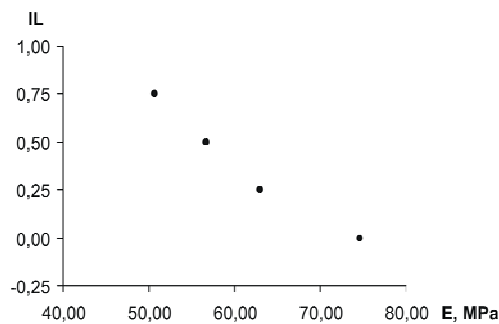
Grafiks (2.4. attēls) apliecina, ka glacigēnajās gruntīs smilšmālam un mālsmiltij starp vidējotām statistiskās zondēšanas konusa iespiešanas pretestības un konsistences rādītāja vērtībām pastāv gandrīz lineāra atkarība, kas atbilst to attiecīgajiem intervāliem (2.1. tabula). Jāpiebilst, ka mālsmilts konsistences rādītāja vērtības aptver lielākus intervālus nekā tas novērojams smilšmālam. Līdzīgas sakarības konstatētas arī starp glacigēno grunšu konsistenci un mehāniskajām īpašībām – deformācijas moduli un iekšējās berzes leņķi (2.5. un 2.6. attēls).

2.2. tabula. Glacigēno nogulumu mehāniskās īpašības, iekšējās berzes leņķis (φ°), deformācijas modulis (E, MPa) un konsistences rādītājs (pēc autora datu bāzes)

Table 2.2. Mechanical properties of till sediments, coefficient of internal friction (φ°), modulus of deformation (E, MPa) and liquidity index (from author's data base)

Konsistence	φ°	n	E, MPa	n
Mīksti plastiska ($0,5 < IL \leq 0,75$)	18,32	22	49,99	6
Sīksti plastiska ($0,25 < IL \leq 0,5$)	20,23	93	56,75	15
Puscieta ($0,25 \leq IL \leq 0$)	21,87	235	62,99	54
Cieta ($IL < 0$)	22,79	216	74,69	65
Kopā:		$\Sigma = 569$		$\Sigma = 140$

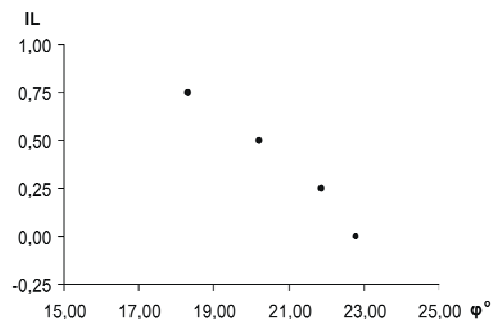
2.2. tabulā ietvertie rādītāji raksturīgi Latvijas glacigēnajām gruntīm. Redzams, ka lielākajai daļai grunšu ir sīksta plastiska, puscieta un cieta konsistence, taču svarīgi norādīt, ka korekti paņemt plūstošas un plūstoši plastiskas konsistences paraugus ir pietiekami grūti, tāpēc šādu risinājumu izmanto tikai specifiskos pētījumos, turpretī ģeoloģisko kartēšanu par tādu neuzskata. Tomēr minētie apstākļi netraucēja vispārīgi novērtēt glacigēno grunšu konsistences atkarību no to mehāniskajām īpašībām, ko raksturo iegūtie atkarību grafiki (2.5. un 2.6. attēls).



2.5. attēls. Glacigēno nogulumu deformācijas moduļa (E, MPa) vērtību atkarība no to konsistences rādītāja (IL) (n=140) (pēc autora datu bāzes)

Figure 2.5. Mutual correlation of glacigenic sediment modulus of deformation (E, MPa) with liquidity index (LI) (n=140) (from author's data base)

Grafikā (2.5. attēls) redzamā atkarība starp konsistences rādītāju pie vidējotām deformācijas moduļa vērtībām un attiecīgajiem konsistences rādītāja vērtību intervāliem ir tuva lineārai.

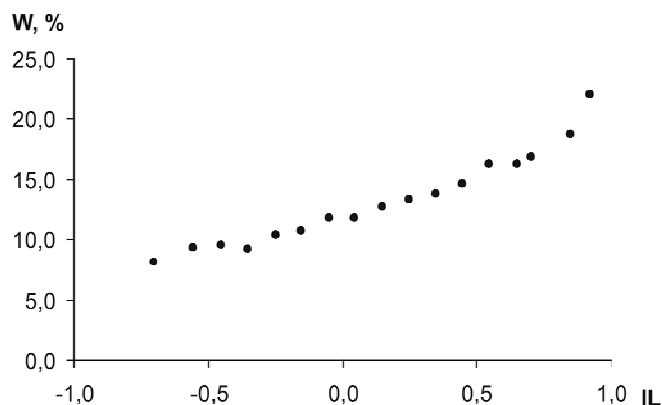


2.6. attēls. Glacigēno nogulumu iekšējās berzes leņķa (φ°) vērtību atkarība no to konsistences rādītāja (IL) (n=562) (pēc autora datu bāzes)

Figure 2.6. Mutual correlation between glacial sediment angle of internal friction (φ°) and liquidity index (LI) (n=562) (from author's data base)

Grafikā (2.6. attēls) redzamā atkarība starp konsistences rādītāju (IL) pie vidējotām iekšējās berzes leņķa (φ°) vērtībām un attiecīgajiem konsistences rādītāja vērtību intervāliem ir tuva lineārai.

Sakarības starp konusa iespiešanas pretestību un laboratorijā noteiktajām grunšu fizikālajām un mehāniskajām īpašībām zināmas no vairāku pētnieku darbiem (Lunne *et al.* 1997; Mitchel, Soga, 2005), bet šīs empīriskās korelācijas atkarīgas no grunts tipa, tādēļ tās bija jāpārbauda Latvijas gruntīs. Glacigēno grunšu dabīgā mitruma un konsistences rādītāja savstarpējās atkarības tika noskaidrotas, izmantojot disertācijas ietvaros sastādīto datu bāzi, no kuras tika atlasīti 542 atbilstoši grunts analīžu rezultāti. Glacigēno grunšu konsistences rādītāja un dabīgā mitruma atkarību grafiks (2.7. attēls) sastādīts pēc vidējām dabīgā mitruma vērtībām glacigēnajām gruntīm, kas atbilda konsistences rādītāja vērtībām ar soli 0,1.



2.7. attēls. Glacigēno grunšu konsistences rādītāja (IL) atkarība no to dabīgā mitruma (W, %)

Figure 2.7. Mutual correlation between glacial sediment liquidity index (IL) and natural moisture (W, %)

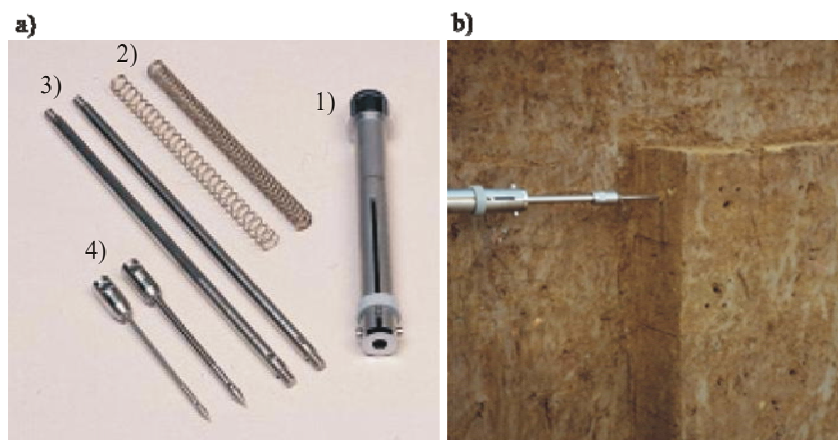
Rezultātā konstatēta lineārajai tuva atkarība starp glacigēno grunšu konsistences rādītāju un dabīgo mitrumu.

Noskaidrotās sakarības starp statistiskās zondēšanas konusa iespiešanas (q_c) vērtībām un konsistences rādītāju Latvijas glacigēnajām gruntīm norāda, ka līdzīgas sakarības

iespējams konstatēt arī rokas penetrometru noteiktām q_c vērtībām, taču nepieciešami iepriekšminētie mērījumi, lai to varētu apstiprināt.

2.2. Pētījumā izmantotie instrumenti

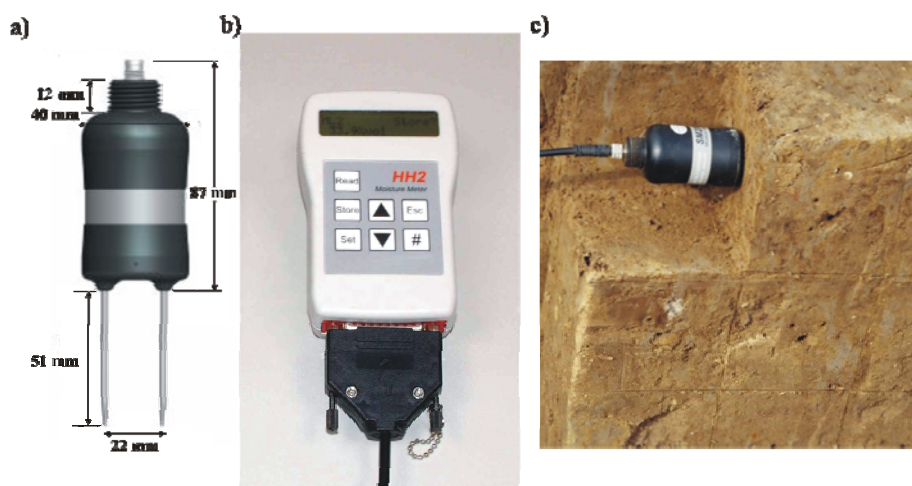
Pētījumā izmantoti portatīvi, zinātniskas precizitātes mērinstrumenti – rokas penetrometrs un mitruma mērītājs (2.8. un 2.9. attēls) ar kuriem iespējams veikt konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumus *in situ*.



2.8. attēls. a) Rokas penetrometrs – 1) penetrometra korpuss, 2) atsperes, 3) pagarinājuma stieņi, 4) konusi; b) konusa iespiešanas pretestības mērījumu veikšana *in situ*

Figure 2.8. a) Hand penetrometer – 1) corpus of penetrometer, 2) springs, 3) extension rods, 4) cones; b) measurements of cone resistance *in situ*

Penetrācijas mērījumi veikti ar Eijkelkamp rokas (IB tipa) penetrometru (2.8. attēls) kas apgādāts ar 150 N atsperi, un tā konusa diametrs ir 5,6 mm, virsmas laukums $0,25\text{cm}^2$ un virsotnes leņķis 30° . Ar šo penetrometru iespējams mērīt konusa iespiešanas pretestību diapazonā no 0 līdz 60 kg/cm^2 ar $\pm 8\%$ ražotāja noteiktu precizitāti (iedaļas vērtība uz skalas 1 kg/cm^2).



2.9. attēls. a) Mitruma mērīšanas sensors SM200; b) mitruma mērītājs HH2; c) mitruma mērījumi glaciģēnajās gruntīs

Figure 2.9. a) Moisture sensor SM200, b) moisture meter HH2, c) moisture measurements *in situ*

Dabīgā tilpuma mitruma mērījumi veikti ar ΔT mitruma mērītāju HH2, kas papildināts ar datu uzkrāšanas bloku un sensoru SM-200 (Delta-T Devices; adatu garums 51 mm, mērīšanas diapazons 0–50%, precizitāte $\pm 3\%$) (2.9. attēls).

2.3. Pētījuma vietas izvēle un sagatavošana

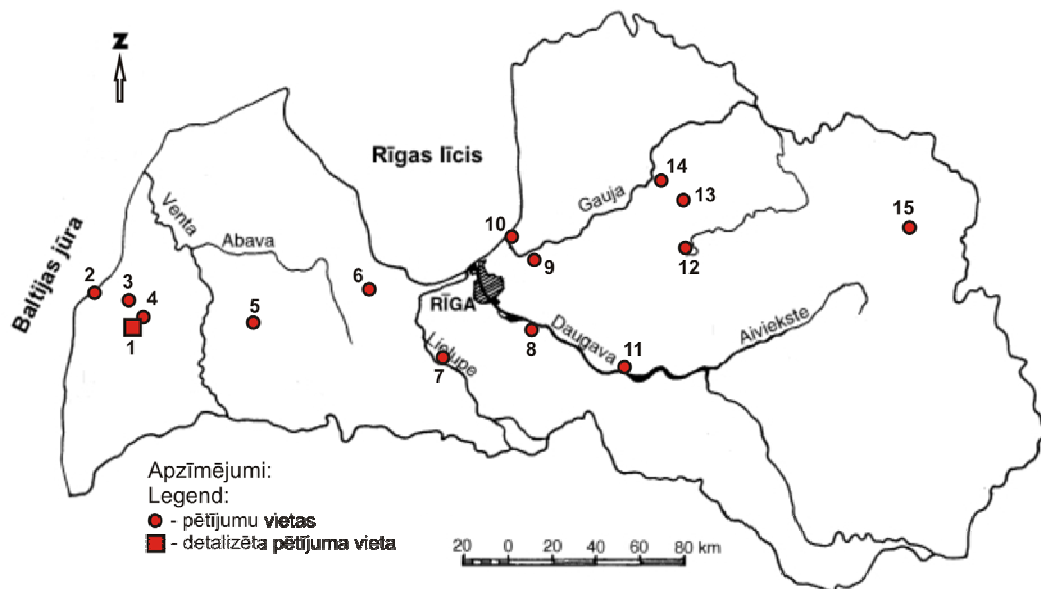
Veicot maza mēroga (t.i., milimetru līdz decimetru mēroga diapazonā) detalizētus inženierģeoloģiskos pētījumus, būtiska nozīme ir piemērotas vietas izvēlei, kā arī šo pētījumu metodiskajiem aspektiem. Tādēļ vieta detalizētam pētījumam tika izvēlēta atbilstoši šādiem kritērijiem:

- a) griezumā jābūt pārstāvētām glaciģēnajām gruntīm;
- b) gruntīm jābūt pārstāvētām vismaz 1 m biezumā, lai varētu veikt pietiekami daudz mērījumu;
- c) gruntīm jābūt tuvu zemes virsmai, lai izvairītos no papildu rakšanas darbiem, sagatavojot pētījuma vietu;
- d) gruntīm jābūt viendabģģām, bez citu materiģģlu lģģcģģm un ievilkumiem;
- e) gruntis nedrģģkst bģģt pģģrveidotas augsnes veidoģģnģģs un sala procesu ietekmģģ;

f) gruntīm jābūt ar relatīvi nelielu oļu un laukakmeņu saturu, kas varētu traucēt mērījumu veikšanu vienmērīgā tīklā;

g) teritorijai jābūt relatīvi brīvai no veģetācijas (īpaši lieliem kokiem, jo koku saknes izmaina grunts mitruma režīmu un sagrauj dabīgo struktūru). Vērā ņemami arī tehniskie apsvērumi: piekļuve objektam (h) un darba drošības apsvērumi (i).

Lai atrastu vietu, kas atbilst visiem iepriekšminētajiem kritērijiem, izvērtētas kvartāra nogulumu kartes ģeoloģiskie griezumi un, kā arī apzināts nozares speciālistu viedoklis. Tā rezultātā izdalīti glacigēno nogulumu izplatības areāli un vietas, kur potenciāli tie varētu atsegties, proti, upju ieleju posmi, kur varētu būt pietiekami augsti atsegumi vai arī karjeri. Pētījumam piemērotas vietas meklēšanas gaitā tika apsekoti glacigēno grunšu dabiskie atsegumi upju krastos (Rauna un Cimziņa Raunas apkārtnē, Daugava pie Aizkraukles) un mākslīgi izveidotās sienas karjeros Tukuma, Lutriņu un Aizputes apkārtnē, kā arī Baltijas jūras stāvkrastā Ulmāles apkārtnē un citviet. Turklāt pētījuma pamatotībai un interpretācijas nodrošinājumam ar eksperimentālajiem datiem apsekoti un veikti mērījumi ne tikai glacigēnajās, bet arī citas ģenēzes un sastāva kvartāra un devona gruntīs (2.10. attēls).



2.10. attēls. Pētījuma vietu izvietojums

Apzīmējumi: 1 – Sila karjers; 2 – Ulmāle; 3 – Apriķi; 4 – Mucenieku karjers; 5 – Lutriņi; 6 – Kažoku karjers; 7 – Ānes karjers; 8 – Daugmale; 9 – Garkalne; 10 – Gauja; 11 – Aizkraukle; 12 – Lodesmuiža; 13 – Rauna; 14 – Lodes karjers; 15 – Kupravas karjers. Glacigēno grunšu pētījumu vietas (1,2,4,5,6,11,13), mālaino grunšu pētījumu vietas (3,7,14,15), smilšaino grunšu pētījumu vietas (2,4,6,8,9,10,12)

Figure 2.10. Layout of study sites

Legend: 1 – Sils quarry; 2 – Ulmale; 3 – Apriki; 4 – Mucenieki quarry; 5 – Lutrini; 6 – Kazoki quarry; 7 – Anes quarry; 8 – Daugmale; 9 – Garkalne; 10 – Gauja; 11 – Aizkraukle; 12 – Lodesmuiza; 13 – Rauna; 14 – Lode quarry; 15 – Kuprava quarry. Study sites of glacial soil (1,2,4,5,6,11,13), study sites of clay soil (3,7,14,15), study sites of sandy soil (2,4,6,8,9,10,12)

Atsegumi iepriekšminētajās vietās tika attīrīti, dokumentēti, veicot mērījumus ar rokas penetrometru un mitruma mērītāju, lai pēc tam izvērtētu to piemērotību detalizētajiem pētījumiem, kā arī pietiekamā skaitā iegūtu mērījumus, kas kopumā raksturotu glaciģēnās grūntis. Lai gan glaciģēnie nogulumu Latvijā sastopami visai plaši, atrast piemērotu vietu, kas atbilstu visiem iepriekšminētajiem kritērijiem, ir grūti. Būtiski, ka pētījumus upju krastos visai nozīmīgi apgrūtina piekļuves iespējas tai, pamatkrasta blīvais apaugums, turklāt šādus atsegumus parasti sedz bieza delūvija kārtā. Derīgo izrakteņu ieguvei paredzētajos karjeros segslāņa (pētīšanai noderīgie glaciģēnie nogulumu) biezums visbiežāk nepārsniedz 3 m, turklāt Latvijā tie vidēji līdz 1,5 m dziļumam ir augsnes procesu izmainīti, tādēļ maz piemēroti grunšu pētījumiem. Papildus jāņem vērā, ka lielākajā daļā karjeru segkārtā tiek noņemta un pārvietota, tāpēc šajā darbā paredzētajos pētījumos nav izmantojama. Turklāt svarīgi, ka visai liela Latvijas teritorijas daļa ir privātpašums, kas atsevišķos gadījumos var radīt šķēršļus pētījuma veikšanai; vērā ņemami arī darba drošības apsvērumi. Minētais apliecina, ka pētījuma mērķiem lietderīgi būtu izvēlēties citu pieeju, piemēram, mērījumus veicot skatrakumos, kas dažos gadījumos tika īstenoti. Autora pieredze rāda, ka jāreķinās ar laikietilpīgiem rakšanas darbiem, turklāt lielu uzmanību pievēršot darba drošībai, – galvenokārt rakuma sienu nostiprināšanai, jo skatrakumi šādiem pētījumiem tiek veidoti vairākus metrus dziļi.

Autora pieredze rāda, ka augstas detalizācijas mērījumu kvalitatīvai veikšanai vietas izvēle ir kritisks lielums attiecībā uz iegūto mērījumu reprezentativitāti, tipiskumu, aplēšu un salīdzinājumu korektumu, kas daļēji jau aprakstīta 2.3. nodaļā, taču ir vairāki nosacījumi, kas attiecas uz mērījumu organizāciju:

- mērījumu skaitam ir jābūt pietiekamam, lai raksturotu pētāmo objektu, kā arī būtu nepieciešami liels datu apjoms statistiskajai apstrādei;

- vienmēr jānosaka vairāki grunšu parametri, jo vairumā gadījumu tiem ir savstarpēji korelatīvas vērtības – , dodot iespēju pastarpināti novērtēt mērījumu kvalitāti.

Papildus jāņem vērā arī tādi tehniskie apsvērumi, kā vietas apgaismojums (iespējas precīzi nolasīt rezultātus), āra temperatūra (instrumentu izmantošanas nosacījumi),

nelabvēlīgi laika apstākļi (sniegs, lietus), kā arī mērīšanai nepieciešamais laiks (ilgstošu mērījumu veikšanas laikā eksponētās virsmas žūst un maina savas īpašības).

2.4. Pētījuma vietu ģeoloģiskais raksturojums

Kažoku karjers atrodas Austrumkursas augstienes austrumu nogāzē, Spārnenes viļņotā līdzenuma austrumu daļā, apmēram 2,5 km uz dienvidiem no Ozolpils. Pētījuma vietas ģeoloģiskā griezuma augšējo daļu veido sīkgraudainas līdz grantainas glaciofluviālas smilts slāņmija, kurai uzguļ vidēji 3 m bieza morēnas mālsmilts. Eksperimentālie pētījumi veikti gan morēnas, gan glaciofluviālajos nogulumos.

Ulmāles atsegums atrodas Piejūras zemienē, Baltijas jūras krastā, pie Ulmāles. Ģeoloģiskā griezuma pētīto daļu veido baseina (t.s., Ulmāles sērijas) sīkgraudaina smilts 5–6 m biezā slānī, kam sporādiski uzguļ morēnas nogulumi. Eksperimentālie pētījumi veikti griezuma smilšainajā daļā.

Mucenieku karjers atrodas Bandavas pauguraines dienvidrietumu daļā – Rietumkursas augstienes centrālajā daļā, aptuveni 5,5 km un dienvidaustrumiem no Aizputes. Šeit atsegto ģeoloģisko griezumu veido glaciofluviālas smilts un grants nogulumu slāņmija, kurai uzguļ blīva morēnas mālsmilts 1–3 m biezā slānī, kurā veikti eksperimentālie mērījumi.

Ānes karjers atrodas Viduslatvijas zemienes Tīreļu līdzenuma dienvidu daļā pie Ānes. Ģeoloģiskā griezuma virsējo daļu veido glaciolimniska mālaina aleirīta, aleirītisku mālu un slokšņu mālu slāņmija ar smalkgraudainas aleirītiskas smilts starpslānīšiem 1–3 cm biezumā griezuma augšējā daļā. Slāņkopas kopējais biežums svārstās 5–7 metru robežās. Eksperimentālie mērījumi šeit veikti mālainu aleirītu, aleirītisku mālu un aleirītiskās smilts slāņos.

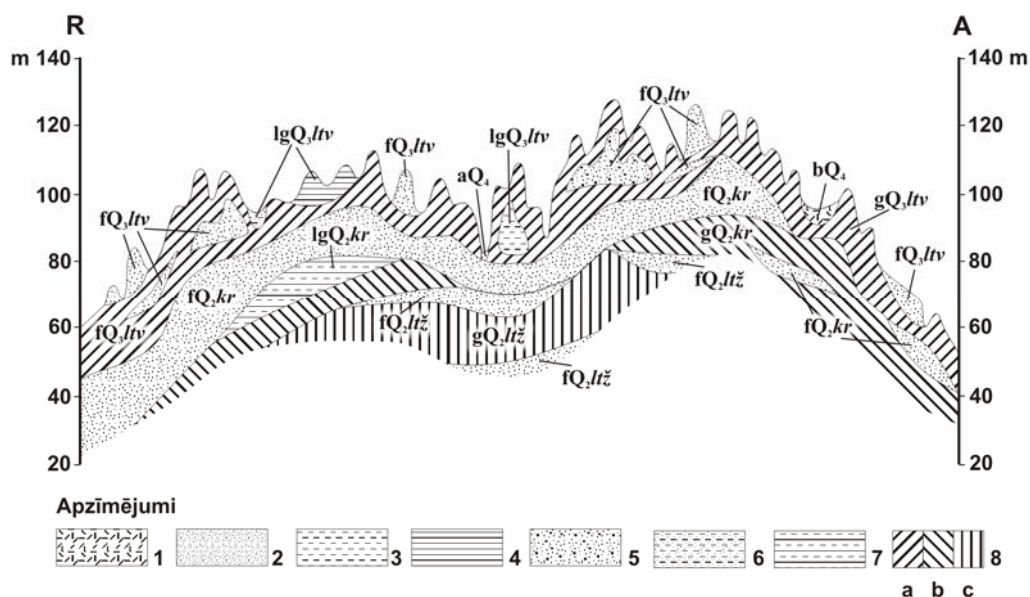
Lodes (Liepas) karjers atrodas Gaujas senielejā pie Liepas. Tā ģeoloģisko griezumu veido devona Gaujas reģionālā stāva Lodes svītas māli un aleirīti. Eksperimentālie mērījumi veikti slāņkopas mālainajā daļā līdz 3 metru dziļumam.

Sila karjers (2.11. attēls) atrodas Bandavas pauguraines dienvidrietumu daļā – Rietumkursas augstienes centrālajā daļā Aizputes apkārtnē, aptuveni 2 kilometrus uz rietumiem no Kalvenes dzelzceļa stacijas.



2.11. attēls. Pētījuma vietas (Sila karjera) atrašanās delatizēta shēma
 Figure 2.11. Detailed scheme of location of study site (in quarry Sils)

Reģionālā skatījumā pētījuma vietas kvartārģeoloģiskā griezuma pamata elementus veido Bandavas pauguraines dienvidu daļas pamatā izveidojies plašs pirmskvartāra iežu pacēlums, ko pārklāj aptuveni 60–80 m bieza kvartāra nogulumu slāņkopa. Tās apakšējo daļu veido līdz 20 m biezs morēnmāls ar retām smilts starpkārtām (2.12. attēls), ko pārsedz no 10–30 m biezs dažāda graudainuma smilts, grants vai aleirīta slānis, kurš izplatīts gandrīz visā paugurainē. Griezuma augšējā daļa sastāv no pēdējā apledoējuma nogulumiem – sarkanbrūnas un brūnas, vidēji blīvas morēnas ar daudzām dažāda biezuma deformētām smilts, grants un aleirīta starpkārtām vai ieslēgumiem. Šīs slāņkopas biezums mainās vidēji no 15–25 m. Zemes virspusē galvenokārt atsedzas morēna, kuru vietām, sevišķi pauguraines perifērijā un reljefa ieplakās, pārklāj līdz 2–4 m biezs aleirīta, smilts vai, retāk, māla slānis (Juškevičs *et al.* 1997).



2.12. attēls. Bandavas pauguraines dienviddaļas kvartāra nogulumu
shematisks griezum (pēc Juškevičs *et al.* 1997)

Apzīmējumi: 1 – kūdra; 2 – smilts; 3 – aleirīts; 4 – māls; 5 – smilts ar granti un oļiem; 6 – aleirītiska smilts, smilšains aleirīts; 7 – mālains aleirīts, aleirītisks māls; 8 – morēnas smilšmāls un mālsmilts: a) Latvijas svīta, b) Kurzemes svīta, c) Lētiņas svīta. Stratigrāfisko vienību apzīmējumi: Holocēns Q_4 Latvijas svīta Q_{3ltv} , Kurzemes svīta Q_{2kr} , Lētiņas svīta Q_{2ltz}

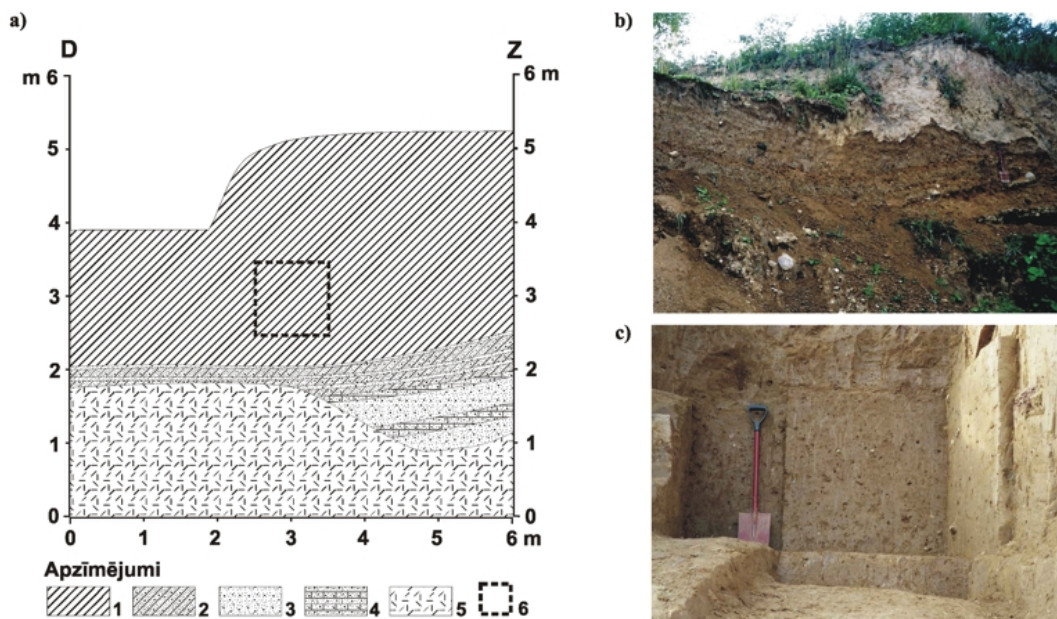
Figure 2.12. Generalised geological section of Bandava hilly area, south part (after Juškevičs *et al.* 1997)

Legend: 1 – peat; 2 – sand; 3 – silt; 4 – clay; 5 – gravely sand with pebbles; 6 – silty sand, sandy silt; 7 – clayey silt, silty clay; 8 – till loam and sandy loam: a) Latvia formation, b) Kurzeme formation, c) Letiza formation; Legend to stratigraphical units: Holocene Q_4 , Latvia series Q_{3ltv} , Kurzeme series Q_{2kr} , Letiza series Q_{2ltz}

Bandavas pauguraines dienvidu daļā reljefam raksturīga (Juškevičs *et al.* 1997) salīdzinoši labi izteikta formu vertikālā artikulācija, relatīvie augstumi vidēji aptuveni 15 m. Valtaiķu, Kalvenes, Ilmājas apkārtnē, kur veikts pētījums, izceļas ar atsevišķiem plašiem masīviem. Tos veido dažāda lieluma pauguri un grēdas, kuru virsotnes paceļas līdz 110–130 m v.j.l. Pauguru un grēdu nogāzes saposmā nelielas gravas un ielejas. Starp masīviem atrodas sīkpauguraines, kurās formu augstumu starpība reti pārsniedz 10 m, bet pauguru un masīvu uzbūve ir ļoti daudzveidīga. Visbiežāk tos veido dislocēti smilšaini un granšaini nogulumi ar aleirīta vai māla starpkārtām un 2–5 m biezu morēnas segu. Bieži sastopami arī tikai smilts materiāla veidoti pauguri un grēdas.

Detalizēta pētījuma vietas (Sila karjera rietumu sienā) atsegto ģeoloģisko griezumu veido 2,0–3,2 m biezs pelēkbrūnas morēnas mālsmilts slānis, kas uzguļ oļainiem smilts,

grants nogulumiem (2.13. attēls). Mālsmilts slāņa apakšējos 50 cm veido blīvs smilšmāls ar paaugstinātu oļu saturu un grants starpslāņiem. Morēnas un smilts grants kontaktu veido vidēji 10 cm biezs konglomerāta slānis, kam 50 cm zemāk smilts grants nogulumos seko otrs (apmēram 20 cm biezs) konglomerāta slānis. Savukārt smilts un grants nogulumu slāņa biezums karjera teritorijā izsekojams līdz apmēram 6 m dziļumam.

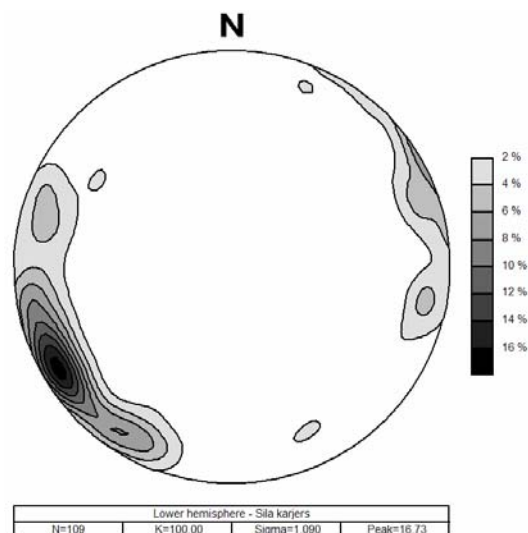


2.13. attēls. Sila karjers: a) Pētīto glaciģeno grunšu atseguma ģeoloģiskais griezum Sila karjerā un pētījuma vietas fotodokumentācija b) pirms pētījuma un c) pēc pētījuma
 Apzīmējumi: 1 – morēnās mālsmilts; 2 – mālsmilts ar lielu grants un oļu piejaukumu; 3 – smilts grants maisījums ar oļiem; 4 – konglomerāts; 5 – nobiras; 6 – mērijumu vieta (kubs)

Figure 2.13. Quarry Sils: a) Geological section of the studied glaciģenic soil outcrop in quarry Sils and study site photodocumentation b) before studies and c) after
 Legend: 1 – till sandy loam; 2 – sandy loam with high content of gravel and pebbles; 3 – sand with gravel and pebbles; 4 – conglomerate; 5 – scree; 6 – site of measurements (cube)

Izvēlētājā pētījuma vietā instrumentāli grunts īpašību mērijumi veikti morēnas smilšmāla masīvajā daļā 180 cm no zemes virsmas un 50 cm virs blīvā smilšmāla.

Sākotnēji izvēlētā pētījumu vietā veiktie oļu garenass orientācijas mērijumi un to vizualizācija (2.14. attēls) norāda, ka rezultējošais krituma azimuts ir aptuveni 240°, bet valdošais azimuts – 245°, sekundārais – 214°, un terciārais – 290°.



2.14. attēls. Oļu linearitātes mērījumu rezultāti glacigēnajos nogulumos

Sila karjerā (Karpovičs, Segliņš, 2009)

Figure 2.14. Stereonet plot of till fabrics in quarry Sils (after Karpovičs, Segliņš, 2009)

Diagramma kopumā norāda, ka morēna tā veidošanās laikā tikusi pakļauta spiediena ietekmei ZA virzienā. Līdz ar to pamatots varētu būt pieņēmums, ka arī morēnas fizikālās īpašības pētījuma vietā raksturos līdzīgas ietekmes.

2.5. Pārbaudes pētījuma pamatotībai un interpretācijas nodrošinājumam ar eksperimentālajiem datiem

Grunšu ģeotehnisko īpašību un sastāva novērtēšanai plaši izmantotas vairākas zondēšanas metodes (Robertson, Campanella, 1983; Campanella, Robertson, 1988; Bell, 1990; Lunne *et al.* 1997), starp kurām lietišķajos ģeotehniskajos un inženierģeoloģiskajos pētījumos izplatītākās ir statistiskās zondēšanas metodes. Visplašāk izmanto statistiskās zondēšanas metodi (*CPT*), tomēr maza mēroga pētījumiem tā nav piemērota savu izmēru dēļ – konusa virsmas laukums no 10 līdz 15 cm²; konusa virsotnes leņķis 60°. Iespējams izmantot rokas penetrometrus, kas ir mazāka izmēra – konusa virsmas laukums no 5 līdz 0,25 cm², savukārt virsotnes leņķis – 30° vai 60°, ļaujot veikt mērījumus nelielā attālumā vienu no otra. Tomēr rokas penetrometru izmantošana pētījumos visbiežāk aprobežojas ar kontroles mērījumiem grunts precīzākai raksturošanai lauku apstākļos. Vēsturiski šīs ekspresmetodes nav arī standartizētas (Fritton, 1990), lai arī to precizitāte būtiski pieaugusi

īpaši pēdējo gadu laikā (Osunbitan *et al.* 2005). Līdz ar to nav vispārpieņemtu vai citādi atzītu metodiku, veicot augstas kvalitātes mērījumus ar rokas penetrometriem, kurus aizstāj vairāki rekomendējoši standarti mērījumu veikšanas reglamentēšanai (ASAE..., 1999). Tādēļ, lai vispārinātu konusa iespiešanas pretestības mērījumu rezultātus un apstiprinātu to ticamību, veikti salīdzinošie mērījumi. Kā veiksmīgi šajā nozīmē izceļami vairāki paralēlie konusa iespiešanas un lāpstiņu zondes pretestības mērījumi (van Wijk, Beuving, 1975; Larney, Kladivko, 1989; Bachmann *et al.* 2006).

Rokas penetrometrus izmanto vairākās nozarēs, taču līdz šim tie visplašāk lietoti augsnes zinātnē, lai noskaidrotu, kā dažādi augsnes apstrādes paņēmieni ietekmē augsnes noblīvētību un dažādu kultūraugu ražību (Whelers *et al.* 1983; Munkholm *et al.* 2005). Līdzīgi pētījumu virzieni saistīti ar grunšu noblīvētības novērtējumu, plānojot pagaidu ceļus un nosakot sporta laukumu virsmas kvalitāti (van Wijk, Beuving, 1975). Būtiska nozīme rokas penetrācijas metodes un instrumentu attīstībā ir ASV armijas inženieru korpusa pētnieku grupai (Fatherree, 2006). Lai pārbaudītu šo sakarību arī attiecībā uz autora pētītajām glacigēnajām gruntīm (Karpovičs, 2008^a), veikti līdzīgi salīdzinošie pētījumi, kas tika papildināti ar salīdzinošajiem konusa iespiešanas pretestības un „Proktora penetrometrijas” mērījumiem. Turklāt veikti papildu pētījumi, lai noskaidrotu metodes jutīgumu. Šai nolūkā tika novērtēta glacigēno (morēnas) grunšu dēdēšanas ietekme uz to īpašībām. Literatūrā aprakstīta grunšu (Mitchel, Soga, 2005), t.sk., glacigēno, (Trenter, 1999) stiprības pazemināšanās dēdēšanas ietekmē, kas izmantota kā indikatīvā pazīme grunts īpašību izmaiņu pētīšanai.

Ne mazāk svarīgs aspekts, veicot *in situ* mērījumus, ir grunts dabīgā mitruma un līdz ar to arī īpašību izmaiņas, veicot mērījumus ilgāku laiku atklātā atsegumā, kas jānovērtē skaitliski. Šai nolūkā veikti grunts žūšanas instrumentāli mērījumi atsegumā, uzrādot dažāda sastāva grunšu mitruma izmaiņas laikā un ļaujot apzināt šī faktora ietekmi uz grunts īpašībām.

2.5.1. Grunts stiprības salīdzinošie mērījumi

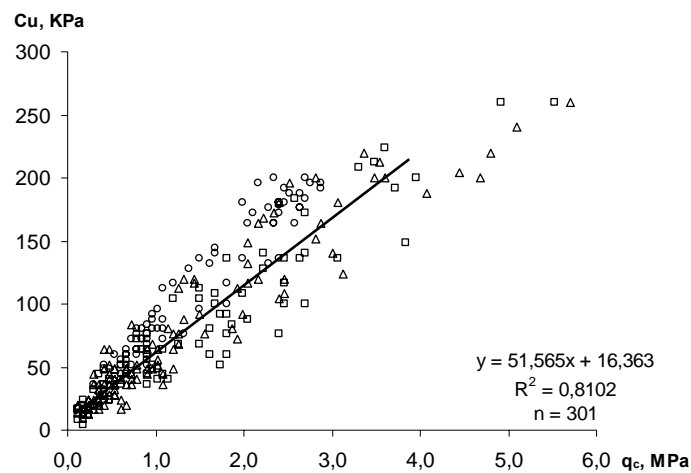
Lai pārbaudītu konusa iespiešanas pretestības mērījumu ticamību, veikti paralēli, sistematiski grunts stiprības *in situ* mērījumi. Rokas penetrometra konusa iespiešanas pretestības mērījumu rezultāti salīdzināti ar divu atšķirīgu metožu un instrumentu –

lāpstiņu zondes un Proktora penetrometra – mērījumu rezultātiem, kas iegūti, veicot paralēlos mērījumus.

Penetrācijas mērījumi veikti ar Eijkelkamp rokas (IB tipa) penetrometru (konusa virsmas laukums $0,25 \text{ cm}^2$, virsotnes leņķis 30°), ar ko iespējams mērīt konusa iespiešanas pretestību diapazonā no 0 līdz 60 kg/cm^2 ar $\pm 8\%$ precizitāti. Lāpstiņu zondes bīdes pretestība tika mērīta ar portatīvu rokas lāpstiņu zondi (lāpstiņu izmēri $16 \times 32 \text{ mm}$), ar ko iespējams izmērīt lāpstiņu zondes bīdes pretestību diapazonā no 0 KPa līdz 260 KPa, bet Proktora penetrometra iespiešanas pretestība – attiecīgi ar Proktora penetrometru (izmantotās adatas virsmas laukums $0,62 \text{ cm}^2$), ar ko iespējams mērīt, t.s., Proktora konusa indeksu diapazonā $0\text{--}90,3 \text{ kg/cm}^2$.

Mērījumi realizēti glacigēnajās mālsmilts gruntīs, veicot sistemātiskas paralēlu mērījumu sērijas trijās ģeogrāfiski atšķirīgās vietās Latvijā (2.4. nodaļa). Kopā veikti 428 paralēli konusa iespiešanas pretestības un lāpstiņzondes pretestības (301) un Proktora penetrācijas pretestības (127) mērījumi.

Pētījumā iegūto datu interpretācijai izveidoti šo mērījumu rezultātu atkarību grafiki (2.15. un 2.16. attēls), kā arī aprēķināti determinācijas koeficienti R^2 .

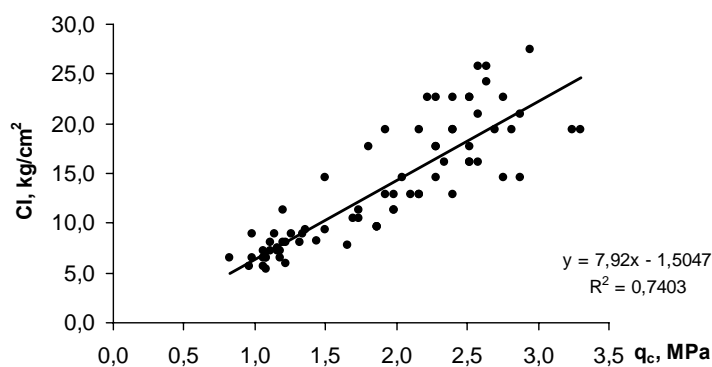


2.15. attēls. Glacigēno grunšu konusa iespiešanas pretestības (q_c) un lāpstiņu zondes bīdes pretestības (C_u) vērtību savstarpējās atkarības ($n=301$) (pēc Karpovičs, 2008^a)

Apzīmējumi: Δ – Mucenieku karjers; \square – Kažoku karjers; \circ – Sila karjers

Figure 2.15. Mutual correlation of glacigenic soil cone resistance (q_c) with vane shear resistance (C_u) values ($n=301$) (after Karpovičs, 2008^a)

Legend: Δ – Mucenieki quarry; \square – Kazoki quarry; \circ – Sils quarry



2.16. attēls. Glacigēno grunšu konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un Proktora penetrācijas pretestības (CI , kg/cm^2) vērtību savstarpējās atkarības ($n=127$) (pēc Karpovičs, 2008^a)

Figure 2.16. Mutual correlation of glacigenic soil cone resistance (q_c , MPa) with resistance of Proctor penetration (CI , kg/cm^2) values ($n=127$) (after Karpovičs, 2008^a)

Iegūtie īpašību atkarību grafiki norāda, ka pastāv dažādas pakāpes atkarības starp mērītajiem parametriem (C_u , CI un q_c). Starp konusa iespiešanas pretestības (q_c) un lāpstiņu zondes bīdes pretestības (C_u) mērījumu rezultātiem novērota ciešāka atkarība (2.15. attēls) nekā kā starp konusa iespiešanas pretestības (q_c) un Proktora penetrācijas pretestības (CI) mērījumu rezultātiem, taču augstie determinācijas koeficienti ($R^2 = 0,81$ un $0,74$) liecina, ka konstatētās atkarības statistiski ir nozīmīgas. Vienlaicīgi pētījumā autors nekonstatēja atšķirības minētajām atkarībām ģeogrāfiski atšķirīgās teritorijās. Tas liecina, ka novērotā atkarība, iespējams, ir likumsakarīga glacigēnajām gruntīm.

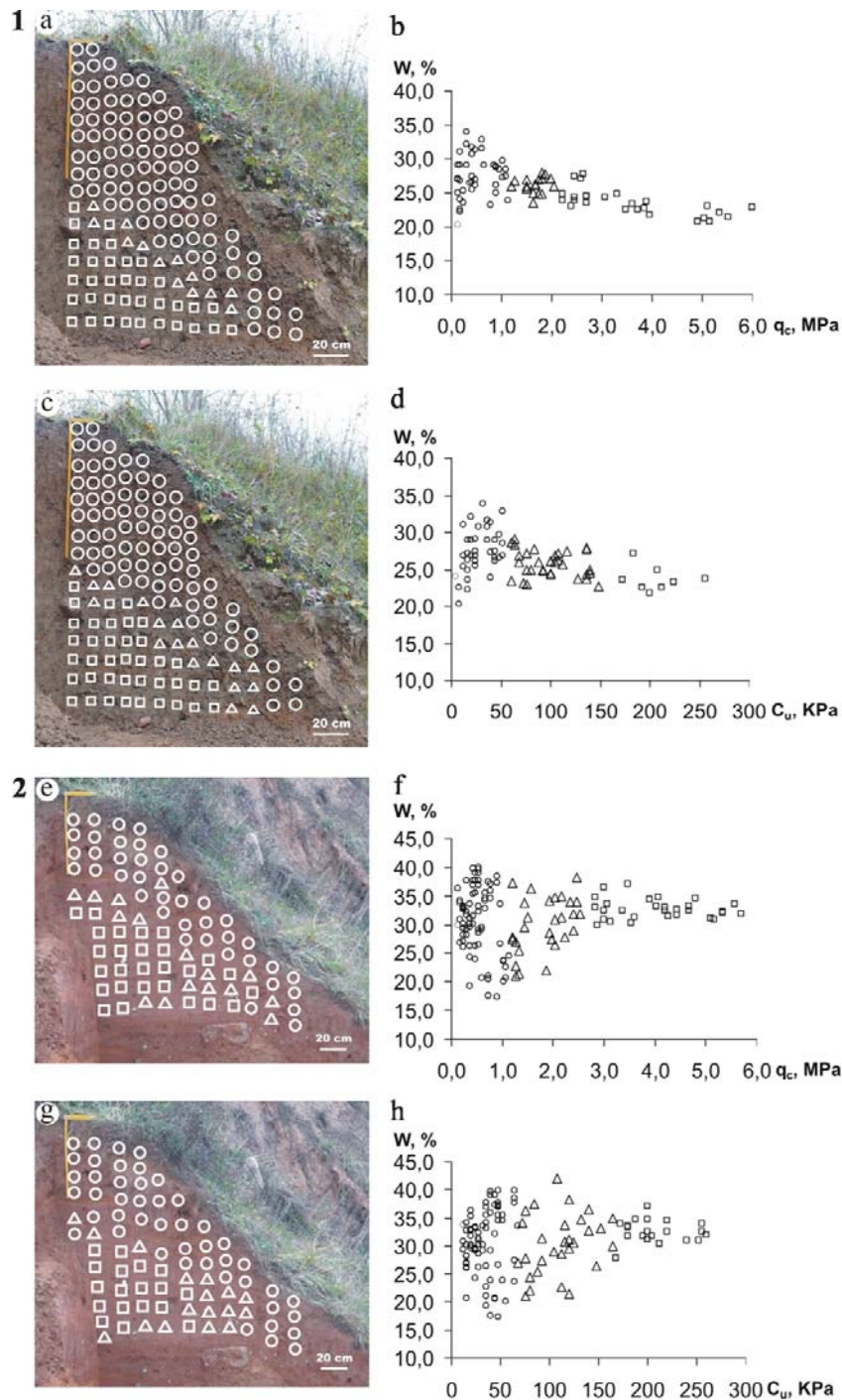
2.5.2. Grunts stiprības atkarība no tās dēdējuma pakāpes

Eksperimenta mērķis bija noskaidrot grunts dēdēšanas ietekmi uz to fizikāli mehāniskajām īpašībām. Katrā no tīkla šūnām, uz virsmas, kas novietota perpendikulāri svaigi atsegta atseguma sienai – pavisam trijos atsegumos – veikts 301 glacigēno grunšu dabīgā mitruma, konusa iespiešanas pretestības – q_c un lāpstiņu zondes bīdes pretestības – C_u sistemātisks mērījums vienmērīgā tīklā *in situ*. Penetrācijas mērījumi veikti ar Eijkelkamp rokas (IB tipa) penetrometru, ar ko iespējams izmērīt konusa iespiešanas pretestību diapazonā no 0 līdz $60 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ar $\pm 8\%$ precizitāti. Mitruma mērījumi – attiecīgi

ar ΔT (Delta-T Devices) mitruma mēritāju SM-200 –, ar ko iespējams noteikt tilpuma mitrumu 0 līdz 50% diapazonā ar $\pm 3\%$ precizitāti. Lāpstiņu zondes bīdes pretestība izmērīta, izmantojot lāpstiņu iekārtu, kura ļauj mērīt lāpstiņu zondes bīdes pretestību diapazonā no 0 līdz 260 KPa.

Pētījumā paralēli veikti visu trīs parametru mērījumi, kas ļautu novērtēt atkarības starp šo parametru vērtībām, ja tādas tiktu novērotas. Lai pārliecinātos, ka iegūtajām sakarībām nav lokāls raksturs, sākotnējais eksperiments Sila karjerā atkārtots divos citos atsegumos – Mucenieku un Kažoku karjerā.

Tomēr pamatotas un vērā ņemamas ir pētnieku norādes (Mitchel, Soga, 2005), ka mērījumu rezultāti ir būtiski atkarīgi no glacigēno nogulumu pārveides eksogēno procesu ietekmē. Tādēļ bija nepieciešams veikt īpašu pētījumu, kas ļautu novērtēt šādas ietekmes Latvijas apstākļos, nošķirot neizmainīto daļu pēc iespējas patiesu grunts īpašību savstarpējo atkarību novērtēšanai. Šādā pētījumā iegūto datu tālākajai interpretācijai mērīto parametru q_c un C_u vērtību sadalījums attēlots uz atseguma ar apzīmējumiem, grunti nosacīti sadalot ārējo procesu izmainītajā, pārejas un neizmainītajā zonā (2.17. attēls). Kopumā veiktie mērījumi norāda, ka dēdēšanas procesu ietekme glacigēnajās gruntīs ir konstatēta, un tā ir instrumentāli mērāma, kā arī fiksētas divu mērīto parametru – q_c un C_u – vērtību sadalījuma likumsakarības (2.15. attēls). Mitruma sadalījumam šāda veida likumsakarības nav novērotas, taču šis parametrs izmantots kā indikatīvais – q_c un C_u vērtību sadalījuma noskaidrošanai (2.17. b, d, f, h attēls).



2.17. attēls. a, e: Konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un c, g: lāpstīņu zondes bīdes pretestības (C_u , KPa) vērtību sadalījums glacigēnajās gruntīs.

b, d: Mitruma un to konusa iespiešanas pretestības un f, h: lāpstīņu zondes bīdes pretestības vērtību savstarpējā atkarība 1) Mucenieku karjerā un 2) Kažoku karjerā
(pēc Karpovičs, 2008^a)

Apzīmējumi: q_c ○ – 6,0 – 2,5 MPa; △ – 2,5 – 1,1 MPa; □ – 1,1 – 0 MPa, un
 C_u , ○ – 250 – 140 KPa; △ – 140 – 55 KPa; □ – 55 – 0 KPa

Figure 2.17. a, e: Spatial distribution of cone resistance (q_c , MPa) and c, g: vane shear resistance (C_u , KPa) values in glacial soils.

Mutual correlation b, d: of moisture and cone resistance and f, h: vane shear resistance 1) Mucenieki quarry un 2) Kažoki quarry (after Karpovičs, 2008^a)

Legend: q_c ○ – 6,0 – 2,5 MPa; Δ – 2,5 – 1,1 MPa; □ – 1,1 – 0 MPa, and
 C_u , ○ – 250 – 140 KPa; Δ – 140 – 55 KPa; □ – 55 – 0 KPa

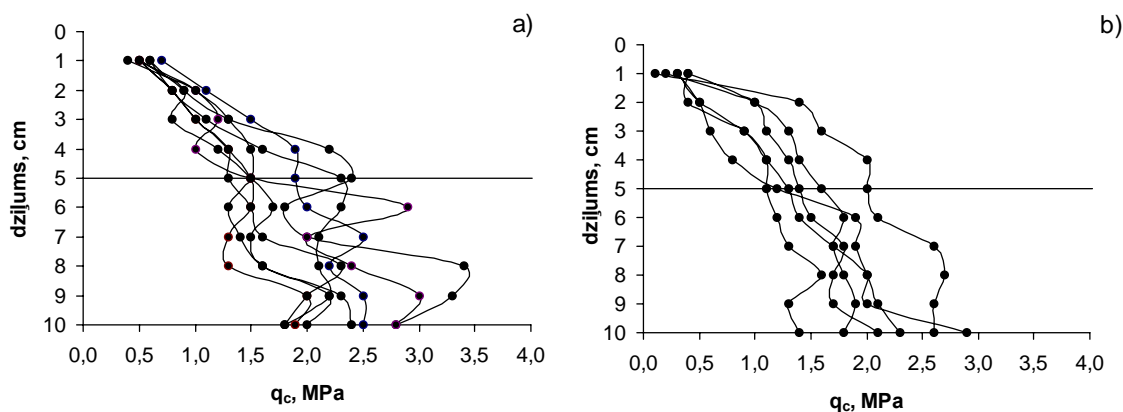
Pētījumā izmantotā pieeja (Karpovičs, 2008^b) ļāva konstatēt, ka novērotās q_c vērtību sadalījuma likumsakarības (2.17. a, e attēls) ir līdzīgas C_u vērtību sadalījumam, un to ilustrē gan šo parametru vērtību izkliedes attēli (2.17. c, g attēls), gan savstarpējo atkarību grafiks (2.15. attēls) un salīdzinoši augstais determinācijas koeficients $R^2 = 0,85$. Mitruma sadalījumā šādas likumsakarības nav novērotas, taču šis parametrs izmantots kā indikatīvais rādītājs q_c un C_u vērtību sadalījuma turpmākajai noskaidrošanai (2.17. c, g attēls).

2.5.3. Konusa iespiešanas pretestības atkarība no mērīšanas dziļuma

Šī eksperimenta mērķis ir pārbaudīt, kā q_c vērtības mainās atkarībā no mērījuma dziļuma, lai noskaidrotu, kāds ir optimālais mērījuma nolasīšanas dziļums.

Eksperiments tika veikts Kažoku karjerā morēnas mālsmiltī ar dabīgo mitrumu no 13,3% līdz 14,5%. 15 punktos tika veikti q_c mērījumi ar Eijkelkamp rokas (IB tipa) penetrometru. Ar šo mēraparātu iespējams noteikt konusa iespiešanas pretestību diapazonā no 0 līdz 60 kg/cm² ar $\pm 8\%$ precizitāti – konusa virsmas laukums 0,25 cm², virsotnes leņķis 30°. Konusa iespiešanas pretestības mērījumi veikti 15 punktos līdz 10 cm dziļumam, veicot nolasījumus ar soli 1 cm. Mērījumi veikti gan vertikāli – 8 punktos, gan horizontāli – 6 punktos. Mērījumu rezultāti fiksēti lauka grāmatiņā, bet vēlāk ievadīti un uzglabāti *MS Excel* elektroniskajā tabulā.

Iegūto mērījumu rezultātu tālākajai interpretācijai sastādīti grafiki gan vertikāli, gan horizontāli veiktajiem mērījumiem, vizualizējot q_c vērtību atkarību no mērīšanas dziļuma. Grafikos (2.18. a) attēls) vērojama tendence vertikāli veikto mērījumu q_c vērtībām pieaugt līdz aptuveni 5 centimetru dziļumam, pēc kura tās stabilizējas. Atzīmējams, ka līdzīgas sakarības novērotas arī horizontāli veiktajiem mērījumiem (2.18. b) attēls).



2.18. attēls. Konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtību atkarība no mērīšanas dziļuma un mērīšanas virziena glacigēnajās gruntīs: a) vertikāli veiktajiem mērījumiem un b) horizontāli veiktajiem mērījumiem

Figure 2.18. Glacigenic soil cone resistance (q_c) mutual correlation with sampling depth and direction: a) for measurements made vertically and b) for measurements made horizontally

Ņemot vērā konstatēto sakarību, tālākajiem glacigēno grunšu pētījumiem noteikts optimālais konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtības nolasišanas dziļums – 5 cm. Tas ir svarīgi šādu iemeslu dēļ: bija jānoskaidro dziļums, kurā iegūtā q_c vērtība būtu raksturīga noteiktajam grunts tilpumam (šajā gadījumā 10 cm^3) un, otrkārt, – tālākajai datu interpretācijai bija svarīgi, lai mērījumi būtu veikti regulārā tīklā.

Konstatētā likumsakarība novērota glacigēnajās (morēnas) gruntīs, q_c vērtību intervālā no 0,2 līdz 3,4 MPa, kas ir tuvu mērītajam citos glacigēno grunšu atsegumos. Tomēr nākotnē būtu veicami papildu mērījumi, lai šo likumsakarību apstiprinātu gan glacigēnajās, gan atšķirīgas ģenēzes gruntīs.

2.5.4. Penetrometra konusa virsmas nodiluma pakāpes ietekme uz mērījumu precizitāti

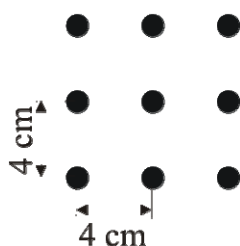
Lai noskaidrotu q_c vērtību izmaiņas penetrometra konusa virsmas nodiluma ietekmē, veikti paralēli penetrācijas mērījumi ar dažādas pakāpes nodiluma konusiem.

Eksperiments veikts 2008. gada 5. maijā Sila karjerā. Šai nolūkā realizēti paralēli q_c mērījumi glacigēnajās (morēnas mālsmits) gruntīs ar trīs vienāda sākotnējā izmēra

(diametrs 5,6 mm, virsmas laukums $0,25\text{cm}^2$, virsotnes leņķis 30°), dažādas nodiluma pakāpes konusiem:

1. pēc ~4500 mērījumiem;
2. pēc ~1000 mērījumiem;
3. nelietots.

Kopā veikti 63 sistemātiski mērījumi, nolasot penetrometra rādījumus 5 cm dziļumā, 7 punktos pēc shēmas – 1 punktā 3 mērījumi ar katru no konusiem 4 cm attālumā vienu no otra (2.19. attēls). Mērījumi veikti atseguma sienā perpendikulāri tās virsmai. Mērījumu nolasīšanas dziļums izvēlēts tāds pats kā iepriekšējā eksperimentā (2.5.3. nodaļa), un attālums starp mērījumiem izraudzīts, lai iegūtie rezultāti būtu salīdzināmi.



2.19. attēls. Konusa iespiešanas pretestības (q_c) mērījumu izvietojuma shēma vienā mērījumu punktā. Augšējā rindā mērījumi ar pirmo konusu, vidējā – ar otro un apakšējā – ar trešo

Figure 2.19. Location scheme of cone resistance (q_c) measurements in one measurement point. Upper row – measurements with first cone, middle row – with second and lower row – with third

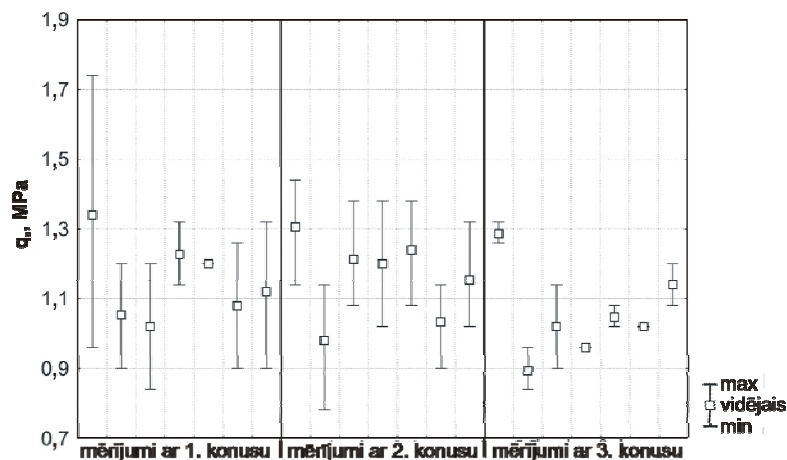
Rezultāti reģistrēti lauka grāmatiņā, turklāt veicot arī eksperimenta vietas fotodokumentāciju. Tālākai mērījumu rezultātu apstrādei izveidota datu bāze datorprogrammā *MS Excel*, kas satur katram mērījumu punktam atbilstošos penetrometra mērījumu rezultātus nosacītajā skalā, kas tika pārrēķināti q_c vērtībās MPa. Datu tālākajai interpretācijai aprēķināts katra konusa maksimālās, minimālās un vidējās aritmētiskās q_c vērtības un variācijas koeficients (2.3. tabula), kā arī sastādīti savstarpējo atkarību grafiki, kur katra punkta vidējā aritmētiskā q_c vērtība noteikta ar visiem trim konusiem (2.21. attēls). Minētā pieeja ļāva novērtēt gan ar dažāda nodiluma konusiem mērīto q_c vērtību diapazonus, gan korelatīvās atkarības starp tiem un novērtēt konusa nodiluma ietekmi uz mērījumu rezultātiem, veicot lielu (vairāki tūkstoši) mērījumu skaitu.

2.3. tabula. Trīs eksperimentā izmantoto konusu iespiešanas pretestības (q_c , MPa)
statistiskie rādītāji

Table 2.3. Statistical indices of cone resistance (q_c , MPa) of three cones used in experiment

Rādītāji	1. konuss (pēc ~4500 mērījumiem)	2. konuss (pēc ~1000 mērījumiem)	3. konuss (nelietots)
maksimālās vērtības	1,3	1,5	1,1
minimālās vērtības	1,1	1,0	0,9
vidējais aritmētiskais	1,1	1,2	1,0
variācijas koeficients	0,02	0,02	0,01

Katrā mērījumu punktā ikviena atsevišķā konusa mērījumu rezultātiem aprēķinātas q_c vērtību svārstību robežas absolūtajās vērtībās – katrai trīs mērījumu sērijai ar katru no konusiem, katra mērījumu punkta robežās, kas attēlotas grafikā (2.20. attēls). Veicot šādu eksperimentu, tas bija svarīgi, jo šī eksperimenta mērījumu punkta laukums bija 12 cm^2 , kas ir tuvs autora veiktā pētījumā izvēlētajam (10 cm^2). Tā kā autora veiktajā pētījumā mērījumi veikti $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ šūnā, kur izpildīts viens mērījums katrā no trim virzieniem. Raugoties, lai mērījumu rezultātā grunts netiktu sagrauta un iegūtie rezultāti būtu reprezentabli, iespējamo mērījumu atkārtotības skaits bija ierobežots. Līdz ar to bija svarīgi novērtēt q_c vērtību svārstību robežas viena mērījumu punkta robežās.



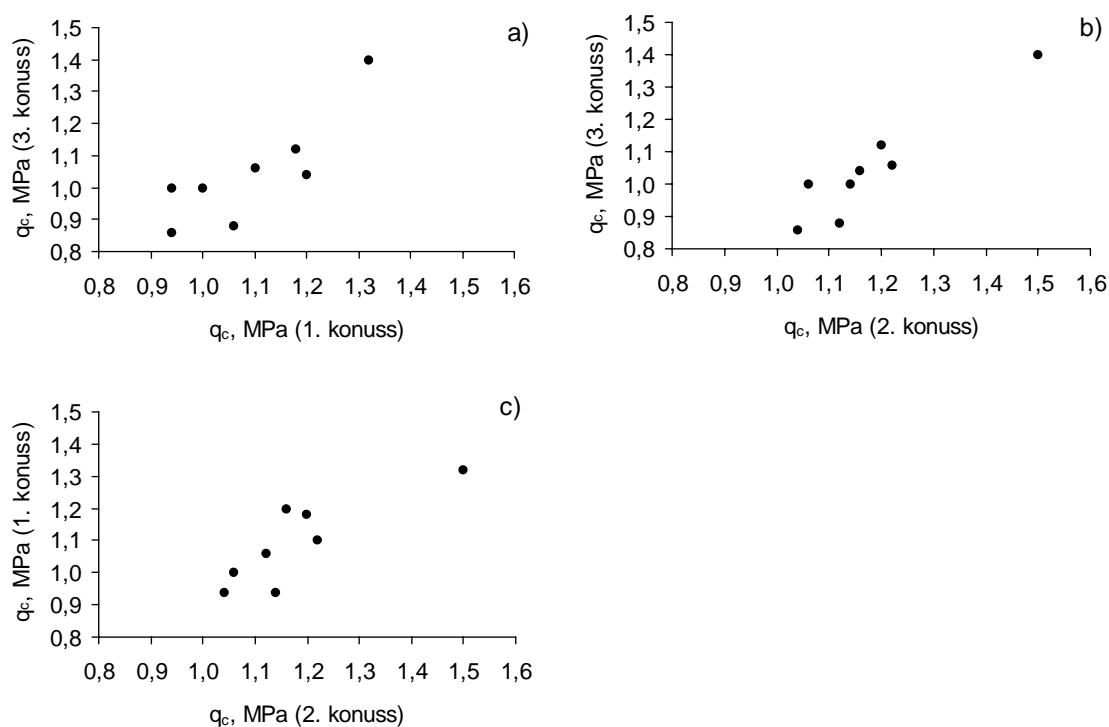
2.20. attēls. Konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtību sadalījums katrai mērījumu sērijai ar katru no trijiem eksperimentā izmantotajiem konusiem

Figure 2.20. Distribution of cone resistance values for each measurement series with each of three cones, used in experiment

Aprēķinātās q_c vērtību svārstību robežas bija intervālā no 0,0 līdz 0,8 MPa ar vidējo aritmētisko vērtību 0,2 MPa. Jāpiemin, ka vērtību svārstību robežu vidējās aritmētiskās vērtības būtiski neatšķiras starp mērījumiem ar dažādiem konusiem, t.i., nelietotā konusa q_c vērtību svārstību robežu vidējā aritmētiskā vērtība ir 0,1 MPa, bet abiem pārējiem konusiem – attiecīgi 0,3 MPa, kas redzams arī grafikā (2.20. attēls).

No iepriekš minētā izriet, ka autora veiktajā pētījumā izvēlētais viens mērījums uz 10 cm² ir pietiekams, lai iegūtu korektus un reprezentablus konusa iespiešanas pretestības mērījumu rezultātus.

Rezultātu salīdzināšanai tika sastādīti q_c vērtību savstarpējo atkarību grafiki (2.21. attēls).



2.21. attēls. Eksperimentā izmantoto trīs konusu iespiešanas pretestības q_c vērtību savstarpējo atkarību grafiki

Apzīmējumi: 1. konuss (pēc aptuveni 4500 mērījumiem), 2. konuss (pēc aptuveni 1000 mērījumiem) un 3. konuss (nelietots)

Figure 2.21. Graphs of mutual correlation of cone resistance q_c values of three cones, used in experiment

Legend: 1st cone (after approximately 4500 measurements), 2nd cone (after approximately 1000 measurements) and 3rd cone (not used).

Iegūto q_c vērtību savstarpējo atkarību grafiki rāda (2.21. attēls), ka kopumā ar visiem trim konusiem iegūtās q_c vērtības ir savstarpēji atkarīgas. Šī atkarība novērota nelielā q_c vērtību intervālā (0,9 – 1,5 MPa), kas aptuveni ir instrumenta mērījumu kļūdas robežās. Tomēr autors pieņem, ka, veicot mērījumus plašākā q_c vērtību intervālā, konstatētās atkarības saglabātos.

No minētā var secināt, ka, veicot atkārtotus mērījumus pēc tam, kad realizēts ievērojams skaits konusa iespiešanas pretestības mērījumu (~4500 mērījumi), atkārtoto mērījumu precizitāti konusa nodilums būtiski neietekmē. Atzīmējams, ka šīs sakarības novērotas nelielā q_c vērtību diapazonā (~0,5 MPa). Minētais norāda, ka ir iespējams iegūt reprezentablus rezultātus, veicot detalizētus pētījumus ar lielu mērījumu skaitu.

2.5.5. Dabīgā mitruma mērījumu precizitātes novērtējums

Eksperimenta mērķis bija noskaidrot, kāds ir dažāda granulometriskā sastāva grunšu izmērīto dabīgā mitruma vērtību atkarību ciešums, veicot paralēlus *in situ* mērījumus gan ar diviem līdzīgas klases mitruma mērītājiem, gan ar diviem vienādas markas sensoriem, turklāt arī dažādu ekspluatācijas laiku. Kā arī ar dažādajiem sensoriem iegūto mitruma mērījumu rezultātu salīdzināšana ar laboratorijā noteiktajiem.

Salīdzinošie *in situ* mitruma mērījumi veikti 2008. gada aprīlī, dažādas ģenēzes un sastāva gruntīs, kā arī atšķirīgās teritorijās ģeogrāfiskajā telpā:

1. glaciģēnajā mālsmiltī (Kažoku karjerā, Tukuma rajonā un Sila karjerā, Liepājas rajonā);
2. glaciofluviālajā smiltī (Kažoku karjerā, Tukuma rajonā);
3. glaciolimniskajos mālos, aleirītos un smalkgraudainajās smiltīs (Ānes karjerā Jelgavas rajonā).

Eksperimentā izmantoti trīs mitruma mērīšanas sensori. No tiem divi bija ΔT mitruma mērīšanas sensori SM200 (Delta-T Devices; adatu garums 51 mm, mērīšanas

diapazons 0–50%, precizitāte $\pm 3\%$). Eksperimenta veikšanas brīdī ar vienu no sensoriem veikti aptuveni 6000 mērījumu, turpretī otram veikti tikai kalibrācijas mērījumi ražotāja rūpnīcā. Trešais eksperimentā izmantotais mērinstruments bija ΔT mitruma mērīšanas sensors ML2x (Delta-T Devices; adatu garums 60 mm, precizitāte $\pm 5\%$). Datu nolasīšanai izmantotas divas HH2 datu nolasīšanas ierīces, kas savietojamas ar visiem izmantotajiem sensoriem.

Konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumi veikti šim mērķim tikko attīrītos atsegumos (2.22. attēls), kur pārstāvēti dažāda granulometriskā sastāva viendabīgi nogulumu vai to slāņmija, kur atsevišķu slāņu biezums ļautu ievietot sensoru. Katrā no atsegumiem (apm. 1x1 m), realizētas paralēlas mērījumu sērijas ar katru no sensoriem. Abas mērījumu sērijas veiktas slejās, kur attālums starp mērījumiem bija 5 cm. Iegūtie *in situ* dati – mērīšanas datums, laiks un tilpuma mitrums – tika reģistrēti mitruma mērītāja atmiņas blokā, pēc tam pārnesot datorā. Kopā veikti 115 paralēli mitruma mērījumi un ievākti 17 grunts paraugi svara mitruma noteikšanai laboratorijā.



2.22. attēls. Dabīgā mitruma mērījumi Kažoku karjerā sīkgraudainas smilts atsegumā

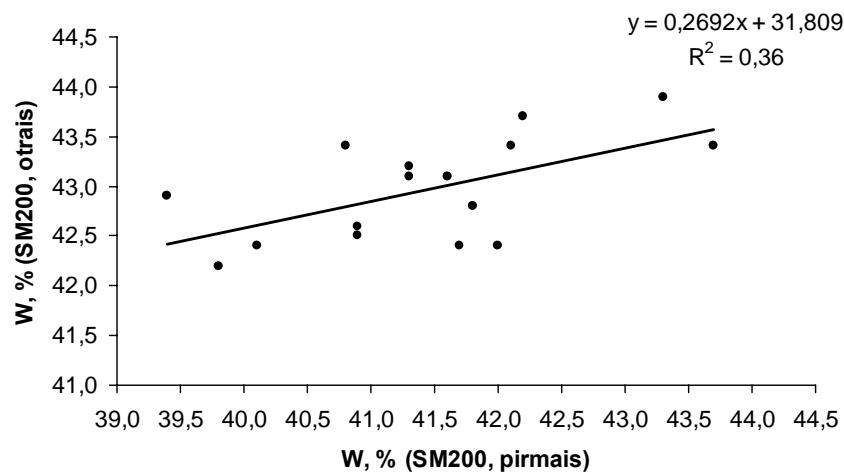
Figure 2.22. Measurements of natural moisture in fine-grained outcrop of Kazoki quarry

Mitruma noteikšanai laboratorijā izlases kārtībā no visiem grunšu tipiem paņemti 16 paraugi. Katrs atsevišķais paraugs ņemts *in situ* mitruma mērīšanas punktā ar paraugu ņemšanas gredzena (tilpums 100 cm³) palīdzību. Katrs no gredzeniem ar paraugu tika cieši

ietīts polietilēna plēvē, lai nezaudētu mitrumu līdz nogādāšanai laboratorijā. Laboratoriskās analīzes veiktas LU ĢZZF Iežu laboratorijā nākamajā dienā pēc lauka darbiem. Lai noteiktu grunšu mitrumu laboratorijā, iegūtie paraugi tika nosvērti un žāvēti 24 stundas pie 105°C, bet pēc tam svērti atkārtoti.

Datu interpretācijai sastādīti iegūto mērījumu rezultātu atkarību grafiki (2.23. – 2.30. attēls), parādot gan ar dažādiem sensoriem mērītās tilpuma mitruma atkarības katram grunts tipam, gan atsevišķo sensoru izmērītā tilpuma mitruma atkarības no laboratorijā noteiktā mitruma, kā arī statistiskos aprēķinus katrai datu kopai. Eksperimentos iegūtie rezultāti un konstatētās sakarības aprakstītas nākamajās apakšnodaļās.

Paralēli mērījumi ar sensoriem SM200 veikti glaciģēnās ģenēzes mālsmiltī Kažoku karjerā; pavisam veikti 32 mērījumi – 16 mērījumi ar katru no sensoriem. Ar abiem sensoriem iegūto tilpuma mitruma vērtību salīdzinājums norāda, ka pat 4% mitruma intervālā novērojama saikne starp abu sensoru mērījumiem (2.23. attēls).

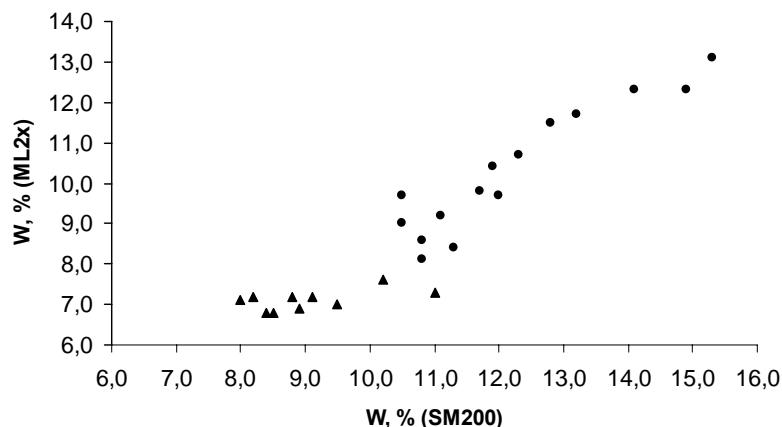


2.23. attēls. Ar diviem SM200 mitruma mērīšanas sensoriem iegūto rezultātu atkarība

Figure 2.23. Mutual correlation of results, acquired by two moisture sensors SM200

Paralēlie mērījumi ar sensoriem SM200 un ML2x. Kopā izdarīti 69 mērījumi glaciģēnajā mālsmiltī, glaciofluviālajā sīk- un vidējgraudainajā smiltī, glaciolimniskajos mālos, aleirītos un smalkgraudainajās smiltīs. Iegūto rezultātu statistiskā apstrāde ļāva konstatēt, ka starp abu tipu sensoru mērījumu rezultātiem pastāv dažāds atkarību ciešums, kas aprakstīts turpmāk.

Glaciofluviālajās smiltīs veikti 25 paralēli tilpuma mitruma mērījumi, pēc tam iegūtos rezultātus apstrādājot un vizualizējot grafiski.



2.24. attēls. Ar diviem mitruma mērīšanas sensoriem (SM200 un ML2x) iegūto rezultātu atkarība

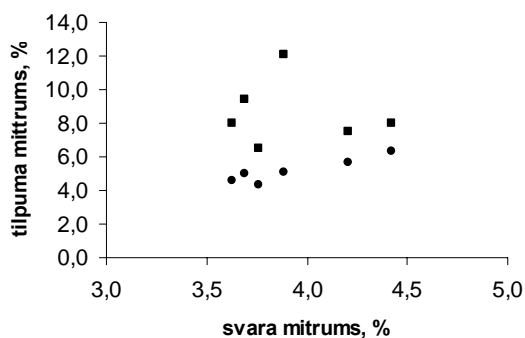
Apzīmējumi: ▲ – sīkgraudaina smiltis, ● – vidējgraudaina smiltis

Figure 2.24. Mutual correlation of results, acquired by two moisture sensors SM200 and ML2x

Legend: ▲ – fine sand, ● – medium coarse sand

Kā norāda mērījumu rezultātu atkarību grafīks (2.24. attēls), smilšainajās gruntīs kopumā pastāv cieša atkarība starp abu sensoru rādījumiem.

Līdzīga sakarība konstatēta arī starp tilpuma un svara mitruma vērtībām (2.25. attēls).

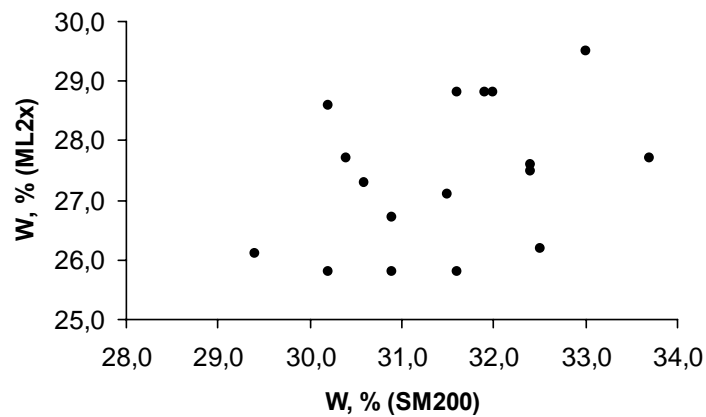


2.25. attēls. Tilpuma un svara mitruma atkarība mērījumiem smilšainajās gruntīs

Figure 2.25. Mutual correlation of sandy soil volumetric moisture with gravimetric moisture

Pēc autora domām, sensora SM200 mērījumu vērtību izvietojumā (2.25. attēls) novērojamā nobīde visdrīzāk saistīta ar smalkgraudaināku nogulumu ieslēgumu, kas mērīšanas laikā nebija novērojama.

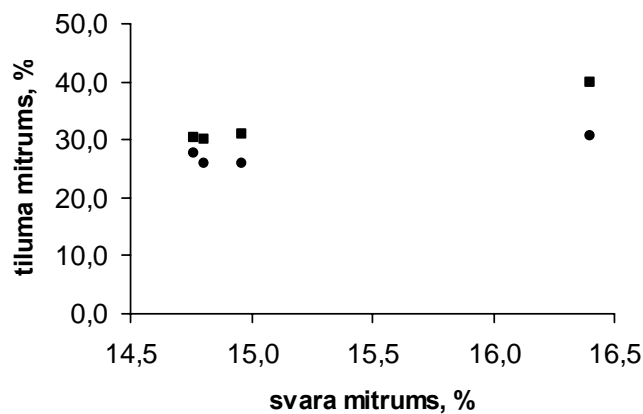
Veicot eksperimentu glacigēnajā mālsmiltī, izdarīti 17 paralēli tilpuma mitruma mērījumi ar sensoriem SM200 un ML2x.



2.26. attēls. Glacigēnās mālsmiltis tilpuma mitruma mērījumu (ar sensoriem SM200 un ML2x) vērtību atkarība

Figure 2.26. Mutual correlation of glacigenic sandy loam volumetric moisture values, acquired by sensors SM200 and ML2x

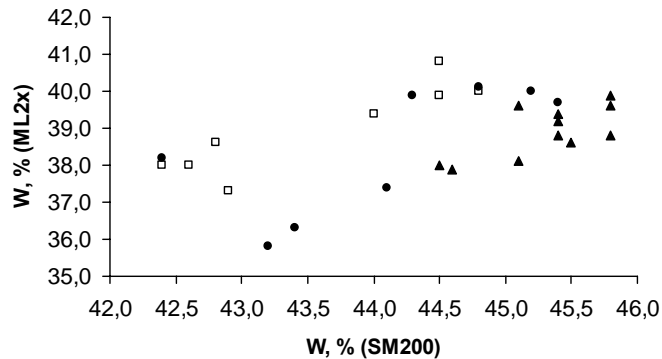
Kā norāda mērījumu rezultātu atkarību grafiks (2.26. attēls), glacigēnās ģenēzes mālsmiltis gruntīs nav novērota cieša atkarība starp abu sensoru rādījumiem. Tomēr konstatēta tilpuma un svara mitruma cieša atkarība mērījumiem ar abiem sensoriem (2.27. attēls).



2.27. attēls. Tilpuma un svara mitruma atkarību grafiks mērījumiem glacigēnajās gruntīs

Figure 2.27. Mutual correlation between glacigenic soil volumetric moisture and gravimetric moisture

Glaciolimniskajā mālā, mālainajā aleirītā un sīkgraudainajā aleirītiskajā smiltī pavisam veikti 27 paralēli tilpuma mitruma mērījumi. To izvietojums savstarpējo atkarību grafikā vizualizēts 2.28. attēlā.



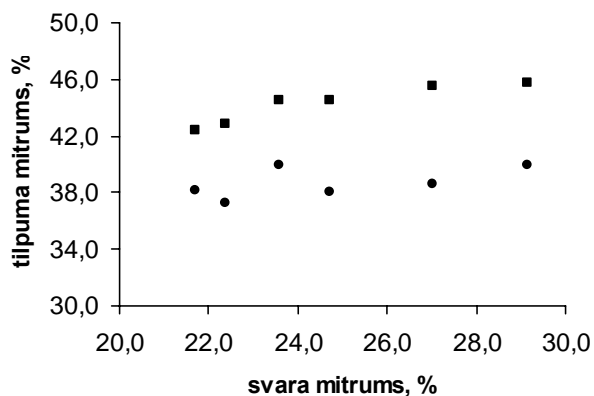
2.28. attēls. Tilpuma mitruma atkarību grafiks mērījumiem glaciolimniskajās gruntīs ar sensoriem SM200 un ML2x

Apzīmējumi: ▲ – māls, □ – mālains aleirīts, ● – sīkgraudaina aleirītiska smiltis

Figure 2.28. Mutual correlation of glaciolacustrine soil volumetric moisture values, acquired by sensors SM200 and ML2x

Legend: ▲ – clay, □ – clayey silt, ● – fine silty sand

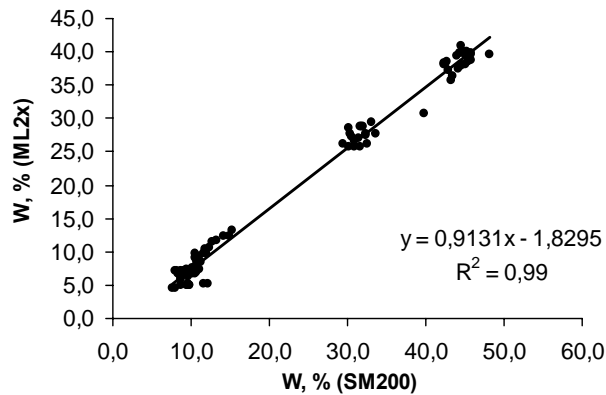
Kā norāda mērījumu rezultātu atkarību grafiks (2.28. attēls), glaciolimniskās ģenēzes dažāda granulometriskā sastāva gruntīs pastāv visai cieša atkarība starp abu sensoru rādījumiem. Minēto sakarību apstiprina arī *in situ* mērījumu un laboratorijā noteiktā svara mitruma atkarību grafiks (2.29. attēls).



2.29. attēls. Tilpuma un svara mitruma atkarību grafiks mērījumiem glaciolimniskajās gruntīs

Figure 2.29. Mutual correlation of glaciolacustrine soil volumetric moisture with gravimetric moisture

Veikta arī tilpuma mitruma vērtību korelācija, kas iegūtas ar abiem eksperimentos izmantotajiem sensoriem dažāda granulometriskā sastāva gruntīs (2.30. attēls). Tas darīts lai noskaidrotu atkarību starp iegūtajām vērtībām, gan to izkliedi.



2.30. attēls. Dažāda granulometriskā sastāva gruntīs, ar sensoriem SM200 un ML2x, mērītā tilpuma mitruma vērtību atkarība (n=91)

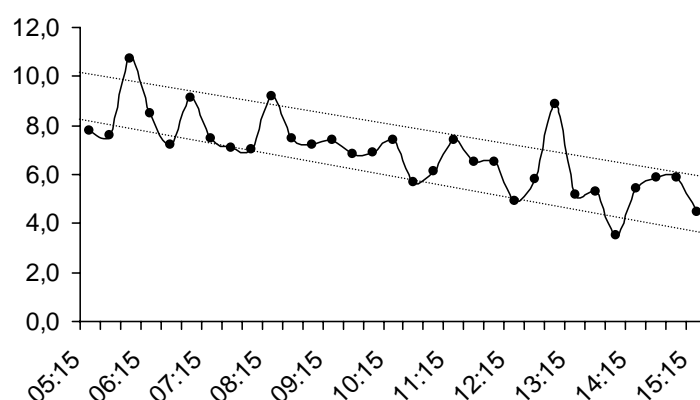
Figure 2.30. Mutual correlation between values of different grain size soil volumetric moisture, acquired by sensors SM200 and ML2x (n=91)

Salīdzinot ar divu līdzīgas klases mitruma mērītājiem iegūtās dabīgā mitruma vērtības (2.30. attēls), konstatēts, ka to mērījumu rezultāti precizitātes ziņā ir līdzīgi, par ko liecina augstais determinācijas koeficients $R^2 = 0,99$.

2.5.6. Grunts dabīgā mitruma izmaiņas laikā

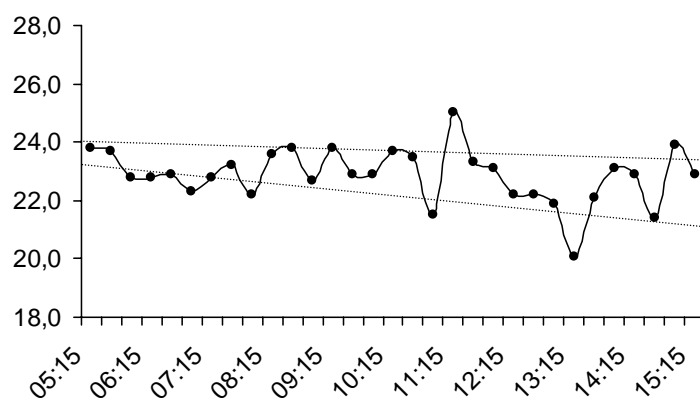
Eksperimenta mērķis bija noskaidrot, kā mainās grunts dabīgais mitrums laikā *in situ* attīrītā smilts atsegumā. Tas īstenots vienas dienas laikā 2007.g. 6. jūnijā glaciolimniskās smilts un aleirītiskās smilts atsegumā Taurenes apkārtnē, Cēsu rajonā. Mērījumi veikti ar ΔT mitruma mērīšanas sensoru SM-200 (Delta-T Devices; adatu garums 5,1 cm, mērīšanas diapazons 0–50%, precizitāte $\pm 3\%$). Katrā slānī veikta mērījumu sērija 10 stundu garumā no plkst. 05:15 līdz 15:15; ar soli – 15 minūtes. Katrs jaunais mērījums veikts tajā pašā nogulumu slānī blakus iepriekšējam 2–3 cm attālumā. Iegūtie mērījumu dati (mērīšanas laiks un tilpuma mitrums, %) reģistrēti mitruma mērītāja atmiņas blokā, pēc tam pārnesot datorā. Tālākajai interpretācijai sastādīti grafiki, vizualizējot mitruma zuduma izmaiņu laikā katram slānim, kā arī veikti statistiskie aprēķini.

Iegūto mērījumu rezultātu tālākajai interpretācijai sastādītie grafiki (2.31. un 2.32. attēls) parādīja galvenās mitruma zuduma likumsakarības pētītajās gruntīs. Veiktie mērījumi norāda, ka mitruma zudums abos mērītajos slāņos ir neliels, atbilstoši sākotnējam dabīgajam mitrumam, – smalkgraudainās smilts slānī 7,8–8,5%, savukārt smalkgraudainās aleirītiskās smilts slānī attiecīgi – 24,6–25,4%. Abos slāņos novērota mitruma zuduma lineārā atkarība no to atsegšanas sākuma. Turklāt aprēķini rāda, ka žūšanas process norit lēni –, smalkgraudainās smilts slānī 10 stundu laikā sasniedzot 0,4% stundā, turpretī smalkgraudainās, aleirītiskās smilts slānī mitruma zudums ir ievērojami mazāks – vidēji 0,1% stundā.



2.31. attēls. Mitruma zudums smalkgraudainās smilts slānī (pēc Karpovics, Seglins, 2007)

Figure 2.31. Temporary losses of moisture in fine sand layer (after Karpovics, Seglins, 2007)



2.32. attēls. Mitruma zudums smalkgraudainās, aleirītiskās smilts slānī (pēc Karpovics, Seglins, 2007)

Figure 2.32. Temporary losses of volume moisture in silty fine sand layer (after Karpovics, Seglins, 2007)

Ekspierimenta rezultāti rāda, ka iespējams veikt *in situ* mitruma mērijumus smilšaino grunšu atsegumā, nezaudējot mērijumu korektumu, ko izraisa grunts mitruma režīma izmaiņas to žūšanas gaitā pirmās diennakts laikā. Smilšainajos nogulumos novērotais nebūtiskais mitruma zudums netieši norāda, ka mālainajos (glacigēnajos) nogulumos process noritēs līdzīgi, bet tā intensitāte – zemāka vai līdzīga.

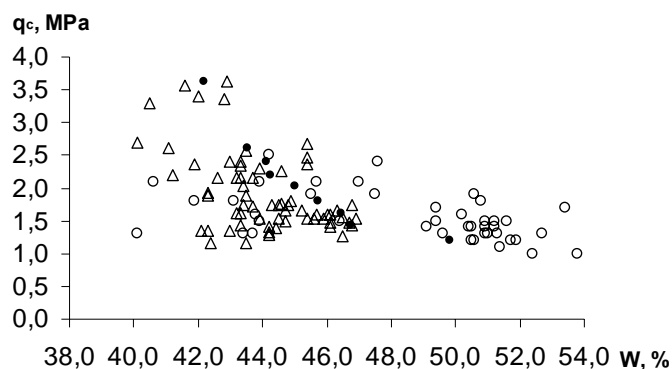
2.5.7. Konusa iespiešanas pretestības atkarība no dabīgā mitruma

Zinātniskie pētījumi (Bengough *et al.* 2000) norāda, ka konusa iespiešanas pretestība atkarīga no vairākiem grunts parametriem, no kuriem būtiskākie ir blīvums un mitrums. Lai noskaidrotu, kā minētā sakarība novērojama dažādas ģenēzes gruntīs, veikti konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērijumi.

Penetrācijas mērijumi veikti ar Eijkelkamp rokas (IB tipa) penetrometru, ar ko iespējams noteikt konusa iespiešanas pretestību diapazonā no 0 līdz 60 kg/cm² ar ±8% precizitāti. Mitruma mērijumi attiecīgi ar ΔT (Delta-T Devices) mitruma mērijtāju SM-200, ar ko iespējams mērijt tilpuma mitrumu 0% līdz 50% diapazonā ar ±3% precizitāti.

Veikto mērijumu datu interpretācijai katrai no pētītajām gruntīm sastādīti mērijto parametru savstarpējo atkarību grafiki (2.33. un 2.34. attēls).

Ekspierimentālajos pētījumos kvartāra mālu konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērijumi notika 2007. gada 24. jūnijā Ānes karjerā mālainajā aleirītā (n=65) un aleirītiskajos mālos (n=42) skatrakumā aptuveni 2 km uz rietumiem no Apriķiem, 2007. gada 5. augustā. Pētījumā iegūtie rezultāti grafiski attēloti korelācijas grafikā (2.33. attēls).



2.33. attēls. Kvartāra mālu konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību atkarību grafiks

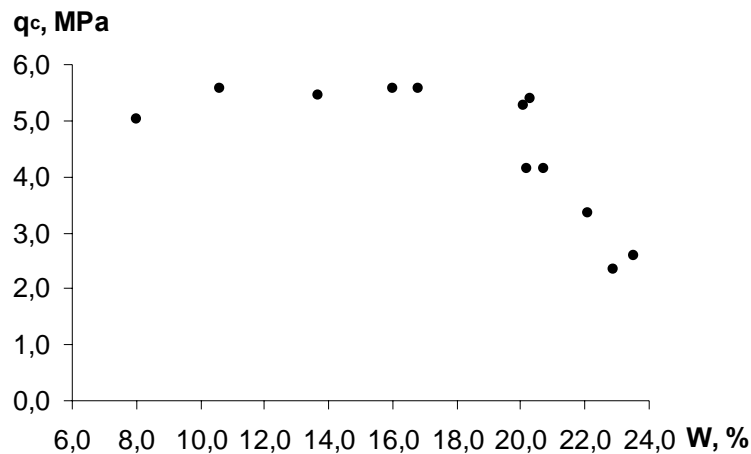
Apzīmējumi: Δ – Ānes karjers (n=65), \circ – Apriki (n=65), \bullet – abu izlašu vidējotās vērtības

Figure 2.33. Mutual correlation between quaternary clay cone resistance and natural moisture values

Legend: Δ – Ane quarry (n=65), \circ – Apriki (n=65), \bullet – averaged values of both samples

Kvartāra mālu konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību atkarību grafiks norāda, ka kopumā novērota visai cieša saikne gan starp vidējotām, gan atsevišķos mērījumu punktos noteiktajām vērtībām (2.33. attēls).

Papildu pētījumi veikti, novērtējot apskatāmo īpašību atkarību pirmskvartāra aleirītiskajos mālos. Tie realizēti Lodes karjerā devona mālos 2007. gada jūlijā, veicot konusa iespiešanas pretestības un mitruma mērījumus 11 punktos.



2.34. attēls. Devona mālu (Lodes karjers) konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību atkarību grafiks (n=11)

Figure 2.34. Mutual correlation between devonian clayey soil (Lode quarry) cone resistance and natural moisture (n=11)

Atšķirībā no kvartāra nogulumiem, devona mālainajos aleirolītos veicot salīdzinoši nelielu mērījumu skaitu, konstatēta cieša saikne starp konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērītajām vērtībām (2.34. attēls). Jānorāda, ka ciešākā saikne konstatēta nelielā dabīgā mitruma vērtību intervālā (20,1% – 23,5%), savukārt, mazinoties dabīgajam mitrumam, minētie parametri savstarpēji nekorelē. Literatūrā šāda parādība skaidrota ar grunšu cementāciju (Busscher *et al.* 1997) vai arī ar apstākli, ka atkarību ciešumu ietekmē grunts blīvums (Bengough *et al.* 2000).

2.5.8. Konusa iespiešanas pretestības vērtību sadalījuma atkarību novērtējums

Detalizēta glacigēno grunšu pētījuma interpretācijas patiesuma nodrošināšanai svarīgi novērtēt instrumentu precizitāti, mērīto parametru savstarpējās atkarības un atkarības no citiem grunts parametriem, kas aprakstītas iepriekšējās apakšnodaļās (2.4.1. – 2.4.7. nodaļa). Svarīgi ir arī izzināt, kāds mērīto parametru – konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma – vērtību sadalījums konstatējams glacigēnajās gruntīs, ģeogrāfiski atšķirīgās vietās un atšķirīgas ģenēzes gruntīs.

Lai noskaidrotu, vai, veicot mērījumus glacigēnajās gruntīs ģeogrāfiski atšķirīgās teritorijās, iegūtās sakarības ir līdzīgas, veikti mērījumi gan Sila karjerā Liepājas rajonā, gan Kažoku karjerā Tukuma rajonā. Papildu mērījumi veikti arī atšķirīga sastāva gruntīs Ulmāles atsegumā (Liepājas rajonā), lai noskaidrotu, vai metode pielietojama arī citu grunšu izpētei.

Eksperimentālais pētījums Kažoku karjerā. Pētījumā bija jānoskaidro, vai ar rokas penetrometru iegūtās glacigēno nogulumu q_c vērtību sadalījuma sakarības Sila karjerā (3. nodaļa) novērojamas ģeogrāfiski atšķirīgās teritorijās un vai ir konstatējamās sakarības starp iespējamo ledāja kustības virzienu un q_c vērtību sadalījumu.

Penetrācijas mērījumi veikti ar 2.2. nodaļā aprakstītajiem instrumentiem – IB tipa Eijkelkamp rokas penetrometru –, bet mitrums noteikts ar ΔT (Delta-T Devices) mitruma mērītāju SM-200.

Pirms konusa iespiešanas pretestības mērījumiem svaigi attīrītā atseguma sienā veikti oļu garenasu linearitātes mērījumi, iegūtos datus vizualizējot datorprogrammā *Stereonet 3.03*, lai noskaidrotu iespējamo ledāja kustības virzienu. Pēc tam glacigēno grunšu atsegumā tika atsegtas virsmas, kas vērstas attiecīgi paralēli un perpendikulāri iespējamajam ledāja plūsmas virzienam (2.36. attēls). Tur tika veikti sistemātiski konusa iespiešanas pretestības mērījumi vienmērīgā tīklā ar attālumu starp mērījumiem 10 cm. Kopā notikuši 150 konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumi – attiecīgi 91 mērījums paralēli un 59 mērījumi perpendikulāri iespējamajam ledāja kustības virzienam. Mērījumu tīkls izvēlēts tāds pats kā „kubam”, lai iegūtās q_c vērtību sadalījuma vizualizācijas būtu savstarpēji salīdzināmas.

Iegūtie mērījumu rezultāti fiksēti lauka grāmatiņā, ievadīti un uzglabāti *MS Excel* datu tabulā, turklāt šī eksperimenta gaitā veikta arī tā foto dokumentācija. Datu tālākajai

interpretācijai mērījumu rezultāti statistiski apstrādāti datorprogrammā *MS Excel*, kā arī grafiski vizualizēti datorprogrammā *Voxler1.1*.

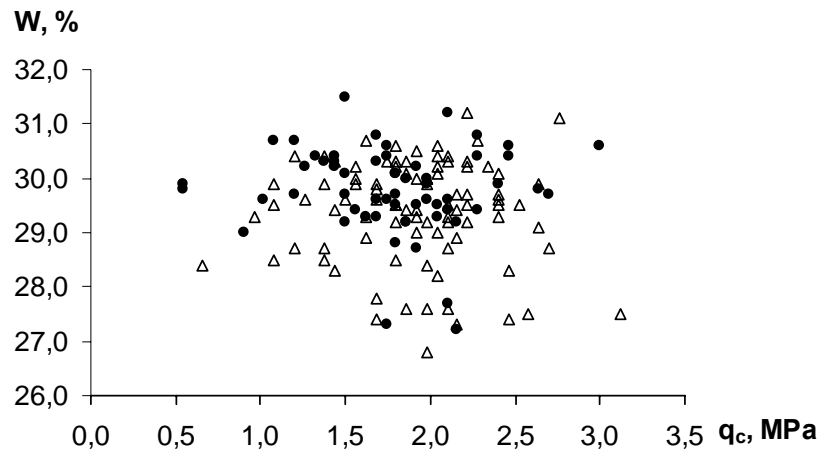
Mērījumu vērtību statistiskie rādītāji (2.4. tabula) parādīja, ka nepastāv būtiskas atšķirības starp mērījumiem, kas veikti paralēli un perpendikulāri iespējamajam ledāja kustības virzienam.

2.4. tabula. Konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un dabiskā mitruma (W , tilp. %) vērtību statistiskie rādītāji

Table 2.4. Statistical indices of cone resistance (q_c , MPa) and natural moisture (W , vol. %) values

Mērījumi paralēli iespējamajam ledāja kustības virzienam		
Parametrs	q_c , MPa	Tilpuma mitrums, %
Minimums	0,7	0,9
Maksimums	3,1	32,1
Vidējais aritmētiskais	1,9	26,6
Variācijas koeficients	0,15	0,87
Novērojumu skaits	91	91
Mērījumi perpendikulāri iespējamajam ledāja kustības virzienam		
Parametrs	q_c , MPa	Tilpuma mitrums, %
Minimums	0,5	27,2
Maksimums	3,0	32,1
Vidējais aritmētiskais	1,8	29,8
Variācijas koeficients	0,27	0,94
Novērojumu skaits	59	59

Atzīmējams, ka šinī gadījumā netika konstatēta atkarība starp konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtībām (2.35. attēls), arī salīdzinot vidējās dabīgā mitruma vērtības attiecīgajam q_c vērtību intervālam pa 0,5 MPa.



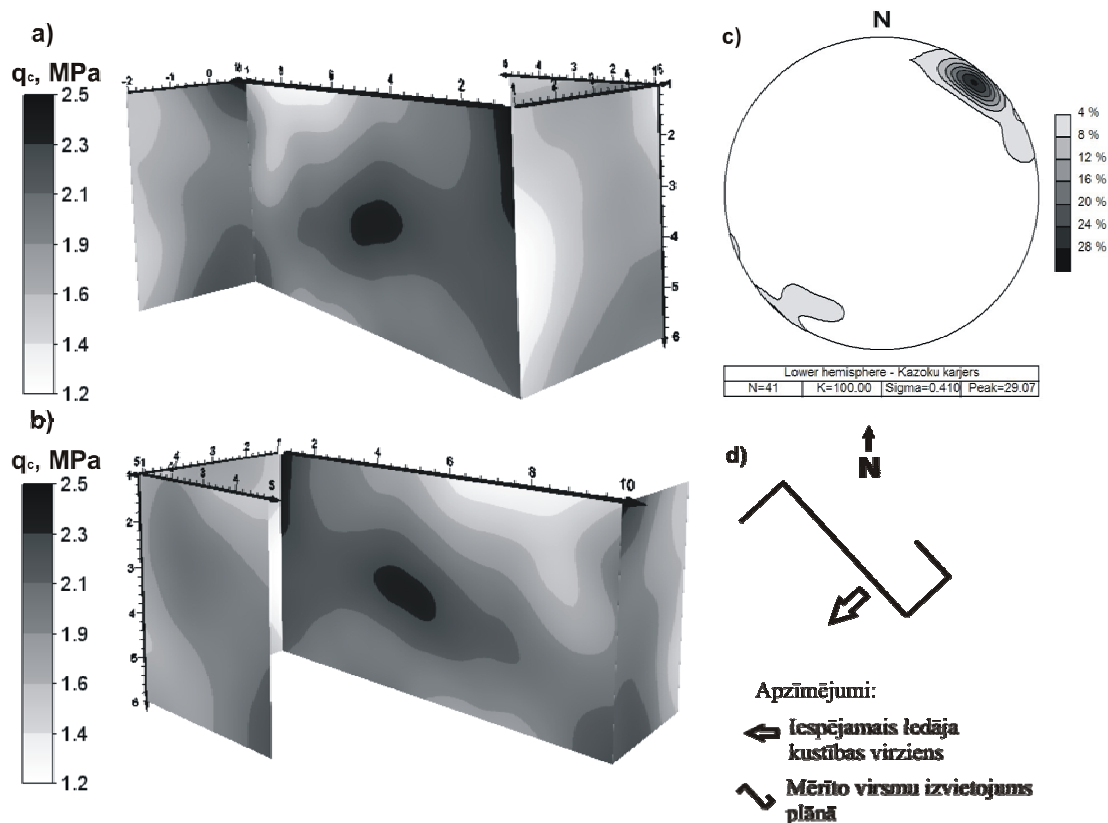
2.35. attēls. Glacigēno grunšu konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) atkarība no to dabīgā mitruma (W, tilp. %)

Apzīmējumi: Δ – mērījumi paralēli iespējamajam ledāja kustības virzienam (n=91); \bullet – mērījumi perpendikulāri iespējamajam ledāja kustības virzienam (n=59)

Figure 2.35. Mutual correlation of glacigenic soil cone resistance (q_c , MPa) with natural moisture (W, vol. %)

Legend: Δ – if measurements are made parallel to possible glacier movement (n=91); \bullet – if measurements are made perpendicularly to possible glacier movement (n=59)

Sākotnēji izvēlētajā pētījumu vietā veiktie oļu garenass orientācijas mērījumi un to vizualizācija (2.36. c attēls) norāda uz krituma azimutu aptuveni 40° , kas bija tāds pats kā valdošais azimuts – 40° .



2.36. attēls. Konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtību sadalījums glaciģenajās gruntīs (Kazoku karjerā), mērījumiem paralēli un perpendikulāri iespējamajam ledāja kustības virzienam a) skats ZR virzienā, b) skats DA virzienā, c) oļu linearitātes mērījumu rezultāti, d) mērīto virsmu izvietojuma shēma (skats no augšas)

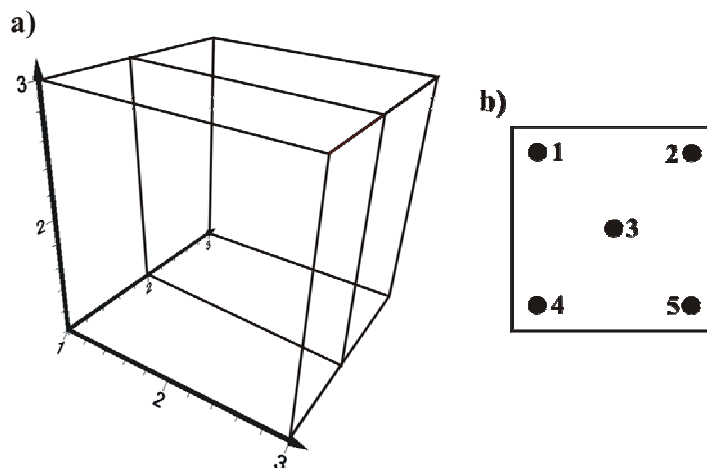
Figure 2.36. Cone resistance (q_c) value distribution in glacial soil (Kazoku quarry) if measurements are made parallel and perpendicularly to possible glacier movement a) towards North–West, b) towards South–East, c) till fabric plot, d) location scheme of measured surfaces (sight from above)

Savukārt iegūtā konusa iespiešanas pretestības vērtību sadalījuma vizualizācija (2.36. a un b attēls) norāda, ka, lai gan statistiski starp q_c vērtībām, kas iegūtas dažādos mērījumu virzienos, nav būtiskas atšķirības, tomēr novērojamas noteiktas sakarības to vērtību sadalījumā. Pašreizējā pētījuma posmā par novēroto sakarību iemesliem spriest būtu pārāgri, tomēr iespējams izdarīt vairākus būtiskus secinājumus. Pirmkārt, ir novērojamas konusa iespiešanas pretestības vērtību sadalījuma atšķirības mērījumiem, kas veikti paralēli un perpendikulāri iespējamajam ledāja kustības virzienam (2.36. attēls). Konstatētais norāda, ka nepieciešami papildu pētījumi, lai noskaidrotu, vai novērotais

vērtību sadalījums ir likumsakarīgs, kā arī tā iespējamus iemeslus. Otrkārt, tas ir svarīgi no šādas ievirzes pētījumu metodikas viedokļa, jo noskaidrots, ka mērīto parametru sadalījumā vērojamas noteiktas sakarības, kas liecina, ka izvēlētā metode ir pietiekami jutīga detalizētu pētījumu veikšanai glacigēnajās gruntīs.

Eksperimentālais pētījums Ulmālē. Lai pārlicinātos, ka pēc autora izstrādātās metodes iespējams veikt mērījumus un konstatēt sakarības ne tikai glacigēnajās gruntīs, bet arī citās, pētītas smilšainās gruntis Liepājas rajona, Ulmālē.

Mērījumi veikti kuba formas grunts ķermenī 30x30x30 cm perpendikulāri katrai no 6 skaldņu virsmām pa 5 mērījumiem katrā no virsmām, un 5 mērījumi uz skaldnes kuba vidū pēc shēmas, kas redzama 2.37. attēlā. Mērījumi veikti, pakāpeniski atsedzot grunts kuba skaldnes, lai tas neizjuku mērīšanas laikā. Kopumā veikti 35 konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumi, fiksējot tos lauka grāmatiņā, bet vēlāk – ievadot un uzglabājot *MS Excel* elektroniskajā tabulā.



2.37. attēls. Mērījumu veikšanas shēma, kur a) mērīto skaldņu izvietojums un b) mērījumu izvietojums uz skaldnes, kur skaitļi rāda mērījumu veikšanas kārtību

Figure 2.37. Location scheme of measurements, where a) location of measured surfaces and b) location of measurements on side, where numbers show order of measurement

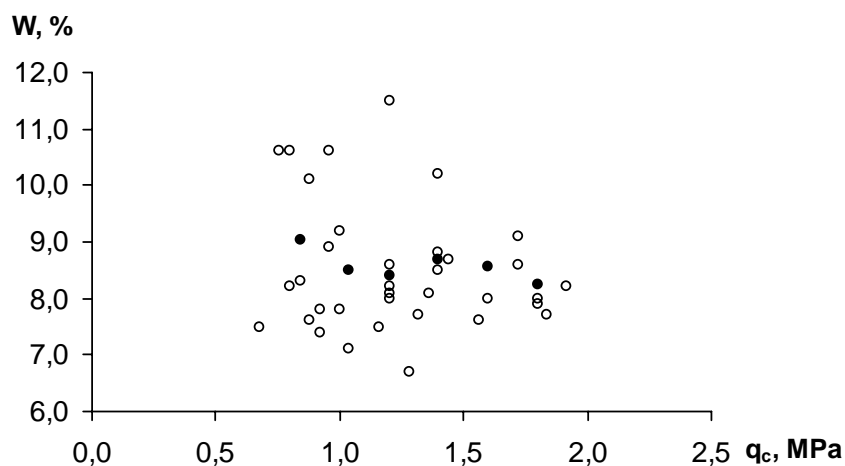
Lai pētījuma vietā veiktos mērījumu rezultātus interpretētu tālāk, autors tos statistiski apstrādāja datorprogrammā *MS Excel* un grafiski vizualizēja datorprogrammā *Voxler1.1*. Šo mērījumu rezultātu statistiskie rādītāji apkopoti 2.5. tabulā.

2.5. tabula. Smilšaino grunšu konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un dabiskā mitruma (W , tilp. %) vērtību statistiskie rādītāji

Table 2.5. Statistical indices of cone resistance (q_c , MPa) and natural moisture (W , vol. %) values for sandy soil

Parametrs	q_c , MPa	Tilpuma mitrums, %
Minimums	0,7	6,7
Maksimums	1,9	11,5
Vidējais aritmētiskais	1,2	8,5
Variācijas koeficients	0,13	1,49
Mērījumu skaits	35	35

Tabulā redzams, ka abu mērīto parametru vērtību izmaiņu diapazons nelielā grunts tilpumā ($0,3 \text{ m}^3$) ir ierobežots. Regresijas grafikā (2.38. attēls) vērojama plašāka dabīgā mitruma vērtību izkliede.



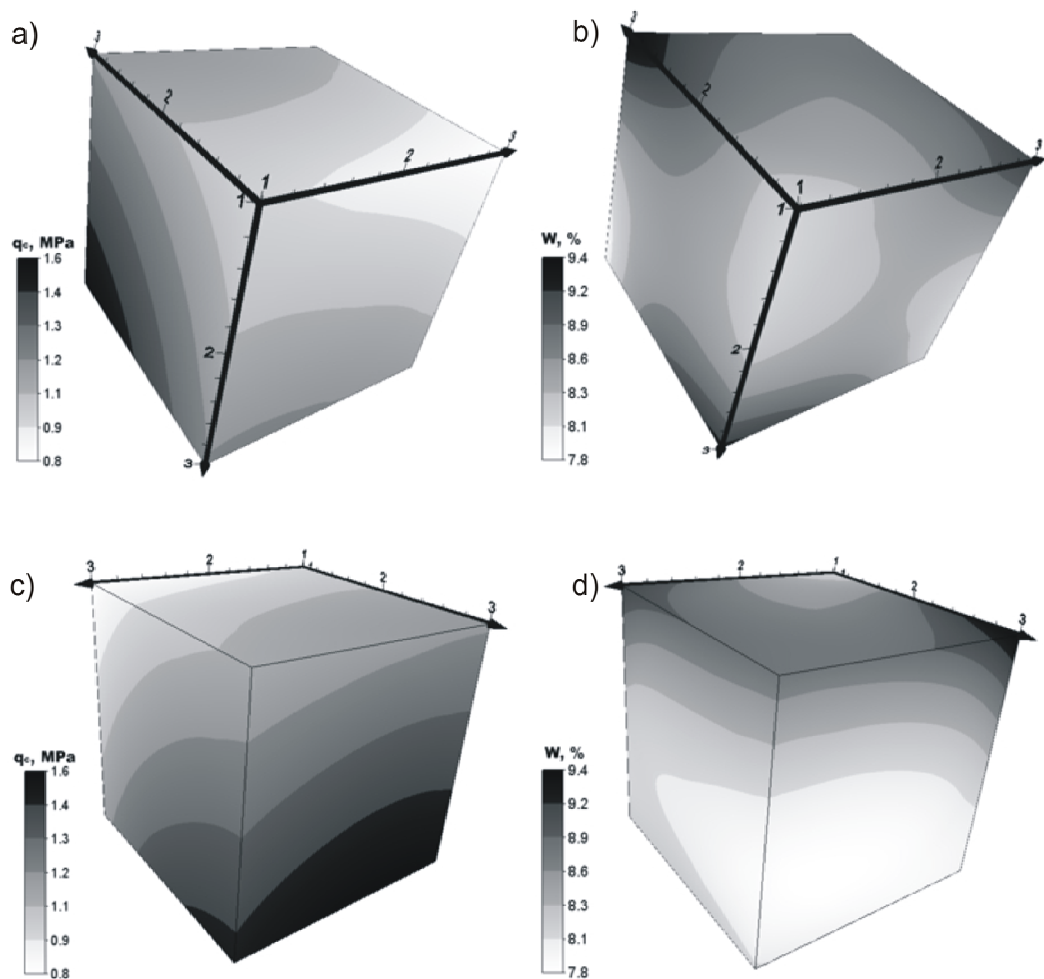
2.38. attēls. Smilšaino gruntšu konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un dabīgā mitruma (W , tilp. %) mērījumu rezultātu savstarpējās atkarības mērījumiem Ulmālē ($n=35$)

Apzīmējumi: \circ – parametru vērtības atsevišķajos mērījumu punktos, \bullet – vidējo dabīgā mitruma vērtības atbilstošajām q_c vērtībām ar soli $0,2 \text{ MPa}$

Figure 2.38. Mutual correlation of sandy soil cone resistance (q_c , MPa) with natural moisture (W , vol. %) values at Ulmale ($n=35$)

Legend: \circ – parameter values in particular measurement points, \bullet – averaged values of natural moisture for corresponding q_c values of 0.2 MPa

Iegūtās konusa iespiešanas pretestības (q_c) un dabīgā mitruma vērtību savstarpējo atkarību grafiks (2.38. attēls) rāda, ka sakarības starp šīm vērtībām katrā atsevišķajā mērījumu punktā, līdzīgi kā glacigēnajās gruntīs, nav novērojamas. Tomēr, salīdzinot vidējās aritmētiskās dabīgā mitruma vērtības, kas atbilst q_c vērtībām 0,2 MPa intervālā, ir novērojama salīdzinoši cieša korelācija ($r = -0,85$). Turklāt jāņem vērā, ka minētā sakarība novērota salīdzinoši mazos abu parametru vērtību intervālos (2.5. tabula).



2.39. attēls. Instrumentāli mērīto konusa iespiešanas pretestību a), c) un dabiskā mitruma vērtību b), d) sadalījums uz pētītā smilšaino grunšu kuba skaldnēm. Iedaļas vērtība uz ass – 0,1 m

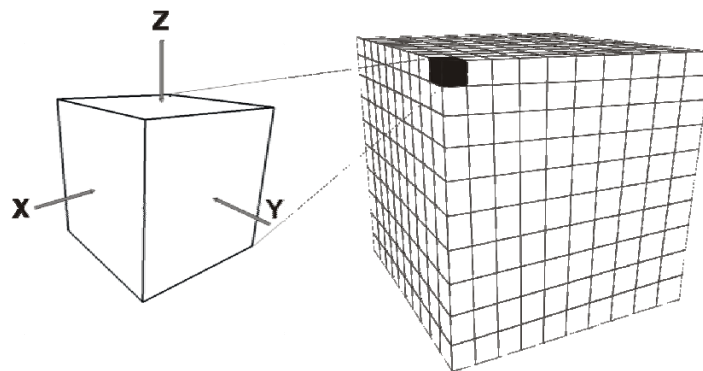
Figure 2.39. Distribution of cone resistance a), c) and natural moisture b), d) values on studied sandy soil cube faces. Step size on axes 0.1 m

Iegūtajās konusa iespiešanas pretestības (q_c) un dabīgā mitruma vērtību sadalījuma vizualizācijās (2.39. attēls) novērojamas gan atsevišķo parametru vērtību sadalījuma likumsakarības, gan arī sakarības starp šo vērtību sadalījumu. Kopumā eksperimenta rezultāti liecina, ka noteiktas sakarības starp instrumentāli mērītām grunts īpašībām *in situ* apstākļos iegūstamas gan atšķirīga sastāva (mālsmilts un smilts), gan atšķirīgas ģenēzes (glacigēnajās un marīnajās) gruntīs.

Abos iepriekš apskatītajos eksperimentālajos pētījumos iegūtie rezultāti atklāj, ka izvēlētajās pētniecības metodes ir pietiekami jutīgas, turklāt iegūtie rezultāti nav atkarīgi no pētījuma vietas ģeogrāfiskajā telpā, kā arī no grunts tipa, kurā tie veikti. Tas savukārt apstiprina, ka šādi veikti pētījumi, tajā skaitā ar augstu detalitāti, un tajos iegūtie rezultāti ir patiesi un var tikt pārlicinoši interpretēti.

2.6. Datu interpretācijas paņēmieni, to izvēle un metodika

Lai pētījuma vajadzībām novērtētu īpašību vērtību reālo sadalījumu noteiktā iežu tilpumā, par pētījuma objektu tika izvēlēta vizuāli homogēna, masīva sablīvējuma morēna. Mērījumu organizācijas un iegūto datu matemātiskās apstrādes vajadzībām pētījumu objektam bija jānodala ārējā kārtā, kamēr tas ieguva ģeometrisku formu – kubu ar skaldnes garumu viens metrs. Augšējā virsma (skaldne, Z–ass) un divas sānu skaldnes (Y–ass un X–ass) tika marķētas ik pēc 10 cm, ļaujot iegūt regulāru 10x10 cm novērojumu tīklu mērījumu veikšanai (2.40. attēls).



2.40. attēls. Mērījumu veikšanas shēma glacigēno grunšu kubā

Figure 2.40. Scheme of measurement realization in glacigenic soil cube

Visi mērījumu punktos iegūtie dati (mērījumu rezultāti) ar *MS Excel* tika pārbaudīti pēc to vērtību sadalījuma pa kuba asīm un atsevišķiem slāņiem, pārlicinoties par minimālo un maksimālo vērtību lomu vērtību sadalījumā, kā arī sadalījuma raksturu, lai izslēgtu polimodālu sadalījumu turpmāko analīzi. Nākamajā pētījuma posmā tika veikta instrumentāli noteikto grunšu konusa iespiešanas pretestības un dabiskā mitruma vērtību savstarpēja korelācija, pārbaudot korelatīvo atkarību būtiskās izmaiņas. Noslēdzošajā posmā iepriekš iegūtie dati izmantoti mērījumu vērtību sadalījuma telpiskajai vizualizācijai, datus apstrādājot ar datorprogrammu *Voxler 1.1* un šajā gadījumā nosakot katrā no trim pētītajām skaldnēm 100 režģa mezglus, savukārt datu interpolācijai piemērojot vietējo polinomu metodi.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Atsevišķo eksperimentu rezultāti

Pētījuma metodikas un iegūto rezultātu interpretācijas pamatotībai veiktie eksperimenti ļāva noskaidrot gan pētījumam izmantoto ekspresmetožu precizitāti, gan piemērotību izvēlēto grunšu pētīšanai. Pētījumā izmantoto instrumentu precizitātes novērtējums veikts, gan salīdzinot pētīto parametru – dabīgā mituma un konusa iespiešanas pretestības vērtības, kas iegūtas ar līdzīgas klases instrumentiem, gan arī parametru vērtības starp kuriem ir iepriekš zināma korelācija, kura pārbaudīta attiecībā uz pētījumā izmantotajiem instrumentiem (2.5. nodaļa).

Dabīgā mitrums mērinstrumentu precizitātes novērtējums (2.5.5. nodaļa) parādīja, ka pastāv noteikta saikne starp pētījumā izmantotā un līdzīgas klases mitrums mērīšanas sensoru mērījumiem, kas veikti dažāda sastāva irdenajās gruntīs, par ko liecina determinācijas koeficients $R^2 = 0,99$ (2.30. attēls). Veicot instrumentāli mērītā tilpuma mitrums un laboratorijā noteiktā svara mitrums rezultātu salīdzināšanu, konstatēts, ka absolūtajās vērtībās ir atšķirības, taču regresijas grafiki uzrāda ciešu saikni starp mērījumiem (2.27. attēls).

Lai noskaidrotu konusa iespiešanas pretestības mērinstrumenta, rokas penetrometra mērījumu precizitāti, novērtēta konusa nodiluma pakāpes ietekme. Eksperimenta rezultāti rāda, ka, veicot lielu mērījumu skaitu, kāds nepieciešams kuba eksperimentam (vairāk nekā 3300), ar vienu konusu, mērījumu precizitāte būtiski nemainās. Otrs novērtēšanas veids bija ar rokas penetrometru iegūto mērījumu rezultātu salīdzināšana ar līdzīgas klases rokas instrumentu mērījumu rezultātiem. Salīdzināšanai izmantoti Proktora penetrometrs un lāpstīņu zonde, t.i., instrumenti, ar kuriem mērītas grunts stiprību raksturojošas atšķirīgas īpašības (2.5.1. nodaļa). Ar minētajiem instrumentiem veikto paralēlo mērījumu rezultātu salīdzināšana parādīja salīdzinoši ciešu saikni starp iegūtajām vērtībām, par ko liecina determinācijas koeficienti R^2 , kas bija robežās no 0,74 līdz 0,81 (2.15. un 2.16. attēls).

Ne mazāk svarīgs aspekts, veicot *in situ* mērījumus, ir grunts stāvokļa un līdz ar to arī īpašību izmaiņas, atklātā atsegumā ilgāku laiku realizējot mērījumus, kurus nepieciešams skaitliski novērtēt. Šai nolūkā atsegumā veikti grunts žūšanas instrumentālie mērījumi, kas uzrādīja dažāda sastāva grunšu mitrums izmaiņas laikā, ļaujot apzināt šī

faktora ietekmi uz grunts īpašībām (2.5.6. nodaļa), kā arī noteikt ierobežojumus savstarpēji salīdzināmu kompleksu un ilglaicīgu novērojumu veikšanai *in situ* apstākļos.

3.2. Detalizēti grunts pētījumi

Lai novērtētu īpašību vērtību reālo sadalījumu noteiktā iežu tilpumā pētījuma vajadzībām par tā objektu izvēlēta vizuāli homogēna, masīva sablīvējuma morēna.

Mērījumu veikšanai kubs sadalīts mazākās vienāda izmēra šūnās – kubiņos pa 10x10x10 cm (3.1. attēls), kuros dabiskā mitruma un konusa iespiešanas pretestības instrumentāli mērījumi veikti trijos savstarpēji perpendikulāros virzienos pa XYZ asīm 5 cm dziļumā. Kopumā penetrācijas mērījumi un tikpat daudz morēnas dabiskā mitruma mērījumu veikti 3000 punktos kubā un paralēli tiem – vēl 300 mērījumu punktos uz trim skaldnēm ārpus kuba. Iegūtie rezultāti fiksēti lauka grāmatiņā, bet vēlāk ievadīti datorā *MS Excel* elektroniskajā tabulā un uzglabāti to tālākajai statistiskajai apstrādei.

Lai novērstu pētāmās grunts žūšanu, tās konservācijai atstāti apmēram 20 cm grunts virs mērāmā kuba, un mērījumi veikti tikai 10 cm biežā slānī, kas atbilst vienas mērāmās šūnas biezumam, kā tas redzams 3.1. attēlā. Instrumentālie mērījumi veikti katras skaldnes 100 punktos; pēc tam attiecīgais 10 cm biežais slānis noņemts, attīrot nākamās 10 cm un veicot vēl 100 mērījumus tā paša regulārā tīkla šūnās līdz īpašības novērtētas visā kubā katrai šūnai trīs savstarpēji perpendikulāros virzienos. Visi mērījumi realizēti lauka apstākļos *in situ* – nekavējoties pēc skaldnes sagatavošanas pētījumam.



3.1. attēls. Mērījumiem sagatavotā pētījuma vieta (kubs) ar mērījumu tīklu. Mērogam pievienots līmeņrādis, tā garums ir 100 centimetri

Figure 3.1. Prepared study site (cube) for measurements with measurement mesh.

Level gauge is added to scale; its length is 100 centimetres

Līdzās vizuāli konstatējamām morēnu slāņu deformācijām, saguluma un sastāva neviendabīgumam, rupjo daļiņu (grants un oļi) orientācija telpā ļoti plaši izmantota morēnas nogulumu veidošanās apstākļu rekonstrukcijās, jo satur liecības par ietekmējošo spēku galvenajiem virzieniem. Tādējādi šādi dati liecina par zināmu morēnas materiālu orientāciju telpā, ko var arī konstatēt, nosakot tās fizikālās īpašības. Sagatavotajā pētījumu vietā īstenoti 109 oļu orientācijas mērījumi, un iegūtie mērījumu rezultāti (2.14. attēls) apstrādāti datorprogrammā *Stereonet 3.03* ar mērķi iegūt vispārīgākas ziņas par turpmāk detalizēti pētāmo nogulumu veidošanās apstākļiem.

3.3. Datu statistiskais novērtējums

Lauka apstākļos iegūtie īpašību mērījumu dati statistiski apstrādāti datorprogrammās *MS Excel* un *Statistica 5.1*, un to rezultāti apkopoti 3.1. tabulā. Visu mērījumu rezultātu summārā korelācijas analīze (visiem mērījumiem pa katru no asīm)

parādīja, ka pastāv salīdzinoši cieša saikne starp konusa iespiešanas pretestības mērījumu rezultātiem visos (pa X, Y un Z asi) mērīšanas virzienos ($r = 0,7$). Savukārt dabīgā mitruma vērtību atkarību no mērīšanas virziena (kuba ass) raksturo korelācijas koeficients robežās no 0,1 līdz 0,2. Tajā pašā laikā korelācijas koeficients starp konusa iespiešanas pretestības un dabiskā mitruma mērījumu rezultātiem kuba ietvaros ir $r = -0,32$, bet atkarībā no mērījumu virziena mainās $r = -0,35$ (X–ass), $r = -0,36$ (Y–ass) un $r = -0,34$ (Z–ass).

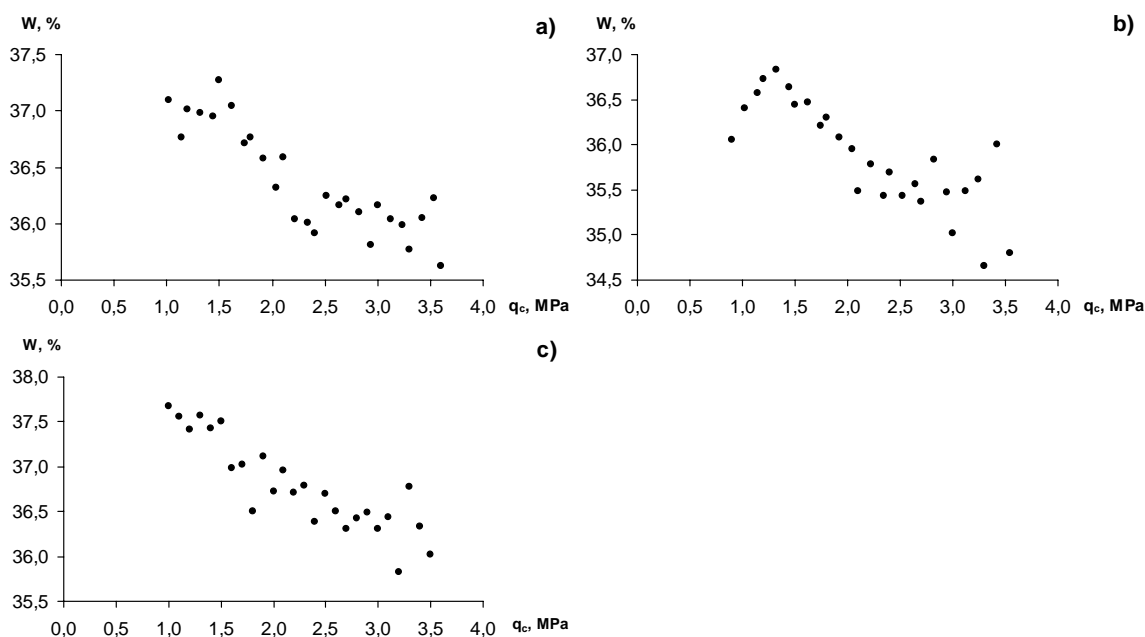
3.1. tabula. Konusa iespiešanas pretestības (q_c , MPa) un dabīgā mitruma (W, tilp. %) vērtību statistiskie rādītāji

Table 3.1. Statistical indices of cone resistance (q_c , MPa) and natural moisture (W, vol. %) values

	Mērījumu skaits, n	Nomērīto vērtību statistiskie rādītāji				
		vidējais aritmētiskais	maksimums	minimums	mediāna	variācijas koeficients
q_c , Z–ass	997	2,1	4,5	0,7	2,0	0,5
q_c , Y–ass	997	2,3	4,8	0,7	2,4	0,6
q_c , X–ass	997	2,0	4,1	0,9	2,0	0,4
W, Z–ass	983	36,9	42,9	32,5	36,9	1,5
W, Y–ass	989	36,4	40,7	31,7	36,3	1,4
W, X–ass	987	36,0	43,4	31,7	36,0	2,0

Tabulā ievietotie statistiskie rādītāji raksturīgi morēnai – ir līdzīgi un būtiski neatšķiras kādā no virzieniem. Atzīmējamās pa Y–asi izvietoto mērījumu maksimālo vērtību atšķirības, kā arī visai augsta dabiskā mitruma vērtību variācija. Pastarpināti šie dati apstiprina iepriekšējos vizuālos novērtējumus par pētījumiem izvēlēta slāņa salīdzinošo viendabīgumu.

Korelācijas koeficienti starp konusa iespiešanas pretestību un dabīgo mitrumu, kas aprēķināti visai datu kopai, ir zemi un saikne starp minētajiem lielumiem droši nav konstatējama. Tomēr pēc aprēķinātajām dabīgā mitruma vidējām vērtībām, kas atbilst q_c vērtībām ar soli 0,1 MPa regresijas grafikos (3.2. attēls) novērojama saikne starp minētajiem parametriem.



3.2. attēls. Glacigēno grunšu konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumu rezultātu savstarpējās atkarības mērījumiem pa Y asi a), pa X asi b) un Z asi c)

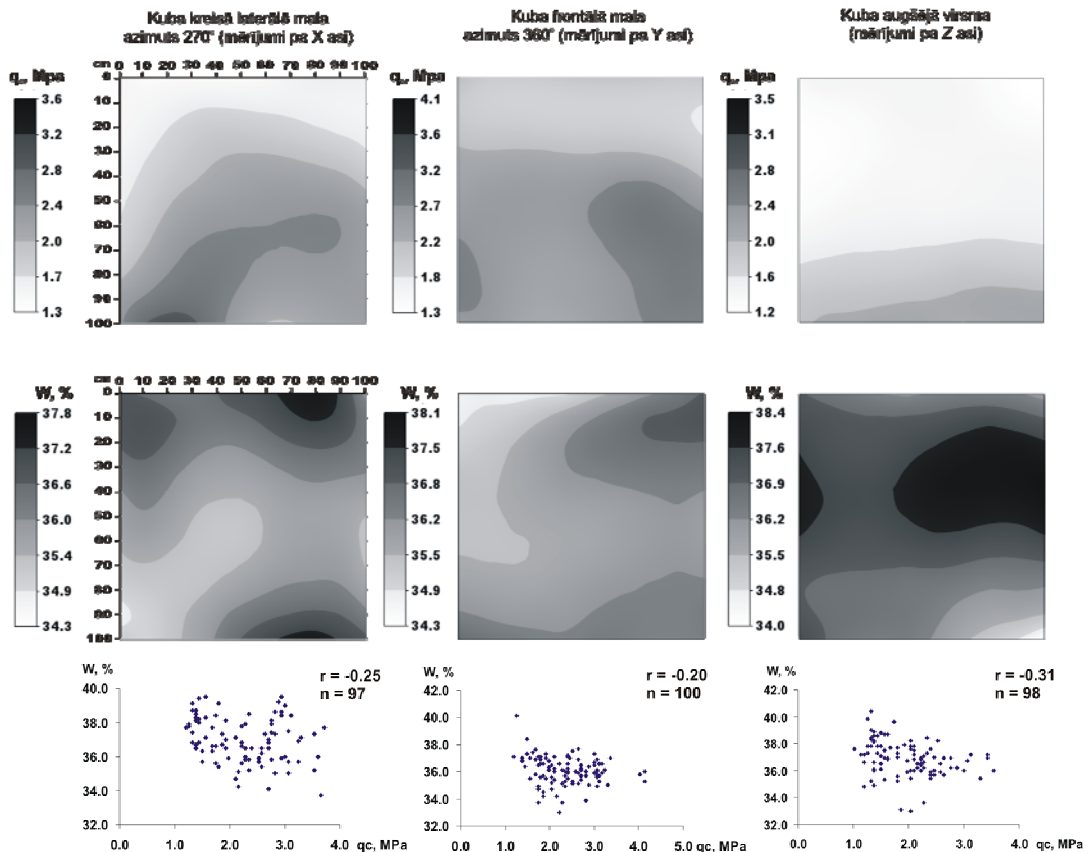
Figure 3.2. Mutual correlation of glacigenic soil cone resistance and natural moisture if measurements are made along X-axis a), Y-axis b) and Z-axis c)

Iegūtās sakarības norāda, ka objektīvi pastāv saikne starp konusa iespiešanas pretestību un dabīgo mitrumu. Jāpiebilst, ka konstatētā sakarība novērojama pie plaša q_c vērtību intervāla (1–3,5 MPa) un šaura dabīga mitruma izmaiņu intervāla, kas ir 3% robežās. Tas netieši norāda, ka šo sakarību ietekmē vēl kāds grunts parametrs, kā blīvums vai konsistence, kas būtu pētāms nākotnē.

3.4. Datu grafiskā vizualizācija

Iegūtie rezultāti ir daudz informatīvāki, ja izvērtēti konusa iespiešanas pretestības un dabiskā mitruma vērtību sadalījumi un datu savstarpējā korelācija (Karpovičs, Segliņš, 2009), ko uzskatāmi norāda šo datu vizualizācija grafikos. Mērījumu veikšana noteiktā ģeometriskajā tīklā ļāva analizēt mērījumu vērtības jebkurā no trim pētītajiem virzieniem (asīm) kā summāri, tā arī ik pa solim 10 cm visā izveidotā kuba tilpumā.

Instrumentālo mērījumu vērtību sadalījums uz kuba ārējām skaldnēm (malām) sniedz plašākas iespējas tās izvērtēt. Datu iepriekšējais novērtējums norāda, ka vērtību sadalījums ir normāls un nav iegūtas ekstremālas vērtības, kas būtu izslēdzamas vai atsevišķi apstrādājamas analīzei. Iegūto rezultātu vizualizācija (3.3. attēls) atklāj, ka korelācijas koeficienti starp konusa iespiešanas pretestības un dabiskā mitruma vērtībām ir tuvi un būtiski neatšķiras no mērījumu veikšanas virziena.

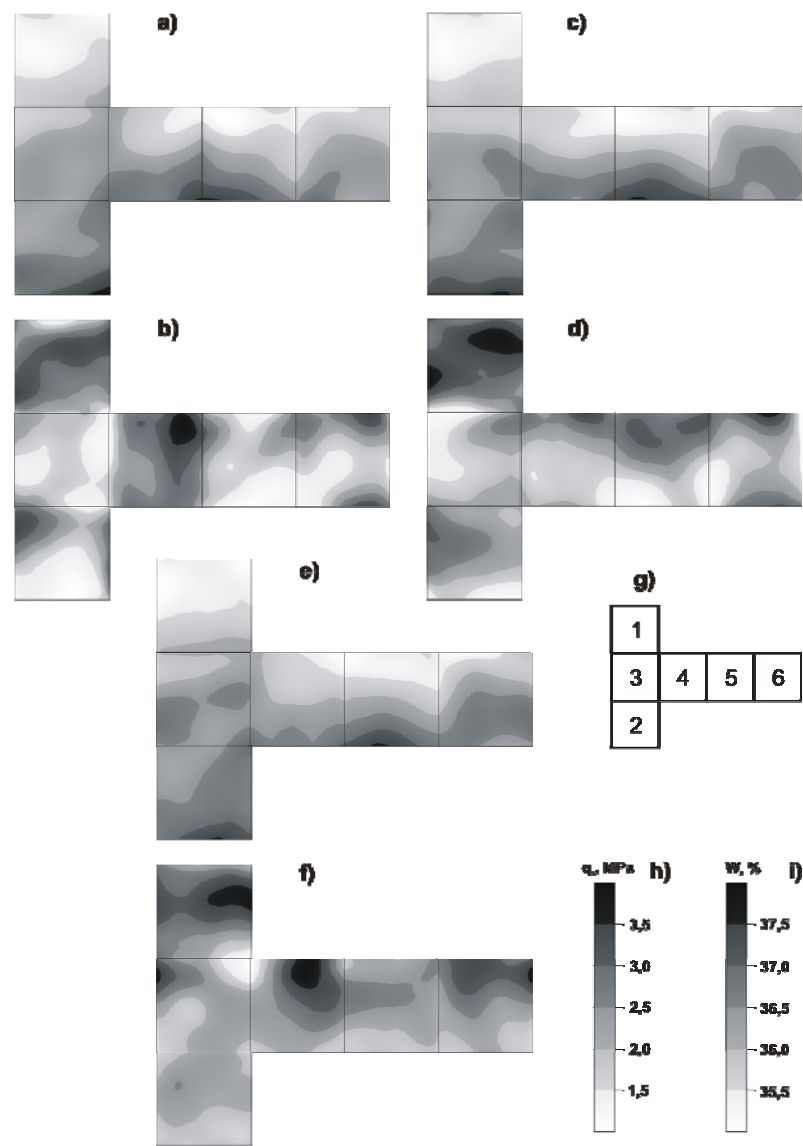


3.3. attēls. Konusa iespiešanas pretestības (augšējā attēlu rinda) un dabiskā mitruma vērtību (vidējā attēlu rinda) sadalījums uz pētītā morēnas kuba skaldnēm (X, Y un Z–axis) un mērījumu vērtību savstarpējā korelācija (apakšējā attēlu rinda) (pēc Karpovičs, Segliņš, 2009)

Figure 3.3. Distribution of measured cone resistance (upper row), natural moisture (middle row) values on measured till cube faces (X, Y and Z axes) and correlation graphs between measured values (after Karpovičs, Segliņš, 2009)

Savukārt atsevišķo konusa iespiešanas pretestības un dabiskā mitruma vērtību sadalījums un tā grafiskais atspoguļojums veido sarežģītu attēlu. Pētījuma vietas

sagatavošana, tikai kalibrētu instrumentu lietošana, visu mērījumu vairākkārtēja pārbaude laukā un datu iepriekšējā statistiskā pārbaude neļauj iegūto vērtību salīdzinājumu interpretēt kā kļūdas vai nepilnības. Tādējādi iegūtā aina atspoguļo visai sarežģītu pētāmās vielas (glacigēno nogulumu) īpašību sadalījumu izvēlētajos mērījumu veikšanas virzienos. Attēlos viegli pamanāma ne tikai īpašību anizotropija atkarībā no virziena (pētītās kuba skaldnes, t.i., azimuta), bet arī vērtību sadalījuma visai kontrastainās atšķirības. Atzīmējams, ka tās netika konstatētas pirms vizualizēšanas regulārā mērījumu tīklā (Karpovičs, Segliņš, 2009).



3.4. attēls. Instrumentāli mērīto konusa iespiešanas pretestības (a, c, e) un dabīgā mitruma (b, d, f) vērtību sadalījums uz pētītā morēnas kuba skaldnēm mērījumiem pa X–asi (a,b), Y–asi (c,d) un Z–asi (e,f)

Apzīmējumi: kuba skaldņu izvietojums g) 1 – augšējā; 2 – apakšējā; 3 – priekšējā; 4 – labā; 5 – aizmugurējā, 6 – kreisā. Konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību skalas (h, i) ir vienotas visiem mērījumiem

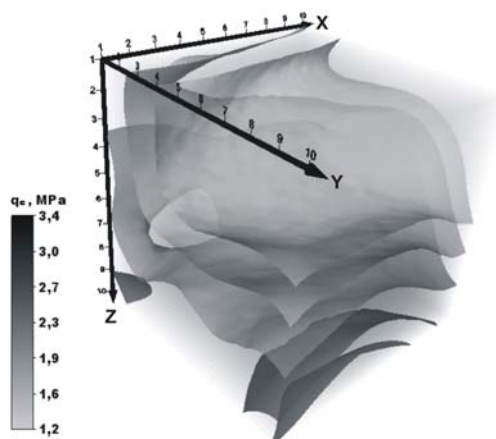
Figure 3.4. Distribution of measured cone resistance (a, c, e) and natural moisture (b, d, f) values on measured till cube faces if measurements were made along X-axis (a,b), Y-axis (c,d) and Z-axis (e,f)

Legend: arrangement of cube faces g) 1 – upper; 2 – lower; 3 – front; 4 – right; 5 – back, 6 – left. Cone resistance and natural moisture value scales (h, i) are uniform to all measurements

Daudz plašākas iespējas novērtēt abu mērīto parametru vērtību sadalījumu un savstarpējās atkarības deva to vizualizācija uz visām kuba ārējām skaldnēm, mērījumiem, kas veikti visos virzienos (3.4. attēls). Turklāt objektīvākai salīdzināšanai vērtību izolīnijas attēlotas ar vienādu soli 0,5 MPa konusa iespiešanas pretestības vērtībām un 0,5% dabīgā mitruma vērtībām. Arī šajā gadījumā vizuāli novērojamas noteiktas sakarības abu parametru vērtību sadalījumā. Konusa iespiešanas pretestības vērtību sadalījumā vizuāli novērojams kopumā līdzīgs vērtību sadalījums. Turklāt ir skaldnes, uz kurām novērojams raksturīgs konusa iespiešanas pretestības vērtību sadalījums, kas ar nelielām atšķirībām atkārtojas neatkarīgi no mērījumu veikšanas virziena, piemēram, – aizmugurējā un labā malējā skaldne. Mitruma vērtību sadalījums ir daudz sarežģītāks, bet tas nav haotisks un ir novērojamas zināmas sakarības mērījumiem, kas veikti atšķirīgos virzienos. Uz novēroto sakarību patiesumu norāda arī aprēķinātie korelācijas koeficienti starp mērījumu vērtībām, kas veikti atšķirīgos virzienos, tas ir, $r = 0,7$ konusa iespiešanas pretestības vērtībām un $r = 0,35$ (vidēji) dabīgā mitruma vērtībām.

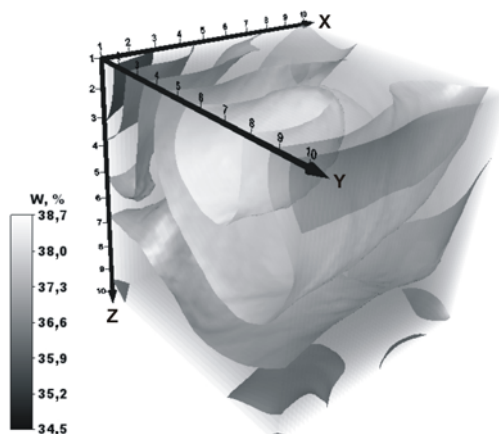
3.5. Īpašību sadalījuma telpiskās konstrukcijas

Telpiskās konstrukcijas veidotas, apstrādājot mērījumu rezultātus visā morēnas kuba tilpumā, kas veikti atsevišķi pa katru no asīm (3.5. un 3.6. attēls).



3.5. attēls. Konusa iespiešanas pretestības vērtību (q_c , MPa) sadalījums kuba telpā; mērījumi veikti perpendikulāri zemes virsai (Z -ass) – iedaļas vērtība uz ass 0,1 m (pēc Karpovičs, Segliņš, 2009)

Figure 3.5. Spatial distribution (in cube) of measured cone resistance values (q_c , MPa) if measurements are made perpendicularly to earth's surface (Z axis) – step size on axes 0.1 m (after Karpovičs, Segliņš, 2009)



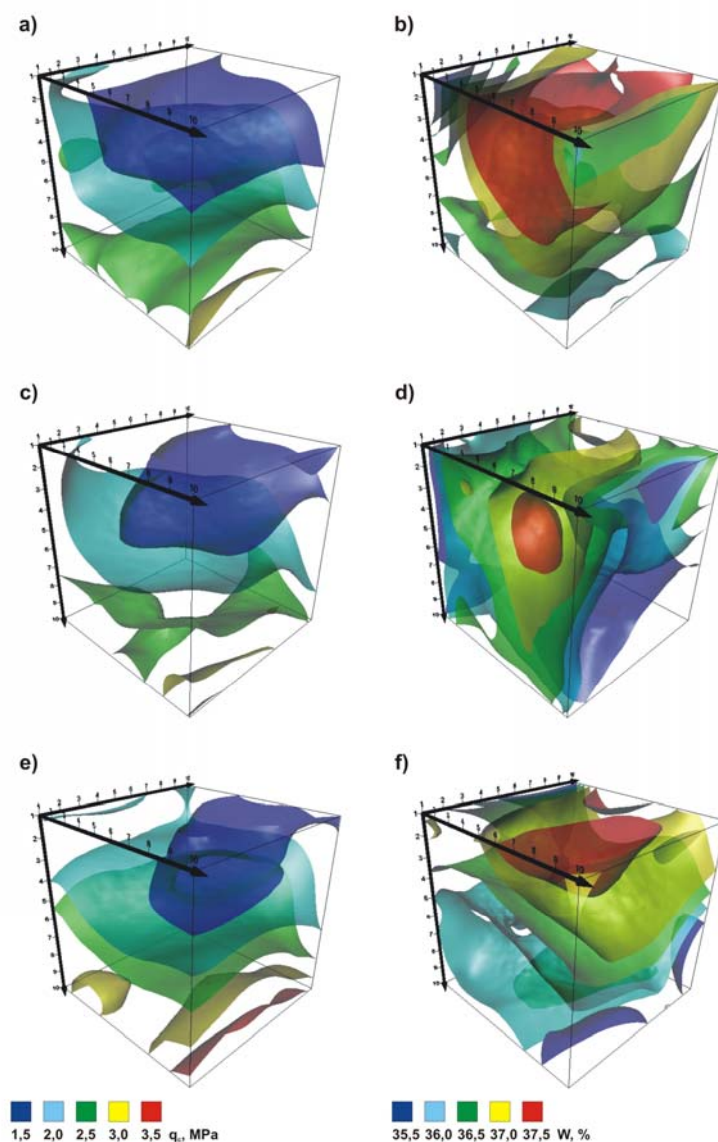
3.6. attēls. Dabiskā mitruma vērtību (W , tilp. %) sadalījums kuba telpā; mērījumi veikti perpendikulāri zemes virsai (Z -ass) – iedaļas vērtība uz ass 0,1 m (pēc Karpovičs, Segliņš, 2009)

Figure 3.6. Spatial distribution (in cube) of measured natural moisture (W , vol. %) values if measurements are made perpendicularly to earth's surface (Z axis) – step size on axes 0.1 m (after Karpovičs, Segliņš, 2009)

Iegūtā rezultātu vizualizācija skaidri norāda uz visai sarežģītu pētītā iežu masīva iekšējo uzbūvi, ko nosaka dažādu īpašību mikroslāņu savstarpējās attiecības telpā.

Atzīmējams, ka šāda iekšējās uzbūves sarežģītība iepriekš netika konstatēta ne lauka pētījumu gaitā, veicot mērījumus, ne arī analizējot mērītās vērtības atsevišķās skaldnēs, un nav atpazīstama arī mērīto vērtību savstarpējās korelatīvajās atkarībās.

Konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību sadalījumu telpā un šo parametru vērtību sadalījuma atkarību no mērījumu veikšanas virziena ļāva novērtēt to telpisko vizualizāciju (3.7. attēls) salīdzināšana. Lai sakarības starp mērītajiem parametriem būtu objektīvi salīdzināmas, visas vērtību izovirsmas (slāņi) attēlotas ar vienādu soli – q_c ar soli 0,5 MPa un W ar soli 0,5%.



3.7. attēls. Konusa iespiešanas pretestības q_c , MPa (a, c, e) un dabīgā mitruma W , % (b, d, f) vērtību sadalījums kuba telpā mērījumiem pa Z–asi (a, b), X–asi (c, d) un Y–asi (e, f)

Figure 3.7. Spatial distribution of cone resistance q_c , MPa (a,b,c) and natural moisture – W , vol. % (d, e, f) values in cube if measurements are made along X–axis (a,b), Y–axis (c,d) and Z–axis (e,f)

Attēlā (3.7. attēls) redzams, ka mērīto parametru vērtību sadalījums telpā ir atšķirīgs atkarībā no virziena, kurā veikti mērījumi. Turklāt novērojamas šādas sakarības:

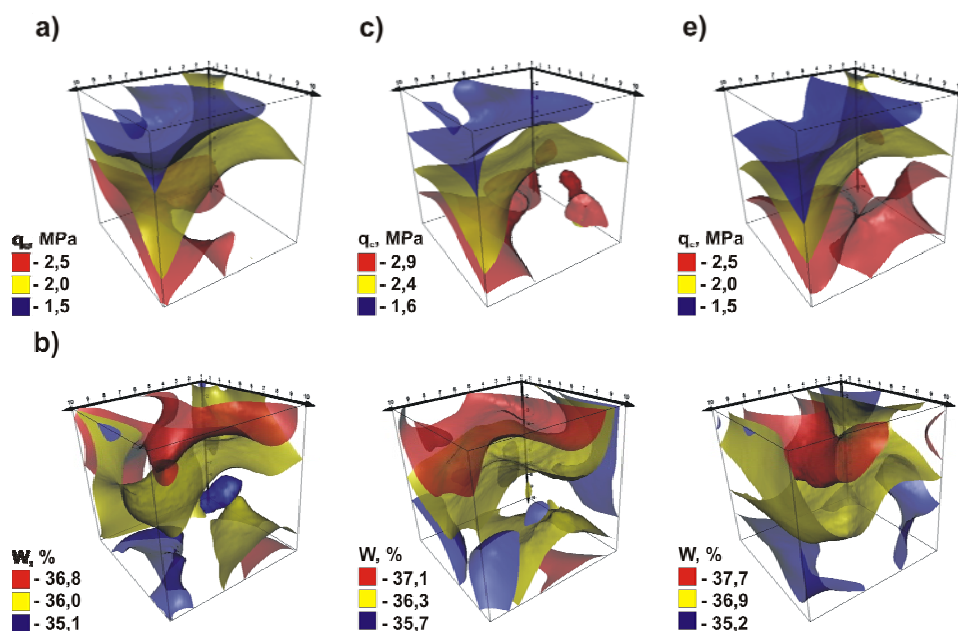
- konusa iespiešanas pretestības vērtību atkarība no mitruma vērtību sadalījuma vizualizācijās nav novērojama;

- salīdzinot 35,5% un 37,5% izovirsmas, redzams, ka mērījumiem pa Z–asi novērojamas dabīgā mitruma vērtības ir augstākas, salīdzinot ar X un Y asīm;

- salīdzinot 0,5 MPa un 3,5 MPa izovirsmas novērojamas konusa iespiešanas pretestības vērtības pa Y asi ir salīdzinoši augstākas nekā pa X un Z asīm.

Pēdējās no sakarībām norāda uz šo parametru anizotropiju.

Lai pārbaudītu novēroto sakarību, salīdzinātas konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma vērtību pirmās kvartiles, mediānas un trešās kvartiles izovirsmas telpā (3.8. attēls).



3.8. attēls. Konusa iespiešanas pretestības q_c , MPa (a,b,c) un dabīgā mitruma W , % (d, e, f) pirmās, trešās kvartiles un mediānas vērtību sadalījums kuba telpā, mērījumiem pa X–asi (a,b), Y–asi (c,d) un Z–asi (e,f)

Apzīmējumi: ■ – pirmā kvartile; ■ – mediāna; ■ – trešā kvartile. Iedaļas vērtība uz ass 0,1 m

Figure 3.8. Spatial distribution of cone resistance q_c , MPa (a,b,c) and natural moisture – W, vol. % (d, e, f) first, third quartile and median values in cube if measurements are made along X–axis (a,b), Y–axis (c,d) and Z–axis(e,f)

Legend: ■ – first quartile; ■ – median; ■ – third quartile. Step size on axes 0.1 m

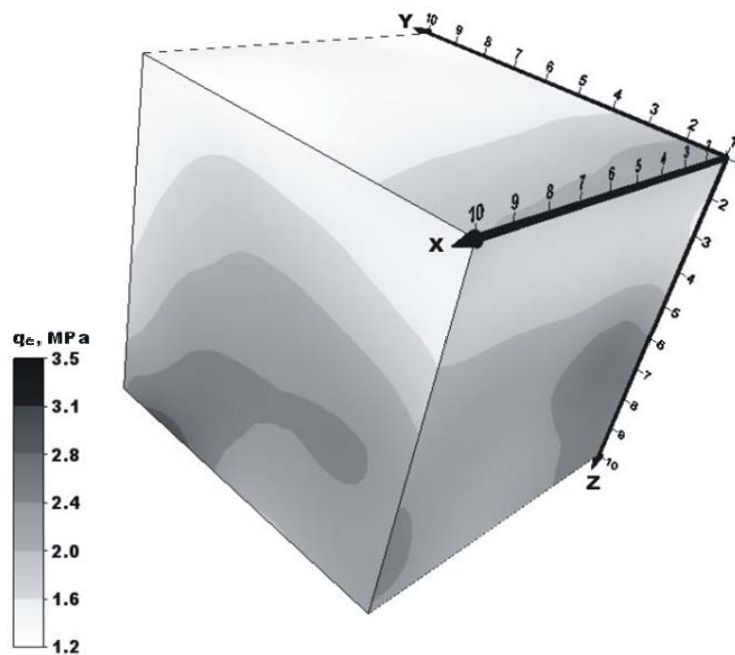
Šāda pieeja ļāva novērot līdzīgas sakarības kā vizualizācijas, kur izovirsmas attēlotas ar vienādu soli (3.7. attēls), kas aprakstītas iepriekšējā rindkopā, un tas liecina, ka novērotās sakarības nav nejaušas. Par to liecina arī pamatmorēnas q_c un W% vērtību vizualizācijas līdzīgos pētījumos Lodesmuižas apkārtnē (Karpovičs *et al.* 2010).

3.6. Grunšu neviendabīgums un tā novērtēšana

Gandrīz visas dabīgi radušās gruntis ir neviendabīgas, un to neviendabīgumu nosacīti var iedalīt divās grupās (Elkateb, 2003). Grunšu pētījumos litoloģiskais jeb sastāva neviendabīgums izpaužas kā plastiskāki vai cietāki ieslēgumi attiecīgi cietākā vai plastiskākā pamatmasā, kā arī pēc sastāva atšķirīgu nogulumu lēcas. Savukārt otra neviendabīguma veidu raksturo grunšu īpašību mainība telpā, kas saistīta ar atšķirīgiem nogulumu veidošanās apstākļiem un noslodzes vēsturi. Atzīmējams ir arī trešais aspekts, kas izriet no pētījuma punktu vienmērīguma, iegūto mērījumu un novērtējumu proporcionalitātes, pētītā priekšmeta varietātēm un tamlīdzīgi, kas nosaka datu kopu salīdzināmību.

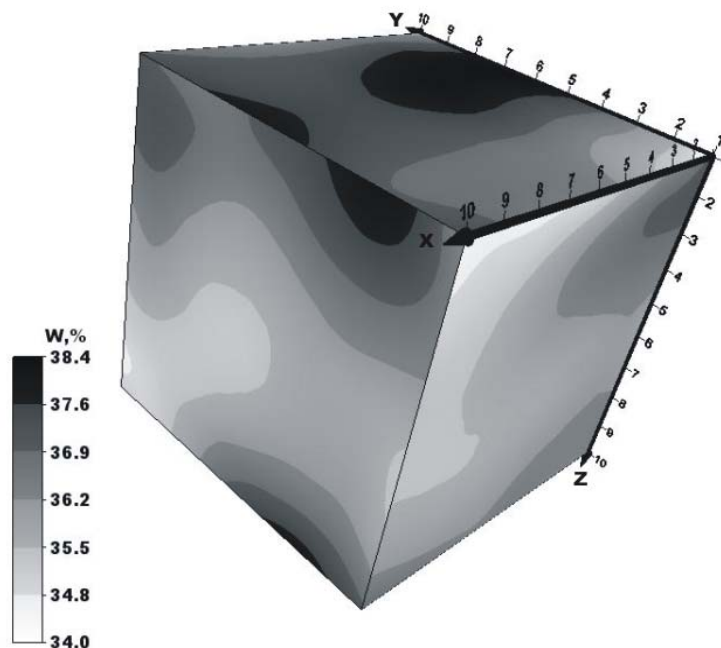
Tradicionāli inženierģeoloģiskajos pētījumos grunšu īpašību neviendabīguma novērtēšanai tiek lietotas vairākas pieejas, – gan klasiskās statistikas, vidējās aritmētiskās vērtības, variācijas koeficients, regresijas un korelācijas analīze, gan ģeostatistikā analīze (Jaksa, 1995), krigings, galveno komponentu analīze (PCA) (Lebourg *et al.* 2003) un vairākas citas. Autora pētījumā izmantotās klasiskās statistikas rādītāji (minimums, maksimums, vidējais aritmētiskais, mediāna, 1. un 3. kvartile, variācijas koeficients) un regresijas un korelācijas analīze, kas ir vienkāršas, plaši un sekmīgi pielietotas metodes līdzīgas ievirzes zinātniskajos pētījumos (Sobolewski, 2003; Otando, 2004). Tos papildina neviendabīguma novērtēšanai izmantotās mērīto parametru – konusa iespiešanas pretestības un mitruma vērtību grafiskās vizualizācijas.

Attiecībā uz pētīto iežu – morēnas masīvu, iegūtie rezultāti liek visai būtiski pārskatīt dominējošos, vienkāršotos priekšstatus par morēnas nogulumu viendabību, kas nereti balstās uz vizuālajiem novērojumiem un paviršiem saguluma elementu novērtējumiem atsevišķos novērojumu punktos. Uz šādiem nepamatotiem vienkāršojumiem pētījumos norādījuši daudzi pētnieki (Dreimanis, 1988; Ehlers, 1996). Šajā ziņā informatīvi var būt oļu garenasu orientācijas mērījumi, kas ļauj iepriekšēji novērtēt ietekmējošo spēku nozīmīgumu morēnas veidošanās procesā. Savukārt, novērtējot tādas mehāniskās īpašības kā konusa iespiešanas pretestība un dabiskais mitrums, ir iespējams konstatēt pētāmo morēnas nogulumu nozīmīgu iekšējās uzbūves neviendabīgumu, kas izpaužas kā būtiskas atšķirības mērīto lielumu sadalījumā plaknē (mūsu pētījuma gadījumā – kuba skaldnēs) un jo vairāk – telpā (Karpovičs, Segliņš, 2009; Karpovičs, 2008^a). Uzskatāmi tas ilustrēts 3.9. un 3.10. attēlā.



3.9. attēls. Konusa iespiešanas pretestības vērtību (q_c , MPa) sadalījums uz kuba skaldnēm; mērījumi veikti perpendikulāri skaldnēm. Iedaļas vērtība uz ass 0,1 m (pēc Karpovičs, Segliņš, 2009)

Figure 3.9. Spatial distribution of measured cone resistance values (q_c , MPa) on cube faces if measurements are made perpendicularly to each face – step size on axes 0.1 m (after Karpovičs, Segliņš, 2009)



3.10. attēls. Dabiskā mitruma vērtību (W , tilp. %) sadalījums uz kuba skaldnēm; mērījumi veikti perpendikulāri skaldnēm. Iedaļas vērtība uz ass 0,1 m (pēc Karpovičs, Segliņš, 2009)
 Figure 3.10. Spatial distribution of measured natural moisture (W , vol. %) on cube faces if measurements are made perpendicularly to each face – step size on axes 0.1 m (after Karpovičs, Segliņš, 2009)

Konstatētā īpašību sadalījuma kontrastainība (3.9. un 3.10. attēls) norāda uz visai ievērojamiem riskiem kļūdaini novērtēt glacigēno nogulumu īpašības un tās vispārināt, nepietiekami izzinot šo nogulumu patiesos saguluma apstākļus un īpašību sadalījumu masīvā (Karpovičs, Segliņš, 2009). Turklāt jaunākie pētījumi (Karpovičs *et al.* 2010) rāda, ka līdzīgas sakarības konstatētas pamatmorēnas nogulumos citur Latvijā. Tas liecina par konstatētās sakarības nav nejaušas.

3.7. Glacigēno grunšu anizotropija

Pētījuma rezultāti norāda, ka instrumentāli mērīto fizikālo īpašību vērtības ir atkarīgas no virziena, kurā tās noteiktas (3.9. un 3.10. attēls). Atšķirības konstatējamās katrā individuālajā skaldnē, to savstarpējos salīdzinājumos un vispildīgāk – analizējot iežu

masīvu tilpumā. Tomēr šādas atšķirības nav konstatējamas apkopotajos mērīto parametru statistiskajos rādītājos, kā arī mērījumu vērtību savstarpējā korelācijā (3.3. nodaļa). Kā savā pētījumā norāda M. Jakša, tad, pieaugot grunts neviendabīgumam, proporcionāli palielinās prognozējamo grunts īpašību kļūda (Jakša, 1995), tāpēc grunšu neviendabīguma pētījumiem ir būtiska praktiskā nozīme. Šī iemesla dēļ nepieciešams veikt papildu pētījumus attiecībā uz citiem lietišķajos pētījumos izmantotajiem grunšu īpašību novērtējumiem laboratorijas apstākļos, atbilstoši papildinot izpētes darbu metodikas.

Īpaši pieminams ir vairāku zinātnieku veiktais augstas detalizācijas pētījums par morēnas biezuma izmaiņām teritorijā mūsdienu sedimentācijas vidēs ledāja tiešā tuvumā (Krüger *et al.* 2003). Pētījuma gaitā novērotas morēnas porainības un bīdes pretestības vērtību nozīmīgas atšķirības starp dažādiem morēnas slāņiem, turklāt bīdes pretestība aprēķināta pēc rokas penetrometra mērījumu rezultātiem. Diemžēl minētā pētījuma autori nav norādījuši izmantotā rokas penetrometra precizitāti un nav aprakstījuši, kā tika aprēķināta bīdes pretestība, tomēr šāda pieeja var būt perspektīva arī morēnas nogulumu kvartārģeoloģiskajos pētījumos.

3.8. Pētījuma vietas izvēle

Izvēloties pētījuma vietu, bija jāņem vērā vairāki nosacījumi, kas atkarīgi kā no pētāmās grunts īpatnībām, tā arī mērījumu organizācijas viedokļa. Līdz šim Latvijā šādi pētījumi veikti ļoti ierobežoti, tāpēc pētījuma vietas izvēles kritēriji izstrādāti darba gaitā, ņemot vērā iepriekš veikto pētījumu pieredzi (Jakša, 1995; Grunwald *et al.* 2001).

Pētījumā iegūtā pieredze parāda, ka, izvēloties vietu detalizētu mērījumu veikšanai, būtiska nozīme ir ģeoloģiskā griezuma atbilstība mērījumu veikšanas tehniskajiem aspektiem, kas iztirzāti 2.3. nodaļā. Eksperimentālie mērījumi morēnas gruntīs uzrāda būtiskas grunts īpašību skaitlisko vērtību un sadalījuma atšķirības starp augsnes veidošanās un citu ārēju procesu ietekmē izmainīto un neizmainīto grunts masīva daļu (Karpovičs, 2008^a). Noskaidrots, ka konusa iespiešanas pretestības skaitliskajām vērtībām grunts izmainītajā un neizmainītajā daļā ir bimodāls sadalījums, un katra no atsevišķajām izlasēm atbilst mērījumiem katrā no minētajām grunts daļām, tāpēc tās pētāmas atsevišķi. Izmainītās daļas biezums pētītajos griezumos mainījās robežās no 40–80 cm.

Pētījumā, par augsnes procesu ietekmes zonas robežu pieņemts cilmiezis ar augsnes horizontiem raksturīgo spilgtāko krāsu nomaiņu pret morēnas nogulumiem raksturīgajām krāsām, kas konkrētajā gadījumā bija 180 cm dziļumā. Līdzīgi secinājumi izriet no daudziem pētījumiem augsnes zinātnē, kur minētais lielums Latvijas morēnas cilmieža apstākļos visbiežāk minēts robežās no 1,2–2,6 m.

3.9. In situ mērījumu nepieciešamība

Zinātniskajā literatūrā, īpaši pēdējos gados, plaši diskutēts par *in situ* grunšu pētījumu metožu, t.sk., par dažādu portatīvo rokas instrumentu izmantošanas (Herrick, Jones, 2002; Osunbitan *et al.* 2005; Poršinsky *et al.*, 2006) iespējām un priekšrocībām, no kurām kā būtiskākās minamas:

- iespēja veikt mērījumus gruntīs dabiskā saguluma apstākļos;
- nelielas izmaksas, salīdzinot ar laboratorijas metodēm, un līdz ar to iespēja iegūt lielāku datu kopu;
- iespēja veikt mērījumus vietās, kur nav iespējams piekļūt ar masīvu pētniecības tehnisko aprīkojumu;
- realizējama mērījumu blīvums; ar rokas instrumentiem, izmantojot to nelielos izmērus, mērījumus iespējams veikt dažu centimetru attālumā vienu no otra.

Šajā pētījumā instrumentu izmērs bija viens no būtiskākajiem aspektiem –, veicot pētījumus decimetru mērogā iespējas realizēt mērījumus dažu centimetru attālumā bija priekšnosacījums, lai novērtētu grunts īpašību sadalījumu šajā mērogā. Svarīgi atzīmēt, ka atšķirībā no tradicionālās pieejas, t.i., veikt mērījumus perpendikulāri Zemes virsmai, mūsu izvēlēta pieeja pavēra iespēju īstenot mērījumus arī horizontālajā plaknē. Rezultātā jaunā pieeja ļāva novērtēt ne tikai pētīto grunšu īpašību sadalījumu telpā, bet arī to atkarību no mērīšanas virziena jeb īpašību anizotropiju. Līdzīgas detalitātes īpašību nevienmērīguma sadalījuma pētījumi pasaulē līdz šim (vismaz attiecībā uz mālainajām un glacigēnajām gruntīm) nav zināmi. Tādēļ nākotnē prognozējamas diskusijas par to metodiskajiem jautājumiem.

3.10. Rokas penetrometra izmantošanas iespējas detalizētos grunšu pētījumos

Disertācijā izmantotie portatīvie instrumenti līdz šim nav bieži izmantoti augstas detalizācijas inženierģeoloģiskajos pētījumos. Tādēļ būtiski novērtēt pētījumā izmantoto rokas penetrometra un mitruma mēraparāta mērījumu precizitāti un piemērotību konkrētajam pētījumam lauka apstākļos glacigēnajās gruntīs.

Rokas penetrometru izmantošanai zinātniskajos pētījumos ir vairākas priekšrocības, tomēr jāstopas ar vairākiem trūkumiem, kuru ietekmes mazināšanai nepieciešami risinājumi. Būtiskākais no trūkumiem, kas minēts zinātniskajā literatūrā (Herrick, Jones, 2002; Fatherree, 2006; Tekin *et al.* 2008), ir mērījumu rezultātu atkarība no mērītāja kvalifikācijas un tā subjektīvajām īpašībām. Atbilstoši uzturētu un pārbaudītu, darba kārtībā esošu instrumentu un akurāti veiktu mērījumu kvalitāte ir mērinstrumenta kļūdas robežās vai zemāka par to (Tekin *et al.* 2008). Mūsu līdzšinējā pieredze rāda, ka šai problēmai iespējami vairāki risinājumi, bet vispirms būtu jāapskata iespējamie problēmas cēloņi. Zināms, ka mālainajās gruntīs konusa iespiešanas pretestība pieaug līdz ar konusa iespiešanas ātrumu (Freitag, 1968). Tomēr lielākajā daļā grunšu konusa iespiešanas mērījumu rezultātus maz ietekmē gan iespiešanas ātrums, kas varētu atšķirties dažādiem mērītājiem, par pamatu ņemot ASAE rekomendētos 30 mm/sek (van Wijk and Beuving, 1978; Anderson *et al.* 1980), gan iespiešanas ātruma vienmērīgums (Bengough *et al.* 2000). Par to liecina pētījumā veiktie salīdzinošie mērījumi, kas notika masīvos morēnas nogulumos, kur variācijas koeficients 63 mērījumiem bija 2% (2.5.4. nodaļa). Tas apstiprina, ka precizitātes nodrošināšanai relatīvi lielāka nozīme ir mērītāja pieredzei un mērījumu akurātam. Akurāti veiktu mērījumu rezultāti ir savā starpā salīdzināmi.

Cits aspekts ir glacigēnās grunts rupjgraudainās komponentes rupjas grants un oļu ietekme uz mērījumu precizitāti. Tieši šīs komponentes arī pēc A. Zobenas (1962) un citu pētnieku (Hoole, 1978) datiem rada lielākās instrumentālās kļūdas īpašību novērtēšanā, kā laboratorijas, tā arī lauka apstākļos. Mūsu pētījumā šis aspekts tika ņemts vērā –, ja ar penetrometru veiktā mērījuma laikā konuss saskārās ar oli, kas tika konstatēts pēc raksturīgās skaņas, mērījums tika atkārtots.

3.11. Vēsturisko datu izmantošanas iespējas, ģeotehnisko īpašību datu bāzes

Veicot detalizētus grunšu pētījumus, vienmēr eksistē zināms risks, ka tie var atspoguļot galvenokārt pētāmās teritorijas lokālas īpatnības. Īpaši svarīgi tas ir glacigēno nogulumu pētījumos, kas atšķiras ar ļoti augsto sastāva mainību pat nelielos attālumos (Dreimanis, 1988; Ehlers, 1996; Krüger *et al.* 2003). Tādēļ, uzsākot pētījumu, vispirms jānovērtē pētāmajām gruntīm raksturīgākās īpašības un iespējamais to vērtību svārstību diapazons. Mūsu pētījumā šim nolūkam izveidota elektroniskā datu bāze, kur ietverti LVĢMA Ģeoloģijas fondā un arhīvā uzkrātie inženierģeoloģisko analīžu rezultāti, iepriekšēji tos izvērtējot un atlasot kvalitatīvākos. Lai gan minēto datu statistiskā apstrāde un izvērtējums norādīja uz šo datu trūkumiem (2.1. nodaļa), tomēr tie atzīstami par pietiekamiem glacigēno grunšu īpašību vērtību izmaiņu diapazona un savstarpējo atkarību vispārīgajam novērtējumam (Segliņš *et al.* 2009).

Šāda pieeja grunšu īpašību telpiskā mainīguma pētījumos ar labiem panākumiem izmantota salīdzinoši plaši (piem., Jaksa, 1995), tas ir – grunšu īpašību novērtēšana detālā mērogā veikta pēc konkrētajā zinātniskajā pētījumā iegūtajiem datiem, bet plašāka mēroga pētījumiem izmantotas iepriekš veikto lietišķo pētījumu datu bāzes. Pēdējos gados līdzīgas grunšu ģeotehnisko īpašību publiski pieejamas datu bāzes veidotas gan pētnieciskiem nolūkiem, tai skaitā glacigēnām gruntīm (Hashemi *et al.* 2006), gan lietišķajiem pētījumiem, kur viens no grunšu pamata novērtēšanas parametriem ir rokas penetrometra konusa iespiešanas pretestība (Seman, Shoop, 2007).

Jāpiebilst, ka Latvijā līdz šim reģionāla mēroga datu bāzes nav veidotas un pētījuma vajadzībām sastādītā datu bāze ir viena no pirmajām. Nākotnē šādas datu bāzes, tajā skaitā šajā darbā izveidotā, būtu pilnveidojamas un papildināmas ar jauniem datiem, kas ļautu precīzāk novērtēt grunšu īpašību savstarpējās atkarības un reģionālo neviendabīgumu.

3.12. Konusa iespiešanas pretestības un dabīgā mitruma mērījumu nozīmīgums un precizitāte

Konusa iespiešanas pretestība (q_c) raksturo grunts stiprību, ko iespējams izteikt gan grunšu mehāniskajās īpašībās, kā bīdes pretestība, saiste, deformācijas modulis u.c., gan

fizikālajās īpašībās kā mitrums, blīvums un citas (Campbell, O'Sullivan, 1991; Bengough *et al.* 2000). Viena no būtiskākajām grunts fizikālajām īpašībām, kas ietekmē konusa iespiešanas pretestības vērtības, ir mitrums (Topp *et al.* 2003; Seman, Shoop, 2007). Šo parametru savstarpējā atkarība ir sen zināma (van Wijk, Beuving, 1978), tomēr līdz šim pat empīriski šāda atkarība apzināta tikai dažos grunšu tipos (Grunwald *et al.* 2001).

Šajā pētījumā veiktā regresijas analīze (3.2. attēls) parādīja, ka minētā sakarība konstatējama arī glacigēnajās gruntīs, taču tikai vidējojot mitruma vērtības attiecībā pret konusa iespiešanas pretestības vērtībām ar soli 0,2 MPa. Turpretī, salīdzinot abu parametru vērtības atsevišķos mērījumu punktos, šāda sakarība netika novērota, norādot, ka šo sakarību glacigēnajās gruntīs ietekmē vēl kāds parametrs. Par to liecina arī citi pētījumi (Herrick, Jones, 2002), kur atklāts, ka konusa iespiešanas pretestība galvenokārt atkarīga no grunts blīvuma, kas jāievēro, novērtējot šo atkarību.

No lietišķo ģeoloģisko pētījumu skatpunkta svarīgi ir disertācijas papildu secinājumi un konstatējumi par pētījumu metodiku *in situ* apstākļos, datu pirmapstrādi un statistisko analīzi, kā arī datu un to analīzes vizualizāciju.

Glacigēno grunšu īpašību raksturošanai izmantotie rādītāji ir – konusa iespiešanas pretestība un mitrums. Taču to izmantošanai lietišķajos, inženierģeoloģiskajos pētījumos empīriski, pēc konusa iespiešanas pretestības (q_c) vērtībām, būtu papildus jānosaka deformācijas modulis un iekšējās berzes leņķis, kā arī citi parametri – grunts blīvums, granulometriskis sastāvs un konsistences rādītājs.

Autora pieeja, organizējot sistemātiskus mērījumus ģeometriskajos objektos un vizualizējot iegūtos rezultātus, ļāva konstatēt gan pētīto grunšu īpašību neviendabīgumu, gan anizotropiju. Tas būtu jāņem vērā, veicot gan ģeoloģiskos, gan inženierģeoloģiskos pētījumus. Tas norāda uz būtiski plašāku augstas detalizācijas grunšu pētījumu nepieciešamību.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra:

1. Āboltiņš, O., Dreimanis, A., 1995. Glacigenic deposits in Latvia. In: Ehlers, J., Kozarski, S., Gibbard, Ph. (eds) *Glacial deposits in North Eastern Europe*. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 115–124.
2. Alikonis, A., Stragys, V., Simkus, J., 1995. Geotechnical properties of glacial clay. In: *Proceedings of the 11th European Conference on Soil mechanics and Foundation Engineering*, dgf-Bulletin 11. Vol. 1., Danish Geotechnical Society, Copenhagen, pp. 1.1–1.6.
3. Allred, B. J., 2000. Survey of Fractured Glacial Till Geotechnical Characteristics: Hydraulic Conductivity, Consolidation, and Shear Strength. *The Ohio Journal of Science*, 100(3/4), 63–72.
4. Anagnostopoulos, A., Koukis, G., Sabatakakis, N., Tsiambaos, G., 2003. Empirical correlations of soil parameters based on Cone Penetration Tests (CPT) for Greek soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 21(4), 377–387.
5. Anderson, G., Pidgeon, J. D., Spencer, H. B., Parks, R., 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. *Journal of Soil Science*, 31, 279–296.
6. ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1999a. Soil Cone Penetrometer. ASAE Standard S313.3. American Society of Agricultural Engineers: St. Joseph, MI.
7. Atkinson, J. H., Little, J. A., 1988. Undrained triaxial strength and stress-strain characteristics of glacial till soil. *Canadian Geotechnical Journal*, 25, 428–439.
8. Bachmann, J., Contreras, K., Hartge, K. H., MacDonald, R., 2006. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 112–118.
9. Bamberg, K., Trambachs, A., Vītiņš, J., Eiduks, J., Bērziņš, K., Birzniece, E., Bite, J., Cukermanis, K., Greste, J., Melzobs, V., Ozols, A., Pērkons, V., Preimanis, V., Vitkovskis, R., Vjacins, A., 1949. Zemes bagātību pētniecības institūta pētnieciskās darbības vispārīgs pārskats. LPSR ZA Raksti 1, Latvijas Valsts izdevniecība, 15–35.
10. Barański, M., 2008. Engineering-geological properties of normally consolidated tills from Płock area. *Geologija*, 50, 40–48.

11. Bell, F. G., Culshaw, M. G., Cripps, J. C., 1990. Field testing methods for engineering geological investigations. *Geological Society Engineering Geology Special Publication*, 6, 3–20.
12. Bengough, A. G., Campbell, D. J., O’Sullivan, M. F., 2000. Penetrometer Techniques in Relation to Soil Compaction and Root Growth. In: Smith, K. A. (ed) *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods (2nd Edition)*. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 377–404.
13. Boulton, G. S., 1980. The development of geotechnical properties in glacial tills. In: Legget, R. F. (ed) *Glacial Till. An Inter-disciplinary Study*. The Royal Society of Canada, Ottawa, pp. 292–303.
14. Boulton, G. S., 1978. The genesis of glacial tills – a framework for geotechnical interpretation. In: Hoole, E. B. (ed) *The engineering Behaviour of Glacial Materials*, Geo Abstracts, Norwich, pp. 52–59.
15. Boulton, G. S., Paul, M. A., 1976. The influence of genetic processes on some geotechnical properties of till. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 9, 159–194.
16. Brūvelis, E., 2003. *Latvijas aviācijas vēsture, 1919–1940*. Jumava, Rīga, 461 lpp.
17. Busscher, W. J., Bauer, P. J., Camp, C. R., Sojka, R. E., 1997. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil and Tillage Research*, 43(3), 205–217.
18. Campanella, R. G., Robertson, P. K., 1988. Current status of the piezocone test. In: *Penetration Testing 1988, Vol. 1 (Proc. ISOPT-1, Orlando)*, Balkema, Rotterdam, pp. 93–116.
19. Campbell, D. J., O’Sullivan, M. F., 1991. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. In: Smith, K. A., Mullins, C. E. (eds) *Soil analysis. Physical methods*. Marcel Dekker, New York, pp. 399–430.
20. Casagrande, A., 1948. Classification and Identification of Soils. *Trans. ASCE*, 113, 919–925.
21. Christoffersen, P., 2003. *Thermodynamics of basal freeze-on Subglacial property changes and ice sheet response*. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 100 pp.
22. Christy, A. D., Mcfarland, L. A., Carey, D., 2000. The Use of Test Pits to Investigate Subsurface Fracturing and Glacial Stratigraphy in Tills and Other Unconsolidated Materials. *The Ohio Journal of Science*, 100(3/4), 100–106.

23. Clarke, B. G., Aflaki, E., Hughes, D. B., 1997. A framework for the characterisation of glacial tills. *Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng.* Hamburg, pp. 263–266.
24. Clarke, B. G., Chen, C. C., Aflaki, E., 1998. Intrinsic compression and swelling properties of a glacial till. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 31(3), 235–246.
25. Clarke, B. G., Hughes, D. B., Hashemi, S., 2008. Physical characteristics of subglacial tills. *Géotechnique*, 58(1), 67–76.
26. Clarke, G. K. C., 2005. Subglacial Processes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 247–276.
27. Classification of Soils for Engineering Purposes. 1985. ASTM D2487-83, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.08, 395–408.
28. Code of practice for site investigations. BS 5930:1999. British Standards Institution, London. 204 pp.
29. Cooling, L. F., Skempton, A. W., Little, A. L. (eds) 1969. *A century of soil mechanics: Classic papers on soil mechanics published by the Inst. of civil engineers 1844–1946*. The Institution of civil engineers, London, 482 pp.
30. Culshaw, M. G., Cripps, J. C., Bell, F. G., Moon, C. F., 1991. Engineering geology of Quaternary soils: I. Processes and properties. In: Forster, A., Culshaw, M. G., Cripps, J. C., Little, J. A., Moon, C. E. (eds) *Quaternary Engineering Geology, Engineering Geology Special Publication No 7*. Geological Society, London, pp. 3–38.
31. Danilans, I., 1973. *Chetvertichnie otlozhenia Latvii*. Zinatne, Riga, 312 s. (krievu val.)
32. Doss, B., 1903. Orographische und geologische Verhältnisse des Bodens von Riga. In: *Riga und seine Bauten*, Verlag der Buch- und Kunstverlaganstalt des „Riga er Tageblatt“, Riga, pp. 3–12.
33. Dreimanis, A., 1988. Tills, their genetic terminology and classification. In: Goldthwait, R. P., Matsch, C. L. (eds) *Genetic Classification of Glacigenic Deposits*. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 17–83.
34. Dundulis, K., 1997. *The Lithuanian Unified Soil Classification System*. Lithuanian Geological Society Publications, Vilnius, 86 pp.
35. Dundulis, K., Gadeikis, S., 2002, Soil classification system: problems and correlation. In: van Rooy, J. L., Jeremy, C. A. (eds) *Engineering Geology for*

- Developing Countries – Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*. Durban, pp. 197–203.
36. Dzilna, I. (ed) 1992. *Geotechnics and ecology = :Ģeotehnika un ekoloģija = Геотехника и экология*. 1(1), Latvijas Universitātes Ekoloģiskais centrs, Rīga, 120 pp.
 37. Dzilna, I., Okuncovs, J., Korņejevs, V., Terentjeva, S., Žaģuļins, V., Matvejeva, I., Pētersons, T., Dišlere, S., 1999. *Angļu-latviešu-krievu inženierģeoloģisko terminu vārdnīca*. Unicorn Proceedings 3 (4–5), 89 lpp.
 38. Dzilna, I., Zobene, A., 1967. Inženerno-geologicheskie usloviya. In: Dzenis–Litovskij, A. (ed) *Gidrogeologiya SSSR. Latvijskaya SSR. 31. sēj., 1. d.* Nedra, Moskva, 137–190 pp. (krievu val.)
 39. Ehlers, J., 1996. *Quaternary and glacial geology*. John Wiley and Sons, Chichester, 578 pp.
 40. Elkateb, T., Chalaturnyk, R., Robertson, P. K., 2003. An overview of soil heterogeneity: quantification and implications on geotechnical field problems. *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 1–15.
 41. Eswaran, H., Ahrens, R., Rice, T. J., Stewart, B. A., 2003. *Soil Classification: A Global Desk Reference*. CRC Press, 263 pp.
 42. Fatherree, B. H., 2006. *The History of Geotechnical Engineering at the Waterways Experiment Station 1932–2000*. U.S. Army Engineer Research and Development Center Vicksburg, Mississippi. 441 pp.
 43. Fischer, J. B., 1784. Zusätze zu ‘Versuch einer Naturgeschichte von Livland’. In: Ferber, J. J. (ed) *Anmerkungen zur physischen Erdbeschreibung von Kurland, nebst J. B. Fischers Zusätzen zu einem Versuch einer Naturgeschichte von Livland*. J. Fr. Hartknoch, Riga, 305 pp.
 44. Freitag, D. R., 1968. Penetration tests for soil measurements. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 11, 750–753.
 45. Fritton, D. D., 1990. A standard for interpreting soil penetrometer measurements. *Soil Science*, 150(2), 542–551.
 46. Grunwald, S., Lowery, B., Rooney, D. J., McSweeney, K., 2001. Profile cone penetrometer data used to distinguish between soil materials. *Soil and Tillage Research*, 62(1), 27–40.
 47. Grunty. Klassifikatsiya. GOST 25100-82. 1982. Izdatel'stvo standartov, Moskva, 9 s.

48. Haefner, R. J., 2000. Characterization Methods for Fractured Glacial Tills. *The Ohio Journal of Science*, 100(3/4), 73–87.
49. Hart, J., Rose, J., 2001. Approaches to the study of glacier bed deformation. *Quaternary International*, 86, 45–58.
50. Hashemi, S., Hughes, D. B., Clarke, B. G., 2006. The characteristics of glacial tills from Northern England derived from a relational database. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24(4), 973–984.
51. Herrick, J. E., Jones, L. J., 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1320–1324.
52. Hoole, E. B. (ed) 1978. *The engineering Behaviour of Glacial Materials. Proceedings of the symposium held at the University of Birmingham 21–23rd April, 1975*. Geo Abstracts, Norwich, 240 pp.
53. Hughes, D. B., Clarke, B. G., Money, M. S., 1998. The glacial succession in lowland Northern England. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 31(3), 211–234.
54. Ismail, H. A. E., Gasmelseed, K. M., 1988. Soil consistency and swell potential using static cone penetration machines. *Journal of Islamic Academy of Sciences*, 1(1), 74–78.
55. Jaksa, M. B., 1995. *The influence of spatial variability on the geotechnical design properties of a stiff, overconsolidated clay*. PhD thesis, University of Adelaide, Adelaide, 469 pp.
56. Kagan, A. A., Solodukhin, M. A., 1971. *Morennye otlozheniya severo-zapada SSSR (inzhenerno-geologicheskaya kharakteristika)*. Nedra, Moskva, 136 s. (krievu val.).
57. Karlson, R., Hansbo, S., 1989. *Soil classification and identification*. Swedish Council for Building Research, Stockholm, 49 pp.
58. Karpovičs, A., 2006^a. Relations between granulometrical composition and geotechnical properties of glacial soils of Latvia. In: Johansson, P., Lunkka, J.P., Sarala, P. (eds) „Late Pleistocene glacial deposits in the central part of the Scandinavian ice sheet: Abstracts.” *The INQUA Peribaltic Group Field Symposium in Finland, September 11.–15. 2006*. Geological Survey of Finland, Rovaniemi, pp. 19.
59. Karpovičs, A., 2006^b. Latvijas apledojuņa glaciģeno grunšu granulometriskais sastāvs un fiziomehāniskās īpašības, to izplatība un savstarpējās atkarības. Grām.:

- Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Latvijas Universitātes 64. zinātniskā konference: referātu tēzes.* LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 177.–179. lpp.
60. Karpovics, A., Seglins, V., 2007. Subsoil moisture loses from open surfaces. In: *Geo-Pomerania Szczecin 2007, Geology cross-bordering the Western and Eastern European Platform. Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, Hannover, Vol. 53*, pp. 135–136.
 61. Karpovičs, A., 2008^a. Detalizēti decimetru mēroga grunšu pētījumi. *RTU zinātniskie raksti, "Materiālzinātne un lietišķā ķīmija"*, 1(18), 154–162.
 62. Karpovičs, A., 2008^b. Glacigēno grunšu fizikāli mehānisko īpašību izmaiņas dēdēšanas ietekmē. Grām.: *Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Latvijas Universitātes 66. zinātniskā konference: referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 199–201.
 63. Karpovičs, A., Segliņš, V., 2009. Morēnas fizikālo īpašību atšķirības atkarībā no mērījumu veikšanas virziena. *Latvijas Universitātes raksti "Zemes un vides zinātņu sērija"*, 724, 52–61.
 64. Karpovičs, A., Popovs, K., Segliņš, V., Irbe, Z., 2010. Dažu ģeotehnisko īpašību sadalījums pamatmorēnā. *Latvijas Universitātes raksti "Zemes un vides zinātņu sērija"*, 752, 45–54.
 65. Karpovičs, A., Segliņš, V., 2010. Anisotropy of geotechnical properties in glacial lodgement till. *Geological Quarterly, (in press)*.
 66. Kirkaldie, L., Talbot, J. R., 1992. The effects of soil joints on soil mass properties. *Bull. Assoc. Engineer. Geol.*, 29(4), 15–20.
 67. Kjær, K. H., Krüger, J., van der Meer, J. J. M., 2003. What causes till thickness to change over distance? Answers from Mýrdalsjökull, Iceland. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1687–1700.
 68. Lancmanis, Z., 1925. Latvijas kritenes (Zemes iebrukumi). *Izglītības Ministrijas Mēnešraksts*, 6, 10.
 69. Larney, F. J., Kladviko, E. J., 1989. Soil Strength Properties Under Four Tillage Systems at Three Long-Term Study Sites in Indiana. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1539–1545.
 70. Lebourg, T., Riss, J., Fabre, R., Clément, B., 2003. Morphological Characteristics of Till Formations in Relation With Mechanical Parameters. *Mathematical Geology*, 35(7), 835–852.

71. Legget, R. F. (ed) 1980. *Glacial Till. An Inter-disciplinary Study*. The Royal Society of Canada, Ottawa, 412 pp.
72. Lomtadze, V. D., 1984. *Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya petrologiya*. Nedra, Leningrad, 511 s. (krievu val.)
73. Long, M., Menkiti, C. O., 2007. Geotechnical properties of Dublin Boulder Clay *Géotechnique*, 57(7), 595–611.
74. Lunne, T., Powell, J. J. M., Robertson, P. K., 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Routledge, New York, 312 pp.
75. May, R. W., Thomson, S., 1978. The geology and geotechnical properties of till and related deposits in the Edmonton, Alberta area. *Canadian Geotechnical Journal*, 15(3), 362–370.
76. Mayne, P. W., Mitchell, J. K., Auxt, J. A., Yilmaz, R., 1995. U. S. National Report on CPT. In: *Proceedings, International Symposium on Cone Penetration Testing, Vol. 1 (CPT'95)*, Swedish Geotechnical Society Report 3(95), Linköping, pp. 263–276.
77. McKinlay, D. G., McGown, A., Radwan, A. M., Hosain, D., 1978, Representative Sampling and Testing in Fissured Lodgment Tills. In: Hoole, E. B. (ed) *The engineering Behaviour of Glacial Materials*, Norwich, Geo Abstracts, pp. 129–140.
78. Menzies, J., van der Meer, J. J. M., Rose, J., 2006. Till - as a glacial „tectomict”, its internal architecture, and the development of a „typing” method for till differentiation. *Geomorphology*, 75, 172–200.
79. Milligan, V., 1980. Geotechnical Aspects of Glacial Tills. In: Legget, R. F. (ed) *Glacial Till. An Inter-disciplinary Study*. The Royal Society of Canada. pp. 269–291.
80. Mitchell, J. K., Soga, K., 2005. *Fundamentals of soil behavior*. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 575 pp.
81. Morgenstern, N. R., 2000. *Performance in geotechnical practice*. The inaugural Lumb lecture. Hong Kong Institution of Engineers, May 2000, 59 pp.
82. Munkholm, L. J., Schjønning, P., Rüegg, K., 2005. Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing I. Soil response. *Soil and Tillage Research*, 80(1–2), 149–158.
83. Murad, Y., Abu-Farsakh, 2004. *Evaluation of consolidation characteristics of cohesive soils from piezocone penetration tests*. Technical Report (FHWA/LA.03/386). Louisiana Transportation Research Center, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 106 pp.

84. Mutuļs, A., Zobena, A., 1961. Inženierģeoloģiskie apstākļi. In: Danilāns, I., Liepiņš, P., Sprinģis, K. (eds) *Latvijas PSR ģeoloģija*. LPSR ZA izdevniecība, Rīga, 366–382.
85. Osunbitan, J. A., Oyedele, D. J., Adekalu, K. O., 2005. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 82(1), 57–64.
86. Otando, S. W., 2004. An engineering geological characterisation of tropical clays. Case study: clay soils of Nairobi/Kenya. (Dissertation) Technische Universität Clausthal, Clausthal, 218 pp.
87. Paquet, H., Clauer, N. (eds) 1997. *Soils and Sediments: Mineralogy and Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, 369 pp.
88. Poršinsky, T., Sraka, M., Stankič, I., 2006. Comparison of two approaches to soil strength classifications. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27(1), 17–26.
89. Radhakrishna, H. S., Klym, T. W., 1974. Geotechnical Properties of a Very Dense Glacial Till. *Canadian Geotechnical Journal*, 11(3), 396–408.
90. Robertson, T. L., Armstrong, W., Clarke, B. G., Hughes, D. B., 1995. Classification and strength of Northumberland till. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 32(4), 161A–162A.
91. Robertson, P. K., Campanella, R. G., 1983. Interpretation of Cone Penetration Tests. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), 719–745.
92. Roderick, G. L., 1978. Properties of some Glacial Soils in Wisconsin. In: The engineering Behaviour of Glacial Materials, Norwich, Geo Abstracts, pp. 67–74.
93. Segliņš, V., Gilucis, A., Karpovičs A., 2009. Glacigēno grunšu fizikālās īpašības un to savstarpējās korelācijas. *RTU zinātniskie raksti, "Materiālzinātne un lietišķā ķīmija"*, 1(19), 69–77.
94. Seman, P. M., Shoop, S. A., 2007. *In Situ California Bearing Ratio Database*. ERDC/CRREL TR-07-21, NTIS, Springfield, 97 pp.
95. Sergejev, E. M., 1985. *Gruntovedenie*. MGU, Moskva, 399 s. (krievu val.)
96. Sladen, J. A., Wrigley, W., 1983. Geotechnical Properties of Lodgement Till – A Review. In: Eyles, N. (ed) *Glacial Geology An Introduction for Engineers and Earth Scientists*. Oxford, Pergamon Press, Ltd. pp. 184-212.
97. Sobolewski, M., 2003. Effect of non-homogeneity of pliocene clays in the vicinity of Warsaw and their physical properties. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 6(2), 1–12.

98. Stakle, P., 1934. *The Foundation Company 1932/1933.g. izdarītie Daugavas ģeoloģiskie pētījumu darbi*. Finanču ministrijas izdevums, Rīga, 40 lpp.
99. Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes ASTM D3282 - 93(2004)e1. ASTM International, West Conshohocken, PA. 6 pp.
100. Tekin, Y., Kul, B., Okursoy, R., 2008. Sensing and 3D Mapping of Soil Compaction, *Sensors*, 8, 3447–3459.
101. Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G., 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons, New York, 549 pp.
102. Thomas, H. R. (ed) 2006. *5th ICEG - Environmental Geotechnics: Opportunities, Challenges and Responsibilities for Environmental Geotechnics (Set of 2 books)*. Proceedings of the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering's (ISSMGE) 5th International Congress on Environmental Geotechnics, held in Wales, UK in June 2006. Thomas Telford Ltd., London, 1658 pp.
103. Topp, G. C., Lapen, D. R., Edwards, M. J., Young, G. D., 2003. Laboratory Calibration, In-Field Validation and Use of a Soil Penetrometer Measuring Cone Resistance and Water. *Vadose Zone Journal*, 2, 633–641.
104. Trenter, N. A., 1999. *Engineering in glacial tills*. Construction Industry Research and Information Association Report C504. CIRIA, 260 pp.
105. van Wijk, A. L. M., Beuving, J., 1978. Relation between soil strength, bulk density and soil water pressure head of sandy top-layers of grass sportsfields. *Z. Vegetationstechnik*, 1, 53–58.
106. van Wijk, A. L. M., Beuving, J., 1975. Relation between Playability and Some Soil Physical Aspects of the Toplayer of Grass Sportsfields. *Internationale Zeitschrift für Forshung und Praxis*, 3, 77–88.
107. Whelers, W., Köpke, U., Hesse, F., Böhm, W., 1983. Penetration Resistance and Root Growth of Oats in Tilled and Untilled Loess Soil. *Soil and Tillage Research*, 3, 261–275.

Nepublicētā literatūra:

1. Dzilna, I., 1964. Inženerno-geoloģiskaya obzornaya karta LSSR, m-ba 1:2 500 000. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 106 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 4306.

2. Fedotova, G., 1991. Analiz i obobshchenie vzoimosvyazi fiziko-mekhanicheskikh svoystv morskikh gruntov s ikh uprugimi svoystvami. Jūras inženierģeolģija, Rģga, 137 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 11287
3. Gol'dfarb, J., 1990. Stroenie i inzhenerno-geologicheskoe podrazdelenie pokrova chetvertichnykh otlozhenij yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morya (poyasnitel'naya zapiska k kartam inzhenerno-geologicheskogo pajonirovaniya m-ba 1:500000 inzhenerno-geologicheskikh uslovij m-ba 1:200000). Jūras inženierģeolģija, Rģga, 240 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 11253.
4. Il'inskij, S., 1951. Otchet po inzhenerno-geologicheskim issledovaniyam gruntov provedennim b rajone aėrodroma v g. Rige. IG i PI AN Latv. SSR, Rģga, 24 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 1473.
5. Kaliyants, S., Nedrigalova, I., Solunina, M., Sokolov, N., 1949. Geologicheskoe srtoenie, gidrogeologicheskie usloviya i pochvi tsentral'noj chasti Kurlyanskogo p/o LSSR. Kompleksās ģeolģiskās, hidroģeolģiskās un augšņu kartēšanas pārskats, M 1:200 000, lapa 0-34-XXIX, Latvija. Piektā ģeolģijas pārvalde, Ļeņingrada, 306 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 116.
6. Karpovičs, A., 2004. Glacigēno grunšu sastāvs un fiziomehāniskās īpašības un to izmaiņu likumsakarības Austrumlatvijā. (Maģistra darbs), LU ĢZZF, Rģga, 45 lpp.
7. Kasyanov, A., 1966. Inzhenerno-geologicheskaya izuchennost' territorii LSSR po sostoyaniyu na 01.01.66.g. Ģeolģijas pārvalde, Rģga, 44 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 6689.
8. Prochukhan, D., 1948. Inzhenerno-geologicheskie usloviya Kegumskoj gidroelektrostantsii na r. Daugave LSSR. Glavgidroenergostroi, Ļeņingrada, 270 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 88.
9. Sichov, G., Seglins, V., Alksnitis, R., 1987 Otchet po teme: Obobshchenie rezul'tatov radiolokatsionnogo zondirovaniya pri geologorazvedochnikh rabotakh na torf, vipolnennikh poiskovo razvedochnoi partiej na torf v 1954–1987.g.g.. Latvijas Ģeolģijas pārvalde, Rģga, 147 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 10546.
10. Staprens, V., Zhvagin, P., Klishans, J., Varfolomejeva, O., 1956. Nekotorie voprosi tekhnicheskoi melioratsii organo-mineral'nykh gruntov. Ģeolģijas un derģgo izrakteņu institūts, Rģga, 115 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 11289.
11. Sharibrov, I., 1978. Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izizkaniyakh na territorii stroitel'stva RTPC na o. Zakyu v g. Rige. Fundamentprojekt, Maskava, 44 lpp. (krievu val.), LģF Nr. 9571.

12. Tratsevskaya, L., 1990. Rezul'taty rabt po ob'ektu "Riga". Inženierģeoloģiskās grupas pārskats par 1988.–1990.g. Latvijas ģeoloģija, Rīga, 172 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10780.
13. Tratsevskaya, L., Klepatskaya, V., 1978. Otchet inženerno-geologicheskikh izizkanij pod TEO 1-j ocheredi trassy metropolitena g. Rigi. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 372 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 9564.
14. Tratsevskaya, L., Levina, N., Zazimko, A., 1983. Otchet inženerno-geologicheskikh izizkanij dlya tekhnicheskogo proekta pervoi ocherdi metropolitena g. Riga. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 1051 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 9990.
15. Tratsevskaya, L., Venska, V., Tikhanenok, A., 1986. Otchet po izucheniyu geologicheskikh protsessov (II etap). Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 644 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10375.
16. Tratsevskaya, L., Vikhot', L., 1987. Otchet inženerno-geologicheskikh izizkanij dlya stroitel'stva shakhtykh stvolov po trasse pervoj ocheredi metropolitena v g. Rige. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 167 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10539.
17. Tratsevskaya, L., Venska, V., 1992. Otchet po teme: „Sostavlenie gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy kart masshtaba 1:500 000 na territorii respublik Pribaltiki (Latviya)”. Valsts ģeoloģijas fonds, Rīga. 338 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10894.
18. Turkina, L., 1982. Osnovi otsenki inženerno-geologicheskikh uslovij krupnykh gorodov na primere g. Rigi. (disertācija) Siltumelektroprojekts, Rīga, 222 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10541.
19. Ul'gis, M., Ginters, G., Aleksans, O., Stiebrīņš, O., Deglis, A., Meirons, Z., Markov, V., 1983. Otchet o kompleksnoj i inženerno-geologicheskoy s'emke so s'emkoj chetvertichnikh otlozhenij m-ba 1:50 000 dlya tselej meliorativnogo stroitelstva v predelakh listov O-35-139 A,B,V,G (Aglona), 1980.–1983.g. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga 474 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10035.
20. Varfolomeeva, O., Savvaitova, L., 1961. Karstovye yavleniya v karbonatnikh porodakh dolini r. Daugava. Ģeoloģijas institūts, Rīga, 391 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 3036.
21. Varfolomeeva, O., 1963. Karbonatnyj karst Latvijskoj SSR na primere r. Daugava. (disertācija) Ģeoloģijas institūts, Rīga, 424 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 11147.
22. Varfolomeeva, O., 1965. Karbonatnyj karst Latvijskoj SSR na primere r. Daugava. Ģeoloģijas institūts, Rīga, 199 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 3628.

23. Venska, V. 1983. Otchet: „Izuchenie ekzogennikh protsesov (I etap)”. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 194 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 10081.
24. Vetrennikov, V., Bendrup, L., Sluka, Ya., Rubens, I., Kursheva, V., Baulin, L., Fisunova, O., Berna, I., 1976. Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoj s"emke m-ba 1:200 000 na territorii lista O-35-XXXI v predelakh LSSR 1974.–1976.g. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 824 lpp. (krievu val.), LĢF Nr. 9469.
25. Zobena, A., 1964. Inženerno-geologicheskaya kharakteristika rajona okretnostej g. Rigi. Fondi instituta geologii (g. Rigi) Gosgeolokoma SSSR 234 lpp. (krievu val.).
26. Zobena, A. 1965. Inženerno-geologicheskaya kharakteristika territorii Latvijskoj SSR. (Disertācija) Gosudarstvennij geologicheskij komitet, Institut geologii. Riga, 472 pp. (krievu val.).