LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

STATISKĀS ZONDĒŠANAS METODES PIELIETOŠANAS IESPĒJAS SMILŠU GRUNTS KLASIFICĒŠANĀ

MAĢISTRA DARBS

Autors: Mārtiņš Grava
Stud. apl. mg08149
Darba vadītājs: Valdis Segliņš, Dr. ģeol., prof.
Zinātniskā konsultante: Sigita Dišlere, Mag. ģeol.

Rīga 2010

Anotācija

Grava M. „Statiskās zondēšanas metodes pielietošanas iespējas smilšu grunts klasificēšanā". Maģistra darbs. Rīga, Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, 2010.

Darbs ietver: 62 lappuses, 6 nodaļas, anotāciju latviešu un angļu valodā, izmantotās literatūras sarakstu.

Maģistra darba izpildes gaitā veikta statiskās zondēšanas datu apkopošana, izmantojot komercuzņēmumu arhīva materiālus, datu analīze, interpretējamo lielumu analīze un kopējā datu interpretācija. Kopumā izmantota informācija no 20 izpētes objektiem, 41 statiskās zondēšanas testiem. Sagatavotas diagrammas Latvijas teritorijā sastopamo kvartāra nogulumu smilšu grunšu raksturošanai, izmantojot statiskās zondēšanas rezultātus (CPT). Datu korelācijas procesā izmantotas arī sekojošas CPT datu vizualizācijas un interpretācijas programmas: *CPT-Log v. 1.42.; CPeT-IT- trial*; *CPT-pro- trial*.

Darba rezultātā noteikts, ka Latvijas teritorijā sastopamo kvartāra nogulumu smilšu gruntīm, no pētījumā iekļautajiem datiem, ir raksturīgas sekojošas statiskās zondēšanas rezultātu robežvērtības: pretestība zondes konusam (qc) no 0,1 līdz 40 MPa; berzes koeficients (Rf) no 0,3 līdz 2,5 %. Mērījumu rezultātus apkopojot, ir novērojama gradācija pa datu kopām, kas raksturo vienu izpētes objektu, un tas norāda, ka ir lokālie, specifiskie ģeoloģiskie apstākļi, kas ietekmē statiskās zondēšanas rezultātus.

Atslēgas vārdi: *statiskā zondēšana, grunts klasificēšana, inženierģeoloģija*

Annotation

Grava, M. „Use of the cone penetration test possibilities in the sandy soil classification". Master paper. Riga, University of Latvia, faculty of Geography and Earth Sciences, 2010.

The work includes: 62 pages, 6 chapters, annotations in Latvian and English, bibliography.

Performing the master paper there have been used the data generalization of the cone penetration test results of commercial archives, data analysis, the analysis of the interpreted values and the total data interpretation. In general there has been used the information from 20 research units and 41 Cone Penetration Tests. There has been prepared a chart characterizing the Quaternary deposits of sandy soils of territory of Latvia using cone penetration tests (CPT). There have been also used the following CPT data visualization and interpretation programs in the process of data correlation: *CPT-log v. 1.42.; CPeT-IT-trial*, *CPT-pro-trial*.

In the result of the research it has been determined that in the territory of Latvia Quaternary deposits of sandy soils are characterized by the following thresholds of cone penetration test results: cone resistance of the probe (qc) from 0.1 to 40 MPa, friction ratio (Rf) of 0.3 to 2.5%. Summarizing the results of the measurements there has been observed the gradation per data sets that describes a research facility. This indicates that there are local, specific geological conditions that affect the cone penetration test results.

Keywords: *Cone Penetration Tests, soil classification, Engineering geology*

SATURS

IEVADS 5

1. STATISKĀ ZONDĒŠANA (CPT) 7
1.1. Aprīkojuma raksturojums 8
1.2. Statiskā zondēšana ģeotehniskā izpētē 10
1.3. Statiskās zondēšanas mērījumu lielumi 12
1.3.1. Zondes konusa pretestība 12
1.3.2. Zondes sānu berze 13
1.3.3. Berzes koeficients 13
1.4. Statiskās zondēšanas testu izpildes kvalitāte 16
1.4.1. Vertikālās nobīdes leņķis 16
1.4.2. Aprīkojuma tehniskais stāvoklis 17
1.5. Statiskās zondēšanas datu prezentācija 18
1.6. Statiskās zondēšanas datu interpretācija 21
1.7. Grunts klasificēšana 22
1.7.1. Klasificēšanas kritēriji 22
1.7.2. Grunts klasificēšana pēc granulometriskā sastāva 23
1.7.3. Grunts īpašību tipu noteikšana pēc statiskās zondēšanas datiem 25

2. MATERIĀLI UN METODES 31

3. APKOPOTO DATU ĢEOLOĢISKAIS RAKSTUROJUMS 36

4. PĒTĪJUMU REZULTĀTI 40
4.1. I_{SBT} vērtības pētītajos datos 40
4.2. Grunts īpašību tipu raksturojošās qc/pa un Rf vērtības pētītajos datos 45

5. REZULTĀTU ANALĪZE UN INTERPRETĀCIJA 46
5.1. I_{SBT} vērtības 46
5.2. Grunts īpašību tipu raksturojošās qc/pa un Rf vērtības 47

6. DISKUSIJA 54

SECINĀJUMI 56
PATEICĪBAS 58
IZMANTOTĀ LITERATŪRA 59
PIELIKUMI 63
1. Pielikums. CPT testu izpildes vietas – Pētīto objektu izvietojuma shēma 63
2. Pielikums. Datu apkopojuma piemērs 65

IEVADS

Ģeoloģiskās, ģeotehniskās un arī vides piesārņojuma izpētes pētījumos kā viena no vairākām lauka (*In-situ*) izpētes metodēm tiek plaši izmantota statiskā zondēšana (CPT). Metode tiek izmantota jau vairākus gadu desmitus zem zemes virsmas esošā materiāla raksturojošo lielumu iegūšanai, tajā skaitā grunts, gruntī esošā ūdens un citu vielu un ieslēgumu raksturošanai (Robertson and Cabal, 2009).

Statiskās zondēšanas testi, izmantojot elektroniskā tipa zondes, ģeotehnisko parametru noteikšanai tiek izmantoti jau vairāk kā 40 gadus (Robertson, 2009). Par statiskās zondēšanas pirmsākumiem tiek uzskatīti kāda būvkonstrukciju projektētāja vienkāršie penetrācijas testi būvlaukumos. Būvniecības stadijā, kad tika sagatavots ēkas būvniecībā izmatotais saistvielu materiāls, būvobjektos ieradies šis projektētājs, kas bijis arī šo projektu autors, un veicis vienkāršus penetrācijas testus saistvielu maisījumā ar sava lietussarga uzgali. Šādā veidā viņš noteica, vai izmantojamais saistvielu materiāls ir atbilstošā konsistencē, lai to izmantotu būvniecībā. No šādām vienkāršām pārbaudēm līdz šīm dienām metodika attīstīta līdz tādam, līmenim, ka šie testi ir veicami gruntī līdz vairāku desmitu metru dziļumam, un to izpildes laikā tiek mērīti vairāki grunts raksturojošie mērījumu lielumi vai uz tiem attiecināmie testu izpildes raksturojošie parametri. Mūsdienu izpratnē kopumā tiek mērīti 7 parametri, ikkatrā norādītajā vai nepieciešamajā dziļuma intervālā. Starp tiem visbiežāk noteiktie parametri ir zondes konusa pretestība, zondes sānu berze u.c. Datu precizitātes paaugstināšanas nepieciešamība, tehnoloģisko iespēju palielināšanās, nepieciešamās informācijas apjoma daudzuma palielināšanās ir par iemesliem tādu kā seismiskā CPT u.c. mūsdienās salīdzinoši specifisku testu veidu attīstībai (Robertson and Cabal, 2009).

Lai raksturotu grunti, izmantojot ģeotehniskos parametrus, ir nepieciešams veikt statiskās zondēšanas datu interpretāciju un/vai korelāciju – salīdzināšanu ar citu izpētes metožu rezultātiem. Kopš šādas izpētes metodikas attīstības pirmsākumiem ir veikti plaši pētījumi (Robertson, 1986; Lunne et al., 1997; Mayne, 2007) statiskās zondēšanas testu rezultātu salīdzināšanai un iespējamiem pārrēķinu veidiem uz citu izpētes metožu mērījumu lielumiem, kā dinamiskā zondēšana (DPT), standarta penetrācijas testi (SPT) un grunti raksturojošo lielumu noteikšana ar statisko zondēšanu. Ir izveidotas vairākas CPT datu interpretācijas sakarības starp CPT mērījumu lielumiem un grunts raksturojošiem parametriem (Robertson and Cabal, 2009), kā arī ir veikti plaši pētījumi interpretācijas rīku izveidē –shēmas, tabulas un diagrammas (Lunne et al., 1997; Robertson and Cabal, 2009), starp tām izplatītākās shēmas ir *Lunne, Robertson, Powell* u.c. sagatavotās (Robertson, 2010). Šīs interpretācijas diagrammas sagatavotas, izmantojot plašu datu bāzi, kas iegūta praktiskos

pētījumos un speciāli sagatavotos laboratorijas apstākļos. To izmantošanā izmantotie dati ir kāda noteikta izpētes objekta pētījumu rezultāti vai apkopoti kāda reģiona izpētes dati. Mērījumu rezultātus ir ietekmējuši lokālie (vai simulētie laboratorijas apstākļos) ģeoloģiskie faktori, kā grunts attīstības gaitā notikušie procesi, cementācijas apstākļi, grunts noslodzes vēsture, grunts sastāvs un virkne citu faktoru (Lunne et al., 1997; Robertson, 2009; Robertson and Cabal, 2009).

Atbilstoši pieņemtajām metodikām (Robertson, 2009), pirms interpretēšanā pielietojamo diagrammu un shēmu izmatošanas pētījuma teritorijā ir jāveic to precizēšana atbilstoši šī reģiona ģeoloģiskajiem apstākļiem.

Šī darba ietvaros ir akcentētas CPT datu interpretācijas iespējas, veidi un ierobežojumu analīze smilšu gruntīm Latvijas teritorijā esošajos ģeoloģiskajos apstākļos, kvartāra nogulumos, apzināti plašāk pazīstamo speciālistu pētījumu rezultāti CPT datu interpretēšanas jomā kopumā smilšu gruntīm un analizēti to izvēlētie interpretēšanas lielumi un veidi.

Darba mērķis ir novērtēt statiskās zondēšanas metodes rezultātu pielietošanas iespējas smilšu grunts klasificēšanā tieši ģeotehniskajām vajadzībām atbilstoši Latvijā esošajiem grunts klasificēšanas normām un ģeoloģiskajiem apstākļiem.

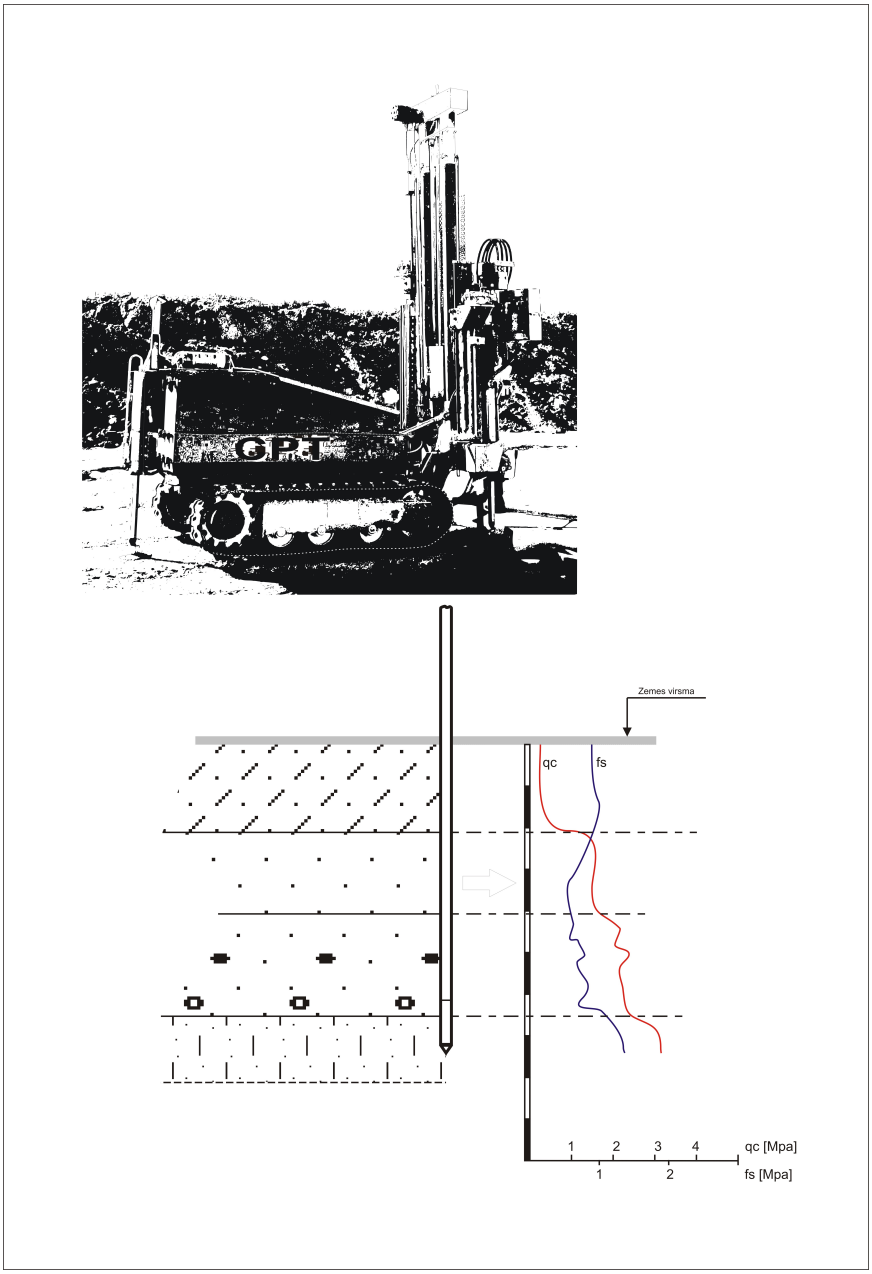
Lai sasniegtu darba mērķi, tika noteikti vairāki svarīgākie darba uzdevumi:

- apzināt pieejamo publicēto un nepublicēto informāciju par CPT datu interpretācijas iespējām smilšu gruntīs, izmantojot noteiktus mērījumu lielumus, kas atbilst biežāk lietotajiem mērījumiem (qc, fs) Latvijas teritorijā;
- apkopot pieejamo informāciju par izpētes rezultātiem, kas iegūti izmantojot CPT metodi, kas atbilst kvalitātes kritērijiem, kuri attiecināmi uz šo izpētes metodiku;
- veikt datu apkopošanu un interpretāciju saskaņā ar starptautiski zināmu metodiku;
- izstrādāt CPT datu interpretēšanas rīku smilšu gruntīm.

Pētījuma datu apkopošana un analīze veikta no 2009. gada jūnija līdz 2010. gada aprīlim.

1. Statiskā zondēšana (CPT)

Statiskās zondēšanas testu izpildes laikā gruntī tiek iespiesta zonde ar konusveida uzgali, ar kuras palīdzību veic mērījumus. Iespiešanas laikā tiek mērīta zondes iespiešanas pretestība un zondes sānu berze, zondes iespiešanas ātrums, nobīdes leņķis no sākotnējā stāvokļa, zondes iespiešanas ātrums, kā arī citi parametri (Robertson and Cabal, 2009). Mērījumu dati tiek pārraidīti uz virszemi (informācijas apstrādes bloks, dators), kur notiek to saglabāšana un apstrāde, skat. 1.1. attēlu.



1.1. attēls. **Shematisks statiskās zondēšanas testu izpildes process** (autora datorsalikums, pamatnē V.Korņējeva (2009) fotogrāfija)

1.1. Aprīkojuma raksturojums

Termins „statiskā" nozīmē, ka netiek radīts trieciens uz penetrometru – instrumentu komplektu, kas sastāv no zondes, signāldevēja un zondēšanas stieņiem. Penetrometrs tiek iespiests gruntī, izmantojot vienmērīgi pielikto ārējo spēku (Aysen, 2005), bet zondes iespiešanas ātrums testa izpildes laikā tiek kontrolēts, nodrošinot 20 mm/sekundē ± 5 mm/sekundē atbilstošu ātrumu (ISSMGE, 1989).

Esošās statiskās zondēšanas sistēmas var nosacīti iedalīt trīs galvenajās grupās: mehāniskās, elektroniskās un pjezokona (Lunne et al., 1997). Galvenā atšķirība starp mehāniskajām un elektroniskajām sistēmām - pirmajā gadījumā datu nolasīšanu no mēriekārtām veic personāls, bet otrajā gadījumā datu nolasīšana tiek veikta neatkarīgi no personāla, izmantojot profesionālu aparatūru un datorprogrammas, kas ļauj izvairīties no iespējamām cilvēka radītām kļūdām. Pjezokona sistēmas ir aprīkotas ar porūdens spiediena mērierīcēm, kas ir vienīgā to atšķirība no elektroniskajām sistēmām. Šajā darbā raksturotas elektroniskās zondēšanas sistēmas, jo dati, kas izmantoti pētījumā, iegūti tikai no šāda tipa sistēmām.

Penetrometra zonde ar pamatnes laukumu 10 cm^2 un konusa leņķi 60° ir pieņemta par etalonu un raksturota *Internationl Reference Test Procedure* (Lunne et al., 1997). Šāda tipa zondes izmantotas arī šajā darbā pētīto datu iegūšanai.

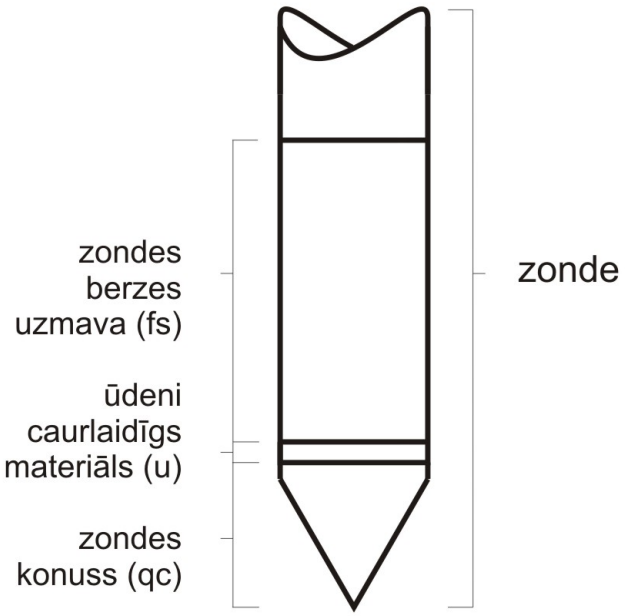
Elektroniskie penetrometri datu nosūtīšanai uz virszemi izmato analogo signālu, ko rada signāldevējs (atrodas aiz zondes) un uztver mikrofons (virszemē). Vairums sistēmu pārveido analogos signālus datu digitālā formā, marķējot tos pie noteikta dziļuma intervāla atkarībā no katra testa uzstādījuma. Plašāk ir izplatīti datu nolasījuma intervāli ir 10 mm, 20 mm un 50 mm (Lunne et al., 1997). Šajā darbā izmatoto datu nolasīšanas intervāls ir 10 mm vai 20 mm.

Statiskās zondēšanas izpildes laikā tiek iegūti nepārtraukti mērījumi no zondes konusa pretestības un zondes berzes uzmavas (Robertson, Cabal, 2009), kā arī porūdens spiediena mērījumi pjezokona statiskās zondēšanas sistēmas gadījumā. Lai kontrolētu kvalitatīvu testu izpildi, izpildes gaitā tiek mērīts arī penetrometra iespiešanas ātrums, vairumā gadījumu arī leņķis, ar cik lielu nobīdi no vertikālā stāvokļa atrodas penetrometers noteiktajā mērījumu vietā. Vertikalitātes nobīdes leņķis no sākotnējā stāvokļa var nebūt mērīts vienkāršos ģeoloģiskos apstākļos, ja tiek izmantots aprīkojums, kuram nav iebūvēts šāda tipa devējs.

Tātad katrā mērījumu intervālā, kā minēts iepriekš, ikkatrus 10-20 mm tiek saglabāti dati, kas ietver dziļumu no testa sākšanas punkta, grunts radīto konusa pretestību (qc) un

berzes uzmavas pretestību (fs), aprēķināto berzes koeficentu, penetrometra iespiešanas ātrumu, vertikālo nobīdi.

Kopējais spēks, kas darbojas uz zondes konusu, Qc, dalīts ar projicēto laukumu, Ac, veido zondes pretestību, qc. Kopējais spēks, kas darbojas uz zondes berzes uzmavu, Fs, dalīts ar berzes uzmavas kopējo laukumu, veido sānu berzi, fs. Porūdens spiediena mērījumos tiek izmantots arī porūdeni filtrējošs gredzens, ko apzīmē ar „u" (Aysen, 2005; Lunne et al., 1997; Robertson, Cabal, 2009). Zondes uzbūve ir skatāma 1.2. attēlā.



1.2. attēls. **Zondes uzbūve** (autora grafiskais salikums)

Tehniskās modifikācijas, kas iespējamas zondēm, paredz arī citu parametru mērījumus, bet šajā pētījumā tie nav izmantoti.

Datu pārraide no zondes uz virszemi tiek veikta, izmatojot akustisko signālu, datu kabeli, mikroviļņus vai citas pārraides iespējas. Akustiskā signāla sistēmas izmanto signāldevēju – ierīci, kas telpiski novietota aiz zondes un pirms zondēšanas stieņiem. Tas rada akustisko signālu, ar kuru tiek pārraidīti dati pa iekšējām atverēm zondēšanas stieņos un daļēji pa zondēšana stieņu korpusu. Signālu uztver mikrofons, kas atrodas virs zemes aiz pēdējā gruntī iespiestā zondēšanas stieņa. Otrs izplatītākais veids datu pārraidei no signāldevēja uz virszemi ir datu kabelis. Tas ir ievietots zondēšanas stieņu iekšējās atverēs. Pēdējo gadu tehnoloģiskās iespējas ļauj datu pārraidei izmantot mikroviļņus. Visos tehnoloģisko risinājuma variantos datu plūsma no mikrofona vai datu kabeļa notiek uz informācijas apstrādes bloku. Pēc datu sinhronizācijas ar dziļuma mērījumiem un pārrēķinātiem mērījumu

lielumiem notiek datu pārraide no informācijas apstrādes bloka uz datoru. Datu operatīvā kontrole izpētes darbu laikā un vizualizācija tiek veikta, izmantojot profesionālu programmatūru, piemēram, *CPT – Log 1.4.2*. Testu izpildes laikā ir jāveic mērīto lielumu operatīva kontrole, lai novērtētu esošos grunts apstākļus un nodrošinātu testa izpildi atbilstoši uzstādītājām prasībām, kā arī, lai novērstu iespējamos penetrometra tehniskos bojājumus, kas var rasties, pārsniedzot iekārtas ekspluatācijas normas. Iespējamie tehniskie bojājumi ir zondes, zondēšanas stieņu nolaušana vai deformēšana, zondē iebūvēto mērierīču noteikto maksimālo slodžu pārsniegšana un to sabojāšana.

1.2. Statiskā zondēšana ģeotehniskā izpētē

Jebkuras *ģeotehniskās* [autora komentārs] izpētes mērķis ir noteikt sekojošo:

- Grunts ieguluma apstākļus un secību (ģeoloģisko uzbūvi);
- Gruntsūdeņu apstākļus (hidroloģisko režīmu);
- Grunts fizikālās un mehāniskās īpašības.

Augstāk minētās prasības ir saistāmas ar plānotā projekta īpatnībām un ar to saistītajiem riskiem. Pilnīga izpētes programma ietvertu sevī lauka un laboratorijas pārbaužu kopumu, kas būs atkarīgs no katra projekta riskiem (Robertson, Cabal, 2009).

Dabiskā grunts mainība, pieejamo datu ierobežotība, grunts paraugu struktūras izjaukšana testēšanas un paraugošanas laikā noved pie atšķirīgu grunts raksturlielumu vērtību iegūšanas. Ja katru punktu gruntī būtu iespējams pārbaudīt, grunts raksturlielumi būtu zināmi jebkurā nepieciešamā vietā. Praktiskajā darbā tas nav realizējams (Campanella et.al., 1989).

Lai sasniegtu izpētes mērķus, ir pieejamas dažādas tehnoloģiskās iespējas, kas ietver gan izpētes lauka apstākļos un laboratorijas apstākļos. Laboratorijas pārbaudes iedalāmas divās grupās – vienā grupā ietilpst pārbaudes, kurās tiek testēts grunts paraugs, piemēram, pārbaudes trīsasu spiedes iekārtās; otrā grupā ietilpst pārbaudes, kurās tiek testēti prototipu modeļi, piemēram, centrbēdzes testi. Pārbaudes lauka apstākļos ietver sevī urbšanu, paraugošanu, *in-situ* pārbaudes, ģeofizikālās pārbaudes (Lunne et al., 1997).

Statiskā zondēšana ir viena no lauka pārbaužu metodēm, kas tiek veiktas grunts izpētes darbu ietvaros, kā *in-situ* testa veids.

Izpētes procesā statiskai zondēšanai ir trīs galvenie uzdevumi: veikt grunts masīva stratificēšanu un identificēt materiālus; novērtēt ģeotehniskos parametrus; sniegt izejas parametrus tieši ģeotehniskajai projektēšanai (Lunne et al., 1997).

Elektroniskā statiskās zondēšanas sistēma tiek pielietota jau vairāk kā 40 gadus. Statiskajai zondēšanai ir vairākas priekšrocības attiecībā pret tradicionālām lauka izpētes

metodēm, piemēram, urbšana ar paraugošanu – ātrums, atkārtojamība un ekonomiskais izdevīgums (Robertson, 2010).

Statiskās zondēšanas testi (CPT) un to tehnoloģiski papildinātas versijas (piem. zondēšana ar porūdens spiediena mērījumiem – CPTU, seismiskā – SCPT) ir plaši pielietojamas dažādu grunšu izpētes darbos. Statiskās zondēšanas pielietošanas ierobežojums ir tās piemērotība mīkstākām gruntīm (Robertson, Cabal, 2009) - smalkām, vidēji rupjām smilšu, mīkstām putekļainām un mālainām gruntīm (Aysen, 2005). Ar modernākām, lielākām zondēšanas iekārtām un stiprākām zondēm statisko zondēšanu iespējams veikt blīvākās gruntīs, dažos gadījumos mīkstos iežos (Robertson, Cabal, 2009).

Statiskās zondēšanas testu priekšrocības (Robertson, Cabal, 2009):

- Ātra un nepārtraukta profilēšana;
- Atkārtojami un uzticami dati (nav atkarīgi no cilvēkfaktora);
- Ekonomiska un produktīva pielietošana;
- Plašs teorētiskais pamatojums interpretācijai.

Statiskās zondēšanas testu trūkumi (Robertson, Cabal, 2009):

- Liels finansiālais ieguldījums;
- Nepieciešams pieredzējis personāls;
- Netiek ņemts grunts paraugs;
- Testu izpildes ierobežojumi grantainās un cementētās gruntīs.

Kritēriji, kas izmantojami pietiekamas detalitātes izpētes programmas sagatavošanai, lai raksturotu izpētes objektu no ģeotehniskā viedokļa: iepriekšējā pieredze un vietējā pieredze; projektēšanas mērķi; ģeotehniskā riska kategorija; iespējas ietaupīt finansiālos līdzekļus (Hight, Leroueil, 2003; Robertson, 2009).

Ģeotehnisko risku noteikšana ir atkarīga no iespējamiem apdraudējumiem, apdraudējuma procesa norises iespējamības, sekām (Robertson, 2009).

Zema riska objektiem ir pieņemama vienkāršo in-situ pārbaužu (piemēram, CPT) pielietošana kopā ar traucētas struktūras grunts paraugu pārbaudēm laboratorijā un konservatīvu projektēšanas metožu izmantošanu. Vidēja riska objektos augstāk minētās darbības būtu jāpapildina ar atbilstošām, specifiskām in-situ pārbaudēm kā seismiskā zondēšana ar poru spiediena mērījumiem (SCPTu) un spārniņgriezes testiem lauka apstākļos, kas kombinētas ar selektīvu grunts paraugu ņemšanu un klasiskām laboratorijas pārbaudēm. Laboratorijas pārbaužu rezultāti izmantojami, lai veiktu specifiskās korelācijas izpētes objektā. Augsta riska objektiem iepriekš tekstā minētās darbības veicamas, lai noteiktu

iespējamās riska zonas atbilstoši projektēšanas nepieciešamībai. Izpētes būtu jāpapildina ar selektīvu, augstas klases grunts paraugu ņemšanu un specifiskām laboratorijas pārbaudēm. Laboratorijas pārbaužu rezultāti jākorelē ar in-situ pārbaužu rezultātiem, lai tos varētu izmantot pārējā izpētes objekta teritorijā (Robertson, 2009).

Grunts paraugi ar CPT iekārtām. Kā lielākais CPT testu mīnuss tiek minēts tas, ka veicot šāda veida izpētes, netiek ņemts grunts paraugs. Vairumam komerciālo uzņēmēju (*ne Latvijas teritorijā*), kas nodarbojas ar CPT testu veikšanu, ir pieejami vienkārši iespiežamie grunts paraugu noņēmēji (parasti 25 mm diametrā), ar kuriem iespējams noņemt traucētas struktūras grunts paraugu noteiktā dziļumā. Izplatītākais paņēmiens ir iegūt nepārtrauktu stratigrāfisko profilu ar CPT un pēc tam, pārvietojot izpētes aprīkojumu nelielā attālumā (<1m), veikt selektīvu grunts paraugu ņemšanu no kritiskajiem grunts slāņiem (Robertson, 2009). Saskaņā ar autora uzskatiem, šāda grunts paraugu ņemšana būtu veicama vismaz 2 m attālumā no veiktā CPT testa. To nosaka iespējamās vertikalitātes nobīdes, veicot CPT testu un grunts paraugu ņemšanu, un iespējamā izstrādņu krustošanās. Tā kā grunts ņēmēja diametrs ir salīdzināms, ja ne pat identisks, ar penetrometra diametru iespējama nekorekta parauga noņemšana. Palielinātam attālumam (līdz 2 m) iespējami nevēlami blakus efekti – ja ir ģeoloģiski mainīgi apstākļi un/vai akcentējamais grunts slānis ir salīdzinoši neliels (mazāks par grunts ņēmēja garumu) pastāv iespēja, ka netiek precīzi vai vispār netiek noņemti grunts paraugi no vēlamā grunts slāņa. Veicot šāda veida grunts paraugu noņemšanu, ir jāveic zemes virsmas atzīmes korekcijas starp izstrādnēm, kas ietekmē grunts slāņu ieguluma dziļumu, kā arī jāveic vertikālās nobīdes korekcijas.

Tā kā grunts paraugu ņemšanu iespējams veikt, izmantojot lielāku iespiešanas ātrumu, nekā, veicot CPT testus - 20 mm/sek, šis process ir pietiekami ātrs un efektīvs neliela daudzuma specifisku paraugu iegūšanai (Robertson, 2009).

1.3. Statiskās zondēšanas mērījumu lielumi

1.3.1. Zondes konusa pretestība

Zondes konusa pretestība – qc – ir lielums, kas tiek iegūts, veicot aprēķinus, t.i., dalot projicēto laukumu, Ac, ar zondēšanas laikā mērīto zondes pretestību, Qc, kas tiek izteikts MPa (arī Pa vai kPa) (ISSMGE, 1989).

Zondes konusa pretestības vērtības ir salīdzinoši lielākas smilšu gruntīs nekā mālu gruntīs (Robertson, Cabal, 2009). Šis novērtējums gan nav attiecināms uz morēnas tipa gruntīm.

Saskaņā ar Latvijā spēkā esošajiem normatīviem zondes konusa pretestības lielumi ir izmantojami grunts fizikālo un mehānisko raksturlielumu noteikšanā, kā arī smilšu grunts saguluma blīvuma pakāpes noteikšanai. Smilšu gruntis ir iespējams raksturot kā irdenas, vidēji blīvas un blīvas. Katram smilšu grunts tipam, kas izdalīts, izmantojot tā granulometrisko sastāvu un ūdens piesātinātības stāvokli, ir raksturīgas noteiktas konusa pretestības vērtības, skatīt 1.1. tabulu (pēc LBN 005-99, 2000).

1.1. tabula

Smilts grunšu saguluma blīvuma pakāpe (LBN 005-99, 2000)

Nr. p.k.	Grunts nosaukums	Grunts blīvums atkarībā no q (MPa)		
		blīva	vidēji blīva	irdena
1.	Rupja un vidēji rupja smilts (neatkarīgi no tās mitruma)	>12	12-3	<3
2.	Smalka smilts (neatkarīgi no tās mitruma)	>10	10-3	<3
3.	Putekļaina smilts:			
3.1.	vāji mitra un mitra	>10	10-3	<3
3.2.	piesātināta ar ūdeni	>8	8-2	<2

Vairāku autoru pētījumos, kā Lunne et al. (1997), Robertson (2009), grunts raksturlielumu noteikšanā zondes konusa pretestība tiek izmantota kopā ar citiem mērītajiem parametriem, kā zondes sānu berzes vērtība (fs), berzes koeficienta lielums (Rf), porūdens spiediena mērījumi (u) u.c.

1.3.2. Zondes sānu berze

Zondes sānu berze – fs – ir lielums, kas tiek iegūts grunts radīto berzes spēka lielumu uz berzes uzmavu (Fs) izdalot ar berzes uzmavas laukumu (As), kas tiek izteikts MPa (arī Pa vai kPa) (ISSMGE, 1989).

1.3.3. Berzes koeficients

Berzes koeficients ir lielums, kas attēlo attiecību starp zondes konusa pretestību un zondes sānu berzi, kas nomērīta vienā dziļumā no zemes virsmas.

Berzes koeficients tiek aprēķināts, izmantojot sekojošu formulu:

Rf= fs/qc *100,

kur Rf- berzes koeficients; fs - zondes sānu berze [MPa]; qc – zondes konusa pretestība [MPa]

Apstrādājot lielu skaitu datu, iespējams konstatēt empīrisku sakarību starp berzes koeficientu un grunts nosacīto litoloģiju, skatīt tabulu 1.3. (Bakker, 2007). Relatīvi tīras smiltis raksturo lielas konusa pretestības skaitliskās vērtības un zemas berzes koeficienta skaitliskās vērtības (zemākas par 1%) (Scheider J.A. et al., 2001).

Kā vienkāršota sakarība starp berzes koeficienta vērtībām un grunts nosacīto litoloģiju, kas tiek izmantota informatīvā nolūkā, ir attēlota 1.3. tabulā. Šī tabula sastādīta, izmatojot lokālo darba pieredzi statiskajā zondēšanā. Tā ir izmantojama tikai informatīvā nolūkā lauka apstākļos, lai kontrolētu testu veikšanas laikā, kādos grunts apstākļos atrodas zonde.

1.2. tabula

Empīriska sakarība starp berzes koeficientu un grunts nosacīto litoloģiju (Bakker, 2007)

Berzes koeficients (Rf)	Nosacītā litoloģija
0,2-0,6	Grants, rupja smilts
0,6-1,2	Smilts
1,2-4,0	Putekļi / smilšmāls
3,0-5,0	Māls
5,0-7,0	Plastisks māls
5,0-7,0	Kūdra

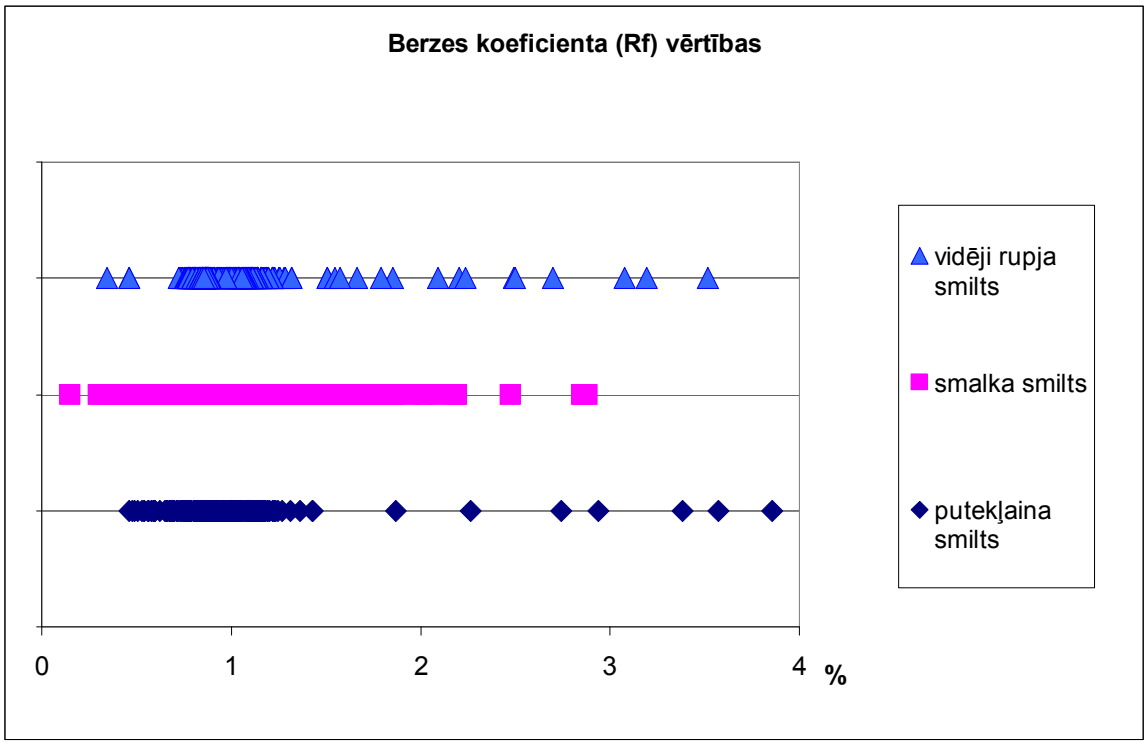
1.3. tabula

Empīriska sakarība starp berzes koeficientu un grunts nosacīto litoloģiju (autora dati)

Berzes koeficients (Rf)	Nosacītā litoloģija
0,5-1,5	Smilts
1,5-4,0	Mālsmilts
4,0-8,0	Smilšmāls
8,0-	Māls

Maģistra darba pētījuma dati liecina, ka smilšu gruntis raksturojošās berzes koeficienta vērtības ir robežās no 0,3 līdz 2,2. Putekļainu smilti raksturo berzes koeficienta vērtības, kas ir robežās no 0,46 līdz 1,42; smalku smilti - no 0,30 līdz 2,2; vidēji rupju smilti - no 0,72 līdz 1,31. Skatīt 1.3. attēlu. Datu apkopošanā izmantoti 2133 mērījumu nolasījuma punkti. Izmantotie izpētes materiāli raksturo smilšu gruntis, kas nav uzskatāmas par relatīvi tīrām. Šīm gruntīm iespējami piejaukumi māla daļiņu un organisko vielu veidā. Laboratoriskajos apstākļos noteiktais organisko vielu daudzums šajās gruntīs ir robežās no 0,4 % līdz 0,9 %, kas noteikts grunts paraugiem, kuri attiecināmi uz 289 mērījumu nolasījumu punktiem. Organisko vielu piejaukums un māla daļiņu klātbūtne grunts materiālā var palielināt materiāla

lipīguma īpašības, kas var palielināt zondes sānu berzes vērtības, kas savukārt ietekmē berzes koeficienta vērtības (Robertson, Cabal, 2009).



1.3. attēls. **Berzes koeficienta (Rf) vērtības smilšu gruntīm**

Izvērtējot augstāk minētās berzes koeficienta lielumu variācijas un attiecīgi nosacīto grunts litoloģiju, ir secināms, ka tikai berzes koeficienta vērtību izmantošana grunts litoloģijas noteikšanā nav iespējama bez ievērojamām novirzēm.

Smilšu grunts blīvums lielā mērā ietekmē berzes koeficentu. Jo lielāks ir blīvums, jo mazāks ir berzes koeficenta lielums. Citu parametru ietekme nav tik nozīmīga (Van den Berg, 1994).

Salīdzinot vairākus izpētes punktu datus, var secināt, ka berzes koeficienta vērtības laterālā un vertikālā griezumā var saglabāt nemainīgas vai līdzīgas vērtības arī pie mainīgām konusa pretestības un sānu berzes vērtībām (Campanella et.al., 1989, Howie et.al., 1999). Šāda veida variācijas neietekmē grunts materiāla interpretāciju, bet var ievērojami ietekmēt grunts raksturlielumu izvēli (Howie et.al., 1999).

1.4. Statiskās zondēšanas testu izpildes kvalitāte

1.4.1. Vertikālās nobīdes leņķis

Uzsākot CPT testus, zondēšanas iekārta jeb iespiešanas mehānisms ir jānovieto pēc iespējas tā, lai nodrošinātu spiešanas virzienu, maksimāli tuvinātu vertikālam. Spiešanas virziena nobīde no vertikālā stāvokļa nedrīkst pārsniegt 2 %. Zondēšanas stieņu vertikālajām asīm ir jāsakrīt ar iespiešanas virzienu (ISSMGE, 1989; Lunne et al., 1997).

Vairumā mūsdienās izmantojamajās zondēs ir iebūvēts devējs (Lunne et al., 1997), kas veic vertikalitātes nobīdes leņķa mērījumus. Penetrometra iespiešanas vertikālo stāvokli iespējams kontrolēt, izmantojot šos mērījumus, kas kopā ar pārējiem mērītajiem lielumiem (qc, fs, iespiešanas ātrumu, u.c.) ir redzami vizualizācijas programmā. Šo datu kontroli testu izpildes laikā veic zondēšanas operators. Dažas vizualizācijas programmas informāciju par penetrometra vertikālo nobīdi no sākotnēja stāvokļa parāda kā attālumu metros no sākotnējā virszemes punkta.

Penetrometra vertikalitātes stāvokļa izmaiņas ietekmē: zondēšanas iekārtas stāvokļa izmaiņas; vietas ģeoloģiskie apstākļi, iekārtu tehniskais stāvoklis, u.c.

Ja ir sasniegts International Reference Test Procedure (1989) minētais vertikālās nobīdes leņķa lielums, testu pārtrauc un veic iespiešanas iekārtas vertikalitātes korekciju, ja tas ir iespējams. Ja tas nav iespējams tad, jāatkārto testa izpilde blakus esošajai testa vietai.

Ģeoloģiskie apstākļi, kas var ietekmēt penetrometra vertikalitāti:

- Grunts slāņu relatīvi krasa atšķirība to blīvumos. Zondēšanas konusa pārejas posmā no relatīvi irdenāka, mīkstāka grunts slāņa uz relatīvi cietāku var izraisīt zondēšanas stieņu liekšanos, kas savukārt var izmainīt penetrometra iespiešanas virzienu;
- Grunts slāņos iespējami cietāki ieslēgumi (Lunne et al., 1997). Piemēram, ja grunts slānī ir sastopami oļi vai grants un tie atrodas penetrometra iespiešanas virzienā, tad, zondes konusam saskaroties ar šo objektu, tas var tikts nospiests malā, sašķelts, vai arī pati zonde var mainīt iespiešanas virzienu.

Iekārtu tehniskais stāvoklis, kas var ietekmēt penetrometra vertikalitāti:

- Zondēšanas stieņu taisnums (Lunne et al., 1997). Pat pie nelieliem stieņu izliekumiem, penetrometram sasniedzot vairāku desmitu metru dziļumu, vertikalitātes nobīde būs ievērojama;
- Zondes korpusa ģeometriskais stāvoklis;
- Zondes uzgaļa nodiluma pakāpe;
- Noteikta penetrometra aprīkojuma izmantošana.

Berzes mazinātājs, kas tiek izmatots, lai samazinātu berzi starp grunti un zondēšanas stieņiem, ir viens no iemesliem, kāpēc penetrometers var mainīt iespiešanas virzienu. Šis papildus aprīkojums tiek izmatots mālainās un organogēnās gruntīs. Berzes mazinātājs ir paplašinājums uz zondēšanas stieņiem vai uzmava starp tiem, kas atrodas aiz zondes noteiktā attālumā un diametrā ir lielāks par zondēšanas stieņiem. Berzes mazinātājs veido lielāku izspiestās grunts telpu, kas samazina tālāko zondēšanas stieņu aplipšanu ar zondējamo grunti. Ir iespējama berzes mazinātāja aizķeršanās aiz cietākiem objektiem, kurus zondes konuss nav caurgājis, nostūmis nost vai sadrupinājis.

Krasas vertikalitātes nobīdes liecina par zondes saskaršanos ar kādu cietāku, blīvāku objektu. Šāda strauja iespiešanas virziena maiņa var izraisīt penetrometra, zondes, zondēšanas stieņu mehāniskus bojājumus, tajā skaitā salūšanu.

Vairums zondēšanas stieņu ir piemēroti aptuveni 1º vertikalitātes nobīdei uz katru zondēšanas metru. Nobīde, kas pārsniedz 5º uz zondēšanas metru vai mazāk, var radīt penetrometra mehāniskus bojājumus (Lunne et al., 1997).

Pie noteiktiem grunts apstākļiem, ģeoloģiski sarežģītos objektos, iespējama penetrometra vertikalitātes vairākkārtēja nobīde, pārsniedzot ISSMGE (1989) norādītos lielumus, kas atkārtojas vairākos testu izpildes punktos.

Ļoti dziļos zondējumos penetrometra nobīde 45º nav rets notikums, īpaši slāņainās gruntīs. Vairumā CPT darbos, kuros penetrometra vertikālā nobīde nav ievērojama, izpētes dziļums nepārsniedz 15m. Zondējumos, kuru dziļums pārsniedz 15m, ir ieteicams veikt vertikālas nobīdes mērījumus, lai būtu iespējams veikt zondējuma dziļuma korekciju (Lunne et al., 1997). Lielākajai daļai pēdējā gadu desmitā ražotajiem penetrometriem ir iebūvēti vertikālas nobīdes mērījumu devēji.

Sarežģītu ģeoloģisko apstākļu objektu esamība un tehnoloģisko iespēju palielināšanās ir veicinājusi pētījumu attīstību horizontālās zondēšanas jomā. Pētījumi šajā jomā liecina, ka konusa pretestība qc ir 1,2 reizes lielāka horizontālās zondēšanas gadījumā nekā vertikālās, kā arī ir atšķirības sānu berzes lielumos (Broere, van Tol, 2001). Šie pētījumi apstiprina, ka pie noteiktiem apstākļiem zondējuma vertikalitāte ir jāņem vērā interpretējot datus.

1.4.2. Aprīkojuma tehniskais stāvoklis

Aprīkojumam, ar kuru veic statiskās zondēšanas testus, ir jābūt tehniski atbilstošā stāvoklī. Tas attiecināms gan uz zondēšanas iekārtu, gan penetrometru.

Zondēšanas iekārtai ir jābūt tehniskām iespējām nodrošināt vienmērīgu spiedienu uz penetrometru, nodrošinot vienmērīgu un atbilstošu iespiešanas ātrumu.

Nepieciešamības gadījumā ir jāizmato papildus aprīkojums. Zondēšanas darbiem mīkstās, tekošās gruntīs, kā arī darbiem akvatorijā ir jāizmanto zondēšanas stieņu apvalkcaurules, kas novērstu zondēšanas stieņu izliekšanos (ISSMGE, 1989).

Regulāri jāpārbauda aprīkojums, lai tam nebūtu rezultātus ietekmējošs mehāniskais nodilums. Tas attiecināms uz zondēšanas stieņiem, zondes korpusu, zondes uzgali, berzes uzmavu. Zondes blīvēšanas elementiem ir jānodrošina atbilstošs kustīgums tādām zondes daļām, kā konuss un berzes uzmava, tajā pat laikā nepieļaujot ūdenim un grunts daļiņām piekļūt zondes mērierīcēm (Lunne et al., 1997; ISSMGE, 1989). Maksimālais pieļaujamais tehniskais penetrometra nodilums saskaņā ar dažādu autoru uzskatiem atšķiras. Saskaņā ar Brouwer (2002), maksimālais pieļaujamais nodilums: zondes konusa uzgaļa leņķis 60º±5 º; zondes berzes uzmava 35,7 mm ± 0,4 mm.

Zondes sastāvā esošo mērierīču kalibrācija jeb sākotnējo attiecināmo mērījumu lielumu iestatīšana ir veicama katrus 3 mēnešus (ISSMGE, 1989; Brouwer, 2002; u.c.). Zondes mērierīču attiecināmie mērījumi, saucami arī par „nulles nolasījumiem", ir veicami pirms un pēc katra zondēšanas testa izpildes.

Šāda tehnoloģiskā iespēja ir vairumam mūsdienu elektronisko zondēšanas sistēmu. Ir lietderīgi kontrolēt nulles nolasījuma vērtības pirms un pēc katra testa izpildes, lai varētu izsekot penetrometra mērīto rezultātu kvalitātei (Lunne et al., 1997). Zondes ražotājs vai tehniskās apkopes veicējs nosaka katrai zondei sākotnējos attiecināmos mērījumu lielumus, kuru izmaiņas ekspluatācijas laikā būtu kontrolējamas. Ir noteikts pieļaujamais izmaiņu diapazons, kuram saglabājoties starp izpētes testiem, mērīto datu vērtības ir uzskatāmas par izmantojamām tālākajā datu apstrādē un nodrošina nepieciešamo mērījumu precizitāti.

Mērījuma precizitātei ir jābūt 5% robežās no mērītā lieluma (ISSMGE, 1989).

1.5. Statiskās zondēšanas datu prezentācija

Datu atainošanai tiek izmantotas diagrammas, kas ietver mērītos lielumus noteiktā dziļumā, 1.4. attēls – viens no izmantotajiem CPT grafikiem. Pēc nepieciešamības ir iespējams ietvert diagrammās visus vai tikai daļu no mērītajiem lielumiem. No biežāk lietotajiem ir zondes konusa pretestība, zondes sānu berze, berzes koeficients. Lietojamās mērvienības pirmajiem diviem lielumiem ir MPa (megapaskāli), bet berzes koeficients tiek izteikts procentos. Ja ir nepieciešamība, ir iespējams vizualizēt arī pārējos lielumus, kā piemēram, porūdens spiediena mērījumi, testa izpildes ātruma vērtības u.c. Ierastā veidā katra mērījuma vērtība tiek attēlota savā skalā pie vienāda dziļuma. To nosaka aspekts, ka katrai mērvienībai ir savs mērījumu diapazons, lai gan dažiem lielumiem sakrīt mērvienības,

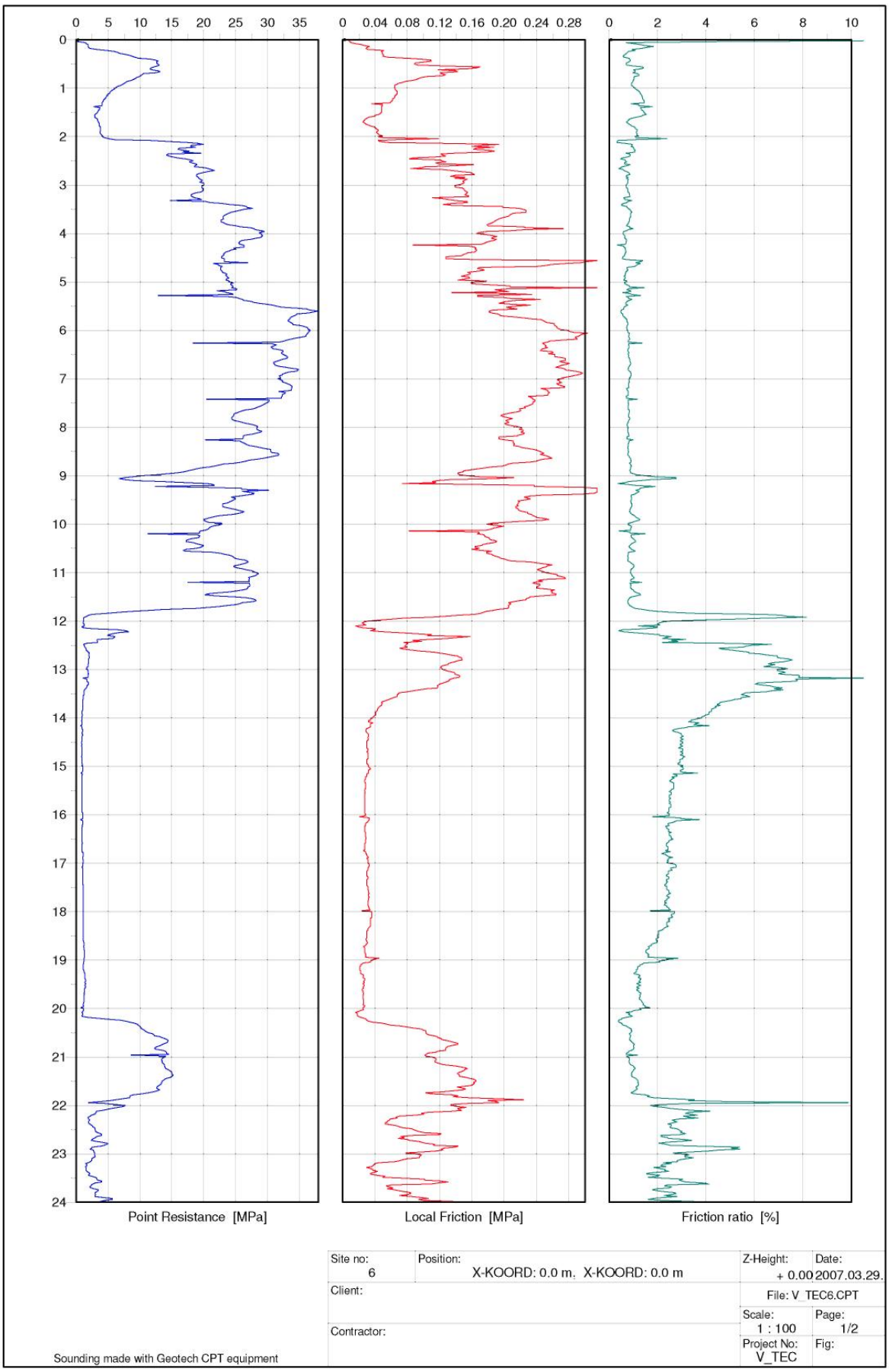
piemēram, qc un fs tā ir MPa. Praksē tiek lietots arī grafiku specifisks izkārtojums, novietojot qc un fs grafiku vienu virs otra un pretējās vērtībās attēlojot Rf. Šādu izkārtojumu sauc par *Dutch standard*.

Kopumā prezentācijas iespējas ir plašas, jo CPT rezultāti ir saglabāti skaitļu datu virknēs, ko iespējams tālāk izmantot dažādu veidu datu apkopojumos. Tiek izmantota arī noteiktu grunts slāņu vidējo CPT vērtību noteikšanas metodika. Šī informācija izmantojama grunts slāņu inženierģeoloģiskai raksturošanai, tajā skaitā inženierģeoloģisko elementu izdalīšanai.

Ja testu izpildes laikā ir veikti arī porūdens spiediena izkliedes testi – papildus mērījumi pie porūdens spiediena mērījumiem, tos attēlo atsevišķā grafikā. To nosaka tas, ka attiecināmie lielumi ir porūdens spiediena mērījumi laika vienībās.

Informācijas apjoms, kas tiek iegūts CPT testos, tiek saglabāts failos ar nosaukumiem „*.cpt", u.c. Informācijas saglabāšanu un pēc tam prezentāciju sagatavošanu iespējams veikt ar dažādām programmām, kā *CPT-Log* (Geotech, bez dat.); *CPeT-IT* (Geologismiki Geotechnical Software, 2009); *CPT-pro* (Geotech, bez dat.) u.c., kas ļauj attēlot vēlamos datus vienā vai vairākos grafikos, lai būtu iespējams novērtēt un interpretēt noteiktos lielumus pie noteikta dziļuma. Vairākās programmās ir iespējams veikt datu interpretāciju no litoloģiskā vai no inženierģeoloģiskā viedokļa. CPT datu interpretēšanai un vizualizācijai vairākās programmās, tajā skaitā *CPeT-IT*; *CPT-pro*, tiek izmantotas grunts īpašību tipu diagrammas, piemēram, *Robertson* (1986) sagatavotās. Saskaņā ar autora viedokli no iepriekš tekstā minētajām programmām tikai datu vizualizācijai no praktiskās lietošanas viedokļa piemērotākā ir *CPT-Log* programma. Savukārt datu interpretācijai piemērotākā ir *CPTeT-IT*, kas satur salīdzinoši jaunākos (atjauninātos) datu interpretēšanas rīkus.

Datu interpretācijas procesa raksturojums sniegts nākamajās šī darba nodaļās.



1.4. attēls. **Statiskās zondēšanas datu atainošanas grafika piemērs** (sagatavojis autors, izmantojot CPT-Log v. 1.42 programmatūru, dati SIA "Firma L4", 2007h)

1.6. Statiskās zondēšanas datu interpretācija

Laika gaitā ir izstrādātas vairākas, daļēji empīriskas datu korelācijas, lai noteiktu grunšu ģeotehniskos parametrus, izmatojot CPT rezultātus. Šīm korelācijām ir dažāda ticamības pakāpe un pielietošanas iespējas (Robertson, Cabal, 2009).

Projektēšanas darbiem izmatojamie grunts parametri smilšu gruntīm ir nosakāmi, izmantojot qt, kas iegūts, veicot pārbaudes laboratorijas apstākļos līdzīgām smilšu gruntīm (Howie et.al., 1999). „qt" ir normalizētais, koriģētais zondes konusa pretestības lielums „qc", kas iegūts aprēķinu ceļā, ņemot vērā porūdens spiediena ietekmi uz mērītajiem qc lielumiem, pēc *Robertson, Cabal* (2009).

Vairāki autori, tajā skaitā Aysen, 2005; Lunne et al., 1997; Scheider et al., 2001, norāda qc vērtību koriģēšanas nepieciešamību attiecībā pret poru ūdens spiedienu. Vairumā gadījumu testu datos, kas izmantoti šajā darbā, nav iekļauti vai nav veikti poru spiediena mērījumi, un šāda veida datu koriģēšana netiek veikta. Tomēr Lunne et al., 1997 ir atzīmējis, ka šāda datu korekcija nav nepieciešama izpētes testiem līdz 30m dziļumam, kas ietver šajā darbā izmantoto testu datus.

Statiskās zondēšanas datus iespējams izmantot arī grunts klasificēšanā (Aysen, 2005).

Latvijā spēkā esošie normatīvi būvniecībā paredz statiskās zondēšanas rezultātu izmatošanu. Latvijas būvnormatīva LBN 005-99 "Inženierizpētes noteikumi būvniecībā", kas apstiprināts ar Ministru kabineta 2000.gada 2.maija noteikumiem Nr.168, pielikumos (piem., 4. pielikums) ir norādīti grunts fizikālo un mehānisko īpašību raksturlielumi pie noteiktiem statiskās zondēšanas rezultātiem. Pielikuma tabulās norādītie raksturlielumi ir izmantojami būvju pamatņu un pamatu aprēķinos. Šajā pielikumā izmantotās gruntis klasificē atbilstoši spēkā esošajiem standartiem, tajā skaitā „LVS 437:2002 Būvniecība. Gruntis. Klasifikācija", ko ir apstiprinājusi Latvijas standartizācijas tehniskā komiteja.

Saskaņā ar LBN 005-99 4. pielikumā sniegtajām tabulām, izmantojot statiskās zondēšanas rezultātus, ir nosakāmi sekojoši parametri: smilts grunšu saguluma blīvuma pakāpe; smilts grunšu blīvums (ρ); smilts grunšu relatīvais blīvums (I_d); smilts grunšu bīdes pretestība (τ); smilts grunšu stiprības raksturlielumi (c un φ); smilts grunšu deformācijas modulis (E); glacigēno mālaino grunšu bīdes pretestība (τ); glaciolimsnikā māla un smilšmāla stiprības raksturlielumi (c un φ); glaciolimnisko un glacigēno mālaino grunšu deformācijas modulis (E) (LBN005-99, 2000).

Normatīva tekstā ir norādīti arī citi grunšu īpašību raksturojumi, kas iegūstami, izmantojot statiskās zondēšanas rezultātus. Piemēram, viena no vājo grunšu specifiskajām

īpašībām ir konusa pretestība statiskajā zondēšanā, kas ir mazāka par 2 MPa smilšu gruntīm un mazāka par 1 MPa mālainām gruntīm (LBN005-99, 1999).

Šo parametru noteikšanā ir rekomendēts izmantot grunts īpatnējo pretestību zem konusa, kas normatīvā apzīmēts ar „q", šajā darbā ir apzīmēts ar „qc". Tāpat LBN 005-99 ir norādīts, ka grunts fizikālo un mehānisko īpašību noteikšanai izmanto arī grunts īpatnējo pretestību sānu berzei, kas apzīmēta ar „f". Šajā darbā tas būtu attiecināms uz zondes sānu berzi „fs". Tomēr normatīva tekstā un tabulās grunts fizikālo un mehānisko īpašību noteikšanai ir izmatota tikai zondes konusa pretestība q (qc).

No iepriekš minētā izriet, ka grunts klasificēšanā statiskās zondēšanas lielumi, kā zondes konusa pretestība un zondes sānu berze, netiek izmatoti. Grunšu klasifikācijā, tajā skaitā smilšu gruntīm, tiek izmantoti laboratorisko pārbaužu rezultāti.

Statiskās zondēšanas gaitā iegūto datu un to tālāko aprēķinu izmantošana grunts parametru noteikšanā un grunšu klasificēšanā ir aprakstītā citās šī darba nodaļās.

1.7. Grunts klasificēšana

Grunts uzbūvi raksturo cietā, šķidrā un gāzveida komponenta saturs, ko savukārt lielā mērā nosaka cietā komponenta uzbūves īpatnības, kuras petrogrāfiski raksturo ieža tekstūra un struktūra (Indāns u.c., 1986).

1.7.1. Klasificēšanas kritēriji

Šajā darbā pētīti nogulumiežu smilšu drupu ieži. Smiltis ir irdeni ieži, kas sastāv no 0,1 līdz 1 mm lieliem viena minerāla vai vairāku minerālu graudiem (Indāns u.c., 1979). Inženierģeoloģijā par smilts iežiem sauc atbilstošo grunts materiālu ar sastāvdaļu izmēru izmēriem no 0,05 mm līdz 2 mm (*grunts granulometrisko frakciju iedalījums atšķiras saskaņā ar dažādām klasifikācijas sistēmām – autora komentārs*) (Indāns u.c., 1986).

Irdeno grunšu struktūras galvenais rādītājs ir cieto (minerālo) sastāvdaļu izmēri. Pēc izmēriem tuvas grunts sastāvdaļas apvieno grupās, kuras sauc par granulometriskajām frakcijām. Sastāvdaļu izmērus izsaka milimetros, bet atsevišķu frakciju saturu gruntī, ko izsaka procentos no grunts kopējās masas sausā stāvoklī, raksturo grunts granulometrisko sastāvu. Pēc granulometriskā sastāva nosaka litoloģisko tipu (Šnore, Bez dat.).

Rupjākajiem paveidiem, kas veidojušies, materiālam pārvietojoties ūdens straumēs, graudu forma ir noapaļota, bet ar vēju pārvietotām smiltīm graudu forma var būt stūraina. Vairumā gadījumu smiltis sastāv gandrīz vienīgi no kvarca, nelielā daudzumā sastopams arī

muskovīts, ortoklazs, topāzs, granāts un citi. Biotīts, plagioklāzs, ragmānis un piroksēni, kas dēdēšanas procesos sadalās ātri, praktiski sastopami tikai pašās jaunākajās – kvartāra sistēmas smiltīs (Indāns u.c., 1979).

Grunšu klasifikācija būvniecības vajadzībām ir nepieciešama, lai raksturotu dažādos grunts tipus, kas ir sastopami dabā. Klasifikācijas sistēma ir standarta valoda (Craig, 1997*)*, kas organizē ģeotehnisko informāciju par gruntīm.

Vairums klasifikācijas sistēmu grunšu mehānikā sniedz grunšu aprakstu un nosaukumu, izmantojot grunts daļiņu raksturojumu, plūstamības un plastiskuma rādītājus.

Grunts aprakstā (izmantojot jebkuru standartu sistēmu) būtu a) jāatšķir grunts saguluma apstākļi, stāvoklis, struktūra; b) jāsniedz informācija, ko iespējams iegūt no traucētas struktūras grunts paraugiem; c) jāapraksta atbilstošais grunts stāvoklis un struktūras īpašības, ko iespējams novērot tikai traucētas struktūras grunts paraugiem *(AS 1726-1993)* (Aysen*,* 2005*)*.

1.7.2. Grunts klasificēšana pēc granulometriskā sastāva

Granulometriskā sastāva gradācija ir viens no svarīgākajiem grunti raksturojošiem parametriem. Grunšu klasifikācijā galvenokārt tiek izmantoti tieši šie fizikālie parametri.

Gruntis tiek iedalītas dažādos tipos, daudzos gadījumos šiem dažādajiem tipiem ir arī atšķirīgas mehāniskās īpašības. Vienkāršākais grunts iedalījums paredz to klasificēšanu atkarībā no noteikta izmēra grunts daļiņu satura, kas ietilpst grunts sastāvā. Lai būtu salīdzināma terminoloģija, starptautiskā līmenī grunts iedalījums, izvērtējot grunts daļiņu lielumu, ir sekojošs (Verruitjt, 2006). Rupjdrupu grunts materiāls tiek klasificēts kā grants un smilts (Verruitjt, 2006). Gruntis ar daļiņu lielumu, mazākas par 63 mm un lielākas par 2 mm, tiek sauktas par granti, bet smilts sastāv no grunts daļiņām, kas mazākas par 2 mm un lielākas par 0,063 mm. Grunts daļiņas, mazākas par 0,063 mm un lielākas par 0,002 mm, tiek sauktas par putekļiem (*silt*). Gruntis, kas sastāv no mazākām daļiņām kā 0,002 mm, ir māli, skat. 1.3. tabulu (Verruitjt, 2006).

1.4. tabula

Grunts daļiņu lielums (Verruitjt, 2006)

Grunts tips	Min.	Maks.
Māls		0,002 mm
Putekļi	0,002 mm	0,063 mm
Smilts	0,063 mm	2 mm
Grants	2 mm	63 mm

Starptautiski atzīta grunšu klasifikācija ir Vienotā klasifikācijas sistēma (*Unified Classification System*), ko izstrādājusi ASV Meliorācijas birojs (*United States Bureau of Reclamation*). Šajā klasifikācijā ir izdalīti grunts tipi, kurus apzīmē ar burtiem. Nosaukumam klāt tiek pievienots vēl viens burts, kas apzīmē rupjdrupu grunšu gradāciju, piejaukumus un sīkdisperso grunšu plasticitātes īpašības, skatīt 1.5. tabulu. Piemērs: grunts tips SM apzīmē putekļainu smilti, kā arī norāda, ka šī grunts satur vērā ņemamu smalko, neorganisko grunts daļiņu daudzumu (Verruitjt, 2006).

1.5. tabula

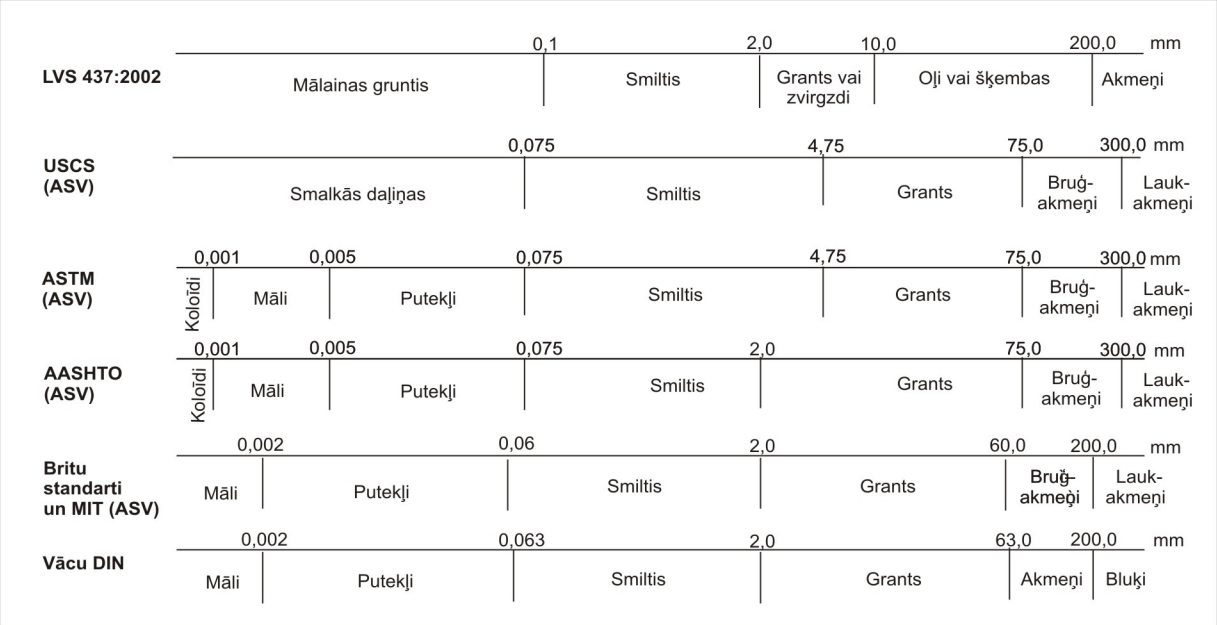
Vienotā klasifikācijas sistēma (ASV) (*Unified Classification System*) (Verruitjt, 2006)

Simbols 1		Simbols 2	
G	Grants	W	Laba gradācija
S	Smilts	P	Vāja gradācija
M	Putekļi	M	Putekļi
C	Māls	C	Māls
O	Organiskās vielas	L	Zemas plasticitātes
Pt	Kūdra	H	Augstas plasticitātes

Latvijā spēkā esošā grunts klasificēšanas sistēma būvniecības vajadzībām ir „LVS 437:2002 Būvniecība. Gruntis. Klasifikācija", ko ir apstiprinājusi Latvijas Standartizācijas tehniskā komiteja un uz kuru ir atsauces būvnormatīvos LBN 005-99 un LBN 207-01. Saskaņā ar šo klasifikāciju smilšaino grunšu graudu lielums ir līdz 2 mm, kas ietver iepriekš tekstā minēto māla, putekļu un smilts frakciju pēc *Verruitjt* (2006). Saskaņā ar LVS 437:2002 izdalītais tips „putekļaina smilts" ir salīdzināms pēc granulometriskā sastāva robežām ar māla un putekļu frakcijām pēc *Verruitjt* (2006) - pirmajā gadījumā robežlielums ir 0,1 mm un otrajā - 0,063 mm. Sekojoši LVS 437:2002 izdalītie smilšaino nogulumu apakšgrupas grunts tipi - grantaina smilts, rupja smilts, vidēji rupja smilts, smalka smilts - ir salīdzināmi ar *Verruitjt* (2006) norādīto smilts granulometrisko sastāvu.

Vienotā klasifikācijas sistēmā (USCS) ir izmantota ASTM D 2487 sniegtā terminoloģija attiecībā uz granulometriskā sastāva noteikšanu, izmantojot sietu analīzes metodi. Rupjdispersās gruntis ietver sevī tādu grunts materiālu, kam, sijājot caur sietu ar atveres izmēru 0,075 mm, 50 % materiāla paliek virs tā. Sīkdispersās gruntis: 50 % vai vairāk materiāla ir izsijājams cauri sietiem ar atveres izmēru 0,075 mm. Smilšu gruntīm sietu atveres robežu izmēri ir starp 4,75 mm un 0,075 mm. Rupjas smilts grunts graudiņu izmēri ir robežās no 4,75 mm līdz 2,00 mm (NAPA, 2005), kas būtu salīdzināms ar grants, oļu frakcijām saskaņā ar LVS 437:2002. Vidēji rupjas smilts grunts daļiņu lielums saskaņā ar ASTM D 2487 ir robežās no 2,00 mm līdz 0,475 mm, smalkai smiltij šie lielumi ir robežās no 0,475 mm līdz 0,075 mm (NAPA, 2005).

Dažādās grunts klasifikācijas sistēmās grunts robežlielumu atšķirību salīdzināšanai skatīt 1.5. attēlu.



1.5. attēls. **Grunts daļiņu iedalījums pēc lieluma dažādās klasifikācijas sistēmās** (Šnore, Bez dat.)

Šajā maģistra darbā izmantotā grunšu klasifikācija ir LBN 005-99, jo darbā izmantoto grunts laboratorisko pārbaužu rezultāti sagatavoti, izmantojot tieši šo standartu.

Latvijas teritorijā spēkā esošā grunšu klasifikācija ir LVS EN ISO 14688-1:2003 „Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identificēšana un klasificēšana." Šajā standartā iekļautā terminoloģija ir angļu valodā, līdz ar to rodas sarežģījumi grunts nosaukumu tulkošanai latviešu valodā un pielīdzināšanai LBN 005-99. Šie paši sarežģījumi veidojas, salīdzinot kādu citu grunts klasificēšanas standartu, kas minēti iepriekš tekstā.

1.7.3. Grunts īpašību tipu noteikšana pēc statiskās zondēšanas datiem

Viens no galvenajiem statiskās zondēšanas pielietošanas veidiem ir grunts stratifikācijas noteikšana un grunts tipa identificēšana (Robertson, 2010).

Ir izstrādātas dažādas statiskās zondēšanas datu interpretēšanas diagrammas, pēc kurām būtu iespējams noteikt grunts tipu vai grunts īpašību tipu. Šajās diagrammās tiek izmantotas zondes konusa pretestības vērtības un berzes koeficienta vērtības, kā tas ir skatāms DIN 4094-1, kā arī citi lielumi kā poru ūdens spiediena mērījumi.

Statiskās zondēšanas interpretācijas diagrammas ļauj noteikt grunts īpašību tipu, jo zonde reģistrē grunts mehānisko reakciju dabiskajā iegulumā, nevis grunts klasificēšanas

kritērijus, kuros izmantoti grunts granulometriskā sastāva iedalījums un plasticitātes īpašības. Grunts granulometriskā sastāva noteikšana un Aterberga robežu noteikšana tiek veikta traucētas struktūras grunts paraugiem.

Aterberga robežas jeb konsistences robežas – plūstamības robeža un drupšanas robeža, visizplatītākie mālaino grunšu raksturlielumi (Filipenkovs u.c., 2006).

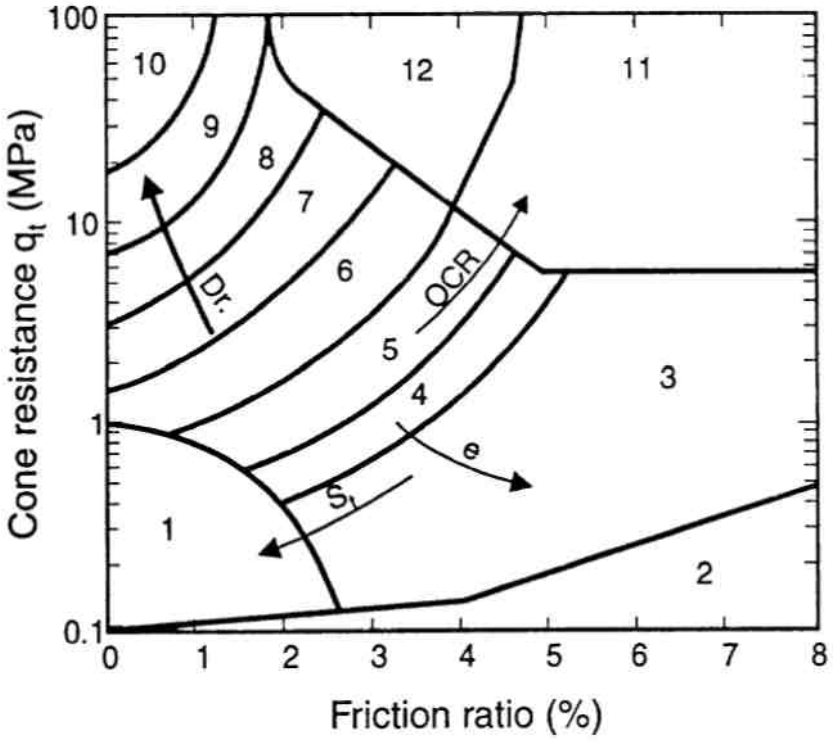
Tomēr grunts klasificēšanas kritēriji, kuros izmanto granulometriskā sastāva un plasticitātes noteikšanas rezultātus, bieži atbilst in-situ grunts īpašībām. Tādēļ ir novērojama sakritība starp klasifikācijām, kurās izmanto Unified Soil Classification System (USCS) un kurās izmanto statiskās zondēšanas rezultātus. Piemēram (USCS/CPT-SBT), saskaņā ar USCS grunts, kuras sastāvā ir 60% smilts un 40% putekļi, var tikt klasificēta kā putekļaina smilts (smilts - putekļu sajaukums) vai mālaina smilts (smilts - māla sajaukums). Ja smalkākās putekļainās daļiņas ir ar lielāku māla daļiņu daudzumu, kam piemīt augstāka plasticitāte, grunts īpašību izpausmē lielāku ietekmi radīs māls un grunts īpašību tips, kas noteikts, izmantojot statisko zondēšanu (CPT), un atbildīs vairāk māla īpašībām, kā „putekļi mālaini līdz māls putekļains" (zona 5, grunts īpašību tipa diagrammā, 1.5. attēls). Ja smalkākās grunts daļiņas būtu neplastiskas, grunts īpašību tipu noteiktu smilts un grunts īpašību tips, kas pēc CPT būtu tuvāks smilšu grunšu īpašībām, kā „putekļaina smilts līdz smilšaini putekļi" (zona 7, grunts īpašību tipa diagrammā, 1.6. attēls) (Robertson, 2010).

Pēc *Tillmann, Englert et al.* (2008) pētījumiem smilšu grunts granulometriskā sastāva noteikšanai ar CPT salīdzinājumā ar laboratorijas pārbaudēm ir pielietojams korelācijas koeficents ≥0,7, attiecinot to uz smalka granulometriskā sastāva materiālu līdz smalkai smiltij. Koeficients, kas piemērojams rupjāka granulometriskā sastāva materiālam ir neprecīzāks, bet izmantojams klasifikācijā. Tā kā iepriekš minētajā pētījumā tika izmantota CPT metode ar papildus grunts elektriskās pretestības mērījumiem, šajā maģistra darba pētījumā šis korelācijas koeficents nav pielietots.

Ģeotehnikas inženieriem bieži ir lielāka interese par grunts īpašībām dabiskajā iegulumā (in-situ īpašības), nekā par klasifikāciju, kas izmanto tikai granulometriskā sastāva iedalījumu un plasticitāti, kas noteikta traucētas struktūras grunts paraugiem. Kaut gan informācija par šiem arī ir noderīga (Robertson, 2010).

Sākotnējās diagrammās tika izmantots qc, fs, Rf [Rf=(fs/qc)*100%], ko ir izstrādājuši *Douglas* un *Olsen* (1981) (Robertson, 2010).

Viena no plašāk pazīstamajām datu interpretēšanas diagrammām ir *Robertson* et al.(1986) sagatavotā. Tajā tiek izmatoti gan koriģēti (normalizēti) lielumi, gan nekoriģēti. Diagramma ir skatāma 1.6. attēlā.



1.6. attēls. **Grunts īpašību tipi** (Robertson et al, 1986)
Cone resistance – konusa pretestība; *Friction ratio* – berzes koeficents; 1. *Sensitive fine-grained* – jutīgas smalkgraudainas*;* 2. *Organic material* – organogēns materiāls; *3. Clay* - māls*;* 4. *Silty clay to clay* – putekļains māls līdz māls*; 5. Clayey silt to silty clay* – mālaini putekļi līdz putekļains māls*; 6. Sandy silt to clayey silt* – smilšaini putekļi lidz mālaini putekļi*; 7. Silty sand to sandy silt* – putekļaina smilts līdz smilšaini putekļi*; 8. Sand to silty sand* – smilts līdz putekļaina smilts*; 9. Sand - smilts; 10. Gravelly sand to sand* – granšaina smilts līdz smilts*; 11. Very stiff fine grained* – ļoti sīksts smalkgraudains*; 12. Sand to clayey sand* – smilts līdz mālaina smilts; *Soil Behavoir Type* – grunts īpašību tips

Šajā diagrammā (1.6. attēls) ir izmatota zondes konusa pretestība un berzes koeficients. Tā ir visaptveroša, un to ir iespējams izmantot grunts īpašību tipu noteikšanai līdz 20 m dziļumam. Diagrammā iezīmētas galvenās grunts īpašību izmaiņas, kā relatīvā blīvuma palielināšanās (Dr), grunts noslodzes vēsture (OCR), grunts jutīgums (St) un porainības koeficients (e) rupjdrupu gruntīm. Ir iespējama dažu zonu pārklāšanās, un ir nepieciešams tās precizēt, ņemot vērā vietējo pieredzi (Robertson, Cabal, 2009).

Šī diagramma (1.6. attēls) ir sagatavota, izmantojot koriģētas zondes konusa pretestības vērtības (qt), bet to ir iespējams izmantot arī nekoriģējot zondes konusa pretestības (qc), jo atšķirība starp qc un qt ir neliela, izņemot mīkstas putekļainas gruntis, kur qc < 1 MPa (Robertson, 2010).

Kopš *Robertson* (1986) turpmākajos gados tika izstrādātas vairākas citas grunts īpašību tipu noteikšanas diagrammas kā *Robertson* (1990) sagatavotā. Galvenā atšķirība bija tā, ka tā tika veidota, izmantojot 9 grunts tipus, nevis 12, kā iepriekš, un šajā diagrammā ir izmatojami tikai koriģēti, qc un Rf dati. Dažādie grunts tipi ir radījuši pārpratumus, šos datus salīdzinot. Sākotnējai *Robertson* et. al (1986) diagrammai ir tāda priekšrocība, ka to var izmantot reālā laika periodā, zondēšanas testa izpildes laikā un uzreiz pēc to veikšanas, jo ir nepieciešami tikai zondēšanas pamatmērījumi, kaut gan koriģēto parametru *Robertson* (1990) diagramma ir uzskatāma par uzticamāku datu interpretācijā, jo izmanto statiskās zondēšanas mērījumu datus, kas koriģēti no grunts efektīvās spriedzes viedokļa. Šī diagramma ir izmantojama pēc statiskās zondēšanas testu veikšanas, jo datu korekcijai ir nepieciešams īpatnējais svars un informācija par gruntsūdens raksturlielumiem (Robertson, 2010).

Pašlaik ir izstrādātas *Robertson* et al. (1986) diagrammas korekcijas, kas ir apskatāmas 1.7. attēlā. Sākotnējā grunts īpašību tipu diagrammā tika izmantotas zondes konusa pretestības vērtības, qt (vai qc), kas attēlotas logaritmiskajā skalā, un berzes koeficienta vērtības Rf vienkāršajā skalā. Koriģētajā diagrammā ir izmatotas telpā nesaistītas zondes konusa pretestības vērtības (qc/pa), kur pa = atmosfēras spiediens (pa = 1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa), un Rf vērtības, abas logaritmiskajā skalā. Tādējādi tiek palielināts laukums, kurā attēlo vērtības Rf<1%. Grunts īpašības tipu skaits ir samazināts līdz 9, kas atbilst *Robertson* (1990) diagrammai un vienkāršo to salīdzināšanu (Robertson, 2010).

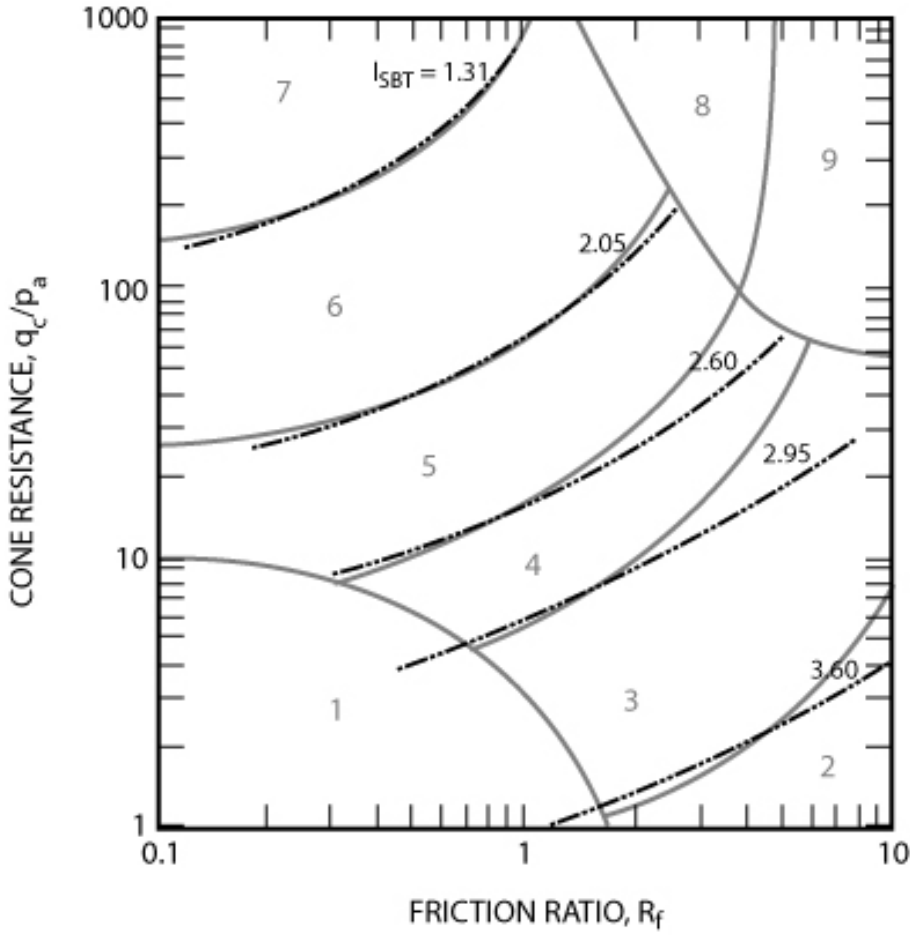
Dažādi autori, *Jefferies, Davies* (1993); *Robertson, Wride* (1998), ir veikuši pētījumus, lai noteiktu grunts īpašības tipa indeksa vērtības (I_c), kas būtu izmantojams koriģēto mērījumu diagrammās. I_c būtībā ir koncentrisku apļu rādiuss, kas iezīmē grunts īpašību tipa robežas. Tā kā grunts īpašību tipa diagrammas (nekoriģētiem mērījumiem) ir sagatavotas, izmantojot logaritmisko skalu, ir iespējams definēt grunts īpašības tipu indeksu nekoriģētiem mērījumiem, I_{SBT}:

$$I_{SBT} = [(3.47-\log(qc/p_a))^2+(\log Rf+1,22)^2]^{0,5}$$

kur:
qc = zondes konusa pretestība (vai koriģēta zondes konusa pretestība)
Rf = berzes koeficients = (fs/qc)*100%
fs = zondes sānu berzes vērtības

Nekoriģētais grunts īpašību indekss (I_{SBT}) ir tas pats koriģētais grunts īpašību indekss (I_c),tikai tiek izmantoti nekoriģēti statiskās zondēšanas pamat mērījumu dati (Robertson, 2010).

Atšķirības starp dažādiem standartiem grunts klasificēšanas principos un grunts nosaukumos rada grūtības šo diagrammu pielietošanā citos reģionos (Robertson, 2009). Šajā pētījumā izmantots *Robertson* (2010) grunts īpašību tipu noteikšanas paņēmiens. Šajā pētījumā izmatotajiem CPT mērījumiem noteikts I_{SBT} un salīdzināti dati (skatīt šī darba 4.1. nodaļu) ar grunts īpašību tipu pēc *Robertson* (2010). Pētījumu rezultāti apskatīti šī darba 4.1. un 5.1. nodaļās.



1.7. attēls. **Nekoriģēto CPT mērījumu grunts īpašības tipu diagramma, ar I_{SBT} kontūrām** (Robertson, 2010)

Cone resistance – konusa pretestība; *Friction ratio* – berzes koeficents; 1. *Sensitive fine-grained* – jutīgas smalkgraudainas*; 2. Clay (organic soil)*- māls (organogēnas gruntis)*; 3. Clays: clay to silty clay* – māls: māls līdz putekļains māls*; 4. Silt mixtures: clayey silt & silty clay* – putekļu maisījumi: mālaini putekļi un putekļaini māli*; 5. Sand mixtures: silty sand to sandy silt* – smilts maisījumi: putekļaina smilts līdz smilšaini putekļi*; 6. Sands: clean sands to silty sand* – smilts: tīra smilts līdz putekļaina smilts*; 7. Dense sand to gravelly sand* – blīva smilts līdz graršaina smilts*;8. Stiff sand to clayey sand* – sīksta smilts līdz mālaina smilts*; 9. Stiff fine-grained – smalkgraudains sīksts; Overconsolidated or cemented* – sekundāri noblīvējies vai cementēts; *Soil Behavoir Type* – grunts īpašību tips

Pēc *Robertson* (2010) ir novērojama saistība starp grunts ģenēzi un statiskās zondēšanas rezultātiem. Atsaucoties uz citu autoru pētījumiem, *Robertson* (2010) atzīmē, ka pēc seismiskās CPT datiem vienā no izpētes objektiem, šķērsviļņu izplatības ātrums Pleistocēna gruntīs ir par 25 % lielāks par ātrumu Holocēna gruntīs.

2. Materiāli un metodes

Maģistra darba pētījumā ir izmantoti dati, kas iegūti no dažādu uzņēmumu datubāzēm (SIA "Enbiko", 2008a-b; SIA "Enbiko", 2009; SIA "Firma L4", 2007a-h; SIA "Firma L4", 2008a-h; SIA "Latgranīts", 2008). Kopumā izmatoti 20 ģeotehniskās un ģeoloģiskās izpētes pārskati no dažādiem izpētes objektiem Latvijas teritorijā, objektu izvietojumu shēmu skatīt 1. pielikumā. No iepriekš minētajiem izpētes pārskatiem atlasīti 41 statiskās zondēšanas (CPT) profili ar atbilstošu laboratorisko pētījumu daļu, ievērojot šajā nodaļā turpmāk aprakstītos kritērijus. No CPT profiliem izdalīti atsevišķi intervāli, kas satur CPT mērījumu raksturlielumus. Kopumā pētījumā ir izmantoti dati par 3171 mērījumu punktu. Mērījumu punktu datu apkopojuma piemēru skatīt 2. pielikumā. Statiskās zondēšanas testi šī pētījuma ietvaros ar mērķi iegūt datus analīzei nav veikti, to nosaka nepieciešamā aprīkojuma salīdzinoši dārgās izmaksas. Datu apstrādei ir ierobežots informācijas daudzums, ko nosaka ierobežota pieeja datubāzēm. No pieejamiem datiem tika atlasīts informācijas apjoms, izmantojot sekojošus kritērijus:

- Izpētes aprīkojuma tehnoloģiskais paveids. Tas būtu: izvēlētie dati ir iegūti, izmantojot iepriekšējās nodaļās aprakstīto elektronisko penetrometru, kas ir viens no izplatītākajiem Latvijas teritorijā. Noteikta tipa zondes kā *Begemann* iegūto datu izmatošanai būtu jāveic datu pielāgošana un koriģēšana, ko nosaka konkrēto instrumentu fiziskie parametri, sekojoši to datu reģistrēšanas un interpretācijas īpatnības. Tādēļ dati, kas iegūti ar *Begemann* tipa zondēm, nav izmantoti;
- Izpētes aprīkojuma tehnoloģiskais stāvoklis. Izmantojot tehnoloģiski bojātu vai nekalibrētu instrumentu datu mērījumos un nolasījumos ir iespējamas neprecizitātes, tādēļ dati, kas, iespējams, iegūti ar tehnoloģiski neatbilstošu aprīkojumu, nav izmantoti šajā pētījumā;
- Datu rezultātu pieejamība. Ir pieejami t.s. zondēšanas rezultātu datu atskaites, kas ir mērījumu rezultāti skaitļos. Datu vizualizācijai ierasts izmantot grafikus, no kuriem lielumu nolasījumam iespējama novirze no mērītā;
- Pieejamās informācijas pilnīgums. Pētījuma mērķu sasniegšanai nepieciešamā informācija ietver statiskās zondēšanas rezultātu datus smilšu gruntīs un no smilšu grunts slāņiem noņemti paraugi, kuriem veiktas laboratoriskās pārbaudes, tajā skaitā granulometriskā sastāva noteikšana. Bez tam būtiski, lai grunts paraugošana būtu veikta tādā attālumā, kas nodrošina pietiekamu ticamības pakāpi ģeoloģiskajā interpretācijā.

Veicot datu atlasi šim pētījumam no jau veiktajiem izpētes datiem un arhīvu materiāliem, visi izpētes un testēšanas procesi, kuru rezultāti ir izmantoti šajā pētījumā tiek uzskatīti par veiktiem saskaņā ar Latvijā spēkā esošajām normām, kas attiecināmas uz šo jomu, tajā skaitā *In-situ* testu veikšana, grunts paraugošana, grunts paraugu pārbaudes laboratorijas apstākļos. Attiecībā uz statiskās zondēšanas testu (CPT) veikšanu pieņemts, ka testu izpilde ir veikta saskaņā arī ar „International reference test procedure for CPT".

Gruntis, kuru testēšanas dati iegūti, izmantojot *In-situ* metodes intervālos zem gruntsūdens līmeņa, tiek raksturotas kā ūdenspiesātinātas gruntis.

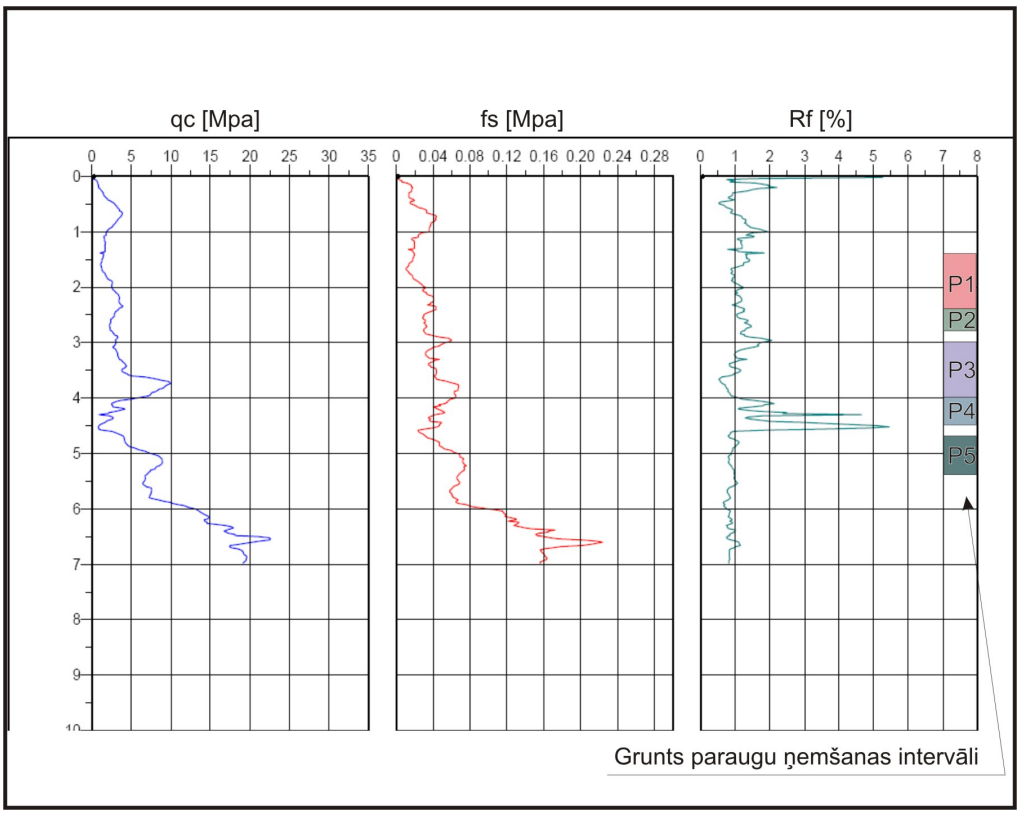
Šajā pētījumā izmatoti dati, kas raksturo arī grunti ar organisko vielu pazīmēm (pēc LVS437:2002), kuru sastāvā ir līdz 3% organisko vielu. Šāda grunts tipa izmantošana šajā pētījumā ir pieļaujama, jo saskaņā ar LBN 005-99 organisko vielu daudzums līdz 3 % no kopējās sausas grunts masas neiekļauj šo grunti kategorijā pie būvniecībai nelabvēlīgajām gruntīm.

Datu apkopošana tika veikta sekojošās darba fāzēs:

1. Sākotnēji tika izvērtēta datu pieejamība tikai tam apjomam, kas atbilst kvalitātes prasībām katrā izpētes stadijā un procesā.
2. No pieejamiem datiem tika atlasīti tie, kuru informācijas apjoms bija vispilnīgākais.

Tika identificēta katra esošā pētījuma kvalitāte un apjoms, veikta datu analīze un sākotnējā apkopošana. Kā redzams 2.1. attēlā, ir precizētas grunts paraugu ņemšanas vietas un dziļumi no atbilstošākā urbuma (vai no kāda cita grunts paraugu ņemšanas tehnoloģiskā risinājuma). Tika atlasīti tikai tie CPT intervāli un grunts paraugu analīžu rezultāti, kas bija visprecīzākie, piemēram, ja grunts parauga ņemšanas intervāls bija uz grunts litoloģiskās robežas, tuvu tai vai atradās uz statiskās zondēšanas datu nosacītās atšķirību robežas, tad šī grunts parauga pārbaužu rezultāti netika iekļauti turpmākajā analīzē. Datu apkopošanai tika izmatoti arī arhīvu materiāli, kuri saturēja ģeoloģiskās informācijas vizualizācijas elementus, piemēram, ģeotehniskie griezumi. Grunts paraugu ņemšanas intervāli tika pārrēķināti un pārbaudīti, neatkarīgi no tā, vai bija attēloti ģeotehniskajos griezumos, lai novērstu neprecizitātes, kas bija ieviesušās dažos arhīva materiālos.

Pirmajā analīzes fāzē tika apkopi dati, kas ietvēra CPT mērījumu rezultātus – qc un Rf; to interpretāciju saskaņā ar *Robertson* (1986) un to klasifikāciju saskaņā ar LVS437:2002. Apkopojuma piemēru var skatīt 2.1. tabulā.



2.1. attēls. **Statiskās zondēšanas grafiks no pārbaudes lauka „Ro2" ar grunts paraugu ņemšanas intervāliem** (autora datorsalikums, pamatnē izmantoti *CPT-Log* 1.42. programmatūras vizualizācija, dati SIA "Enbiko", 2009)

2.1. tabula

Grunts klasifikācija pēc CTP un laboratorijas datiem, pārbaudes lauks „Ro2" (sagatavojis autors, dati SIA "Enbiko", 2009)

Grunts parauga Nr. (Intervāls)	qc [MPa]		Rf [%]		Klasifikācija	
	min	max	min	max	"Robertson 1986"	LVS 437:2002
1 (1,40-2,40 m)	1,138	3,906	0,896	1,407	Sandy silt to clayey silt (6) 1,40-1,80 m Silty sand to sandy silt (7) 1,80-2,40 m	smilts smalka
2 (2,40-2,80 m)	2,256	3,375	1,040	1,471	Sandy silt to clayey silt (6)	
3 (3,00-4,00 m)	2,692	9,972	0,533	1,711	Sandy silt to clayey silt (6) 3,00-3,15 m Silty sand to sandy silt (7) 3,15-3,60 m Sand to silty sand (8) 3,60-4,00 m	smilts smalka
4 (4,00-4,50 m)	2,692	5,745	1,117	5,117	Sandy silt to clayey silt (6)	mālsmilts
5 (4,70-5,40 m)	4,038	8,949	0,804	1,117	Silty sand to sandy silt (7)	smilts smalka

Sākotnējais pētījuma mērķis bija noteikt iespējamās interpretācijas veidus, izmantojot CPT datus tikai Rf. Šāda datu analīze tika veikta un rezultāti apskatāmi šī darba 1.3. attēlā. Sākotnēji tika noteikts grunts parauga intervāls un vidējās CPT vērtības šajā intervālā. Šāda pieeja netika saglabāta, jo viena grunts parauga intervāla robežās tika novēroti vairāki CPT datu interpretācijas intervāli, piemēram, pēc *Robertson* (1986). Šajā darba izstrādes fāzē tika apkopoti 2133 CPT mērījumu punkti un to raksturlielumi.

Darba gaitā autors secināja, ka ar augstāk minēto informācijas apjomu, kas raksturo katru CPT mērījumu punktu, nepietiek. Tika paplašināts izmatojamo CPT mērījumu vienību skaits un veikti tālāki to pārrēķini, piemēram, I_{SBT} vērtību noteikšana un tālāka to interpretācija. Tika mainīts datu apkopojuma princips - nevis tika veikta CPT mērījumu intervāla interpretācija, kā minēts augstāk tekstā, bet tika veikta katra CPT mērījuma punkta raksturojums un interpretācija. Viens CPT mērījumu punkts ir noteiktā dziļumā no zemes virsmas katrā zondējumā ar atbilstošiem, piemēram, qc, fs, Rf, lielumiem. Kopumā tika apkopoti vairāk kā 3000 CPT mērījumu punkti, kuri pēc nepieciešamības raksturoti kopumā ar 18 – 20 raksturlielumiem, no kuriem daļu sastādīja CPT mērījumu raksturlielumi, daļa tika papildināta, raksturojot ģeoloģiskos apstākļus un citas īpašības.

Šī pētījuma ietvaros:

- noteiktas I_{SBT} vērtības katram CPT mērījumu punktam;
- sagatavotas datu apkopojošās diagrammas, izmantojot *Robertson* (2010) izmantotās metodikas principu. Kā salīdzinošie statikās zondēšanas (CPT) mērījumu lielumi tika izmantoti zondes konusa pretestība – qc (nekoriģētie lielumi), kas izteikti telpā neierobežotas zondes konusa pretestības veidā – qc/pa, kur „pa" ir atmosfēras spiediens (0,1 MPa), un berzes koeficienta, Rf, lielumi. Diagrammās izmantota logaritmiskā skala gan qc/pa, gan Rf vērtību atainošanai.

Tika noteiktas I_{SBT} vērtības un sagatavotas diagrammas, kas ietver qc/pa un Rf lielumus katram CPT mērījumu punktam.

I_{SBT} vērtības tika apkopotas un analizētas, sadalot CPT mērījumu punktus sekojošās datu grupās:

- putekļainas, vidēji rupjas un smalkas smiltis (katra grunts granulometriskā sastāva frakcijas atsevišķi);
- ūdens piesātināts stāvoklis putekļainām, vidēji rupjām un smalkām smiltīm;
- gruntis bez organisko vielu piejaukuma putekļainām, vidēji rupjām un smalkām smiltīm;

- grunts ģenēze putekļainām, vidēji rupjām un smalkām smiltīm.

Diagrammas ar qc/pa un Rf lielumiem tika sagatavotas un analizētas, sadalot CPT mērījumu punktus sekojošās datu grupās:

- putekļainas, vidēji rupjas un smalkas smiltis (katra grunts granulometriskā sastāva frakcijas atsevišķi);
- smalkas smilts grunts frakcijai izdalīti atsevišķi areāli ar
  - grunts daļiņu lielumu, kas mazāks par 0,1 mm;
  - grunts ģenēze;
- apkopojot putekļainas, vidēji rupjas un smalkas smiltis.

Grunšu iedalījums ir veikts, izmantojot pētījumā apkopoto datu atbilstošos lielumus saskaņā ar veiktajiem granulometriskā sastāva noteikšanas rezultātiem laboratorijas apstākļos. Dati ņemti no dažādu komercuzņēmumu datu bāzēm. Granulometriskā sastāva analīžu rezultāti tika interpretēti saskaņā ar LVS437:2002 smilšu grunšu granulometrisko gradāciju, ja testa izpilde nebija veikta saskaņā ar šo klasifikāciju. Apkopotajos datos sniegtā informācija norāda, ka laboratoriskās pārbaudes veiktas saskaņā ar Latvijas Valsts Standarta, Britu grunts klasifikācijas standarta (BS) vai Krievijas Federācijas grunts klasifikācijas standarta (GOST) norādījumiem, sekojoši arī atbilstoši sietu atveres lielumi. Datu pielāgošanai saskaņā ar LVS klasifikāciju tika izmantotas grunts paraugu pārbaužu rezultātu kumulatīvās līknes, no kurām tika nolasītas noteiktas grunts frakcijas daļiņu daudzuma vērtības procentos. Ja kumulatīvās līknes nebija jau ietvertas izmantoto datu bāžu informācijas apjomā, tās tika sagatavotas, izmatojot pārbaužu rezultātu skaitliskās vērtības.

3. Apkopoto datu ģeoloģiskais raksturojums

Maģistra darba ietvaros tika apkopoti un analizēti dati no vairākiem ģeotehniskās izpētes projektiem Latvijas teritorijā, tajā skaitā izpētes darbi, kas veikti Rīgā, Ogrē, Aglonas novadā, Ķekavas novadā, Iecavas novadā, Liepājā, Durbes novadā, Ventspilī, Mērsragā (SIA "Enbiko", 2008a-b; SIA "Enbiko", 2009; SIA "Firma L4", 2007a-h; SIA "Firma L4", 2008a-h; SIA "Latgranīts", 2008), kopumā 20 izpētes objekti.

Zemkvartāra iežu virsmas, kvartāra nogulumu uzbūves un šo nogulumu veidotā reljefa raksturs, kā arī pašreizējo ģeoloģisko procesu norises īpatnības ļauj izdalīt ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko apstākļu ziņā samērā viendabīgas teritorijas – glaciomorfoģenētiskos kompleksus. Katrai no šīm teritoriālajām vienībām ir raksturīgs savs reljefa formu kopums un specifiskas ģeoloģiskās uzbūves īpatnības, kas lielā mērā nosaka pārējo dabas apstākļu iezīmes. Glaciomorfoģenētiskie kompleksi gandrīz pilnībā atbilst Latvijas fizioģeogrāfiskajiem rajoniem jeb dabas apvidiem (Brangulis u.c., 2000). Šī darba ietvaros pētītie izpētes objekti ietilpst Rīgavas līdzenumā (Piejūras zemiene), Ropažu līdzenumā (Viduslatvijas zemiene), Engures līdzenumā, Ventavas līdzenumā, Feimaņu paugurainē (Latgales augstiene), Tīreļa līdzenumā (Viduslatvijas zemiene), Vārtājas viļņotajā līdzenumā, Bārtavas līdzenumā.

Pētīto objektu izvietojuma shēma pievienota 1. pielikumā.

Rīgavas līdzenumā atrodas 10 izpētes objekti, kuru dati izmantoti šajā pētījumā.

Rīgavas līdzenums atrodas Piejūras zemienē. Tas piekļaujas Rīgas jūras līča dienvidu krastam un ietver kā bijušo Litorīnas jūras lagūnu ar reliktajiem ezeriem, tā arī Daugavas lejteci un Rīgas un tās tuvākās apkārtnes teritoriju. Litorīnas jūras senais krasts tagad atrodas ap 5 m v.j.l. un ir Daugavas pamatkrasts. Zemes virsma ir līdzena, bieži pārpurvota, ar atsevišķām līdz 10-15 m augstām kāpām un kāpu masīviem. Līdzenuma ziemeļu daļa atrodas plašā zemkvartāra virsmas pazemājumā, kas turpinās Rīgas jūras līča akvatorijā (Brangulis u.c., 2000).

Eolie nogulumi vQ_4

Latvijas eolās smiltis pārsvarā sastāv no kvarca (vairāk nekā 90 %) ar nelielu daudzumu laukšpata un smago minerālu piejaukumu (Indāns, 1979). Teritorijā raksturīga dažādgraudaina, galvenokārt smalkgraudaina smilts ar aleirītu piemaisījumu (Mūrnieks, 1999). Izpētes objektos konstatētas smalkas smiltis bez organisko vielu pazīmēm.

Litorīnas jūras nogulumi mQ_4lt

Tie pārsvarā sastāv no smalkgraudainas vai aleirītiskas smilts (Mūrnieks u.c., 1999; Brangulis u.c., 2000).

Bieži satur ar augu atliekām bagātinātas dūņainas starpkārtiņas. Rīgavas līdzenuma teritorijā šo nogulumu biezums parasti ir ap 5-7 m, lagūnas dziļākajās vietās pie Ādažiem un Spilves pļavās – līdz 15 m (Brangulis u.c., 2000).

Rīgavas līdzenumā Litorīnas jūras nogulumus izpētes objektā galvenokārt veido smalkas vai vidēji rupjas smiltis, dažviet ar organisko vielu ieslēgumiem vai lēcām (SIA „Firma L4", 2007c).

Baltijas ledus ezera nogulumi $lgQ_3ltv(b)$

Teritorijā kopumā izplatīti mālainie un smilšainie nogulumi (Misāns u.c., 2001). Raksturīga dažādgraudaina, pārsvarā smalkgraudaina smilts, vietām ar grants un oļu piemaisījumu (Brangulis u.c., 2000). Baltijas ledus ezera baseins izveidojies leduslaikmeta beigu posmā apmēram pirms 11,8 tūkst. gadiem, saplūstot kopā atsevišķiem pieledāja sprostezeriem. Nelielais Baltijas ledus ezera dziļums tagadējā sauszemē un ūdens līmeņa svārstības baseina regresijas laikā radīja krasas hidrodinamisko un līdz ar to sedimentācijas apstākļu izmaiņas, kas izpaudās akumulācijas un abrāzijas procesu mijā. Iecirkņos, kuros pārsvarā noritēja akumulācija, uzkrājās 5-10 m biezs smalku un ļoti smalku smilšu slānis, krasta veidojumos – granšaina smilts ar grants un oļu starpkārtām. Teritorijās, kurās pārsvarā dominēja abrāzijas procesi, zemes virspusē atsedzas morēna vai devona ieži, kas vietām pārklāti ar plānu granšainu oļu un laukakmeņu segu (Juškevičs u.c., 1998). Izpētes objektos konstatētas putekļainas līdz smalkas smilts nogulumi (SIA "Firma L4", 2008g; SIA "Firma L4", 2008h; SIA "Firma L4", 2007e; SIA "Firma L4", 2007d; SIA "Firma L4", 2008e).

Glaciolimniskie nogulumi lgQ_3ltv

Rīgavas līdzenumā Baltijas ledus ezera nogulumus veido putekļaina smilts bez organisko vielu piejaukuma. Māla daļiņu (<0,005 mm) daudzums 1,9 – 2,5 % no sausas grunts masas (SIA "Firma L4", 2008a).

Ropažu līdzenumā atrodas 1 izpētes objekts, kura dati izmantoti šajā pētījumā.

Ropažu līdzenums atrodas Viduslatvijas zemienē. Ledāja sprostezeru nogulumi veido lēzeni viļņoto līdzenuma virsmu, kas, tāpat kā pirmskvartāra iežu virsma, pazeminās dienvidrietumu virzienā. Vietām virs līdzenuma paceļas atsevišķi zemi morēnas pauguri, vaļņveida osi (Meirons u.c., 2002).

Glaciofluviālie nogulumi fQ_3ltv

Ropažu līdzenumā: augšpleistocēna Latvijas svītas glaciofluviālos nogulumus veido dažādgraudaina smilts ar grants, oļu un vietām laukakmeņu piejaukumu (Meirons u.c., 2002).

Engures līdzenumā atrodas 1 izpētes objekts, kura dati izmantoti šajā pētījumā.

Engures līdzenums aizņem Rīgas jūras līča rietumu piekrasti posmā starp Roju un Klapkalnciemu. No Ziemeļkursas augstienes to norobežo Baltijas ledus ezera BI un BII stadiju krasta veidojumi - abrāzijas kāples, bāri un krasta vaļņi, kas atrodas no 36 m pie Lubes līdz 23 m v.j.l. pie Klapkalnciema. Tas ietver galvenokārt Baltijas ledus ezera akumulācijas vai abrāzijas līdzenumu (Mūrnieks u.c., 1999).

Eolie nogulumi vQ_4 – skat. Rīgavas līdzenums, eolie nogulumi

Litorīnas jūras nogulumi mQ_4lt – skat. Rīgavas līdzenums, Litorīnas jūras nogulumi

Ventavas līdzenumā atrodas 2 izpētes objekti, kuru dati izmantoti šajā pētījumā.

Ventavas līdzenumā zemes virsma ir līdzena ar reljefa paaugstinājumiem kāpu izplatības teritorijas daļās. Tas aizņem bijušo Litorīnas jūras lagūnu Ventas lejtecē. Tā robežu ar Piemares un Rindas līdzenumu veido jūras senkrasts, kas tagad atrodas 10-13 m v.j.l. Zemes virsa ir līdzena ar nelielu kritumu Ventas virzienā. (Juškevičs u.c., 1998).

Litorīnas jūras nogulumi mQ_4lt

Ventavas līdzenumā zemes virspusē atsedzas 1-5 m biezas smalkas vai aleirītiskas smilts slāņi (Juškevičs u.c., 1998). Ventavas līdzenumā izpētes objektā Litorīnas jūras nogulumus veido smalka smilts, vāji līdz labi šķirota ar putekļainas grunts piejaukumu. Grunts slāņu ieguluma dziļums (izpētes objektā) 9-10 m. Nogulumu ģenēze ir neskaidra, iespējams, ka Ventspils līdzenuma gadījumā izpētes objektā konstatēti aQ_4 nogulumi (SIA "Enbiko", 2008b).

Feimaņu paugurainē atrodas 1 izpētes objekts, kura dati izmantoti šajā pētījumā.

Feimaņu pauguraine atrodas Latgales augstienes dienvidu daļā. Pauguraines reljefā izceļas paugurgrēdas, kuru absolūtais augstums sasniedz 180-2000 m vjl. Starp grēdām atrodas vidēji augstu un sīkpauguru morēnas reljefa iecirkņi, dažāda augstuma paugurmasīvi, atsevišķi plakanvirsmas pauguri, vietām arī samērā plaši, nereti pārpurvoti viļņota līdzenuma areāli, ielejveida pazeminājumi, kurus dažviet pavada gari osveida vaļņi. Sakarā ar dažāda lieluma starppauguru ieplaku un ielejveida pazeminājumu plašo sastopamību, pauguraine ir ezeriem bagātākais dabas apvidus Latvijā (Mūrnieks u.c., 2004).

Glaciofluviālie nogulumi fQ_3ltv

Feimaņu paugurainē plašāk izplatītie ledāja kušanas ūdeņu nogulumi ir Lētižas apledojuma laika. Tos veido dažāda raupjuma smilts, vietām ar grants oļu piejaukumu, grants – oļu materiāls, dažviet arī aleirītiska smilts un aleirīti, kuru biezums parasti sasniedz 2-6 m [..] (Mūrnieks u.c., 2004).

Tīreļa līdzenumā atrodas 2 izpētes objekti, kuru dati izmantoti šajā pētījumā.

Tīreļa līdzenums atrodas Viduslatvijas zemienē. Apvidus teritorijas zemes virsma, līdzīgi kā zemkvartāra virsma, pārsvarā ir plakana un tikai vietām viļņota. Tā paceļas 0,1-5 m vjl. Augstāk – līdz 9 m vjl. paceļas augsto purvu kupolu virsotnes, kā arī atsevišķas senās piekrastes kāpu joslas, kur eolo nogulumu biezums, tāpat kā kāpu relatīvais augstums, sasniedz 5-25 m (Misāns u.c., 2001).

Baltijas ledus ezera nogulumi $lgQ_3ltv(b)$ - skat. Rīgavas līdzenums, Baltijas ledus ezera nogulumi. Izpētes objektos konstatētas putekļainas līdz smalkas smilts nogulumi (SIA "Firma L4", 2007b).

Vārtājas viļņotajā līdzenumā atrodas 1 izpētes objekts.

Vārtājas viļņotā līdzenuma Glaciolimniskos nogulumus (lgQ_3ltv) izpētes objektā veido putekļaina smilts ar organisko vielu piejaukumu līdz 0,7 % no sausas grunts masas. Māla daļiņu (<0,005 mm) daudzums - līdz 10,8 % no sausas grunts masas (SIA "Firma L4", 2008f).

Bārtavas līdzenumā atrodas 1 izpētes objekts.

Bārtavas līdzenums, Litorīnas jūras nogulumi mQ_4lt – skat. Rīgavas līdzenums, Litorīnas jūras nogulumi.

Upmales paugurlīdzenumā atrodas 1 izpētes objekts.

Upmales paugurlīdzenumā Glaciolimniskos nogulumus lgQ_3ltv izpētes objektā veido mālsmilts plastiska ar IP vērtībām no 4,9 līdz 6,2 un IL vērtībām no –0,54 līdz 0,45 (SIA "Firma L4", 2007a). Šajā maģistra darba pētījumā šis grunts tips attiecināts uz putekļainu smilti, mālainu grunts tipu.

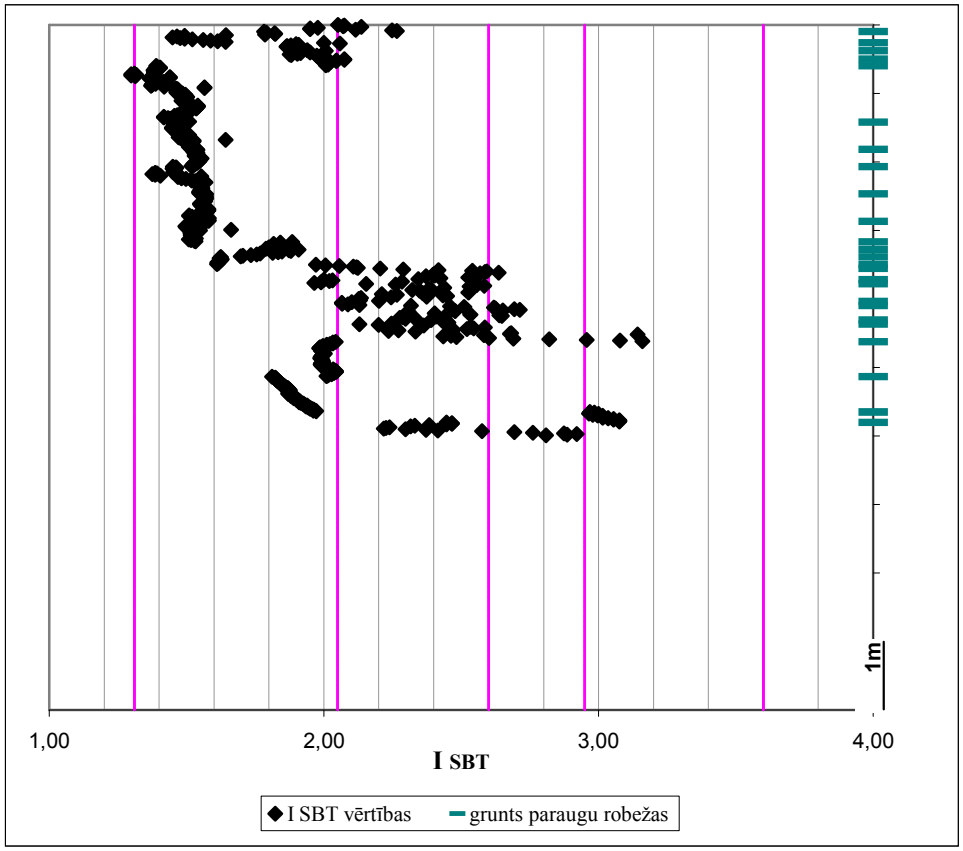
Pētīto nogulumu grunts paraugu analīzes laboratorijas apstākļos rezultāti parāda to, ka smalkas smilts (saskaņā ar LVS437:2002) grunts materiālā konstatēto smalko (mazākas par 0,1 mm) grunts daļiņu daudzuma vērtības ir: fQ_3ltv – no 1,6 līdz 10,8 %; lgQ_3ltv (b) – no 0,9 līdz 11,5%; mQ_4lt – no 1 līdz 9,3%; vQ_4 – no 2 līdz 23,4%. Šāda granulometriskā sastāva ietekme uz CPT rezultātu vērtībām aprakstīta nākamajās šī darba nodaļās.

4. Pētījumu rezultāti

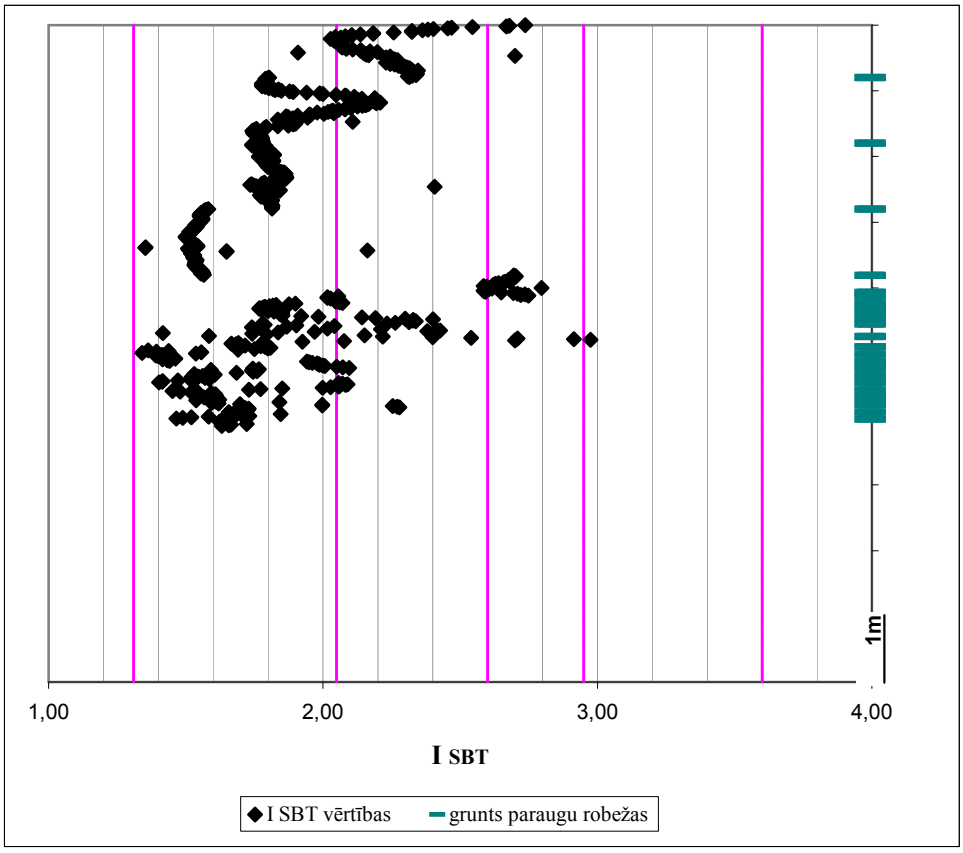
4.1. I_{SBT} vērtības pētītajos datos

Izmantojot iepriekš šajā darbā aprakstīto metodiku grunts īpašību tipa indeksa (I_{SBT}) pēc *Robertson* (2010) vērtību noteikšanai aprēķinu ceļā, tika noteikts I_{SBT} katram mērījuma punktam. Viens mērījuma punkts ir statiskās zondēšanas testa rezultātu vērtības noteiktiem parametriem pie viena dziļuma no zemes virsmas. Mērītie parametri vienā mērījumu punktā: qc, fs u.c., skat. iepriekšējās šī darba nodaļas. Kopumā izmantoti 3171 mērījumu punkti, kuriem noteiktas I_{SBT} vērtības. Izmantojot grunts īpašību tipa indeksa lielumu, veikta grunts īpašību tipa noteikšana saskaņā ar *Robertson* (2010) sniegto grunts īpašības tipu klasifikācijas diagrammu (šajā darbā 1.7. attēls). I_{SBT} vērtību intervāliem ir atbilstošas grunts īpašības tipu zonas. Jāatzīmē, ka *Robertson* (2010) grunts īpašības tipu diagrammā sniegto zonu nosaukumi ir tendēti uz USCS grunšu klasifikāciju, nevis uz LVS437:2002, kā šajā gadījumā izmantoto.

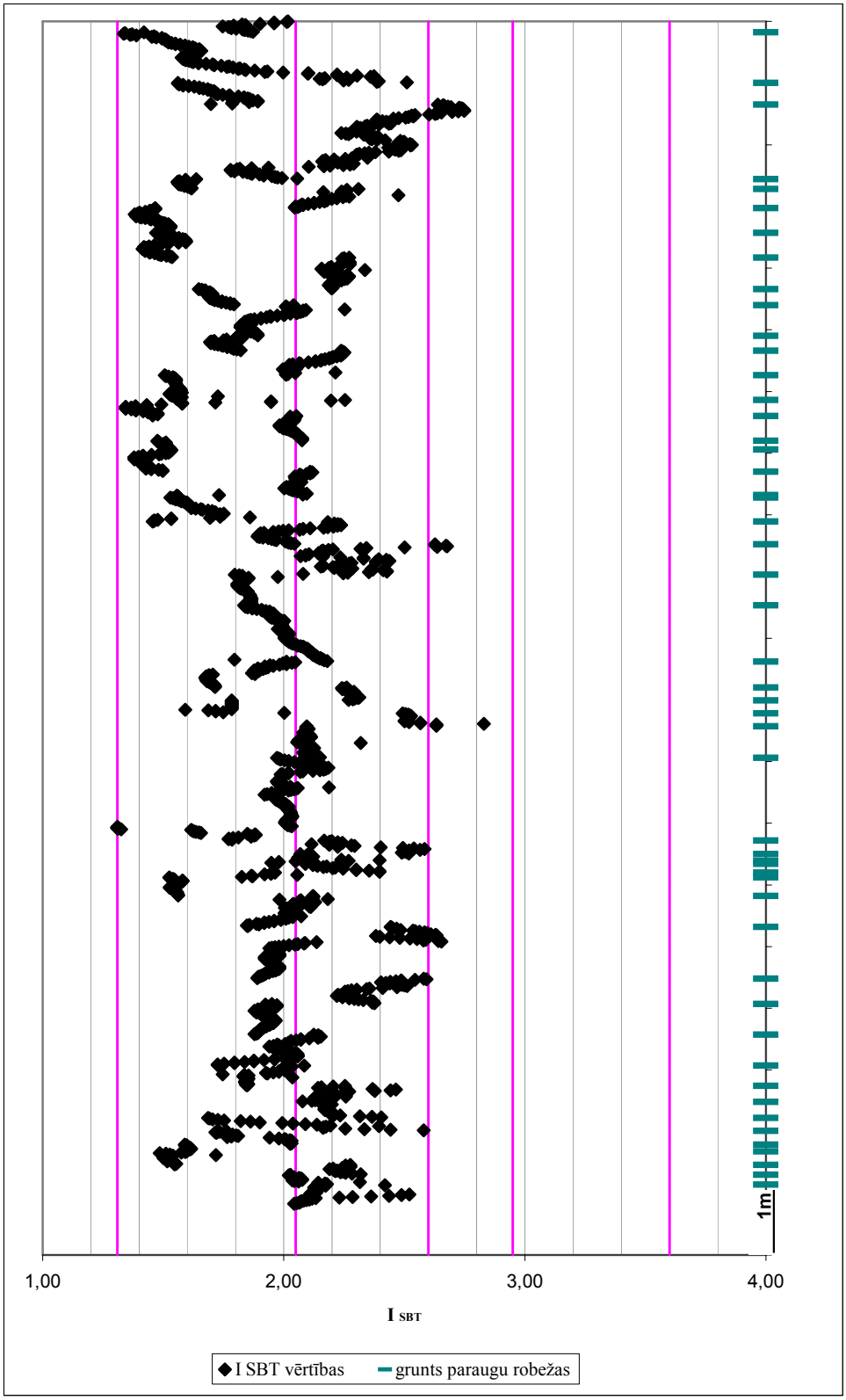
I_{SBT} vērtības un granulometriskais sastāvs. Kopumā 61 % no mērījumiem ietver grunts parauga intervālu, no kura ņemtā grunts parauga pārbaužu rezultāti atbilda smilts smalkas klasifikācijai (saskaņā LVS437:2002), savukārt 20 % - vidēji rupjas smilts, bet 19 % - putekļainas smilts klasifikācijai. Visiem trim grunts granulometriskā sastāva tipiem iezīmējas līdzīgas tendences I_{SBT} vērtību lielumos. 61 – 74 % gadījumos I_{SBT} vērtības atbilda no 1,31 līdz 2,05 robežām, kas savukārt atbilst 6. zonai *Robertson* (2010) diagrammā – Smiltis: tīras smiltis līdz putekļainas. Otra lielākā I_{SBT} robežvērtību grupa ir no 2,05 līdz 2,60 (19 – 37 % no mērījumu skaita), kas savukārt atbilst 5. zonai tajā pašā *Robertson* (2010) grunts īpašību tipu klasifikācijā, turpmāk tekstā „zonas". Šīs zonas nosaukums – smilts maisījums: smilts ar putekļiem līdz putekļi smilšaini. Pārējo vērtību apgabalos ietilpstošais I_{SBT} skaits atbilst 0 - 5%, kas šajā gadījumā nesniedz samērojamu interpretāciju. I_{SBT} vērtības katrai granulometriskā sastāva smiltij un grunts paraugu intervālu salīdzinājums ir skatāms 4.1. attēlā, 4.2. attēlā un 4.3. attēlā, attiecīgi smilts putekļaina, vidēji rupja, smalka.



4.1. attēls. **Grunts īpašību tipa indeksa (ISBT) vērtības putekļainai smiltij**



4.2. attēls. **Grunts īpašību tipa indeksa (ISBT) vērtības vidēji rupjai smiltij**



4.3. attēls. **Grunts īpašību tipa indeksa (I_{SBT}) vērtības smalkai smiltij**

I_{SBT} vērtības un ūdens piesātināta grunts. Kopumā no visiem smalkas smilts mērījumu punktiem 85% gadījos bija ūdens piesātināta grunts, jeb pārbaužu intervāls atradās zem gruntsūdens līmeņa. Putekļainai smiltij - 100% gadījumos, vidēji rupjai smiltij - 46 % gadījumu. Tāpat kā iepriekš aprakstītajā iedalījumā, ņemot par pamatu grunts granulometrisko

sastāvu, tā arī šajā gadījumā ir novērojami divi galvenie I_{SBT} vērtību intervāli. I_{SBT} vērtības no 1,31 līdz 2,05 šiem grunts tipiem ir 65 - 74 % gadījumu, no 2,05 līdz 2,60 tie ir 14 - 34 % gadījumu. Šie intervāli atbilst attiecīgi 5. un 6. zonai *Robertson* (2010) diagrammā. Pārējiem I_{SBT} vērtību intervāliem atbilst nenozīmīgs skaits mērījumu. Šāda veida tendences ir vērojamas arī pārējos 54 % ūdens piesātinātas vidēji rupjas smilts gadījumos.

Secinājumi: I_{SBT} un ūdens piesātināta grunts. Gruntsūdens piesātinātais stāvoklis nerada ievērojamu ietekmi uz I_{SBT} vērtībām. Tomēr jāatzīmē, ka ir salīdzinoši zems kopskaits (15 %) ūdens nepiesātināto grunšu mērījumu izmantošanā, tāpēc nav novērtējamas iespējamās tendences I_{SBT} vērtību iedalījumam.

I_{SBT} vērtības un grunts bez organisko vielu pazīmēm. Šajā pētījumā izmatoti dati, kas raksturo arī grunti ar organisko vielu pazīmēm (pēc LVS437:2002), kuru sastāvā ir līdz 3 % organisko vielu. Lai novērtētu iespējamo organisko vielu ietekmi uz zondēšanas rezultātiem un tātad arī uz I_{SBT} vērtībām, tika atsevišķi analizēti dati no gruntīm, kurām laboratorijas apstākļos netika veiktas organisko vielu daudzuma noteikšanas pārbaudes, pieņemot, ka laboratorijas apstākļos vizuāli novērtētajam grunts paraugam nebija pazīmes, kas liecina par organisko vielu klātbūtni. Salīdzinot putekļainām, smalkām un vidēji rupjām smiltīm, kas uzskatāmas par gruntīm bez organisko vielu piemaisījumiem, I_{SBT} vērtību sadalījumu pa intervāliem, var secināt, ka tas ir salīdzināms ar nolasījumiem no kopējiem smilšu grunšu lielumiem gan ar, gan bez organisko vielu piejaukuma.

Kopējas tendences I_{SBT} vērtību sadalījumam saglabājas. Intervālā no 1,31 līdz 2,05 tās ir 62 %, 49 %, 68 % attiecīgi smalka, putekļaina un vidēji rupja smilts. Intervālā no 2,05 līdz 2,60 tās ir 36 %, 39 %, 25 % attiecīgi smilts smalka, putekļaina, vidēji rupja. Šie intervāli atbilst attiecīgi 5. un 6. zonai *Robertson* (2010) diagrammā. Ir novērojams putekļainas smilts I_{SBT} vērtību skaita samazinājums (no 74 % uz 49 %), kas atbilst intervālam no 1,31 līdz 2,05, un to vērtību skaita palielinājums, kas atbilst no 2,05 līdz 2,60 intervālam (no 19 % uz 39 %). Intervālu skaits, kas izmantots putekļainas smilts bez organisko vielu pazīmēm I_{SBT} vērtību noteikšanai, sastāda 41 % no visa smilts putekļainas vērtību skaita.

I_{SBT} vērtības un grunts vQ4. Eolo grunšu analizējamo datu apjomā ietilpst tikai mērījumi, kas veikti smalkā smiltī, jo mērījumu skaits putekļainā smiltī sastāda 4 % no kopējā šajās gruntīs veikto mērījumu skaita. Vidēji rupjā smiltī no datiem, kas iekļauti šajā pētījumā, šādu mērījumu nav. Smalkā smiltī raksturīgie mērījumu I_{SBT} vērtību intervāli ir no 1,31 līdz 2,05 un no 2,05 līdz 2,60 un sastāda attiecīgi 46 % un 51 %.

I_{SBT} vērtības un grunts mQ4lt. Šādas ģenēzes nogulumos mērījumu skaits visos trīs grunts tipos ir samērāms, kas sastāda 33 %, 46 %, 38 % no kopējā grunts tipa mērījumu skaita, attiecīgi smilts smalka, putekļaina, vidēji rupja. Visos trīs grunts tipos raksturīgās I_{SBT} vērtības ir robežās no 1,31 līdz 2,05, no 69 % līdz 92 % katrā mērījumā no kopējā skaita šīs ģenēzes nogulumos.

I_{SBT} vērtības un grunts lgQ3ltv (b). Baltijas ledus ezera nogulumos mērījumi smalkām smiltīm ietilpst 5. un 6. grunts īpašību tipu zonās pēc *Robertson* (2010), smilts un smilts sajaukumu tipa gruntis. I_{SBT} vērtību raksturīgie intervāli ir no 1,31 līdz 2,05 un no 2,05 līdz 2,60, attiecīgi 53 % un 45 %. Mērījumu skaita trūkums, 9% no kopējā mērījumu skaita putekļainās smiltīs, liedz objektīvi novērtēt putekļainas smilts I_{SBT} vērtību sadalījumu starp intervāliem no 1,31 līdz 2,05 un no 2,95 līdz 3,6, minimāli iekļaujot intervālus starp šiem lielumiem.

I_{SBT} vērtības un grunts lgQ3ltv. Šīs ģenēzes nogulumus pārstāv putekļainas smilts tips. Saglabājas šā grunts tipa I_{SBT} vērtību tendences no 1,31 līdz 2,05, kas ietver 63 % no mērītajiem datiem, no 2,05 līdz 2,60, kas ietver 33 % no mērītajiem datiem.

I_{SBT} vērtības un grunts fQ3ltv. Šīs ģenēzes nogulumus pārstāv vidēji rupjas smilts tips. Saglabājas šā grunts tipa I_{SBT} vērtību tendences no 1,31 līdz 2,05, kas ietver 74 % no mērītajiem datiem, no 2,05 līdz 2,60, kas ietver 25 % no mērītajiem datiem.

VQ4 smilts smalka

Salīdzināšanai izmantoti trīs dažādu objektu dati, kas atbilst vQ4 un smilts smalka kategorijai. Vienu grupu raksturo (SIA "Enbiko", 2008a) putekļu un māla daļiņu (daļiņas, kas ir mazākas par 0,1 mm) daudzums grunts paraugā līdz 4,8% no kopējā grunts parauga masas un organisko vielu daudzums līdz 0,2 % no kopējā grunts parauga masas. Otru grupu (SIA "Firma L4", 2008d) raksturo attiecīgi šie paši lielumi līdz 22,8 % un līdz 1,9 %. Šīm grupām I_{SBT} vērtības pirmajai grupai intervālā no 1,31 līdz 2,05 ir 40 % un intervālā no 2,05 līdz 2,60 ir 60 %; otrai grupai attiecīgi šīs vērtības ir 67 % un 33 %. Saskaņā ar *Robertson* (2010) grunts īpašību tipu diagrammu gruntis ar lielāko putekļu un māla daļiņu daudzumu (līdz 22,8 %) atbilst 6. zonai – smilts: tīras smiltis līdz putekļainas smiltis, un gruntis ar zemāku putekļu un māla daļiņu daudzumu (līdz 4,8 %) atbilst 5. zonai – smilts sajaukumi: putekļainas smiltis līdz smilšaini putekļi.

4.2. Grunts īpašību tipu raksturojošās qc/pa un Rf vērtības pētītajos datos

Tika sagatavota diagramma, kas ietver putekļainas smilts qc/pa un Rf vērtības. Datu izkliede novērojama intervālā no 5,5 līdz 384,1 qc/pa un no 0,35 līdz 6,94 Rf vērtībās, skatīt 5.1. attēlu. Šajā diagrammā iekļauto CPT mērījumu skaits ir 601.

Smalkas smilts qc/pa un Rf vērtību intervālu robežas ir no 10,11 līdz 388,39 qc/pa un no 0,152 līdz 2,85 Rf., skatīt 5.3. attēlu. Izdalīti atsevišķi areāli, kas raksturo smalkas smilts grunts frakciju ar daļiņu izmēru, kas mazāks par 0,1 mm, skatīt 5.4. attēlu, un smalkas smilts grunts frakciju iedalījums pēc ģenēzes, skatīt 5.5. attēlu. Smalkas smilts qc/pa un Rf vērtību diagrammā iekļauto CPT mērījumu skaits ir 1959.

Diagrammā, kas sagatavota, ietverot vidēji rupjas smilts vērtības, datu intervālu robežas ir no 12,1 līdz 363,8 qc/pa un no 0,26 līdz 4,40 Rf vērtībās, skatīt 5.2. attēlu. Šajā diagrammā iekļauto CPT mērījumu skaits ir 611.

5. Rezultātu analīze un interpretācija

5.1. I_{SBT} vērtības

I_{SBT} un granulometriskais sastāvs: visiem trim grunts tipiem iezīmējas divi vienādi galvenie I_{SBT} vērtību apgabali, kas liedz, izmantojot tikai šīs vērtības, noteikt grunts granulometrisko sastāvu (attiecinot uz aprakstītajiem trīs grunts tipiem). Nav izpildījies sagaidāmais rezultāts, ka gruntīm ar lielāku smalko grunts daļiņu daudzumu CPT rezultāti *Robertson* (2010) grunts īpašību tipu diagrammā novietosies zonās, kas vairāk atbilst smilts vai putekļu sajaukumiem. Rezultāti liecina par pretējo. No tā izriet, ka smalko grunts daļiņu daudzums līdz 22,8 % neietekmē grunts interpretāciju saskaņā ar iepriekš minēto grunts tipu īpašību diagrammu. Iespējami arī citi ietekmējošie faktori tieši šajos objektos, kas rada šādu rezultātu.

I_{SBT} un ūdens piesātināta grunts. Gruntsūdens piesātinātais stāvoklis nerada ievērojamu ietekmi uz I_{SBT} vērtībām. Tomēr jāatzīmē, ka ir salīdzinoši zems kopskaits (15%) ūdens nepiesātināto grunšu mērījumu izmantošanā, un tāpēc nav novērtējamas iespējamās tendences I_{SBT} vērtību iedalījumam.

I_{SBT} un grunts bez organisko vielu pazīmēm. Kopumā visām trīs grunts frakcijām novērotais mērījumu skaita kritums par 25 %, kas ietilpst I_{SBT} intervālā no 1,31 līdz 2,05, ir skaidrojams ar nosacīti sajauktāka (smilts - putekļi) materiāla sakritību ar to, kas uzskatāms bez organisko vielu piejaukuma. Iespējamais ietekmējošais faktors ir arī tas, kas kategorijā bez organisko vielu piejaukuma ietilpst tikai 41 % no sākotnējiem smilts putekļaina kategorijā ietilpstošajiem mērījumiem.

I_{SBT} un grunts vQ4. Smalkas smilts sajaukumu tipa īpašības palielinās un attiecīgi samazinās tīras smilts tipa īpašības pēc *Robertson* (2010).

I_{SBT} un grunts mQ4lt. Raksturīgas izteikti tīras smilts līdz putekļainas smilts īpašību zonas raksturojums pēc *Robertson* (2010) visiem trīs grunts tipiem.

I_{SBT} un grunts lgQ3ltv (b). Iespējamas specifiskas īpašības putekļainas smilts I_{SBT} vērtību sadalījumā, iztrūkst mērījumi, kas ietilpst I_{SBT} intervālā no 2,05 līdz 2,95.

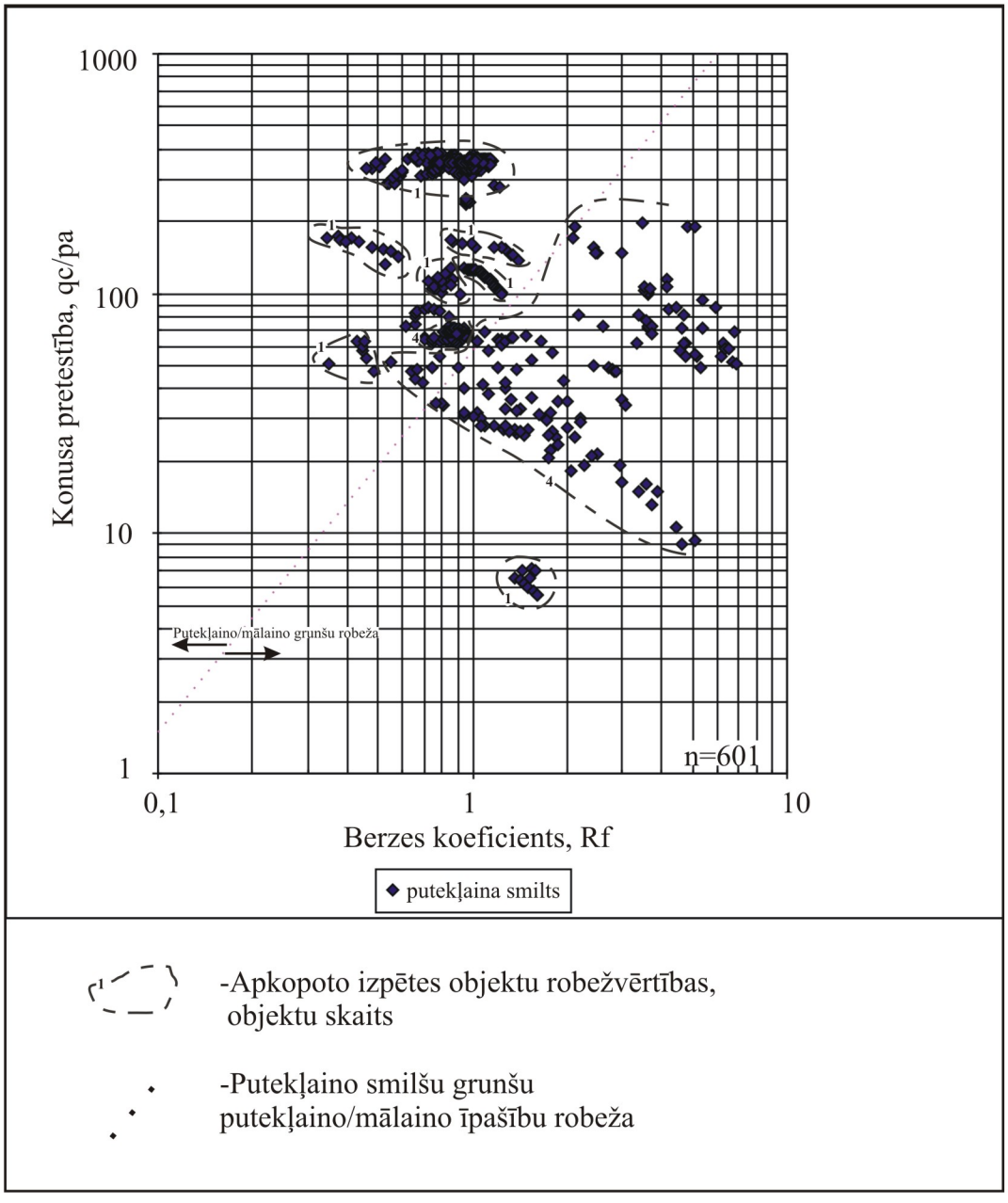
I_{SBT} un grunts lgQ3ltv. Pēc *Robertson* (2010) grunts īpašību tips atbilst smilts un smilts sajaukumu tipa gruntīm.

I_{SBT} un grunts fQ3ltv. Pēc *Robertson* (2010) grunts īpašību tips atbilst smilts un smilts sajaukumu tipa gruntīm.

Bet kopumā faktiskie grunts granulometriskās analīzes dati un iepriekš minētā grunts tipu īpašību diagramma nav pretrunā viens ar otru.

5.2. Grunts īpašību tipu raksturojošās qc/pa un Rf vērtības

-1- Tika analizēta sagatavotā diagramma, kas ietver smilts putekļainas qc/pa un Rf vērtību apkopojumu, 5.1. attēls. Ir novērojami rezultātu sadalījumi pa rezultātu grupu kopām, kas izpaužas diagrammā kā vairāku mērījumu datu iekļaušanās noteiktu robežvērtību ietvaros. Izvērtējot salīdzināmos lielumus, tika konstatēts, ka sadalījuma pamatā ir mērījumu iegūšanas vietas, sekojoši izpētes objekti, kā arī tika novēroti vairāku izpētes objektu datu iekļaušanās kādā noteiktā mērījumu intervālā, kas veidoja vienu datu kopu. Šādas datu kopas ietver viena līdz četru izpētes objektu mērījumu datus. Tika novērotas arī datu izkliedes salīdzinoši lielākā vērtību intervālā.



5.1. attēls. **Smilts putekļainas qc/pa un Rf vērtības**

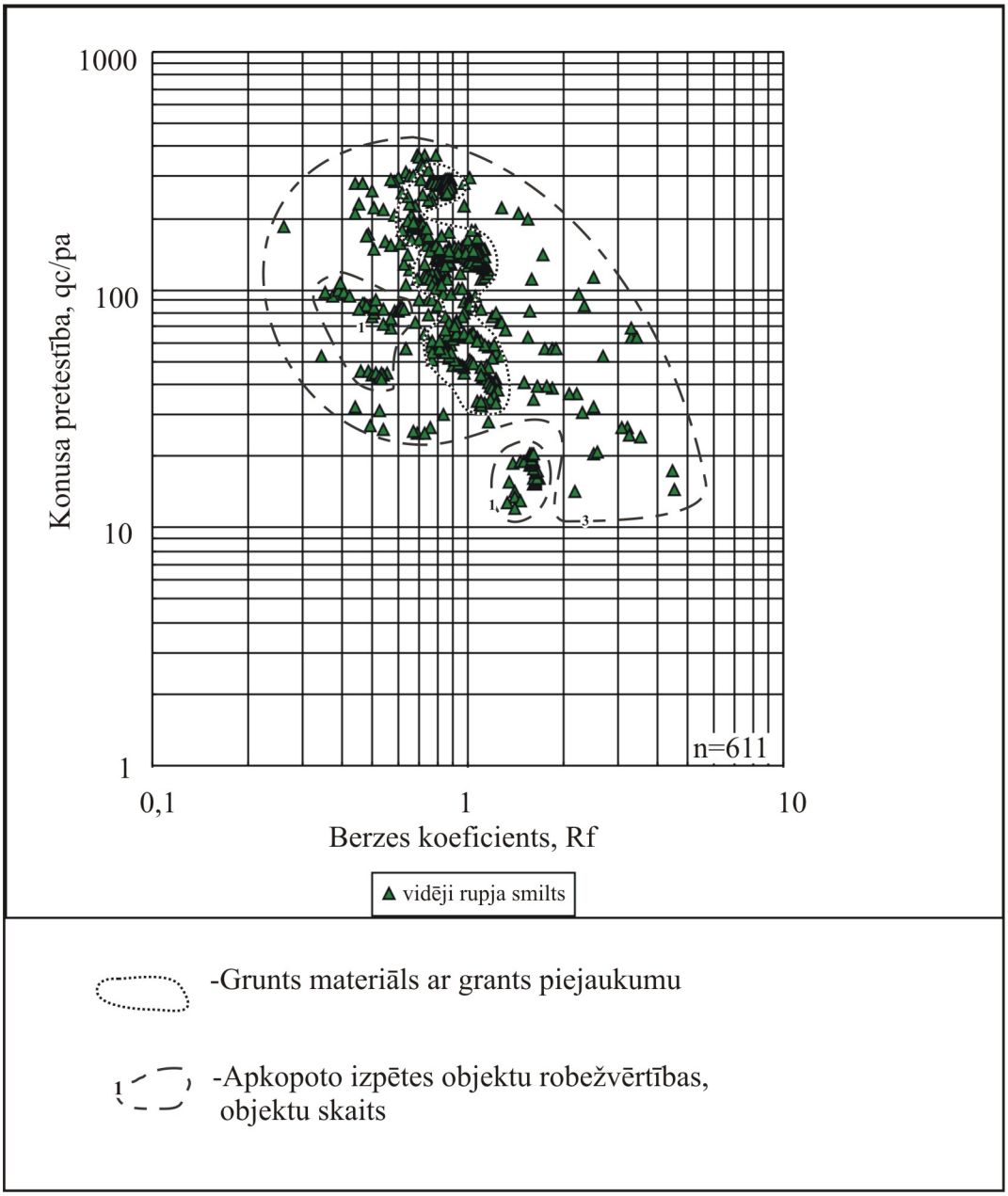
Sakarības starp datu grupu kopām un putekļainas smilts materiāla ģenēzes piederību netika konstatētas.

Izvērtējot grunts materiāla, no kura tika iegūtas atbilstošās CPT vērtības, laboratorisko pārbaužu protokolus, tika secināts, ka daļa grunts paraugu, iespējams, klasificēti kā gruntis ar mālaino grunšu īpašībām. Par to liecina grunts sastāvā konstatētā māla daļiņu klātbūtne, un dažiem paraugiem tika novērotas arī plasticitātes īpašības. Šādām gruntīm raksturīgās Rf vērības pārsniedz 1,0 %, un qc vērības ir robežās no 2 līdz 7 MPa (20 – 70 diagrammā attēlotajās qc/pa vērtības). Ir iespējams novilkt nosacītu robežu apkopoto datu diagrammā, no kuras vērtību sasniegšanas putekļainām gruntīm ir novērotas mālu grunšu īpašības, skatīt 5.1. attēlu.

-2- Attiecīgais datu apkopojums diagrammā vidēji rupjām smiltīm ir skatāms 5.2. attēlā. Izteikti rezultātu sadalījumi pa rezultātu grupu kopām, kā tas tika novērots putekļainām smiltīm, nav novērojami. Vairums datu ietilpst vienā vērtību intervāla areālā, kura ietvaros var izdalīt mazākus areālus, kas ietver viena izpētes objekta datus. Šī paša objekta datu izkliede ir novērojama arī ārpus koncentriskās datu kopas.

Sakarības starp datu grupu kopām vai to daļām un šī materiāla ģenēzes piederību netika konstatētas.

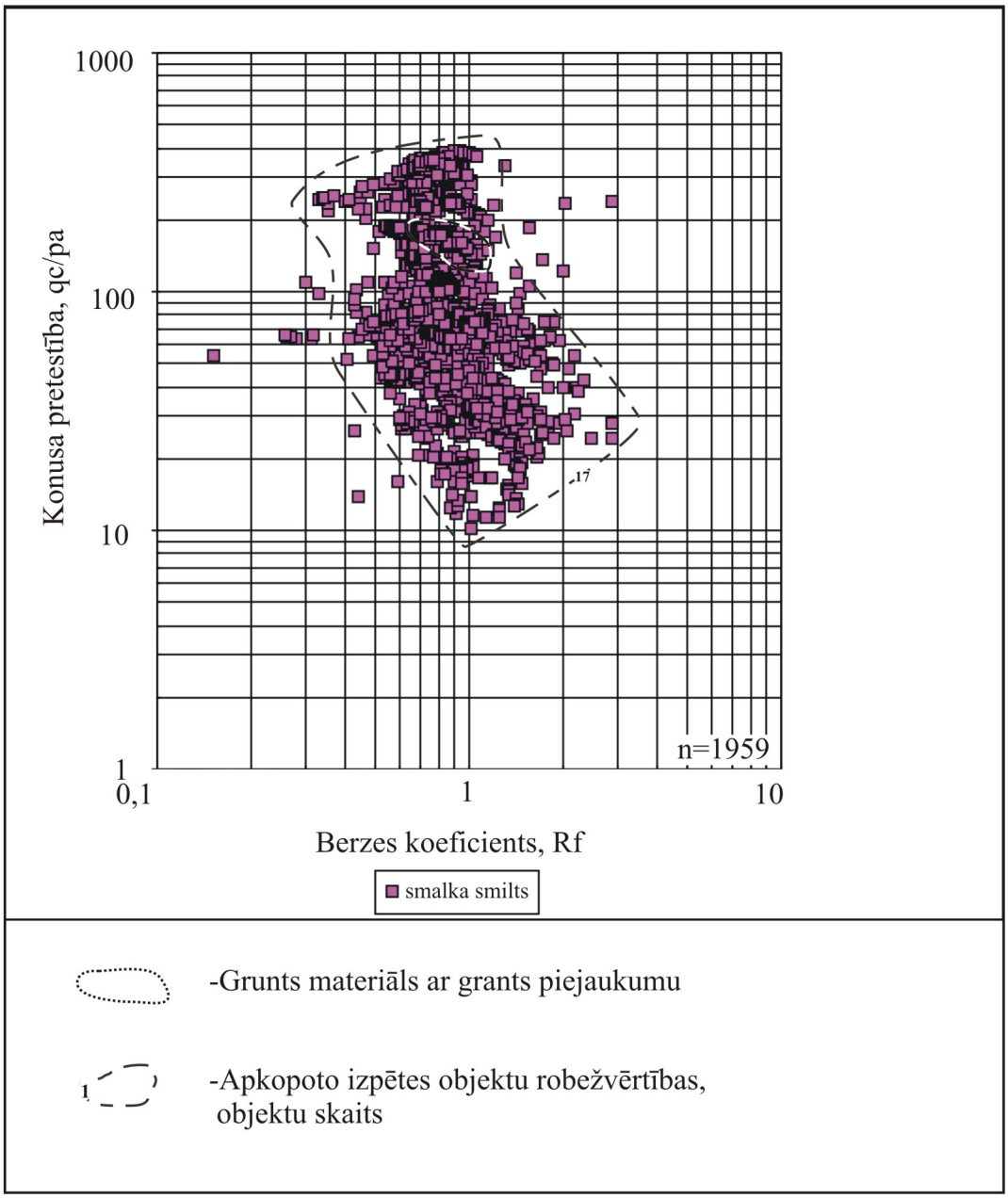
Saskaņā ar laboratorijas protokoliem granulometriskajā sastāvā ir konstatēts grants un oļu piejaukums, un grunts daļiņu daudzuma, kas pārsniedz 2 mm lielumu, masa pārsniedz 25 % no kopējā sausas grunts masas daudzuma. No kopā analizētajiem 611 mērījumiem, šāds granulometriskā sastāva raksturojums ir 346 mērījumiem, kas diagrammas rezultātos novietojas nosacīti koncentriski pētījumu rezultātu centrālajā daļā, skatāms 5.2. attēlā. Mērījumu rezultāti, kas raksturo gruntis ar oļu un grants (grunts materiāls ar daļiņu lielumu virs 2 mm) piejaukumu un gruntis bez tā, diagrammā pārklājas. Līdz ar to klasifikācija, izmantojot tikai CPT mērījumu rezultātus, būtu apšaubāma.



5.2. attēls. **Smilts vidēji rupjas qc/pa un Rf vērtības**

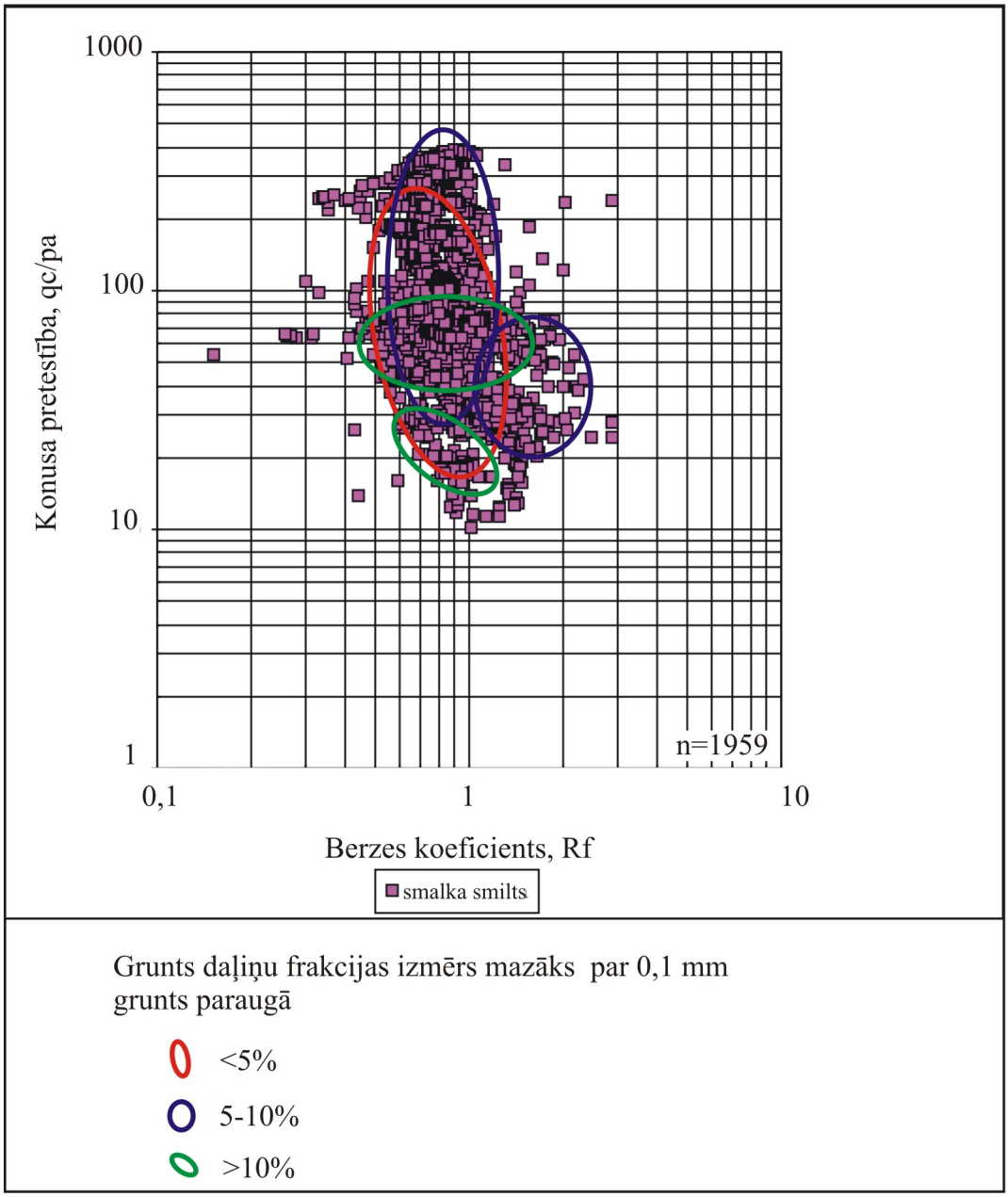
Grunts materiāls ar mālaino grunšu īpašībām vidēji rupjo smilšu datu apkopojumā netika konstatēts, un vidēji rupjo smilšu CPT mērījumu vērtību lielumi pārsniedz putekļaino smilšu datiem novilkto robežu. Secināms, ka šādas robežas izmantošana vidēji rupjo smilšu datu apkopojumā nav pamatota.

-3- Smalkas smilts CPT mērījumu datu apkopojums. Mērījumu rezultātu sadalījums no datu iegūšanas vietu - izpētes objektu - sakarības viedokļa pa rezultātu grupu kopām nav novērojams. Visi mērījumu lielumi koncentriski iekļaujas kopējā datu grupā, kuru raksturo no 0,3 līdz 3,0 Rf vērtību lielumi un no 10 līdz 400 qc/pa vērtību lielumi, skatāms 5.3. attēlā. Šajā pašā attēlā ir atzīmēts areāls, kuram ir raksturīgas smilšu gruntis ar grants piejaukumu, mērījumi.



5.3. attēls. **Smilts smalkas qc/pa un Rf vērtības**

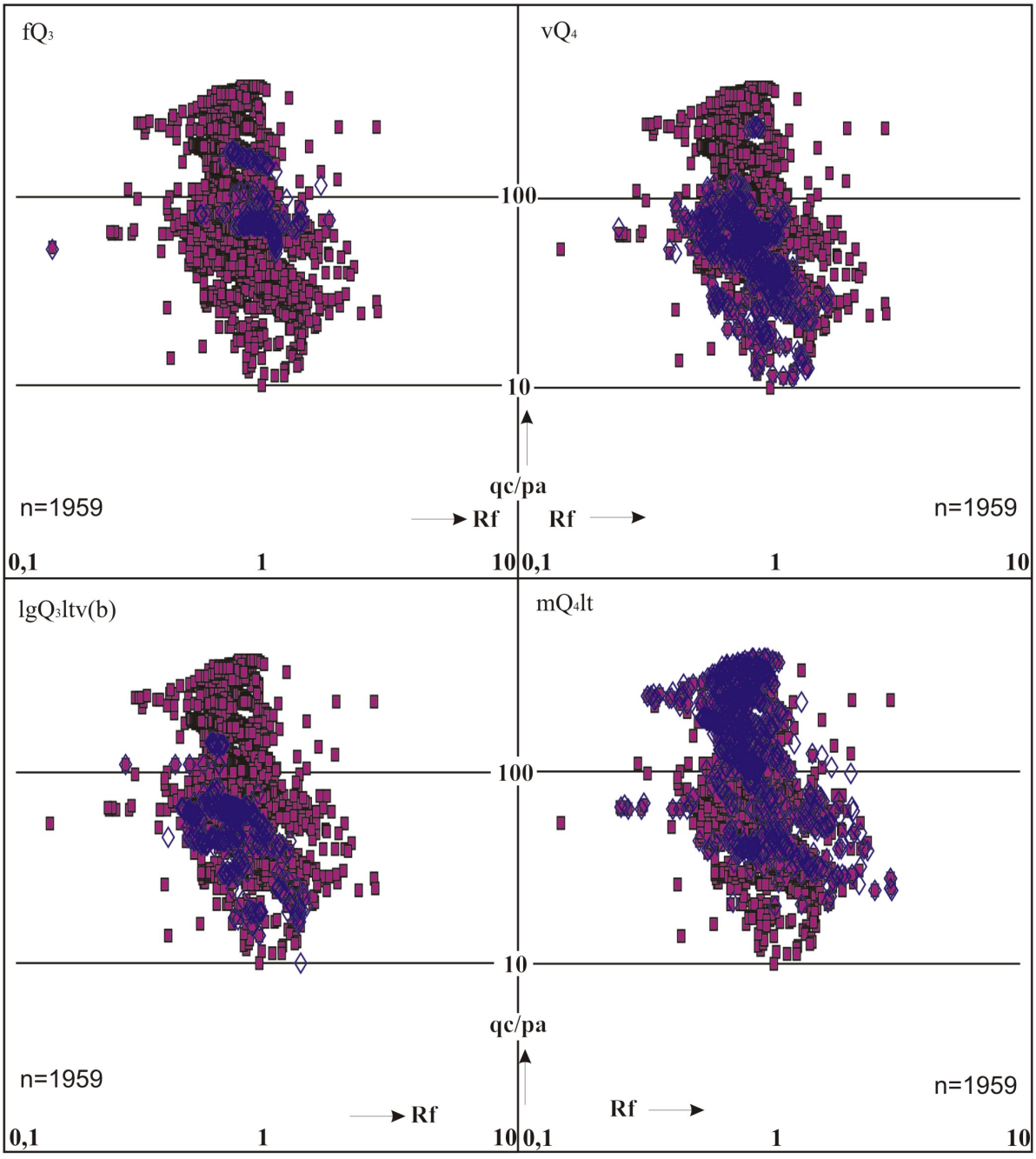
Gruntis ar oļu un grants piejaukumu un gruntis bez tā raksturojošie lielumi diagrammā pārklājas. Šāda klasifikācija, izmantojot tikai CPT mērījumu rezultātus, nav izpildāma. Izvērtējot grunts granulometriskā sastāvā vērtības, grunts daļiņām, kuru lielums ir mazāks par 0,1 mm, kas saskaņā ar LVS437:2002 ir smilšu grunts robežlielums, ir novērojama to vērtību izplatības laukumu gradācija. (5.4. attēls) Mērījumi, kas raksturo gruntis, kuru sastāvā ir grunts daļiņas ar frakcijas izmēru zem 0,1 mm ar daudzumu virs 10 % no kopējās sausas grunts masas, iekļaujas qc mērījumu intervālā līdz 10 MPa.



5.4. attēls. **Smilts smalkas qc/pa un Rf vērtības, grunts daļiņu mazāku par 0,1 mm mērījumu areāli**

Mērījumi, kas raksturo atbilstošas gruntis ar frakcijas izmēru zem 0,1 mm un saturu zem 10 %, sasniedz līdz pat 40 MPa qc vērtības. Rf vērtības grunts materiālam ar tādas pašas frakcijas izmēru daļiņu daudzumu, kuras sastāvā ir virs 5 % šāda materiāla, var pārsniegt maksimālās konstatētās zem 5 % robežvērtības. Rf vērtības līdz 5 % smalkāko daļiņu satura ir robežās līdz 1,5. Materiālam, kura sastāvā ir 5 – 10 % smalkās frakcijas, tās ir pat 2,5, kā arī ir novērojama visu trīs, zem 5 %, no 5 līdz 10 %, virs 10 % mērījumu vērtību areālu pārklāšanās, padarot šādas detalitātes pakāpes granulometriskā sastāva interpretāciju par neizpildāmu pie šiem nosacījumiem.

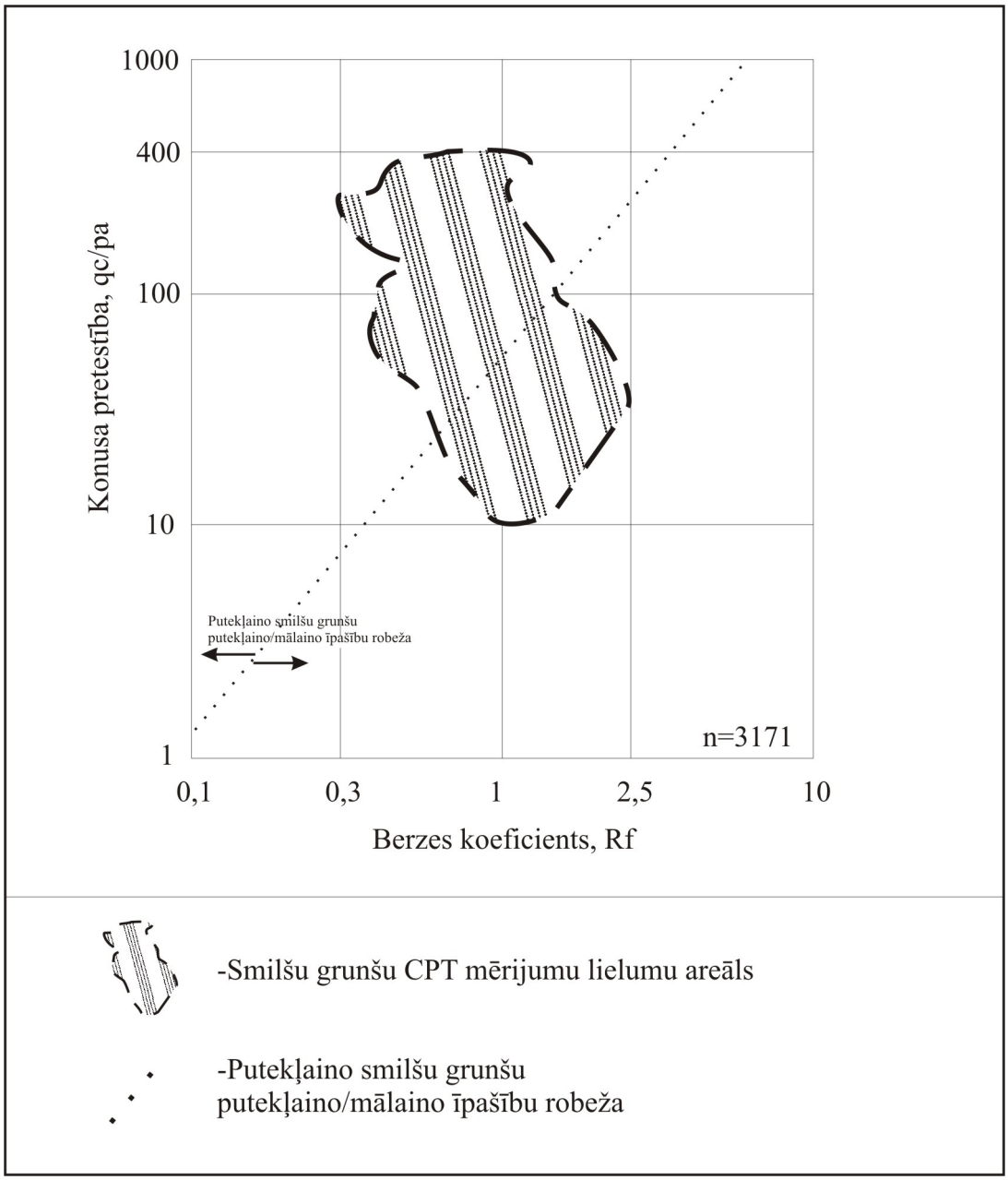
Tika konstatētas nosacītas sakarības starp datu grupu kopām vai to daļām un šī materiāla ģenēzes piederību, skatīt 5.5. attēlu. Grunts ģenēzes piederības robežas vienai vai otrai grupai nav strikti noteiktas, bet ir izdalāmi orientējoši laukumi. fQ3 nogulumus raksturo Rf vērtības 1 % laukumā, qc vērtības 10 MPa areālā, savukārt vQ4 un lgQ3ltv (b) nogulumus raksturo Rf vērtības zem 1 % un qc vērtības robežās no 1 līdz 10 MPa. mQ4lt nogulumus raksturo salīdzinoši lielākas qc vērības, virs 10 MPa un Rf vērtības 1 % areālā.



5.5. attēls. **Smilts smalkas qc/pa un Rf vērtības, salīdzinājumā ar grunts ģenēzes tipu**

Analizējot autora pētītos datus, mQ4lt nogulumiem raksturīgas augstākas qc/pa (sekojoši arī qc) vērtības un augstākas Rf vērtības salīdzinājumā ar lgQ3ltv(b) nogulumiem.

-4- Izvērtējot kopējās smilšu grunšu, tajā skaitā putekļainu, smalku, vidēji rupju, grunšu raksturlielumus, ir noteikti to CPT mērījumu vērtību robežlielumi. Konusa pretestības vērtības, izteiktas qc/pa lielumos, iekļauj intervālu starp 10 un 400 vērtību lielumiem, berzes koeficients starp 0,3 un 2,5 %, skatīt 5.6. attēlu.



5.6. attēls. **Smilšu grunšu qc/pa un Rf vērtības pētītajos datos**

6. Diskusija

Izvērtējot I_{SBT} vērtības CPT mērījumiem un saskaņā ar *Robertson* (2010) grunts īpašību tipu klasifikāciju, visiem trīs grunts granulometriskā sastāva tipiem raksturīgas 5. un 6. zonas īpašības, ar izteiktu pārsvaru uz 6. zonu. Mērījumu I_{SBT} vērtības ietilpst vidēji 60 - 70 % 6. zonā un 30 - 40 % 5. zonā. Šāda tendence saglabājas putekļainai un vidēji rupjai smiltij, sadalot tās arī pēc ģenēzes, izņemot tos gadījumus, kad noteiktas ģenēzes nogulumos šī frakcija nav pārstāvēta (šī pētījuma datu ietvaros). Smalkai smiltij mērījumu skaits, ko raksturo 5. un 6. zonas pēc *Robertson* (2010) I_{SBT} vērtības ir salīdzināmas vQ4, aQ4, lgQ3ltv(b) nogulumos, kas sastāda vidēji 50 % katrai zonai. Raksturojot grunti pēc *Robertson* (2010), smalkas smilts grunts tipam ir vienlīdz raksturīgas smilts un smilts sajukumu grunts tipu īpašības.

Kopumā no *Robertson* (2010) sniegtajām 9 grunts tipu īpašību zonām, uz pētītajām gruntīm ir attiecināmas 5, savukārt no kurām datu apkopojums izteikti raksturo tikai divas.

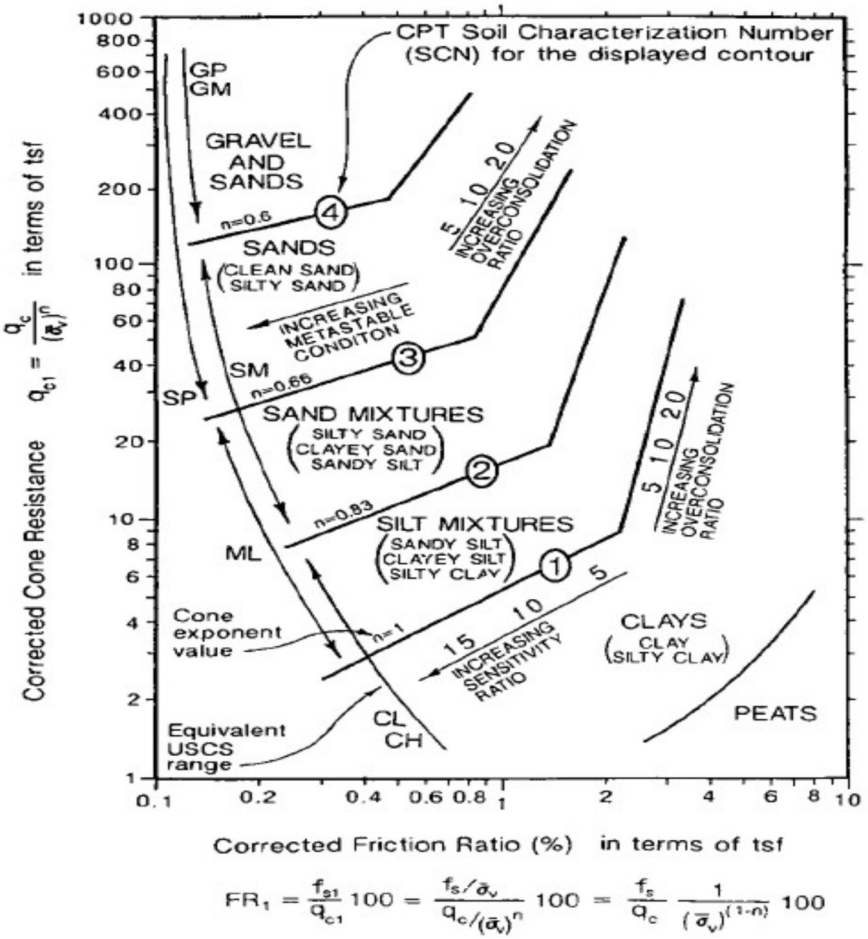
Kopējie smilšu grunšu CPT mērījumi, kas interpretēti pēc qc/pa un Rf lielumiem, saskaņā ar *Robertson* (2010) sniegto grunts īpašību tipu diagrammu, atbilst 4., 5., 6. zonas intervāliem, ar lielāko mērījumu skaitu 5. un 6. zonā. Zonu raksturojums: 6. zona – smiltis: tīras smiltis līdz putekļainas smiltis; 5. zona- smilts sajaukumi: putekļainas smiltis līdz smilšaini putekļi; 4. zona – putekļu sajaukumi: mālaini putekļi līdz putekļaini māli. Jāatzīmē, ka *Robertson* (2010) grunts īpašību tipu nosaukumi ir tendēti uz USCS grunšu klasifikāciju un nav tiešā veidā korelējami ar LVS grunšu klasifikāciju. Smalkas smilts CPT mērījumi, kuru granulometriskā sastāvā konstatēti virs 10 % vai no 5 līdz 10 % smalko grunts daļiņu, iezīmē arī laukumu (bet ne tikai), kas atbilst *Robertson* (2010) diagrammā 5. un 4. zonas pārejai un 4. zonai. Tomēr tikai CPT mērījumu dati nav viennozīmīgi interpretējami, jo līdzīga sastāva grunts materiāls atbilst arī 5. un 6. zonai.

Robežlīnija, kas autora sagatavotajā putekļaino smilšu diagrammā iezīmē robežu starp gruntīm ar putekļaino grunts daļiņu ietverošo sastāvu un mālaino grunts daļiņu ietverošo sastāvu, daļēji sakrīt ar *Robertson* (2010) diagrammā iezīmēto attiecīgi 6. un 5. zonas robežu, t.i., smiltis: tīras smiltis līdz putekļainas smiltis un smilts sajaukumi: putekļainas smiltis līdz smilšaini putekļi.

Kopējā qc/pa un Rf diagrammā apkopotie dati salīdzinājumā ar *Olsen* (1988) grunts īpašību tipu diagrammu, skatīt 6.1. attēlu, iekļaujas sekojošas *Olsen* (1988) grunts īpašību tipu zonās: rupjdrupu materiāls un smilts; smilts (tīras smiltis un putekļainas smiltis); smilts

sajaukumi (putekļainas smilts, mālainas smiltis, smilšaini putekļi); putekļu sajaukumi (smilšaini putekļi, mālaini putekļi, putekļains māls).

Visi trīs putekļainas, vidēji rupjas, smalkas smilts izdalītajās atsevišķi qc/pa un Rf diagrammās apkopotie dati ietilpst visās iepriekš tekstā minētajās *Olsen* (1988) grunts īpašību tipu zonās. Līdz ar to putekļainas, vidēji rupjas, smalkas smilts gradācija pa *Olsen* (1988) grunts īpašību tipu zonām neveidojas.



6.1. attēls. **Grunts īpašību tipu diagramma izmantojot CPT datus** (Olsen, 1988)
Corrected Cone Resistance – koriģēta zondes konusa pretestība; *Corrected Friction Ratio* – koriģēts berzes koeficents; *CPT Soil Characterization Number for the displayed contour* – statiskās zondēšanas robežas numurs, grunts raksturošanai; *gravel and sands* – grants un smilts; *sands (clean sand, silty sand)* – smilts (tīra smilts, putekļaina smilts); *sand mixtures (silty sand, clayey sand, sandy silt)* – smilts maisījumi (putekļaina smilts, mālaina smilts, smilšaini putekļi); *silt mixtures (sandy silt, clayey silt, silty clay)* – putekļu maisijumi (smilšaini putekļi, mālaini putekļi, māli putekļaini); *clays (clay, silty clay)* – māli (māls, putekļains māls); *peats* – kūdra; *Equivalent USCS range* – atbilstošais USCS diapazons; *Cone exponent value* –zondes jutīguma lielums

Putekļaino smilšu diagrammā novilktā robeža starp putekļainām smiltīm ar māla daļiņu piejaukumu daļēji sakrīt ar *Olsen* (1988) grunts īpašību tipu zonu smilts – smilts sajaukumi robežu. Pie lielāka datu apjoma robeža starp putekļainajām smiltīm ar māla daļiņu klātbūtni un bez tās būtu novelkama precīzāk un, iespējams, sakritība būtu lielāka.

SECINĀJUMI

Ir ierobežots pieejamais informācijas apjoms par nepieciešamajiem datiem šim pētījumam. Atbilstošā tehniskā kvalitātē veikti CPT testi, rezultātu pieejamība nepieciešamajā skaitļu veidā, atbilstoša grunts paraugošana, atbilstošā kvalitātē veikti laboratorijas testi, to rezultātu pieejamība un citu šim pētījumam svarīgu nosacījumu neizpilde lielā mērā ir sašaurinājusi šim pētījumam izmantojamo datu apjomu. Pie lielāka apkopoto datu kopuma un to analīzes, iespējams, var atšķirties arī rezultātu interpretācija.

- *Grunts īpašību tipu raksturojošās qc/pa un Rf vērtības pētītajos datos.*

  Mērījumu rezultātos ir novērojama gradācija pa datu kopām, kas raksturo vienu izpētes objektu. Tas nozīmē, ka ir vairāki lokālie, specifiskie ģeoloģiskie apstākļi, kas ietekmē statiskās zondēšanas rezultātus.

  Nav iespējama smilšu grunšu sastāvā esošo vai neesošo smalkāko daļiņu (lielums zem 0,1 mm) klātbūtnes noteikšana, izmantojot CPT datus.

  Ir iespējams iedalīt putekļainās smilšu gruntis divās grupās: ar mālaino grunšu īpašībām un bez tām. Šī robeža ir attiecināma tikai uz pētījuma datiem. Tas apstiprina faktu, ka šāds grunšu iedalījums, izmantojot CPT datus, ir iespējams.

  Gruntīm ar oļu un grants piejaukumu un gruntīm bez tā raksturojošo mērījumu lielumu izvietojums diagrammā pārklājas. Līdz ar to šāda klasifikācija, izmantojot tikai CPT mērījumu rezultātus, būtu apšaubāma

  Analizētajām smilšu gruntīm ir raksturīgas šādas robežvērtības: zondes konusa pretestība qc no 0,1 līdz 40 MPa un berzes koeficients Rf no 0,3 līdz 2,5 MPa.

- *I_{SBT} vērtības pētītajos datos.*

  Izvērtējot I_{SBT} vērtības pētītajos datos, var secināt, ka visiem trim smilšu grunts tipiem raksturīgi divi vienādi galvenie I_{SBT} vērtību apgabali, kas neļauj precīzi, izmantojot tikai šīs vērtības, noteikt grunts granulometrisko sastāvu (attiecinot uz aprakstītajiem trīs grunts tipiem).

  Grunts ūdens piesātinātais stāvoklis nerada ievērojamu ietekmi uz I_{SBT} vērtībām. Novērotais mērījumu skaita kritums par 25 %, kas ietilpst I_{SBT} intervālā no 1,31 līdz 2,05, ir skaidrojams ar nosacīti sajauktāka (smilts-putekļi) materiāla sakritību ar to, kas uzskatāms bez organisko vielu piejaukuma. Sekojoši nav apstiprinājuma par to, ka organisko vielu daudzums līdz 3 % no sausas grunts masas ietekmē CPT mērījumu rezultātus.

- *Kopējie secinājumi, ieguvumi*: izmantojot autora sagatavoto kopējo smilšu grunšu qc/pa un Rf lielumu diagrammu – CPT datu interpretēšanas rīku, nav iespējams izdalīt

smilšu gruntis pēc granulometriskā sastāva, tomēr iespējams precīzāk izprast CPT rezultātu interpretēšanā Ziemeļamerikā un Eiropas centrālajā daļā bieži izmantotos *Robertson* (1986) grunts īpašību tipu diagrammā ievietotos CPT datus, kas raksturo Latvijā sastopamo smilšu grunšu īpašības, šajā pētījumā apkopoto datu ietvaros. Grunts klasificēšanas principi pasaulē un Latvijā atšķiras, tādējādi atšķiras arī grunti raksturojošie nosaukumi, kas rada nepieciešamību attīstīt datu savstarpējās salīdzināšanas iespējas. Veicot CPT mērījumu interpretāciju, izmantojot grunts īpašību diagrammas, ir jāņem vērā lokālie ģeoloģiskie apstākļi (Robertson, 2010), ne tikai Latvijas teritorijas mērogā, bet katra izpētes objekta lokālie grunts masīva ģeoloģiskie apstākļi.

PATEICĪBAS

Darba autors izsaka pateicību SIA „Enbiko”, SIA „Firma L4” un SIA „Latgranīts” vadībai par atļauju izmantot arhīva materiālus, kā arī izsaka pateicību darba vadītājam Valdim Segliņam un zinātniskajai konsultantei Sigitai Dišlerei par konsultācijām maģistra darba izstrādes laikā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Publicētā literatūra

Ahmadi, M.M., Byrne, P.M., Campanella, R.G. 2005. Cone Tip Resistance in Sand: Modeling, Verification and Applications. *Canadian Geotechnical Journal.* 42, 977. - 993.

Aysen, A. 2005. *Soilmechanics Basic Concepts and Engineering Applications*. London, A.A. Balkelma Publishers, 32. – 33.

Brangulis, A.J., Juškevičs, V., Kondratjeva, S., Gavena, I., Pomeranceva, R. 2000. *Latvijas ģeoloģiskā karte Mērogs 1:200 000 43. lapa – Rīga. Paskaidrojuma teksts un kartes.* Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 14. - 16.

Brouwer J.J. 2002. [Buklets] *Guide to cone penetration testing on shore and near shore*. England, Lankelma Ltd.

Craig, R.F. 1997. *Soil mechanics*. 6th edition. London, E&FN SPON.

Douglas, B.J., Olsen, R.S. 1981. Soil classification using electric cone penetrometer. *Proceedings of Symposium on Cone Penetration Testing and Experience. Geotechnical EngineeringDivision, ASCE*. St. Louis, Missouri, 209. - 227.

Filipenkovs, V., Tūna, M., Grabis, J. 2006. *Ģeotehnikas pamatkurss. Lekcijas un praktiskās nodarbības*, Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, 34. - 35.

Ghionna, V., and Jamiolkowski, M. 1991. *A critical appraisal of calibration chamber testing of sands. In Proceedings of the 1st International Symposium on Calibration Chamber Testing (ISOCCT-1)*, Potsdam, N.Y., 13. – 39.

Hight, D., Leroueil, S. 2003. Characterization of soils for engineering purposes. *Characterization and engineering properties of natural soils, Vol.1. Proceedings*. Lisse:Swets&Zeitlinger, 255. - 360.

Indāns A., Bambergs K., Zobena A., Āboltiņš O., Eberhards G. 1979. *Ģeoloģija*, Zvaigzne, Rīga, 108. – 109.

Indāns A., Ošiņa J., Zobena A. 1986. *Inženierģeoloģija*, Rīga, Zvaigzne, 29., 40. - 41.

International Reference Test Procedure (IRTP) for Cone Penetration Test (CPT). Pieņemti 1989. Swedish Geotechnical Institute, 10

Jefferies, M.G., Davies, M.P. 1993. Use of CPTU to estimate equivalent SPT N_{60}. *Geotechnical testing Journal, ASTM*. 16, 458. - 468.

Juškevičs, V., Kondratjeva, S., Mūrnieks, A., Mūrniece, S. 1998. *Latvijas ģeoloģiskā karte Mērogs 1:200 000 41. lapa – Ventspils. Paskaidrojuma teksts un kartes.* Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 10., 16. – 17.

LVGD Kvartārģeoloģija. *Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 15.04.2010. Pieejams htpp://kartes.geo.lu.lv

Lunne, T., Robertson., P.K, Powell., J.J.M. 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Blackie Academic & Professional, London.

LVS 437:2002 Būvniecība. Gruntis. Klasifikācija. Pieņemti 01.11.2002. Izstrādāts un apstiprināts Latvijas standartizācijas tehniskajā komitejā STK 30 Būvniecība. Izdevējs VSIA „Latvijas standarts", 11

Mayne, P.W. 2007. In-situ test calibrations for evaluating soil parameters. *Characterisation & Engineering Properties of Natural Soils, Vol. 3*. Overview Paper. London, Taylor & Francis Group: 1602. - 1652.

Meirons, Z., Misāns, J., Mūrnieks, A. 2002. *Latvijas ģeoloģiskā karte Mērogs 1:200 000 33. lapa – Ogre. Paskaidrojuma teksts un kartes.* Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 15. – 16.

Ministru kabineta noteikumi Nr.168 „Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 005-99 "Inženierizpētes noteikumi būvniecībā". Pieņemts 02.05.2000. Ministru kabinets.

Misāns, J., Mūrnieks, A., Strautnieks, I. 2001. *Latvijas ģeoloģiskā karte Mērogs 1:200 000 32. lapa – Jelgava. Paskaidrojuma teksts un kartes.* Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 14. - 15.

Mūrnieks, A., Juškevičs, V. 1999. *Latvijas ģeoloģiskā karte Mērogs 1:200 000 42. lapa – Jūrmala. Paskaidrojuma teksts un kartes.* Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 11. – 12.

Mūrnieks, A., Meirons, Z., Misāns, J. 2004. *Latvijas ģeoloģiskā karte Mērogs 1:200 000 25. lapa – Indra, 35. lapa – Rēzekne. Paskaidrojuma teksts un kartes.* Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 24. – 25.

Olsen, R. S., 1988. Using the CPT for dynamic site response characterization. In: Von Thun, J. L., *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II—Recent Advances in Ground Motion Evaluation*. [S.l.] American Society of Civil Engineers, 374. – 388.

Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal.* 27, 151. - 158.

Robertson, P. K. 2009. Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. *Canadian Geotechnical Journal.* 46, 1337. - 1355.

Robertson, P.K. 2010. Soil Behaviour Type from the CPT: an update. *CPT`10. Proceedings*. CA, USA.

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., Greig, J. 1986. Use of Piezometer Cone data. *In-Situ`86 Use of In-situ testing in Geotechnical Engineering.* GSP 6, ASCE, Reston, VA, Specialty Publication, 1263. - 1280.

Robertson, P.K., Wride, C.E. 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the CPT. *Canadian Geotechnical Journal.* 35, No. 3., 442. – 459.

Scheider, J.A., Mayne, P.W., Rix, G.J. 2001. *Geotechnical site characterization in the greater Memphis area using cone penetration tests.* Engineering geology, 62, 169. - 184.

Tillmann, A., Englert, A., Nyari, Z., Fejes, I., Vanderborght, J., Vereecken, H. 2008. Characterization of subsoil heterogeneity, estimation of grain size distribution and hydraulic

conductivity at the Krauthausen test site using Cone Penetration Test. *Journal of Contaminant Hydrology* 95, 57. – 75.

Van den Berg, P. 1994. *Analysis of soil penetration*. Delft, Delft University Press, 112

Nepublicētā literatūra

Bakker, M. 2007. *Groundwater Resources in Buried Valleys - a Challenge for geosciences*, 123. - 125.

Broere, W., van Tol, A.F. 2001. *Horizontal Cone Penetration Testing in Sand.* Delft University of Technology. Sk. 27.10.2009.
Pieejams http://geo.citg.tudelft.nl/broere/pdf/broere_hcpt_bali2001.pdf

Campanella, R.G., Damikam S., Echezuria, H.J. 1989. *Cone Penetration Test for Site Characterization.* Balkema. Sk. 27.10.2009.
Pieejams http://www.civil.ubc.ca/people/faculty/campanella/publications/064-CPT for Statistical Char-Damika et al-12th ICSMFE-Rio89.pdf

Geotech, *CPT-Log v. 1.42.*, [Bez dat.], CPT interpretācijas programma. Sk. 12.03.2008. Pieejams www.geotech.se.

Geotech, *CPT-pro-* trial, [Bez dat.], CPT interpretācijas programma. Sk. 12.03.2008. Pieejams www.geotech.se.

Geologismiki Geotechnical Software, *CPeT-IT-* trial*,* 2009, CPT interpretācijas programma. Sk. 11.03.2010. Pieejams www.geologismiki.gr.

Howie, J.A., Giacheti, H.L., Daniel, C.R., Campanella, R.G. 1999. *Site Characterisation in Sands - Implications of Soil Variability.* University of British Columbia, Department of Civil Engineering. Sk. 27.10.2009.
Pieejams http://www.civil.ubc.ca/people/faculty/campanella/publications/134-Site Char in Sand-Implic of Soil Vari-Howie et al-PanA99.pdf

Robertson, P. K., Cabal (Robertson), K.L. 2009. *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering.* 3rd Edition. Gregg Drilling & Testing, Inc.

SIA "Enbiko" 2008a. *Ģeotehniskā izpēte Jūrmalā, Bulduru prospektā 52, 54 un Vidus prospektā 51*. Ogre.

SIA "Enbiko" 2008b. *Ģeotehniskās izpētes darbi Ventspilī, Skaidu ielā 9 / Rūpniecības ielā 25, Ventspils Brīvostas kokmateriālu pārkraušanas terminmāls*. Ogre.

SIA "Enbiko" 2009. *Ģeotehniskā izpēte Mērsragā, Rožu ielā*. Ogre.

SIA "Firma L4" 2007a. *Ģeotehniskās izpētes darbi "Rūpnīcā", Iecavas novadā, Bauskas rajonā*. Rīga.

SIA "Firma L4" 2007b. *Ģeotehniskās izpētes darbi Jelgavā, Driksas ielā 2 un 2a, daudzstāvu ēkas būvniecībai*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2007c. *Ģeotehniskās izpētes darbi Latvijas Nacionālās bibliotēkas būvlaukuma teritorijā (promenāde)*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2007d. *Ģeotehniskās izpētes darbi Rīgā, Lubānas ielā 37, dzīvojamās mājas celtniecībai*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2007e. *Ģeotehniskās izpētes darbi Rīgā, O.Vācieša ielā 4*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2007f. *Ģeotehniskās izpētes darbi Rīgā, Pludmales ielā, privātmāju būvniecībai*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2007g. *Ģeotehniskās izpētes darbi Rīgā, Ziemeļu rajonā, Lietus ielā*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2007h. *Ģeotehniskās priekšizpētes darbi Ventspilī, Talsu ielā 69*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008a. *Ģeotehniskās izpētes darbi Ķekavas pag.,“Jaungrantēs”*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008b. *Ģeotehniskās izpētes darbi Liepājā, Laboratorijas ielā 20*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008c. *Ģeotehniskās izpētes darbi Ogrē, Dzilnas ielā*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008d. *Ģeotehniskās izpētes darbi Rīgā, Bukultos, Saulstaru ielā*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008e. *Ģeotehniskās izpētes darbi Rīgā, Dzirciema ielā 119b*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008f. *Ģeotehniskā izpēte Liepājas raj., Durbes pag., Ligutu muiža*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008g. *Ģeotehniskā izpēte Rīgā, Bruņinieku ielā 29/31, perspektīvā apakšstacija “Matīss”*. Rīga.

SIA “Firma L4” 2008h. *Ģeotehniskās priekšizpētes darbi Rīgā, TEC-1 teritorija*. Rīga.

SIA “Latgranīts” 2008. *Ģeotehniskās izpētes darbi Aglonas nov., Kastuļinas pag., Sopuški, zemes īp. "Pakalni", biogāzes kooģenerācijas stacijas izbūves būvlaukums*. Daugavpils.

Šnore, A. [Bez dat.]. *Gruntis – daba, raksturojošās īpašības un klasifikācija*. Grāmatas projekts.

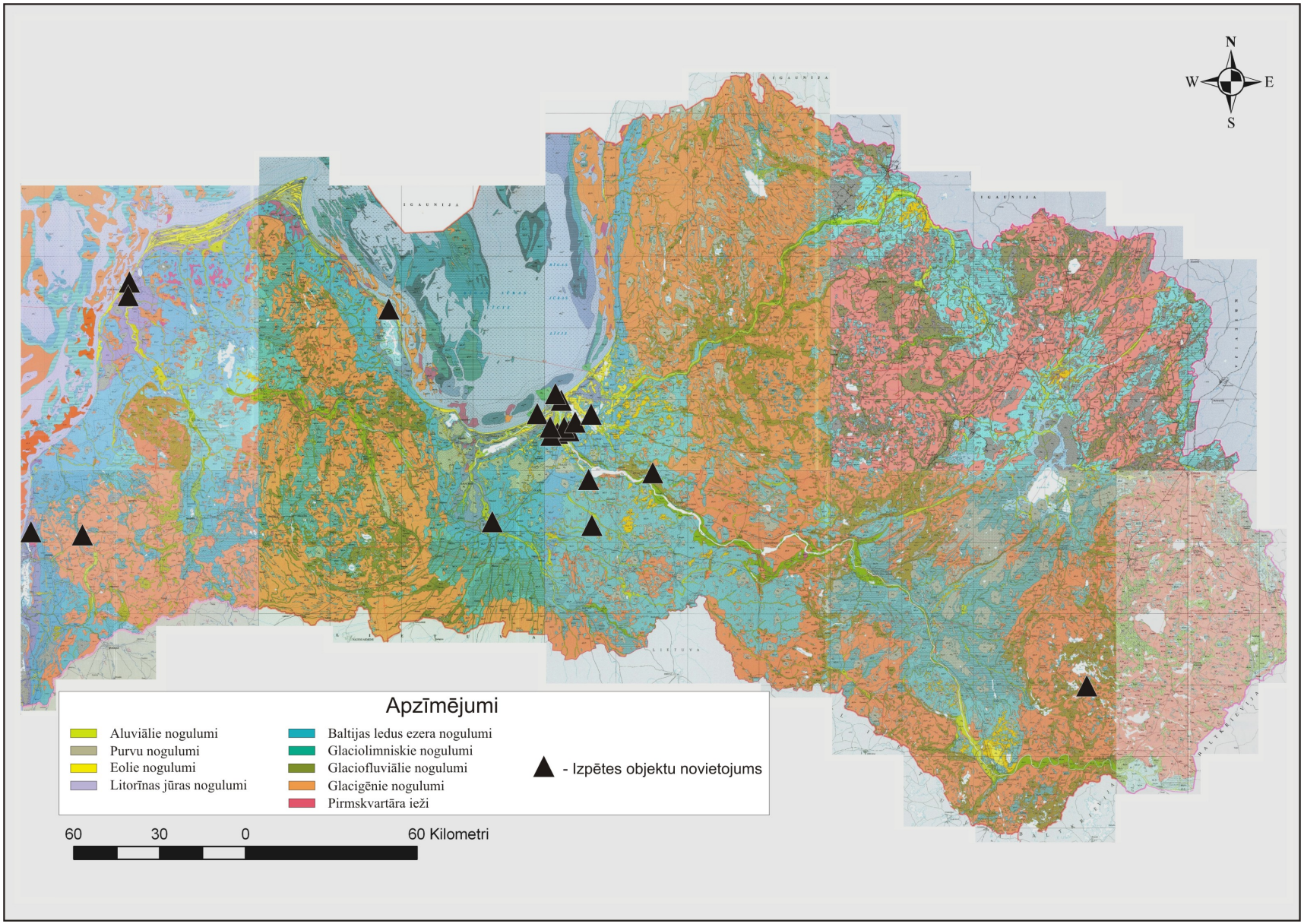
Verruijt, A. 2006. *Soil mechanics*. Delft University of Technology, 13.-18.

The National Pavement Association (NAPA) 2005. *ASTM Terminology*. Sk. 01.04.2010. Pieejams http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/04_design_parameters/astm_terms.htm

PIELIKUMI

1. Pielikums. CPT testu izpildes vietas – Pētīto objektu izvietojuma shēma

(autora datorsalikums, izmantojot LVGD Kvartārģeoloģija)


N
W
E
S
Apzīmējumi
Aluviālie nogulumi
Purvu nogulumi
Eolie nogulumi
Litorīnas jūras nogulumi
Baltijas ledus ezera nogulumi
Glaciolimniskie nogulumi
Glaciofluviālie nogulumi
Glacigēnie nogulumi
Pirmskvartāra ieži
- Izpētes objektu novietojums
60
30
0
60 Kilometri

2. Pielikums. Datu apkopojuma piemērs

	CPT dati								Aprēķinātie lielumi		Apkopotā informācija			Noteiktie lielumi			Laboratorijas pārbaužu rezultāti				
Nr.pk.	Nosaukums	Dziļums [m]	qc	fs	u	Rf	TA	B	qc/pa	ISBT	g.ūd.	p. ņemšanas att. [m]	ģenēze	*Robertson 1986*	USC	LVS 437	org.v. %	urb.-p.	Granulometriskais sastāvs, %		
																			[..]	< 0.002	SUM <0.1
1	lub37_3	2,02	4,093	0,028	0,035	0,67	1,2	22	40,93	2,13	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
2	lub37_3	2,04	4,358	0,031	0,035	0,698	1,2	22	43,58	2,12	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
3	lub37_3	2,06	4,552	0,033	0,035	0,712	1,2	21	45,52	2,11	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
4	lub37_3	2,08	4,746	0,035	0,035	0,725	1,2	21	47,46	2,09	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
5	lub37_3	2,1	5,099	0,04	0,035	0,773	1,2	22	50,99	2,08	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
6	lub37_3	2,12	5,275	0,042	0,035	0,785	1,2	22	52,75	2,07	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
7	lub37_3	2,14	5,416	0,044	0,035	0,801	1,2	21	54,16	2,07	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
8	lub37_3	2,16	5,54	0,046	0,035	0,819	1,2	21	55,4	2,07	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
9	lub37_3	2,18	5,646	0,046	0,035	0,804	1,2	21	56,46	2,05	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
10	lub37_3	2,2	5,804	0,047	0,035	0,799	1,2	23	58,04	2,04	nav	2	lgQ3 ltv (b)	Sand to silty sand (8)	SP	smalka smilts	nav	1-1		0	1
11	witbo8	6	2,799	0,081	0,046	2,854	0,7	19	27,99	2,63	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
12	witbo8	6,01	2,799	0,081	0,046	2,854	0,7	19	27,99	2,63	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
13	witbo8	6,02	2,444	0,071	0,046	2,86	0,6	19	24,44	2,67	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
14	witbo8	6,03	2,424	0,071	0,047	2,882	0,7	20	24,24	2,68	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
15	witbo8	6,04	2,424	0,061	0,047	2,473	0,7	20	24,24	2,64	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
16	witbo8	6,05	2,897	0,055	0,047	1,866	0,7	20	28,97	2,50	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
17	witbo8	6,06	3,764	0,055	0,049	1,437	0,7	20	37,64	2,34	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
18	witbo8	6,07	3,764	0,05	0,048	1,305	0,7	20	37,64	2,32	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
19	witbo8	6,08	4,356	0,045	0,048	1,014	0,7	19	43,56	2,20	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
20	witbo8	6,09	4,494	0,045	0,045	0,985	0,7	19	44,94	2,19	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
21	witbo8	6,1	4,494	0,041	0,037	0,899	0,7	20	44,94	2,16	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
22	witbo8	6,11	4,454	0,039	0,037	0,862	0,7	20	44,54	2,16	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
23	witbo8	6,12	4,336	0,039	0,036	0,886	0,7	20	43,36	2,17	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
24	witbo8	6,13	4,336	0,037	0,037	0,839	0,7	21	43,36	2,16	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
25	witbo8	6,14	4,316	0,034	0,037	0,774	0,7	20	43,16	2,14	ir	8	mQ4 lt	Silty sand to sandy silt (7)	SP	smalka smilts	nav	6-4		0	5
[..]																					
3170																					
3171																					