

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**MĀLAINO GRUNŠU PLASTISKUMA ROBEŽAS NOTEIKŠANA,
IZMANTOJOT KRĪTOŠĀ KONUSA METODI**

BAKALaura DARBS

Autors: Artūrs Baikovs

Stud. apl. ab17140

Darba vadītājs: asoc. prof. Dr.ģeol. Māris Krievāns

RĪGA 2020

SATURS

ANOTĀCIJA	4
ABSTRACT	5
IEVADS	6
1. LITERATŪRAS APSKATS	8
1.1. Mālu raksturojums	8
1.2. Mālu minerālu uzbūve	9
1.3. Mālu minerālu veidošanās	12
1.4. Māli Latvijā	13
2. ATTERBERGA ROBEŽAS	16
2.1. Mālu aktivitāte	19
2.2. Plastiskuma robežas noteikšanas metodes	20
2.2.1. Kasagrandes metode	20
2.2.2. Balansējošais Vasiļjeva konuss	22
2.2.3. Krītošā konusa metode	23
2.3. Plūstamības robežas un plastiskuma robežas sakarības	25
2.4. Plūstamības robežas un plastiskuma skaitļa sakarības	27
3. LAUKA PĒTIJUMI	29
3.1. Pamatiežu māli	29
3.2. Kvartāra māli	33
4. MATERIĀLI UN METODES	35
4.1. Lauka darbi	35
4.2. Laboratorijas pētījumu metodes	38
4.2.1. Ūdens satura noteikšana	38
4.2.2. Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšana	38
4.2.3. Granulometriskā sastāva noteikšana	40
4.2.4. Plastiskuma robežas noteikšana	42
4.2.5. Plūstamības robežas noteikšana	43
5. REZULTĀTI	46
5.1. Grunšu dabiskais mitrums	46
5.2. Grunšu cieto daļiņu blīvums	48
5.3. Grunšu granulometriskais sastāvs	49
5.4. Grunšu plastiskuma un plūstamības robežas	52
5.5. Grunšu plastiskuma skaitļi	54
5.6. Grunšu aktivitāte	57
5.7. Plūstamības robežas un plastiskuma robežas sakarības pārbaude	58
5.8. Plūstamības robežas un plastiskuma skaitļa sakarību pārbaude	61
DISKUSIJA	80

SECINĀJUMI.....	84
PATEICĪBA.....	86
LITERATŪRAS SARAKSTS.....	87
PIELIKUMI.....	91

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā izklāstīts pētījums par mālaino grunšu plastiskuma robežas noteikšanu, izmantojot krītošā konusa metodi. Plastiskuma robežas noteikšana, izmantojot standartizētās metodes, ir subjektīva, un iegūto rezultātu kvalitāte ir tieši atkarīga no laboranta subjektīvās pieredzes. Lai arī šī problēma pastāv kopš testēšanas metožu standartizēšanas, Latvijā līdz šim nav publicēti darbi, kuros būtu izstrādāta sakarība starp mālaino grunšu plūstamības un plastiskuma robežu. Pētījums balstās uz oriģināliem pētījumu materiāliem, kuri iegūti, izmantojot laboratoriskās pētījumu metodes un teorētiskās korelācijas. Pētījumā ievākti dažāda vecuma mālaino grunšu paraugi no trīs dažādām vietām Latvijā un vienas Igaunijā. Grunts paraugiem noteikti galvenie fizikālie parametri un pārbaudītas citu autoru izstrādātās plastiskuma robežas korelācijas. Pētījumā konstatēta sakarība, kurā mālaino grunšu plastiskuma robeža ir tiešā veidā atkarīga no to plastiskuma robežas, grunts ūdens satura paaugstināšanos un konusa ieegrimes palielināšanos. Lietišķā nozīme ir pētījuma gaitā autora izstrādātajai līdz šim npublicētajai sakarībai, kas piemērojama mālainajām gruntīm, kuras veido illīta minerāli.

Atslēgas vārdi: plastiskuma skaitlis, plūstamības robeža, māls, illīts.

ABSTRACT

The bachelor's thesis presents a study about clayey soils plastic limit determination using the falling cone method. Determination of plasticizing using standardized methods are subjective and quality of obtained results directly depends on subjective experience of laboratory technician . Although this problem has existed since the standardization of testing methods, so far in Latvia no researches have been published where relationship between the flowability and plasticity limit of clay soils would be developed. The study is based on original research materials obtained using laboratory research methods and theoretical correlations. During the study samples of clay soils of different ages were collected from three different locations in Latvia and one in Estonia. The main physical parameters were determined for the soil samples and the correlations of the plasticity limit developed by other authors were verified. The study obtained a correlation in which the plasticity limit of clay soils directly depends on their plasticity limit, increase of groundwater content and penetration of cone. Applied significance of this study is author's developed up to now unpublished correlation, which is applicable to clay soils formed by illite minerals

Key words: plasticity index, liquid limit, clay, illite.

IEVADS

Mālainajām gruntīm ir vairākas svarīgas fizikālās īpašības, kuras tiek noteiktas, lai novērtētu grunšu nestspēju un prognozētu to uzvedību būvniecības laikā un arī pēc tās. Būtiskākās no šīm īpašībām ir granulometriskais sastāvs un Atterberga robežas, jeb grunts plastiskuma, plūstamības un sarukšanas robežas (PL, LL un SL), kas tieši ir atkarīgas no ūdens satura un mālu minerālā sastāva.

LL tiek noteikta, izmantojot krītošā konusa (Eiropā un Neatkarīgo Valstu Sadraudzības valstīs) vai Kasagrandes (ASV) iekārtu. Vadoties pēc atbilstošo valstu standartiem (ASTM D 4318 – 17e1, ГОСТ 5180-2015, LVS EN ISO 17892-12: 2018) LL ir relatīvi vienkārši noteikt. Mūsdienās lielākās problēmas sagādā PL noteikšana, ko nosaka māla piciņu ar plaukstu, rullējot pa stikla virsmu, līdz tiek izrullēti pavedieni, līdz 3 mm biežam (LVS EN ISO 17892-12:2018). Procedūra tiek atkārtota līdz pavedieni pārklājas ar sīkām plaisiņām un saplīst 0,5 – 1 cm garos posmos. PL sasniegšanu novērtē laborants, tādējādi tā ir subjektīva, jo atkarīga no cilvēka pieredzes un individuālajām prasmēm (Shaque et al. 2010, Campbell 2006).

PL noteikšana izstrādāta 1911. gadā un uzlabota 1932. gadā, kopš tās uzlabošanas, nav mainījušies metodikas pamatprincipi (Rashid 2005.). Detalizēts metodiskais apraksts ir izstrādāts un publicēts ģeotehniskajos standartos, tomēr, veicot daudzas starplaboratoriju pārbaudes, vienam un tam pašam mālam ir nonākts pie secinājuma, ka PL variē vairāku procentu robežās tai pat laikā LL sakrīt viena procenta ietvaros. Lai izvairītos no subjektivitātes, ir veikti vairāki pētījumi, kuros izmantojot krītošā konusa metodi, ir mēģināts noteikt PL. Gan Rietumeiropā (Wroth et al. 1978, Spangoli et al. 2018) gan Āzijā (Al-Dahlaki et al. 2008, Rashid 2005) ir veikti vairāki eksperimenti kuros izmantoti dažāda smaguma un dažādu leņķu konusi, kā arī variēts ar konusu iegrimis intervāliem. Latvijā nav publicēti eksperimentu dati, kuros PL ir noteikta ar krītošo konusu.

Bakalaura darba mērķis ir izmantojot krītošo konusu, atrast vai izstrādāt piemērotāko sakarību, starp plūstamības un plastiskuma robežām, kuras būtu izmantojamas dažāda veida mālainajām gruntīm. Lai sasniegtu mērķi, tika izvirzīti vairāki uzdevumi:

1. Apzināt un apkopot pieejamo literatūru par pasaulē veiktajiem eksperimentiem un piedāvātajām korelācijām;
2. Ievākt paraugus no dažādām Latvijas māla atradnēm;
3. Veikt laboratorijas darbus un noteikt grunts paraugu fizikālās īpašības;
4. Apstrādāt iegūtos datus un salīdzināt ar publicētajiem datiem.

5. Izdarīt secinājumus un noskaidrot kādām mālainajām gruntīm ir iespējams noteikt plastiskuma robežu, izmantojot krītošo konusu.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Mālu raksturojums

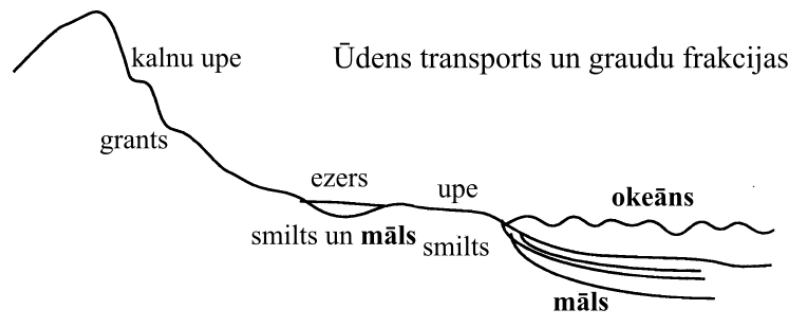
Mālu minerāli ir filosilikāti, ko veido pseidoheksagīnāli izvietoti silīcija un skābekļa tetraedri, kurus savieno oktaedriski slāņi; māla minerāliem raksturīgi ļoti niecīgi daļiņu izmēri un spēja ar ūdeni veidot plastiskus agregātus (Guggenheim 1995).

Māli ir visizplatītākie nogulumieži, kas sastopami gan patstāvīgu sakopojumu veidā, gan kā lielāks vai mazāks piemaisījums visos citos nogulumiežos. Būdami vieni no sanesu plūsmas mobilākajiem komponentiem, māla minerāli tiek izplatīti ļoti plašās sedimentācijas baseinu teritorijās, tāpēc sastopami praktiski jebkuru iežu sastāvā. Mālu izplatību starp nogulumiežiem dažādi autori vērtē no 60 % līdz 83 %. Pazīstamais amerikāņu sedimentologs Frensis Džons Petidžons galveno nogulumiežu relatīvo izplatību raksturo ar attiecību māli : smilšakmeņi : karbonātieži = 81 : 11 : 8 (Stinkule 2014).

Māli ir paši izplatītākie nogulumieži. Arī Latvijas teritorijā gandrīz visu ģeoloģisko periodu nogulumi satur mālainus iežus, sevišķi daudz to ir kembrija apakšējā daļā, devona apakšējā un vidus daļā, triasā, jurā un kvartārā. Augšdevona pati mālainākā ir Lodes un Katlešu svīta (Kuršs et al. 1997).

Māli ir nozīmīgi derīgie izrakteņi, augšņu cilmieži, daudzu grunšu inženierģeoloģisko īpašību noteicēji. Neraugoties uz mālu un māla minerālu plašo izplatību, tie ir vieni no vismazāk izpētītajiem minerāliem, paši jēdzieni māls un māla minerāli tiek izprasti dažādi (Stinkule et al. 2013).

Māli uzkrājas vismierīgākajos vides apstākļos ar minimālu ūdens kustīgumu, tādos kā ledāju kušanas ūdeņu ezeros apledojumu reģionos, izžūstošos baseinos arīda klimata reģionos, upju palienēs un vecupēs, ezeru dziļākajās daļās, jūras piekrastē un šelfā dziļāk par aktīvas viļņošanās zonu, plūdmaiņu zonā mierīgu, ūdens epizodēs, lagūnās, okeānos (1.1. attēls) (Kuršs et al. 1972).



1.1. attēls. Graudu frakcijas uzkrāšanās atkarībā no vides (ar autora papildinājumiem pēc Velde 1995)

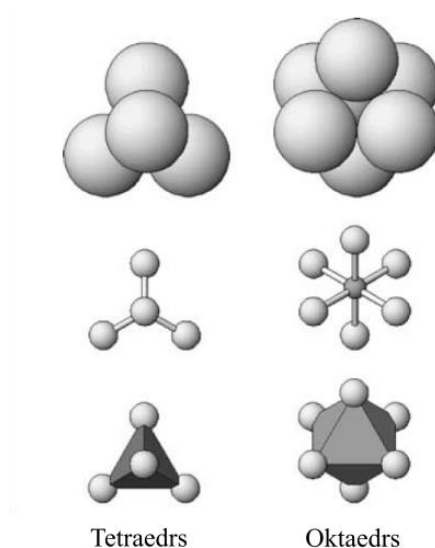
Mālu nogulas klāj lielāko daļu no jūru un okeānu dibena. Seklajās šelfa jūrās, t.sk., arī Baltijas jūrā, dziļākajās daļās izgulsnējas zaļganpelēki māli, kas pacelti dienasgaismā brūnē (oksidējas organiskie un dzelzs savienojumi) un reizēm mēdz izdalīt sērūdeņradi (Ozols 2008).

1.2. Mālu minerālu uzbūve

Māli ir zemjaini ieži, kuru galvenie komponenti ir māla minerāli - ļoti smalki hidratizēti alumonsilikāti, kas piešķir māliem specifiskas īpašības. Līdz mālu frakcijas izmēriem var sasmalcināt jebkuru minerālu, tomēr ne kvarcs, ne laukšpati, ne piroksēni un citi tāpēc nekļūst par māliem, bet tikai par nesaistīgiem pulveriem vai aleirītiem, bez māla minerāliem gandrīz nevienam citam minerālam nepiemīt ne māliem raksturīgās plastiskās īpašības, ne jonu sorbcijas un apmaiņas spējas, mālus ar augstu mālvielas saturu sauc par trekniem, ar zemu mālvielas saturu par liesiem (Kuršs et al. 1972).

Māla daļiņu necīgie izmēri, daudzveidīgie izomorfi aizvietojumi kristāliskajā režģī ar lielu iespaidu uz minerālu struktūru prasa speciālas diagnostikas metodes (rentgenogrāfija, elektronogrāfija, elektronmikroskopija, infrasarkanā spektroskopija termografija u.c.) un kompleksu to lietojumu, jo atsevišķi nevienā no šīm metodēm nav pietiekami universāla (Kuršs et al. 1999).

Mālu uzbūves pamatā ir divu veidu kristālrežģi – $[\text{SiO}_4]$ tetraedri un $[\text{Me}(\text{O},\text{OH})_6]$ oktaedri (ar Me tiek nosacīti apzīmēti Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} un citi joni) (1.2. attēls). Tetraedri sastāv no četriem skābekļa joniem vai hidroksilgrupām, kas atrodas virsotnēs, un silīcija jona tetraedra centrā (Barton et al. 2002).

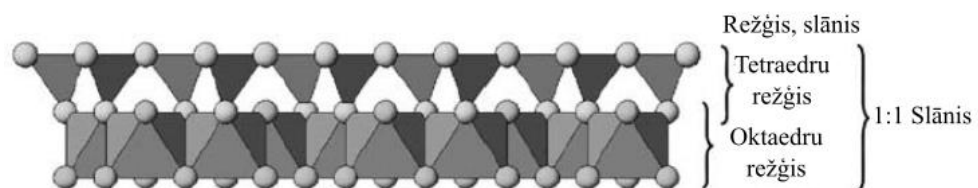


1.2. attēls. Tetraedrs un oktaedrs (ar autora papildinājumiem pēc Schulze 2002)

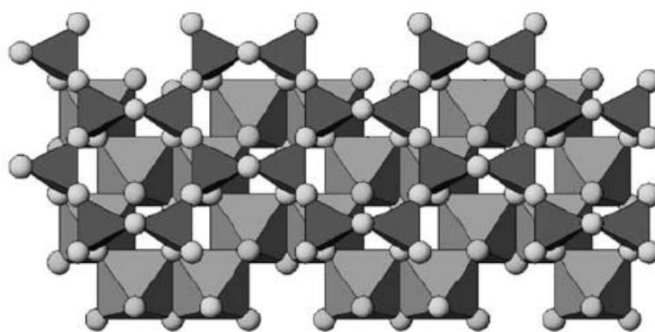
Ar kopīgiem skābekļa joniem tetraedri pēc heksagonāla motīva grupējas tīklos, kuros brīvās tetraedru virsotnes ir vērstas vienā virzienā, bet pamatnes atrodas vienā plaknē. Oktaedru centrā visbiežāk ir alumīnija jons, ko nereti izomorfī aizvieto dzelzs vai magnija joni, līdzīgi tetraedriem māla minerālos oktaedri grupējas tīklos, kurā oktaedrus savā starpā saista divi kopīgi skābekļa joni. Mālu struktūrās tetraedru tīkli ar kopīgiem skābekļa joniem ir sajūgti ar oktaedru tīkliem, kur visi ar tetraedriem nesaistītie skābekļa joni ir pievienojušies pa protonam un struktūrā atrodas kā hidroksiljoni (OH) (Stinkule 2014).

Pazīstami galvenie četri mālu minerālu tipi, kas atšķiras ar tetraedrisko un oktaedrisko tīklu skaitu elementārslānī, oktaedrisko tīklu aizpildījumu ar katjoniem un ķīmiskās saites tipu starp elementārslāņiem (Segliņš et al. 2013).

Kaolinītu, kas ir 1:1 tipa mālu minerāls, veido viens tetraedru un viens oktaedru režģis (1.3. attēls). Režģi ir savienoti ar stipru ūdeņraža saiti oktaedra un tetraedra virsotnēs, kas neļauj citām molekulām iespiesties (1.4. attēls). Minerāla biezums ir 0,72 nm. Hidroksilgrupu ir iespējams aizstāt ar citiem joniem, piemēram Al^{+3} un Si^{+4} . Kaolinītu virsmas laukums ir no 10 līdz 20 m^2/g (Firoozi 2016).

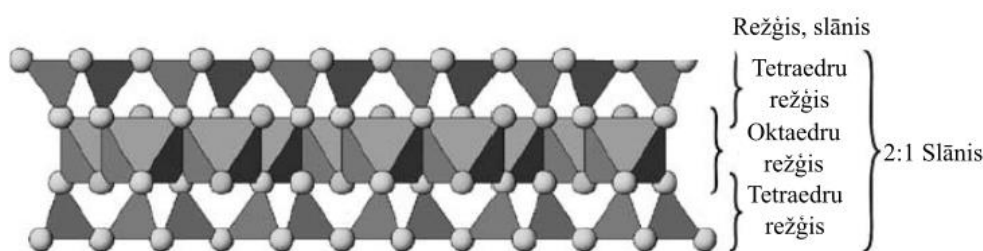


1.3. attēls. 1:1 tipa mālu minerāls (ar autora papildinājumiem pēc Schulze 2002)



1.4. attēls. Kaolinīta uzbūve skatā no augšas (ar autora papildinājumiem pēc Schulze 2002)

2:1 – trīskārtainie mala minerālu struktūru veido divu tetraedru tīkli, starp kuriem novietots oktaedru tīkls (1.5 attēls). Oktaedru un tetraedru tīkliem ir kopīgi skābekļa joni. Izplatītākie šī tipa māli ir illīti, smektitīti un vermikulīti. Trīskārtaino minerālu sastāvs ir mainīgs, ļoti reti minerālus veido tīri silīcija un skābekļa tetraedri un alumīnija, skābekļa un hidroksilgrupu oktaedri. Bieži novērojami izomorfiski aizvietojumi, aizvietojot arī citas vērtības joni, piemēram, trīsvērtīgo alumīniju divvērtīgais magnijs oktaedros, radot negatīvu elementārslāņu lādiņu (Stinkule 2014).



1.5. attēls. 1:2 tipa mālu minerāls (ar autora papildinājumiem pēc Schulze 2002)

Illīta minerālā tetraedru un oktaedru starp režģu telpā atrodas kālija joni, kas līdzsvaro tetraedros radīto pozitīvā lādiņa trūkumu, ko rada, Si^{+4} aizvietošanās ar Fe^{+3} . Šī iemesla dēļ illīti uzbriest nedaudz. Illīta virsmas laukums ir no 65 līdz 100 m^2/g (Firoozi 2016).

Vīzlām līdzīgo illīta minerālu grupai, pēc oktaedrisko aizpildījuma izšķir izteikti dominējošos dioktaedriskos illītus, kuros oktaedru centrā atrodas tikai alumīnija vai trīsvērtīgās dzelzs joni, un daudz retākos trioktaedriskos illītus, kuros alumīnija jonus oktaedru centrā daļēji aizvieto magnija vai divvērtīgās dzelzs joni. Illītu bazālais starpslāņu attālums ir aptuveni 10 Å (Stinkule 2013).

Smektitū jeb montmorilonītu grupas mālu minerāliem starp slāņiem ir vājas ķīmiskās saites, jo oktaedru tīklos ir raksturīga alumīnija jonu aizvietošana ar magnija vai dzelzs joniem.

Smektīta minerālos ir pozitīvo lādiņu deficīts oktaedriskajos tīklos, kuri atrodas tālāk no tetraedru tīkla. Atsevišķās ķīmiskās saites ir vājas, starp tām ir vienkārši iespieties citām molekulām, piemēram ūdens, tādējādi, smektītam ir augstas sorbācijas spējas. To izmērs variē no 0,2 μm līdz 2 μm (Odom 1984).

2:1:1 jauktslāņu māla minerālus veido dažādi 2:1 un :1 1 mālu struktūras, parasti atrodas māla minerālu dēdēšanas sākuma stadijās. Visbiežāk sastopami illīta – smektīta, smektīta – hlorīta elementārslāņi. Tiek izšķirti jauktslāņu minerāli ar regulāru un neregulāru izkārtojumu (Velde et al. 2008).

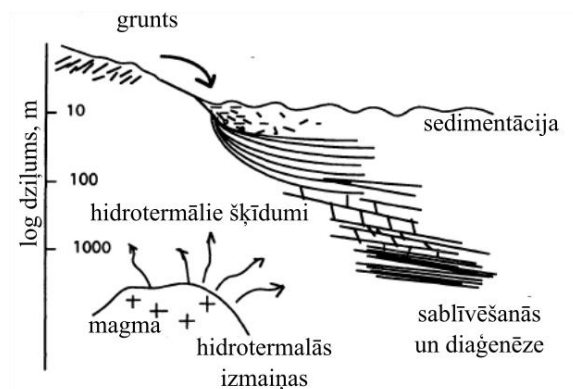
Lentveida struktūras māla minerālu pamatā ir dubultas tetraedru ķēdēs, starp kurām novietojas oktaedru tīkls. Grupas raksturīgi minerāli ir sepiolīts, paligorskīts un allofāns, kas ieņem starpstāvokli starp amorfu un kristālisku vielu, visbiežāk sastopams vulkāniskajos pelnos. Šīs grupas minerāli ir sastopami samērā reti (Kuršs et al. 1972).

1.3. Mālu minerālu veidošanās

Māla minerāli ir poliģenētiski, tomēr lielākā to daļa veidojas galvenokārt kristālisko (magmatisko un metamorfo) iežu dēdēšanas procesā. Viena vai otra minerālu kompleksa rašanos nosaka sairušo iežu raksturs, attiecīgā rajona tektoniskie un klimatiskie apstākļi, kas ietekmē iežu noārdīšanās ātrumu, ūdens cirkulācijas intensitāti, vides temperatūru un raksturu (Kuršs et al. 1972).

Minerālu dēdēšana parasti norisinās stadiāli, pakļaujoties Ostvalda likumam – kādam ķīmiskajam savienojumam pārejot citā, stabilākā forma neveidojas uzreiz, bet pāreja notiek pakāpeniski. Minerālu izmaiņas un sabrukšana sākās ar tām kristāliskā režģa daļām un virzieniem, kas prasa minimālu enerģijas patēriņu (Stinkule 2014).

Mālu minerālu pārkristalizēšanās ātrums galvenokārt ir atkarīgs no temperatūras, jo augstāka temperatūra, jo ātrāk notiek process. Vide, kurā var eksistēt māls ir ierobežota, tikai tuvu Zemes virsai, ja temperatūra pārsniedz 50°C - 80°C, māla minerāli kļūst nestabili, un sāk pārveidoties citos minerālos, piemēram vizlās (1.6. attēls) (Velde 1995).



1.6. attēls. Mālu cikls dabā (ar autora papildinājumiem pēc Velde 1995)

Izplatītāko magmatisko iežu minerālu laukšpatu dēdēšanā starpstadija var būt sericitizācija – vizlas tipa struktūras veidošanās alumīnijam pārejot no tetraedriskās koordinācijas šim elementam piemērotākajā oktaedriskajā koordinācijā. Ja šī pāreja ir pilnīga, tad izveidojas kaolinīts, ja tikai daļēja – illīts, kurā gan tetraedriskajos $[\text{Si}(\text{Al})\text{O}_4]$, gan oktaedriskajos $[\text{Al}(\text{Mg},\text{Fe})\text{O}_6]$ tīklos rodas nekompensēti lādiņi, un šo lādiņu definīciju izlīdzina starpslāņu K^+ un H_3O^+ . Illītā tetraedriskā tīkla nekompensētais lādiņš apmēram divas reizes pārsniedz attiecīgo oktaedriskā tīkla lādiņu (Stinkule et al. 2013).

Bāziskos un ultrabāziskos iežos, kur alumonsilikātu ir mazāk, bet vairāk Fe un Mg silikātu, veidojas smektīta un hlorīta tipa māla minerāli ar zemāku aizvietoējuma pakāpi tetraedriskajos tīklos, bet ar augstāku – oktaedriskajos tīklos ($\text{Al} - \text{Mg} - \text{Fe}^{2+}$), tālāk no elementārslāņa virsmas, tāpēc nekompensētais lādiņš ir vairāk izkliedēts, tam grūti kādā konkrētā vietā piesaistīt katjonus, šeit lādiņus kompensē orientētas ūdens molekulas (Segliņš et al. 2013).

1.4. Māli Latvijā

Māli ir paši izplatītākie nogulumieži, kas veido lielāko daļu Zemes garozas augšējo horizontu. Arī Latvijas teritorija, kurā gandrīz visu periodu nogulumu satur mālainus iežus, sevišķi daudz to ir kembrija apakšējā daļā, devona apakšējā un vidusdaļā, triasā, jurā un kvartārā (Kuršs et al. 1997)

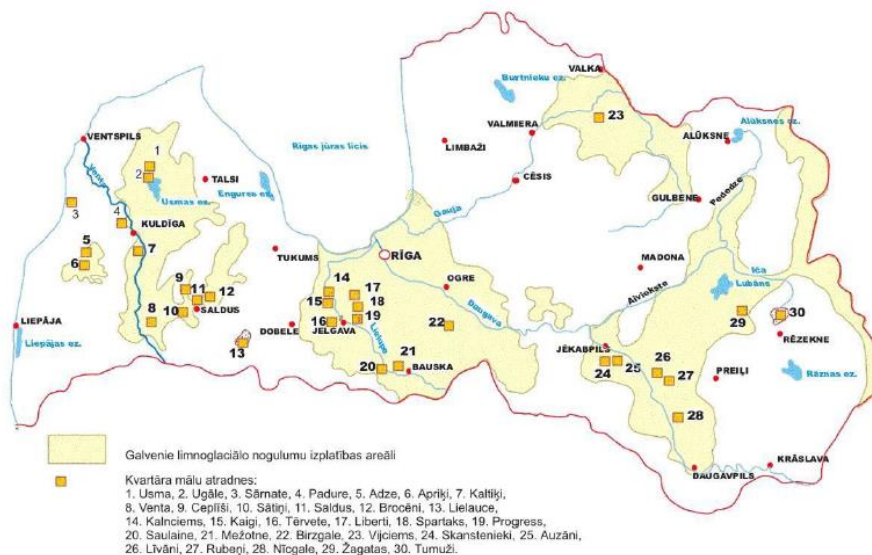
Latvijā mālus plaši izmanto dažāda veida būvkeramikas un cementa ražošanai, nedaudz arī dekoratīvajai, mākslas un sadzīves keramikai. Būvmateriālu ražošanai izmantojamo Latvijas mālu iegulas saistās galvenokārt ar devona un kvartāra sistēmu nogulumiem. Tās veido illīta māli ar nelielu (līdz 20%) kaolinīta un hlorīta (līdz 10%) piemaisījumu. Var tikt izmantoti arī triasa māli, kuriem raksturīgs augsts montmorilonīta saturs (Kuršs et al. 1999).

Mālu ieguves iespējas lielā mērā nosaka pārsedzošo iežu biežums, tādēļ Latvijā praktiskas nozīmes nav kembrija māliem, kuri sastopami tikai ievērojamā dziļumā. Latvijā ieguvei piemērotā dziļumā atrodas ieži, kuru vecums nepārsniedz vidējo devonu. Vidējā devonā pati mālainākā ir Burtnieku, bet augšdevonā Lodes un Katlešu svīta. Samērā daudz mālainu iežu ir arī vairāku citu augšdevona svītu (Salaspils, Amulas, Ketleru) sastāvā, tomēr tajās mālu slāņu biežums nav liels un kaut cik nozīmīgi sakopojumi nav konstatēti. Samērā daudz mālu ir arī mezozoja (triasa un juras) nogulumos, bet īpaši izplatīti ir kvartāra māli (Kuršs et al. 1997).

Devona māli Zemes virspusē tieši zem kvartāra nogulumiem tie ir izplatīti ļoti plaši, redzami arī daudzos atsegumos, galvenokārt Latvijas ziemeļu un ziemeļrietumu daļā Gaujas, Salacas, Vitrupes, Amatas, Abavas, Rojas un citu upju krastos, Rīgas līča austrumu krastā pie Tūjas, Zilo kalnu kraujas Kurzemes ziemeļos. Paši mālu slāņi gana atsegti slikti, jo māliem piemīt tendence veidot lēzenus noslīdeņus, kas samērā ātri apaug ar zāli un kokiem. Svaigu, maz sadēdējušu mālu slāņi ir redzami tikai atsevišķos, intensīvi izskalojamos stāvkrastos (Stinkule et al. 2013).

Devona mālainie ieži veidojās vairāku sedimentācijas posmu beigās, kad, baseiniem padziļinoties, pazeminājās ūdens hidrodinamiskā aktivitāte un devona jūru šelfa zonā no upju sanesām izgulsnējās sīkdispersais materiāls. Vietām, it īpaši Latvijas – Lietuvas sineklīzes centrālajā daļā, tālāk no drupu materiālu sanesu avota, kopā ar māla materiālu izgulsnējās arī dolomītiskas dūņas. Upju deltu zemūdens nogāzēs sedimentācijas laikā vietām izveidojās noslīdeņu depresijas, kurās uzkrājās īpaši smalkgraudains materiāls, ar ļoti augstu – vairāk nekā 60 % - mālainās frakcijas saturu (Stinkule 2014).

Kvartāra nogulumos māli ir viens no izplatītākajiem iežu tipiem (1.7. attēls). Visbiežāk sastopams morēnu māls, ko veido nešķirota māla, aleirīta, smilts, grants un oļu masa, bet tieši rupjgraudaino un akmeņaino ieslēgumu dēļ morēnmāliem rūpnieciskas nozīmes nav. Bezakmens māli ir radušies no tiem pašiem ledāja sanesumiem, no kuriem cēlušies morēnmāli, bet to veidošanā liela loma ir bijusi ledājkušanas ūdeņiem, kuri sekmējuši rupjākā un smalkākā materiāla nodalīšanos. Pēc izcelsmes kvartāra bezakmens mālu iegulas visbiežāk tiek iedalītas divās lielās grupās: ledājkušanas ūdeņu sprostezeru iegulas un senā Baltijas baseina iegulas. (Segliņš 2018).



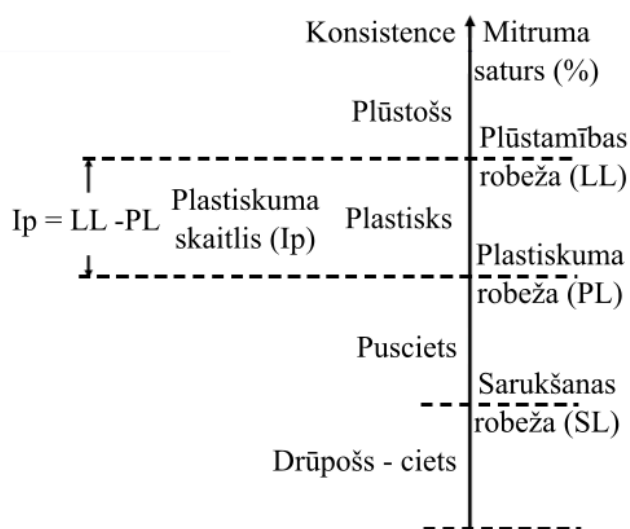
1.7. attēls. Kvartāra mālu izplatība un atradnes (pēc Straumane 1979)

Vislielākie kvartāra mālu krājumi ir zemieņu un līdzenumu rajonos, kur piedēdā baseinos uzkrājušās sanestās smilšainās un mālainās duļķes. Mālu iegulas nereti konstatētas arī augstieņu rajonos, jo virs reljefa pacēlumiem ledājā izveidojās caurkusumi un radās kušanas ūdeņu ezeri ar ledus krastiem. Šādos baseinos nereti uzkrāties ļoti biezs mālu slānis (Kuršs et al. 1972)

Kvartāra māli sastāv galvenokārt no mālainām un putekļainām daļiņām un satur nelielu smilšaino frakciju piemaisījumu. No māla minerāliem dominē illīts (75-80 %), kā pastāvīgs piemaisījums sastopami kolinīts un hlorīts. Ķīmiskajam sastāvam raksturīgs augsts CaO un MaO saturs, kā arī samērā daudz K₂O. Vairumā gadījumu kvartāra māli ir vidēji plastiski, ar salīdzinoši augstu apdedzināšanas temperatūru. Valsts nozīmes statuss ir Apriķu, Brocēnu II, Kaiģu, Nīcgales, Usmas un Ventas atradnēm (Segliņš et al. 2013).

2. ATTERBERGA ROBEŽAS

Mālu mehāniskās īpašības mainās, mainoties ūdens saturam tajā. Māls kļūst mīkstāks, kad tam tiek pievienots ūdens, ar lielu ūdens daudzumu tas kļūst viskozs, un sauc par ļoti mīkstu konsistenci, kad māls ir plūstošā stāvoklī (Chen 1975). Ūdens saturu pakāpeniski samazinot, to žāvējot, māla daļiņas sāk pietuvināties viena pie otras, tādējādi māls iegūstot plastisku stāvokli, un palielinās pretestība deformācijai. Turpinot žāvēšanu māla tilpums turpina sarukt, un tā stingrums pieaug, līdz tas kļūst trausls, ko sauc par puscieto stāvokli. Turpinot žāvēšanu, māla tilpums turpina sarukt līdz tas sasniedz nemainīgu apjomu un tas kļūst ciets (Velde et al. 2008). Pāreja no viena stāvokļa nav pēkšņa, bet gan pakāpeniska. Šīs pārejas ir empīriski definētas, kā plūstamības robeža (LL), plasticitātes robeža (PL) un drupšanas, jeb sarukšanas robeža (SL). Mitruma saturs starp PL un LL tiek izteikts kā plastiskuma skaitlis (I_p). I_p nenorāda uz grunts fizikālo stāvokli, bet raksturo grunts tipu (2.1.attēls) (Rashid 2005).



2.1. attēls. Grunts konsistence atkarībā no mitruma satura (ar autora papildinājumiem pēc Kasagrande 1932)

LL un PL testi, ļauj izmērīt un aprakstīt mālaino grunšu uzvedību noteiktās ūdens piesātinājumu robežās. LL un PL tiek sauktas arī par Atterberga robežām, pēc tam kad zviedru zinātnieks (Alberts Atterbergs) tās pirmo reizi aprakstīja un klasificēja 1911. gadā. Sākotnēji robežas noteica, izmantojot iztvaikošanas trauku. Testi tika uzlaboti inženierijas vajadzībām, ko veica Arturs Kasagrande (Rashid 2005).

Kasagrande aprēķināja, ka LL aptuveni atbilst atbilst ūdens daudzumam, pie kura grunts bīdes izturība ir aptuveni 0.025 kg/cm^2 . Kasagrande metodes apraksts ir plaši aprakstīts ISO 17892-12:2018 un ASTM D 4318 – 17e1 standartos.

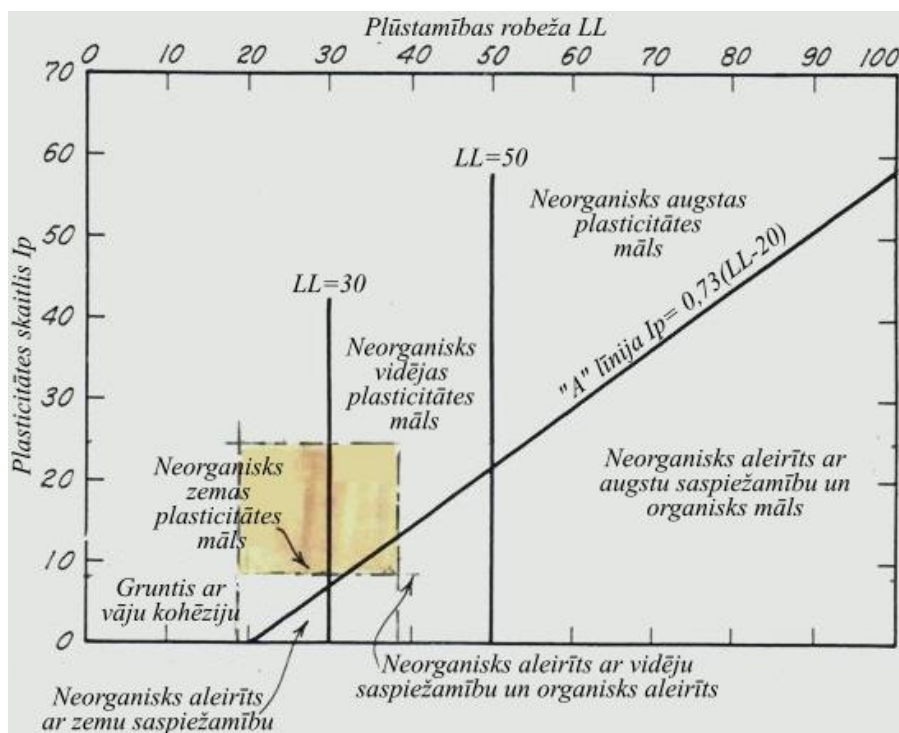
Plastiskuma skaitlis (I_p), ir mitruma intervāls, kurā grunts ir plastiska. Jo plastiskuma intervāls ir lielāks, jo grunts ir plastiskāka. I_p izsaka kā LL un PL starpību. I_p skaitlis katram izdalītajam grunts tipam ir konstants (2.1. tabula), un nenorāda uz grunts fizikālo stāvokli, bet gan raksturo grunts tipu (Velde et al. 2008).

2.1.tabula

Grunts iedalīšana atkarībā no I_p (pēc Burmister 1949)

I_p	Apraksts
0	Nav plastisks
1-5	Nedaudz plastiska
5-10	Zema plastiskuma
10-20	Vidēja plastiskuma
20-40	Augsta plastiskuma
>40	Ļoti augsta plastiskuma

Kasagrande veica vairākus LL testus, izmantojot savu izstrādāto metodi, pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem izveidoja plasticitātes diagrammu. A līnija nodala neorganiskus mālus no neorganiskiem aleirītiem ar dažādu saspiežamību un organisku mālu vai aleirītu (2.2. attēls).

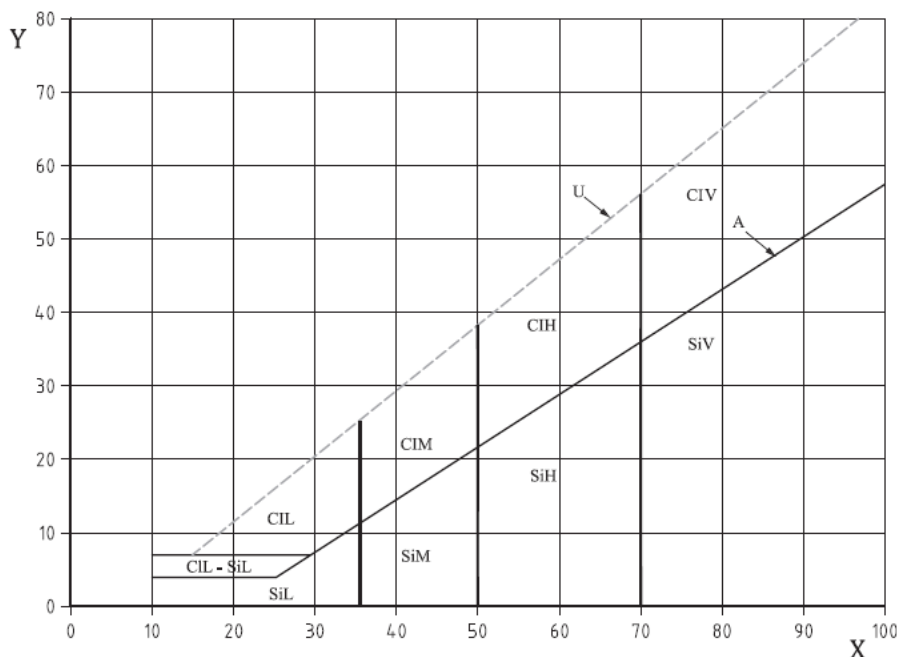


2.2. attēls. Attiecība starp plūstamības robežu un plastiskuma skaitli (ar autora papildinājumiem pēc Casagrande 1932)

Kā par pamatu mūsdienu smalkgraudaino grunšu klasifikācijai ir ņemta Kasagrandes izstrādā diagramma, kura standartu izstrādes gaitā ir pilnveidota. A un U līnijas, tiek aprēķinātas pēc (2.1) un (2.2) formulām, norāda minimālās un maksimālās korelācijas starp LL un I_p , dažādām mālainajām gruntīm. A līnija nodala neorganiskos mālus no neorganiskajiem aleirītiem. U līnija ir aptuvenā augšējā robeža sakarībai starp plastiskuma skaitli un plūstamības robežu, pašlaik zināmajām neorganiskajām gruntīm. Iegūto grafiku izmanto smalkgraudaino grunšu klasifikācijai gan ASV, gan Eiropā (ISO 17892-12), grunti ir iespējams klasificēt, ja ir zināms LL un I_p (2.3. attēls).

$$A = 0,73 * (LL - 20) \quad (2.1)$$

$$U = 0,9 * (LL - 8) \quad (2.2)$$



X plūstamības robeža, LL		Y plastiskuma indekss, I_p		
Grunts tips		Plastiskums		Plūstamības robeža
Cl	Māls	L	Zems	<35
Si	Putekļi	M	Vidējs	35 līdz 50
		H	Augsts	50 līdz 70
		V	Ļoti augsts	>70

2.3. attēls. Plasticitātes diagramma (LVS EN ISO 17892-12)

Fizikālie mehānismi attiecībā pret PL ir daudz mazāk skaidri nekā LL. PL ir grunts kohēzijas mērs saplaisājušām daļiņām pēc grunts fizikālas ietekmes. Ūdens saturam gruntī jābūt tādām, ka pielietojot nelielu spēku grunts daļiņas slīdēs viena gar otru, bet joprojām pastāvēs pietiekošs kohēzijas spēks, kas ļaus gruntam paraugam saglabāt formu. Tas norāda minimālo mitrumu procentos, kad uz grunts var veidoties ūdens kārtiņa (Al-Dahlaki et al. 2008).

LL tiek definēta, kā mitruma saturs kurā nav pietiekami daudz brīvā ūdens, kas ļautu māla daļiņām paslīdēt vienai zem otras un pēc tam saglabāt jauno pozīciju (Warkentin 1960).

Tikai tiem minerāliem, kuriem ir plāksņaina vai lokšņaina daļiņu struktūra, piemīt plastiskums. Kvarca un laukšpata kristālu formas ir tetraedri, tāpēc tiem nepiemīt plasticitāte, bet tādiem minerāliem kā kaolinītam, talkam, biotītam piemīt (Al-Dahlaki et al. 2008).

Starp mālu minerālu veidojošajiem slāņiem var izvietoties ūdens molekulas vai aizstājami katjoni, kas ievērojami ietekmē mālainās grunts plastiskumu (Baver 1928).

Ar Na^+ joniem piesātinātām gruntīm ir vismazākā PL un vislielākais Ip.

Ar K^+ joniem piesātinātām gruntīm ir vismazākais Ip un vismazākā LL.

Ar Ca^{++} joniem piesātinātām gruntīm PL un LL ir lielākas nekā ar Na un K piesātinātajām gruntīm.

Ar Mg^{++} joniem piesātinātām gruntīm PL un LL ir lielākas nekā Na^+ joniem un K^+ joniem piesātinātajām gruntīm un tām ir nedaudz lielāks Ip nekā Ca^{++} joniem piesātinātām gruntīm.

Samazinoties mitruma saturam gruntī, saistītā ūdens daudzums uz grunts daļiņu virsmas samazinās, kā rezultātā, grunts daļiņas satuvinās, pieaugot daļiņu savstarpējās pievilksnās spēkam un grunts stiprībai. Gruntij sarūkot, tajā veidojas nevienmērīgas deformācijas, plaisas, kā rezultātā palielinās ūdens caurlaidība (Shridharan et al. 2000)

Sarukšanas robeža (SL), jeb drupšanas robeža, ir noteikts mitruma saturs gruntī, pie kura grunts tilpums vairs nesamazinās samazinoties mitruma saturam. Mālaino grunšu uzbriešana un sarukšana dabā var atkārtoties neskaitāmas reizes, rezultātā izraisot ēku, ceļu un citu objektu deformāciju. SL mālainajām gruntīm tiek noteikta daudz retāk nekā PL vai LL (ibid.).

2.1. Mālu aktivitāte

Mālu aktivitāte (A), ir atkarīgs no malū daļiņu procentuālā daudzuma gruntī. Ip lineāri pieaug, proporcionāli pieaugot māla izmēra frakcijām, iegūtā grafiskā līkne arī ir lineāra. Mālu

aktivitātes rādītāju izmanto, lai prognozētu mālu uzbriešanas potenciālu (Skempton 1953). Mālu aktivitāti (A) aprēķina pēc (2.3) formulas.

$$\frac{I_p}{\text{māla daļiņas } \% < 0,002 \text{ mm}} \quad (2.3)$$

Mālainās grūtis pēc to aktivitātes iedala (2.2. tabula). Katram māla minerālam piemīt sava raksturīgā aktivitāte, LL, PL, SA un A (2.3. tabula).

2.2.tabula

Mālu aktivitāte (Skempton 1953)

Apraksts	Aktivitāte
Neaktīvi	<0,75
Nedaudz aktīvi	0,75-1,25
Aktīvi	1,25-2
Ļoti aktīvi	>2

2.3. tabula

Atterberga robežas un aktivitātes dažādiem māla minerāliem (Skempton 1953)

Minerāls	Plūstamības robeža, LL	Plasticitātes robeža, PL	Sarukšanas robeža, SL	Aktivitāte, A
Kaolinīts	35-100	20-40	25-29	0,3-0,5
Illīts	60-120	35-60	15-17	0,5-1,2
Montmorillonīts	100-900	50-100	8,5-15	1,5-7,0

2.2. Plastiskuma robežas noteikšanas metodes

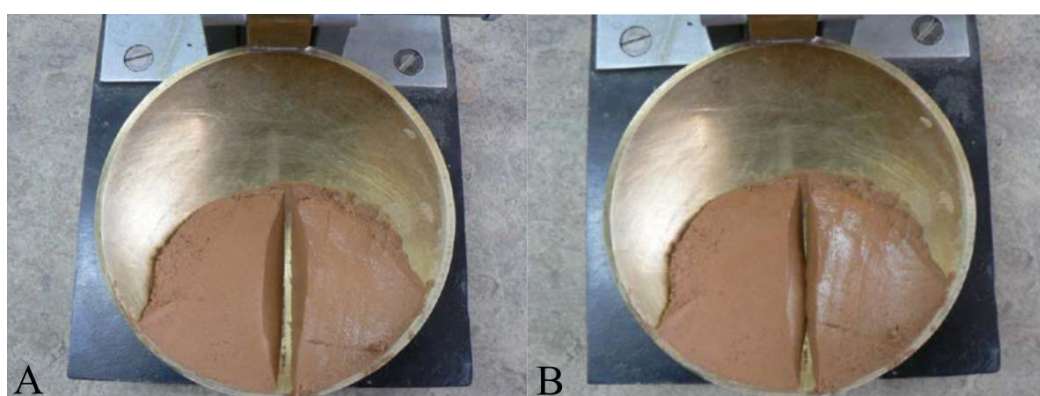
2.2.1. Kasagrandes metode

Arturs Kasagrane 1932. gadā izstrādāja procedūru un ierīci, LL noteikšanai. Ierīces sastāv no bļodiņas, tās pacelšanas mehānisma, roktura vai motora un gumijas bloka (2.4. attēls).



2.4. attēls. Kasagrandes iekārta. Apzīmējumi: 1. motors; 2. sitienu skaitītājs; 3. bļodiņa; 4. gumijas bloks (autora foto)

Pirms testa veikšanas, ierīce tiek pārbaudīta un notīrīta. Testam tiek ņemti aptuveni 120 g grunts parauga, kas tiek izsijāts caur 0,4 mm sietu. Paraugs tiek maisīts, nedaudz pievienojot destilētu ūdeni, līdz viendabīgai masai, daļa no masas tiek ievietota ierīces metāla kausiņā aptuveni 10 mm biezumā. Grunts paraugā tiek izveidota 2 mm šaura rieva, ar īpašu tās izveidošanai paredzētu veidrievas instrumentu. Tiek griezts rokturis vai darbināts motors, un skaitīti sitieni, aptuveni 120 sitieni minūtē, pēc cik sitieniem izveidotā grope aizplūst (2.5. attēls). Griežot rokturi, bļodiņa tiek pacelta un palaista brīvā kritienā aptuveni 10 mm virs gumijas bloka. Gropei aizplūstot ciet, tiek paņemts paraugs, aptuveni 20 g, kam tiek noteikta masa un mitrums. Pēc tam grunts paraugam tiek pievienots vēl destilēts ūdens vai tas tiek žāvēts istabas temperatūrā, pēc tam tests tiek atkārtots (LVS EN ISO 17892-12. 2018).



2.5. attēls. Kasagrandes iekārtas kausiņš ar grunts paraugu. Apzīmējumi: A. Paraugā izveidotā grope; B. aizplūdušā grope (Bretreger 2015)

LL tiek sasniegta, kad grunts parauga masā veidotā rieva, pēc 25 sitieniem, ir aizplūdusi vairāk nekā par 12,7 mm. Ja grunts parauga rieva aizplūst, ja ir bijuši no 20 līdz 30 sitieni, test ir veikts veiksmīgi un LL tiek aprēķināta izmantojot standartā noteiktos korekcijas koeficientus (ibid.).

Iegūtie rezultāti tiek attēloti pus logaritmiskā grafikā, parauga ūdens saturu attēlojot uz aritmētiskas skalas, un sitienu skalu uz logaritmiskas skalas. Caur attēlotajiem punktiem tiek izvilktā taisna līkne, no līknes tiek nolasīta vērtība, kas atbilst 25 sitieniem, to noapaļo līdz tuvākajam veselajam skaitlim. Mūsdienās metode joprojām tiek izmantota, bet daudzās valstīs tā ir aizstāta ar Vasiljevska konusu vai krītošā konusa metodi, jo iegūtais rezultāts ir atkarīgs no testētāja pieredzes (Shimobe et al. 2019).

2.2.2. Balansējošais Vasiljeva konuss

Pjotrs Vasiljevs 1942 gadā izstrādāja metodi un ierīci grunts LL noteikšanai, kā alternatīvu Kasagrandes ierīcei. Ierīce sastāv no balansējošā konusa, statīva un trauciņa (2.6.attēls).



2.6. attēls. Balansējošais Vasiljeva konuss. Apzīmējumi: 1. balansējošais Vasiljeva konuss; 2. statīvs; 3. trauciņš (autora foto)

Pirms testa veikšanas, grunts paraugs tiek nedaudz samitrināts ar destilētu ūdeni un kvartēts, līdz tiek iegūta aptuveni 100 g grunts parauga. Ja paraugā ir graudi, kas ir lielāki par 1 mm, grunts paraugs tiek žāvēts vismaz 2 stundas aizvērtā stikla traukā, pēc tam to izsijā caur 1 mm sietu. Grunts masa tiek rūpīgi maisīta, tai nedaudz pievienojot destilētu ūdeni, līdz tā ir sasniegusi pastas konsistenci. Pēc tam, paraugs tiek rūpīgi iesmērēts trauciņā, tā lai neveidotos gaisa burbulīši. Parauga virsma tiek nogludināta. Balansējošais konuss tiek ieziests ar plānu kārtu vazelīna un tiek turēts virs parauga tā, lai tā galiņš pieskartos paraugam. Pēc tam konuss

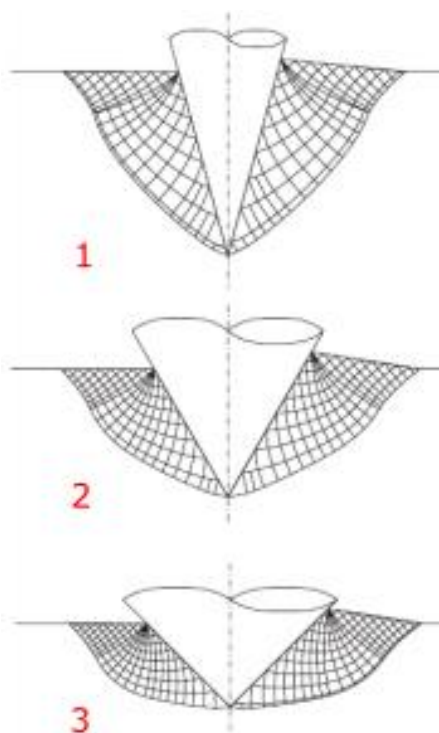
tiek atļauts, ļaujot tam iegrimt pastā, savas svāra ietekmē. Ja piecu sekunžu laikā konuss ir iegrimis 10 mm, grunts ir sasniegusi plūstamības robežu. Tālākā testa gaitā, no trauciņa tiek paņemts paraugs, 15-30 g, un fiksēts tā masa. Paraugš tiek ievietots žāvkapī aptuveni 105°C un žāvēts, līdz tā masa kļūst nemainīga, pēc tam paraugs tiek nosvērts atkārtoti, un tiek aprēķināts tā mitruma saturs. Tests tiek atkārtots, lai tiktu iegūts otrs dublikāts. Plūstamības robeža tiek iegūta aprēķinot vidējo mitrumu abiem dublikātiem. Ja mitruma starpība ir lielāka par standartā pieļaujamo (ja mitruma saturs >10 % pieļaujamā dublikātu starpība ir 2 %, ja vairāk par 50 % - 4 %) tests tiek atkārtots. Ja konuss piecu sekunžu iegrimst mazāk par 10 mm grunts paraugam tiek pievienots vel destilēts ūdens, ja mazāk, tas tiek žāvēts istabas temperatūrā, pēc tam tests tiek atkārtots (ГОСТ 5180-2015 Грунты).

Mūsdienās Vasiljeva balansējošā konusa metodi, grunts LL noteikšanai, joprojām izmanto Neatkarīgo Valstu Sadraudzības valstīs kā galveno metodi. Arī Latvijas ģeoinženierijas laboratorijas ir iespējams veikt šo testu, ja projektētājs to ir pieprasījis. Lai gan test ir ļoti vienkāršs un neskaitot paraugu pirmsapstrādi ātrs, tajā pašā laikā tas ir arī ļoti subjektīvs un neprecīzs. Konusā iegrebtā 10 mm atzīme ir aptuveni 0,5 mm plata.

2.2.3. Krītošā konusa metode

Krītošā konusa tests sākotnēji tika izstrādāts kā metode mālaino grunšu stiprības noteikšanai Skandināvijā. Svens Hansbo izstrādāja metodi, kur balstoties uz iepriekšējo pieredzi, grunts LL ir iespējams izmantojot krītošā konusa metodi, pieņemot, ka 30° un 80 g smags konuss iegrimst 20 mm grunts paraugā pie noteikta mitruma (2.7. attēls). Lai tiktu iegūts rezultāts ir nepieciešami 4 testi. Pēc tam, interpolējot iegūtos konusa ieģrimes dziļumu un tā brīža grunts mitruma satura rezultātus, iegūstot lineāru funkciju pēc (2.4) formulas (Hansbo 1957).

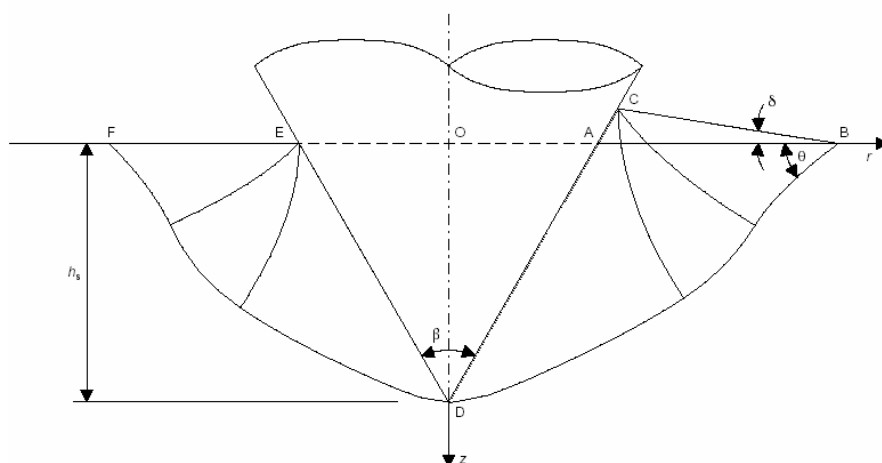
$$LL=(a*20+b) \tag{2.4}$$



2.7. attēls. Konusi ar nogulumu deformācijas līnijām. Apzīmējumi: 1. 30° konuss; 2. 60° konuss
3. 90° konuss (Koumoto et al. 2001)

Mūsdienās tā ir plaši pielietota kā standarta metode LL noteikšanai smalkgraudainajām gruntīm, jo tiek uzskatīta par uzticamāku metodi nekā Kasagrandes metode. Dažādās valstīs krītošā konusa masa, leņķis, iegrimes dziļums un ilgums ir atšķirīgi, Eiropā, metode ir standartizēta vairākām valstīm (ISO 17892-12:2018).

Konusa ģeometriju apraksta divi mainīgie, konusa leņķis, β , un konusa iegrimes dziļums, h (2.8. attēls). Vertikālais spēks, ko rada konuss uz parauga virsmu, ir Q , parauga īpašība, bīdes stiprums S_u , un konusa svars γ , saķeres vērtība a_u ($0 < a_u < S_u$), kas nosaka maksimālo pieļaujamo bīdes spriegumu uz konusa virsmas. Konusa novietojums tiek attiecināts uz cilindriskām koordinātēm (r, z) ar z asi apzīmējot vertikāli (Rashid 2005).



2.8. attēls. Krītošā konusa shēma (Koumoto et al. 2001)

Dimensionāla analīze liecina, ka slodze uz konusu tiek aprēķināta pēc (2.5) formulas. Grunts pašvara ietekme ir neliela, tāpēc tā parasti netiek ņemta vērā.

$$\frac{Q}{S_u h_s^2} = f\left(\frac{\gamma h_s}{S_u} \beta, \alpha\right) \quad (2.5)$$

, kur

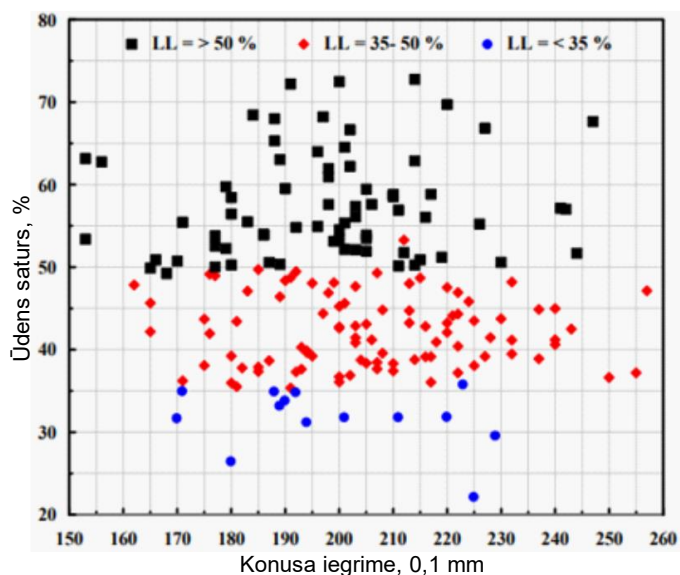
α – saķeres attiecība pret bīdes izturību a_u/S_u

Lai noteiktu plūstamības robežu ar krītošā konusa metodi, konusam ļauj brīvi krist 5 sekundes. Tiek mērīts ūdens saturs, kas ir atbilstoši 20 mm konusa iegrimēi, tādējādi nosakot plūstamības robežu. Parasti tiek veikti četri vai vairāki testi ar dažādu ūdens saturu paraugā, jo iegūt robežu no viena testa ir grūti. Rezultāti tiek attēloti kā punkti, kur tiek salīdzināts ūdens saturs un konusa iegrimes dziļums. Caur iegūtajiem punktiem tiek izvilкта tendences līkne, kurai tiek nolasīta mitruma vērtība, kur konusa iegrimē ir 20 mm (Seed et al. 1964).

2.3. Plūstamības robežas un plastiskuma robežas sakarības

Pēc laboratorijas darbiem un datu analīzes Al-Dahlaki un Al-Sharify (2008) piedāvā savu korelācijas metodi. Tās iegūšanai tika iegūti 160 dažādi mālainie paraugi no Irākas dienvidiem, kuru LL variēja no 25 % līdz 75 %. LL noteikšanai tika izmatota krītošā konusa metode, bet PL konstatēšanai izmantota paraugu rullēšanas metode. Lai samazinātu subjektīvās kļūdas iespējamību, visus darbus veica viens pieredzējis laboratorijas darbinieks (Al-Sharify). Pēc

iegūto datu analīzes, rezultāti tika sadalīti 3 grupās, $LL < 35\%$, $35\% < LL < 50\%$ un $LL > 50\%$ (2.9. attēls).



2.9. attēls. Iegūto rezultātu sadale grupās (Al-Dahlaki et al.2008)

Pētījuma autori ieviesa tādu lielumu kā plastiskuma indeksu (P_f), kuru var noteikt, izmantojot 6 dažādas formulas, atkarībā no LL un konusa iegrimis dziļuma (2.4. tabula).

2.4. tabula

Pielietojamā formula, atkarībā no konusa iegrimis dziļuma un LL (Al-Dahlaki et al.2008)

	Konusa iegrime (0,1 mm)	Vienādojums	Korekcijas koeficients R
Gruntīm ar zemu plūstamību, $LL < 35\%$	<200	$P_f = -0,0489802 \ln(P) + 0,259569$	0,974922
	>200	$P_f = 0,76557 \ln(P) - 4,05707$	0,95237
Gruntīm ar vidēju plūstamību, $LL = 35 - 50\%$	<200	$P_f = -0,580719 \ln(P) + 3,08374$	0,948379
	>200	$P_f = 0,646245 \ln(P) - 3,42452$	0,955632
Gruntīm ar augstu plūstamību, $LL > 50\%$	<200	$P_f = -0,491875 \ln(P) + 2,61027$	0,981389
	>200	$P_f = 0,733705 \ln(P) - 3,89492$	0,972702

Pēc P_f ieguves, PL nosaka pēc (2.6) formulas.

$$PL = LL - \left(\frac{LL - wc}{P_f} \right) \quad (2.6)$$

, kur

wc – ūdens saturs 1 punktā, %

Iegūtās korelācijas ļauj aprēķināt PL dažādām gruntīm izmantojot datus, kas iegūti vienā testā (Al-Dahlaki et al.2008).

2.4. Plūstamības robežas un plastiskuma skaitļa sakarības

Seed, Woodward un Lundgren (1964) pētot mākslīgo grunšu LL un PL, ar dažādu kaolinīta un kvarca smilšu procentuālo daudzumu, tika atrasta sakarība, kur I_p tiek aprēķināts pēc (2.7) formulas. Tika pierādīts, ka grūtis kas satur vairāk nekā 5 % bentonīta, illīta un bentonīta grūtis ir mazāk aktīvas nekā kaolinīta un bentonīta maisījumi, tādējādi izšķirot grūtis, kurās bentonīta ietekme ir maza

$$I_p = 0,98 * LL - 17,5 \quad (2.7)$$

Nagaraj un Jayadeva (1983) pētot dažādas dabiskās mālainās grūtis, no dažādiem dziļumiem un atšķirīgu mineraloģisko sastāvu, tika atrasta atkarība, kur I_p tiek aprēķināts pēc (2.8) formulas. Šim mērķim tika izmantoti gan laboratorijā iegūtie rezultāti, gan Gauy-Chapman mikromehānikas teorija (Bolt 1955).

$$I_p = 0,74 * LL - 8 \quad (2.8)$$

Mitchell un Soga (2005) analizējot vairākas mālainās grūtis ar aukstu smektīta saturu tajās, tika secināts, ka šīm gruntīm ir raksturīgs liels virsmas laukums un relatīvi zems ūdens saturs. Apstrādājot datus, tika iegūta sakarība, kur I_p tiek aprēķināts pēc (2.9) formulas.

$$I_p = 0,97 * LL - 37,6 \quad (2.9)$$

Sharma un Sridharan (2018) statistiski analizējot 43 mālaino grunšu paraugu LL un PL rezultātus, kuri variēja no 38,5 % līdz 82,0 % un no 14,2 % līdz 30,8 %, tika atrastas sakarība, kur I_p tiek aprēķināts pēc (2.10) formulas. Tika secināts arī, ka konusa ieegrimes dziļums attiecībā pret ūdens saturu paraugā ir lineārs tikai tuvu LL.

$$I_p = 0,63 * (LL - 1,63) \quad (2.10)$$

Polidori (2007) izteica iedeju, ka zinot grunts granulometrisku sastāvu, mālu minerālu daudzumu paraugā, un LL ir iespējams aprēķināt PL, vai I_p veicot testus ar sešiem dažādiem grunts paraugiem, un dažādiem to maisījumiem ar smalkgraudainu smilti, atrada sakarības, kuras I_p un LL tiek aprēķinātas pēc (2.11) un (2.12) formulām.

$$I_p = 0,96 * LL - 0,26 * CF + 10 \quad (2.11)$$

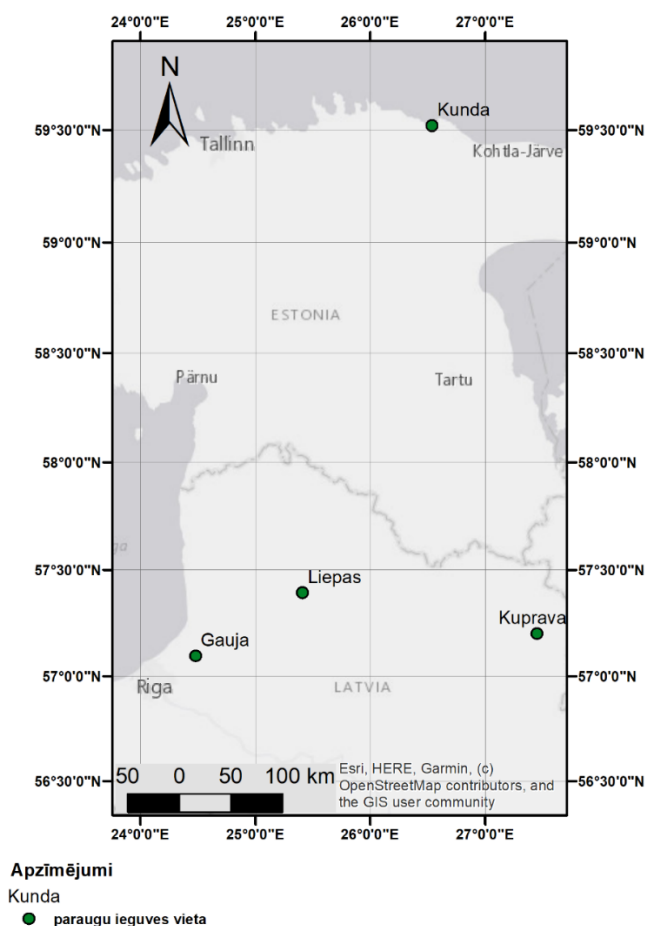
$$PL = 0,04 * LL - 0,26 * CF - 10 \quad (2.12)$$

kur,

CF – māla frakcijas daudzums paraugā, % ;

3. LAUKA PĒTIJUMI

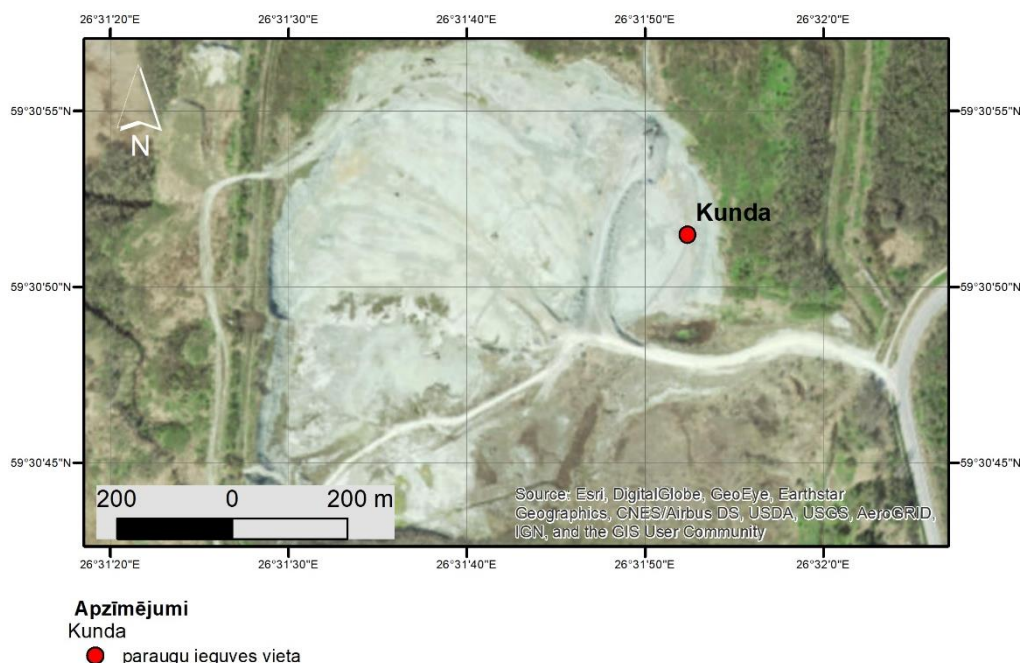
Bakalaura darbam tika izmantoti mālaino grunšu paraugi no trīs dažādām vietām, Latvijā, un vienas Igaunijā. Izmantoto paraugu vecums variē, no kembrija (Kundas māla karjers), devona (Kupravas un Liepas māla karjeri) un kvartārs (Gaujas atsegums netālu no Iļķenes) (3.1. attēls).



3.1. attēls. Grunšu paraugu ieguves vietas (izstrādājis autors, par pamatu izmantojot Esri, OpenStreetMap).

3.1. Pamatiežu māli

Kundas māla karjers atrodas netālu no Kundas pilsētas, Igaunijas ZA. Parauga ieguve tika veikta karjera vidus daļā ($X=59^{\circ}30'51.038''$ $Y=26^{\circ}31'43.613''$) (3.2. attēls). Kundas māla karjerā atsedzas Kundas reģionālā stāva Lontovas svītas zilie māli, 100 m biezumā. Uzskata, ka Lontovas māli veidojušies jūrā pelagiālajos apstākļos. Zilos mālus uzskata par pašiem senākiem kembrija veidojumiem Baltijā ar vecumu 542-530 miljoni gadu. Mālos lielā skaitā sastop piritizētas organismu ejas, kā arī īstās fosīlijas (Kirsimäe et al. 2004)



3.2. attēls. Kundas grunts parauga ieguves vieta (izstrādājis autors, par pamatu izmantojot Esri ortofoto karti).

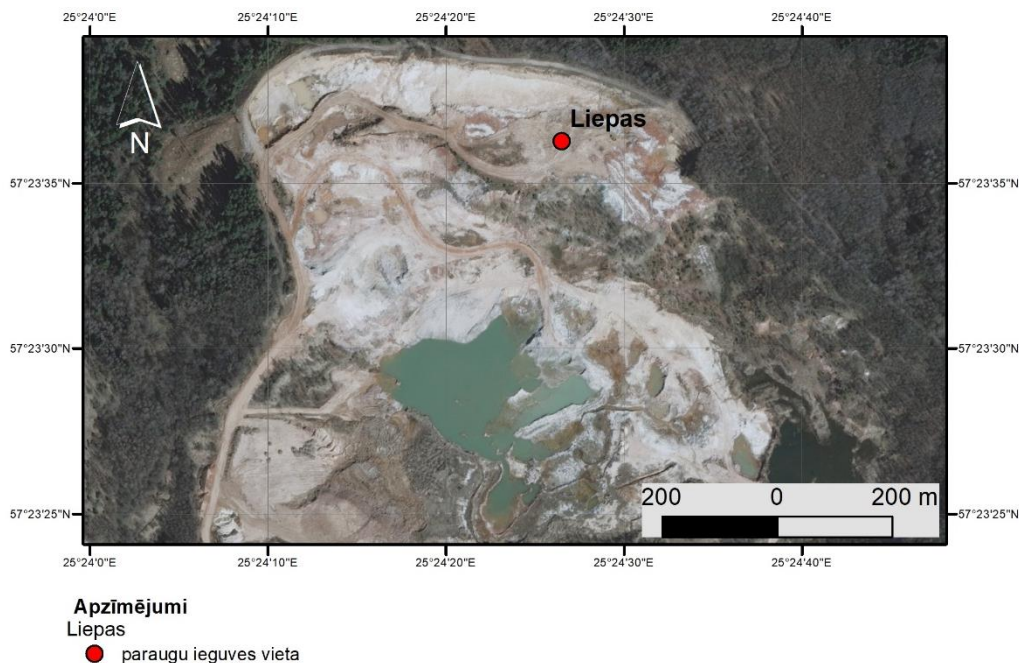
Māli galvenokārt sastāv no illīta un kaolinīta mālu minerāliem. Ir sastopami arī atsevišķi pirīta un hematīta graudiņi. Illīta minerāli ir no 65% līdz 80%, kaolinīts no 7% līdz 15%, vietām tas var sasniegt 30%, 10% - 30% ir kvarca graudiņi (Kirsimae et al. 1997).

Zilie māli ir unikāli nogulumi. Neskatoties uz to vecumu, mālam ir saglabājusies tā plastiskuma īpašība, un augsts ūdens saturs, porainība. Māla minerāli nav tikuši pakļauti augstam spiedienam vai temperatūrai. Lai gan ir atrasti daudzi māla minerāli, kas ir tikuši pakļauti diaģenēzei (Kirsimae et al. 2004).

Liepas mālu atradne atrodas starp Liepas ciemu un Gaujas senleju. Atradnē atsedzās Lodes svītas māli. Paraugi tika ievākti karjera ZA pusē, ($X=57^{\circ}23'36.293''$ $Y=25^{\circ}24'26.451''$) (3.3. attēls). Pēc Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra datiem, karjers ir aptuveni 7 km² liels, karjerā tiek aktīvi iegūts māls, kuru izmanto ķieģeļu, drenu cauruļu un būvkeramikas ražošanā. Māla krājumi ir 17 milj.m³. Apkārtnē prognozējami vēl 33 milj.m³ māla. Mālu plastiskuma skaitlis variē no 11,1 līdz 44,44, kas saistīts ar granulometrisko sastāvu. Graudu frakcijas mālos, kas ir mazākas par 0,005 mm, variē no 17,65% līdz 83,90%.

Raibkrāsainie bezkarbonātiskie mālainie aleirolīti ir raksturīgi augšdevona Lodes svītai, tie veido derīgo slāņkopu Liepas, Cēsu Glūdas, Gāršu, Pavāru, Turaidas atradnē. Māliežu pamatkrāsa ir dažādu toņu sarkana, bet griezumā redzamas smilšakmeņu starpkārtas. Šīs svītas māliežiem raksturīgs karbonātisko ieslēgumu trūkums un ļoti daudzveidīgs granulometriskais

sastāvs. Derīgo slāņkopu sastāvā sastopami arī vairākus metrus biezi mālaināki aleirolītu un mālu paveidi, kas piemēroti klinkera ražošanai (Kuršs et al. 1997).



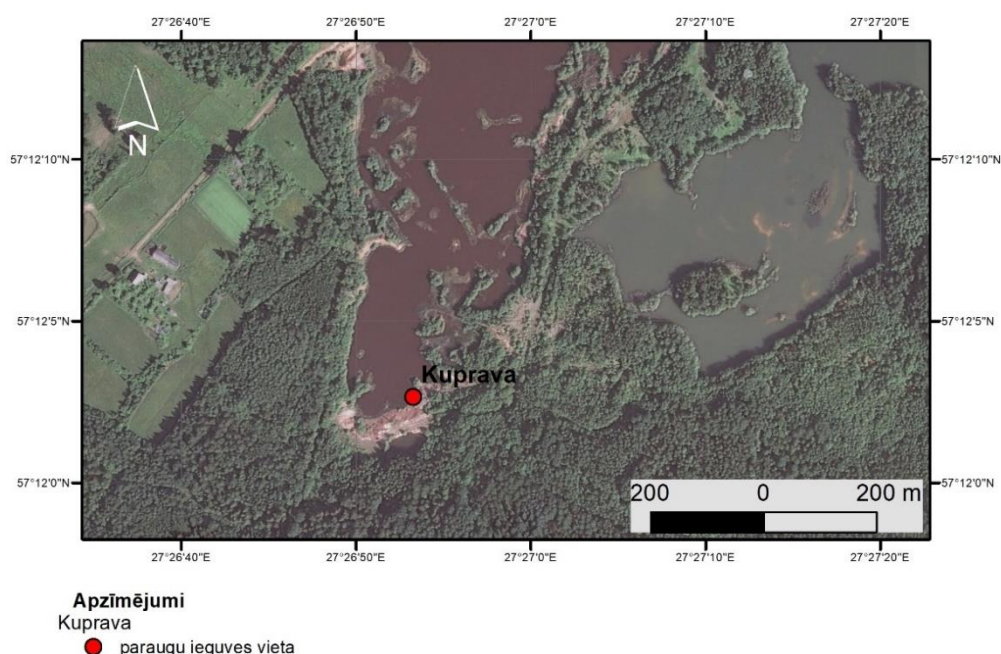
3.3. attēls. Liepas grunts paraugu ieguves vieta (izstrādājis autors, par pamatu izmantojot 5. cikla ortofoto karti).

Lodes svītas mālainajos aleirolītos kā lieli lēcveida ķermeņi sastopami arī gaišie, treknie, grūti kūstošie māli. Tos var atšķirt pēc gaišas, dzeltenīgi zaļganas vai zilgani pelēkas krāsas un liela mālaino daļiņu satura. Gaišo mālu rūpnieciski krājumi pagaidām zināmi tikai Liepas mālu atradnē I, II (abas izstrādātas) un nedaudz arī IV iegulā. Šāda tipa mālu jaunu iegulu atklāšana ir maz iespējama, jo šādu mālu ir maz, pagaidām tādi zināmi vien Liepas atradnes V iegulā, kurā kopējie māla krājumi ir 21 milj. m³, bet gaišo mālu krājumi varētu būt apm. 1,2 milj. m³ (Segliņš 2018).

Domājams, ka smilšaino nogulumu uzkrāšanās laikā, pazeminājās ūdens līmenis, tāpēc delta strauji auga DDR virzienā, ievirzoties dziļāk baseinā. Tomēr nav izslēgts, ka deltas zemūdens nogāze izvietojās Vidzemes ziemeļos un pieguļošajā Igaunijas un Krievijas teritorijā. Par to liecina tikai šajā apgabalā sastopamās desmitiem metru platās un dziļās noslīdeņu ieplakas, kuras saistītas ar Lodes svītas nogulumiem Gaujas reģionālā stāva augšdaļā. Noslīdeņu ieplakas ir aizpildītas ar dzeltenīgi pelēku, ļoti sīkdispersu mālu. Latvijā šo veidojumu un tajos uzkrāto devona organismu atlieku nozīmīgākā un pasaulē zināmākā pētījumu vieta ir Liepas māla atradne (Stinkulis et al. 2018)

Mālainā frakcija sastāv no illīta, bet kaolinīta piejaukums ir vidēji 20 %. Virkne savdabīgu iezīmju ir ķīmiskajam sastāvam. Atbilstoši augstākajai dispersitātei un kaolinīta klātbūtnei šā tipa māli citu paveidu starpā izceļas ar visaugstāko Al_2O_3 (18-21 %) un zemāko Fe_2O_3 (3-5 %) saturu. Raksturīgi ir tas, ka gandrīz viss Fe_2O_3 ietilpst māla minerālu kristāliskajā režģī un ir ļoti niecīgā daudzumā sastopams brīvo oksīdu, hidroksīdu, oksihidrātu veidā. (Kuršs et al. 1997).

Kupravas māla atradne atrodas Viļakas novada Kupravas pagasta teritorijā. Parauga ieguve tika veikta karjera D daļā ($X=57^{\circ}12'2.64''$ $Y=27^{\circ}26'53.27''$) (3.4. attēls). Pēc Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra datiem, karjers ir aptuveni 4 km^2 liels, lai gan mālu ieguve pašreiz ir pārtraukta, māla krājumi ir 16 milj.m^3 , nākotnē tos ir iespējams papildināt. Apkārtnē prognozējamie krājumi pārsniedz vairākus miljardus m^3 . Mālu plastiskuma skaitlis variē no 4 līdz 24,9.



3.4. attēls. Kupravas grunts parauga ieguves vieta (izstrādājis autors, par pamatu izmantojot 5. cikla ortofoto karti).

Raibkrāsainie vāji karbonātiskie māli ir vēlā devona Katlešu sedimentācijas etapa beigu posma seklas jūras veidojumi un labi zināmi no Kupravas mālu atradnes. Svītas slāņkopas kopējais biezums pārsvarā ir 3–35 m, un tas palielinās līdz 40–56 m Balvu un Viļakas novadā. Katlešu svītas ģeoloģiskajā griezumā nošķir 3 ridas. Kupravas ridas nogulumieži ir sarkans un raibs māls, aleirolīts un dolomītmerģelis. Kupravas ridas mālu izplatības dēļ Latvijas galējos ZA pieaug Katlešu svītas nogulumiežu biezums. Šie māli ir sīkdispersi, tos veido māla minerāls illīts ar jauktslāņu illīta-smektīta māla minerālu klātbūtni (Kuršs et al. 1997).

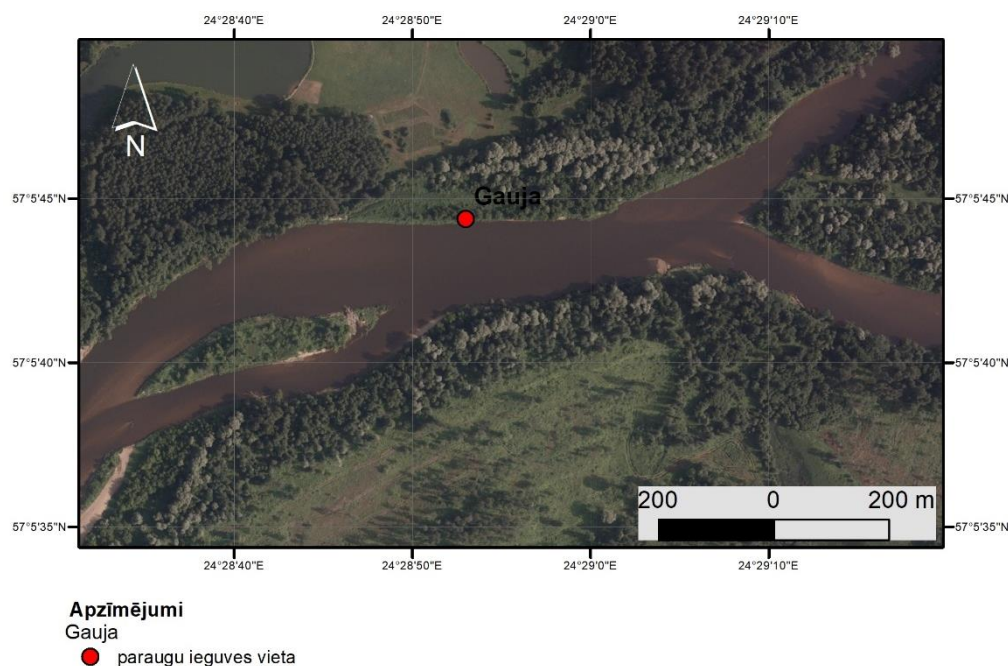
Pēc sastāva šos iežus veido mālu, aleirolītu un smilšakmeņu mija ar pakārtotiem dolomīta un dolomītmerģeļa starpslāņiem. Kupravas Katlešu svītas māli ir līdzīgi Burtnieku svītas un Lodes svītas māliem, bet tie atšķiras ar smalkākās mālainās frakcijas īpatsvaru (Kuršs et al. 1999)

Kupravas atradnes visos mālu slāņos izteikti dominē mālainā frakcija, tās saturs vairumā gadījumu svārstās robežās no 40 % līdz 70 %. Aleirītiskās frakcijas saturs parasti nepārsniedz 20 % – 30 %, bet smilšainais 15 %. Katlešu svītas mālu tipiska iezīme ir ļoti liels par 0,001 mm smalkāko daļiņu saturs mālainās frakcijas sastāvā. Augstā Katlešu svītas mālu dispersitāte nosaka lielu daļiņu īpatnējo virsmu un līdz ar to augstās absorbcijas spējas (Kuršs et al. 1997).

Katlešu svītai raksturīgi praktiski monominerāli illīta māli, tomēr pēc rengendifraktometrijas datiem, šā illīta bazālais starpslāņu attālums ir nedaudz lielāks par klasiskajiem illītam raksturīgajiem 10 Å (Stinkule et al. 2013).

3.2. Kvartāra māli

Gaujas paraugu ieguves vieta atrodas Gaujas labajā krastā, aptuveni 460 m uz ZA no Ilķenes ($X=57^{\circ}5'44.395''$ $Y=24^{\circ}28'52.944''$) (3.5. attēls).



3.5. attēls. Gaujas grunts paraugu ieguves vieta (izstrādājis autors, par pamatu izmantojot 5. cikla ortofoto karti).

Ledājkušanas ūdeņu sprostezeru jeb glaciolimnisko mālu lielākās iegulas un vislielākie mālu krājumi ir zemieņu un līdzenumu rajonos, kur atradās plašie pieledāja ezeri. Iekšledāja baseinu iegulas pēc platības ir mazākas, bet tajās nereti ir ļoti biezi — vairāki desmiti metru — mālu slāņi un visai ievērojami mālu krājumi. Nozīmīgs mālu izplatības rajons ir Latvijas vidusdaļā bijušā Zemgales sprostezera vietā. Baseina centrālajā daļā pie Jelgavas mālu slāņa biezums sasniedz 6–8 metrus (Stinkule 2014).

4. MATERIĀLI UN METODEDES

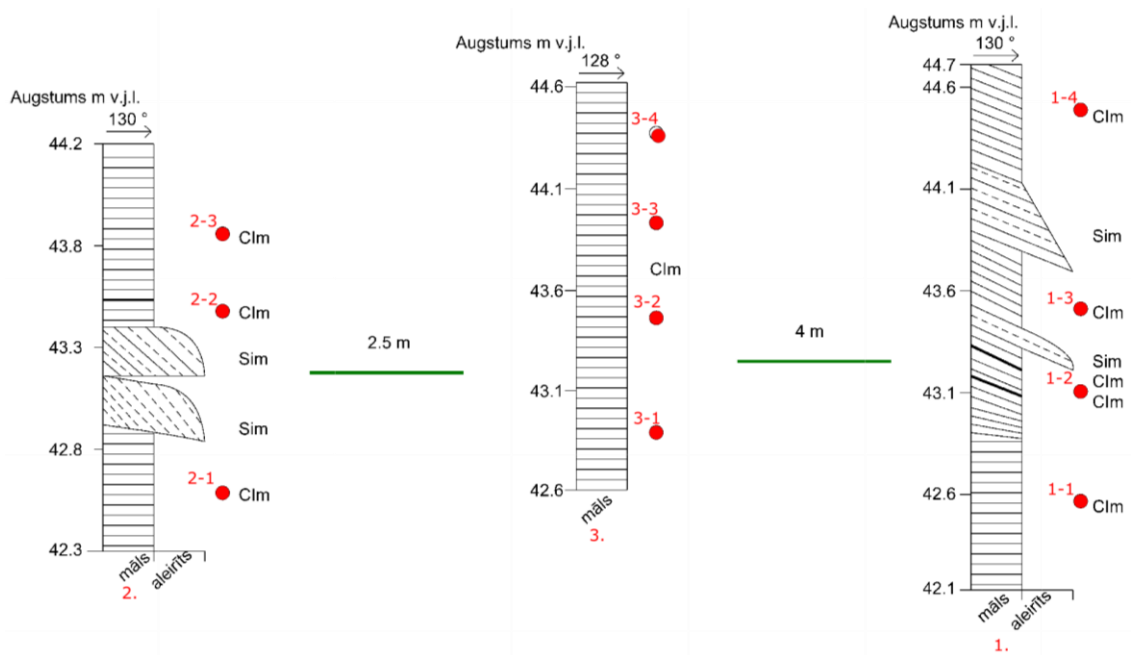
Bakalaura darba projekta izstrāde tika veikta 4 posmos. Pirmajā posmā veikts literatūras apskats par problēmas aktualitāti un iespējamajām plastiskuma robežas (PL) korelācijām. Otrajā posmā tika ievākti mālaino grunšu paraugi no dažādām vietām Latvijā un Igaunijā. Trešajā posmā veikta paraugu testēšana laboratorijā, grunšu fizikālo parametru noteikšana un rezultātu analīze, kopsakarību meklēšana, kas ir plānota veikt arī turpmākās stadijās.

Nogulumu identificēšana uz lauka tika veikta atbilstoši Eiropas standartam – Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts identificēšana un klasificēšana. 1.daļa: Identificēšana un aprakstīšana (ISO 14688-1:2017). Nogulumu tekstūru aprakstīšanai tika izmantota Māra Krievāna kombinētā klasifikācija, kura atbilst mūsdienu prasībām un ir piemērota teriģēno nogulumu aprakstam Latvijas apstākļos (Krievāns 2015).

4.1. Lauka darbi

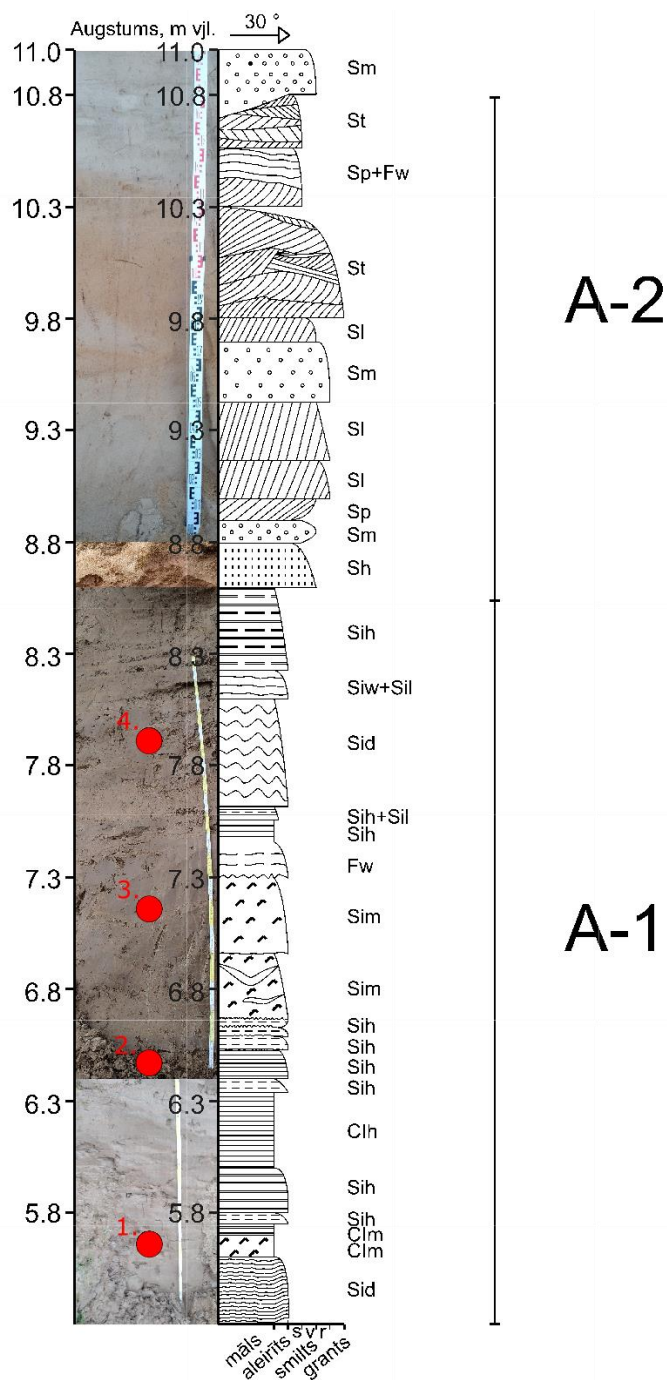
Lauka darbi veikti 2019. gada, 7. oktobrī Gaujas krastā pie Ādažiem (3.5. attēls), kur tika ievākti četri paraugi, un 5. novembrī Lodes mālu karjerā, kur tika ievākti 11 paraugi. Gaujas krastā un Lodes mālu karjerā tika veikta griezumu aprakstīšana, katram paraugam tika piešķirts savs kods. Divi grunts paraugi tika paņemti no fakultātes paraugu glabātavas, kas tika iegūti Kundas māla karjerā un Kupravas māla karjerā (3.2. attēls un 3.4. attēls). Paraugs no Kundas karjera tika paņemts no fakultātes paraugu glabātavas. Paraugu ievāca Kundas mālu karjerā, 18. jūnijā, Māris Krievāns. Paraugam tika piešķirts kods KE. Paraugs no Kupravas māla karjera tika paņemts no fakultātes paraugu glabātavas. Paraugu ievāca Kupravas mālu karjerā, 7. jūlijā, Māris Krievāns. Paraugam tika piešķirts kods KU.

Liepas māla atradnē, grunts paraugu ieguves punkti tika izvēlēti tā, lai to granulometriskais sastāvs manāmi atšķirtos, attālumi starp atsegumiem ir 2,5m un 4m. Iegūtajiem paraugiem tika piešķirti kodi: 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 (4.1. attēls).



4.1. attēls. Atsegumi Liepas mālu atradnes ZR sienā (A. Baikovs, K Molnare 2019). Apzīmējumi: 1., 2., 3., - atsegumu numuri; sarkanie riņķi – grunts paraugu ieguves vietas; 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, - grunts paraugu kodi; Sim – aleirīts masīvs; Clm – māls masīvs (ar autora papildinājumiem pēc Krievāns 2015)

Gaujas atsegumā netālu no Ilķenes paraugu ieguves vietā atsedzās Zemgales sprostezera glaciolimniskie nogulumi, kuri veido Gaujas otrās virspalu terases cokolu. Atsegums atrodas pie meandra arējā loka, tāpēc ir novērojama pastiprināta erozijas darbība. Krasta augstums ir 11 m v.j.l., nogulumi atsedzās 5,2 m biezumā. Atsegumā tika ievākti 4 mālu paraugi, kuriem tika piešķirti kodi: 1., 2., 3., 4. (4.2. attēls)



4.2. attēls. Gaujas atsegums pie Ilķenes (A. Baikovs, K Molnare 2019). Apzīmējumi: A-1, A-2 – fācijas; sarkanie riņķi – grunts paraugu ieguves vietas; 1., 2., 3., 4. – grunts paraugu kodi; Sm – smilts masīva; Sh – smilts plakanparalēli, horizontāli slāņota; Sp – smilts plakani slīpslāņota, diagonāli plakanslāņota; St – smilts muldveidīgi slāņota; Sl – smilts lēzeni slīpslāņota; Fw – aleirīts, māls viļņoti slāņots; Fd – aleirīts, māls ar deformētu struktūru; Sim – aleirīts masīvs; Sih - aleirīts horizontāli, plakanparalēli slāņots; Siw - aleirīts viļņoti slāņots; Sil - aleirīts smilšains, ar smalku slāņojumu; Sid – aleirīts ar deformētu struktūru; Clm – māls masīvs; Clh – māls horizontāli, plakanparalēli slāņots (ar autora papildinājumiem pēc Krievāns 2015)

No atseguma apakšas līdz 8,6 m v.j.l. atsegumā fiksēti glaciolimmiskie mālaine nogulumu. Atsegumā biežāk novērojams horizontāli slāņots māls ar sezonālu ritmiku laminas

un, masīva māla slāni. Atseguma 6,8 m v.j.l. atzīmes konstatētas atūdeņošanas tekstūras. Slāņa apakšā ir izsekojama erozijas virsma ar aleirīta slāni. Atsegumā no 6,8 līdz 11 m v.j.l. pamatā veido aluviālā smilts.

4.2. Laboratorijas pētījumu metodes

4.2.1. Ūdens saturs noteikšana

Ūdens saturs grunts paraugiem tika noteikts atbilstoši standartam LVS EN ISO 17892-1:2015 "Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts testēšana laboratorijā. 1.daļa: Ūdens saturs noteikšana". Aptuveni 30 g smags paraugs tika ievietots trauciņā, fiksēts tā svars ar 0,01 g precizitāti, un ievietots žāvskapī, 105°C temperatūrā, līdz tā masa kļūst konstanta. Paraugs tika uzskatīts par izžāvētu, ja tā nosvērtā masa pēc 1 h atkārtotas žāvēšanas, atkal nosverot, neatšķīrās vairāk par 0,1 %. Pēc žāvēšanas paraugi tika atdzesēti eksikatorā līdz istabas temperatūrai un nosvērti. Ūdens saturs tika noteikts pēc (4.1) formulas. Katram paraugam analīzes tika veiktas 2 reizes, lai pārliecinātos par rezultātu pareizību, un izvairītos no kļūdām. Tika izrēķināta atšķirība starp dublikātiem, ja tās vērtība pārsniedz pieļaujamās tests tiek atkārtots. Ja dublikātu mitruma diapazons variē no 1 % līdz 5 %, dublikātu mitruma saturs starpība var būt līdz 0,2 %, ja no 5% līdz 10 %, līdz 0,6 %, ja no 10 % līdz 50 %, līdz 2,0 %, tests netiek atkārtots.

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \times 100 \quad (4.1)$$

, kur

W – ūdens daudzums, % ;

m_1 – trauciņa masa ar paraugu pirms žāvēšanas, g ;

m_2 – trauciņa masa ar paraugu pēc žāvēšanas, g ;

m_c – tukša trauciņa masa, g .

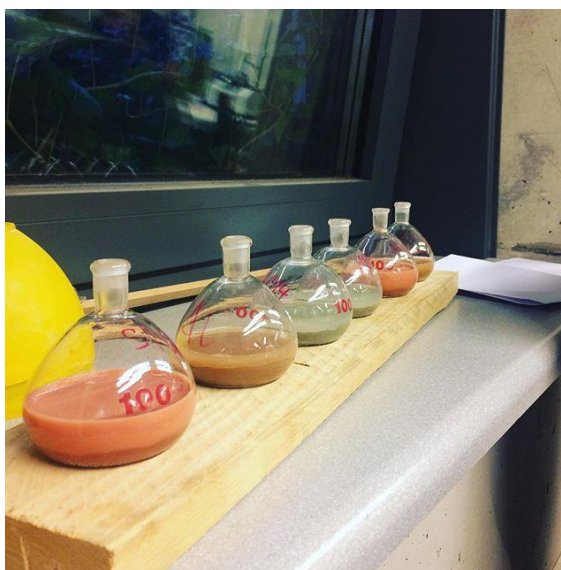
4.2.2. Grunts cieto daļiņu blīvuma noteikšana

Paraugu daļiņu blīvums tika noteikts pēc LVS EN ISO 17892-3:2016 "Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts testēšana laboratorijā. 3.daļa: Daļiņu blīvuma noteikšana" ar piknometra metodi. Metodes pamatprincips ir salīdzināt svaru piknometram, tajā esot destilētam ūdenim ar paraugu, vai tikai destilētam ūdenim, ļoti svarīgi ir nepieļaut gaisa burbulīšu uzkrāšanos piknometrā, kuri var samazināt tā masu, kā rezultātā var iegūst nelegitīmus rezultātus. Metodes

aprēķiniem ir nepieciešams zināt arī tīra un sausa piknometra svaru ar 0,01 g precizitāti. Lai atbrīvotos no šķidrās komponentes gruntī, paraugs tiek žāvēts žāvskapī 105°C temperatūrā, līdz tā masa kļūst konstanta.

Ņemot vērā, ka pēc grunts žāvēšanas paraugā ir gaisa poras, kas samazina tā svaru, paraugs ir jāatbrīvo no porām. Vismaz 10 g parauga tiek iebērti piknometrā ar nelielu daudzumu ūdens, kas pārklāj paraugu aptuveni 20 mm biežumā. Pēc tam piknometrs ar paraugu tiek karsēts smilšu vannā aptuveni 1 h, periodiski to sakratot. Rezultātā tiek izjaukts grunts skelets un atbrīvojas gāzveida komponente. Testa laikā tiek pievienots destilēts ūdens, lai grunts neizžūtu.

Pēc karsēšanas piknometri ar grunti tiek atdzesēti (4.3. attēls), un papildīts gandrīz pilns ar ūdeni. Paraugs tiek ievietots ūdens vannā, lai temperatūra stabilizējas visā piknometrā, un sasniedz tādu pašu kā vannā. Pēc temperatūras stabilizācijas, tas tiek fiksēts, un izmantots grunts daļiņu īpatnējā blīvuma aprēķinos. Piknometram tiek uzsprauts korķis, tas tiek rūpīgi nosusināts un nosvērts. Katram grunts paraugam tiek veikti vismaz 2 testi. Ja iegūto blīvumu rezultātu starpība ir lielāka par 0,03 Mg/m³, testu ir nepieciešams atkārtot. Cieto daļiņu blīvumu (ρ_s) Mg/m³, nosaka pēc (4.2) formulas.



4.3. attēls. Piknometri pēc smilšu vannas (autora foto)

$$\rho_s = \frac{m_4}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} * \rho_L \quad (4.2)$$

, kur

ρ_s – cieto daļiņu blīvums, Mg/m³;

m_0 – sausa piknometra masa, g;

m_1 – piknometrs pildīts ar destilētu ūdeni, g;

m_2 – piknometrs pildīts ar sausu paraugu, g;

m_3 – piknometrs pildīts ar paraugu un destilētu ūdeni, g;

m_4 – sausa parauga masa, g;

ρ_L – destilēta ūdens blīvums atkarībā no temperatūras, Mg/m³.

Ja temperatūra, nosakot masu piknometram ar destilētu ūdeni un piknometram ar destilētu ūdeni un paraugu ir atšķirīga, tad cieto daļiņu blīvums tiek noteikts pēc (4.3) formulas.

$$\rho_s = \frac{m_4}{[(m_1 - m_0)/\rho_{L1}] - [(m_3 - m_2)/\rho_{L3}]} \quad (4.3)$$

, kur

ρ_{L1} – destilēta ūdens blīvums temperatūrā, kāda noteikta m_1 , Mg/m³;

ρ_{L3} – destilēta ūdens blīvums temperatūrā, kāda noteikta m_3 , Mg/m³.

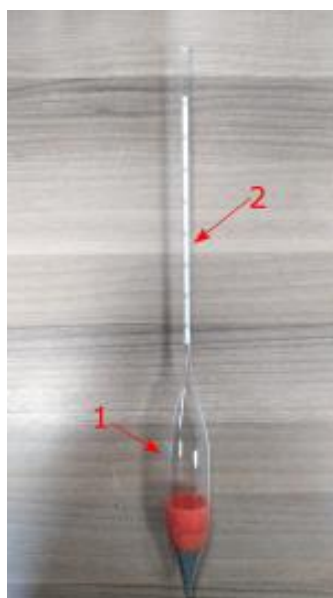
4.2.3. Granulometriskā sastāva noteikšana

Grunts paraugu granulometriskais sastāvs tika noteikts pēc LVS EN ISO 17892-4:2017 “Ģeotehniskā izpēte un testēšana – Grunts testēšana laboratorijā – 4.daļa: Daļiņu izmēru sadalījuma noteikšana.”, izmantojot aerometra metodi, jo smalknes daudzums paraugos bija vidēji 98 %. Analīze tika izmantota lai noteiktu 2 μm daļiņu daudzumu, jeb māla daļiņu daudzumu paraugā, kas tiešā veidā ietekmē grunts parauga plūstamības un plastiskuma robežu. Metode balstās uz dažādu grunts daļiņu sedimentācijas ātrumu ūdenī, atkarībā no ūdens viskozitātes, grunts daļiņu izmēra, un formas, daļiņas cilindrā nosēžas ar dažādā ātrumu. Pirmās nosēdīsies daļiņas ar lielāku izmēru un masu, pēc tam mazākās, ar laiku samazinoties suspensijas blīvumam, kas tiek fiksēts aerometram grimstot dziļāk.

Atbilstoši standartam, suspensijas pagatavošanai (1 litrs) tika ņemts tik daudz parauga, lai sausā veidā frakcijas, kura smalkāka par 0,063 mm būtu no 20 g līdz 30 g. Par ideālu masu tiek uzskatīts 25 g. Mazāka masa mazina testa precizitāti, savukārt, lielāka masa traucē daļiņām nosēsties. Testa gaitā paraugs tiek sasmalcināts un iebērts 100 ml destilētā ūdenī, tam tiek

pievienoti 4 g nātrija heksametafosfāta (NaPO_3)₆, lai paātrinātu daļiņu atlipšanu. Suspensija tiek maisīta tik ilgi, kamēr tā ir viendabīga masa. Suspensija, tiek pārvietota uz 0,063 mm sietu, kas atrodas virs savācējtrauka. Smalkne tiek izmazgāta caur sietu, izmantojot līdz 900 ml destilēta ūdens, kas pēc tam tiek pārlieta 1 l mērcilindrā. Mērcilindrs tiek piepildīts ar destilētu ūdeni līdz 1 l atzīmei un ievietots vannā, temperatūras stabilizācijai vismaz uz 24 h. Tādā pašā veidā tiek kontrolei sagatavots vēl viens mērcilindrs bez parauga. Materiāls, kas palicis uz sietā, tiek pārvietots trauciņā, un izžāvēts žāvēskapī 105°C temperatūrā, līdz tā masa kļūst konstanta, un nosvērts. Zinot masu, kas ir palikusi uz 0,063 mm sietā, tiek aprēķināts smalknes daudzums.

Testā tiek fiksēta aerometra meniska korekcija, kas ir nepieciešama lai iegūtu aerometra patieso vērtību (R_h), nolasītajai vērtībai pieskaitot meniska korekciju (4.4. attēls). Efektīvo dziļumu (H_r) mm, nosaka pēc (3.4) formulas.



4.4. attēls. Aerometrs. Apzīmējumi: 1. aerometra korpuss; 2. aerometra kakliņš (autora foto)

$$H_r = H + 0,5 \left(h - \frac{V_h}{900} \times L \right) \quad (3.4)$$

,kur

H_r – aerometrs efektīvais dziļums, mm

H – aerometra kakliņa garums no aerometra korpusa līdz aerometra patiesajai vērtībai, mm

V_h – aerometra korpusa tilpums, ml

L – garums no cilindra 100 ml atzīmes līdz 1000 ml atzīmei, mm

Pēc vienādas temperatūras stabilizēšanās visā cilindrā, paraugs tiek maisīts aptuveni 2 minūtes, lai visas grunts daļiņas būtu vienmērīgi izkliedētas visā cilindrā. No aerometra tiek nolasīta tā vērtība un fiksētā temperatūra vannā. Aerometra mērījumi tiek veikti paralēli cilindrā ar paraugu un cilindrā bez parauga – ar 1 l izšķīdinātiem 4 g nātrija heksametafosfāta (NaPO_3)₆ kontrolei. Mērījumi tiek veikti noteiktos laika intervālos, 30 sekundes, un 1, 2, 4, 8, 20, 30 minūtes, un 1, 2, 4, 24 stundas pēc analīzes sākuma. Iegūtie rezultāti tika izmantoti katras frakcijas daudzuma procentuālajā aprēķināšanā. Frakcijas lielumu (d_i) mm, aprēķina, pēc (3.5) formulas.

$$d_i = 0,005531 \times \sqrt{\frac{\eta \times H_p}{(\rho_s - \rho_w) \times t}} \quad (3.5)$$

,kur

d_i – noteiktās frakcijas graudu diametrs, mm

η – ūdens viskozitāte, atkarībā no temperatūras

H_p – aerometra efektīvais dziļums, mm

ρ_s – grunts parauga daļiņu blīvums, Mg/m^3

ρ_w – šķidrums blīvums, Mg/m^3

t – laiks, pēc analīzes sākuma, kad tika veikts nolasījums, min

4.2.4. Plastiskuma robežas noteikšana

Plastiskuma robeža (PL) grunts paraugiem tika noteikta pēc LVS EN ISO 17892-12:2018 “Ģeotehniskā izpēte un testēšana – Grunts testēšana laboratorijā. 12.daļa: Plūstamības un plastiskuma noteikšana, izmantojot rullēšanas metodi. Analīzē tiek ņemts plastisks aptuveni 25 g smags paraugs, kas pirms tam tika izsijāts caur 0,4 mm sietu. Paraugs tiek ripināts starp plaukstu un stiklu, veidojot mazu bumbiņu, līdz brīdīm, kad uz bumbiņas sāk veidoties plaisas, bumbiņa tiek sadalīta divās daļās. Katra daļa atbilst vienam dublikātam. Katra daļa tiek sadalīta vel trīs daļās.

Katra no sešām daļām tiek rullēta līdz to diametrs sasniedz 3 mm biezumu. Ja paraugu ir iespējams izrullēt vel šaurāku, paraugs tiek saspīests pikucī, rullēšana tiek atkārtota līdz 3mm paraugs sāk sadalīties mazākos gabaliņos, šajā brīdī tiek sasniegta grunts parauga PL (4.5. attēls).

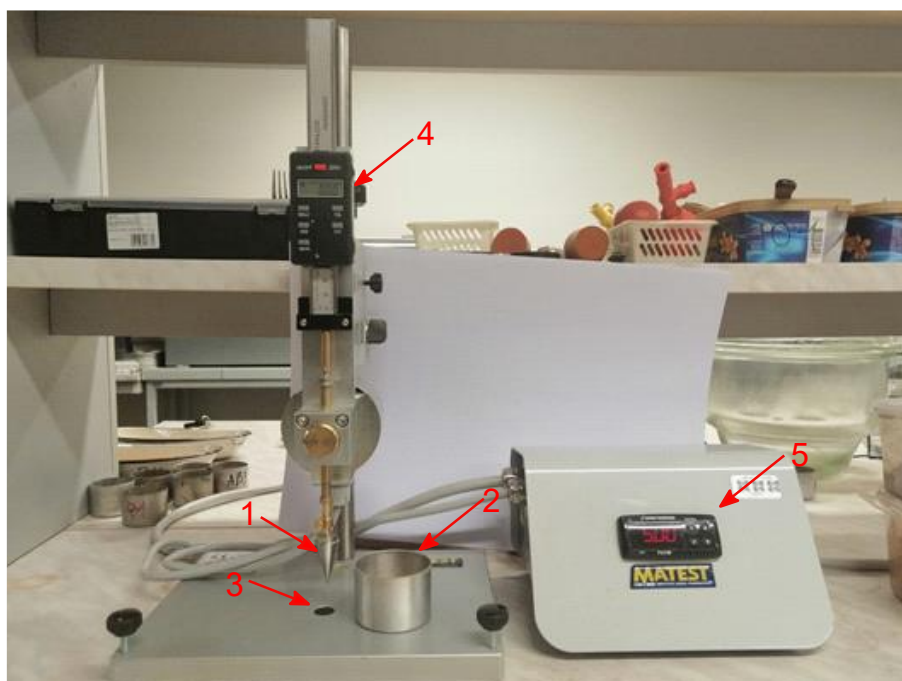


4.5. attēls. Plastiskuma robežas noteikšana. A. Sadalītais paraugs plastiskuma robežas noteikšanai; B. Plastiskuma robežu sasniegušais grunts paraugs (autora foto)

Svarīgi ir rullēt un mīcīt paraugu nesteidzīgi, visu laiku to samaisot, neļaujot kādām parauga daļām izžūt vairāk, berzes spēka ietekmē. Paraugiem tiek fiksēta to masa un tie tiek ievietoti žāvskapī 105°C temperatūrā, līdz to masa kļūst konstanta. PL aprēķina pēc dabīgā (4.1) formulas. Ja atšķirība starp dublikātiem pārsniedz 2 % mitruma, tests tika atkārtots.

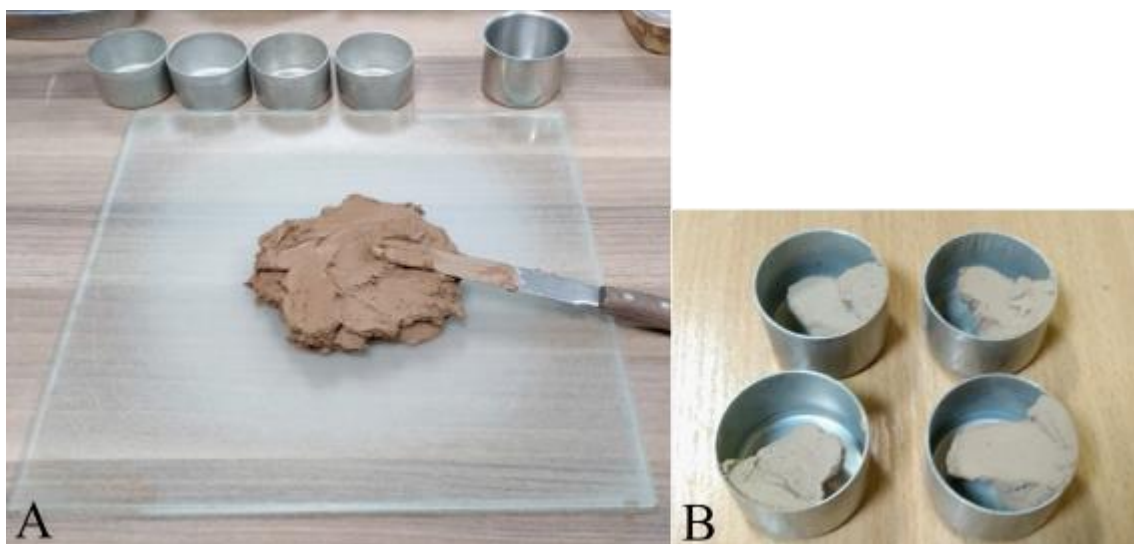
4.2.5. Plūstamības robežas noteikšana

Plūstamības robeža (LL) paraugiem tika noteiktas pēc LVS EN ISO 17892-12:2018 “Ģeotehniskā izpēte un testēšana – Grunts testēšana laboratorijā. 12.daļa: Plūstamības un plastiskuma noteikšana, izmantojot krītošo konusu. LL noteikšanai tika izmantots 40 mm augsts trauciņš ar 55 mm diametru un 80 g (0,78 N) smags krītošais konuss ar 30° leņķi un krītošā konusa iekārta, kas sastāv no elektroniskā bīdmēra, un elektroniskā taimera (4.6. attēls).



4.6. attēls. Krītošā konusa iekārta *Matest*. Apzīmējumi: 1. konuss; 2. trauciņš; 3. līmeņrādis; 4. elektroniskais bīdmērs; 5. elektroniskais taimeris (autora foto)

Pirms testa veikšanas, grunts paraugs tiek izsijāts caur 0,4 mm sietu, pēc tam tas tiek sasmalcināts un maisīts. Grunts parauga masai pakāpeniski tiek pievienots ūdens, līdz tiek iegūta viendabīga pasta. Paraugs tiek ievietots cilindriskā trauciņā ar diametru 55 mm un augstumu 40 mm, tā virsma tiek nolīdzināta. Trauciņa centrs tiek novietots tieši zem konusa, tā lai konuss nedaudz pieskartos parauga virsmai, kas tiek fiksēts izmantojot lupu, tiek nospiesta poga, kas palaiž konusu brīvā kritienā, un ieslēdz taimeris. Pēc 5 sekundēm tiek pārtraukta konusa iegrime, to atkal fiksējot, tiek pārbīdīts bīdmērs un nolasīts ieegrimes dziļums. Ja ieegrimes dziļums variē no 15 līdz 25 mm, parauga virsma tiek atkal nolīdzināta un tests tiek atkārtots. Ja abu testu ieegrimes dziļums neatšķiras vairāk par 0,5 mm, no trauciņa tiek ievākts paraugs un pārvietots citā traukā, kam jau ir zināma masa. Pēc šāda principa tiek ievākti četri grunts paraugi ar dažādu mitrumu, ar pēc iespējas lielākiem mitruma intervāliem (4.7. attēls).



4.7. attēls. Plūstamības robežas noteikšana. A. Mālainās grunts viendabīga masa; B. Četri grunts paraugi, ar zināmu masu (autora foto)

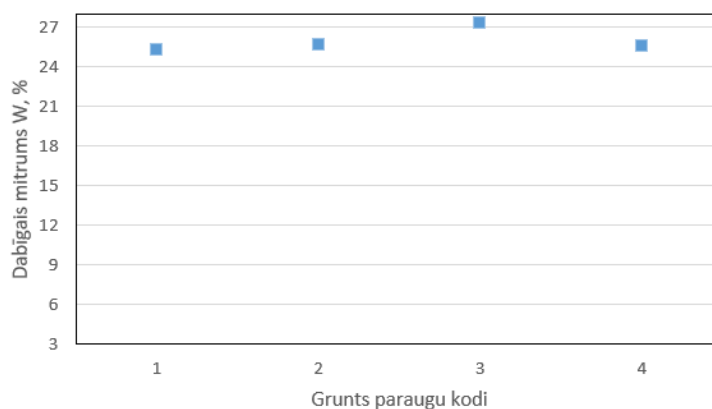
Divi paraugi ir ievākti, kad konusa ieग्रimes dziļums variē no 15 līdz 20 mm, un divi paraugi, kad no 20 līdz 25 mm. Ievāktais paraugs tiek nosvērts un ievietoti žāvskapī 105°C temperatūrā, līdz to masa kļūst konstanta. LL aprēķina pēc (4.1) formulas.

5. REZULTĀTI

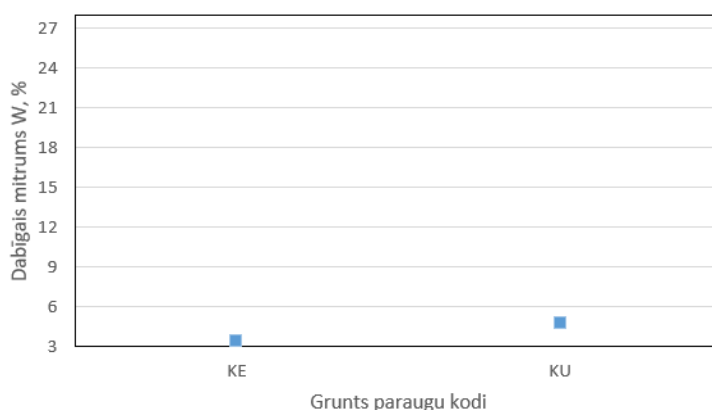
Laboratorijas darbi tika veikti Latvijas Universitātes Dabaszinātņu akadēmiskajā centrā (LU DAC) 008. un 009. laboratorijās, 2019. gada nogalē un 2020. gada sākumā. Bakalaura darba ietvaros tika veiktas mālaino grunšu fizikālo īpašību analīzes, noteikts paraugu dabiskais mitrums, daļiņu blīvums, granulometriskais sastāvs, plasticitātes un plūstamības robežas 17 paraugiem. Iegūtie analīžu rezultāti tika saglabāti un analizēti *MS Excel* programmā.

5.1. Grunšu dabiskais mitrums

Gaujas atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums variē no 25,3 % līdz 27,26 %, vidējais dabiskais mitrums ir 25,92 % (5.1. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga dabiskais mitrums ir 3,40 %, bet Kupravas, 4,72 % (5.2. attēls).



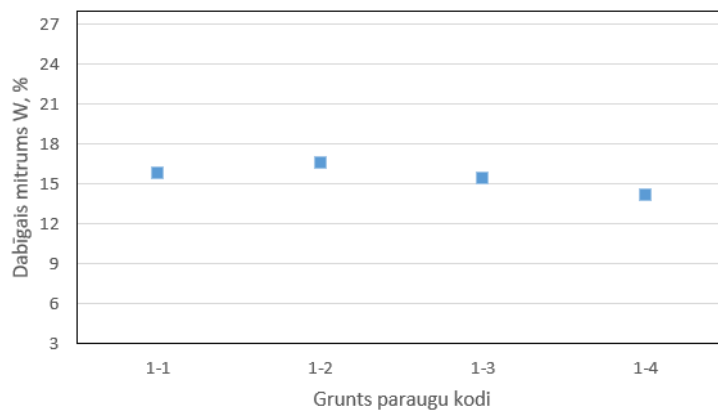
5.1. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums



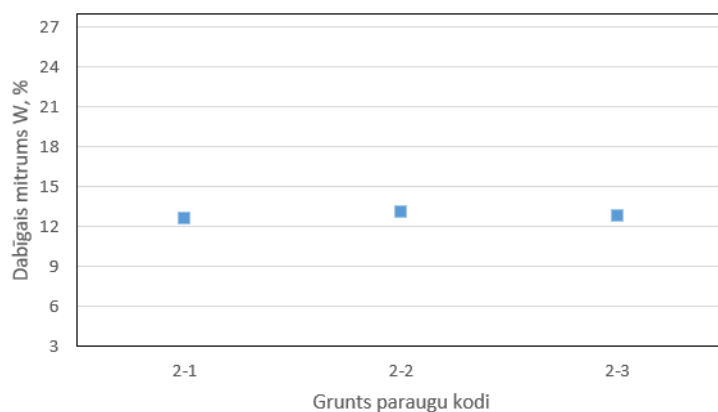
5.2. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu dabiskais mitrums

Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums variē no 14,17 % līdz 16,51 %, grunšu vidējais dabiskais mitrums ir 15,46 % (5.3. attēls). Liepas māla karjera 2.

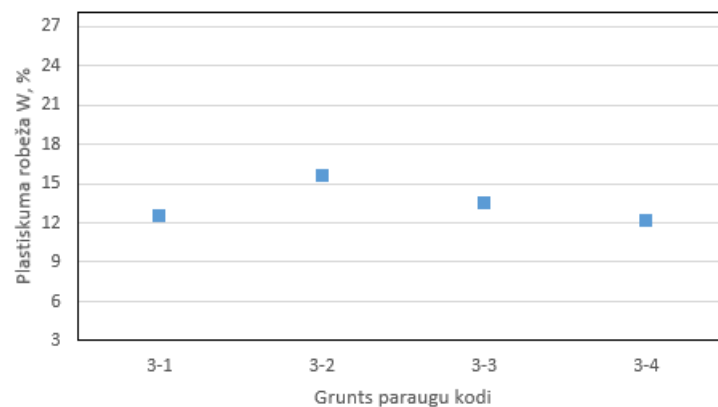
atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums variē no 12,54 % līdz 13,07 %, grunšu vidējais dabiskais mitrums ir 12,81 % (5.4. attēls). Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums variē no 12,17 % līdz 15,62 %, grunšu vidējais dabiskais mitrums ir 13,46 % (5.5. attēls).



5.3. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums



5.4. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums

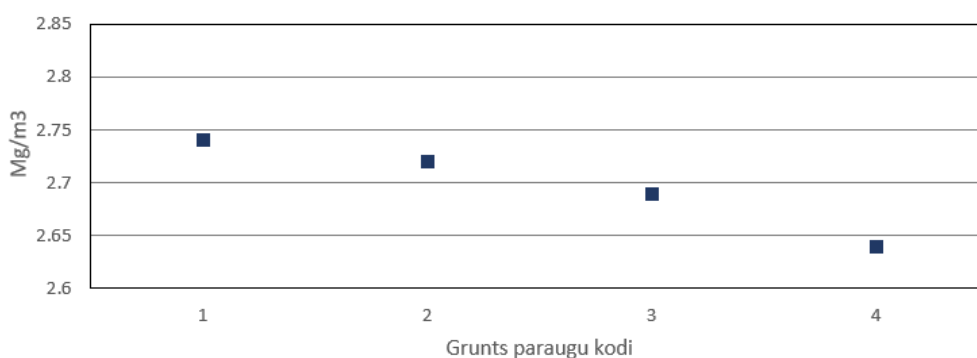


5.5. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu dabiskais mitrums

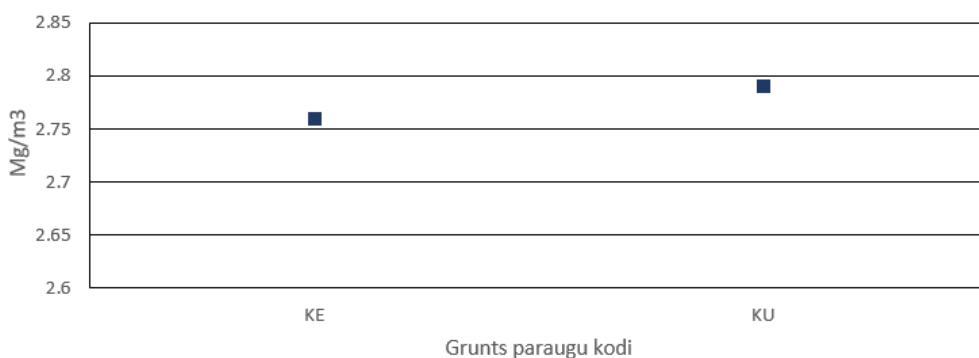
Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējais dabiskais mitrums ir 14,01 %. Visu grunšu paraugu vidējais dabiskais mitrums ir 15,64 %.

5.2. Grunšu cieto daļiņu blīvums

Gaujas atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums variē no 2,64 Mg/m³ līdz 2,74 Mg/m³, grunšu vidējais cieto daļiņu blīvums ir 2,70 Mg/m³ (5.6. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga cieto daļiņu blīvums ir 2,76 Mg/m³, bet Kupravas, 2,79 Mg/m³ (5.7. attēls).

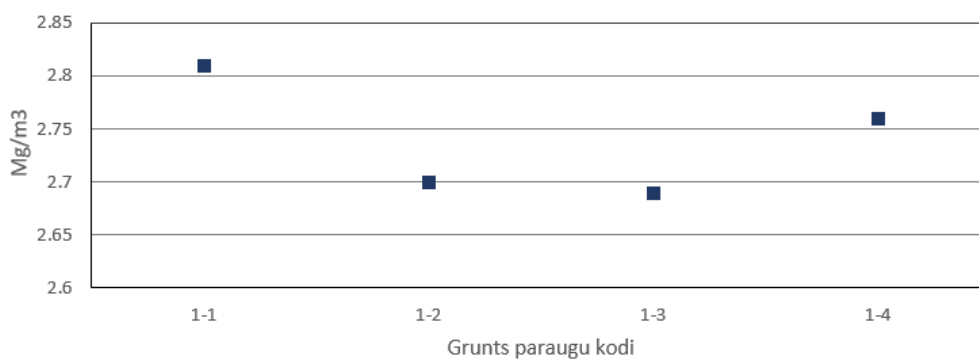


5.6. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums

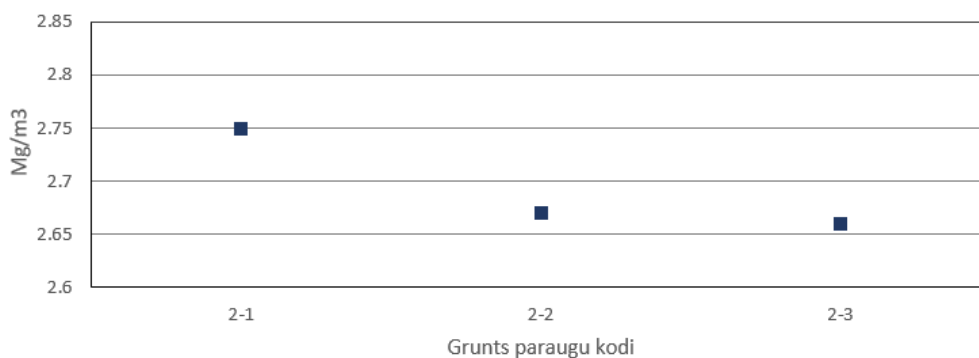


5.7. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums

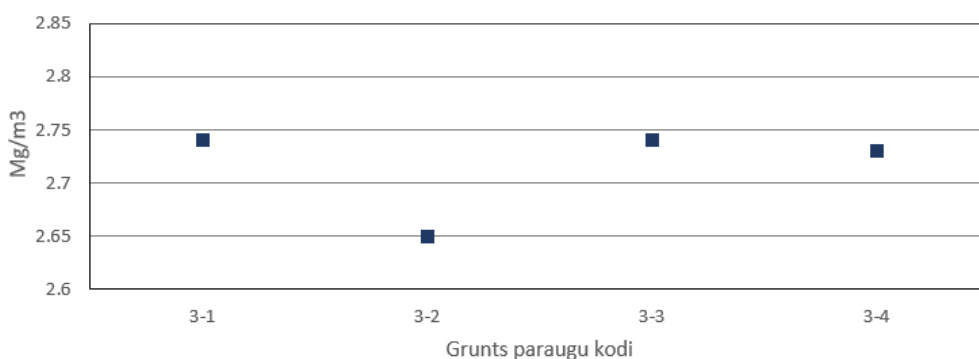
Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums variē no 2,69 Mg/m³ līdz 2,81 Mg/m³, grunšu vidējais cieto daļiņu blīvums ir 2,74 Mg/m³ (5.8. attēls). Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums variē no 2,66 Mg/m³ līdz 2,75 Mg/m³, grunšu vidējais cieto daļiņu blīvums ir 2,70 Mg/m³ (5.9. attēls). Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums variē no 2,65 Mg/m³ līdz 2,74 Mg/m³, grunšu vidējais cieto daļiņu blīvums ir 2,72 Mg/m³ (5.10. attēls).



5.8. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums



5.9. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums



5.10. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu cieto daļiņu blīvums

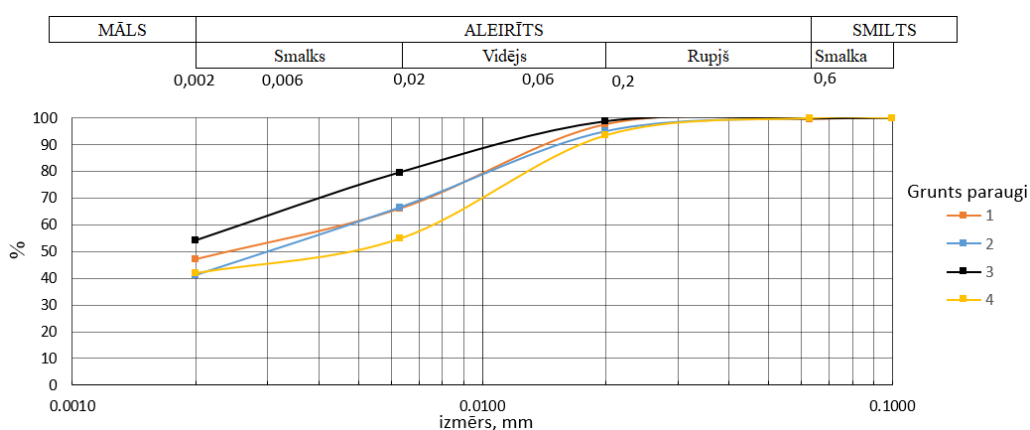
Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējais cieto daļiņu blīvums ir 2,72 Mg/m³. Visu grunšu paraugu vidējais cieto daļiņu blīvums ir 2,71 Mg/m³.

5.3. Grunšu granulometriskais sastāvs

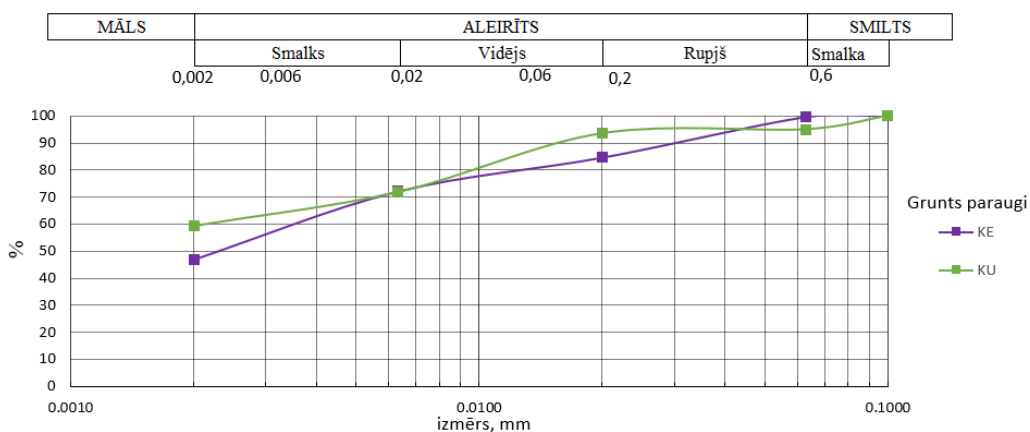
Mālaino grunšu granulometriskais sastāvs tiek attēlots kumulatīvo līkņu veidā. Frakciju izmēri tika klasificēti pēc LVS EN ISO 14688-2. 2017. “Ģeotehniskā izpēte un testēšana.

Grunts identificēšana un klasificēšana. 2. daļa: Klasificēšanas principi.” Grunts paraugiem netika veikta sijāšana, lielā smalknes satura dēļ.

Gaujas atseguma grunšu paraugu māla frakcijas saturs variē no 41,12 % līdz 59,23 %, grunšu vidējais māla frakcijas saturs ir 46,08 %. Gaujas atseguma grunšu paraugu smalknes frakcijas saturs variē no 99,72 % līdz 99,96 %, grunšu vidējais smalknes frakcijas saturs ir 99,83 % (5.11. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga māla frakcijas saturs ir 47,05 %, bet Kupravā 59,23 %. Kundas māla karjera grunts smalknes frakcijas saturs ir 99,76%, bet Kupravā 95,00 % (5.12. attēls).

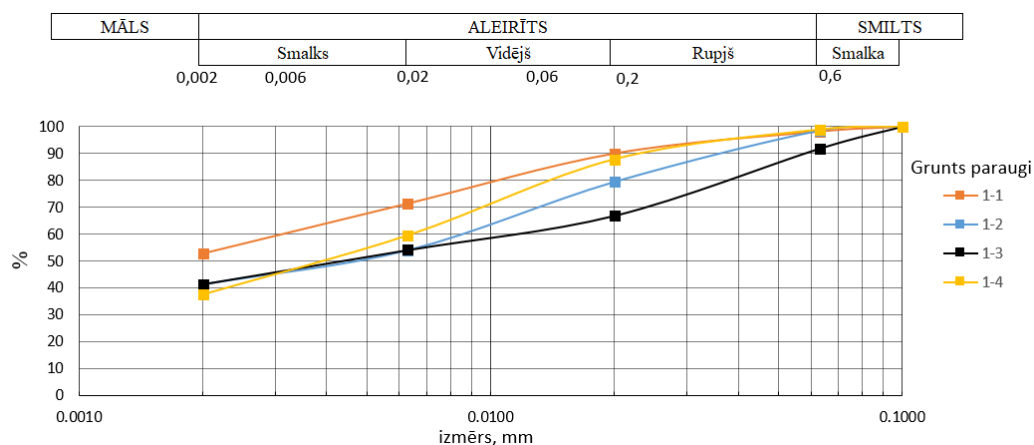


5.11. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu granulometriskā sastāva kumulatīvās līknes



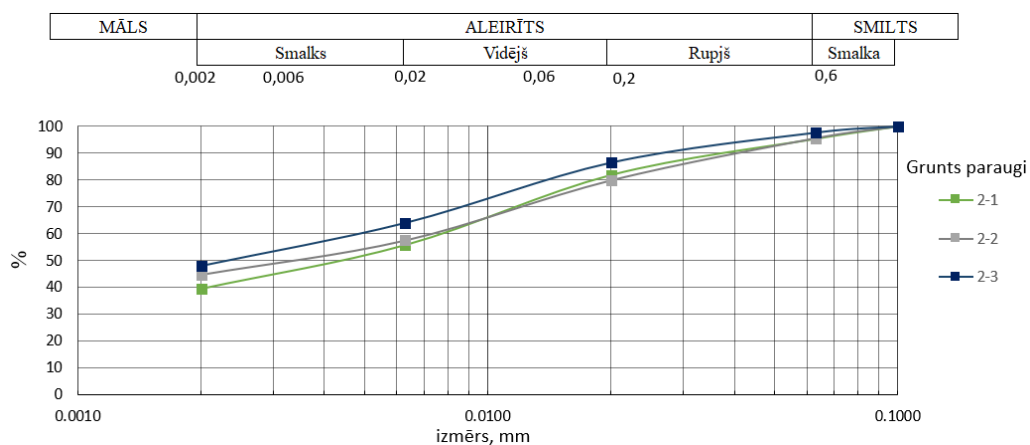
5.12. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu granulometriskā sastāva kumulatīvās līknes

Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu māla frakcijas saturs variē no 37,64 % līdz 52,79 %, grunšu vidējais māla frakcijas saturs ir 43,28 %. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu smalknes frakcijas saturs variē no 91,85 % līdz 98,81 %, grunšu vidējais smalknes frakcijas saturs ir 96,83 % (5.13. attēls).



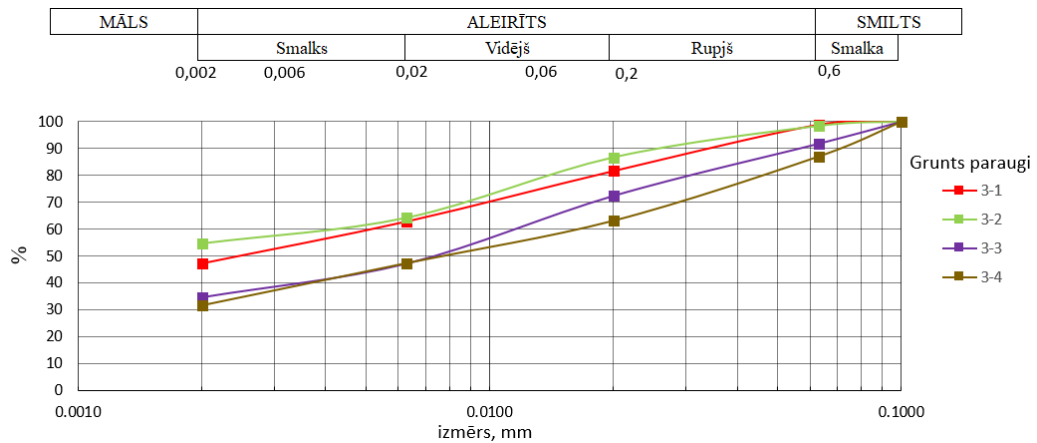
5.13. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu granulometriskā sastāva kumulatīvās līknes

Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu māla frakcijas saturs variē no 39,29 % līdz 48,08 %, grunšu vidējais māla frakcijas saturs ir 44,04 %. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu smalknes frakcijas saturs variē no 95,36 % līdz 97,68 %, grunšu vidējais smalknes frakcijas saturs ir 96,21 % (5.14. attēls).



5.14. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu granulometriskā sastāva kumulatīvās līknes

Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu māla frakcijas saturs variē no 31,26 % līdz 54,60 %, grunšu vidējais māla frakcijas saturs ir 41,90 %. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu smalknes frakcijas saturs variē no 87,08 % līdz 98,96 %, grunšu vidējais smalknes frakcijas saturs ir 94,07 % (5.15. attēls).

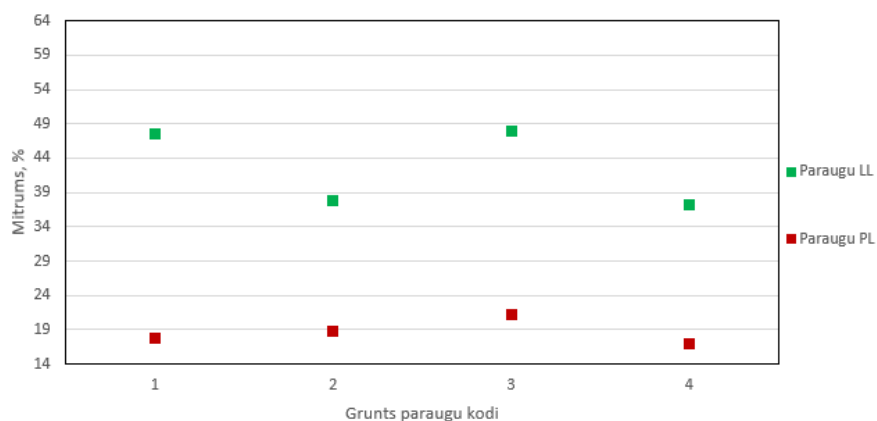


5.15. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu granulometriskā sastāva kumulatīvās līknes

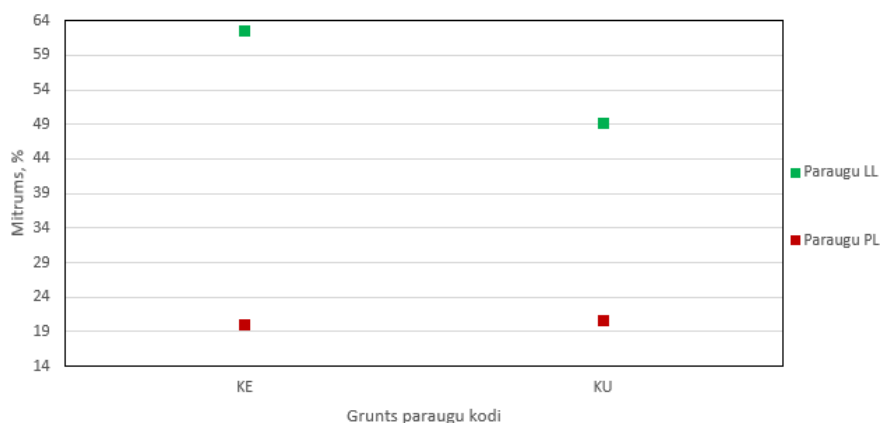
Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējais māla frakcijas saturs ir 42,99 %. Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējais smalknes frakcijas saturs ir 95,66 %. Visu grunšu paraugu vidējais māla frakcijas saturs ir 44,91 %. Visu grunšu paraugu vidējais smalknes frakcijas saturs ir 96,82 %.

5.4. Grunšu plastiskuma un plūstamības robežas

Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskuma robeža (PL) variē no 17,05 % līdz 21,15 %, vidējā PL ir 18,66 %. Grunšu paraugu plūstamības robeža (LL) variē no 37,18 % līdz 48,00%, vidējā LL ir 42,64 % (5.16. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga PL ir 20,06 %, Kupravas, 20,61 %. Kundas grunts parauga LL ir 62,46 %, bet Kupravas, 49,05 % (5.17. attēls).

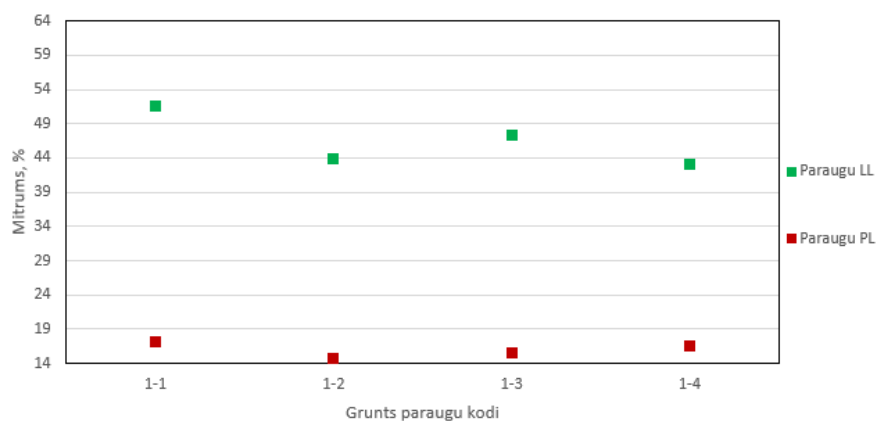


5.16. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskuma un plūstamības robežas

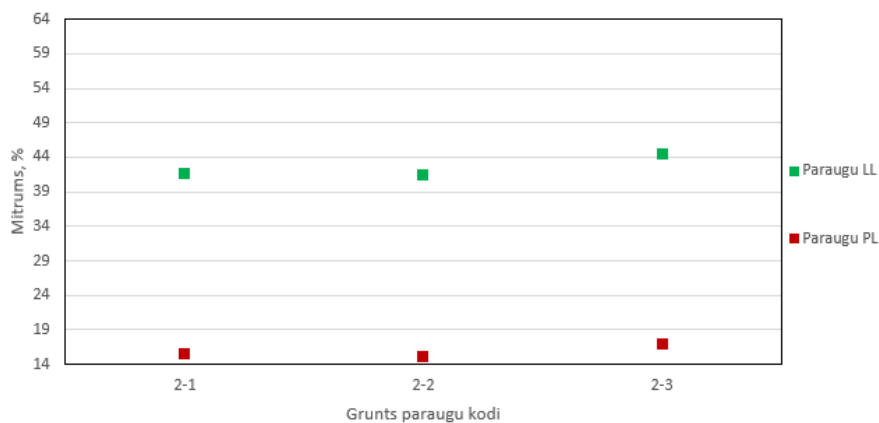


5.17. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskuma un plūstamības robežas

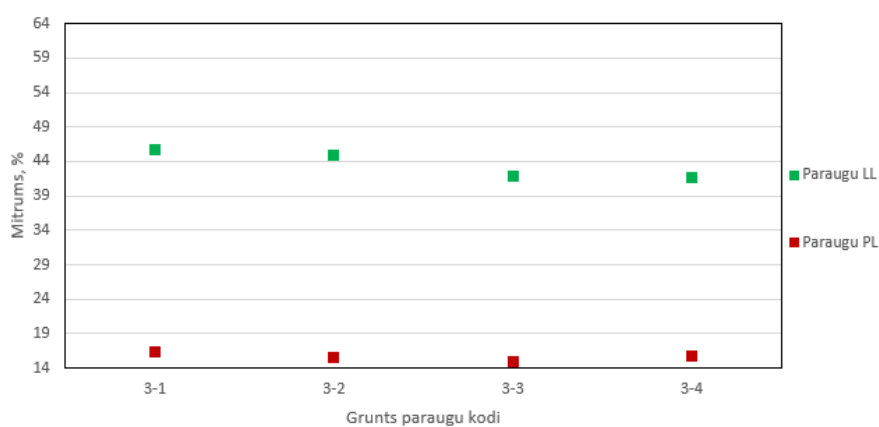
Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu PL variē no 14,78 % līdz 17,23 %, vidējā PL ir 16,00 %. Grunšu paraugu LL variē no 43,04 % līdz 51,62 %, vidējā LL ir 46,48 % (5.18. attēls). Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu PL variē no 15,20 % līdz 16,98 %, vidējā PL ir 15,93 %. Grunšu paraugu LL variē no 41,36 % līdz 44,54 %, vidējā LL ir 42,50 % (5.19. attēls). Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu PL variē no 14,86 % līdz 16,36 %, vidējā PL ir 15,67 %. Grunšu paraugu LL variē no 41,68 % līdz 45,81 %, vidējā LL ir 43,54 % (5.20. attēls).



5.18. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskuma un plūstamības robežas



5.19. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskuma un plūstamības robežas

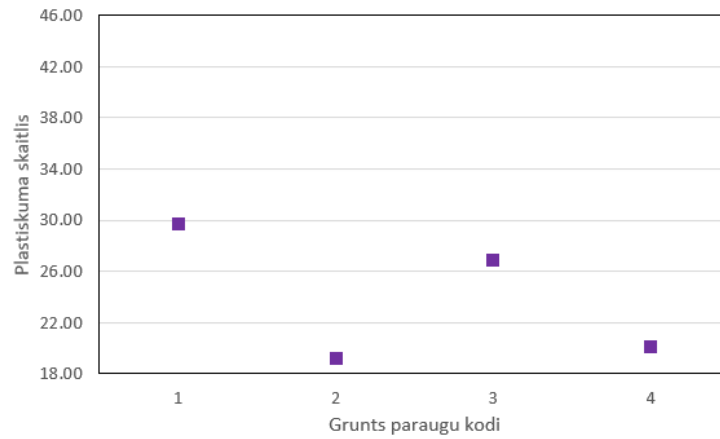


5.20. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskuma un plūstamības robežas

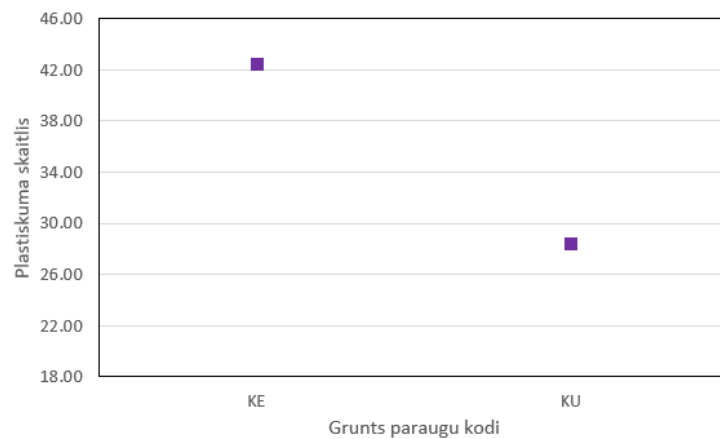
Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējā LL ir 44,32 %, grunšu paraugu vidējā PL ir 15,86 %. Visu grunšu paraugu vidējais LL ir 45,27 %, grunšu paraugu vidējā PL ir 17,04 %.

5.5. Grunšu plastiskuma skaitļi

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip variē no 19,16 % līdz 29,74 %, vidējais Ip ir 23,97 % (5.21. attēls). Kundas māla karjera grunšu parauga Ip ir 42,40 %, bet Kupravas, 28,44 % (5.22. attēls).

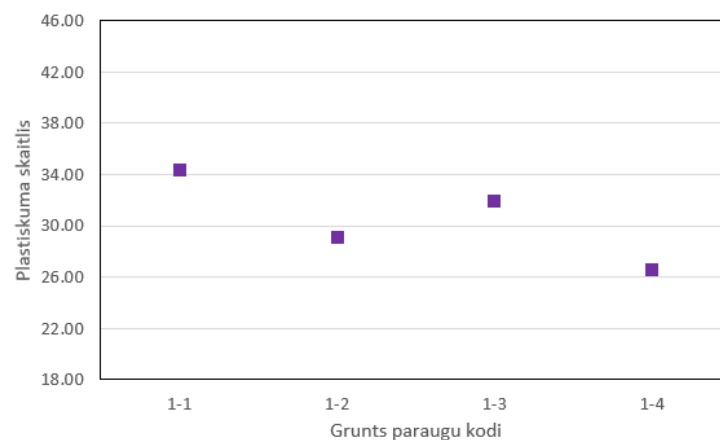


5.21. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi

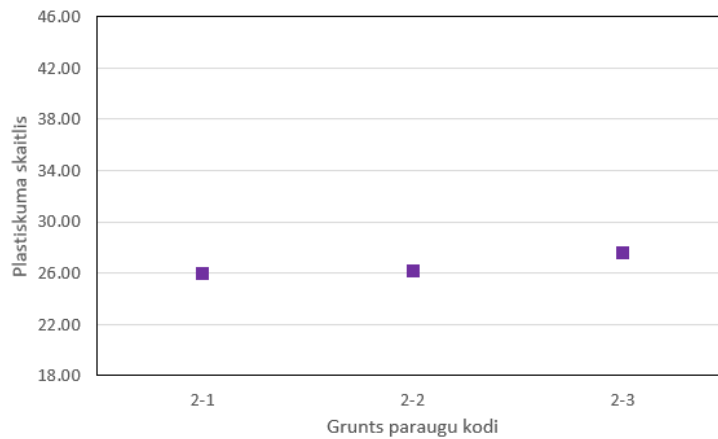


5.22. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskuma skaitļi

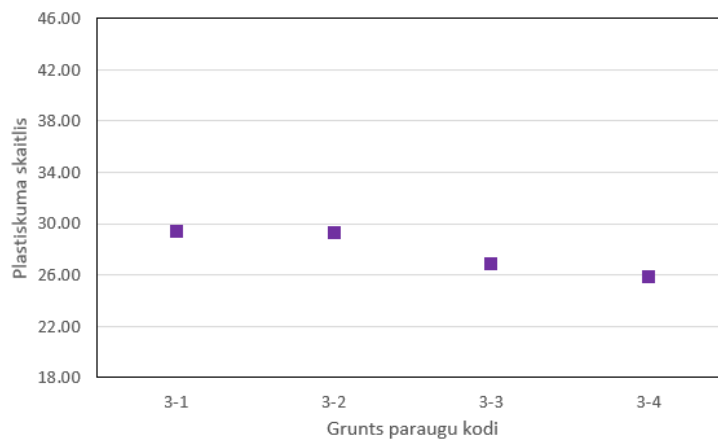
Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu Ip variē no 26,53 % līdz 34,39 %, vidējā Ip ir 30,49 % (5.23. attēls). Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu Ip variē no 25,98 % līdz 27,55 %, vidējais Ip ir 26,56 % (5.24. attēls). Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu Ip variē no 25,87 % līdz 29,45 %, vidējais Ip ir 27,87 % (5.25. attēls).



2.23. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi

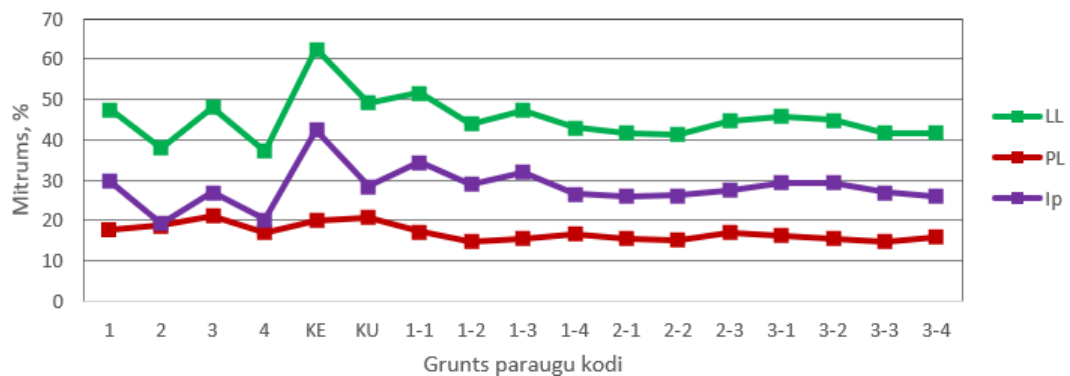


5.24. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi



5.25. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi

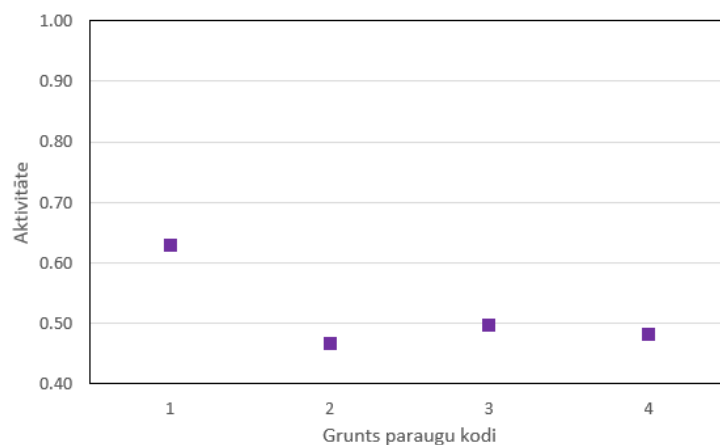
Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējais I_p ir 28,47 %. Visu grunšu paraugu vidējais I_p ir 28,23 %. LL testētajām gruntī ir intervālā no 37,18 % līdz 62,46 % (25,28 %), līdzīgs intervāls ir arī I_p , no 19,16 % līdz 42,40 % (23,24 %), turpretim PL intervāls ir daudz mazāks, no 14,78 % līdz 21,15 % (6,37 %) (5.26. attēls).



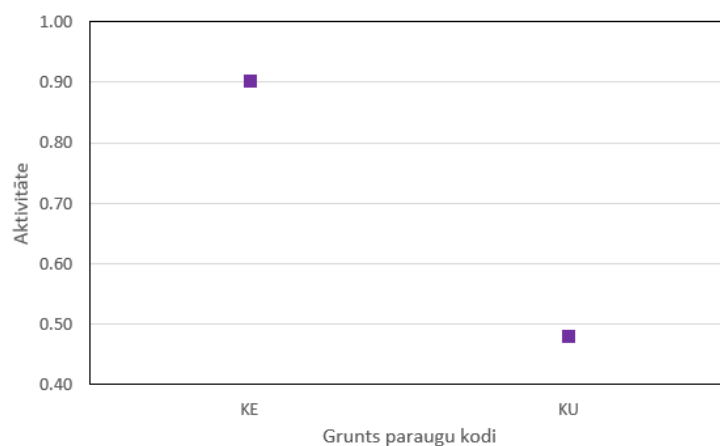
5.26. attēls. Visu grunts paraugu plastiskuma, plūstamības robežas un plastiskuma skaitļi
Attēla var redzēt, ka I_p pētītajiem mālaino grunšu paraugiem ir vairāk atkarīga no LL vērtības.

5.6. Grunšu aktivitāte

Grunšu paraugu aktivitāte (A) tika aprēķināta pēc (2.3) formulas. Gaujas atseguma grunšu paraugu A variē no 0,47 līdz 0,63, vidējā A ir 0,52 (5.27. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga A ir 0,90, bet Kupravas, 0,48 (5.28. attēls).

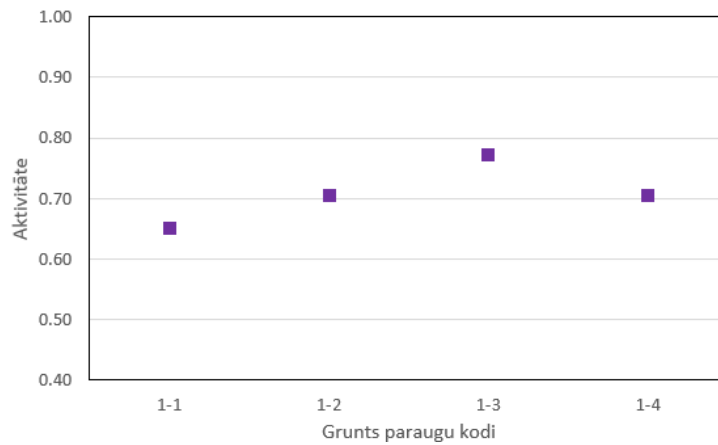


5.27. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu aktivitāte

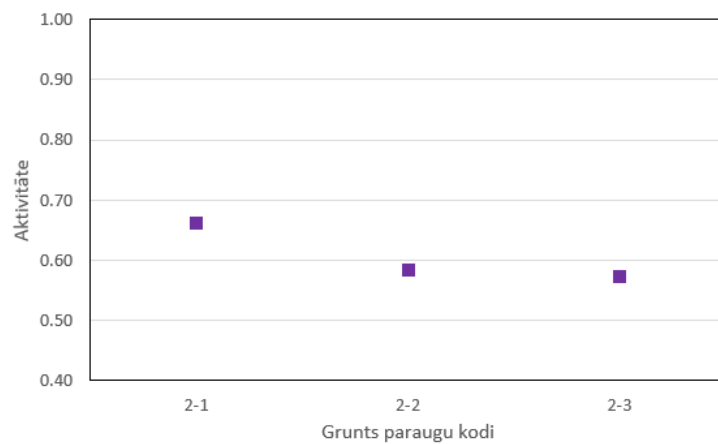


5.28. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu aktivitāte

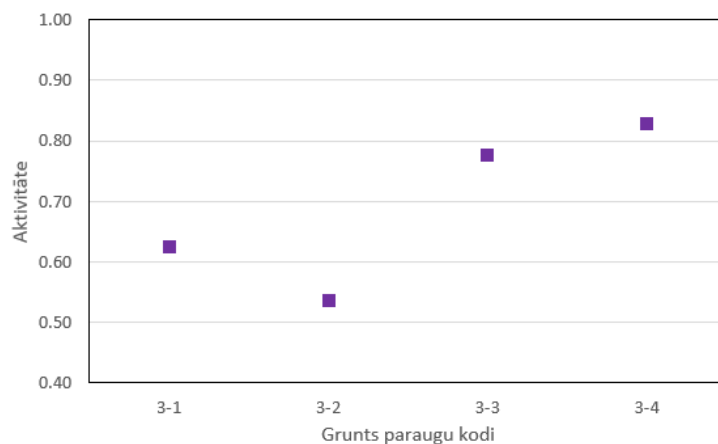
Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu A variē no 0,65 līdz 0,77, vidējā A ir 0,71 (5.29. attēls). Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu A variē no 0,57 līdz 0,66, vidējā A ir 0,61 (5.30. attēls). Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu A variē no 0,54 līdz 0,83, vidējā A ir 0,69 (5.31. attēls). Liepas māla karjera grunšu paraugu vidējā A ir 0,67. Visu grunšu paraugu vidējā A ir 0,64.



5.29. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu aktivitāte



5.30. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi

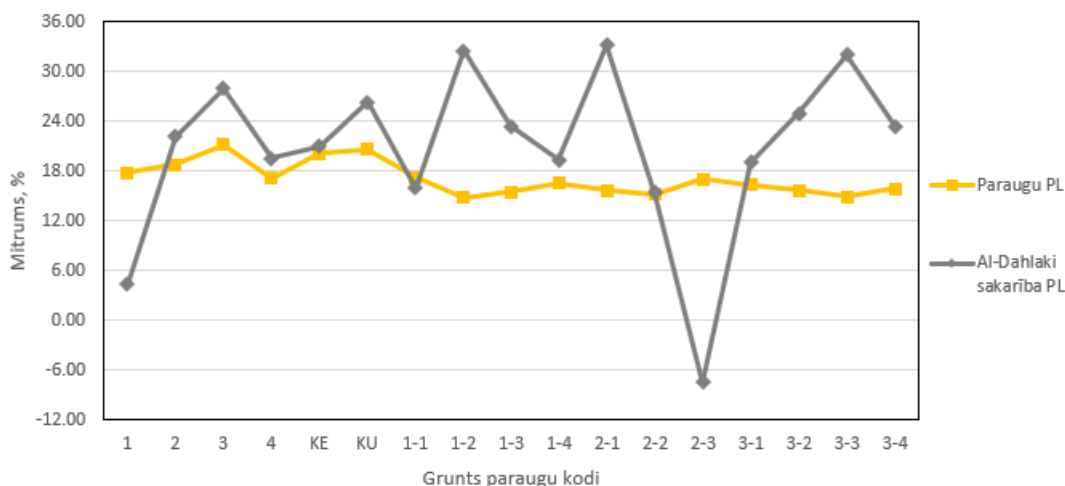


5.31. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi

5.7. Plūstamības robežas un plastiskuma robežas sakarības pārbaude

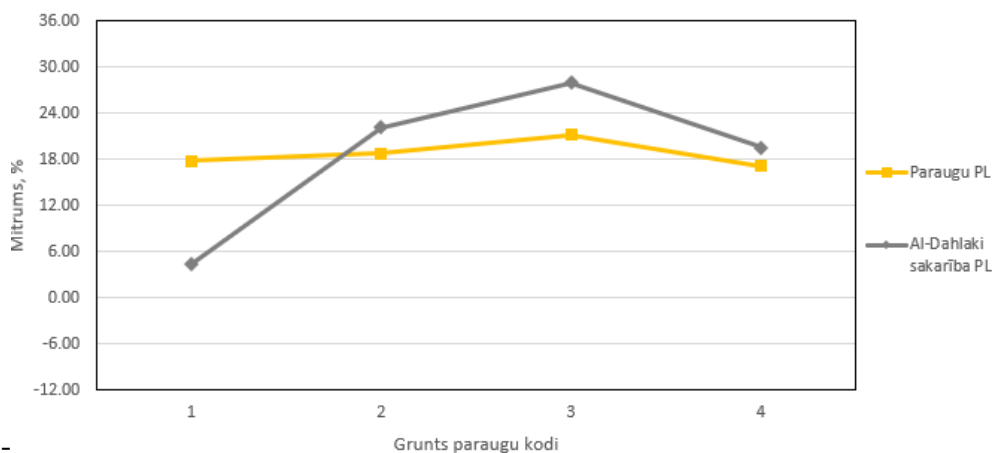
Lai pārbaudītu Al-Dahlaki (2008) un viņa kolēģu piedāvāto plūstamības robežas un plastiskuma robežas sakarību, tika izmantots katra parauga iegūtais rezultāts, kas iegūts veicot

krītošā konusa testus. Sakarībās izmantoti konusa iegrimes dziļuma un tā brīža parauga mitruma rezultāti, kuru konusa iegrimes dziļums bija viss tuvāk 20 mm (2.3. nodaļa). Grunšu paraugu iegūtās PL vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem PL un iegūtās pēc Al-Dahlaki sakarības, variē no 0,15 % līdz 24,46 %, vidējā PL novirze ir 8,31 % (5.32. attēls).

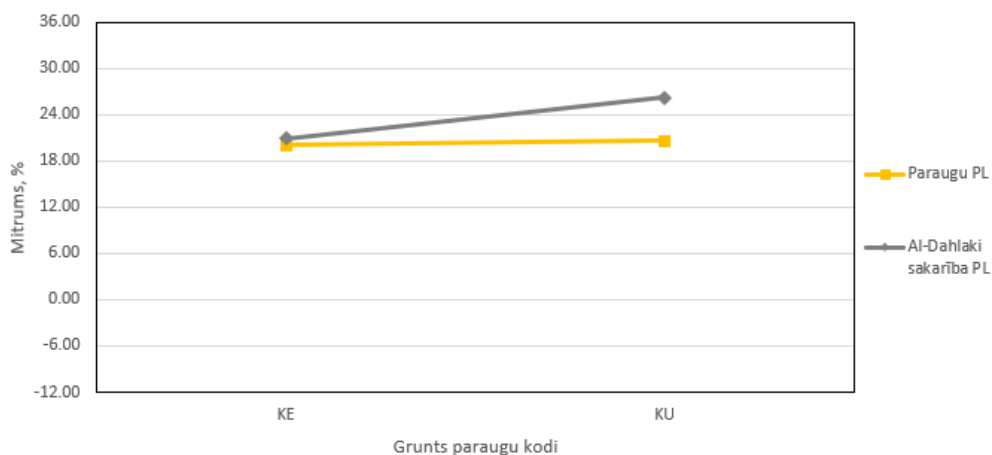


5.32. attēls. Grunšu paraugu plastiskumu robežas, kuras iegūtas testos un Al-Dahlaki (2008) sakarības, kuras aprēķinātas izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un piedāvāto sakarību

Gaujas atseguma grunšu paraugu PL novirzes variē no 2,48 % līdz 13,37 %, vidējā PL novirze ir 6,51 % (5.33. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga PL novirze ir 0,91 %, Kupravas, 5,66 % (5.34. attēls).

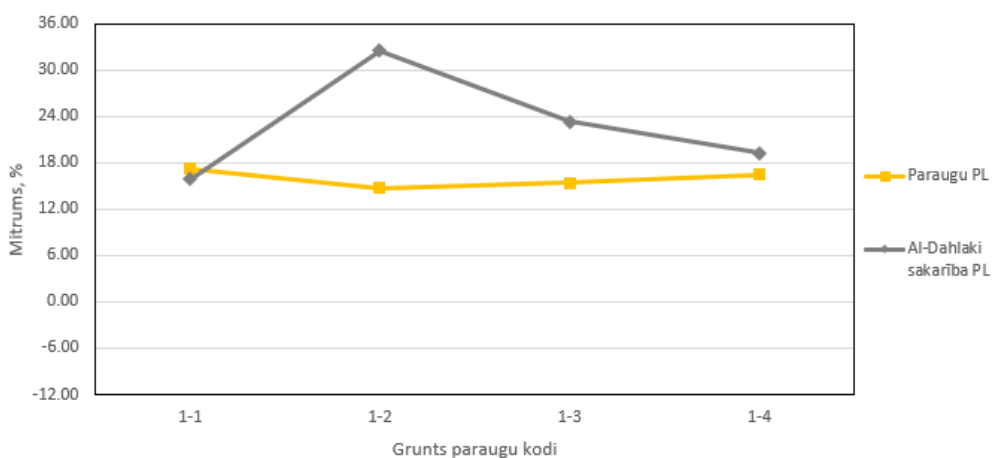


5.33. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu robežas, kuras iegūtas testos un Al-Dahlaki (2008) sakarības, kuras aprēķinātas izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un piedāvāto sakarību

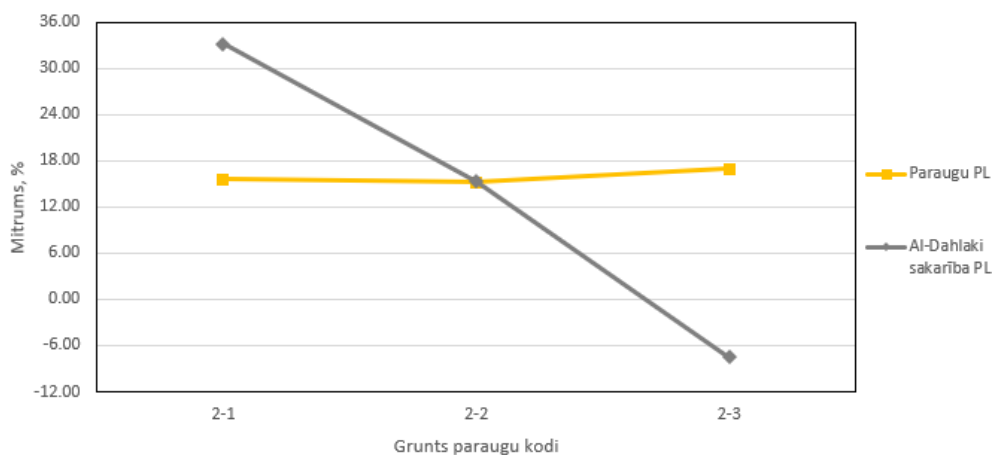


5.34. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu robežas, kuras iegūtas testos un Al-Dahlaki (2008) sakarības, kas aprēķinātas izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un piedāvāto sakarību

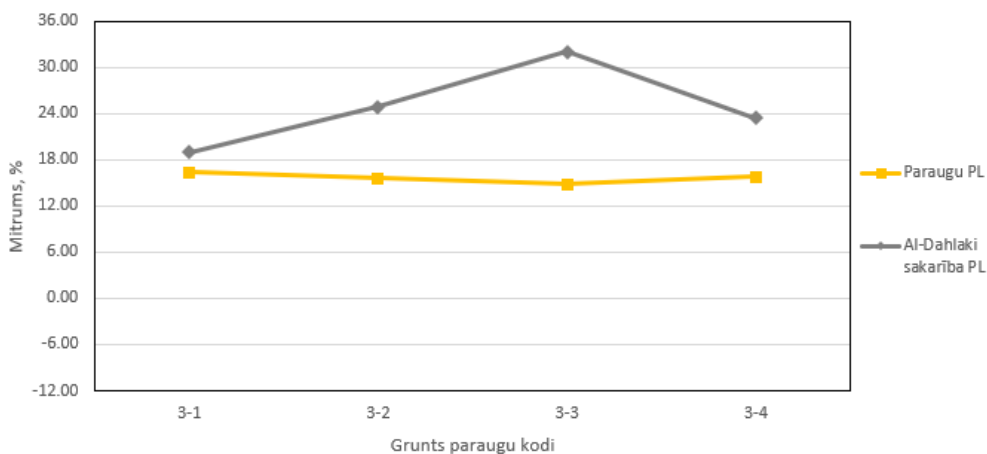
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarības novirzes variē no 1,33 % līdz 17,70 %, vidējā PL novirze ir 7,43% (5.35. attēls). Liepas māla karjera 2. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,15 % līdz 24,46 %, vidējā PL novirze ir 14,05 % (5.36. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā sakarības novirzes variē no 2,68 % līdz 17,15 %, vidējā PL novirze ir 9,18 % (5.37. attēls). Liepas māla karjera grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 9,87 %.



5.35. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskuma robežas, kuras iegūtas testos un Al-Dahlaki (2008) sakarības, kuras aprēķinātas izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un piedāvāto sakarību



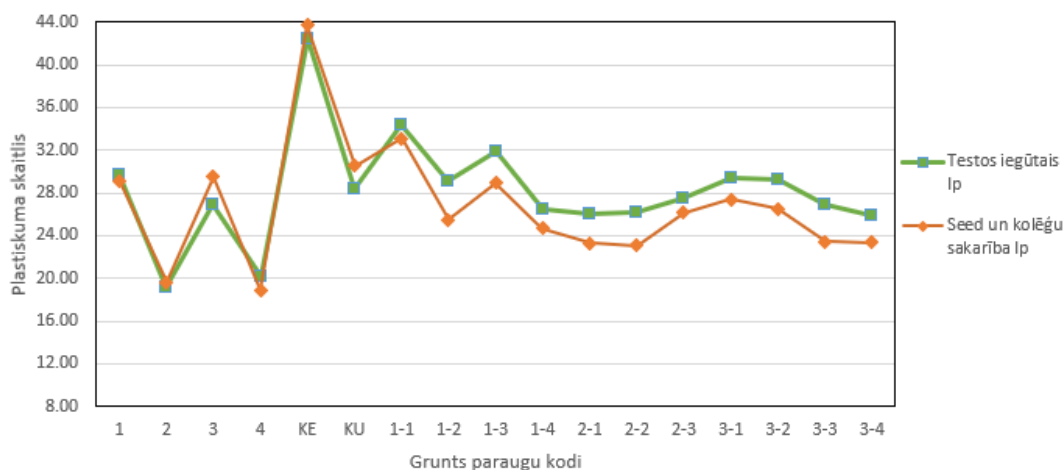
5.36. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskuma robežas, kuras iegūtas testos un Al-Dahlaki (2008) sakarības, kuras aprēķinātas izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un piedāvāto sakarību



5.37. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskuma robežas, kuras iegūtas testos un Al-Dahlaki (2008) sakarības, kuras aprēķinātas izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un piedāvāto sakarību.

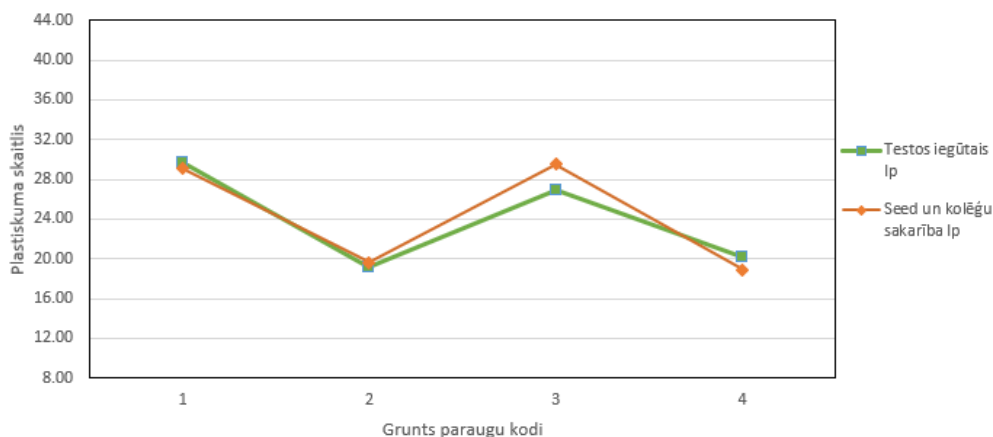
5.8. Plūstamības robežas un plastiskuma skaitļa sakarību pārbaude

Seed et al (1964) sakarība pārbaudīta izmantojot plūstamības robežu un plasticitātes skaitļa sakarību, kura tiek aprēķināta pēc (2.7) formulas. Grunšu paraugu iegūtie I_p vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem un pēc Seed sakarības, variē no 0,46 % līdz 3,60 %, vidējā PL novirze ir 2,14 % (5.38. attēls).

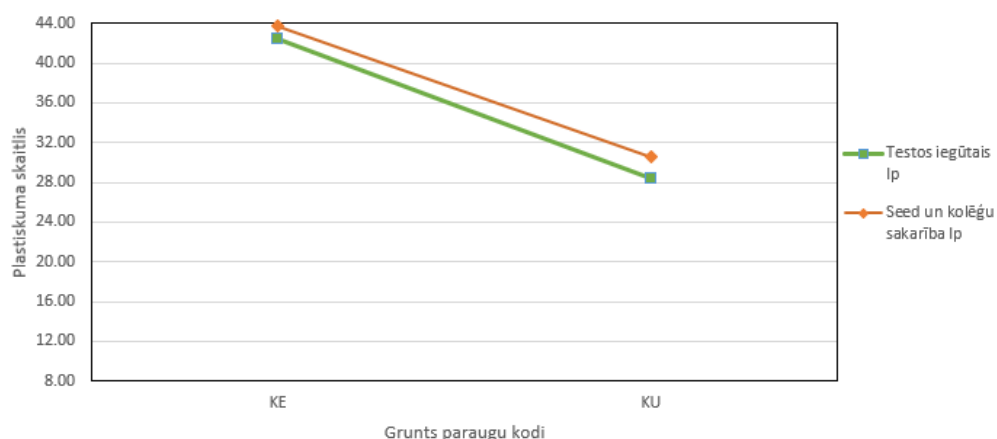


5.38. attēls. Grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Seed (1964) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip sakarības novirzes variē no 0,46 % līdz 2,69 %, vidējā Ip novirze ir 1,26 % (5.39. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga Ip novirze ir 1,31 %, bet Kupravas, 2,13 % (5.40. attēls).

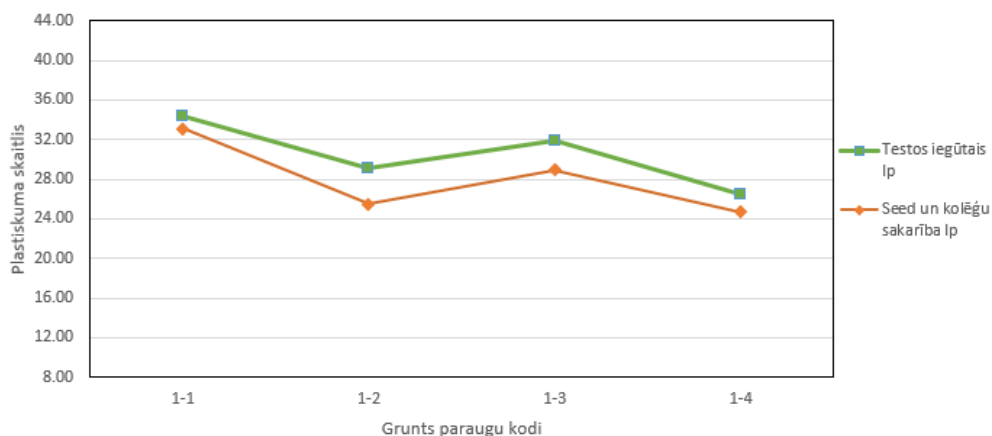


5.39. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Seed (1964) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

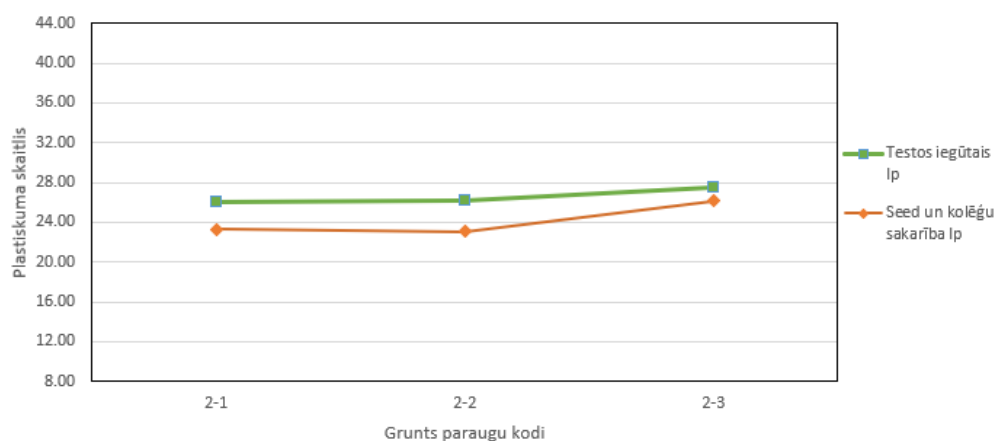


5.40. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Seed (1964) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

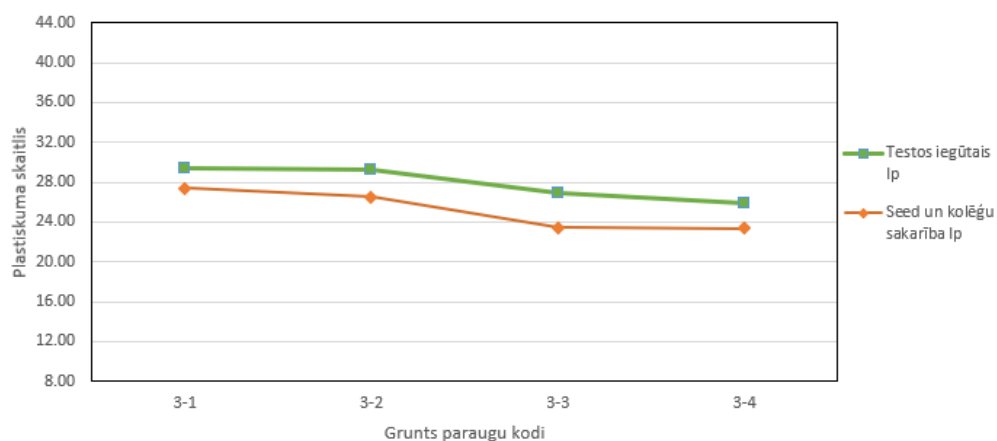
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarības novirzes variē no 1,30 % līdz 3,60 %, vidējā Ip novirze ir 2,44 % (5.41. attēls). Liepas mālā karjera 2. atseguma sakarības novirzes variē no 1,40 % līdz 3,12 %, vidējā Ip novirze ir 2,42 % (5.42. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā sakarības novirzes variē no 2,06 % līdz 3,47 %, vidējā Ip novirze ir 2,71 % (5.43. attēls). Liepas māla karjera grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 2,53 %.



5.41. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Seed (1964) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

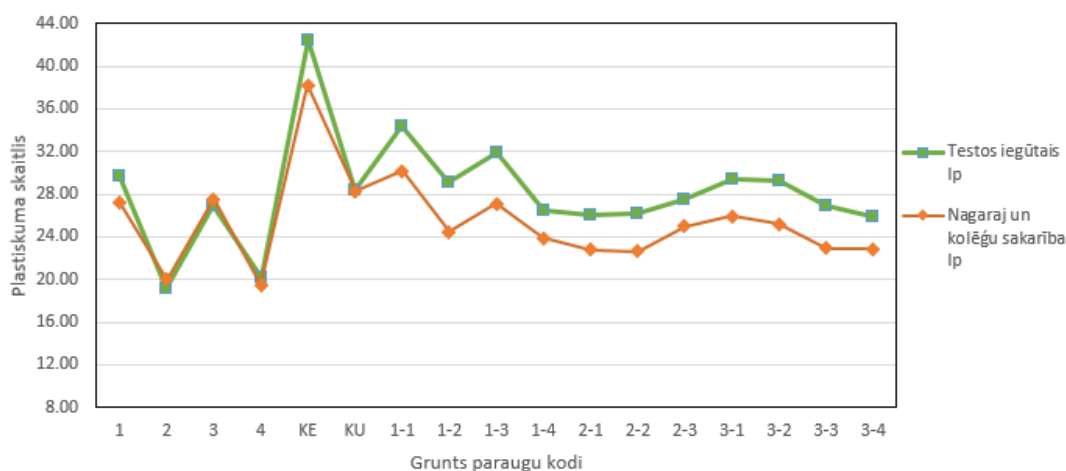


5.42. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Seed (1964) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības



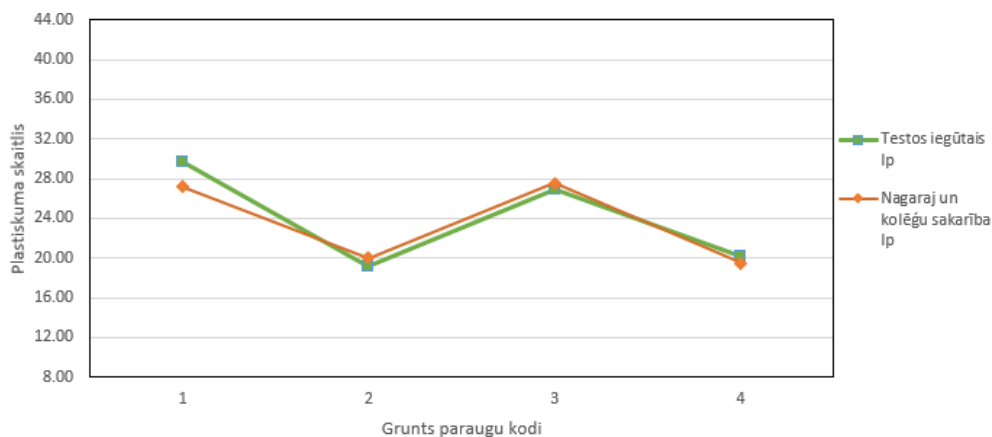
5.43. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Seed (1964) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Nagaraj et al. (1983) sakarība pārbaudīta izmantojot plūstamības robežas un plasticitātes skaitļa sakarību, kura tiek aprēķināta pēc (2.8) formulas. Grunšu paraugu iegūtie Ip vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem un pēc Nagaraj sakarības, variē no 0,14 % līdz 4,86 %, vidējā PL novirze ir 2,91 % (5.44. attēls).

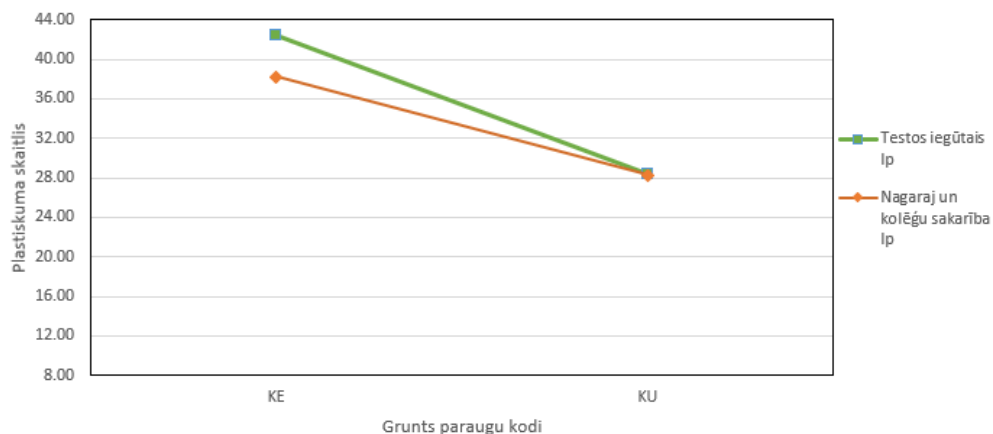


5.44. attēls. Grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Nagaraj (1983) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip sakarības novirzes variē no 0,62 % līdz 2,59 %, vidējā Ip novirze ir 1,19 % (5.45. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga Ip novirze ir 4,18 %, Kupravas, 0,14 % (5.46. attēls).

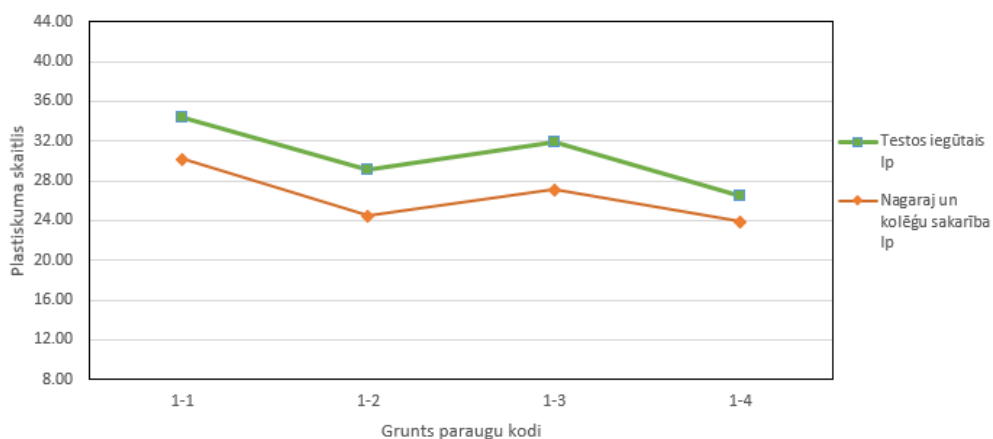


5.45. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Nagaraj (1983) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

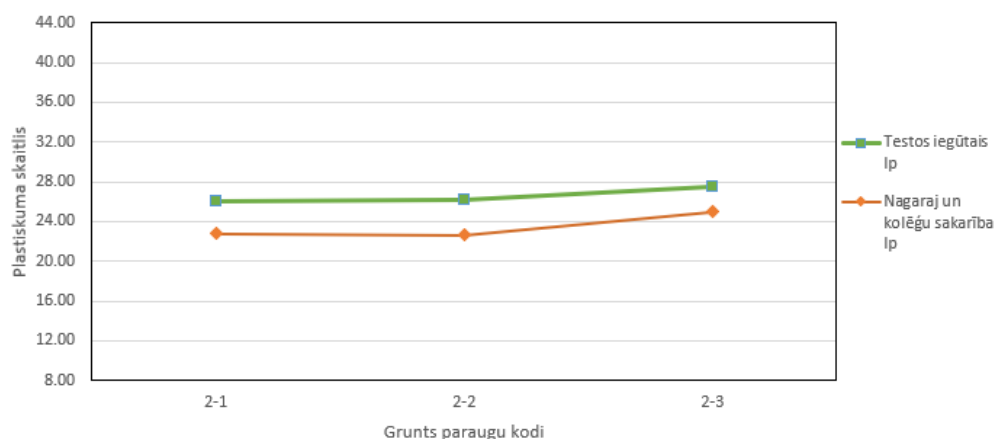


5.46. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Nagaraj (1983) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

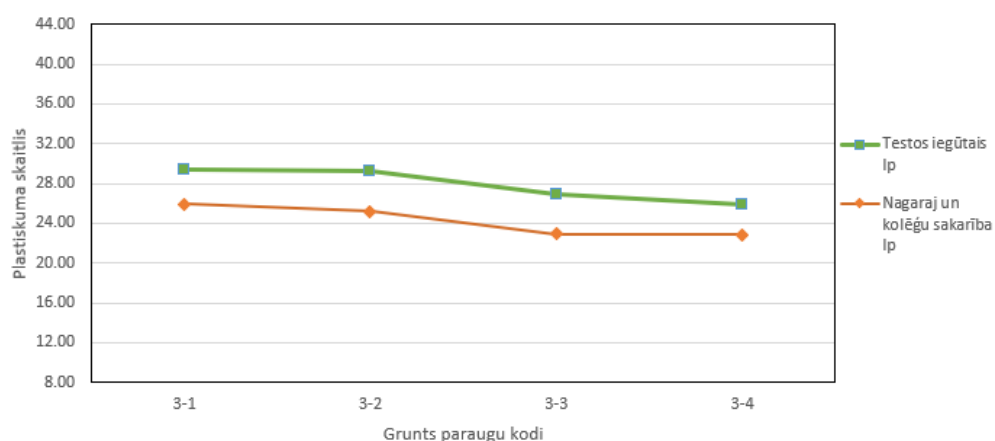
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarības novirzes variē no 2,68 % līdz 4,86 %, vidējā Ip novirze ir 3,85 % (5.47. attēls). Liepas māla karjera 2. atsegumā sakarības novirzes variē no 2,59 % līdz 3,55 %, vidējā Ip novirze ir 3,12 % (5.48. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā sakarības novirzes variē no 3,03 % līdz 4,04 %, vidējā Ip novirze ir 3,66 % (5.49. attēls). Liepas māla karjera grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 3,67 %.



5.47. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Nagaraj (1983) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

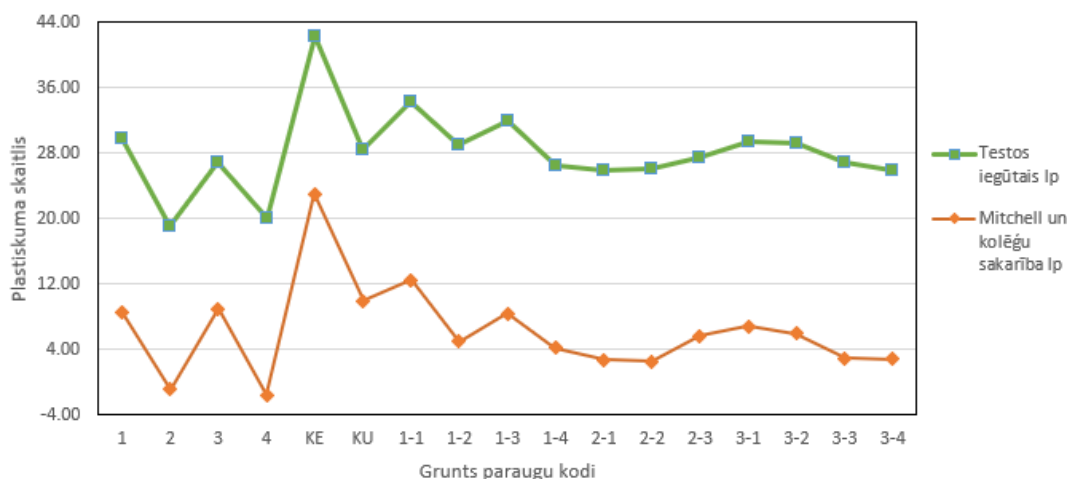


5.48. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Nagaraj (1983) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības



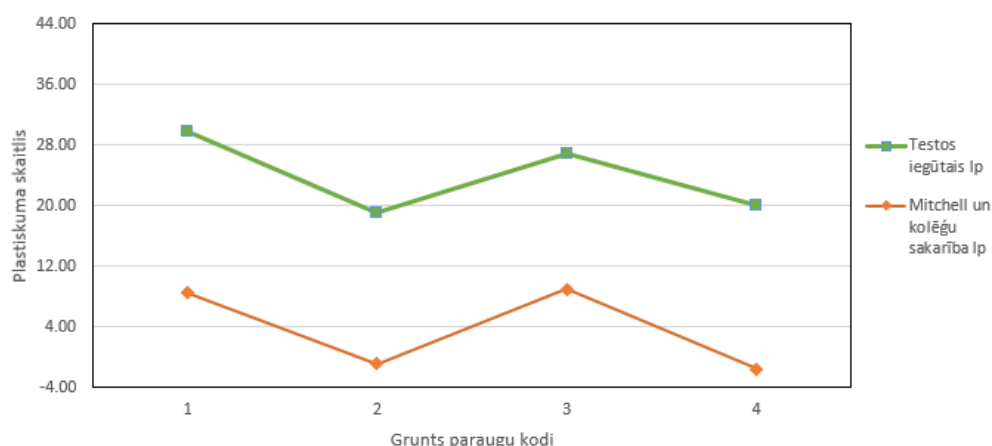
5.49. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Nagaraj (1983) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Mitchell et al. (2005) sakarība pārbaudīta izmantojot plūstamības robežas un plasticitātes skaitļa sakarību, kura tiek aprēķināta pēc (2.9) formulas. Grunšu paraugu iegūtie I_p vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem un pēc Mitchell sakarības, variē no 17,89 % līdz 24,14 %, vidējā PL novirze ir 21,91 % (5.50. attēls).

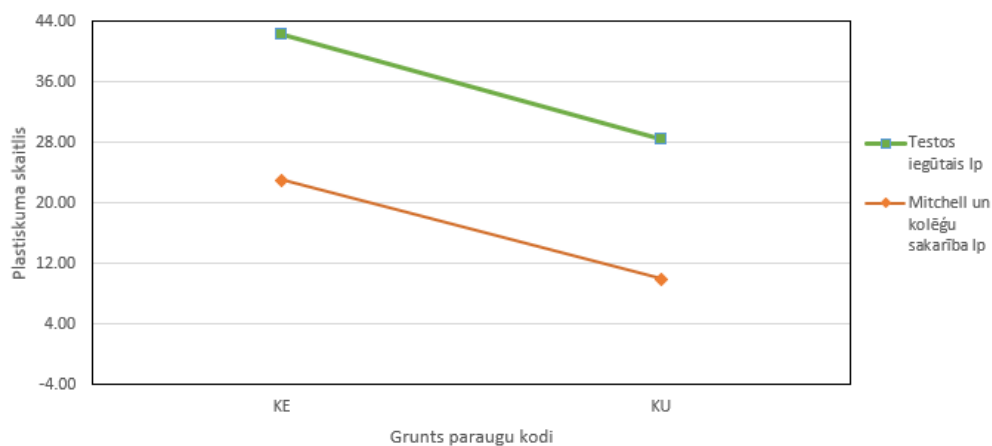


5.50. attēls. Grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Mitchell (2005) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip sakarības novirzes variē no 17,89 % līdz 21,67 %, vidējā Ip novirze ir 20,21 % (5.51. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga Ip novirze ir 19,42 %, bet Kupravas, 18,46 % (5.52. attēls).

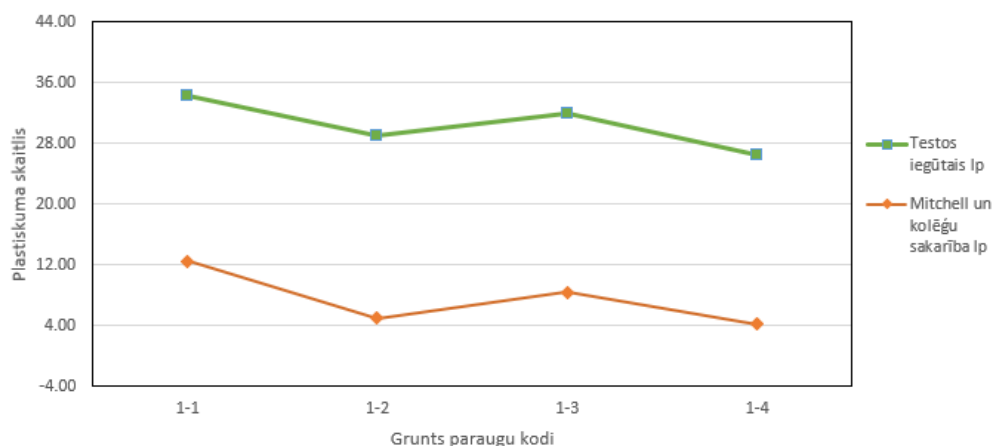


5.51. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Mitchell (2005) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

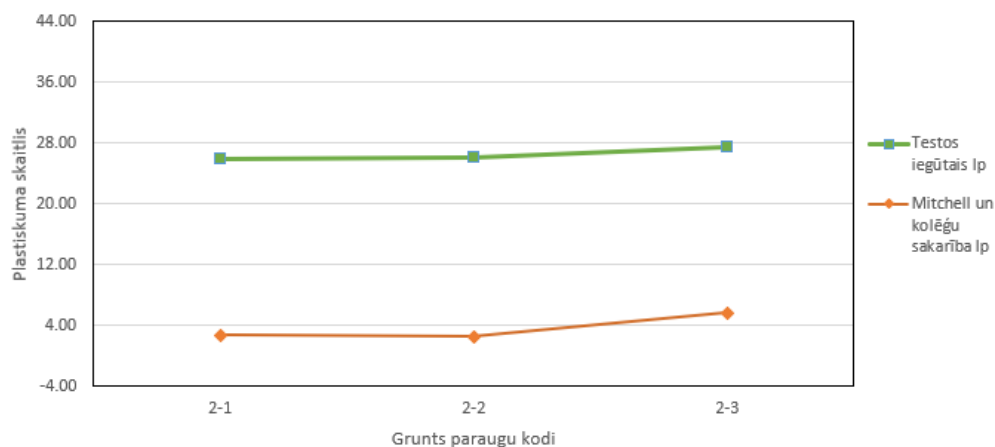


5.52. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Mitchell (2005) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

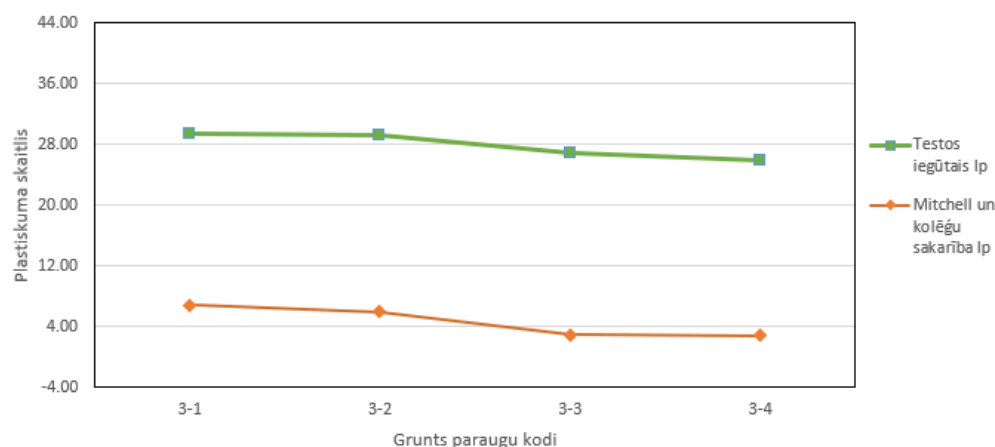
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarības novirzes variē no 21,92 % līdz 24,14 %, vidējā Ip novirze ir 23,00 % (5.53. attēls). Liepas māla karjera 2. atsegumā sakarības novirzes variē no 21,95 % līdz 23,64 %, vidējā Ip novirze ir 22,94 % (5.54. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā novirzes variē no 22,62 % līdz 23,99 %, vidējā Ip novirze ir 23,24 % (5.55. attēls). Liepas māla karjera grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 38,07 %.



5.53. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Mitchell (2005) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

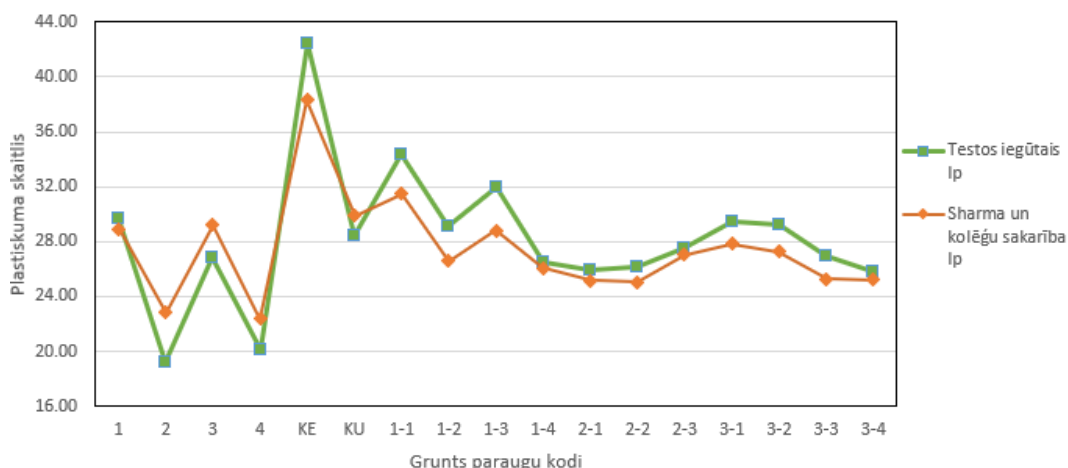


5.54. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Mitchell (2005) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības



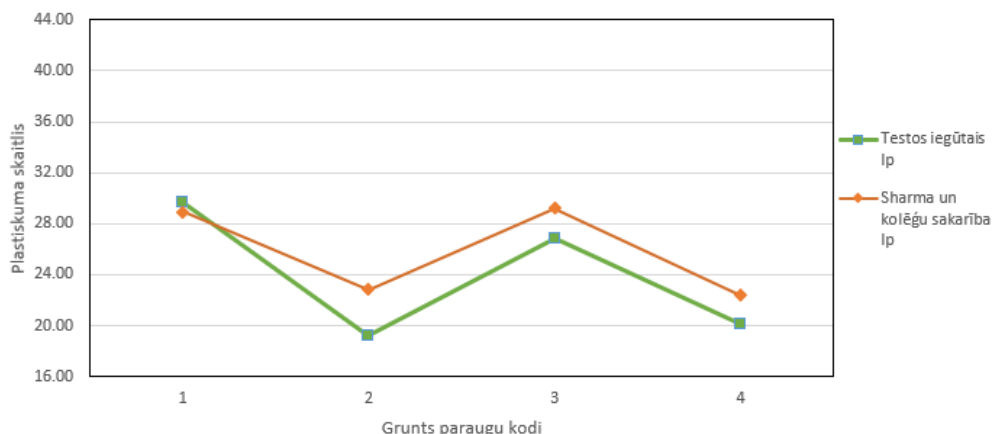
5.55. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Mitchell (2005) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Sharma et al. (2018) sakarība pārbaudīta izmantojot plūstamības robežas un plasticitātes skaitļa sakarību, kura tiek aprēķināta pēc (2.10) formulas. Grunšu paraugu iegūtie Ip vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem un pēc Sharma sakarības, variē no 0,44 % līdz 4,08 %, vidējā PL novirze ir 1,88 % (5.56. attēls).

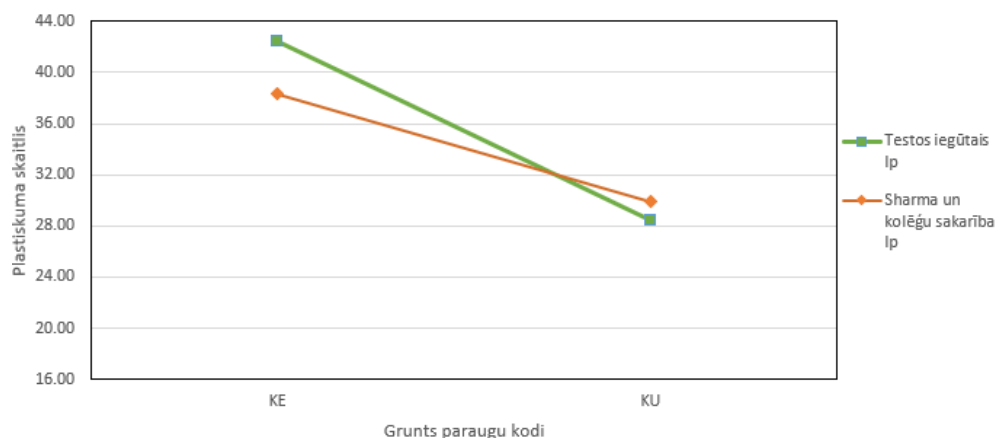


5.56. attēls. Grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Sharma (2018) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip sakarības novirzes variē no 0,84 % līdz 3,68 %, vidējā Ip novirze ir 2,29 % (5.57. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga Ip novirze ir 4,08 %, bet Kupravas, 1,44 % (5.58. attēls).

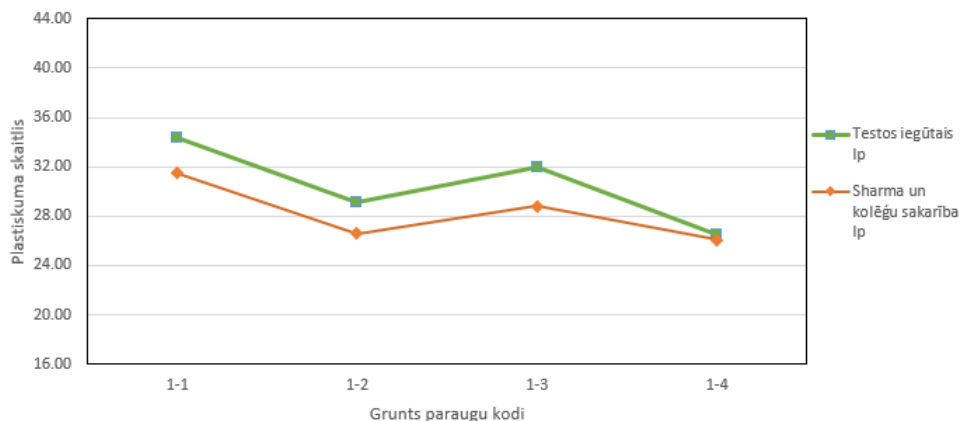


5.57. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Sharma (2018) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

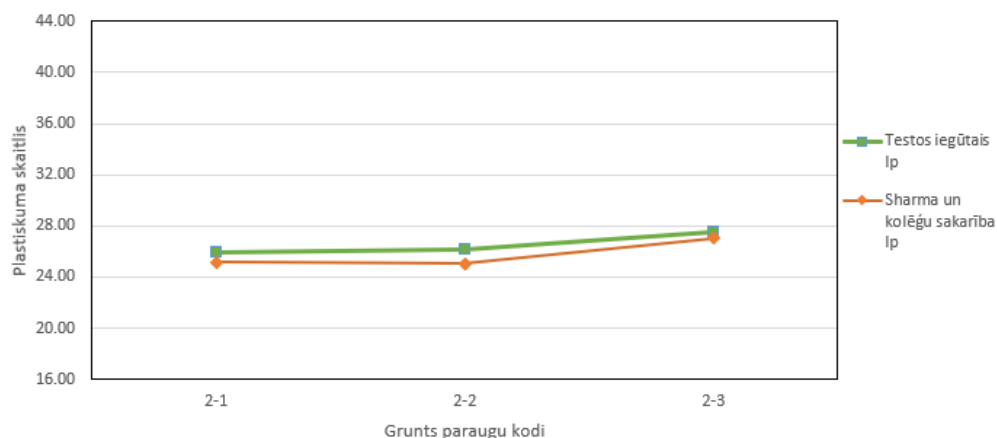


5.58. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Sharma (2018) sakārību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

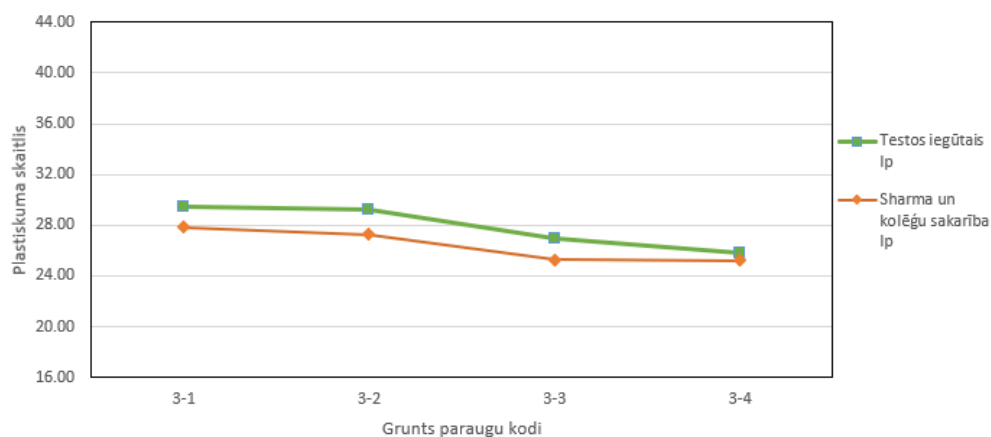
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,44 % līdz 3,10 %, vidējā Ip novirze ir 2,23 % (5.59. attēls). Liepas māla karjera 2. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,52 % līdz 1,13 %, vidējā Ip novirze ir 0,82 % (5.60. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,64 % līdz 2,01 %, vidējā Ip novirze ir 1,47 % (5.61. attēls). Liepas māla karjera grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 1,57 %.



5.59. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Sharma (2018) sakārību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

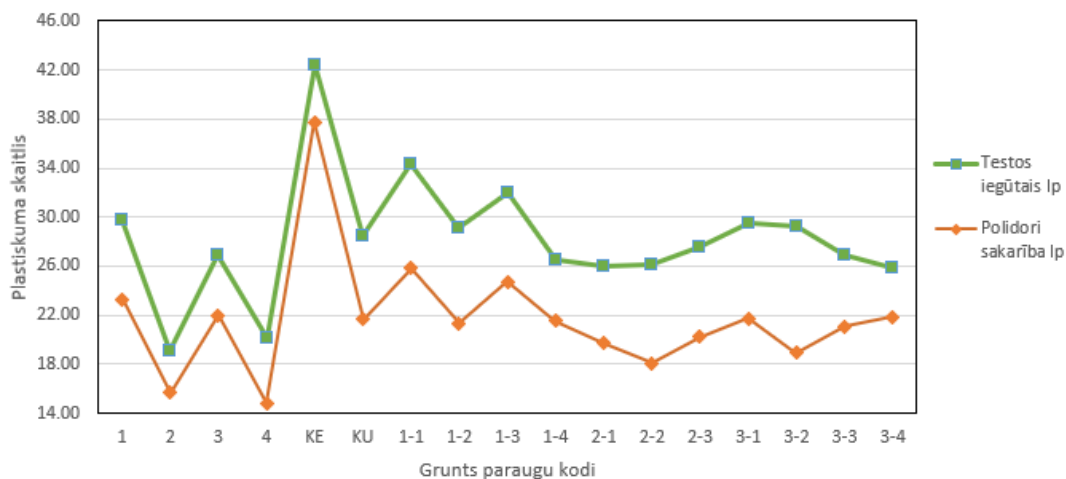


5.60. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Sharma (2018) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības



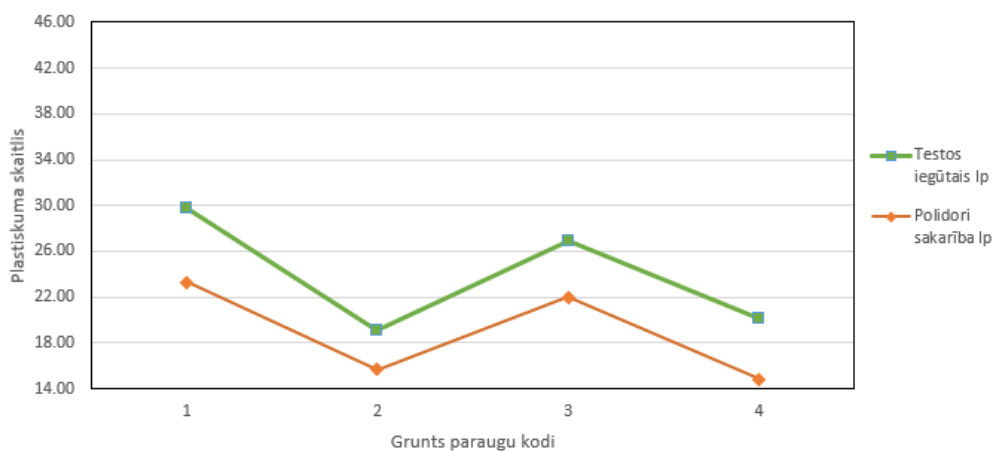
5.61. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Sharma (2018) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Polidori (2007) sakarība pārbaudīta izmantojot plūstamības robežas, māla daļiņu saturu paraugā un plasticitātes skaitļa sakarību, kura tiek aprēķināta pēc 2.11 formulas. Grunšu paraugu iegūtās I_p vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem un pēc Polidori sakarības, variē no 3,49 % līdz 10,36 %, vidējā PL novirze ir 6,44 % (5.62. attēls).

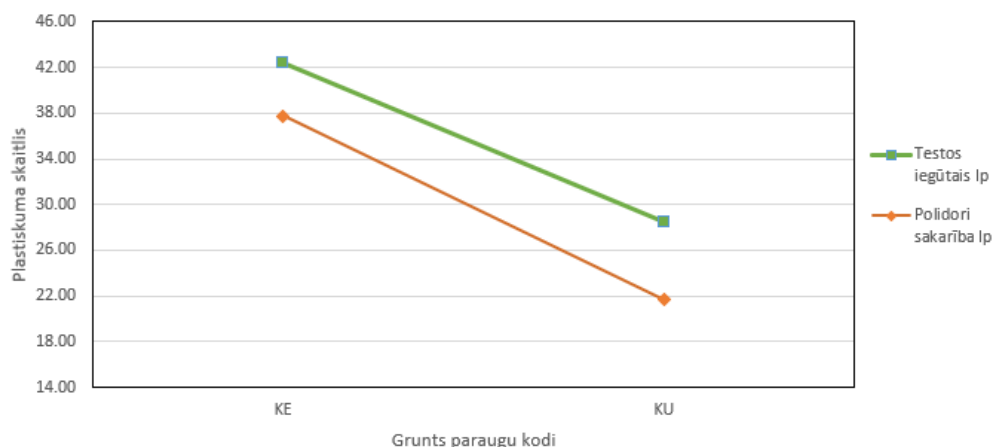


5.62. attēls. Grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Polidori (2007) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un māla saturu paraugā

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip sakarības novirzes variē no 3,49 % līdz 6,42 %, vidējā Ip novirze ir 5,02 % (5.63. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga Ip novirze ir 4,67%, Kupravas, 6,75 % (5.64. attēls).

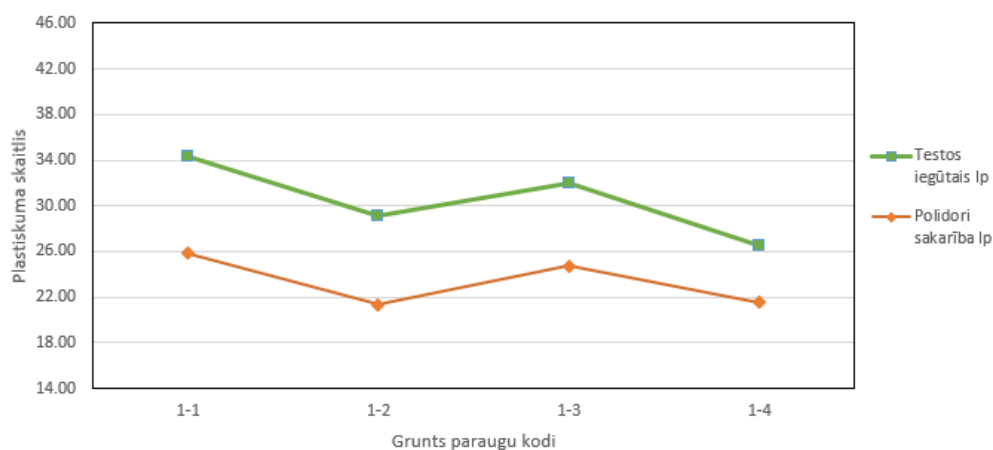


5.63. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Polidori (2007) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un māla saturu paraugā

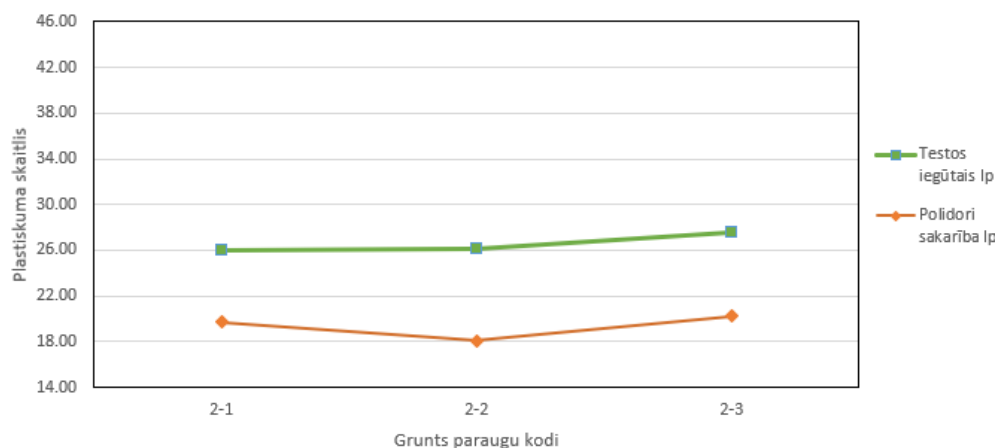


5.64. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Polidori (2007) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un māla saturu paraugā

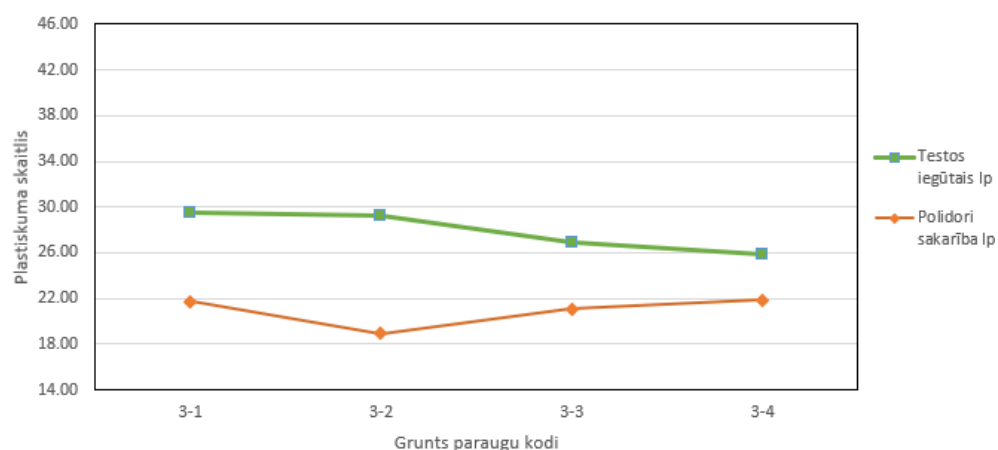
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarību novirzes variē no 5,00 % līdz 8,56 %, vidējā Ip novirze ir 7,12 % (5.65. attēls). Liepas māla karjera 2. atsegumā sakarības novirzes variē no 6,27 % līdz 8,09 %, vidējā Ip novirze ir 7,22 % (5.66. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā sakarības novirzes variē no 3,99 % līdz 10,36 %, vidējā Ip novirze ir 6,97 % (5.67. attēls). Liepas māla karjerā grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 7,09 %.



5.65. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Polidori (2007) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un māla saturu paraugā



5.66. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Polidori (2007) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un māla saturu paraugā

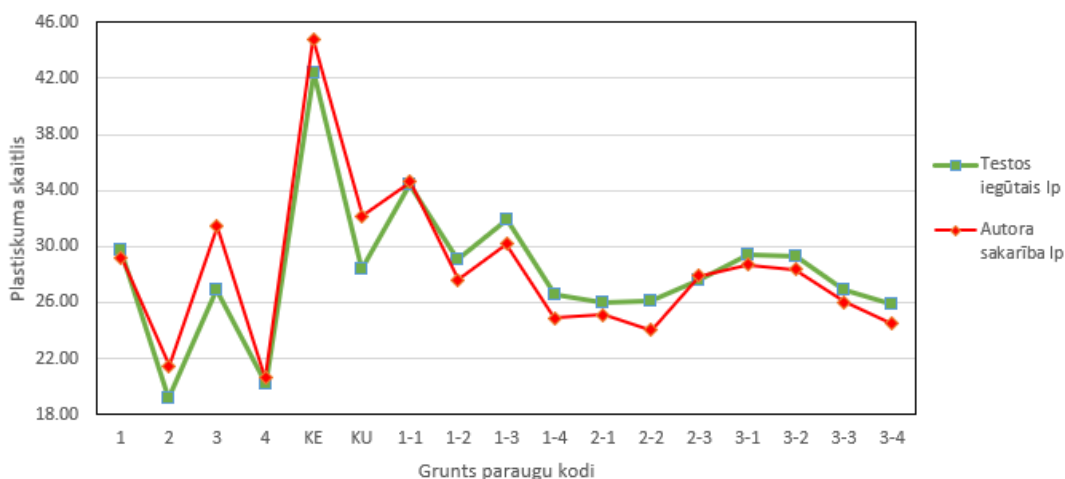


5.67. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot Polidori (2007) sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības un māla saturu paraugā

Autora izstrādātā sakarība iegūta analizējot 17 mālaino grunšu paraugu LL, izmantojot (2.4) formulu, tika atrasta sakarība, kur I_p tiek aprēķināts pēc (3.2) formulas.

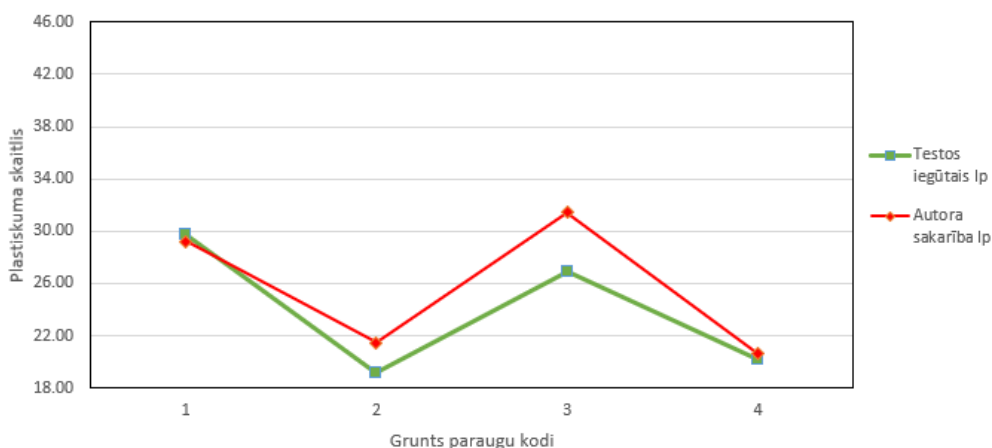
$$I_p = (a + b) + (a - 0,9) * 17 \quad (3.2)$$

Grunšu paraugu iegūtie I_p vērtības, kas aprēķinātas no testu rezultātiem un pēc autora sakarības, variē no 0,21 % līdz 4,57 %, vidējā PL novirze ir 1,55 % (5.68. attēls).

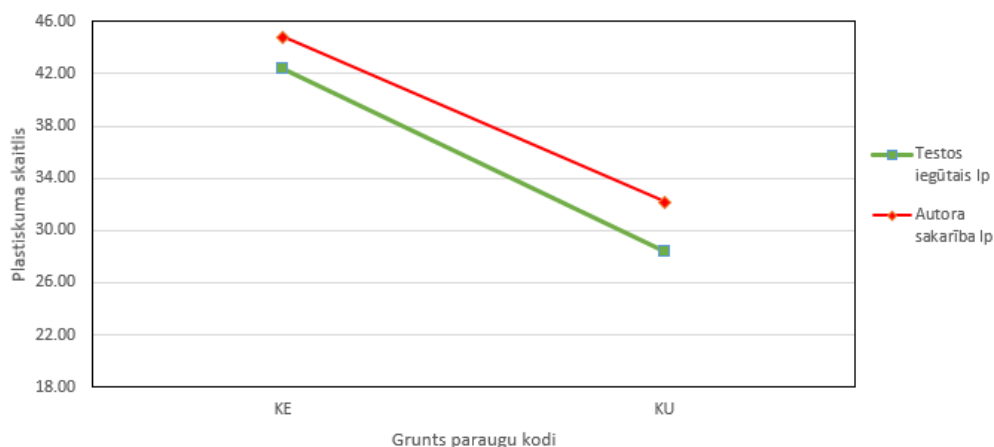


5.68. attēls. Grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot autora sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

Gaujas atseguma grunšu paraugu Ip sakarības novirzes variē no 0,49 % līdz 0,55 %, vidējā Ip novirze ir 1,97 % (5.69. attēls). Kundas māla karjera grunts parauga Ip novirze ir 2,43%, Kupravas, 3,73 % (5.70. attēls).

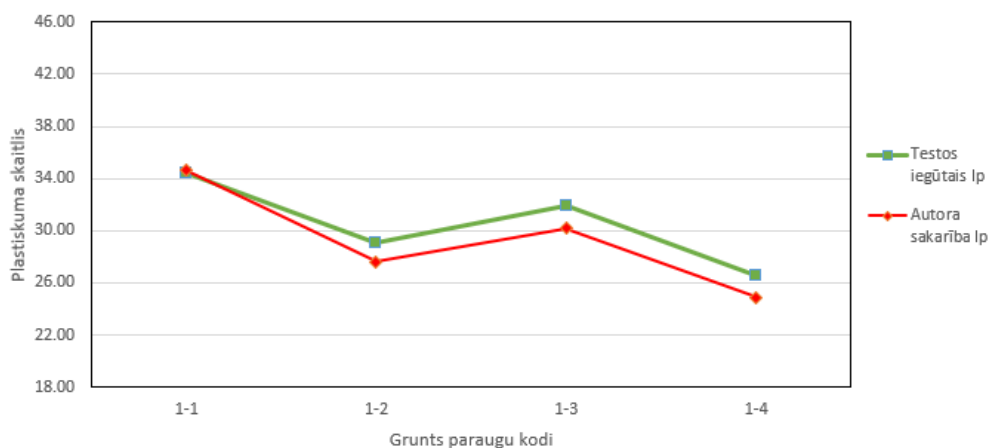


5.69. attēls. Gaujas atseguma grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot autora piedāvāto sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

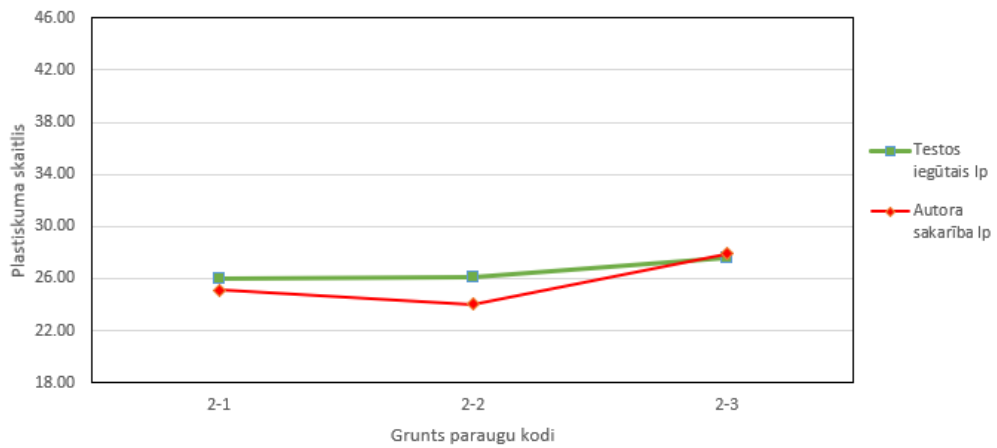


5.70. attēls. Kundas un Kupravas māla karjeru grunšu paraugu plastiskumu skaitļi, kuri aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot autora piedāvāto sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

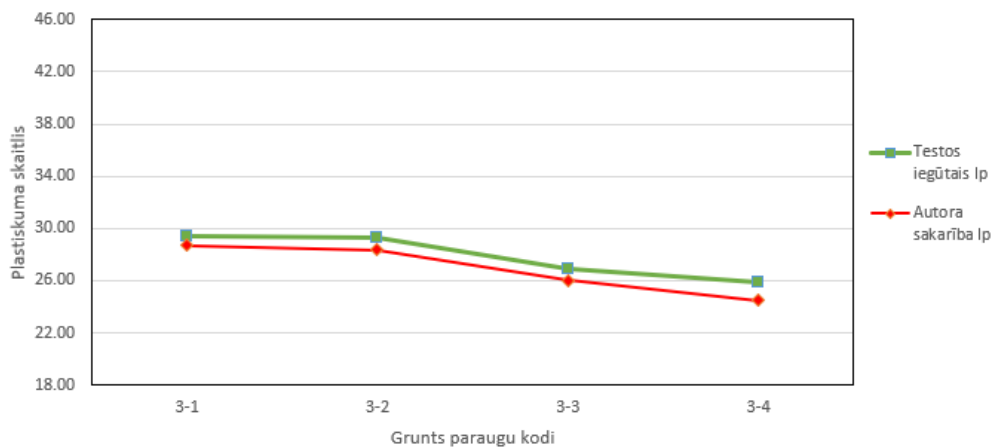
Liepas māla karjera 1. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,21 % līdz 1,73 %, vidējā Ip novirze ir 1,26 % (5.71. attēls). Liepas māla karjera 2. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,33 % līdz 2,15 %, vidējā Ip novirze ir 1,12 % (5.72. attēls). Liepas māla karjera 3. atsegumā sakarības novirzes variē no 0,77 % līdz 1,39 %, vidējā Ip novirze ir 0,99 % (5.73. attēls). Liepas māla karjerā grunšu paraugu sakarības vidējā novirze ir 1,12 %.



5.71. attēls. Liepas māla karjera 1. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot autora piedāvāto sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības



5.72. attēls. Liepas māla karjera 2. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot autora piedāvāto sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības



5.73. attēls. Liepas māla karjera 3. atseguma grunšu paraugu plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot testos iegūtās plastiskumu un plūstamību robežu vērtības un plastiskuma skaitļi, kas aprēķināti izmantojot autora piedāvāto sakarību, izmantojot testos iegūtās plūstamību robežu vērtības

DISKUSIJA

Iegūtie rezultāti pierāda, ka pasaulē izstrādātās korelācijas (2.3. un 2.4. nodaļas) māla plastiskuma robežas noteikšanai nav tieši piemērojamas vai izmantojamas darbā pētītajām mālainajām gruntīm. Parasti korelācijas tiek izstrādātas konkrēta reģiona māliem, attiecīgi tās ir izmantojamas tikai noteikta mineraloģiskā sastāva gruntīm. Pētījuma gaitā, lai izstrādātu sakarību, tika veikti vairāki testi un aprēķini, lai noteiktu grunšu fizikālās īpašības un izvērtētu to ietekmi uz Atterberga robežām.

Iegūtie dati (6.1. tabula) liecina, ka māla saturs gruntī nav noteicošais faktors, kas ietekmē grunts plastiskuma un plūstamības robežu. Grunts paraugos 2-1 un 2-2 ir gandrīz vienāds smalknes daudzums attiecīgi 95,36 % un 95,6 %, kā arī gandrīz vienāda plastiskuma robeža (15,61 % un 15,2 %). Arī plūstamības robežas ir gandrīz vienādas (41,59 % un 41,37 %), rezultātā arī plastiskuma skaitlis ir līdzīgs (25,98 % un 26,16 %), bet māla daļiņu daudzums paraugos atšķiras vairāk nekā par 5 % (39,55 % un 44,76 %) (6.1.tabula). Teorētiski Polidori (2007) piedāvātajai sakarībai, kurā viens no mainīgajiem parametriem ir māla frakcijas procentuālais daudzums (2.12. formula), būtu jābūt vislabāk salīdzināmai ar konvencionālajām metodēm noteiktajai PL, tomēr pat nelielas māla satura atšķirības būtiski ietekmē aprēķinātās PL vērtības.

6.1. tabula

Mālaino grunšu paraugu fizikālās īpašības

Parauga kods	Dabiskais mitrums W, %	Smalkne %	Plūstamības robeža LL, %	Plastiskuma robeža PL, %	Plastiskuma skaitlis Ip	Grunts cieto daļiņu blīvums ρd, Mg/m ³	Māla saturs, daļiņas <0,002 mm, %	Mālu aktivitāte A	Klasifikācija pēc LVS EN ISO 14688-2:2018
1	25,30	99,96	47,50	17,74	29,74	2,74	47,23	0,63	CIM
2	25,61	99,76	37,88	18,71	19,16	2,72	41,12	0,47	CIM
3	27,26	99,72	48,01	21,15	26,86	2,69	54,13	0,50	CIM
4	25,52	99,88	37,18	17,05	20,13	2,64	41,85	0,48	CIM
KE	3,40	99,76	62,46	20,06	42,40	2,76	47,05	0,90	CIH
KU	4,72	95,00	49,05	20,61	28,44	2,79	59,23	0,48	CIM
1-1	15,74	98,24	51,62	17,23	34,39	2,81	52,79	0,65	CIH
1-2	16,51	98,43	43,87	14,78	29,09	2,70	41,29	0,70	CIM
1-3	15,41	91,85	47,39	15,46	31,93	2,69	41,39	0,77	CIM
1-4	14,17	98,81	43,04	16,51	26,53	2,76	37,64	0,70	CIM
2-1	12,54	95,36	41,59	15,61	25,98	2,75	39,29	0,66	CIM
2-2	13,07	95,60	41,36	15,20	26,16	2,67	44,76	0,58	CIM
2-3	12,81	97,68	44,54	16,98	27,55	2,66	48,08	0,57	CIM
3-1	12,49	98,96	45,81	16,36	29,45	2,74	47,11	0,63	CIM
3-2	15,62	98,40	44,90	15,63	29,27	2,65	54,60	0,54	CIM
3-3	13,56	91,84	41,76	14,86	26,90	2,74	34,64	0,78	CIM
3-4	12,17	87,08	41,68	15,81	25,87	2,73	31,26	0,83	CIM

Novērtējot smalknes daudzumu paraugos (6.1. tabula), redzams, ka mālainām gruntīm tas nav noteicošais faktors, kurš ietekmē to plastiskuma un plūstamības robežas. Paraugos 4 un 3-4 smalknes daudzums atšķiras par 12,80 %, attiecīgi veido 87,08 % un 99,88 % no parauga masas, un plastiskuma robežas ir 17,05 % un 15,81%, tādējādi to atšķirība ir tikai 1,24%, arī noteiktās plūstamības robežas (37,18 % un 41,68 %) iepriekšminētajiem paraugiem atšķiras tikai par 4,5%. Iegūtie rezultāti liecina, ka gruntīm kam ir mazāks smalknes saturs var būt lielāka plastiskuma un plūstamības robeža, arī pie nosacījuma, ka māla saturs ir mazāks.

Grunšu plastiskuma robežas sakarības nav atkarīga no māla aktivitātes (5.6. nodaļa un 6.1. tabula). Paraugu 3-2 3-4 aktivitāte ir 0,54 un 0,83, lai gan to plastiskuma robežas ir gandrīz identiskas (15,63 % un 15,81 %). Viss uzskatāmāk tas ir redzams, salīdzinot KE un KU mālu aktivitāti (6.1. tabula), kas atšķiras gandrīz par pusi (0,9 un 0,48), tomēr plastiskuma robežas ir gandrīz vienādas (20,06 % un 20,61 %). Visticamāk tam iemesls ir mālu minerālu sastāva atšķirība.

Grunšu cieto daļiņu blīvums neietekmē to plūstamības un plastiskuma robežas. Paraugu KE un 1-4 cieto daļiņu blīvumi ir identiski (2,76 Mg/mg³), tomēr to plūstamības robežas ir 62,46 % un 43,04 %, arī plastiskuma robežas atšķiras (20,06 % un 16,51 %).

Iegūtajos rezultātos salīdzinātas, dažādu autoru piedāvātās plūstamības robežas un plastiskuma skaitļa, robežu sakarības (6.2. tabula). Al-Dahlaki et al. (2008) sakarība ir ļoti neprecīza, jo tiek izmantota viena punkta metode. Izmantojot tikai vienu konusa iegrimes punktu, netiek veikta datu verifikācija, tie var būt kļūdaini vai neprecīzi, piemēram, ja paraugs ir neviendabīgs un nav kārtīgi samaisīts, vai testa laikā, laborants ir pieļāvis kādu neprecīzu darbību.

Seed et al. (1964) sakarība nav izmantojama PL aprēķināšanai grunts paraugiem, jo grunts paraugiem no Liepas māla atradnes, visi iegūtie rezultāti ir pārāk mazi, vidēji par 2,53 %. Izstrādātā sakarība ir domāta mālainajām gruntīm, kuras sastāv no bentonīta - kaolinīta mālu minerāliem, pētījuma grunšu dominējošais mālu minerāls ir illīts. Nagaraj et al. (1983) izstrādātā sakarība, lai arī ir iegūta izmantojot dažādas mālanās gruntis, ir precīza tikai kvartāra un Kupravas grunts paraugiem, pārējiem grunšu paraugiem tā ir mazāka par vismaz 3%.

Mitchell et al. (2005) piedāvātā sakarība veido vislielākās atšķirības, salīdzinot to ar konvencionālo metodi. Pēc sakarības aprēķinātie plastiskuma skaitļi atsevišķiem paraugiem ir negatīvi (6.2. tabula), kas praktiski nav iespējams. Visticamāk lielās novirzes no reālā Ip ir skaidrojamas ar to, ka Mitchell et al (2005) sakarība ir paredzēta mālainajām gruntīm, kuras galvenokārt sastāv no smektītu mālu minerāliem. Kā zināms, smektīts daudz vairāk absorbē

apkārtējās vides mitrumu, tāpēc to plūstamības robeža un plastiskuma skaitlis ir daudz lielāks nekā illītu minerālus saturošās mālainajās gruntīs.

Iegūtie rezultāti liecina, ka vismazākās novirzes no laboratorijā iegūtajiem rezultātiem un aprēķinātajiem I_p (6.2. tabula) ir Sharma et al (2018) izstrādātajai korelācijai. Iegūtās sakritības ir skaidrojamas ar to, ka iepriekšminētā korelācija iegūta analizējot paraugus, kuru plastiskuma un plūstamības robežas ir salīdzināmas un iekļaujas šī pētījumā analizēto paraugu plastiskuma un plūstamības robežas intervālos.

Polidori (2007) sakarības testam teorētiski vajadzētu būt ļoti precīzam, jo tiek izmantoti vairāki mainīgie, tomēr salīdzinot rezultātus, ir novērojamas nesakritības un novirzes. Paraugiem 3-2 un 3-3 plastiskuma skaitļi ir 29,27 un 26,90 (6.1. tabula), aprēķinot pēc sakarības tie ir 18,91 un 21,09, 3-2 parauga plastiskuma skaitlis ir iegūts daudz mazāks nekā 3-3, kaut gan to faktiski, 3-2 parauga plastiskuma skaitlis ir lielāks nekā 3-3 (6.2. tabula). Tādējādi mainīgie formulas koeficienti tieši ietekmē iegūstamo rezultātu.

6.2. tabula

Dažādu sakarību salīdzinājums katram paraugam

Parauga kods	Parauga PL	Al-Dahlaki PL	Parauga I_p	Seed I_p	Nagaraj I_p	Mitchell I_p	Sharma I_p	Polidori I_p	Autora I_p
1	17,74	4,37	29,74	29,05	27,15	8,47	28,90	23,32	29,19
2	18,71	22,13	19,16	16,62	20,03	-0,86	22,84	15,67	21,44
3	21,15	27,86	26,86	29,55	27,53	8,97	29,22	22,01	31,43
4	17,05	19,53	20,13	18,93	19,51	-1,54	22,39	14,81	20,62
KE	20,06	20,97	42,40	43,71	38,22	22,98	38,32	37,73	44,83
KU	20,61	26,27	28,44	30,57	28,30	9,98	29,88	21,69	32,17
1-1	17,23	24,87	34,39	33,09	30,20	12,47	31,49	25,83	34,60
1-2	14,78	44,83	29,09	25,49	24,46	4,95	26,61	21,38	27,64
1-3	15,46	32,18	31,93	28,94	27,07	8,37	28,83	24,73	30,21
1-4	16,51	19,29	26,53	24,68	23,85	4,15	26,09	21,53	24,87
2-1	15,61	33,16	25,98	23,26	22,77	2,74	25,17	19,71	25,10
2-2	15,20	15,35	26,16	23,04	22,61	2,52	25,03	18,07	24,01
2-3	16,98	-7,48	27,55	26,15	24,96	5,60	27,03	20,25	27,88
3-1	16,36	19,04	29,45	27,39	25,90	6,83	27,83	21,73	28,68
3-2	15,63	24,91	29,27	26,50	25,23	5,95	27,26	18,91	28,38
3-3	14,86	32,01	26,90	23,43	22,90	2,91	25,28	21,09	26,00
3-4	15,81	23,42	25,87	23,34	22,84	2,83	25,23	21,88	24,48

Pētījuma gaitā autors izstrādājis sakarību un iegūtie rezultāti liecina par tās augsto precizitāti (6.2. tabula), tomēr situācijās, kad $a > 32,5$ vai $b < 0,56$ aprēķinātais I_p atšķiras par 6,39 %, 4,51 % un 2,27 % 3., KU, un 2. paraugiem (6.3. tabula). Lai novērstu šīs kļūdas, būtu nepieciešams pilnveidot sakarību un pārbaudot to lielākam daudzumam paraugu. Ņemot vērā, ka autora pētītajos grunts paraugos dominējošais mālu minerāls ir illīts, autora sakarību var izmantot tikai illīta minerālu mālainajām gruntīm.

6.3. tabula

Katra parauga a un b vērtības un autora sakarības rezultāti

Paraugu kods	Parauga I_p	Parauga LL	a vērtība	b vērtība	Autora sakarība: $I_p = (a+b) + (a-0,9) * 17$
1	29.74	47.499	1.50	17.59	29.21
2	19.16	37.878	0.56	26.76	21.54
3	26.86	48.008	0.64	35.22	31.44
4	20.13	37.175	0.67	24.63	21.39
KE	42.4	62.457	1.16	39.19	44.83
KU	28.44	49.052	0.79	33.29	32.18
1-1	34.39	51.622	0.86	34.40	34.60
1-2	29.09	43.865	0.46	34.57	27.64
1-3	31.93	47.388	0.94	28.56	30.21
1-4	26.53	43.037	1.43	14.37	24.87
2-1	25.98	41.587	0.59	29.71	25.03
2-2	26.16	41.363	1.03	20.85	24.09
2-3	27.55	44.537	0.68	30.99	27.93
3-1	29.45	45.807	0.91	27.54	28.62
3-2	29.27	44.899	0.61	32.67	28.35
3-3	26.9	41.762	0.23	37.11	25.95
3-4	25.87	41.6784	1.01	21.67	24.55

SECINĀJUMI

Laboratorisko pētījumu rezultāti ļauj secināt, ka mālaino grunšu plastiskuma un plūstamības robežas ir atkarīgas no mālu minerālu tipa, nevis mālu daļiņu vai smalknes satura procentuālā daudzuma.

Grunts cieto daļiņu blīvums neietekmē plastiskuma un plūstamības robežas, būtiskāk ietekmējošais parametrs ir grunts daļiņu izmēru sadalījums.

Plastiskuma īpašības vairāk ir atkarīgas no mālu ģenēzes, nevis to ģeoloģiskās vecuma, par ko liecina Kundas un Kupravas mālu atradnēs iegūtie paraugi, kuriem ir visaugstākā plūstamības robeža un plastiskuma skaitlis.

Iegūtie rezultāti par mālainajām gruntīm ļauj secināt, ka to plastiskumu robežu vērtību intervāls ir daudz mazāks par plūstamības robežu intervāliem, un paraugu plastiskums variē no vidēja (15) līdz augstam (2).

Viena atseguma ietvaros grunšu fizikālās īpašības variē, lai iegūtu statistiski korektus rezultātus un izstrādātu plastiskuma skaitļa korelāciju ar krītošā konusa metodi nepieciešams veikt grunts fizikālos testus katram slānim, lai objektīvi novērtētu ietekmējošos faktorus.

Pētījuma rezultāti pierāda, ka vismazāko atšķirību no laboratoriski iegūtās plastiskuma skaitļa vērtības, izmantojot plūstamības robežu, sniedz Sharma et al (2018) sakarība, kas ir izmantojama dažādu mālu minerālu saturošām mālainajām gruntīm, savukārt vislielākās novirzes sniedz Mitchell et al. (2005) sakarība, kas izstrādāta smektītu mālu minerālus saturošām gruntīm.

Izstrādājot plastiskuma skaitļa korelācijas, lai tās statistiski būtu pierādītas, ir nepieciešams veikt daudzus mālaino grunšu testus, kā arī ir jāveic eksperimenti ar aleirīta un mālu frakciju proporcijām, lai pierādītu korelācijas izmantojamību konkrētiem smalknes vai māla proporcijas intervāliem.

Zinot mālainās grunts mālu mineraloģisko sastāvu, daļiņu sadalījumu un plūstamības robežu ir iespējams paredzēt to plastiskuma robežu, tomēr zinot tikai mālainās grunts LL nav iespējams precīzi noteikt tās PL.

Pētījuma laikā iegūtā pieredze norāda, ka lai autora piedāvātā sakarība būtu precīza, ir jāizmanto vairāk par četriem krītošā konusa punktiem, kas ļauj iegūt precīzākus a un b mainīgos.

Pētījumus būtu vēlams turpināt, jo autora izstrādātās sakarības koncepts agrāk nav ticis izmantots un tam ir augsts potenciāls un lietišķa nozīme. Mainīgais b norāda, cik strauji mainīsies grunts plastiskums atkarībā no ūdens satura tajā, tādējādi ir nepieciešams noskaidrot pie kāda ūdens satura mālainajā gruntī, tās plastiskums un plūstamība nemainās lineāri mainoties ūdens saturam.

Pētījumā iegūtie rezultāti un to izvērtējums ļauj konstatēt, ka pētījuma mērķis ir sasniegts un galvenie izvirzītie uzdevumi ir sasniegti.

PATEICĪBA

Autors izsaka pateicību darba vadītājam asoc. prof., Dr. Ģeol. Mārim Krievānam par sniegtajiem padomiem un konsultācijām, kā arī palīdzību lauka pētījumos. Paldies asoc. prof., Dr. Ģeol. Ģirtam Stinkulim par ieteikumu sniegšanu. Paldies arī studiju biedriem, īpašs paldies, Līgai Salmiņai, Inesei Grīnbaumai, Janai Būdniecei un Kristīnei Molnarei.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra:

- Al-Dahlaki, M.H., Al-Sharify, G.A. 2008. A Proposed Approach for Plastic Limit Determination Using the Drop-Cone Penetrometer Device. *Journal of Engineering and Development*. 12(1), 107-1017.
- Barton C.D., Karathanasis A.D. 2002. Clay minerals. *Encyclopedia of Soil Science*. New York, Dekker, 187-192.
- Baver, L.D. 1932. The relation of exchangeable cations to the physical properties of soils. *Agron J.* 20, 921-941.
- Bolt, G.H. 1955. *Analysis of the validity of the Gouy-Chapman theory of the electric double layer*. New York, Department of Agronomy.
- Bretreger, A. 2015. Plasticity testing. *Technical Guide L-G-003*. Transport Roads and Maritime Service. 1-17.
- Burmister, D.M. 1949. Principles and techniques of soil identifications. *Proceeding of Highway Research Board* 402-433.
- Campbell, D.J. 2006. Plastic limit determination using drop-cone penetrometer. *European Journal of Soil Science*. 27(3), 295-300.
- Casagrande, A. 1932. Research on Atterberg Limits of Soils. *Public Roads*. 13, 121-146.
- Chen. H.F. 1975. Nature of expansive soils. *Foundations on expansive soils*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 6-31.
- Firoozi, A.A., Firoozi, A.A., Baghini, M.S. 2016. A Review of Clayey Soils. *Asian Journal of Applied Sciences*. 4(6), 1319-1330.
- Guggenheim, S. 1995. Definition of clay and clay mineral. Joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*. 63(2), 255-256.
- Hansbo, S. 1957. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall cone test. *Proceedings of the Royal Swedish Geotechnical Institute*. 14 1-48.
- Ishaque, F., Hoque, M.N., Rashid, M.A. 2010. Determination of plastic limit of some selected soils using rolling device. *Progress. Agric.* 21(2), 187-194.
- Kirsimäe, K., Jorgensen, P., Kalm, V. 1999. Low – temperature diagenetic illite-smectite in Lower Cambrian clays in North Estonia. *Clay Minerals*. 34, 151-163.

- Kirsimäe, K., Means, K. 2004. Kunda clay quarry. *WOGOGOB-2004 Conference*. Tartu, Estonia, 133-134.
- Koumoto, T., Houlsby, G.T. 2001. Theory and practice of the fall cone test. *Geotechnique*. 51(8), 701-712.
- Krievāns, M. 2015. *Hidrogrāfiskā tīkla veidošanas Lejas Gaujas senielejā pēdējā apledošanas beigu posmā*. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga.
- Kuršs, V., Stinkule, A. 1972. Mālu minerālu veidošanās apstākļi. *Māli Latvijas Zemes dzīlēs un rūpniecībā*. Rīga, Liesma, 10-12.
- Kuršs, V., Stinkule, A. 1997. Māli. *Latvijas derīgie izrakteņi*. Rīga, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas institūts, 67-108.
- Kuršs, V., Stinkule, A. 1999. Derīgie izrakteņi. *Atradņu ģeoloģija*. 1, 45
- Mitchell, J.K., Soga, K., 2005. *Fundamentals of Soil Behavior*. New York, John Wiley.
- Nagaraj, T.S., Jayadeva, M. S. 1983. Critical Reappraisal of Plasticity Index of Soils. *Geotechnique*. 109(7), 994-1000.
- Odom, I.E. 1984. Smectite clay minerals: properties and use. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 311(1517), 391-409.
- Ozols, D. 2008. Mālu un dēdēšanas garozu ieži. *LATVIJAS MINERĀLI un IEŽI*. Rīga, Jungas, 35-36.
- Polidori, E. 2007 Relationship between Atterberg Limits and Clay Contents. *Soils and Foundations*. 45(5), 887-896.
- Rashid, A.S.B.A. 2005. Determination of plastic limit of soil using modified cone penetration method. *Malaizijas Tehniskā Universitātes raksti*, Skudaja.
- Schulze, D.G. 2002. An introduction to soil mineralogy. *Soil Mineralogy with Environmental Applications*. Madison, Soil Science Society of America, 1–35.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., Lundgren, R. 1964. Clay mineralogical aspects of the Atterberg limits. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. 90(4), 107-131.
- Segliņš, V. 2018. Derīgie izrakteņi un zemes dzīļu baseini. *Latvija. Zeme, Daba, Tauta, Valsts*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, 198 –212.
- Segliņš, V., Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2013. Māls. Derīgie izrakteņi Latvijā. Rīga, Latvijas Universitāte. 53-86.

- Sharma, B., Sridharan, A. 2018. Liquid and plastic limits of clays by cone method. *International Journal of Geo-Engineering*. 9(22), 1-10.
- Shidharam, A., Prakash, K. 2000. Shrinkage Limit of Soil Mixtures. *Geotechnical Testing Journal*. 23(1), 3-8.
- Shimobe, S., Spangoli, G. 2019. A global database considering Atterberg limits with the Casagrande and fall-cone tests. *Engineering Geology*. 260, 105-117.
- Skempton, A.W. 1953. The colloidal activity of clays. *Proceedings of the third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Zurich, Switzerland, 57-61.
- Spangoli, G., Sridharam, A., Oreste, P., Bellato, D., Matteo, L.D. 2018. Statistical variability of the correlation plasticity index versus liquid limit for smectite and kaolinite. *Applied Clay Science*. 156, 152-159.
- Sridharan, A., Rao, S.M., Murthy, N.S. 1988. Liquid Limit of Kaolinitic Soils. *ASTM Geotechnical Testing Journal*. 38, 191-198.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2013. Māls. Latvijas derīgie izrakteņi. Rīga, Latvijas Universitāte. 56-89.
- Stinkule, A. 2014. Māla minerālu asociācijas Latvijas nogulumiežos. *Māli Latvijas zemes dzīlēs*. RTU izdevniecība, Rīga 29-47.
- Stinkulis, Ģ., Lukševičs, E. 2018. Devona un karbona sedimentācijas baseini. *Latvija. Zeme, Daba, Tauta, Valsts*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, 158 –164.
- Velde, B. 1995. Composition and Mineralogy of Clay Minerals. *Origin and Mineralogy of Clays*. Velde, B. New York, Springer-Verlag, 8-43.
- Velde, B., Meunier, A. 2008. The Principal Clay Mineral Species. *The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks*. 17-25.
- Warkentin, B.P. 1960. Interpretation of the Upper Plastic Limit of Clays. *Nature*. 190, 287-288.
- Wroth, C.P., Wood, D.M. 1978. The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*. 15(2), 137-145.
- Страуме, Я. 1979. Геоморфология. Кн: Мисанс, Я.и др.(ред.) Геологическое строение и полезные ископаемые Латвии. Рига, Зинатне, 297-439.

Interneta avoti:

Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra atradņu reģistrs. Pieejams: <https://www.meteo.lv/apex/f?p=117> (sk. 26.05.2020.)

Kartogrāfiskie materiāli:

Esri, Digital Globe, Geo eye, Earthstar Geographic, GNS Airbus OS, USDA, USGA, AeroRID, IGN and the GIS User Community. Pieejams <http://esri.com>

Esri, HERE, Garmin, OpenStreetMap contributors, and GIS users community. Pieejams <http://esri.com>

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

ORTOFOTO 5. LĢIA Latvijas 5. etapa ortofoto karšu mozaīka. LU ĢZZF WMS. Pieejams

Normatīvie akti:

ASTM D 4318 – 17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

LVS EN ISO 14688-1. 2017. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts identificēšana un klasificēšana. 1. daļa: Identificēšana un apraktīšana.* Latvijas Standarts

LVS EN ISO 14688-2. 2017. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts identificēšana un klasificēšana. 2. daļa: Klasificēšanas principi.* Latvijas Standarts

LVS EN ISO 17892-1. 2015. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts testēšana laboratorijā. 1. daļa: Ūdens satura noteikšana.* Latvijas Standarts

LVS EN ISO 17892-12. 2018. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana - Grunts testēšana laboratorijā. 12. daļa: Plūstamības un plastiskuma noteikšana.* Latvijas Standarts

LVS EN ISO 17892-3. 2016. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Grunts testēšana laboratorijā. 3. daļa: Daļiņu blīvuma noteikšana.* Latvijas Standarts

LVS EN ISO 17892-4. 2017. *Ģeotehniskā izpēte un testēšana - Grunts testēšana laboratorijā - 4. daļa: Daļiņu izmēru sadalījuma noteikšana.* Latvijas Standarts

ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Определение верхнего предела пластичности - влажности грунта на границе текучести методом балансного конуса.

Nepublicētā literatūra:

Molnare. K. 2019. Lauka grāmatiņa, 57-69.

PIELIKUMI

Bakalaura darbs “Mālaino grunšu plastiskuma robežas noteikšana izmantojot krītošā konusa metodi” izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Artūrs Baikovs

_____ 01. /06. /2020.
paraksts datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: asoc. prof. Dr.ģeol. Māris Krievāns

_____ ./. /2020.
paraksts datums

Recenzents:

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede *Indra Baltmane*

_____ ./. /2020.
paraksts datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts Ģeoloģijas bakalaura akadēmisko studiju gala pārbaudījumu komisijas sēdē

2020./ __./ __. protokola nr. vērtējums
gads, datums, mēnesis

Sekretārs

_____ ./. /2020.
paraksts datums