

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĶĪMIJAS FAKULTĀTE

**AUGSNES GRANULOMETRIJA UN TO FRAKCIJU
RAKSTUROŠANA**

BAKALaura DARBS

Autors: **Dmitrijs Bogdanovs**

Studenta apliecības Nr.: db17059

Darba vadītāji: Dr.chem. Arturs Vīksna

Dr.silv. Andis Lazdiņš

RĪGA

2020

ANOTĀCIJA

Augsnes granulometrija un to frakciju raksturošana. Bogdanovs D., darba vadītāji Dr.chem., Vīksna A., Dr.silv., Lazdiņš A. Bakalaura darbs, 42 lappuses, 11 attēli, 4 tabulas, 12 literatūras avoti, 2 pielikumi. Latviešu valodā

Darbā ir veikta augsnes granulometriskā pārbaude izmantojot sedimentācijas metodi un lāzerdifrakcijas metodi izmantojot daļiņu lieluma analizatoru Mastersizer 3000. Visi iegūtie dati tiek analizēti, salīdzinot izmantotas metodes savā starpā. Visiem zemes frakcijām iegūtiem ar lāzerdifrakcijas metodi tika izvērtēti to drošības intervāli un iespējami datu novirzes cēloni no sedimentācijas metodes

LĀZERDIFRAKCIJA, GRANULOMETRIJA, MASTERSIZER 3000, SEDIMENTĀCIJA, SLAPJAS DISPERSIJAS VIENĪBA.

ABSTRACT

Soil granulometry and characterization of its fractions. Bogdanovs D., supervisors Dr.chem., Vīksna A., Dr.silv., Lazdiņš A. Bachelor's thesis, 42 pages, 11 figures, 4 tables, 12 literature references, 2 appendices. In Latvian.

Soil granulometric analysis was performed with sedimentation method and laser diffraction method using Mastersizer 3000 particle size analyzer. All obtained data was analyzed while comparing the methods used. All ground fractions obtained by laser diffraction method were evaluated for their safety intervals and possible causes of data deviation from sedimentation method.

LASER DIFFRACTION, GRANULOMETRY, MASTERSIZER 3000, SEDIMENTATION, WET DISPERSION UNIT.

SATURA RĀDĪTĀJS

ANOTĀCIJA	1
Apzīmējumu saraksts.....	3
IEVADS.....	4
1. LITERATŪRAS APSKATS	5
1.1. Augsnes analīze izmantojot granulometrijas metodes	5
1.2. Sedimentācijas metodes	6
1.2.1. Augsnes sedimentācijas metožu problēmas	6
1.3. Lāzerdifrakcijas metodes	6
1.3.1. Augsnes lāzerdifrakcijas metožu problēmas.....	7
1.4. Lāzerdifrakcijas metožu teorijas	7
1.4.1. Mie teorija	7
1.5. Augsnes frakciju noteikšana ar Mastersizer 3000[12].....	8
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	11
2.1. Sedimentācijas metode	11
2.2. Lāzerdifrakcijas metode	15
3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS	17
3.1. Eksperimentāli iegūto datu izvērtējums	18
3.2. Rezultātu izvērtējums	25
SECINĀJUMI	26
LITERATŪRAS SARAKSTS	27
1.pielikums. Sedimentācijas dati	28
2. pielikums. Lāzerdifrakcijas dati.....	30

Apzīmējumu saraksts

Att. – attēls

Sed-Met – sedimentācijas metode

LD – lāzerdifrakcija

AF – augsnes frakcija

DLF – daļiņu lieluma frakcija

SOP – (standard operating procedure) standarta darbības procedūra

rpm – (rotation per minute) apgriezienu skaits minūtē

IEVADS

Augsnes daļiņu sastāvs ir viena no galvenajām augsnes fizikālajām īpašībām, kas ietekmē augsnes auglību, un augsnes daļiņu lieluma sadalījuma fraktālo dimensiju (DLF) var izmantot, lai kvantitatīvi novērtētu dažādu augšņu daļiņu sastāvu. Atsevišķa augsnes DLF var raksturot augsnes daļiņu raupjumu, un var raksturot augsnes daļiņu sastāva nehomogēnās īpašības [1].

Pēdējās desmitgadēs dažādas jaunas graudu lieluma metodes ir izstrādāta analīze. Šīs jaunās metodes [2] priekšrocība ir tā, ka tie aptver plašu graudu izmēru klāstu, un ātri analizē mazus paraugus.

Sedimentācijas metodes prasa daudz laika, īpaši daļiņu noteikšana, kuru izmērs ir mazāks par 2 mm, jo tiem nepieciešami salīdzinoši lieli paraugi (10 – 20 g pipetes metodei un 50 g hidrometra metodei). Viņi arī dod neuzticami rezultāti daļiņām 1 mm Brauna kustības dēļ.

Daļiņu diametrs, kas iegūts ar lāzera difrakcijas metodēm, ir līdzīgs sfērai, kas dod to pašu difrakcija kā daļiņas. Lāzera difrakcijas daļiņu izmērs analizators daļiņu uzskata par divdimensijas objektu un norāda graudu lielumu kā šķērsriezuma laukuma funkcija daļiņai.

Darba mērķis: izpētīt dažādas augsnes paraugu frakcijas ar dažādām fizikālām metodēm un izvērtēt tās.

Darba uzdevumi:

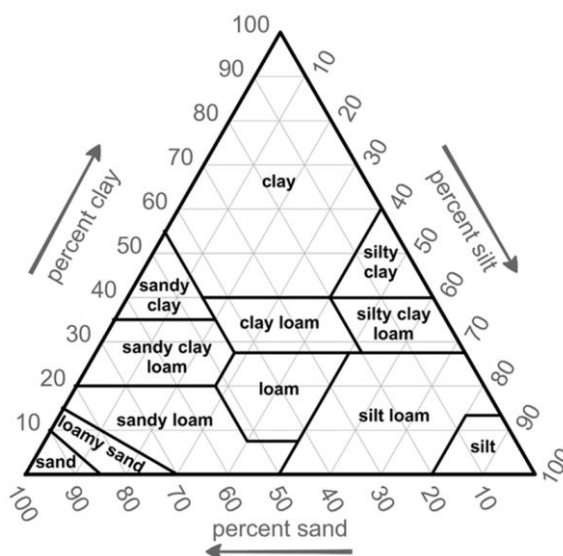
- Apkopot informāciju par augsnes granulometrijas metodēm
- Izpētīt augšņu frakcijas, izmantojot dažādas augsnes fracionēšanas metodes
- Salīdzināt un izvērtēt iegūtos rezultātus

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Augšnes analīze izmantojot granulometrijas metodes

Augšnes tekstūra ir klasifikācijas instruments, ko izmanto gan laukā, gan laboratorijās, lai noteiktu augšnes klases, pamatojoties uz to fizikālo struktūru. Augšnes struktūru var noteikt, izmantojot kvalitatīvas metodes, piemēram, tekstūru pēc izjūtas, un kvantitatīvas metodes, piemēram, hidrometra metode.

Augšnes tekstūrai ir lauksaimniecības pielietojums, piemēram, kultūraugu piemērotības noteikšana un augšnes reakcijas uz vidi vai ārkārtējiem apstākļiem, piemēram, sausuma vai kalcijs (kaļķa), prognozēšana. Augšnes tekstūra koncentrējas uz daļiņām, kuru diametrs ir mazāks par diviem milimetriem, ieskaitot smiltis, dūņas (putekļus) un mālus. Amerikas Savienoto Valstu Lauksaimniecības departaments augšnes taksonomijā un Pasaules atsaucē bāze augšnes resursiem augšnes klasifikācijas sistēmās tiek izmantotas 12 tekstūras klases, turpretī Apvienotā Karaliste-ADAS sistēmā tiek izmantotas 11 [2]. Šīs klasifikācijas ir balstītas uz smilšu, dūņu un māla procentuālo daudzumu augsnē.



1.1. att. Augšnes tekstūras trijstūris

Trīs augšnes frakcijas, māls ($< 2 \mu\text{m}$), putekļi ($2\text{--}50 \mu\text{m}$) un smiltis ($50\text{--}2000 \mu\text{m}$), ar vairākām apakšfrakcijām, bieži izmanto, lai raksturotu augšnes daļiņu sadalījumu smalkā augsnē ($< 2 \text{mm}$). Augšnes granulometriskā sastāva grupas ASVLd iedalīja pēc augšnes tekstūras trīsstūra (1.1.att.). Latvijas augšni vairumā sastāv no smiltis un māla apakšfrakcijām (mālsmilts un viegls māls).

1.2. Sedimentācijas metodes

Augsnēm standartizēta ir sieta-pipetes metode, [3] analītiskā metode augsnes daļiņu lieluma sadalījuma noteikšanai. Sietu metode, ko izmanto, lai noteiktu smilšu frakciju, par frakcijas robežu tiek pieņemts sieta kvadrātiskās atveres malas garums. Pipetes metode, ko izmanto māla un putekļu frakciju noteikšanai, ir balstīta uz Stoksa likumu, kurā daļiņu diametrs ir ekvivalents daļiņas sfēriskajam diametram ar tādu pašu periodu, kas vajadzīgs sedimentācijai šķidrumā, pieņemot, ka tajā ir visas daļiņas ar vienādu blīvumu. Lielākoties tiek pieņemts, ka māla daļiņas uzvedas kā sfēriskas daļiņas ar diametru mazāku par 2 μm , kamēr to reālā forma ir plānāra [2].

Kopējās tekstūras analīzes un dziļākas gultnes indikācijas metode sastāv no nogulšņu suspensijas frakcionēšanas. Šīs metodes galvenais mērķis ir smilšu, dūņu un smilšmāla frakcijas satura noteikšanu no kopējās nogulsnešņas suspensijas. Katras frakcijas sadalīšana tiek noteikta, pamatojoties uz Stoka formulu [4]. Daļiņas sāk peldēt no mazākajām frakcijām, mazākas nekā 0,002 mm, parasti nosauktas smilšmāla vai koloīda frakcija. Turklāt dūņu frakcijas un citas smilšu frakcijas var frakcionēt ar sietu, kas ir labi zināms un bieži izmantots citās granulometriskās analīzes metodēs. Peldošās māla frakcijas (<0,002 mm) un dūņas (parasti 0,002–0,005; 0,005–0,02; 0,02–0,05 mm) tiek veiktas atkārtoti, līdz tiek savākta visa frakcija. 1000 mL suspensijas trīs reizes pārbauda. Šī metode ir darbietilpīga. Šo metožu pamatprincipi ir līdzīgi, bet ir atšķirības to realizācijā un pirmoreiz tā tika publicēta pirms trīsdesmit gadiem [5]. Neskatoties uz to atšķirībām to mērījumu precizitāte abām metodēm ir līdzīga.

1.2.1. Augsnes sedimentācijas metožu problēmas

Sieta pipetes metode ir laukietilpīga, darbietilpīga un ļoti atkarīga gan no laboratorijas tehnikas, gan no operatora kļūdām [6]. Neskatoties uz to ISO 11277 definē stingrus noteikumus sieta-pipetes metodes precizitātes pārbaudei.

1.3. Lāzerdifrakcijas metodes

Lāzera difraktometrija ir optiska metode, ko izmanto, lai noteiktu daļiņu lieluma sadalījumu. Tas mēra optisko diametru, kas ir sfēriskas daļiņas hipotētiskais diametrs ar tādu pašu difrakcijas modeli (to pašu lāzera izkliedi) kā izmērītās daļiņas. Galvenās lāzerdifraktometrijas priekšrocības ir plaša izmēra frakciju mērīšana vienā piegājienā, nemainot suspensiju vai daļiņu pamatā esošo definīciju, kā arī ātra noteikšanas procedūra un laba atkārtojamība [7]. Lāzera difraktometrijas rezultātā rodas nepārtraukta sadalījuma līkne, no kuras var aprēķināt detalizētākus raksturlielumus.

Tā kā sedimentācijas metodes un lāzera difraktometrija mēra atšķirīgu daļiņu diametru, pamatojoties uz dažādām daļiņu īpašībām [8], augsnes frakciju noteikšanu ar lāzera difraktometriju nevar tieši uzskatīt par līdzvērtīgām sedimentācijas metodes daļiņu lieluma frakcijām. Tas ir izraisījis augsnes zinātnieku pretestību pret lāzera difraktometrijas noteikšanu augsnes frakciju noteikšanai.

1.3.1. Augsnes lāzerdifrakcijas metožu problēmas

Ar abām metodēm iegūto rezultātu salīdzinājums ir augsnes zinātnes interese. Tomēr pētījumi par māla frakcijas savstarpējām korelācijām, kas izmērītas ar pipetes metodi, un LD ir maz. LD rezultātus bieži uzskata par neapmierinošiem [9], jo attiecības starp abām metodēm parasti atšķiras no lineāras 1:1 attiecības. Gan *Loizeau et. al* [7] un *McCave et. al* [8] noformatē tālāk sāka ar pieņēmumu, ka tām pašām daļiņu lieluma definīcijām ir nepieciešama attiecība 1:1 starp sedimentācijas metodi un lāzerdifraktometriju. *Loizeau et al.* [7] un *Beuselinck et al.* [6] atklāja, ka lāzera graudu lieluma analīze nenovērtē $<2 \mu\text{m}$ frakciju proporcionāli māla saturam. *Beuselinck et al.* [6] ierosināja izveidot īpašu kalibrēšanas sakarību katram konkrētam pētītajam augsnes tipam, pamatojoties uz grafisko regresijas analīzi. *Shillabeer et al.* [10] pamatojoties uz frakciju atkarīgo pārveidošanas koeficientu matricu dažādiem nogulumu sadalījuma veidiem izveidoja metodi datu pārveidošanai.

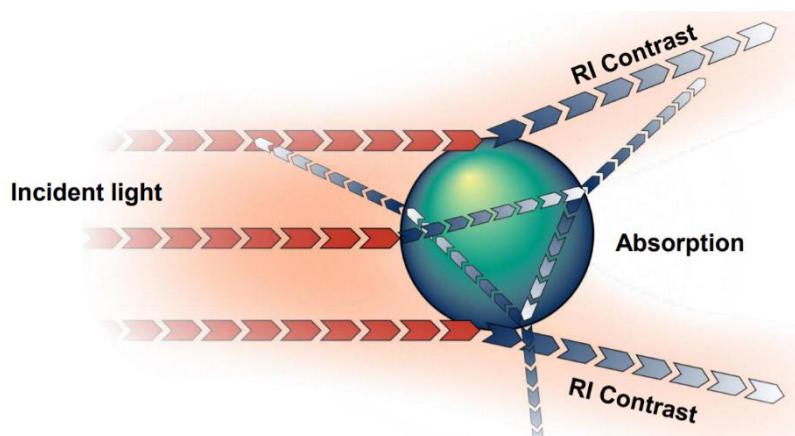
1.4. Lāzerdifrakcijas metožu teorijas

Izmantojot lāzeri augsnes daļiņu lieluma analīzei, daļiņas, kas nosūtītas caur lāzera staru, ierosina trīs dažādas parādības: absorbciju, caurlaidību un difrakciju. Šo signālu apstrādei tiek izmantoti vairāki optiskie modeļi, pamatojoties uz daļiņu lielumu, daļiņu formu refrakcijas indeksu un absorbcijas indeksu. Lielākā daļa teoriju to izmantošanai ir ierobežota ar daļiņu izmēru un refrakcijas koeficientu diapazonu, kurā tie ir piemērojami. Divi optiski modeļi, kas piemēroti augsnei, ir *Fraunhofer* un *Mie* modelis, taču *Fraunhofer* teorija ir maz izmantota mūsdienās.

1.4.1. Mie teorija

Mastersizer 3000 izmanto Mie teoriju, kas pilnībā atrisina vienādojumus gaismas mijiedarbībai ar matēriju. Tas ļauj iegūt pilnīgi precīzus rezultātus lielo izmēru diapazonos. Tā nodrošina precīzu risinājumu daļiņu lieluma sadalījuma aprēķināšanai no gaismas izkliedes datiem. Tā prognozē izkliedes intensitāti mazām, lielām, caurspīdīgām vai necaurspīdīgām daļiņām.

Teorija pieņem, ka visas izmērītās daļiņas ir sfēriskas, izmantotā suspensija ir pietiekami atšķaidīta, lai izkliedētā gaismā izmērās pirms to atkārtoti izkliedē citas daļiņas, daļiņu un šķīduma optiskie parametri ir zināmi un daļiņas paraugā ir homogēnas.



1.2. att. Mie teorijas shematiskais izkliedes modelis

Mie teorija prognozē primāro izkliedes reakciju, kas novērota no daļiņas virsmas, ar intensitāti, ko paredz refrakcijas koeficienta starpība starp daļiņu un izkliedes vidi. Tas arī paredz, kā daļiņas absorbcija ietekmē sekundārā izkliedes signālu, ko izraisa gaismas refrakcija daļiņā. Tas ir īpaši svarīgi daļiņām, kuru diametrs nepārsniedz 50 mikronus, un ir ārkārtīgi svarīgi, ja daļiņas ir caurspīdīgas, kā noteikts starptautiskajā lāzera difrakcijas mērījumu standartā [11].

1.5. Augsnes frakciju noteikšana ar Mastersizer 3000[12]

Mastersizer 3000 sastāv no galvenā optiskā bloka, vienas vai vairākām dispersijas vienībām un mērvienības.

Optiska vienība. Optiskā vienība, ko dažreiz dēvē par optisko stendu, ir Mastersizer sistēmas sirds. Tās mērķis ir caur paraugu pārraidīt sarkano lāzera gaismu un zilo gaismu un pēc tam izmantojot detektorus iegūt datus par gaismas izkliedes modeli, ko rada paraugā esošās daļiņas. Apkopotos datus interpretē programmatūra *Mastersizer*, lai sniegtu precīzu informāciju par daļiņu izmēru. Papildu zilā gaisma, kas izmantota Mastersizer 3000, nodrošina uzlabojumus mērījumu izšķirtspējā, kas ir mazāka par 1 μm .

Dispersijas vienība. Mastersizer 3000 ir pieejamas 2 dispersijas vienības tipi: slapjā dispersijas vienība un sausā dispersijas vienība. Sausā dispersijas vienība netiek apskatīta šajā darbā.

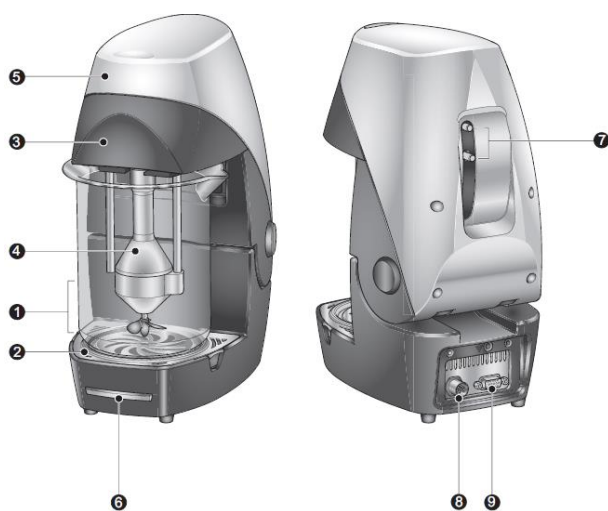
Slapjā dispersijas vienība. Parauga dispersijas vienības sagatavo un piegādā paraugu optiskajai vienībai, lai to varētu izmērīt. Slapjās dispersijas vienības izveido daļiņu suspensiju šķidrā vidē,

kas Mastersizer ļauj veikt gan ūdens, gan neūdens paraugu daļiņu izmērīšanu šķīdumā. Ir pieejami dažādi slapjās dispersijas veidi, darbā tika izmantots tikai *Hydro EV*.

Hydro EV. Pusautomātiska slapjās dispersijas vienība.

Specifikācija:

- Parauga tilpums: 600mL vai 1000 mL;
- Maisīšanas ātrums: 0 – 3500 rpm;
- Iebūvēta 40W ultraskaņas zonde;
- Max daļiņu izmērs: 2100 μm;
- Viegla un ātra tīrīšana;
- Pilna SOP kontrole;



- | |
|----------------------------------------|
| 1. Parauga paplātes laukums / vārglāze |
| 2. Notekpaplāte / vārglāzes turētājs |
| 3. Sūkņa galva |
| 4. Parauga sūknis un maisītājs |
| 5. Ultraskaņas devējs |
| 6. Statusa indikators |
| 7. Uz šūnu / No šūnas savienojums |
| 8. CAN savienojums |
| 9. Papildu savienojums |

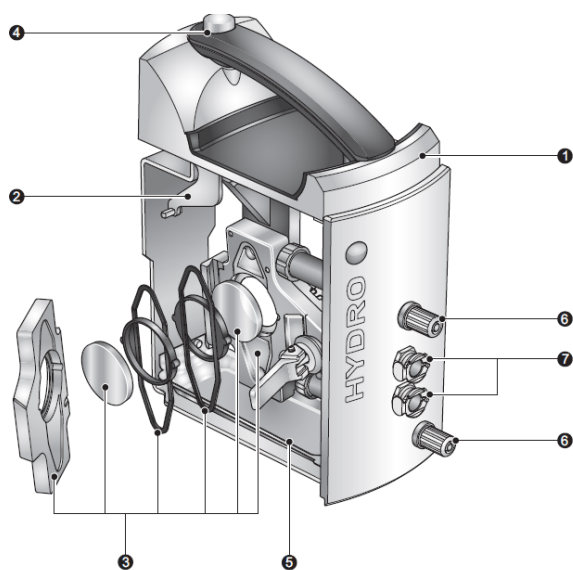
1.4. att. **Hydro EV** sastāvdaļas[10.]

Hydro vienības mērīšanas šūna. Dispersijas vienība nepārtraukti cirkulē paraugu/disperģētāju no dispersijas vienības uz mitru kameru un caur optiskās vienības analizatora staru, lai varētu veikt mērījumus. Šūnu logi mitrā kamerā ir kritiski svarīgas sistēmas mērīšanas optiskā ceļa daļas, un tiem vienmēr jābūt tīriem un bez skrāpējumiem.

Specifikācija:

- Automātiski fiksējas savā pozīcijā;
- Ātri izņemami logi bez papildus instrumentiem;
- Oderēta sildīšanas/dzesēšanas līnija straujai temperatūras stabilizācijai;

- Ķīmiski noturīgas blīves;



- | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Šūnu apvalks 2. Mehāniskā slēga aktivizēšanas roka 3. Paraugs mitrā kamerā, kameru logos un plombās 4. Šūnas rokturis un atbloķēšanas poga 5. Notekplāte 6. Uz šūnu / No šūnas savienojums 7. Ūdens apvalka savienojumi (siltummainis) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

1.5. att. Hydro vienības šūnas sastāvdaļas[10.]

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

Lieto gaissausas augsnes parauga frakciju, kas izsijāta caur sietu, kura acs izmērs ir 2 mm. Pēc augsnes pirmsapstrādes augsnes frakcijas tika atrastas izmantojot 2 dažādas metodes: sedimentācijas un lāzerdifrakcijas.

2.1. Sedimentācijas metode

Instrumentu apraksts.

- Analītiskie svāri *Sartorius AX224*, precizitāte $\pm 0,0001$ g
- Stikla koniskā kolba, 500 mL
- Pulkstenstikliņš
- Sedimentācijas cilindri, 500 mL
- Mērcilindrs, 100 mL, 50 mL, 25 mL
- Stikla mērkolba, 1000 mL
- Paraugu ņemšanas Mora pipete, 25 mL
- Stikla piltuve, diametrs 23 cm, kurā var ievietot 63 μ m sietu
- Strūklene
- Stikla spieķīši paraugu sajaukšanai
- Sverglāzītes ar zināmu masu (precizitāte $\pm 0,0001$ g)
- Siets, 63 μ m acu izmēru
- Žāvskaipis *BMT Ecocell*, ar termoregulāciju, kas spēj uzturēt temperatūru (105 ± 2)°C
- Elektriskā plītiņa
- Orbitālais daudzfunkciju kratītājs *OrbitalShaker Multi PSU - 20*
- Hronometrs
- Pipetors

Parauga masa ir atkarīga no augsnes tipa, bet parasti ņem **10 g augsnes parauga** (smilts augsnes paraugus var ņemt līdz 30 g). Augsnes ar augstu organisko vielu daudzumu satur maz minerālmateriāla, tāpēc, lai iegūtu pietiekamu minerālmateriāla daudzumu granulometriskā sastāva drošai analīzei, var būt nepieciešams ņemt apmēram līdz 100 g šādas augsnes. Uz analītiskajiem svāriem iesver nepieciešamo parauga daudzumu un ieber 500 mL stikla koniskās kolbās.

Organiskās vielas noārdīšana

Lai nodrošinātu tikai primāro daļiņu mērīšanu, bet ne brīvi saistītos minerālmateriālus, no parauga, oksidējot ar ūdeņraža peroksīdu, atdala organiskās vielas. Pievieno augsnes paraugam apmēram 30 mL dejonizēta ūdens un ļauj paraugam labi samitrināties. Pievieno 30 mL 30% ūdeņraža peroksīda (H_2O_2) šķīduma un viegli samaisa trauka saturu ar stikla stienīti. Intensīva ķīmiska reakcija var izraisīt parauga maisījuma putošanos. Šo procesu var vadīt, pievienojot dažus mililitrus oktān-2-ola. Kolbu nosedz ar pulksteņstikliņu un atstāj uz 12 stundām.

Novieto kolbu uz elektriskās plītiņas un uzkarsē. Lai novērstu putošanos pievieno dažus pilienus oktān-2-olu un bieži samaisa kolbas saturu. Neļauj saturam izzūt, nepieciešamības gadījumā pievieno dejonizētu ūdeni. Uzkarsē suspensiju līdz viršanai un karsē līdz vairs neizdalās O_2 burbuļi, kas saistīti ar H_2O_2 sadalīšanos. Ja augsnes paraugā ir redzamas organiskas vielas pazīmes, kolbu atdzesē un atkārti apstrādi ar H_2O_2 . Augsnēm ar augstu organisko vielu saturu ir nepieciešamas vairākas šādas apstrādes.

Šķīstošo sāļu un ģipšu atdalīšana

Augsnes suspensijai pievieno 25 mL 1 M $CaCl_2$ šķīdumu, samaisa un uzpilda ar dejonizētu ūdeni līdz 250 mL atzīmei. Ļauj suspensijai nostāties līdz virspusē esošais šķīduma slānis ir kļuvis dzidrs. Šķīdro frakciju atdala dekantējot (nolejot). Lai no parauga atdalītu sāļus, it īpaši mazšķīstošos sāļus, tādus kā ģipsi, kuri aizkavē izkļiedēšanu un veicina smalkāko augsnes daļiņu pārsļu veidošanos suspensijā, pievieno 250 mL dejonizēta ūdens un atkārti mazgāšanas procesu, kamēr atdalīti visi izšķīdinātās vielas tumšie atlikumi.

Suspendēšana

Augsnes paraugam pievieno 150 - 200 mL dejonizēta ūdens, sakrata līdz iegūst viendabīgu suspensiju un ar Mora pipeti pievieno 25 mL suspendēšanas aģenta, kuru pagatavo 33,0000 g \pm 0,0001 g nātrija heksametafosfāta ($(NaPO_3)_6$) un 7,0000 g \pm 0,0001 g nātrija karbonāta (Na_2CO_3) izšķīdinot 1 L mērkolbā un atšķaidot līdz atzīmei. Abus reaģentus pirms šķīduma pagatavošanas žāvē 12 stundas 105 °C temperatūrā. Šķīdums ir nestabils un nav uzglabājams ilgāk par 1 mēnesi. Kolbas liek orbitālā daudzfunkciju kratītājā un krata 18 stundas.

Slapjā sijāšana ar 63 μ m sietu

Nostiprina 63 μ m sietu piltuvē, ko ievieto 500 mL sedimentācijas cilindrā, kas novietots konstantas temperatūras vidē. Izlej augsnes suspensiju uz sietu. Mazgā sietu un trauku, kur atradās augsne, ar skalošanas pudeli (strūklēni) līdz ūdens ir dzidrs. Tilpumam sedimentācijas

traukā jābūt mazākam par 500 mL. Noņem sietu no piltuves un ieskalo augsni sverglāzītē, kurai ir zināma masa ar precizitāti $\pm 0,0001$ g. Skalojot sietu tīra ar stikla spieķīti, lai visas augsnes daļiņas nonāktu sverglāzītē. Piltuvi noskalo ar dejonizētu ūdeni un sedimentācijas cilindru uzpilda līdz 500 mL atzīmei ar ūdeni. Sverglāzīti žāvē 105 °C temperatūrā līdz nemainīgai masai un nosver uz analītiskajiem svāriem ar precizitāti $\pm 0,0001$ g. Iegūto rādījumu ieraksta testēšanas žurnālā.

Sedimentācija

Novieto sedimentācijas cilindrus kontrolētā temperatūras vidē un sakrata vismaz 30 reizes minūtē 2 minūtes. Novieto sedimentācijas cilindru nekustīgi un ieslēdz hronometru. Apmēram 15 sekundes pirms paraugu ņemšanas iegremdē kalibrētu pipeti ar aizvērtu galu sedimentācijas cilindra centrā nepieciešamajā dziļumā. Iegremdēšanu pabeidz 10 sekunžu laikā, pēc iespējas mazāk saduļķojot suspensiju. Pipetē iesūc nepieciešamo parauga tilpumu. Pipeti uzmanīgi izvelk no cilindra un izlej sverglāzītē, kuras masa ir zināma ar precizitāti $\pm 0,0001$ g. Pipeti izskalo ar dejonizētu ūdeni, suspensijas atliekas ieskalojot sverglāzītē. Sverglāzīti žāvē 105 °C temperatūrā līdz nemainīgai masai un pēc atdzesēšanas nosver uz analītiskajiem svāriem ar precizitāti $\pm 0,0001$ g. Iegūto rezultātu ieraksta testēšanas žurnālā. Pipeti nosusina no ārpuses un ņem nākamo augsnes paraugu. Paraugu ņemšanas laiks atkarībā no vides temperatūras dažādām frakcijām parādīts 2.1. tabulā.

Paraugu ņemšanas laiks un dziļums granulometriskā sastāva noteikšanai

Temperatūra (°C)	Laiks (pēc samaisīšanas) parauga ņemšanai	
	Frakcija: < 63 μm Parauga ņemšanas dziļums: 200 mm ± 1 mm	Frakcija: < 2 μm Parauga ņemšanas dziļums: 100 mm ± 1 mm
20	56 s	7 st 44 min 16 s
21	54 s	7 st 34 min 04 s
22	53 s	7 st 23 min 53 s
23	52 s	7 st 13 min 13 s
24	51 s	7 st 03 min 02 s
25	49 s	6 st 52 min 50 s
26	48 s	6 st 44 min 02 s
27	47 s	6 st 35 min 42 s
28	46 s	6 st 26 min 53 s
29	45 s	6 st 18 min 33 s
30	44 s	6 st 09 min 45 s

Daļiņu grimšanas ātrumu dažādās temperatūrās var aprēķināt ar Stoksa formulu:

$$V = \frac{(0,222 \cdot r^2 \cdot (d_1 - d_2) \cdot g)}{n}, \text{ kur}$$

V – daļiņu grimšanas ātrums, **cm sek⁻¹**

r – daļiņu rādiuss, **cm**

d₁ – augsnes daļiņu īpatnējā masa

d₂ – šķidruma īpatnējā masa

n – šķidruma viskozitāte dotajā temperatūrā

g – smaguma spēka radītais paātrinājums, 981 **cm sek⁻¹**.

Aprēķini

Aprēķina metode balstās uz to, ka parauga masa ir tās atsevišķo daļiņu frakciju summa. Aprēķina suspensijas 500 mL (mf_1 , mf_2) esošo cieto vielu masu (gramos) katram ar pipeti parauga ņemšanas laika momentam ar šādas formulas palīdzību:

$$\text{Masa frakcijai } < 63 \mu\text{m (500 mL tilpumā): } mf_1 = ms_1 \cdot \left(\frac{500}{V_c}\right);$$

$$\text{Masa frakcijai } < 2 \mu\text{m (500 mL tilpumā): } mf_2 = ms_2 \cdot \left(\frac{500}{V_c}\right), \text{ kur}$$

mf_x – sausnas masa 500 mL suspensijas, **g**

ms_x – pipetēšanā iegūtā materiāla masa paraugam, **g**

V_c – pipetes kalibrēšanas tilpums, **mL**.

Abas frakcijas satur dispersēšanas aģentu, tāpēc nepieciešama rezultātu korekcija. Sausnas saturu m_d 500 mL kontroles šķīduma ar dispersēšanas aģentu aprēķina:

$$\text{Dispersēšanas aģenta masa 500 mL suspensijas } m_d = m_r \cdot \left(\frac{500}{V_c}\right), \text{ kur}$$

m_r – atliekuma masa, **g**

V_c – pipetes kalibrēšanas tilpums, **mL**

Pipetēto frakciju masas (aprēķinātas no 500 mL) apzīmē šādi:

$$\text{frakcija } < 0,063 \text{ mm} = mf_1;$$

$$\text{frakcija } < 0,002 \text{ mm} = mf_2.$$

Īsākos laika intervālos ņemtie paraugi saturēs materiālu ar mazāku daļiņu izmēru, un katrs paraugs saturēs to pašu šķīdināšanas līdzekļa masu, t.i., m_r . Tādēļ frakciju masu var aprēķināt šādi:

$$2\mu\text{m} = mf_2 - m_d$$

$$\text{Putekļu frakcijas masa } (2\mu\text{m} - 63\mu\text{m}) = mf_1 - mf_2$$

$$\text{Smilšu frakcijas masa } (63\mu\text{m} - 2\text{mm}) = mf_s$$

Aprēķinu metodē pieņemts, ka parauga masa ir frakciju masas summa, nevis sākotnējā parauga masa. Summējot frakciju masu, aprēķināto parauga masu apzīmē ar m_t . Katras frakcijas proporcionālo saturu aprēķina:

$$\text{Proporcijas} = \frac{\text{Frakcijas masa}}{m_t}$$

2.2. Lazerdifrakcijas metode

Instrumentu apraksts.

- MASTERSIZER 3000:
 - Mērījumu diapazons: 0,01 – 3500 μm ;
 - Lāzeri: 633nm sarkans lāzers, 470nm zils lāzers;
 - Optiskais modelis: Mie teorija;
 - Slapjās dispersijas vienības: Hydro EV;
 - Izmantojamo vārglāžu tilpumi: 600mL vai 1000mL;

Mastersizer 3000 ir pieejams daudzas pielāgošanas iespējas. Iegūtas AF dati mainīsies atkarībā no obskurācijas, ultraskaņas, refrakcijas indeksa, sūkņa un maisītāja ātruma u.c. Lai

iegūtie rezultāti varētu salīdzināt savā starpā, LD parametri netika mainīti visiem eksperimentiem.

Suspendēšana. Analizētu augsni homogenizēja ar suspendēšanas aģentu. Augsni ieber traukā un pievienoja šķīdumu līdz ieguva biezu augsnes suspensiju. Ja šķīdums palika pārāk viskozs, to atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni. Ja šķīdums palika pārāk šķidrš, tam pievienoja nedaudz augsnes.

Šķīdumu gatavošana

- Suspendēšanas aģents: 1L mērkolbā ūdenī šķīdināja 33,0000 g nātrija heksametafosfāta un 7,0000 g nātrija karbonāta, un uzpildīja kolbu līdz atzīmei ar dejonizētu ūdeni;

Augsnes parauga analīze. Iekārtai Mastersizer 3000 ļauj nostabilizēties 30 min pirms tās izmantošanas. Atvēra programmu „Malvern”, nospieda pogu „Run SOP” un izvēlējās iepriekš izveidotu standarta darbības procedūru, kurā iepriekš tika iestātīti nepieciešami parametri. Izmantotie parametri ir:

- Parauga refrakcijas indekss: 1,344;
- Parauga absorbcijas indekss: 1;
- Šķīduma refrakcijas indekss: 1,33 (destilēts ūdens);
- Maisītāja un sūkņēšanas ātrums: 2500 rpm;
- Ultraskaņas parametri: neizmatots;
- Lāzera obskurācija: 8 – 15 %;
- Nolasījumu skaits: 5;
- Nolasījumu laiks: 10 – 15 s;
- Tīrīšanas opcija : „Custom 3”, trīs reizes.

Pēc SOPa ieslēgšanās startēja fona mērīšanu ar tīru destilēto ūdeni. Pēc fona izmērīšanas pievienoja paraugu līdz nepieciešamai obskurācijai un turpināja mērīšanu. Ja lāzera obskurācija bija pārāk liela, šķīdumu atšķaidīja ar destilēto ūdeni.

Pēc eksperimenta iekārtu iztīra sekojot programmas instrukcijai, pirmās 2 reizes izmantoja tīru krāna ūdeni, un 3 reizei destilētu/dejonizētu ūdeni. Pēc iztīrīšanas eksperimentu atkārtu ar citu augsnes paraugu.

3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

Augsnes parauga nosaukums (kods) neietekmē iegūtos rezultātus un norāda tikai no kurienes augsnes paraugs tika iegūts. Augsnes apstrādāšanas un disperģēšanas metodes neatšķiras no aprakstītajām. Pēc apstrādāšanas iegūtie paraugi ārēji neatšķiras no neapstrādātiem. Paraugu mērīšanas metode, neatšķiras no aprakstītās. Dati iegūtie izmantojot sedimentācijas metodi datu apstrādei tika pieņemti kā patiesie.

Izmantojot sedimentēšanas metodi iegūtie rezultāti, ir apkopoti 3.1. tabulā (1.pielikums).

Izmantojot lāzerdifrakcijas metodi iegūtie rezultāti ir apkopoti 3.2. tabulā (2.pielikums).

Ar lāzerdifrakcijas metodes iegūtajiem rezultātiem tika atrastas standartnovirzes (vienādojums 3.1.) un drošības intervāls (vienādojums 3.2.) katrai augsnes frakcijai:

$$Sn = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.1)$$

kur Sn – standartnovirze;

x_i – i -as elements vienībā;

\bar{x} – vidējais aritmētiskais vienībā;

n – elementu skaits vienībā.

$$DI = \frac{Sn \cdot t_{st,95\%}}{\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

kur DI – drošības intervāls;

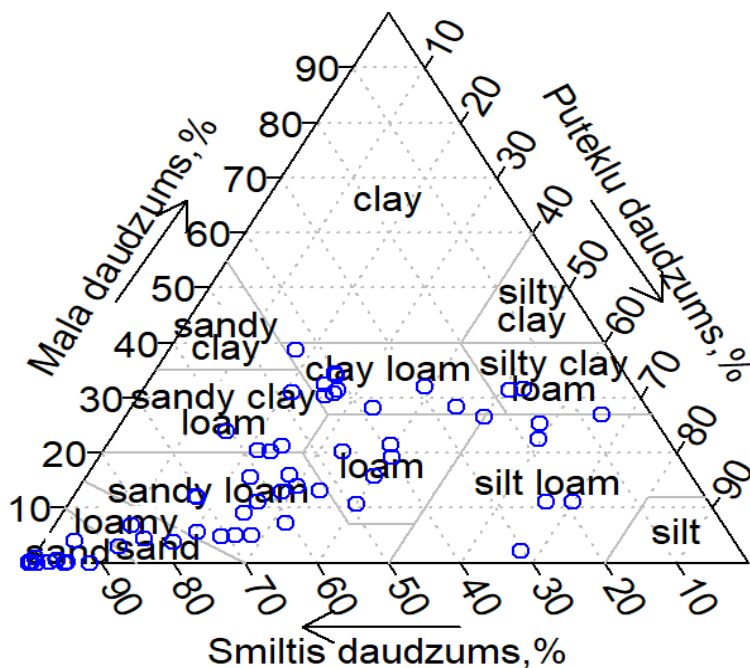
Sn – standartnovirze;

$t_{st,95\%}$ – studentā koeficients (ja $n=5$ $t_{st,95\%} \approx 2,776$);

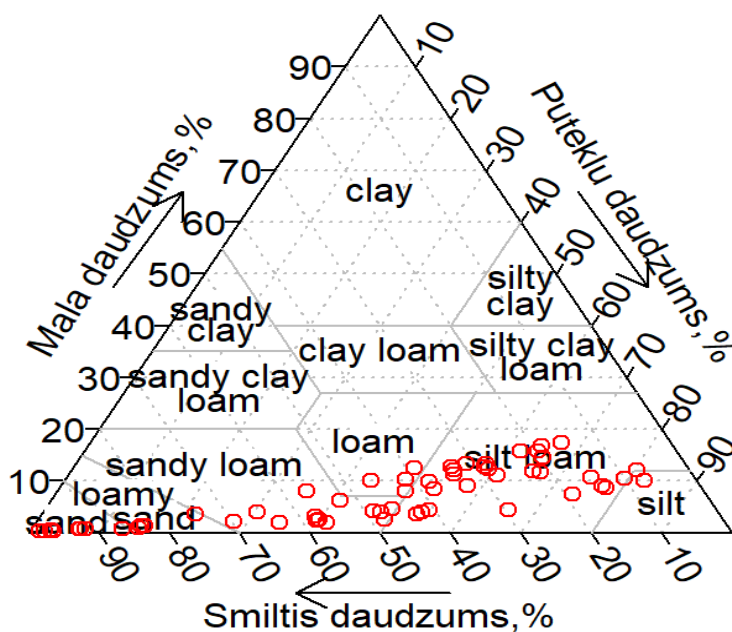
n – elementu skaits vienībā.

3.1. Eksperimentāli iegūto datu izvērtējums

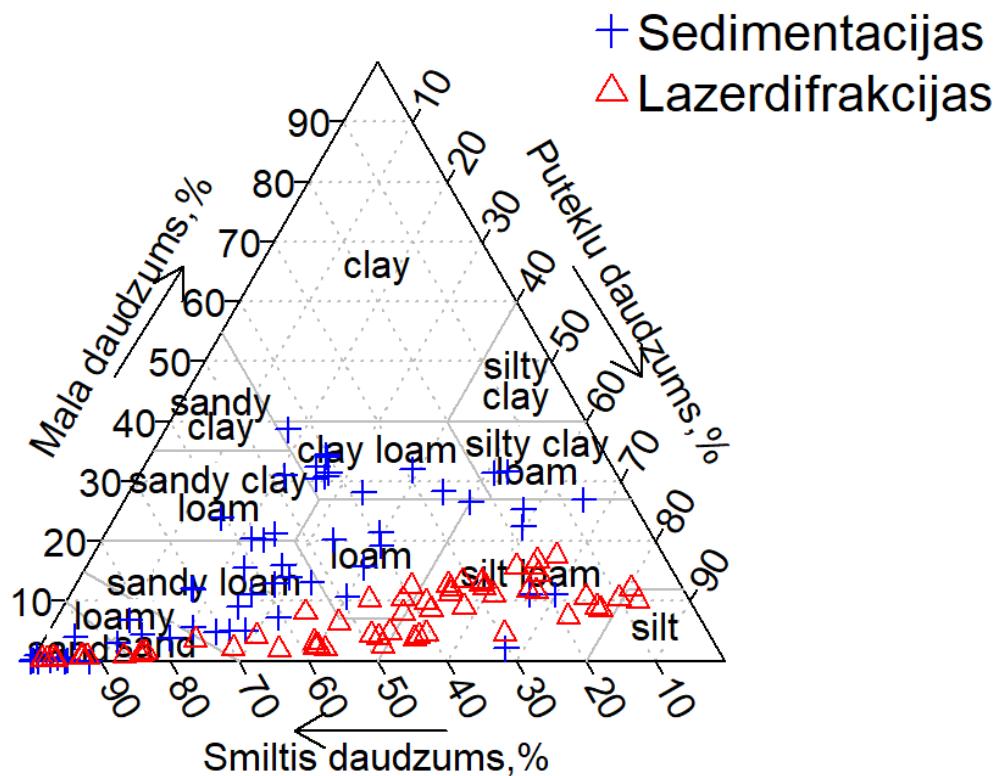
Eksperimentāli tika pārbaudīti 59 augsnes paraugi, kurus ieguva Latvijā. Izmantojot sedimentācijas metodi iegūtos rezultātus (3.1. tabulā) parādīja augsnes frakciju trīsstūra diagramma (3.1. att.). Izmantojot lāzerdifrakcijas metodi iegūtos rezultātus (3.2. tabulā) parādīja augsnes frakciju trīsstūra diagramma (3.3. att.).



3.1. att. Sedimentācijas datu augsnes frakciju trīsstūris

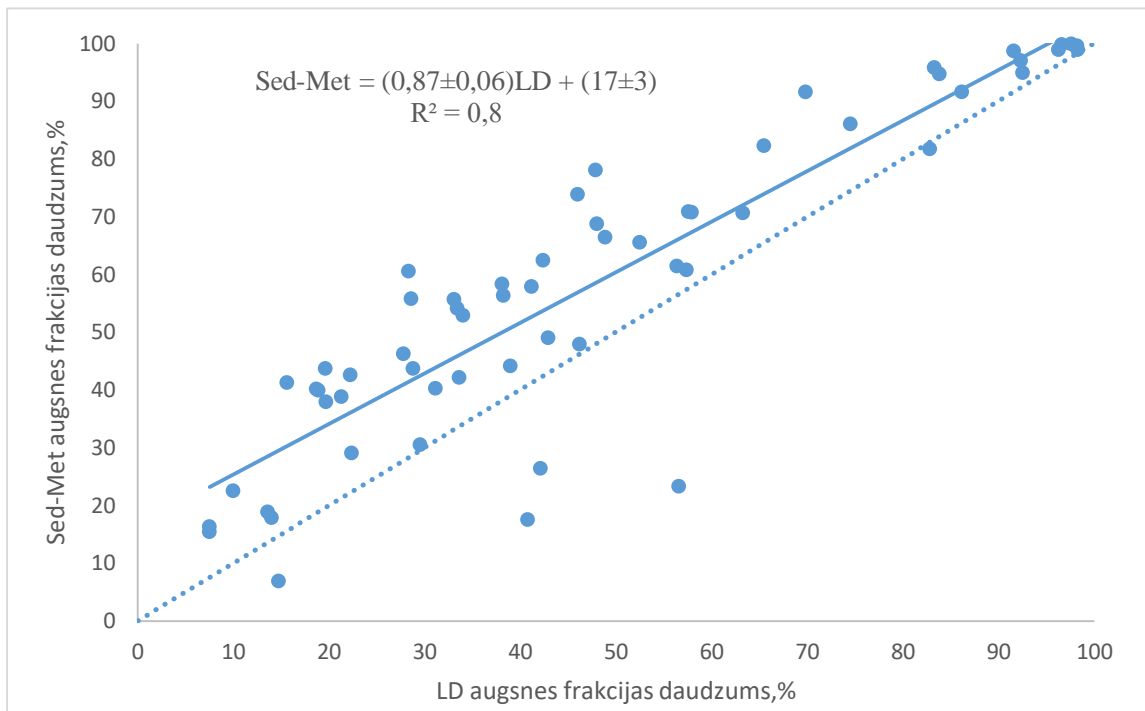


3.2. att. Lāzerdifrakcijas datu augsnes frakciju trīsstūris

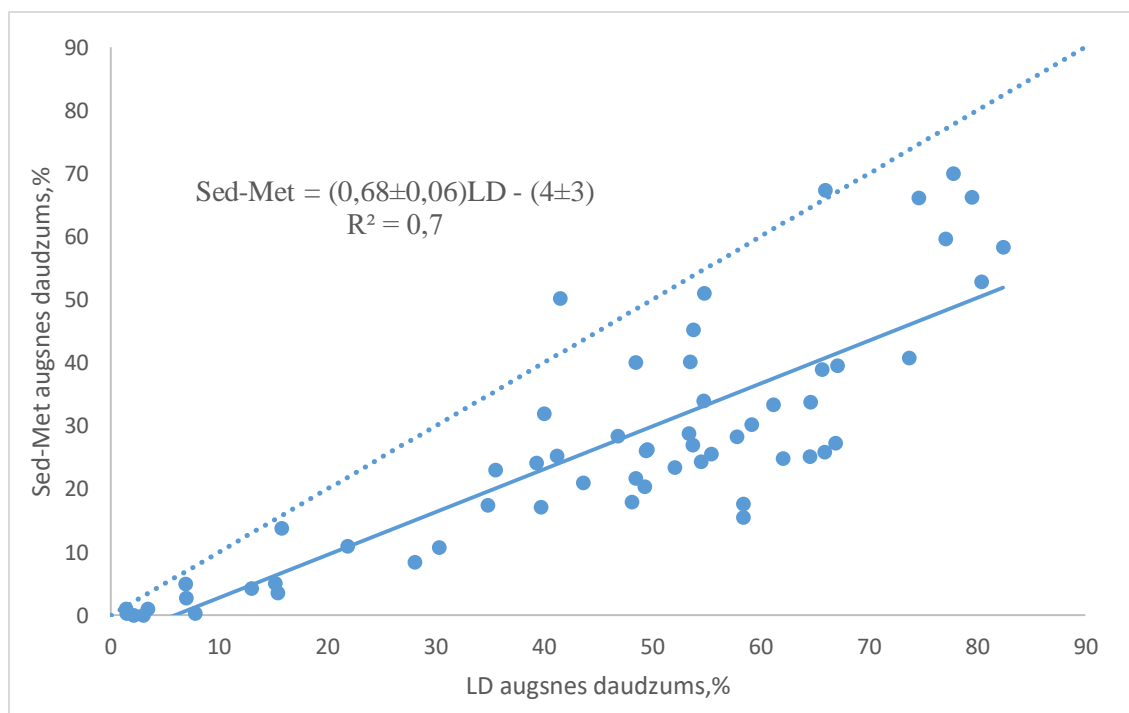


3.3. att. Sedimentācijas un Lāzerdifrakcijas datu augsnes frakciju trīsstūris

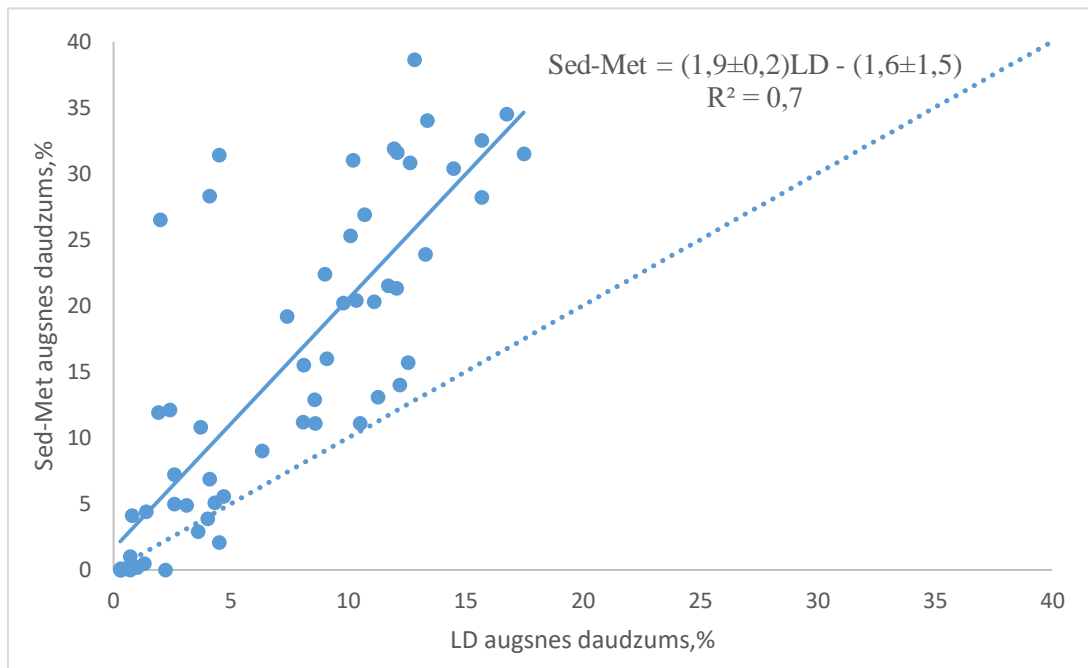
No iegūtiem rezultātiem un frakcijas trīsstūra grafikiem var redzēt kā LD metodes iegūtie dati neparāda patiesu mala daudzumu un putekļu daudzumu. Var secināt, ka māla frakcijas visticamāk parādās kā putekļi. Smiltis frakcija atkarība no augsnes granulometriskā sastāva grupas var parādīt patieso frakciju, ja mazāka ir māla frakcija, jo tuvāk patiesiem datiem ir LD metode. Kaut gan iegūtās frakcijas stipri atšķiras starp abām metodēm, var pārveidot LD datus, lai tie vairāk atbilstu Sed-Met datiem. Izveidojot katrai frakcijai taisnes grafiku, var iegūt vienādojumu ar kuru palīdzību dati tika izmainīti.



3.4. att. Smiltis frakcijas daudzums Sed-Met atkarība pret LD



3.5. att. Putekļu frakcijas daudzums Sed-Met atkarība pret LD



3.6. att. Māls frakcijas daudzums Sed-Met atkarība pret LD

Izmantojot iegūtos taisnes vienādojumus smiltis un putekļu frakcijas tika pārveidotas (vienādojums 3.3. un vienādojums 3.4. atbilstoši). Tā kā māla frakcijas grafiks ir visneprecīzāks, māla frakciju pārveidoja atņemot kopēju frakciju (100%) no smiltis un putekļu frakciju summas (vienādojums 3.5.).

$$LD_{pārv.(smiltis)} = 0,87 \cdot LD_{smiltis} + 17 \quad (3.3)$$

$$LD_{pārv.(putekļi)} = 0,68 \cdot LD_{putekļi} - 4 \quad (3.4)$$

$$LD_{pārv.(māls)} = 100\% - (LD_{pārv.(smiltis)} + LD_{pārv.(putekļi)}) \quad (3.5)$$

kur LD – lāzerdifrakcijas dati.

3.3.tabula

Lāzerdifrakcijas metodes iegūtie vidējie un pārveidotie augsnes frakcijas dati

Kods	Eksperimentālie			Pārveidotie		
	2mm – 63 µm, %	63 2µm, %	< 2µm, %	2mm – 63 µm, %	63 2µm, %	< 2µm, %
	Smiltis	Putekļi	Māls	Smiltis	Putekļi	Māls
Aizpute 2	21,3	67,1	11,7	35,3	41,5	23,2
Aizpute 4	63,3	34,8	1,9	72,0	19,6	8,4
Aizpute 5	57,9	39,7	2,4	67,3	22,9	9,8
Aizpute 6	42,1	53,8	4,1	53,5	32,5	14,0
Aizpute 7	56,6	41,5	2,0	66,2	24,2	9,7

3.3.tabulas turpinājums

Kods	Eksperimentālie			Pārveidotie		
	2mm – 63 μm, %	63 2μm, % –	< 2μm, %	2mm – 63 μm, %	63 2μm, % –	< 2μm, %
	Smiltis	Putekļi	Mals	Smiltis	Putekļi	Mals
Aizpute 8	40,8	54,8	4,5	52,4	33,2	14,5
LAD1 9ķ 4	46,0	49,3	4,7	56,9	29,5	13,6
LAD1 9ķ 7	69,8	28,1	2,2	77,7	15,1	7,2
LAD1 9ķ 8	47,9	48,1	4,0	58,6	28,6	12,8
Mtpb 8	10,0	79,5	10,5	25,4	50,0	24,6
Mtpb 15	7,5	82,4	10,1	23,2	51,9	24,8
Mtpb 16	14,0	77,1	9,0	28,9	48,3	22,8
Mtpb 28	28,3	58,4	13,3	41,4	35,6	22,9
Mtpb 41	42,9	53,5	3,7	54,2	32,3	13,5
Mtpb 61	18,9	73,7	7,4	33,2	46,0	20,8
Mtpb 63	7,5	80,4	12,1	23,2	50,6	26,2
Mtpb 72	13,6	77,8	8,6	28,6	48,8	22,6
Mtpb 74	92,5	6,9	0,7	97,6	0,7	1,8
Mtpb 83	92,3	7,0	0,7	97,4	0,7	1,9
Mtpb 85	96,3	3,4	0,3	100,9	-1,7	0,8
Mtpb 119	48,9	46,8	4,3	59,4	27,8	12,8
Mtpb 126	48,0	49,4	2,6	58,7	29,5	11,8
Mtpb 144	82,8	15,8	1,4	89,1	6,7	4,2
Mtpb 147	91,6	7,8	0,7	96,8	1,3	1,9
Mtpb 153	98,3	1,4	0,3	102,6	-3,1	0,4
Mtpb 157	97,6	2,1	0,3	102,0	-2,6	0,6

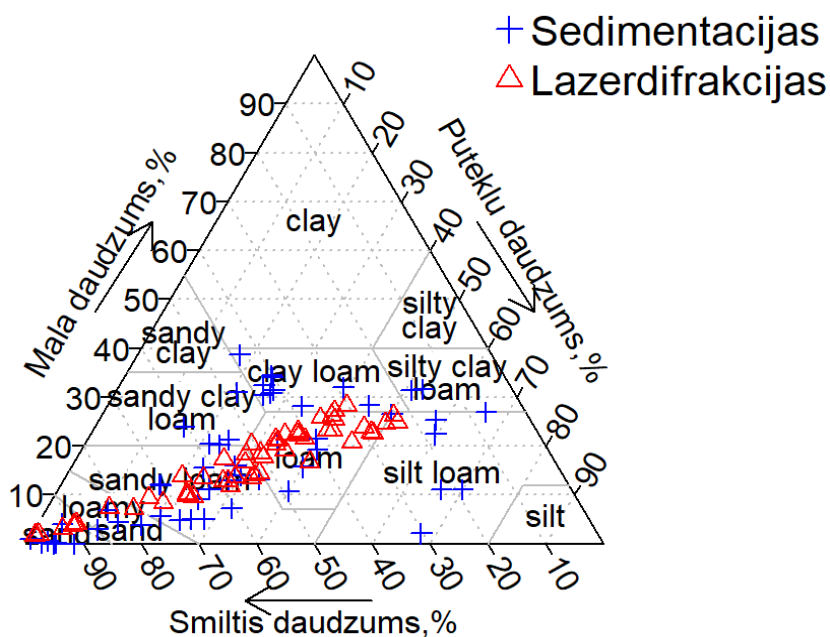
3.3.tabulas turpinājums

Kods	Eksperimentālie			Pārveidotie		
	2mm – 63 µm, %	63 2µm, % –	< 2µm, %	2mm – 63 µm, %	63 2µm, % –	< 2µm, %
	Smiltis	Putekļi	Mals	Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb 189	83,3	15,4	1,3	89,5	6,4	4,0
Mtpb 201	96,6	3,0	0,5	101,2	-2,0	0,8
Mtpb 208	86,2	13,0	0,8	92,1	4,8	3,1
Mtpb 209	98,2	1,5	0,3	102,6	-3,0	0,4
Mtpb 212	83,8	15,2	1,0	90,0	6,3	3,7
Mtpb 221	57,4	40,0	2,6	66,9	23,1	10,0
Mtpb 224	65,5	30,3	4,1	74,0	16,6	9,5
Mtpb 228	38,2	52,1	9,8	50,1	31,4	18,6
Mtpb 231	27,8	61,2	11,1	41,0	37,5	21,5
Mtpb 251	57,6	39,3	3,1	67,0	22,7	10,3
LŪKb 2	56,4	35,5	8,1	66,0	20,1	13,9
LŪKb 6	39,0	48,5	12,5	50,7	28,9	20,3
LŪKb 8	28,8	58,4	12,8	41,8	35,6	22,5
LŪKb 10	38,1	53,4	8,6	50,0	32,2	17,8
LŪKb 11	22,4	65,7	11,9	36,2	40,6	23,2
LŪKb 15	33,6	53,8	12,6	46,1	32,5	21,5
LŪKb 20	52,5	41,2	6,3	62,6	23,9	13,5
LŪKb 23	41,2	48,5	10,3	52,7	28,9	18,4
LŪKb 24	33,4	54,5	12,1	45,9	33,0	21,1
LŪKb 29	74,5	21,9	3,6	81,9	10,8	7,3

3.3.tabulas turpinājums

Kods	Eksperimentālie			Pārveidotie		
	2mm – 63 µm, %	63 2µm, %	< 2µm, %	2mm – 63 µm, %	63 2µm, %	< 2µm, %
	Smiltis	Putekļi	Mals	Smiltis	Putekļi	Mals
LŪKb 32	31,2	55,5	13,4	43,9	33,6	22,4
LŪKb 33	15,6	66,9	17,5	30,3	41,4	28,3
LŪKb 34	34,0	54,7	11,3	46,4	33,1	20,5
LŪKb 35	18,7	64,6	16,8	33,0	39,8	27,2
LŪKb 47	46,2	43,6	10,2	57,1	25,6	17,3
LŪKb 52	28,6	59,2	12,2	41,7	36,2	22,1
LŪKb 54	19,7	64,6	15,7	33,9	39,8	26,3
LŪKb 87	22,2	62,1	15,7	36,1	38,1	25,8
LŪKb 106	33,1	57,8	9,1	45,6	35,2	19,2

Aizkrāsotie rezultāti ir kļūdaini, jo dod negatīvus datus un netiek izmantoti augsnes frakcijas trīsstūra.



3.7. att. Sed-Met un pārveidotas LD datu augsnes frakciju trīsstūris

No iegūtā grafika (3.7. att.) var redzēt ka LD vairāk atbilst Sed-Met datiem, jo krietni samazinājās putekļu daudzums un palielinājās māla daudzums.

3.2. Rezultātu izvērtējums

Pieņemot kā iegūtie, izmantojot sedimentācijas metodi, dati ir patiesi, lāzerdifrakcijas metodes iegūtie rezultāti ir nepatiesi un neatbilst patiesai augsnes frakcijai. Lai iegūt datus tuvu patiesiem, ir nepieciešams apstrādāt LD iegūtos datus.

Visticamākais rezultātu atšķirības iemesls, izmantojot LD, salīdzinot to ar Sed-Met, ir metožu teorijās. Sedimentācijas metode izmanto dažādu frakciju masu, salīdzinot dažādu frakciju masas savā starpā, savukārt lāzera difrakcija atrod frakcijas, pamatojoties uz to, cik daudz gaismas izkliedes, balstoties uz parauga teorētisku perfektu sfērisku formu. Šī, visticamāk, ir metožu salīdzināšanas lielākā problēma, jo patiesībā augsnes daļiņas nav perfekti sfēriskas, tāpēc arī parāda dažus no mazākajiem mālam piederošiem kā putekļus. Tas izskaidro arī to, kāpēc smilšu frakcija dažreiz parāda pareizi, smilšu daļiņas ir daudz lielākas, kas ļauj Mastersizer pareizi aprēķināt to tilpuma procentus, jo ir vieglāk aprēķināt gaismas izkliedi.

- Izmantojot LD metodi var iegūt ļoti precīzus augsnes frakcijas rezultātus;
- LD metodes iegūtie rezultāti gandrīz vienmēr nesakrīt ar Sed-Met datiem, kuri literatūrā pieņem par precīziem un patiesiem;
- Gandrīz vienmēr iegūta mala frakcija ir zemāka nekā patiesība;
- Gandrīz vienmēr iegūta putekļu frakcija ir lielāka nekā patiesība;
- Smiltis daudzums iegūtais izmantojot LD metodi dažiem paraugiem sakrīt ar Sed-Met metodi, taču tas ir pilnīgi atkarīgs no augsnes granulometriskās sastāva grupas;
- Dažiem LD iegūtiem datiem ir samēra liela kļūda, kas norāda uz darbā pieļautam mehāniskajam kļūdām;
- Iegūtie taisnes vienādojumi tuvina ar LD iegūtos rezultātus Sed-Met rezultātiem, izņemot augsnes, kura granulometriskais sastāvs ir tīrs smiltis.

SECINĀJUMI

1. Izmantojot Mastersizer 3000 slapjās dispersijas vienību var iegūt precīzus rezultātus dažādām augsnes frakcijām: smilts vidējais $DI \pm 1,6\%$, putekļiem $-\pm 1,4\%$ un māla frakcijai $-\pm 0,2\%$ un to precizitātei ir nedaudz augstāka salīdzinājumā ar klasiskām metodēm.
2. Izmantojot LD metodi var daudzkārt ātrāk iegūt augsnes frakcijas datus.
3. Izmantojot Mastersizer 3000 slapjās dispersijas vienību nevar tieši iegūt patiesās augsnes frakcijas vērtības, ja tiem ir pietiekami lielas māla vai putekļu frakcijas un patieso datu iegūšanai jāveic datu korekcija.
4. Iegūtie taisnes korekcijas vienādojumi pietuvina LD datus Sed-Met datiem, bet samazina iegūto datu precizitāti (taisnes koeficients samazinās par $\sim 0,05$).

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Qi, F.; Zhang, R.; Liu, X.; Niu, Y.; Zhang, H.; Li, H.; Li, J.; Wang, B.; Zhang, G. Soil Particle Size Distribution Characteristics of Different Land-Use Types in the Funiu Mountainous Region. *Soil Tillage Res.* **2018**, *184*, 45–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.011>.
- [2] KONERT, M.; VANDENBERGHE, J. E. F. Comparison of Laser Grain Size Analysis with Pipette and Sieve Analysis: A Solution for the Underestimation of the Clay Fraction. *Sedimentology* **1997**, *44* (3), 523–535. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1997.d01-38.x>.
- [3] ASTM. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis (ASTM D6913-17). *ASTM* **2017**, *04* (Reapproved 2009), 1–35. https://doi.org/10.1520/D6913_D6913M-17.
- [4] Crowther, E. M. Die Schlammanalyse. By Dr. H. Gessner, Kolloid Forschung IX Einzeldarstellungen. Founded by R. Zsigmondy. Edited by H. Freundlich. Vol. X. Pp. x + 244. Leipzig: Akademische Verlags., 1931. Paper, 16.50m.; Bound, 18m. *J. Soc. Chem. Ind.* **1932**, *51* (14), 303. <https://doi.org/10.1002/jctb.5000511410>.
- [5] Beverwijk, A. Particle Size Analysis of Soils by Means of the Hydrometer Method. *Sediment. Geol.* **1967**, *1*, 403–406. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0037-0738\(67\)90070-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0037-0738(67)90070-X).
- [6] Beuselinck, L.; Govers, G.; Poesen, J.; Degraer, G.; Froyen, L. Grain-Size Analysis by Laser Diffractometry: Comparison with the Sieve-Pipette Method. *CATENA* **1998**, *32* (3), 193–208. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00051-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00051-4).
- [7] LOIZEAU, J.-L.; ARBOUILLE, D.; SANTIAGO, S.; VERNET, J.-P. Evaluation of a Wide Range Laser Diffraction Grain Size Analyser for Use with Sediments. *Sedimentology* **1994**, *41* (2), 353–361. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1994.tb01410.x>.
- [8] Muggler, C. C.; Pape, T.; Buurman, P. Laser Grain-Size Determination in Soil Genetic Studies .2. Clay Content, Clay Formation, and Aggregation in Some Brazilian Oxisols. *Soil Sci.* *162*(3) 219-228. **1997**, *162*. <https://doi.org/10.1097/00010694-199703000-00008>.
- [9] Holliday, V. T. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods (2nd Edition), A. Klute, Ed., 1986, American Society of Agronomy, Agronomy Monographs 9(1), Madison, Wisconsin, 1188 Pp., \$60.00. *Geoarchaeology* **1990**, *5* (1), 87–89. <https://doi.org/10.1002/gea.3340050110>.
- [10] Shillabeer, N.; Hart, B.; Riddle, A. M. The Use of a Mathematical Model to Compare Particle Size Data Derived by Dry-Sieving and Laser Analysis. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **1992**, *35* (1), 105–111. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(05\)80059-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0272-7714(05)80059-9).
- [11] ISO 13320:2020(en), Particle size analysis — Laser diffraction methods <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13320:ed-2:v1:en> (accessed May 24, 2020).
- [12] Malvern, I. L. *Mastersizer 3000 User Manual*; **2013**.

Sedimentācijas metodes iegūtie augsnes frakcijas dati

Paraugs	2mm – 63 μ m, %	63 – 2 μ m, %	< 2 μ m, %	Augsnes granulometriskā sastāva grupas
	Smiltis	Putekļi	Mals	
Aizpute 2	38,9	39,6	21,5	Smilšmāls
Aizpute 4	70,7	17,5	11,9	Smaga mālsmilts
Aizpute 5	70,8	17,2	12,1	Smaga mālsmilts
Aizpute 6	26,4	45,3	28,3	Viegls māls
Aizpute 7	23,4	50,2	26,5	Putekļains smilšmāls
Aizpute 8	17,6	51,0	31,4	Viegls putekļu māls
LAD19ķ 4	73,9	20,4	5,6	Smaga mālsmilts
LAD19ķ 7	91,6	8,4	0,0	Smiltis
LAD19ķ 8	78,1	18,0	3,9	Mālsmilts
Mtpb 8	22,6	66,3	11,1	Putekļains smilšmāls
Mtpb 15	16,4	58,3	25,3	Putekļains smilšmāls
Mtpb 16	17,9	59,7	22,4	Putekļains smilšmāls
Mtpb 28	60,6	15,5	23,9	Smags smilšmāls
Mtpb 41	49,1	40,2	10,8	Smilšmāls
Mtpb 61	40,0	40,8	19,2	Smilšmāls
Mtpb 63	15,5	52,9	31,6	Viegls putekļu māls
Mtpb 64	6,9	66,2	26,9	Putekļains smilšmāls
Mtpb 69	30,5	67,4	2,1	Putekļains smilšmāls
Mtpb 72	18,9	70,0	11,1	Putekļains smilšmāls
Mtpb 74	95,0	5,0	0,0	Smiltis
Mtpb 83	97,1	2,8	0,1	Smiltis
Mtpb 85	99,0	1,0	0,0	Smiltis
Mtpb 119	66,5	28,4	5,1	Smaga mālsmilts
Mtpb 126	68,8	26,1	5,0	Smaga mālsmilts
Mtpb 144	81,8	13,8	4,4	Mālsmilts
Mtpb 147	98,7	0,3	1,0	Smiltis
Mtpb 153	99,0	1,0	0,0	Smiltis
Mtpb 157	100,0	0,0	0,0	Smiltis
Mtpb 189	95,9	3,6	0,5	Smiltis
Mtpb 201	99,9	0,0	0,1	Smiltis

Kods	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %	Augsnes granulometriskā sastāva grupas
	Smiltis	Putekļi	Mals	
Mtpb 208	91,6	4,3	4,1	Smilts
Mtpb 209	99,6	0,3	0,1	Smilts
Mtpb 212	94,7	5,1	0,2	Smilts
Mtpb 221	60,8	32,0	7,2	Smaga mālsmilts
Mtpb 224	82,3	10,8	6,9	Mālsmilts
Mtpb 228	56,4	23,4	20,2	Smags smilšmāls
Mtpb 231	46,3	33,4	20,3	Smilšmāls
Mtpb 251	70,9	24,2	4,9	Smaga mālsmilts
LŪKb 2	61,5	23,0	15,5	Smaga mālsmilts
LŪKb 4	62,5	26,3	11,2	Smaga mālsmilts
LŪKb 5	43,7	25,9	30,4	Viegls māls
LŪKb 6	44,2	40,1	15,7	Smilšmāls
LŪKb 8	43,7	17,7	38,6	Viegls māls
LŪKb 10	58,4	28,8	12,9	Smaga mālsmilts
LŪKb 11	29,1	39,0	31,9	Viegls māls
LŪKb 15	42,2	27,0	30,8	Viegls māls
LŪKb 20	65,6	25,3	9,0	Smaga mālsmilts
LŪKb 23	57,9	21,7	20,4	Smags smilšmāls
LŪKb 24	54,2	24,4	21,3	Smags smilšmāls
LŪKb 29	86,1	11,0	2,9	Mālsmilts
LŪKb 32	40,3	25,6	34,0	Viegls māls
LŪKb 33	41,3	27,3	31,5	Viegls māls
LŪKb 34	53,0	34,0	13,1	Smaga mālsmilts
LŪKb 35	40,2	25,2	34,5	Viegls māls
LŪKb 47	48,0	21,0	31,0	Smags smilšmāls
LŪKb 52	55,8	30,2	14,0	Smaga mālsmilts
LŪKb 54	38,0	33,8	28,2	Viegls māls
LŪKb 87	42,6	24,9	32,5	Viegls māls
LŪKb 106	55,7	28,3	16,0	Smaga mālsmilts

Lazerdifrakcijas metodes iegūtie augsnes frakcijas dati

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Aizpute_2	Putekļains smilšmāls	20,90	67,40	11,70
		21,12	67,20	11,68
		21,79	66,63	11,58
		19,91	68,21	11,87
		22,49	66,00	11,51
Vidējais rezultāts		21,2	67,1	11,67
Standartnovirze		1,0	0,8	0,14
Drošības intervāls		1,3	1,2	0,19
Aizpute_4	Smaga mālsmilts	63,03	35,06	1,91
		63,36	34,73	1,91
		63,56	34,53	1,91
		63,68	34,42	1,91
		62,93	35,12	1,95
Vidējais rezultāts		63,3	34,8	1,92
Standartnovirze		0,3	0,3	0,02
Drošības intervāls		0,4	0,4	0,03
Aizpute_5	Smaga mālsmilts	58,15	39,46	2,39
		56,55	40,95	2,50
		57,51	40,04	2,45
		57,68	39,87	2,45
		59,58	38,08	2,34
Vidējais rezultāts		57,9	39,7	2,43
Standartnovirze		1,1	1,0	0,06
Drošības intervāls		1,5	1,5	0,09
Aizpute_6	Putekļains smilšmāls	44,28	51,82	3,90
		44,20	51,86	3,94
		40,35	55,39	4,26
		40,83	54,93	4,24
		40,85	54,93	4,23
Vidējais rezultāts		42	54	4,1
Standartnovirze		2	2	0,2
Drošības intervāls		3	3	0,3

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Aizpute_7	Smaga mālsmilts	57,37	40,73	1,90
		57,32	40,76	1,92
		57,43	40,66	1,91
		55,74	42,28	1,99
		55,11	42,87	2,02
Vidējais rezultāts		56,6	41,5	1,95
Standartnovirze		1,1	1,0	0,05
Drošības intervāls		1,5	1,4	0,07
Aizpute_8	Putekļains smilšmāls	38,31	57,04	4,65
		46,38	49,58	4,04
		38,16	57,18	4,66
		40,39	55,11	4,49
		40,61	54,92	4,47
Vidējais rezultāts		41	55	4,5
Standartnovirze		3	3	0,3
Drošības intervāls		4	4	0,4
LADķ_4	Smaga mālsmilts	43,57	51,54	4,88
		48,64	46,90	4,46
		45,09	50,13	4,77
		47,21	48,19	4,60
		45,46	49,78	4,75
Vidējais rezultāts		46	49	4,7
Standartnovirze		2	2	0,2
Drošības intervāls		3	3	0,3
LADķ_7	Smaga mālsmilts	69,17	28,65	2,18
		70,46	27,43	2,10
		70,21	27,66	2,13
		69,50	28,33	2,18
		69,65	28,18	2,17
Vidējais rezultāts		69,8	28,1	2,15
Standartnovirze		0,5	0,5	0,04
Drošības intervāls		0,7	0,7	0,05
LADķ_8	Smaga mālsmilts	47,56	48,44	4,00
		47,84	48,16	4,00
		48,61	47,44	3,95
		46,64	49,25	4,12
		48,62	47,41	3,97
Vidējais rezultāts		47,9	48,1	4,01
Standartnovirze		0,8	0,8	0,07
Drošības intervāls		1,1	1,1	0,09

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb_8	Putekļains smilšmāls	10,39	79,18	10,43
		9,53	79,91	10,56
		9,85	79,64	10,51
		10,24	79,28	10,48
		10,16	79,37	10,47
Vidējais rezultāts		10,0	79,5	10,49
Standartnovirze		0,3	0,3	0,05
Drošības intervāls		0,4	0,4	0,07
Mtpb_15	Putekļi	7,47	82,41	10,11
		7,86	82,08	10,06
		7,68	82,27	10,06
		6,90	82,96	10,13
		7,60	82,33	10,07
Vidējais rezultāts		7,5	82,4	10,09
Standartnovirze		0,4	0,3	0,03
Drošības intervāls		0,5	0,4	0,04
Mtpb_16	Putekļains smilšmāls	14,67	76,44	8,89
		14,36	76,72	8,92
		14,05	77,00	8,95
		12,69	78,22	9,09
		14,01	77,05	8,94
Vidējais rezultāts		14,0	77,1	8,96
Standartnovirze		0,8	0,7	0,08
Drošības intervāls		1,0	0,9	0,11
Mtpb_28	Putekļains smilšmāls	29,43	57,49	13,08
		29,32	57,56	13,12
		27,25	59,26	13,48
		26,72	59,69	13,59
		28,81	57,96	13,23
Vidējais rezultāts		28,3	58,4	13,3
Standartnovirze		1,2	1,0	0,2
Drošības intervāls		1,7	1,4	0,3
Mtpb_41	Putekļains smilšmāls	43,00	53,34	3,65
		42,97	53,37	3,66
		43,12	53,23	3,65
		43,36	53,01	3,64
		41,82	54,45	3,73
Vidējais rezultāts		42,9	53,5	3,67
Standartnovirze		0,6	0,6	0,04
Drošības intervāls		0,8	0,8	0,05

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb_61	Putekļains smilšmāls	19,61	73,06	7,33
		18,52	74,04	7,44
		18,58	73,97	7,45
		19,14	73,47	7,40
		18,75	73,83	7,42
Vidējais rezultāts		18,9	73,7	7,41
Standartnovirze		0,5	0,4	0,05
Drošības intervāls		0,7	0,6	0,07
Mtpb_63	Putekļains smilšmāls	7,61	80,29	12,10
		7,93	80,03	12,03
		7,25	80,64	12,10
		7,29	80,62	12,08
		7,32	80,58	12,10
Vidējais rezultāts		7,5	80,4	12,08
Standartnovirze		0,3	0,3	0,03
Drošības intervāls		0,4	0,4	0,04
Mtpb_64	Putekļains smilšmāls	15,15	74,18	10,67
		14,08	75,12	10,79
		14,17	75,06	10,77
		14,64	74,65	10,70
		15,28	74,11	10,61
Vidējais rezultāts		14,7	74,6	10,71
Standartnovirze		0,5	0,5	0,07
Drošības intervāls		0,7	0,7	0,10
Mtpb_69	Putekļains smilšmāls	31,47	64,12	4,41
		30,21	65,32	4,47
		27,63	67,75	4,63
		29,60	65,91	4,49
		28,44	67,00	4,56
Vidējais rezultāts		29,5	66,0	4,51
Standartnovirze		1,5	1,4	0,08
Drošības intervāls		2,1	2,0	0,12
Mtpb_72	Putekļains smilšmāls	13,60	77,84	8,56
		14,28	77,22	8,50
		14,29	77,22	8,49
		12,92	78,47	8,61
		12,89	78,47	8,64
Vidējais rezultāts		13,6	77,8	8,56
Standartnovirze		0,7	0,6	0,07
Drošības intervāls		1,0	0,9	0,09

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb_74	Smilts	92,55	6,76	0,69
		92,31	7,01	0,67
		92,43	6,87	0,70
		92,45	6,84	0,71
		92,55	6,75	0,70
Vidējais rezultāts		92,46	6,85	0,69
Standartnovirze		0,10	0,11	0,02
Drošības intervāls		0,14	0,15	0,03
Mtpb_83	Smilts	92,26	7,04	0,70
		92,37	6,93	0,69
		92,31	6,99	0,70
		92,36	6,95	0,70
		92,36	6,94	0,70
Vidējais rezultāts		92,33	6,97	0,698
Standartnovirze		0,05	0,05	0,004
Drošības intervāls		0,06	0,06	0,006
Mtpb_85	Smilts	96,32	3,37	0,31
		96,34	3,35	0,31
		96,15	3,53	0,32
		96,29	3,40	0,32
		96,15	3,53	0,32
Vidējais rezultāts		96,25	3,44	0,316
Standartnovirze		0,09	0,09	0,005
Drošības intervāls		0,13	0,12	0,008
Mtpb_119	Smaga mālsmilts	49,29	46,42	4,28
		49,03	46,66	4,30
		47,94	47,66	4,40
		48,98	46,71	4,31
		49,22	46,50	4,29
Vidējais rezultāts		48,9	46,8	4,32
Standartnovirze		0,5	0,5	0,05
Drošības intervāls		0,7	0,7	0,07
Mtpb_126	Smaga mālsmilts	48,16	49,22	2,62
		48,02	49,33	2,64
		47,36	49,96	2,68
		48,07	49,29	2,64
		48,22	49,14	2,64
Vidējais rezultāts		48,0	49,4	2,64
Standartnovirze		0,3	0,3	0,02
Drošības intervāls		0,4	0,4	0,03

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb_144	Mālsmilts	78,95	19,37	1,68
		81,79	16,74	1,48
		83,03	15,60	1,37
		84,68	14,08	1,24
		85,72	13,13	1,15
Vidējais rezultāts		83	16	1,4
Standartnovirze		3	2	0,2
Drošības intervāls		4	3	0,3
Mtpb_147	Smilts	91,65	7,68	0,68
		91,89	7,50	0,61
		91,28	8,01	0,71
		91,49	7,82	0,69
		91,43	7,87	0,70
Vidējais rezultāts		91,5	7,78	0,68
Standartnovirze		0,2	0,19	0,04
Drošības intervāls		0,3	0,27	0,06
Mtpb_153	Smilts	98,23	1,45	0,32
		98,20	1,47	0,33
		98,31	1,36	0,33
		98,29	1,38	0,33
		98,22	1,45	0,33
Vidējais rezultāts		98,25	1,42	0,328
Standartnovirze		0,05	0,05	0,004
Drošības intervāls		0,07	0,07	0,006
Mtpb_157	Smilts	97,49	2,23	0,28
		97,78	1,94	0,28
		97,75	1,97	0,29
		97,34	2,36	0,29
		97,54	2,18	0,28
Vidējais rezultāts		97,58	2,14	0,284
Standartnovirze		0,18	0,18	0,005
Drošības intervāls		0,26	0,25	0,008
Mtpb_189	Mālsmilts	83,57	15,19	1,24
		83,35	15,39	1,26
		83,28	15,46	1,26
		83,31	15,42	1,27
		83,12	15,60	1,28
Vidējais rezultāts		83,33	15,41	1,262
Standartnovirze		0,16	0,15	0,015
Drošības intervāls		0,22	0,21	0,021

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb_201	Smiltis	96,42	3,09	0,49
		97,00	2,64	0,36
		96,49	3,02	0,49
		96,58	2,94	0,48
		96,37	3,14	0,50
Vidējais rezultāts		96,6	3,0	0,46
Standartnovirze		0,3	0,2	0,06
Drošības intervāls		0,4	0,3	0,08
Mtpb_208	Smiltis	95,84	4,16	0,00
		96,14	3,86	0,00
		96,32	3,68	0,00
		96,53	3,47	0,00
		96,64	3,36	0,00
Vidējais rezultāts		96,3	3,7	0,00
Standartnovirze		0,3	0,3	0,00
Drošības intervāls		0,4	0,4	0,00
Mtpb_209	Smiltis	98,16	1,55	0,29
		98,15	1,56	0,29
		98,20	1,51	0,29
		98,17	1,54	0,29
		98,17	1,54	0,29
Vidējais rezultāts		98,17	1,54	0,29
Standartnovirze		0,02	0,02	0,00
Drošības intervāls		0,03	0,03	0,00
Mtpb_212	Mālsmilts	83,62	15,39	0,99
		84,00	15,02	0,97
		83,79	15,22	0,99
		83,55	15,45	1,00
		84,06	14,96	0,98
Vidējais rezultāts		83,8	15,2	0,986
Standartnovirze		0,2	0,2	0,011
Drošības intervāls		0,3	0,3	0,016
Mtpb_221	Smaga mālsmilts	57,10	40,29	2,61
		57,20	40,19	2,61
		56,98	40,39	2,63
		57,79	39,62	2,58
		57,69	39,71	2,59
Vidējais rezultāts		57,4	40,0	2,60
Standartnovirze		0,4	0,4	0,02
Drošības intervāls		0,5	0,5	0,03

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
Mtpb_224	Smaga mālsmilts	65,81	30,09	4,11
		67,64	28,46	3,89
		65,03	30,77	4,20
		64,91	30,89	4,21
		64,22	31,50	4,28
Vidējais rezultāts		65,5	30,3	4,14
Standartnovirze		1,3	1,2	0,15
Drošības intervāls		1,8	1,6	0,21
Mtpb_228	Putekļains smilšmāls	37,09	52,96	9,95
		40,21	50,34	9,45
		38,15	52,06	9,79
		37,37	52,70	9,93
		37,99	52,21	9,80
Vidējais rezultāts		38,2	52,1	9,8
Standartnovirze		1,2	1,0	0,2
Drošības intervāls		1,7	1,4	0,3
Mtpb_231	Putekļains smilšmāls	28,87	60,22	10,91
		27,92	61,02	11,06
		28,26	60,75	10,99
		26,17	62,48	11,35
		27,60	61,29	11,10
Vidējais rezultāts		27,8	61,2	11,08
Standartnovirze		1,0	0,8	0,17
Drošības intervāls		1,4	1,2	0,23
Mtpb_251	Smaga mālsmilts	57,30	39,55	3,15
		59,31	37,70	2,99
		58,86	38,12	3,02
		55,16	41,54	3,30
		57,30	39,56	3,14
Vidējais rezultāts		57,6	39,3	3,12
Standartnovirze		1,6	1,5	0,12
Drošības intervāls		2,3	2,1	0,17
LŪKb_2	Smaga mālsmilts	49,22	41,34	9,44
		51,40	39,52	9,08
		57,80	34,38	7,83
		60,09	32,50	7,41
		63,38	29,81	6,81
Vidējais rezultāts		56	36	8,1
Standartnovirze		6	5	1,1
Drošības intervāls		8	7	1,5

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
LŪKb_4	Smilšmāls	46,96	45,61	7,44
		45,90	46,51	7,58
		41,79	50,05	8,15
		38,95	52,50	8,55
		38,35	53,03	8,63
Vidējais rezultāts		42	50	8,1
Standartnovirze		4	3	0,5
Drošības intervāls		5	4	0,8
LŪKb_5	Putekļains smilšmāls	17,87	67,36	14,77
		20,33	65,34	14,33
		21,40	64,42	14,18
		19,14	66,25	14,61
		19,24	66,18	14,58
Vidējais rezultāts		19,6	65,9	14,5
Standartnovirze		1,3	1,1	0,2
Drošības intervāls		1,9	1,5	0,3
LŪKb_6	Smilšmāls	34,50	51,95	13,55
		36,29	50,56	13,14
		38,50	48,89	12,61
		42,48	45,75	11,78
		43,02	45,34	11,64
Vidējais rezultāts		39	48	12,5
Standartnovirze		4	3	0,8
Drošības intervāls		5	4	1,2
LŪKb_8	Putekļains smilšmāls	26,09	60,36	13,55
		30,58	56,98	12,45
		29,97	57,48	12,56
		27,80	59,27	12,93
		29,49	57,88	12,63
Vidējais rezultāts		28,8	58,4	12,8
Standartnovirze		1,8	1,4	0,4
Drošības intervāls		2,5	1,9	0,6
LŪKb_10	Putekļains smilšmāls	40,14	51,63	8,23
		38,21	53,24	8,55
		37,33	53,98	8,68
		37,01	54,25	8,73
		37,67	53,68	8,65
Vidējais rezultāts		38,1	53,4	8,6
Standartnovirze		1,2	1,0	0,2
Drošības intervāls		1,7	1,4	0,3

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
LŪKb_11	Putekļains smilšmāls	23,20	64,92	11,88
		22,06	65,92	12,02
		22,59	65,50	11,91
		22,10	65,97	11,92
		21,84	66,21	11,96
Vidējais rezultāts		22,4	65,7	11,94
Standartnovirze		0,5	0,5	0,05
Drošības intervāls		0,7	0,7	0,08
LŪKb_15	Putekļains smilšmāls	34,59	53,06	12,35
		31,29	55,64	13,07
		34,17	53,28	12,55
		34,11	53,29	12,60
		33,85	53,50	12,65
Vidējais rezultāts		33,6	53,8	12,6
Standartnovirze		1,3	1,1	0,3
Drošības intervāls		1,8	1,5	0,4
LŪKb_20	Smaga mālsmilts	47,83	45,18	6,99
		51,74	41,82	6,44
		51,74	41,80	6,46
		54,95	39,06	5,99
		56,11	38,06	5,84
Vidējais rezultāts		52	41	6,3
Standartnovirze		3	3	0,5
Drošības intervāls		4	4	0,6
LŪKb_23	Smilšmāls	39,55	49,79	10,66
		44,03	46,13	9,83
		40,12	49,36	10,52
		40,60	48,95	10,45
		41,71	48,07	10,22
Vidējais rezultāts		41,2	48,5	10,3
Standartnovirze		1,8	1,4	0,3
Drošības intervāls		2,5	2,0	0,5
LŪKb_24	Putekļains smilšmāls	37,83	50,91	11,26
		30,34	57,06	12,60
		32,09	55,59	12,32
		31,59	56,02	12,39
		35,31	52,95	11,74
Vidējais rezultāts		33	55	12,1
Standartnovirze		3	3	0,6
Drošības intervāls		4	4	0,8

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
LŪKb_29	Mālsmilts	73,82	22,47	3,70
		76,34	20,31	3,35
		74,80	21,64	3,56
		73,60	22,65	3,75
		74,08	22,24	3,68
Vidējais rezultāts		74,5	21,9	3,61
Standartnovirze		1,1	0,9	0,16
Drošības intervāls		1,5	1,3	0,22
LŪKb_32	Putekļains smilšmāls	31,51	55,21	13,29
		31,87	54,92	13,21
		30,37	56,12	13,52
		33,01	53,97	13,02
		29,06	57,13	13,81
Vidējais rezultāts		31,2	55,5	13,4
Standartnovirze		1,5	1,2	0,3
Drošības intervāls		2,1	1,7	0,4
LŪKb_33	Putekļains smilšmāls	15,15	67,31	17,54
		16,02	66,61	17,36
		15,85	66,72	17,44
		15,30	67,13	17,57
		15,61	66,85	17,54
Vidējais rezultāts		15,6	66,9	17,49
Standartnovirze		0,4	0,3	0,09
Drošības intervāls		0,5	0,4	0,12
LŪKb_34	Putekļains smilšmāls	31,41	56,90	11,69
		34,15	54,60	11,24
		36,59	52,55	10,87
		31,86	56,49	11,64
		35,96	53,11	10,93
Vidējais rezultāts		34	55	11,3
Standartnovirze		2	2	0,4
Drošības intervāls		3	3	0,5
LŪKb_35	Putekļains smilšmāls	17,01	66,00	16,99
		19,10	64,24	16,66
		21,45	62,36	16,18
		17,47	65,50	17,03
		18,34	64,74	16,92
Vidējais rezultāts		18,7	64,6	16,8
Standartnovirze		1,7	1,4	0,4
Drošības intervāls		2,4	2,0	0,5

Paraugs	Augsnes granulometriskā sastāva grupas	2mm – 63 μm, %	63 – 2μm, %	< 2μm, %
		Smiltis	Putekļi	Mals
LŪKb_47	Smilšmāls	46,15	43,67	10,18
		46,59	43,33	10,08
		48,36	41,87	9,77
		43,10	46,12	10,78
		46,73	43,19	10,09
Vidējais rezultāts		46,2	43,6	10,2
Standartnovirze		1,9	1,5	0,4
Drošības intervāls		2,7	2,1	0,5
LŪKb_52	Putekļains smilšmāls	28,88	58,98	12,14
		28,24	59,45	12,31
		27,91	59,75	12,33
		29,04	58,79	12,17
		28,69	59,09	12,22
Vidējais rezultāts		28,6	59,2	12,23
Standartnovirze		0,5	0,4	0,08
Drošības intervāls		0,6	0,5	0,12
LŪKb_54	Putekļains smilšmāls	20,93	63,58	15,49
		18,95	65,20	15,86
		20,66	63,84	15,50
		19,65	64,64	15,71
		18,19	65,79	16,02
Vidējais rezultāts		19,7	64,6	15,7
Standartnovirze		1,1	0,9	0,2
Drošības intervāls		1,6	1,3	0,3
LŪKb_87	Putekļains smilšmāls	22,84	61,59	15,57
		21,71	62,46	15,83
		22,59	61,81	15,61
		23,26	61,29	15,45
		20,67	63,37	15,96
Vidējais rezultāts		22,2	62,1	15,7
Standartnovirze		1,0	0,8	0,2
Drošības intervāls		1,4	1,1	0,3
LŪKb_106	Putekļains smilšmāls	33,95	57,07	8,97
		31,54	59,14	9,31
		34,99	56,16	8,85
		33,26	57,65	9,08
		31,66	59,04	9,30
Vidējais rezultāts		33,1	57,8	9,1
Standartnovirze		1,5	1,3	0,2
Drošības intervāls		2,1	1,8	0,3

Bakalaura darbs „Augsnes granulometrija un to frakciju raksturošana” izstrādāts Latvijas Valsts Mežzinātnes institūtā.

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

Autors: _____ Dmitrijs Bogdanovs
(personiskais paraksts) (paraksta atšifrējums)

Vadītājs: profesors, Dr.chem. Arturs Vīksna: _____
(personiskais paraksts) (datums)

Vadītājs: Dr.silv. Andis Lazdiņš : _____
(personiskais paraksts) (datums)

Darbs iesniegts Ķīmijas fakultātē: _____ (datums)

Dekāna pilnvarotā persona, metodiķe: _____ Vija Gutāne
(personiskais paraksts)

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē:

_____ protokols Nr. _____ (ieraksta sekretārs)
(datums) (protokola Nr.)

Komisijas sekretāre, lektore: _____
(personiskais paraksts) (paraksta atšifrējums)