

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOLOĢIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**SMILŠAINO NOGULUMU FILTRĀCIJAS KOEFICIENTA
NOTEIKŠANAS METOŽU SALĪDZINĀJUMS**

MAGISTRA DARBS

Autors: **Sandra Muižniece**

Stud. apl. sm11062

Darba vadītājs: doc., Dr.geol. A. Dēliņa

RĪGA 2016

ANOTĀCIJA

Maģistra darbs “Smilšaino nogulumu filtrācijas koeficienta noteikšanas metožu salīdzinājums” ir veltīts filtrācijas koeficienta noteikšanas problemātikai. Līdzšinējos pētījumos filtrācijas koeficienta vērtību izkliede starp laboratorijā, *in situ* un ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtajām filtrācijas koeficientu vērtībām ir apskatīta maz. Tāpat līdz šim nav plašāk pētīts laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību, kas noteiktas ar dažādām iekārtām, atšķirības, kas arī nosaka tēmas aktualitāti.

Darba mērķis ir novērtēt iegūto filtrācijas koeficienta vērtību un izkliedi atkarībā no pielietotās filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes. Darbā apzinātas smilšainos nogulumos izmantoto metožu nepilnības. Secināts, ka nogulumu filtrācijas koeficienta noteikšana gan laboratorijā, gan ar empīriskajiem vienādojumiem ir problemātiska.

Atslēgas vārdi: laboratorijas iekārtas Eijkelkamp un GOST, glaciofluviāli nogulumi, empīriskie vienādojumi, dubultgredzenu infiltrometrs, kēmu terase.

ANOTATION

The master's thesis "Comparison of hydraulic conductivity determination methods for sandy soils" deals with problems that are related to hydraulic conductivity determination. Up until now, hydraulic conductivity values and its variations from laboratory, *in situ* methods, and empirical equations have not been thoroughly studied. Also, there have not been significant studies that compare hydraulic conductivity values that are given by different laboratory parameters, which ensure the topicality of this study.

The aim of this study is to estimate hydraulic conductivity values and its variability depending on the methods used. In result, this study identifies shortcomings of used methods and it is suggested that hydraulic conductivity determination using laboratory methods and empirical equations is problematic.

Keywords: laboratory parameters Eijkelkamp and GOST, glaciofluvial deposits, empirical equations, double ring infiltrometer, kame terrace.

SATURS

IEVADS	6
1. NOGULUMU FILTRĀCIJAS KOEFICIENTS	8
1.1. Filtrācijas koeficienta noteikšana laboratorijā	10
1.2. Filtrācijas koeficienta noteikšana <i>in situ</i>	11
1.3. Filtrācijas koeficienta noteikšana ar empīriskajiem vienādojumiem.....	14
2. PĒTĪJUMU TERITORIJAS RAKSTUROJUMS	20
3. MATERIĀLI UN METODES.....	23
3.1. Pētījumu teritorijas izvēle	23
3.2. Eksperimenta poligona ierīkošana	24
3.3. Filtrācijas koeficienta noteikšana.....	26
3.3.1. Filtrācijas koeficienta mērījumi pēc GOST 25584-90 p.2.....	26
3.3.2. Filtrācijas koeficienta mērījumi ar <i>Eijkelkamp</i> iekārtu	28
3.3.3. Filtrācijas koeficienta aprēķināšana, izmantojot ar GOST un <i>Eijkelkam</i> iekārtām veiktos mērījumus	29
3.3.4. Filtrācijas koeficienta aprēķināšana pēc empīriskajiem vienādojumiem.....	30
3.3.5. Filtrācijas koeficienta noteikšana <i>in situ</i> ar dubultgredzenu infiltrometru.....	31
3.3.6. Filtrācijas koeficienta aprēķināšana, izmantojot ar dubultgredzenu infiltrometru iegūtos mērījumus	34
3.4. Nogulumu fizikālo parametru noteikšana.....	36
3.4.1. Granulometriskā sastāva noteikšana un d10 aprēķināšana	36
3.4.2. Nogulumu paraugu porainības un blīvuma noteikšana.....	40
4. REZULTĀTI	42
4.1. Pētījumu teritorijas ģeoloģiskā uzbūve.....	42
4.2. Laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu mērījumu izkliede	45
4.3. Pētījuma laikā aprēķinātās filtrācijas koeficienta vērtības.....	46
4.3.1. Pirmais mērījumu punkts	46
4.3.2. Otrais mērījumu punkts.....	50
4.3.3. Trešais mērījumu punkts	54
4.3.4. Ceturtais mērījumu punkts	59
4.3.5. Laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību salīdzinājums starp punktiem.....	63
4.4. Ar dubultgredzenu infiltrometru iegūtie rezultāti	64
4.4.1. Pirmais infiltrācijas punkts.....	64

4.4.2. Otrais infiltrācijas punkts	65
4.4.3. Trešais infiltrācijas punkts	66
5. DISKUSIJA	69
6. SECINĀJUMI	73
LITERATŪRAS SARAKSTS	74
PIELIKUMI.....	77

IEVADS

Filtrācijas koeficients ir būtisks nogulumu filtrācijas īpašību raksturojošs parametrs. Šī parametra vērtības un to atšķirības dažādos nogulumos ir ļoti nozīmīgas, apskatot jautājumus, kas saistīti ar inženierģeoloģiju, derīgo izrakteņu ģeoloģiju, hidroģeoloģiju, kā arī vides problēmu risināšanu. Līdzšinējie pētījumi norāda uz ilglaicīgo problemātiku, kas saistīta ar šī parametra noteikšanu un iegūto vērtību mainību, izmantojot dažādas filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes ģeoloģiskajā vidē (Ghanbarian, 2015).

Līdzšinējos pētījumos netiek apskatīta filtrācijas koeficienta vērtību izkliede starp laboratorijā, *in situ* un ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtajām filtrācijas koeficientu vērtībām, kā arī līdz šim nav plašāk pētītas laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu vērtības ar vairākām iekārtām, kas arī nosaka tēmas aktualitāti.

Maģistra darba **mērķis** ir analizēt un savstarpēji salīdzināt ar dažādām filtrācijas koeficienta noteikšanas metodēm iegūtās vērtības smilšainos nogulumos.

Maģistra darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi **uzdevumi**:

- Apgūt filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes precīzai filtrācijas koeficienta noteikšanai;
- Apzināt zinātnisko literatūru, kas saistīta ar filtrācijas koeficienta noteikšanas problemātiku;
- Izstrādāt lauka darbu plānu pētījuma mērķa sasniegšanai;
- Teritorijas ģeoloģiskās uzbūves noskaidrošana, veicot literatūras studijas, ģeoloģisko urbumu izveidi un tuvumā esošo atsegumu apsekošanu;
- Noteikt filtrācijas koeficientu *in situ* ar izvēlēto metodi;
- Noteikt filtrācijas koeficientu ar izvēlētajām laboratorijas metodēm;
- Noteikt pētījumu teritorijā izplatīto nogulumu fizikālos parametrus, filtrācijas koeficienta aprēķināšanai ar empīriskajiem vienādojumiem;
- Apkopot un analizēt pētījumā iegūtos rezultātus;
- Novērtēt ar izmantotajām filtrācijas koeficienta noteikšanas metodēm iegūto filtrācijas koeficienta vērtību izkliedes radītos iemeslus.

Darba izstrādē veikti smilšaino nogulumu filtrācijas koeficienta, granulometriskā sastāva un porainības pētījumi smilšainiem kēmu terases nogulumiem pie Lodes muižas karjera, Taures pagastā. Darbā iegūtas šo nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības, izmantojot GOST un *Eijkelkamp* laboratorijas filtrācijas iekārtas, dubultgredzenu infiltrometru un plašāk pielietotos empīriskos vienādojumus.

Pētījumā tiek sniegts pētījumu teorijas apraksts, izmantoto metožu apraksts, pētījumu rezultāti un to interpretācija, kā arī izdarīti secinājumi.

Pētījumā veikts filtrācijas koeficienta noteikšanas metožu salīdzinājums (laboratorijas, *in situ* dubultgredzenu infiltrometra un empīriskie vienādojumi). Darba izstrādes laikā apzinātas smilšainos nogulumos izmantoto metožu nepilnības un laboratorijā iegūto rezultātu saistība ar parauga izmaiņām, kas savukārt saistītas ar paraugu noņemšanu un transportēšanu.

Darbu veido ievads, 6 teksta nodaļas ar apakšnodaļām un literatūras saraksts. Darbs sastāv no 80 lapaspusēm. Maģistra darbs ir papildināts ar 37 attēliem, 5 tabulām un 3 pielikumiem.

Daļa no pētījumā iegūtajiem rezultātiem aprobēta Latvijas Universitātes 74. zinātniskajā konferencē (Muižniece, 2016).

1. NOGULUMU FILTRĀCIJAS KOEFICIENTS

Ūdens infiltrācija nogulumos ir process, kura rezultātā ūdens caur porainu vidi nokļūst dziļākos nogulumu slāņos. Infiltrētā ūdens apjoms un ātrums ir mainīgs dažādās teritorijās, un to ietekmē vairākas nogulumu īpašības, kā, piemēram, nogulumu mitrums, struktūra, blīvums, organisko vielu saturs, filtrācijas koeficients un porainība (Ward and Trimble, 2004).

Filtrācijas koeficients ir parametrs, kas raksturo, cik ātri ūdens plūst caur noteiktu vidi (Ward and Trimble, 2004), un tas var tikt definēts kā nogulumu ūdens vadītspēja atkarībā no pieliktā hidrauliskā gradienta (Kasenow, 2002). Filtrācijas koeficients ir atkarīgs no vairākiem fizikāliem faktoriem, kā, piemēram, porainība, granulometriskais sastāvs, daļiņu forma, nogulumu daļiņu izkārtojums un citi faktori. Kopumā nekonsolidētos nogulumos filtrācijas koeficients mainās atkarībā no daļiņu izmēra, piemēram, mālainos nogulumos filtrācijas koeficienta vērtības ir zemas, savukārt smilšainos un grantainos nogulumos – augstas (Todd and Mays, 2005). Turklāt iegūto filtrācijas koeficienta vērtību izkliede var būt atkarīga no pētījumu teritorijas ģeoloģiskās uzbūves nevienādības, tādējādi nogulumu slānī dažādās vietās var tikt iegūtas atšķirīgas filtrācijas koeficienta vērtības. Nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības var mainīties arī atkarībā no virziena, kādā veikti mērījumi (Cheng et al., 2013; Fetter, 2001), piemēram, ja monolīts tiek iegūts perpendikulāri slāņa virsmai, tiks iegūts filtrācijas koeficients vertikālā virzienā, savukārt, ja parauga monolītu iegūst paralēli slāņa virsmai – horizontālā virzienā. Nogulumiem, kam raksturīgas atšķirīgas filtrācijas koeficienta vērtības dažādos virzienos, piemīt anizotropas īpašības (Fetter, 2001).

Filtrācijas koeficients tiek raksturots ar Darsī vienādojumu, kas viendimensionālai vertikālai plūsmai var tikt izteikts sekojoši (Fetter, 2001):

$$v = -K \frac{dh}{dz} \quad (1.1.)$$

v – Darsī ātrums (m/dienn.)

dh – ūdens līmeņu starpība (m)

dz – attālums (m)

K – filtrācijas koeficients (m/dienn.).

Darsī ātrums var tikt dēvēts arī par īpatnējo ūdens atdevi, kas raksturo laukumu, pa kuru pārvietojas ūdens plūsma, tādējādi neņemot vērā relatīvo nogulumu daļiņu un poru attiecības (Brassington, 2007; Todd and Mays, 2005). Vienādojumu 1.1. var izteikt arī šādi (Fetter, 2001):

$$Q = -KA \frac{dh}{ds} \quad (1.2.)$$

Q – debits ($m^3/dienn.$);

K – filtrācijas koeficients ($m/dienn.$);

$\frac{dh}{ds}$ – bezdimensionāls hidrauliskais gradients (citur literatūrā tiek atzīmēts kā i vai I

(Ансберг и др., 1965));

A – šķērsriezuma laukums (m^2).

Būtiski ir atzīmēt, ka filtrācijas koeficients tiek noteikts ūdens piesātinātiem un nepiesātinātiem nogulumiem. Nepiesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients tiek izmantots, lai raksturotu un modelētu ūdens kustību un izkliedi aerācijas zonā virs gruntsūdens līmeņa. Tradicionāli par filtrācijas koeficientu tiek runāts par ūdens piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficientu, kas var tikt noteikts gan laboratorijā (3.3.1. un 3.3.2 apakšnodaļas), gan *in situ* (3.3.5. apakšnodaļa) (Ward and Trimble, 2004), kā arī izmantojot empīriskos vienādojumus (3.3.4. apakšnodaļa).

Filtrācijas koeficienta vērtības un to atšķirības dažādos nogulumos ir ļoti nozīmīgas, apskatot jautājumus, kas saistīti ar inženierģeoloģiju, derīgo izrakteņu ģeoloģiju, hidroģeoloģiju, kā arī vides problēmu risināšanu. Pētījumu mērķa sasniegšanai ir iespējams izvēlēties visatbilstošāko filtrācijas koeficienta noteikšanas metodi, ņemot vērā gan datu pieejamību, gan projekta budžetu. Izvēloties filtrācijas koeficienta noteikšanas metodi pētījuma mērķa sasniegšanai, jāņem vērā arī tas, cik lielai teritorijai piemērojami iegūtie filtrācijas koeficienta rezultāti. Jo plašākā teritorijā pielietojama metode, jo lielāka vides neviendabība tiek ietvertas rezultējošās filtrācijas koeficienta vērtībās (Brutsaert, 2005; Fetter, 2001).

Filtrācijas koeficients ir ticis noteikts dažādos pētījumos jau no deviņpadsmitā gadsimta. Mūsdienās visplašāk pielietotie paņēmieni ir eksprestesti (*slug*) un atsūkņēšanas testi (Pliakas and Petalas, 2011). Izstrādātās filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes var iedalīt četrās grupās:

- 1) Laboratorijas metodes;
- 2) *In situ* liela mēroga metodes;
- 3) *In situ* maza mēroga metodes;
- 4) Aprēķini, izmantojot empīriskos vienādojumus.

1.1. Filtrācijas koeficienta noteikšana laboratorijā

Plaši filtrācijas koeficients tiek noteikts, izmantojot laboratorijas pētījumu laikā veiktos eksperimentus. Filtrācijas koeficienta noteikšanai ir izstrādāti vairāki iekārtu veidi ar atšķirīgu konstrukciju. Klasiski šādās iekārtās tiek ievietots nogulumu paraugs, kur tiek nodrošināta ūdens plūsma caur paraugu pie noteikta spiediena gradienta.

Filtrācijas koeficienta noteikšanai izstrādātās iekārtas var grupēt pēc ūdens plūsmas virziena:

- Eksperimenta laikā ūdens caur nogulumu paraugu plūst no augšas uz leju;
- Eksperimenta laikā ūdens caur nogulumu paraugu plūst no lejas uz augšu.

Filtrācijas koeficienta noteikšanai izstrādātās iekārtas var grupēt arī pēc izmantotā spiediena gradienta:

- Spiediena gradients eksperimenta laikā nemainās;
- Spiediena gradients eksperimenta laikā mainās.

Jāatzīmē, ka ir pieejamas arī tādas filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārtas, kuras ir iespējams pielāgot pēc vajadzības, tādējādi nosakot filtrācijas koeficientu gan ar mainīgu, gan ar pastāvīgu spiediena gradientu (Eijkelkamp, 2013; Fitts, 2013; Klute, 1968).

Filtrācijas koeficienta noteikšanai paredzētās iekārtas izvēli pamatā nosaka nogulumu, kam tiks veikti mērījumi, tips. Smilšainiem nogulumiem jeb ātri filtrējošiem nogulumiem tiek izmantota iekārta ar nemainīgu spiediena gradientu, mālainiem un aleirītiskiem nogulumiem – iekārta ar mainīgu spiediena gradientu (Eijkelkamp, 2013; Fitts, 2013).

Laboratorijas iekārtas filtrācijas koeficienta noteikšanai var atšķirties arī ar testējamā parauga tilpumu, ko var ievietot grunts paraugiem paredzētajā filtrācijas iekārtas parauga gredzenā. Zinātniskajā literatūrā tiek minēts, ka, palielinoties testētā parauga tilpumam, iegūtie rezultāti precīzāk raksturo pētīto nogulumu slāni un noteiktā filtrācijas koeficienta vērtība ir tuvāka patiesajai vērtībai (Fitts, 2013). Turpretī citviet tiek minēts, ka iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības jebkurā gadījumā ir zemākas nekā *in situ* veikto pētījumu rezultātu vērtības (Ward and Trimble, 2004).

Laboratorijas apstākļos filtrācijas koeficientu nosaka gan jauktas struktūras paraugiem, gan *in situ* ņemtiem monolītu paraugiem (3.3.1. un 3.3.2. apakšnodaļa).

Netraucētas struktūras (smilšainu) nogulumu paraugu noņemšana ir laikietilpīga un sarežģīta, un bieži vien ir grūti izvairīties no paraugu struktūras izmainīšanas dažādos paraugu ņemšanas un transportēšanas posmos. Tādēļ bieži derīgo izrakteņu izpētē filtrācijas koeficienta noteikšanai priekšroka tiek dota jauktas struktūras paraugiem.

Nosakot filtrācijas koeficientu jauktas struktūras paraugiem, tiek norādīts blīvums, pie kāda ir noteikts filtrācijas koeficients. Tomēr, ņemot jauktas struktūras nogulumus, netiek noteikts parauga dabiskais blīvums, tāpēc jauktas struktūras nogulumu paraugi filtrācijas koeficienta noteikšanai tiek sablīvēti, izmantojot aprēķinātās teorētiskās blīvuma vērtības.

Lai noskaidrotu sablīvēta parauga teorētiskās blīvuma vērtības, tiek veikti aprēķini pēc 1.5. vienādojuma, kas iegūts, apvienojot 1.3. un 1.4. vienādojumus (SNiP 2.02.01-83).

$$e = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_d} \quad (1.3.)$$

$$\rho_d = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{e} \quad (1.4.)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{(e+1)} \quad (1.5.)$$

e – porainības koeficients;

ρ_d – gaisaugs nogulumu blīvums (g/cm^3);

ρ_s – grunts daļiņu blīvums (g/cm^3), aprēķinos tiek izmantots kvarca smiltij atbilstošs blīvums $2,66 \text{ g/cm}^3$;

Parasti aprēķinos tiek izmantotas porainības vērtības kas ir tipiskas apskatītajiem nogulumiem (3.1. tabula).

3.1. tabula

Porainības teorētiskās vērtības blīviem nogulumiem (SNiP 2.02.01-83)

Nogulumu tips	Porainības koeficients
grantaina smilts, vidēja un vidēji rupja smilts	<0.55
smalkgraudaina un putekļaina smilts, mālsmilts ar nelielu māla daļiņu piejukumu	<0.6
māls, smilšmāls un mālsmilts ar lielu māla daļiņu saturu	<0.4

Tiek uzskatīts, ka sablīvēta nogulumu parauga blīvums ir tuvs dabiska sagulumu nogulumu blīvumam. Tādēļ sablīvētā parauga testēšanas rezultātā iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības tiek izmantotas derīgā izrakteņa kvalitātes raksturošanai kā tuvas dabiska saguluma nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības.

1.2. Filtrācijas koeficienta noteikšana *in situ*

Kā iepriekš minēts, *in situ* filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes var iedalīt maza un liela mēroga filtrācijas koeficienta noteikšanas metodēs.

Maza mēroga filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes ļauj salīdzinoši ātri gūt priekšstatu par mērījumu punktā izplatīto nogulumu filtrācijas īpašībām. Tomēr šādus iegūtos

mērījumus attiecināt uz plašāku teritoriju varētu tikai gadījumos, kad teritorijas ģeoloģiskā uzbūve ir vienvēidīga, homogēna.

Maza mēroga filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes var iedalīt tādās metodēs, kuras tiek izmantotas filtrācijas koeficienta noteikšanai nogulumos virs gruntsūdens līmeņa, un tādās, kuras izmantojamas zem gruntsūdens līmeņa.

Lai nodrošinātu piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficientu vērtību iegūšanu, veicot *in situ* filtrācijas koeficienta mērījumus ūdens nepiesātinātos nogulumos, sākotnēji nepiesātinātie nogulumi mākslīgi jāpiesātina ar ūdeni, tādējādi mērījumu veikšanu padarot sarežģītāku, nekā veicot mērījumus piesātinātos nogulumos. Mērījumu veikšanai nepieciešams liels ūdens apjoms, kas rezultējas laikietilpīgos mērījumos. Virs gruntsūdens līmeņa filtrācijas koeficienta noteikšanai tiek izmantotas tādas metodes kā *Guelph*, infiltrometra un *Inverse augerhole* metodes (Stibinger, 2014).

Ar *Guelph* (Urbuma caurlaidības noteikšanas metode ar konstantu ūdens līmeni) nogulumu caurlaidības mērījumi tiek veikti seklā urbumā, kas nerasniedz gruntsūdens līmeni, aptuveni 15 - 75 cm dziļumā no zemes virsmas. Ar mēriekārtas palīdzību urbumā tiek uzturēts konstants ūdens līmenis. Mērījuma laikā tiek noteikts, cik ātri ūdens aizplūst no urbuma pie diviem atšķirīgiem ūdens līmeņiem urbumā. Veicot aprēķinus, tiek iegūts piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients (Eijkelkamp, 2011; Ward and Trimble, 2004; Reynolds et al., 1983). Iegūtie filtrācijas koeficienti reprezentē gan vertikālo, gan horizontālo filtrācijas koeficienta komponenti (Stibinger, 2014; Knödel et al., 2007; Environmental ..., s.a.).

Infiltrometrs ir iekārta augsnes un citu porainu materiālu infiltrācijas ātruma noskaidrošanai. Plaši mērījumu veikšanai tiek izmantoti viena gredzena un dubultgredzenu infiltrometri (Eijkelkamp, 2012; Knödel et al., 2007, Ward and Trimble, 2004).

Mērījums tiek realizēts, novietojot infiltrometru uz no augsnes attīrītas nogulumu virskārtas un ar Mariota pudeli infiltrometrā uzturot konstantu ūdens līmeni. Mērījumi tiek veikti ar Mariota pudeli, noskaidrojot nogulumos infiltrētā ūdens apjomu laika vienībā. Infiltrometru izmanto filtrācijas koeficienta noskaidrošanai virs gruntsūdens līmeņa (Анцберг и др., 1965). Tiek iegūts gan nepiesātinātu, gan piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients. Pēdējais tiek iegūts, kad infiltrācijas ātrums infiltrometrā ir nostabilizējies, tādējādi norādot uz nogulumu piesātināta stāvokļa sasniegšanu (Ward and Trimble, 2004).

Dubultgredzena infiltrometrs tiek pielietots viendimensionāla filtrācijas koeficienta noskaidrošanai. Ārējais infiltrācijas gredzens nodrošina iekšējā infiltrācijas gredzena ūdens plūsmu viendimensionālā vertikālā virzienā un darbojas kā buferis laterālas ūdens plūsmas ierobežošanai (Ward and Trimble, 2004).

Inverse augerhole metode tiek realizēta urbumā, kura pamatne atrodas virs gruntsūdens līmeņa. Urbums tiek piepildīts ar ūdeni, un tad tiek veikti ūdens līmeņa krišanas ātruma mērījumi. Veicot aprēķinus, tiek iegūts ūdens piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients (Stibinger, 2014; Ward and Trimble, 2004).

Filtrācijas koeficienta noteikšanai zem gruntsūdens līmeņa tiek izmantotas tādas metodes kā *auger hole*, pjezometra un urbumu atsūkņēšanas eksprestests (*slug*).

Auger hole metode tiek realizēta urbumā, kura pamatne atrodas zem gruntsūdens līmeņa. Kad ūdens līmenis urbumā nostabilizējies, ūdens tiek atsūkņēts no urbuma, līdz tas ir sasniedzi vēlamo līmeni zem gruntsūdens līmeņa. Tiek veikti ūdens līmeņa atjaunošanās mērījumi un, veicot aprēķinus, tiek iegūts vidējais ūdens piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients horizontāla virziena (Stibinger, 2014).

Pjezometra metode tiek realizēta urbumā, kurā ievietota apvalkcaurule ar vaļēju galu. Veicot mērījumus, urbumā tiek atsūkņēts ūdens, pēc tam tiek veikti ūdens līmeņa atjaunošanās ātruma mērījumi. Izmantojot šo metodi, iespējams noteikt gan vertikālā, gan horizontāla virziena filtrācijas koeficientu slāņotos nogulumos – katra slāņa filtrācijas koeficientu. (Stibinger, 2014; Ward and Trimble, 2004; Environmental ..., s.a.).

Eksprestests (*Slug*) tiek veikts urbumā, kur momentāni tiek pievadīts vai atsūkņēts (*Bail tests*) zināms apjoms ūdens. Pēc tam tiek mērīts laiks, kurā atjaunojas sākotnējais ūdens līmenis urbumā. Iegūtie mērījumi galvenokārt atspoguļo filtrācijas koeficienta vērtības horizontālā virzienā nelielā attālumā (līdz 1-2 m) ap urbumu (Fitts, 2013; LaMoreaux, 2009; Hudak, 2000).

Liela mēroga filtrācijas koeficienta noteikšanas metožu izmantošana ir laikietilpīgāka nekā maza mēroga *in situ* metožu, bet savukārt iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības ir attiecināmas uz plašāku teritoriju (līdz vairākiem simtu metru) (Vienken and Dietrich, 2011).

Atsūkņēšanas tests tiek realizēts urbumā, kur ar sūkni konstantā ātrumā tiek atsūkņēts ūdens. Pazemes līmeņa krišanās mērījumi tiek veikti zināmā attālumā esošos monitoringa urbumos. Veicot aprēķinus, tiek iegūts ūdens piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients (Fitts, 2013; Brassington, 2007; Hudak, 2000), kas atbilst daudz lielākai teritorijai, nekā ar iepriekš minētajām *in situ* metodēm (Fitts, 2013). Atsūkņēšanas datu interpretācijai ir izstrādātas daudzas metodes (Fitts, 2013; Brassington, 2007).

1.3. Filtrācijas koeficienta noteikšana ar empīriskajiem vienādojumiem

Izmantojot empīriskos vienādojumus, ir iespējams netieši noteikt nogulumu paraugu filtrācijas koeficienta vērtības. Šie vienādojumi ir iegūti empīriskā ceļā, veicot apjomīgus laboratorijas darbus, kuru laikā, testējot vairākus nogulumu paraugus, ir noteikti koeficienti, kas izmantoti vienādojumos (Kasenow, 2002).

Pamatā empīriskajos vienādojumos, lai aprēķinātu nogulumu filtrācijas koeficientu, tiek izmantota porainība un efektīvais daļiņu diametrs, kas tiek aprēķināts, izmantojot nogulumu granulometrisko sastāvu, retāk – viskozitāte un dažādi empīriski koeficienti, kas atsevišķos vienādojumos var raksturot materiāla neviendabīgumu, graudu virsmas raksturu vai graudu izmēru.

Hāzena vienādojums:

Hāzens 1892. gadā izstrādāja empīrisko vienādojumu porainas vides filtrācijas koeficienta noteikšanai. Šis vienādojums ir visplašāk pielietots zinātniskajā literatūrā. Filtrācijas koeficients tiek aprēķināts pēc vienādojuma 1.6. (Максимов, 1967).

$$K = C d_{10}^2 (0.7 + 0.03t) \quad (1.6.)$$

K – filtrācijas koeficients (m/dienn.);

C – empīriskais koeficients, kas atkarīgs no graudu izmēra (400 – smalkgraudaina smilts; 1200 – rupjgraudaina smilts);

d_{10} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 10 % daļiņu (mm);

t – ūdens temperatūra (°C);

$(0.7+0.03t)$ – ūdens temperatūras korekcija.

Vienādojumā iekļauto efektīvo daļiņu diametru jeb d_{10} iespējams noteikt grafiski pēc granulometriskā sastāva sadalījuma līknes, kā arī, veicot aprēķinus, pēc formulas 1.7.

$$d_{10} = \frac{d_2(10-P_1)+d_1(P_2-10)}{P_2-P_1} \quad (1.7.)$$

P_1 un P_2 – kumulatīvo procentu summa starp d_1 un d_2 (%);

d_1 un d_2 – daļiņu izmērs zem (d_1) un virs (d_2) 10 % daļiņu (mm).

Vidējgraudainai smiltij, kur $C = 864$, filtrācijas koeficients pie 10 °C ūdens temperatūras tiek aprēķināts pēc vienkāršota Hāzena vienādojuma (1.8. vienādojums):

$$K_{10} = d_{10}^2 \quad (1.8.)$$

K_{10} – filtrācijas koeficients pie 10 °C ūdens temperatūras (cm/ s);

d_{10}^2 – daļiņu efektīvais diametrs (mm).

Lai iegūto filtrācijas koeficientu, pārrēķinātu no centimetriem sekundē uz metriem diennaktī, iegūtais rezultāts tiek reizināts ar 864 pēc vienādojuma 1.9. (Максимов, 1967).

$$K_{10} = d_{10}^2 * 864 \quad (1.9.)$$

Hāzena vienādojums ir vispiemērotākais, apskatot nogulumus, kas līdzīgi nogulumiem, kas tika izmantoti laboratorijas mērījumos, izstrādājot vienādojumu nogulumiem, kam d_{10} ir robežās no 0,1 līdz 3 mm, un neviendabības koeficients ir mazāks par 5 (Vukovis and Soro, 1992; Максимов, 1967).

Slihtera (Slichtera) vienādojums:

Retāk filtrācijas koeficienta aprēķināšanā tiek pielietots Slichtera empīriskais vienādojums (1.10. vienādojums).

$$K = Ad_{10}^2 m \frac{1}{\mu} \quad (1.10.)$$

K – filtrācijas koeficients (m/dienn.);

A – koeficients, kas vienāds ar 88,3;

d_{10} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 10 % daļiņu (mm);

m – koeficients, kas atkarīgs no porainības (noteikts no 3.2. tabulas);

μ – ūdens viskozitāte (g/s*cm).

3.2. tabula

Koeficients m (Максимов, 1967)

Porainība, n	Koeficients m	Porainība, n	Koeficients m
0,33	0,02601	0,37	0,03808
0,34	0,02878	0,38	0,04151
0,35	0,03163	0,39	0,04524
0,36	0,03373	0,40	0,04922

Slichtera empīriskais vienādojums vislabāk piemērojams nogulumiem, kuru d_{10} (daļiņu efektīvais diametrs) ir robežās starp 0,01 un 5,00 mm (Vukovis and Soro, 1992; Максимов, 1967).

Krūgera vienādojums:

Krūgera empīriskais vienādojums tiek izmantots filtrācijas koeficienta aprēķināšanai pie 10 °C grādu temperatūras (1.11. vienādojums).

$$K_{10} = 322 \frac{n}{(1-n)^2} d_q^2 \quad (1.11.)$$

K_{10} – filtrācijas koeficients pie 10 °C temperatūras (m/dienn.);

n – porainība;

d_q – efektīvais diametrs (mm).

Vienādojumā iekļautais efektīvais diametrs aprēķināms ar 1.12. vienādojumu.

$$d_q = \frac{100}{\sum_1^N \frac{g_i}{d_i}} \quad (1.12.)$$

g_i – frakcijas masa (%);

d_i – frakcijas vidējais diametrs (mm).

Krūgera empīriskais vienādojums piemērots vidējgraudainām smiltīm (Vukovis and Soro, 1992; Максимов, 1967) ar neviendabības koeficientu $C > 5$ (Vukovis and Soro, 1992), kas aprēķināms ar 1.13. formulu.

$$C = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1.13.)$$

d_{60} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 60 % daļiņu (mm);

d_{10} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 10 % daļiņu (mm).

Zamarina vienādojums:

Zamarina empīriskais vienādojums izmantojams, lai aprēķinātu filtrācijas koeficientu pie 0 °C ūdens temperatūras (1.14. vienādojums).

$$K = 4100 \frac{n^3 a^2}{(1-n)} d_z^2 \quad (1.14.)$$

K_0 – Filtrācijas koeficients (m/dienn.);

n – porainība;

a – koeficients, kas tiek aprēķināts pēc formulas $a = 1,275 - 1,5 \times n$;

d_z – daļiņu efektīvais diametrs (mm).

Vienādojumā iekļautais efektīvais diametrs, aprēķināms ar 1.15. vienādojumu (Максимов, 1967).

$$\frac{1}{d_z} = A_1 \Delta g_1 + A_n \Delta g_n + \dots \quad (1.15.)$$

A_n – koeficients, kas noteikts pēc 3.3. tabulas;

Δg_n – frakcijas masas daļa daļas veidā.

3.3. tabula

Koeficients A (Максимов, 1967)

Frakcija, mm	Koeficients A	Frakcija, mm	Koeficients A
<0,01	288,60	0,50 – 1,00	1,38
0,01 – 0,05	40,25	1,00 – 2,00	0,69
0,05 – 0,10	13,80	2,00 – 3,00	0,27
0,10 – 0,25	6,07	5,00 – 7,00	0,17
0,25 – 0,50	2,76	7,00 – 10,00	0,11

Balstoties uz Zamarina veiktajiem eksperimentiem, konstatēts, ka vienādojums ir vispiemērotākais, aprēķinot rupjgraudainas smilts filtrācijas koeficientu (Vukovic and Soro, 1992).

Iegūto filtrācijas koeficientu ir iespējams pārrēķināt pie 10 °C temperatūras pēc 1.16. vienādojuma (Максимов, 1967).

$$k_{10} = k_t \lambda_t \quad (1.16.)$$

k_t – filtrācijas koeficients pie faktiskās temperatūras (m/dienn.)

$\lambda_t = \frac{\tau_{10}}{\tau_t}$ – temperatūras korekcija, kas tiek iegūta, dalot koeficientu τ_{10} pie 10 °C temperatūras ar koeficientu τ_t pie faktiskās temperatūras.

Kozeni empīriskais vienādojums tika izstrādāts 1953. gadā. Aprēķinātais filtrācijas koeficients raksturo nogulumus pie 10 °C temperatūras (1.17. vienādojums) (Максимов, 1967).

$$K_{10} = 5400 \frac{n^3}{(1-n)} d_{10}^2 \quad (1.17.)$$

K_{10} – Filtrācijas koeficients (m/dienn.);

n – porainība;

d_{10} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 10 % daļiņu (mm).

Kozeni empīriskais vienādojums tiek pielietots rupjgraudainas smilts filtrācijas koeficienta noteikšanai (Vukovic and Soro, 1992).

Tercāgī vienādojums:

Tercāgī empīriskais vienādojums izmantojams, lai aprēķinātu filtrācijas koeficientu pie 0 °C ūdens temperatūras (1.18. vienādojums) (Максимов, 1967).

$$K_0 = \frac{c}{\mu} \left[\frac{n-0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right] d_{10}^2 \quad (1.18.)$$

K_0 – Filtrācijas koeficients (cm/s);

C – empīriskais koeficients, kas atkarīgs no graudu virsmas rakstura. Gludas virsmas graudiem $C = 10,5$, stūrainas $C < 6$;

μ – dinamiskā viskozitāte pie $t = 0$ °C grādu temperatūras ir $\mu = 0,0178$ (g/s*cm);

d_{10} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 10 % daļiņu (cm).

Ar Tercāgī empīrisko vienādojumu aprēķinātās vērtības ir tuvākas laboratorijas eksperimentos iegūtajām vērtībām, apskatot rupjgraudainas smiltis (Vukovic and Soro, 1992; Максимов, 1967).

Zunkera vienādojums:

Zunkera empīriskais vienādojums izmantojams, lai aprēķinātu filtrācijas koeficientu pie 0 °C ūdens temperatūras (1.19. vienādojums) (Максимов, 1967).

$$K_0 = C \left(\frac{n}{1-n} \right)^2 \frac{1}{v^2} (1 + 0.034t) \quad (1.19.)$$

K_0 – filtrācijas koeficients (m/dienn.);

C – empīriskais koeficients, kas atkarīgs no nogulumu graudu virsmas rakstura un šķirotības pakāpes, tiek noteikts pēc tabulas 3.4.;

n – porainība;

t – ūdens temperatūra (°C);

v – īpatnējais virsmas laukums, kas tiek aprēķināts pēc vienādojuma 1.20. Tā ir attiecība starp summāro konkrētās grunts daļiņu virsmas laukumu pret daļiņu, kuru diametrs 1mm, virsmas laukumu.

$$v = \frac{3}{2} \times \frac{g}{d_1} + \sum_2^N g_i \frac{\frac{1}{d_{i-1}} - \frac{1}{d_1}}{\ln d_i - \ln d_{i-1}} \quad (1.20.)$$

g_i – frakcijas masa (%);

d_i – frakcijas vidējais diametrs (mm).

3.4. tabula

Koeficients C (Максимов, 1967)

Nogulumu tips	C
Vienādgraudaini ar gludu graudu virsmu	1160
Vienādgraudaini ar noapaļotiem graudiem	680
Dažādgraudaini ar gludiem graudiem	580
Dažādgraudaini ar nenoapaļotiem graudiem	340

Ar Zunker empīrisko vienādojumu aprēķinātās vērtība ir tuvākas laboratorijas eksperimentos iegūtajām vērtībām, apskatot smalkgraudainas un vidējgraudainas smiltis (Vukovic and Soro, 1992).

Lai aprēķināto filtrācijas koeficientu varētu iegūt pie 10 °C temperatūras, nepieciešams veikt temperatūras korekciju pēc 1.16. vienādojuma.

Zauerbreiss (*Sauerbrei*) ierosināja veikt filtrācijas koeficienta aprēķinus paraugiem, kuru daļiņu izmērs nepārsniedz 0,5 mm pēc 1.21. vienādojuma (Vukovic and Soro, 1992).

$$K_{10} = \beta \frac{n^3}{(1-n)^2} d_{17}^2 \quad (1.21.)$$

K_{10} – Filtrācijas koeficients pie 10 °C temperatūras (m/dienn.);

β – empīrisks koeficients;

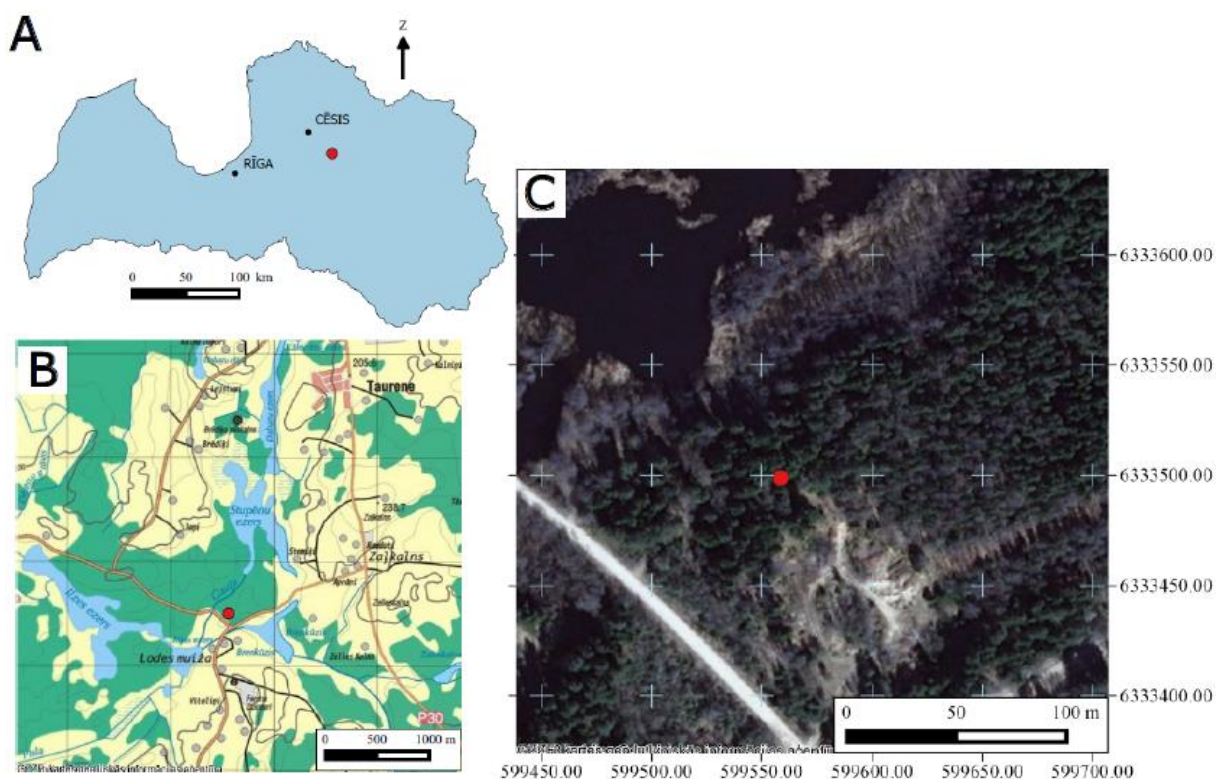
n – porainība;

d_{17} – daļiņu izmērs, par kuru mazāks 17 % daļiņu (mm).

Empīriskais koeficients β ir atkarīgs no raupjuma un šķirotības pakāpes un var mainīties robežās no 1150 līdz 3010, bet parasti ir robežās no 2880 līdz 3010 (Максимов, 1967).

2. PĒTĪJUMU TERITORIJAS RAKSTUROJUMS

Pētījuma lauka darbu daļa tika realizēta Vidzemes augstienes centrālajā daļā, Piebalgas paugurainē, Taurenas pagastā pie Lodes muižas karjera (2.1. attēls).



2.1. attēls. **Pētījumu teritorijas novietojums** (kartes pamatnes: A – LU ĢZZF WMS rastra pamatne.; B – TOPO 50K Satelītkarte; C – ORTOFOTO 5)

Apzīmējumi: ● – Pētījumu teritorija

Pētījumu tika izvēlēts veikt šeit, jo teritorija atbilst izvirzītajiem kritērijiem (3.1. nodaļa) un ģeoloģiskā uzbūve ir piemērota izvirzīto pētījuma mērķa sasniegšanai.

Kā iepriekš minēts, pētījumu teritorija atrodas Vecpiebalgas novadā, Taurenas pagastā, Gaujas labajā krastā, aptuveni 130 m attālumā no upes. Gaujas ūdens līmeņa un pētījuma teritorijas relatīvā augstuma starpība tika noteikta kā 5,73 m.

Pēc fiziogēogrāfiskā iedalījuma izpētes teritorija atrodas Vidzemes augstienes centrālajā daļā – Piebalgas pauguraines vidusdaļā. Piebalgas pauguraine ziemeļos un austrumos robežojas ar Augšgaujas pazeminājumu, ziemeļrietumos – ar Mežoles pauguraini, savukārt rietumos – ar Viduslatvijas nolaidenumu, un dienvidos – ar Augšogres pazeminājumu (Āboltiņš, 1997; LVGD Dabas apvidi).

Paugurainei raksturīgs saposmots reljefs, un vairākas augstāko pauguru virsotnes sasniedz 250 m vjl. Absolūtās augstumu atzīmes pētījumu teritorijā mainās no 186 līdz 197 m vjl., izpētes laukumā tās mainās no 192 līdz 190 m v.j.l. (TOPO 10K PSRS).

Vidzemes augstienes pamatni veido devona pamatiežu lielpacēlums, kas pētījumu teritorijā atrodas aptuveni 125 m vjl. (Dauškans, 2013; LVGD Zemkvartāra). Kvartāra nogulumu biezums augstienes lielākajā daļā mainās no 60 līdz 80 m, un pētījumu teritorijā sastopama aptuveni 80 m bieža kvartāra nogulumu segkārtā (Juškevičš, 2000), kuru veido vairāku apledojuumu glaciģēnie nogulumi, kurus sedz pēcleduslaikmeta un holocēna nogulumi.

Visdziļāk iegulošie kvartāra nogulumi, kas pārsedz devona pamatiežus, ir viduspleistocēna Lētīžas ($gQ_2ltž$) leduslaikmeta ļoti blīvs brūns vai sarkanbrūns akmeņains smilšmāls, mālsmilts (Markots, 2011; Lūse, 2010). Morēnas nogulumu biezums pētījumu teritorijā mainās no 20-15 m. Lētīžas nogulumus no augstāk uzguļošajiem Kurzemes leduslaikmeta morēnas nogulumiem atdala smilšainu, aleirītisku nogulumu slāņi ar lēcām līdzīgu izplatības raksturu, vietām sasniedzot pat 30 m biezumu.

Kurzemes (gQ_2kr) morēnas nogulumiem raksturīga paaugstināta mālainība, un tā galvenokārt sastāv no smilšmāla. Nogulumiem raksturīga pelēki brūna, brūna vai pelēka krāsa, un to biezums pētījumu teritorijā sasniedz pat 15 m (Lūse, 2010).

Latvijas (gQ_3lv) apledojuma morēnas nogulumi izplatīti visā teritorijā. Latvijas morēnas nogulumi sastāv no mālsmilts un smilšmāla ar grants, oļu un akmeņu piejaukumu. Dažviet morēnas augšējie slāņi ir erodēti upju un glaciofluviālo straumju darbību rezultātā, veidojot glaciofluviālos nogulumus (fQ_3lv), kā arī tie ir pārgulsnēti pēcleduslaikmeta baseinos, veidojot glaciolimniskos nogulumus (lgQ_3lv), kas sastāv no bezakmens māla, aleirīta un smalkgraudainas aleirītiskas smilts (Lūse, 2010; Juškevičš, 2000). Nogulumu uzkrāšanās īpatnības noteica morēnas biezuma palielināšanos, tādējādi veicinot augsto, pauguraino masīvu izveidošanos virs senākajiem kvartāra nogulumu pacēlumiem. Tie galvenokārt sastāv no brūnas līdz sarkanbrūnas smilšainas morēnas, kas sevī nereti ietver dislocētas smilts, grants un aleirīta starpkārtas. Retākos gadījumos virsotnes veido glaciofluviālie nogulumi (Markots, 2011).

Atkāpjoties ledājam, Vidzemes augstienē ledājkušanas ūdeņu radītās straumes veidoja upju tīklu, kas procesa rezultātā veidoja ledājkušanas ūdeņu noteces lejas un ielejas ar ezerveidīgiem paplašinājumiem, kur uzkrājās aluviālie (aQ_4) nogulumi. Pēc tam seklākajās to daļās un starppauguru ieplakās, sākoties pārpurvošanās procesiem, uzkrājās biogēnie (bQ_4) nogulumi (Juškevičš, 2000).

No kvartāra nogulumiem maģistra darba izstrādē tika apskatīti Latvijas apledošanas glaciofluviālie (fQ_3ltv) nogulumi, kas pētījumu objektā ieguļ tieši zem augsnes segkārtas. Pētījums tika veikts kēmu terasē (Dauškans, 2013).

Kēmu terase ir viena no zemākajām pozitīvajām reljefa formām augstienēs pēc absolūtajām augstuma atzīmēm, terases veidošanās tiek saistīta ar plakanvirsmas pauguru un ielejveida pazeminājumu reljefa formām. Kēmu terase veidojas no ledāju kušanas ūdeņu nestajiem nogulumiem, kas izgulsnējas starp ledāja mēles malu un plakanvirsmas pauguru. Lai gan pēc veidošanās procesa, domājams, šādās reljefa formās būtu sastopami dažādgraudains smilšains, grantains un oļains materiāls, M. Dauškana (2013) veiktie pētījumi apliecina, ka kēmu terasēs sastopami daudzveidīgi nogulumi, sākot no morēnai līdzīga materiāla, līdz pat smalkgraudainai labi šķīrotai smiltij.

Tuvumā esošā karjera apsekošanas laikā iegūtie dati un pētījuma gaitā veiktie urbumi norāda, ka pētījumu teritorijā kēmu terases nogulumi sastāv lielākoties no dažādgraudainas smilts ar grants piejaukumu un reti oļiem. Smilts un grants frakciju proporcija griezumā un plānā ir mainīga.

3. MATERIĀLI UN METODEDES

Lai salīdzinātu ar dažādām metodēm noteiktos filtrācijas koeficienta vērtības, tika veikti gan pētīto nogulumu filtrācijas koeficienta mērījumi netraucēta saguluma monolītu paraugiem ar divām dažādām laboratorijas iekārtām (3.3.1. un 3.3.2. apakšnodaļa), gan *in situ* ar dubultgredzenu infiltrometru (3.3.5. apakšnodaļa) (Siosemarde and Nodehi, 2014).

Filtrācijas koeficientu derīgo izrakteņu ģeoloģijā akreditētās laboratorijās nosaka jauktas struktūras nogulumu paraugiem, pieņemot, ka noblīvējot paraugus atbilstošā blīvumā, iegūtais rezultāts atbilst dabiskajam nogulumu filtrācijas koeficientam. Lai novērtētu parauga ņemšanas veida ietekmi uz rezultātiem, tika veikti filtrācijas koeficienta mērījumi gan netraucētas, gan jauktas struktūras nogulumu paraugiem (3.3.1. un 3.3.2. apakšnodaļa). Jauktas struktūras paraugi tika sablīvēti filtrācijas iekārtu paraugu gredzenos, blīvumā, kas noteikts netraucētas struktūras monolītu paraugiem (3.4.2. apakšnodaļa).

Pētījumu izstrādes laikā filtrācijas koeficienta teorētiskās vērtības tika aprēķinātas, izmantojot 3.3.4. apakšnodaļā apskatītos empīriskos vienādojumus. Biežāk izmantotie parametri filtrācijas koeficientu aprēķināšanā ar empīriskajiem vienādojumiem ir efektīvais daļiņu diametrs (visbiežāk d_{10} , retāk - tiek aprēķināts izmantojot, netradicionālus vienādojumus), kura noteikšanai nepieciešams veikt granulometriskā sastāva analīzi (3.4.1. apakšnodaļa), kā arī porainība (3.4.2. apakšnodaļa) un speciāli vienādojumiem izstrādāti koeficienti.

3.1. Pētījumu teritorijas izvēle

Pētījumu teritorija tika izvēlēta, ņemot vērā pētījuma mērķi un uzdevumus. Potenciālā pētījumu teritorija tika izvēlēta, izmantojot Latvijas kvartārģeoloģisko karti (LVGD Kvartārģeoloģija) un vēlāk veicot potenciālo pētījumu objektu apsekošanas laikā veiktos novērojumus. Pētījumu teritorija tika izvēlēta, ņemot vērā vairākus kritērijus:

- Pētījumu teritorijā jābūt sastopamiem labi filtrējošiem nogulumiem (smilts bez liela aleirītisko un mālaino daļiņu piejaukuma);
- Nogulumiem jābūt pēc iespējas homogēniem griezumā un plānā, bez izteiktām slāņojuma tekstūrām, kas varētu ietekmēt filtrācijas koeficienta vērtību;
- Pētījumu teritorijai jāatrodas blakus kādai ūdens tilpnei, no kuras būtu iespējams iegūt ūdeni veiksmīgai *in situ* eksperimentu veikšanai;

- Gruntsūdens līmenis atrodas ne seklāk kā 3 m dziļumā zem zemes virsmas. Ja gruntsūdens līmenis būtu dziļumā, kas ir mazāks par 3 m, nebūtu iespējams sekmīgi realizēt infiltrācijas eksperimentu (3.3.5. apakšnodaļa) (Ансберг и др., 1965).

Pēc izstrādātajiem kritērijiem pētījuma realizēšanai tika izvēlēta teritorija Vecpiebalgas novadā, Taurenes pagastā, blakus Lodes muižas karjeram (2.1. attēls). Pētījumu objekta centra koordinātes LKS-92 koordinātu sistēmā ir (x) 6333496.80; (y) 599562.87.

Pirms pētījumu uzsākšanas izvēlētajā teritorijā 2015. gada jūlijā tika veikti teritorijas apsekošanas darbi, kuros ietilpa - pētījumu teritorijas ģeoloģiskās uzbūves noskaidrošana, nogulumu litoloģiskā sastāva izmaiņu noteikšana griezumā un plānā (veikti 7 urbumi un apsekots ~ 30 m attālumā esošais karjers), kā arī tika veikts eksperiments ar dubulgredzenu infiltometru, lai noteiktu nepieciešamā ūdens apjomu sekmīgai eksperimenta veikšanai. Tāpat rekognoscijas darbu laikā tika pārbaudīta pašizgatavoto Mariota pudeļu darbības efektivitāte.

3.2. Eksperimenta poligona ierīkošana

Pētījumā izmantotie rezultāti tika iegūti 2015. gada jūlijā un septembrī veiktajos lauka darbos. Jūlijā pētījumu poligonā, izmantojot *Eikelkamp* rokas cilpurbi, tika izurbti trīs urbumi (3.1. attēls) no 2,75 līdz 3,90 m dziļumam, lai raksturotu pētījumu teritorijas ģeoloģisko uzbūvi un nogulumu litoloģiskā sastāva izmaiņas gan griezumā, gan plānā. Tāpat no ierīkotajiem urbumiem tika noņemti 20 jauktas struktūras nogulumu paraugi, raksturojot visu urbumos atsegto smilšaino slāņkopu. Paraugi tika noņemti polietilēna maisiņos, uz kuriem tika atzīmēts parauga identificējoši numurs, urbuma numurs un paraugu dziļuma intervāls.

Starp ierīkotajiem urbumiem tika izveidoti divi 36 un 24 cm dziļi skatrakumi (3.1. attēls), kuros tika veikti infiltrācijas testi, katrs tests tika veikts aptuveni 8 stundas (4.4.1. un 4.3.2. apakšnodaļa).

Lai būtu iespējams aprēķināt filtrācijas koeficienta vērtību pētītajiem nogulumiem laboratorijas apstākļos, no pētījumu teritorijā sastopamajiem nogulumu slāņiem tika noņemti traucētas un netraucētas struktūras paraugi. Lai mērījumus būtu iespējams veikt ar GOST iekārtu monolītu ņemšanai, tika izmantotas plastmasas caurules 10 cm augstumā un 10 cm diametrā, savukārt, lai mērījumus būtu iespējams veikt ar *Eikelkamp* iekārtu, monolīti tika noņemti, izmantojot *Eikelkamp* iekārtai paredzētos metāla paraugošanas gredzenus 5 cm augstumā un 5 cm diametrā, kā arī papildus plastmasas caurules 5 cm augstumā un 4.8 cm diametrā.

Pēc infiltrācijas eksperimenta veikšanas, lai būtu iespējams noņemt nogulumu monolītus, raksturojot nogulumu filtrācijas koeficientu griezumā, izveidotie skatrakumi (1. un

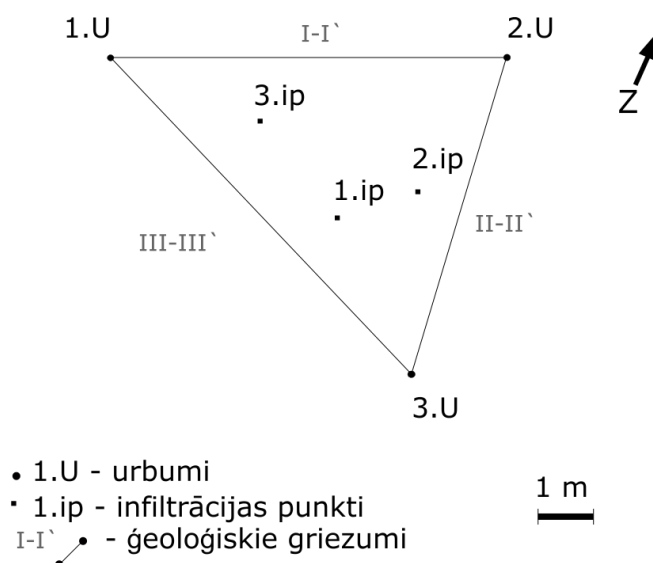
2.ip. 3.1. attēls) tika padziļināti, 1. infiltrācijas punktā monolīti tika noņemti no 40 cm (1. punkts) un 110 cm (2. punkts) dziļuma, savukārt 2. infiltrācijas punktā – no 30 (3. punkts) un 75 cm (4. punkts) dziļuma.

Abos infiltrācijas punktos 40 un 70 cm dziļumā (1. un 3. punktā) tika noņemti četri 10x10cm un pieci 5x5 cm lieli monolīti, savukārt 110 un 75 cm dziļumā (2. un 4. punktā) tika noņemti trīs 10x10 cm un četri 5x5 cm lieli monolīti. Tāpat no katra atsegtā līmeņa tika noņemti 3 jauktas struktūras paraugi.

Visi monolīti tika noņemti, paraugošanas gredzenu uzmanīgi novietojot uz attīrītas skatrakuma pamatnes, pakāpeniski ar nazi griežot ap to un spiežot to skatrakuma pamatnē, līdz parauga gredzens ir pilns ar nogulumiem. Ar paraugu piepildītais paraugošanas gredzens uzmanīgi tika izraksts no skatrakuma pamatnes.

Katrs noņemtais paraugs tika atzīmēts ar identificējošu numuru un ietīts polietilēna plēvē. Visi noņemtie paraugi tika reģistrēti lauka darbu grāmatiņā.

Ņemot vērā to, ka tika konstatēts, ka 8 stundas ir nepietiekams laiks, lai infiltrācijas ātrums nogulumos stabilizētos, 2015. gada septembrī tika ierīkots trešais (30 cm dziļš) skatrakums (3. ip. 3.1. attēlā), kurā tika veikti infiltrācijas mērījumi ar dubultgredzenu infiltrometru gandrīz 27 stundu garumā (4.3.3 apakšnodaļa).



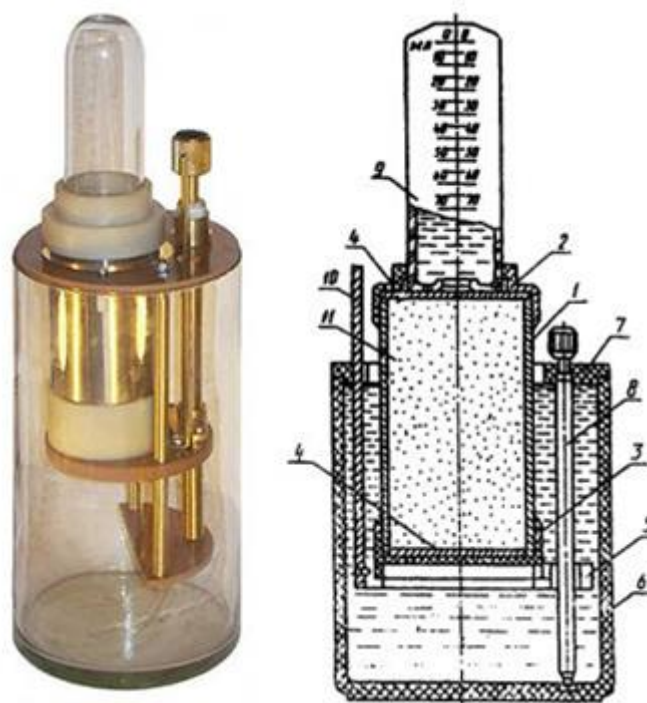
3.1. attēls. Pētījumu poligona shēma

3.3. Filtrācijas koeficienta noteikšana

Filtrācijas koeficientu mērījumu veikšanai tika izmantotas gan RTU Būvniecības fakultātes Inženierģeoloģijas un gruntsmehānikas, gan LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas laboratorijās pieejamās iekārtas.

3.3.1. Filtrācijas koeficienta mērījumi pēc GOST 25584-90 p.2

Filtrācijas koeficienta mērījumu veikšanai pēc GOST 25584-90 p.2 (Gruntis – laboratorijas metodes filtrācijas koeficienta noteikšanai. p.2 Filtrācijas koeficienta noteikšana smilšainām gruntīm.) metodikas tika izmantota KF-00M filtrācijas iekārta (3.2. attēls).



3.2. attēls. Smilšainas grunts filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārta KF-00M pēc GOST 25584-90 p.2 (GOST 25584-90 p.2)

Apzīmējumi: 1 – filtrācijas caurule; 2 – sakabe; 3 – pamatne ar perforējumu; 4 – misiņa sietiņš; 5 – statīvs; 6 – filtrācijas iekārtas korpuss; 7 – korpusa vāciņš; 8 – augstuma un spiediena regulējamā skrūve; 9 – stikla balons ar tilpuma iedaļām; 10 – spiediena gradienta mērskala; 11 – grunts paraugs.

Iekārtas uzbūve:

Filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārta KF-00M sastāv no:

- Filtrācijas caurule no nerūsējoša tērauda 56,5 mm diametrā un 100 mm augstumā;

- pamatne ar perforējumu 2×2 mm atverēm un uzliekamu sakabi ar misiņa sietiņu, kas savieno filtrācijas cauruli ar stikla balonu (pielāgots teleskopiskai ūdens pievadīšanai);
- statīvs, kam pievienota skrūve parauga spiediena gradienta mainīšanai ar spiediena mērīšanas skalu (no 0 līdz 1, vienas iedaļas vērtība 0,02);
- korpuss ar vāciņu.

Parauga sagatavošana mērījumiem:

Filtrācijas koeficienta noteikšanai paredzētie smilšainie nogulumu un ūdens tika turēti laboratorijā, līdz to temperatūra izlīdzinājās ar laboratorijas gaisa temperatūru.

Paraugu filtrācijas caurulē tika ievietots, filtrācijas cauruli novietojot uz nogulumu monolīta un pakāpeniski griežot ar nazi ap filtrācijas cauruli 0,5 – 1 cm attālumā, un spiežot to monolītā, lai maksimāli saglabātu parauga sākotnējo struktūru. Atzīmējams, ka konkrētā filtrācijas iekāra KF-00M ir aprīkota tikai ar vienu filtrācijas cauruli, kas sarežģī parauga sagatavošanu testēšanas procesam.

Nosakot filtrācijas koeficientu jauktas struktūras paraugiem, paraugs tika izžāvēts žāvkapī 110 ± 5 °C grādos. Tālāk gaissaus nogulumu paraugs filtrācijas caurulē tika sablīvēts blīvumā, kas noteikts noņemtajiem netraucēta saguluma monolītiem (3.4.2. apakšnodaļa). Ievērojot GOST 25584 - 90 p. 2 metodiku, maksimālais daļiņu izmērs nevar pārsniegt 1/5 daļu iekārtas filtrācijas caurules iekšējo diametru. Šī darba ietvaros testētā materiāla maksimālais daļiņu izmērs pārsniedz 5,6 mm izmēru, kas ir 1/5 daļa no filtrācijas caurules iekšējā diametra, nelielos apjomos, un pirms parauga ievietošanas paraugošanas gredzenā, tiek sijāts.

Darba gaita:

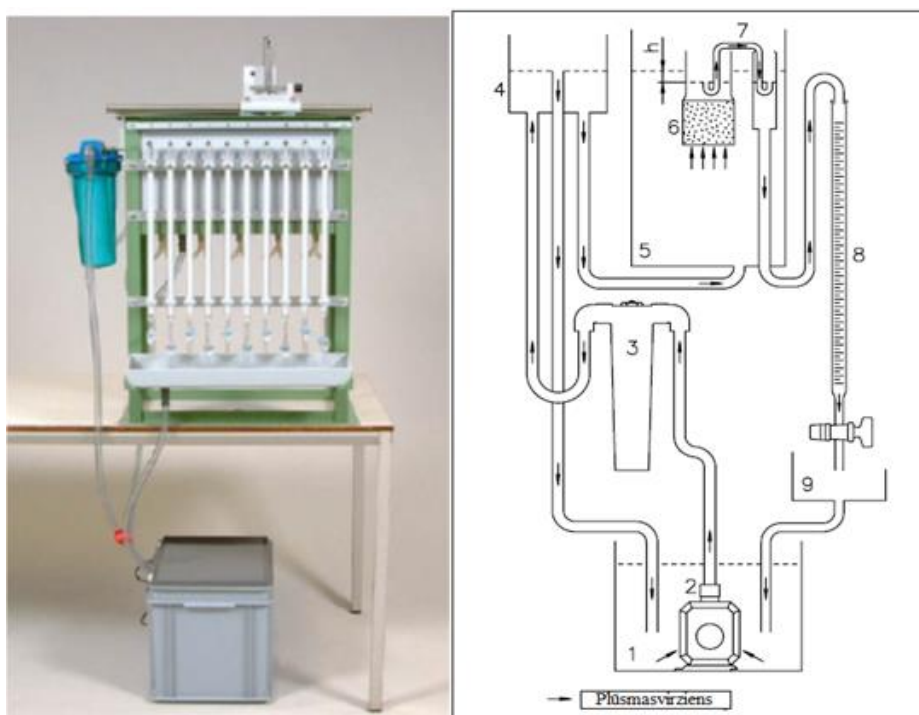
Pirms filtrācijas koeficienta aprēķināšanai nepieciešamo mērījumu veikšanas filtrācijas iekārta tika piepildīta ar ūdeni. Sākotnēji tika uzstādīts gradients, kas vienāds ar 0,8 vienībām. Pēc tam paraugs tika ievietots filtrācijas iekārtā un noturēts, līdz parauga virspusē bija vizuāli redzams, ka paraugs ir ūdens piesātināts. Lai sagatavoto paraugu, pilnīgi atbrīvotu no gaisa burbuļiem, paraugs tika iegremdēts iekārtas zemākajā iespējamajā līmenī aptuveni 15 minūtes. Pēc parauga piesātināšanas filtrācijas iekārta tika uzstādīta uz nepieciešamo spiediena gradientu mērījuma veikšanai (0,6), un mērījums tika uzsākts, novietojot ar ūdeni piepildītu stikla balonu virs parauga sakabē. Laika mērījumi tika veikti ar hronometru ik pēc desmit izfiltrētiem milimetriem ūdens. Viena parauga testēšanas laikā tika veikti, sākot no četriem līdz desmit atkārtotiem mērījumiem. Mērījumu laikā tika noteikta ūdens temperatūra ar 0,1 °C precizitāti.

3.3.2. Filtrācijas koeficienta mērījumi ar *Eijkelkamp* iekārtu

Filtrācijas koeficienta mērījumu veikšanai tika izmantota Latvijas Universitātes Hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas laboratorijā esošā filtrācijas iekārta *Eijkelkamp*.

Filtrācijas iekārtas uzbūve:

Filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārta *Eijkelkamp* (3.3. attēls) ir aprīkota ar ūdens sūkni, filtru, ūdens līmeņa regulētāju, ūdens tvertni, parauga ietvaru, sifonu, bireti un parauga filtrācijas gredzenu 5 cm augstumā un 5 cm diametrā.



3.3. attēls. Filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārta *Eijkelkamp* (Eijkelkamp,2013)

Azīmējumi: ← – plūsmas virziens; h – ūdens līmenis; 1,2, – ūdens tvertne ar ūdens cirkulāciju nodrošinošu sūkni; 3 – ūdens filtrs; 4 – ūdens līmeņa regulētājs; 5 – ūdens baseins; 6 – filtrācijas iekārtas gredzens ar paraugu; 7 – sifons; 8 – birete, ūdens tilpuma nolaišanai; 9 – noteces tvertne.

Eijkelkamp iekārtā atšķirība no GOST iekārtas, ūdens caur paraugu plūst no apakšas uz augšu. Tomēr zinātniskajā literatūrā netiek minēts, ka, nosakot vertikāla virziena filtrācijas koeficientu, tā vērtība mainītos, veicot filtrāciju virzienā no augšas uz leju vai otrādi (Fetter, 2001).

Parauga sagatavošana mērījumiem:

Lauka darbos ņemtie monolīti tika uzmanīgi iztīti no polietilēna plēves un novietoti uz līdzenas galda virsmas. Daļa monolītu tika noņemti oriģinālajos parauga ņemšanas gredzenos, un otra daļa monolītu tika noņemta diametrā nedaudz mazākos plastmasas gredzenos, kurus bija iespējams ievietot oriģinālajos paraugošanas gredzenos un ar vazelīnu nodrošināt, lai starp šiem paraugošanas gredzeniem nenotiktu ūdens plūsma.

Jauktas struktūras gaissausi paraugi tiek sablīvēti tādā blīvumā, kas tika noteikts *in situ* noņemtiem nogulumu monolītiem (3.4.2. apakšnodaļa).

Darba gaita:

Parauga monolīts tika novietots virs iekārtas gredzena perforētās pamatnes, kas pārklāta ar samitrinātu filtrācijas papīru. Tālāk paraugs tika ievietots filtrācijas iekārtā, kur pirms filtrācijas koeficienta noteikšanas paraugs tika pakāpeniski piesātināts ar ūdeni, līdzīgi kā veicot mērījumus ar GOST iekārtu. Mērījumi tika veikti ar hronometru, veicot laika nolasījumu ik pēc pieciem izfiltrētiem milimetriem ūdens. Viena parauga testēšanas laikā tika veiktas četras līdz divpadsmit mērījumu sērijas, katrā mērījumu sērijā veicot četrus līdz astoņus atkārtotus mērījumus. Mērījumu laikā tika noteikta ūdens temperatūra ar 0,1 °C precizitāti.

3.3.3. Filtrācijas koeficienta aprēķināšana, izmantojot ar GOST un *Eijkelkam* iekārtām veiktos mērījumus

Lai ar GOST un *Eijkelkamp* iekārtām iegūtos mērījumus varētu savstarpēji salīdzināt, filtrācijas koeficienta aprēķināšanai bija nepieciešams izmantot vienu formulu, kas ietver ūdens temperatūru mērījumu laikā. Filtrācijas koeficienta aprēķināšanai tika izvēlēta GOST metodikā apskatītā formula, kur filtrācijas koeficients (K_{10}) pie 10°C temperatūras tiek aprēķināts pēc formulas 3.1.:

$$K_{10} = \frac{864 \cdot V}{t_{vid} \cdot A \cdot T \cdot J} \quad (3.1.)$$

K_{10} – Filtrācijas koeficients pie 10°C grādiem, (m/dienn.);

864 – Pārejas koeficients no cm/s un m/dienn.;

V – caur grunts paraugu izfiltrētais ūdens tilpums (10 ml), (cm³);

t – patērētais laiks, izfiltrējot 10 ml ūdens, (s);

A - Filtrācijas iekārtas filtrācijas caurules šķērsriezuma laukums, (cm²)

$T = (0,7 + 0,03 T_f)$ - Filtrācijas koeficienta korekcija 10°C temperatūrai, kur T_f - faktiskā ūdens temperatūra eksperimenta laikā, °C;

J - spiediena gradients.

Iegūtie filtrācijas koeficienta rezultāti tika apkopoti un izvērtēti. Gadījumos, kad kāds no iegūtajiem mērījumiem būtiski atšķīrās no pārējiem sērijas mērījumiem, tas tika izslēgts no turpmākajiem aprēķiniem. Iepriekš minētais neattiecas uz gadījumiem, kad iegūtie rezultāti pakāpeniski samazinās vai palielinās visā mērījumu rindā.

Eksperimenta laikā iegūtie parametri tika izmantoti filtrācijas koeficienta aprēķināšanai pēc formulas 3.1. – katram veiktajam mērījumam tika aprēķināts tam atbilstošais filtrācijas koeficients. Pēc tam katram monolītu paraugam no visām iegūtajām filtrācijas koeficientu vērtībām tika iegūta vidējā filtrācijas koeficienta vērtība, kā arī mazākā un lielākā vērtība, raksturojot rezultātu izkliedi. Pēc tam tika veikta vidējo filtrācijas koeficientu vērtību aprēķināšana katrā punktā, kā arī rezultāta izkļedes aprēķins.

3.3.4. Filtrācijas koeficienta aprēķināšana pēc empīriskajiem vienādojumiem

Empīriskie vienādojumi tika izmantoti, lai noteikti filtrācijas koeficientu 24 paraugiem (katram no noņemtajiem nogulumu monolītiem). Filtrācijas koeficienti pētījuma izstrādes gaitā tika aprēķināti pēc tādiem biežāk izmantotajiem empīriskajiem vienādojumiem kā Hāzena, Slihtera, Krūgera, Zamarina, Kozeni, Tercāgī, Zunkera un Zauerbreisa (Pliakas and Petalas, 2011; Vukovic and Soro, 1992; Максимов, 1967) (1.3. apakšnodaļa). Zinātniskajā literatūrā ir minēts, ka vairāki no pētījuma izstrādē izmantotajiem vienādojumiem sniedz precīzākus rezultātus nogulumiem ar konkrētu tipu, granulometriskā sastāva raksturojumu, porainības un neviendabības koeficientiem u.c. nogulumu raksturojošām īpašībām. Ņemot vērā to, ka pētījuma objektā izplatīti dažādgraudainas smilts nogulumi, galvenokārt vidējgraudaina smilts, teorētiski patiesas filtrācijas koeficienta vērtības ir iespējams iegūt ar trim empīriskajiem vienādojumiem – Slihtera (1.10. vienādojums), Hāzena (1.6. un 1.8. vienādojums) un Zunkera (1.19. vienādojums). Tomēr, pētījumā tika izvēlēts apskatīt visus populārākos izmantotos empīriskos vienādojumus. Rezultātā tika novērtēts, vai vērtības, kas iegūtas ar empīriskajiem vienādojumiem, kas teorētiski izmantojami atšķirīgiem nogulumu tipiem, ir tuvas vērtībām, kas iegūtas ar vienādojumiem, kas teorētiski sniedz labākus rezultātus pētījumā apskatītajiem nogulumiem.

Veicot filtrācijas koeficienta aprēķināšanu, liela uzmanība tika pievērsta, lai visi iegūtie filtrācijas koeficienti tiktu aprēķināti pie 10 °C ūdens temperatūras, tādējādi ļaujot salīdzināt

iegūtās vērtības. Veicot filtrācijas koeficienta aprēķināšanu pēc Slihtera (1.10. vienādojums) un Tercāgī (1.18. vienādojums) empīriskajiem vienādojumiem, lai iegūtu filtrācijas koeficientu pie 10 °C aprēķinos, tika izmantota ūdens viskozitāte pie 10 °C ūdens temperatūras $\mu = 0,0131$ (g/s*cm) (Максимов, 1967). Savukārt veicot filtrācijas koeficienta aprēķināšanu pēc Zamarina (1.14. vienādojums) un Zunkera (1.19. vienādojums) empīriskajiem vienādojumiem, tika aprēķināta filtrācijas koeficienta korekcija pie 10 °C ūdens temperatūras pēc formulas 1.16. (Максимов, 1967).

Veicot Zamarina vienādojumā (1.14. vienādojums) iekļautā daļiņu efektīvā diametra (d_z) aprēķinus no tabulas 3.3. (1.3. apakšnodaļa), tika izvēlēti atbilstošie A koeficienti. Vairumā gadījumu tabulā atzīmētās frakcijas nesakrīt ar LVS 933-1 standartā noteiktajām frakcijām. Tāpēc, izvēloties A koeficienta vērtības, tabulā 3.3. tika piemeklēta LVS 933-1 standartā noteiktajām frakcijām atbilstoša frakcija. Piemēram, 0,063 – 0,125 mm frakcijai atbilstoša 3.3. tabulā norādītā 0,05 – 0,10 mm frakcija un 0,125 – 0,250 mm frakcijai atbilstoša 3.3. tabulā norādītā 0,10 – 0,25 mm frakcija. Jāatzīmē, ka šajā tabulā norādītās frakcijas nepārklājas pilnībā, un 4,00 – 5,00 mm frakcijai tika pielietots 3.3. tabulā norādītais 5,00 – 7,00 mm frakcijai paredzētais koeficients ($A=0,17$).

Veicot papildus aprēķinus, tika konstatēts, ka, izvēloties aprēķinos gan 5,00 – 7,00 mm frakcijas $A=0,17$ koeficientu, gan 2,00 – 3,00 mm frakcijas $A = 0,27$ koeficientu 4,00 – 5,00 mm frakcijai, kopumā daļiņu efektīvā diametra rezultātus izvēlētais A koeficients izmaina par 0,01 % un ar empīrisko vienādojumu aprēķināto filtrācijas koeficientu – par 0,01 m/dienn. Kopumā šādas rezultāta izmaiņas, apskatot filtrācijas koeficientu atšķirības, tiek uzskatītas par maznozīmīgām, it īpaši tādos gadījumos, ja filtrācijas koeficientu vērtības > 5 m/dienn.

Iegūstot filtrācijas koeficienta vērtības, izmantojot Tercāgī vienādojumu (1.18. vienādojums), aprēķinos C koeficients tika noteikts kā vienāds ar $C = 8,5$ (Максимов, 1967). Veicot filtrācijas koeficienta aprēķinus, izmantojot Zauerbreisa vienādojumu (1.21. vienādojums) empīriskais koeficients β , kas atkarīgs no graudu virsmas raupjuma un šķirotības pakāpes, tika noteikts kā vienāds ar 2950, jo pētījumu laikā apskatītie glaciofluviālas izcelsmes nogulumi kopumā ir vidēji labi šķiroti un graudu virsma ir vidēji labi noapaļota.

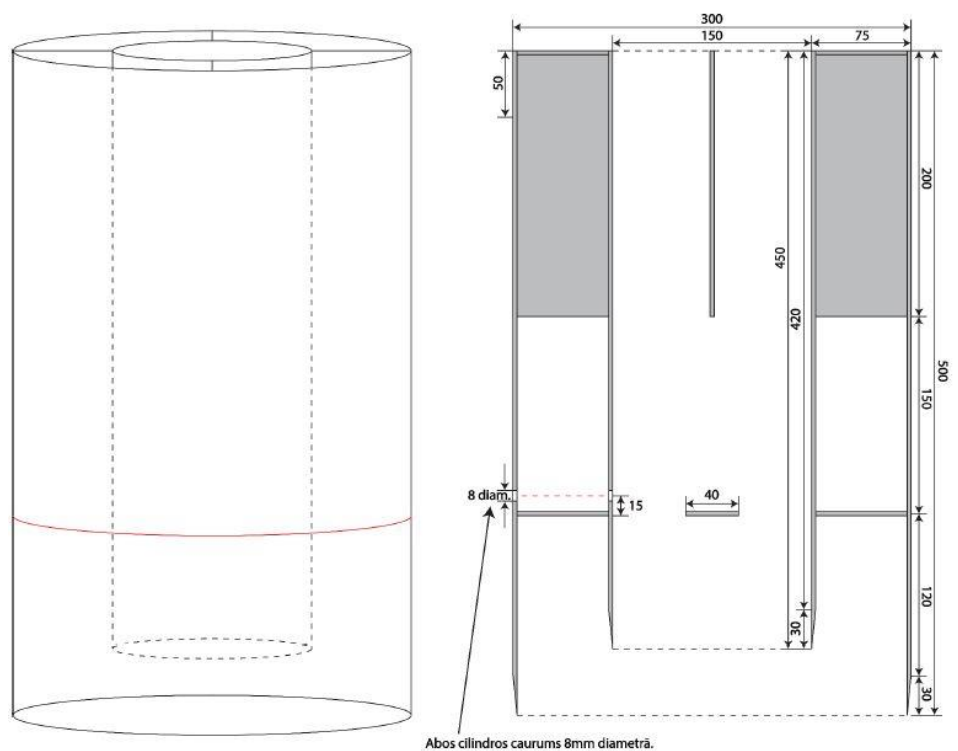
3.3.5. Filtrācijas koeficienta noteikšana *in situ* ar dubultgredzenu infiltrometru

Lai noteiktu filtrācijas koeficientu *in situ* apstākļos, tika izvirzīti vairāki kritēriji metodes izvēlei. Filtrācijas koeficienta noteikšanas metodei jābūt pēc iespējas līdzīgākai laboratorijā izmantotajām metodēm:

- filtrācijai eksperimenta laikā jānotiek viendimensionālā virzienā;
- filtrācija notiek ar nemainīgu ūdens līmeni.

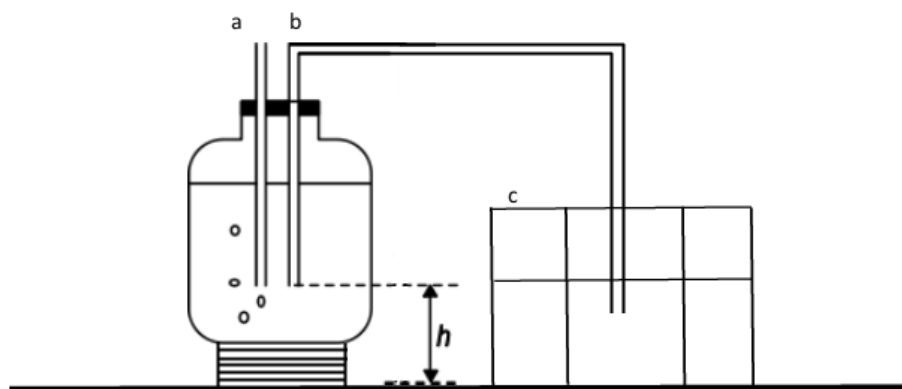
Atbilstoši izvirzītajiem kritērijiem, *in situ* mērījumu veikšanai tika izvēlēts dubultgredzena infiltrometrs (3.4. attēls) (Eijkelkamp,2012; Knödel et al., 2007).

Lai veiktie mērījumi būtu ar pēc iespējas augstāku precizitāti, dubultgredzenu infiltrometrs tika papildināts ar caurspīdīgu caurulīti un mērījumu iedaļām, kas ļāva eksperimenta laikā precīzi noteikt ūdens līmeni un tā izmaiņas dubultgredzenu infiltrometra iekšējā gredzenā. Lai nodrošinātu filtrācijas koeficienta mērījumu veikšanu, kas pēc iespējas līdzinātos laboratorijā veiktajiem filtrācijas koeficienta mērījumiem, eksperiments tika veikts ar nemainīgu spiediena gradientu, respektīvi, nemainīgu ūdens līmeni infiltrometra gredzenos.



3.4. attēls. **Dubultgredzena infiltrometrs** (Bikše u.c., 2016)

Nemainīgs ūdens līmenis gan iekšējā, gan ārējā infiltrācijas gredzenā tika uzturēts, izmantojot Mariota pudeles (3.5. attēls), kas bieži tiek izmantotas, lai infiltrometrā nodrošinātu nemainīgu ūdens līmeni (Knödel, 2007; Ward and Trimble, 2004).



3.5. attēls. Mariota pudele, kas uztur konstantu ūdens līmeni infiltrometrā (izveidojusi autore, izmantojot Knödel, 2007)

Apzīmējumi: a - gaisa ievads Mariota pudelē; b – sifona trubiņa, kas savieno Mariota pudeli ar dubultgredzenu infiltrometru; c – dubultgredzenu infiltrometrs.

Mariota pudeles darbības pamatā ir savienoto trauku darbības princips. Nemainīgu ūdens līmeni ar Mariota pudeli infiltrometrā iespējams iegūt, tad, ja ūdens daudzums, kas infiltējās nogulumos vienā laika vienībā, ir tikpat liels, kā ūdens daudzums, kas no Mariota pudeles nonāk infiltrometrā vienā laika vienībā. Ūdens infiltrācijas ātrumu dubultgredzenu infiltrometrā nosaka nogulumu filtrācijas īpašības, kas variē atkarībā no nogulumu tipa. Savukārt ūdens plūsmas, kas izplūst no Mariota pudeles, daudzumu ietekmē trubiņas, kas savieno Mariota pudeli un infiltrometru, diametrs un tas, cik liela augstuma starpība ir starp gaisa ievada (3.5. attēls (a)) un sifona trubiņu (3.5. attēls (b)) novietojumu Mariota pudelē un ūdens līmeni infiltrometrā (3.5. attēls (c)). Līdz ar to Mariota pudele, kas aprīkota ar nogulumiem atbilstoša diametra sifona trubiņu (piemēram, labāk filtrējošiem materiāliem – lielāka diametra trubiņa), spēs uzturēt konstantu ūdens līmeni dubultgredzenu infiltrometrā tādā augstumā, kādā būs novietots gaisa ievads un sifona gals pudelē (Knödel, 2007).

Eksperimenta veikšana:

Dubultgredzena infiltrācijas eksperiments tika veikts pēc Bolderova – Nesterova metodes (Ансберг и др., 1965), izmantojot par 10 cm (15 un 30 cm diametrā) mazākus infiltrācijas gredzenus nekā metodikā noteikts. Lai veiktu eksperimentu, dubultgredzenu infiltrometrs tika novietots uz skatrakuma pamatnes un iespiests nogulumos, līdz ārējā infiltrometra gredzena apakšējā mala atradās nogulumos 15 cm dziļumā. Ņemot vērā to, ka uzirdinātie nogulumi skatrakuma pamatnē ap ārējo un iekšējo infiltrācijas gredzenu potenciāli varētu ietekmēt mērījumu rezultātus, tie tika noblīvēti. Ārējais un iekšējais infiltrācijas gredzens mērījumu sākumā tika piepildīti ar ūdeni līdz 10 cm augstumam un ar Mariota pudeles palīdzību līdz pat mērījumu noslēgumam tika uzturēts konstantā līmenī.

Atzīmējams, ka Mariota pudele 10 litru tilpumā, kas tika izmantota, lai uzturētu konstantu ūdens līmeni iekšējā infiltrācijas gredzenā, nespēja pietiekami ātri piegādāt ūdeni iekšējā infiltrācijas gredzenā. Tādējādi ūdens līmenis iekšējā infiltrācijas gredzenā laika gaitā samazinājās. Tas ir skaidrojams ar to, ka Mariota pudeles izgatavošanā tika izmantota nogulumu filtrācijas īpašībām nepiemērota diametra trubiņa. Iepriekš minētās iekārtas nepilnības tika kompensētas, mainot no Mariota pudeles piegādātā ūdens spiedienu, kas tika panākts, mainot Mariota pudeles novietojuma augstumu.

Infiltrācijas eksperimenta laikā tiek veikti ūdens līmeņa mērījumi gan Mariota pudelē, gan dubultgredzenu infiltrometra iekšējā gredzenā. Ar hronometru tika uzņemts laiks, kad Mariota pudelē ūdens līmenis nokrities par vienu mērījumu iedaļu, kā arī katra mērījuma sākumā un beigās tika veikti nolasījumi dubultgredzenu infiltrometra iekšējā gredzenā, lai noskaidrotu, vai ūdens līmenis infiltrometrā mērījuma laikā ir palielinājies vai samazinājies. Infiltrācijas mērījumi tika veikti, līdz infiltrācijas ātrums nostabilizējas.

Katrā *in situ* infiltrācijas mērījumu punktā tika veiktas vairākas mērījumu sērijas (no 7 līdz 19), un katra mērījumu sērijā tika veikti 4 - 7 atkārtoti mērījumi. Pirmajā infiltrācijas punktā pirmās divas stundas infiltrācijas ātruma mērījumi tika veikti ik pēc 30 min, pēc tam, konstatējot, ka nogulumos infiltrētā ūdens apjoms pusstundas laikā būtiski mainās, mērījumi tika veikti ik pēc vienas stundas. Pārējos mērījumu punktos infiltrācijas ātruma mērījumi tika veikti aptuveni ik pēc vienas stundas.

Veicot infiltrācijas mērījumus, tika pieļauts, ka vienā infiltrācijas mērījumu punktā ūdens līmenis infiltrometrā var mainīties 2 līdz 4 cm robežās. Savukārt vienas sērijas ietvaros, veicot atkārtotus mērījumus – 1 cm robežās. No iegūtajiem *in situ* mērījumiem ar dubultgredzenu infiltrometru tika aprēķināts ūdens piesātinātu nogulumu filtrācijas koeficients (Eijkelkamp, 2012) (3.3.6. apakšnodaļa).

3.3.6. Filtrācijas koeficienta aprēķināšana, izmantojot ar dubultgredzenu infiltrometru iegūtos mērījumus

Izmantojot ūdens līmeņa nolasījumus infiltrometrā, kā arī uzsākot un beidzot katru no atsevišķajiem mērījumiem, tika veikta infiltrētā ūdens apjoma (Q) korekcija, tādējādi ļaujot salīdzināt iegūtos datus savstarpēji neatkarīgi no tā, vai mērījumu laikā infiltrometra iekšējā gredzenā ūdens līmenis mainījies. Lai veiktu nogulumos infiltrētā ūdens apjoma korekciju, bija nepieciešams noskaidrot dubultgredzenu infiltrometra iekšējā gredzena tilpumu vienā mērījumu iedaļā (V_i). Aprēķini tika veikti, izmantojot cilindra tilpuma formulu.

Izmantojot infiltrometrā veiktos ūdens līmeņa nolasiņjumus pirms (h_1) un pēc (h_2) katra individuālā mēriņjuma, tika aprēķināts, par cik centimetriem ūdens līmenis ir cēlies vai krities katrā mēriņjumā (Δh). Aprēķins tiek veikts pēc formulas 3.2.

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (3.2.)$$

Pēc tam tika aprēķināts ūdens tilpums, par cik ūdens apjoms ir mainiņjies infiltrometrā (ΔV_i) pēc formulas 3.3.

$$\Delta V_i = -1 * V_i * \Delta h \quad (3.3.)$$

Ņemot vērā to, ka par pamatu Mariota pudelei izmantotā stikla pudele nebija aprīkota ar mēriņjumu tilpuma iedaļām, vienas mēriņjumu iedaļas tilpums (V_m , [cm³]) tika noteikts, veicot kalibrāciņas mēriņjumus, izmantojot ar tilpuma iedaļām atzīmētu mērcilindru.

Infiltrāciņas eksperimenta laikā infiltrētais ūdens apjoms (Q) viena mēriņjuma laikā tika aprēķināts pēc formulas 3.4.

$$Q = V_m + \Delta V_i \quad (3.4.)$$

In situ filtrāciņas koeficients, izmantojot infiltrāciņas eksperimentā iegūtos mēriņjumus, tika aprēķināts pēc formulas 3.5.:

$$K = Q\xi \quad (3.5.)$$

K – filtrāciņas koeficients (m/dnn);

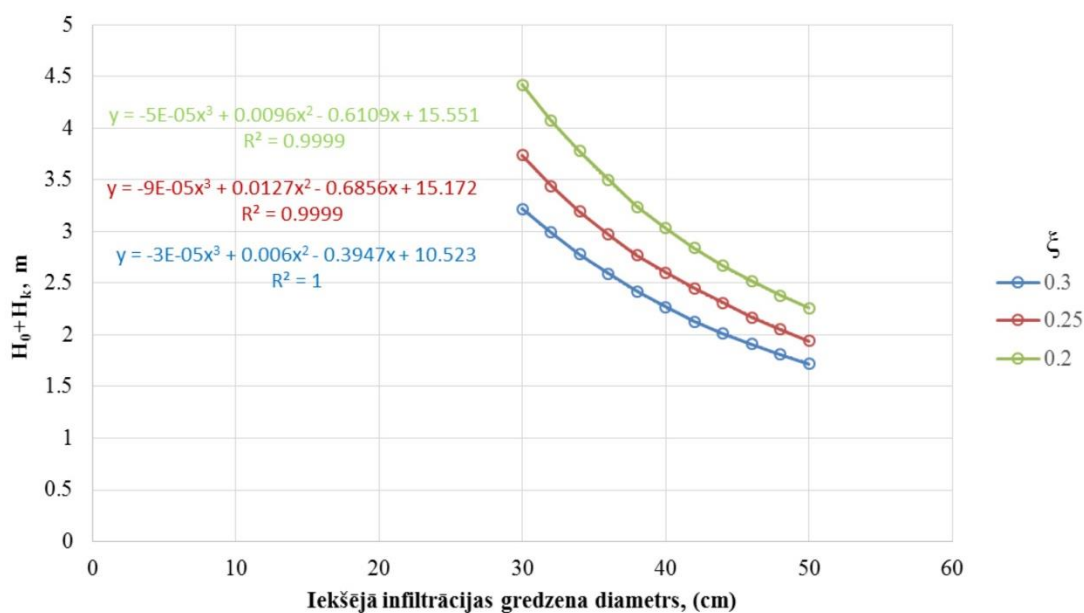
Q – infiltrāciņas ātrums (l/ min);

ξ – koeficients.

Koeficientu ξ nosaka ūdens līmenis iekšējā infiltrāciņas gredzenā (H_0), kapilārais pacelšanās spēks (H_k) (atkarīgs no nogulumu veida) un iekšējais infiltrāciņas gredzena diametrs (Ансберг и др., 1965).

Kapilārais pacelšanās spēks tika noteikts 0,12 (m), ņemot vērā pētījumu teritorijā sastopamos nogulumus (Ансберг и др., 1965).

Literatūra ir sniegtas ξ koeficienta vērtības infiltrāciņas gredzeniem ar diametru 30 - 50 cm diapazonā (Ансберг и др., 1965), savukārt pētījumā izmantotajam infiltrometram gredzena diametrs ir 15 cm. Lai noskaidrotu ξ koeficienta vērtību 15 cm diametra gredzenam, izmantojot mazāko kvadrātu metodi un par pamatu ņemot literatūrā sniegtās vērtības, tika noteikta ξ koeficienta atkarība no gredzena diametra (3.6. attēls).



3.6. attēls. H_0+H_k atkarībā no iekšējā infiltrometra diametra

3.4. Nogulumu fizikālo parametru noteikšana

Pētījuma izstrādes laikā tika veikti 29 granulometriskā sastāva testi (27 ar sijāšanas un mazgāšanas metodi, 2 ar pipetes metodi), kā arī četriem netraucētas struktūras monolītu paraugiem tika noteikts blīvums un porainība.

Tādi nogulumu fizikālie parametri kā granulometriskais sastāvs, d_{10} un porainība tika noteikti, lai veiktu filtrācijas koeficienta aprēķinus ar empīriskajiem vienādojumiem un labāk raksturotu pētījumu teritorijā izplatītos nogulumus. Savukārt blīvums tika noteikts netraucētas struktūras monolītu paraugiem, lai būtu zināms, kādā blīvumā nepieciešams blīvēt jauktas struktūras nogulumus.

3.4.1. Granulometriskā sastāva noteikšana un d_{10} aprēķināšana

Nogulumu paraugu granulometriskais sastāvs lauka darbos noņemtajiem paraugiem noteikts ar sijāšanas un mazgāšanas metodi pēc LVS 933-1 standarta. Paraugiem, kuriem, veicot d_{10} aprēķinus, tika konstatēts, ka daļiņu efektīvais diametrs ir mazāks par $63 \mu\text{m}$, tika noteikts granulometriskais sastāvs ar pipetes metodi.

3.4.1.1. Granulometriskā sastāva noteikšana ar sijāšanas un mazgāšanas metodi.

Nogulumu paraugu granulometriskā sastāva noteikšanai tika izmantoti sieti ar sietu acu izmēru 31.5; 16.0; 8.0; 5.6; 5.0; 4.0; 2.0; 1.0; 0.5; 0.250; 0.125; 0.063; <0.063mm, sietu sijāšanas iekārta *Retsch* un svāri *Precisia 3100* ar precizitāti $\pm 0,1$ g.

Paraugs testēšanai tika sagatavots, vispirms to žāvējot 12 stundas 110 ± 5 °C temperatūrā līdz gaissausam stāvoklim. Granulometriskā sastāva noteikšanai nepieciešamais minimālais parauga apjoms tika noteikts pēc formulas 3.6 (LVS 933-1).

$$M = \left(\frac{D}{10}\right)^2 \quad (3.6.)$$

M – minimālā testēšanai nepieciešamā masa (kg);

D – lielākās daļiņas izmēri (mm).

Tālāk paraugs ar kvartēšanas paņēmienu tika samazināts līdz nepieciešamajai aprēķinātajai masai un nosvērts ar $\pm 0,1$ % precizitāti no parauga masas un reģistrēts datu tabulā. Gaissausais paraugs ar ūdeni tika skalots virs 63 μm sieta, lai atbrīvotos no mālainām un aleirītiskām daļiņām, līdz ūdens, kas plūda caur 63 μm sietu, kļuva bezkrāsains. Izskalotais materiāls caur 63 μm sietu, tika uzglabāts atsevišķā traukā granulometriskā sastāva noteikšanai ar pipetes metodi (3.4.1.3. apakšnodaļa).

Skalotais paraugs no 63 μm sieta tika pārvietots žāvēšanai piemērotā traukā un žāvēts 12 stundas 110 ± 5 °C temperatūrā. Līdz laboratorijas temperatūrai atdzesētais, mazgātais un žāvētais paraugs tika nosvērts, ievietots sietu kolonnā un sijāts. Pēc parauga sijāšanas tika pārbaudīts, vai materiāla sijāšana neizraisīja materiāla izkļūšanu no sieta un vai parauga apjoms, kas atradās uz katra no sietiem, nepārsniedza pieļaujamo masu pēc formulas 3.7 (LVS 933-1).

$$M = \frac{A \cdot \sqrt{d}}{200} \quad (3.7.)$$

M – pieļaujamā masa (g);

A – sieta laukums (cm^2);

d – sieta atveres izmērs (mm)

Pēc sijāšanas pabeigšanas un visu nepieciešamo kvalitātes pārbaūžu veikšanas tika nosvērtas paraugu frakcijas virs katra sieta. Iegūtie rezultāti tika ievadīti MS Excel programmā un veikti sekojoši aprēķini (LVS 933-1):

- Uz katra sieta palikusī grunts parauga frakcija tika izteikta procentos no sākotnējās parauga masas pēc formulas 3.8.

$$\frac{100 \times R_i}{M_1} \quad (3.8.)$$

- Aprēķināti kumulatīvie procenti no sākotnējās parauga masas, kas izkļūst cauri katram sietam pēc formulas 3.9.

$$100 - \Sigma \left(\frac{100 \times R_i}{M_1} \right) \quad (3.9.)$$

- Aprēķināts mālaino un aleirītisko daļiņu procentuālais daudzums, kas izkļuvis caur 0,063 mm sietu pēc formulas 3.10.:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad (3.10.)$$

R_i – frakcijas masa (g);

M_1 – kopējā parauga masa (g);

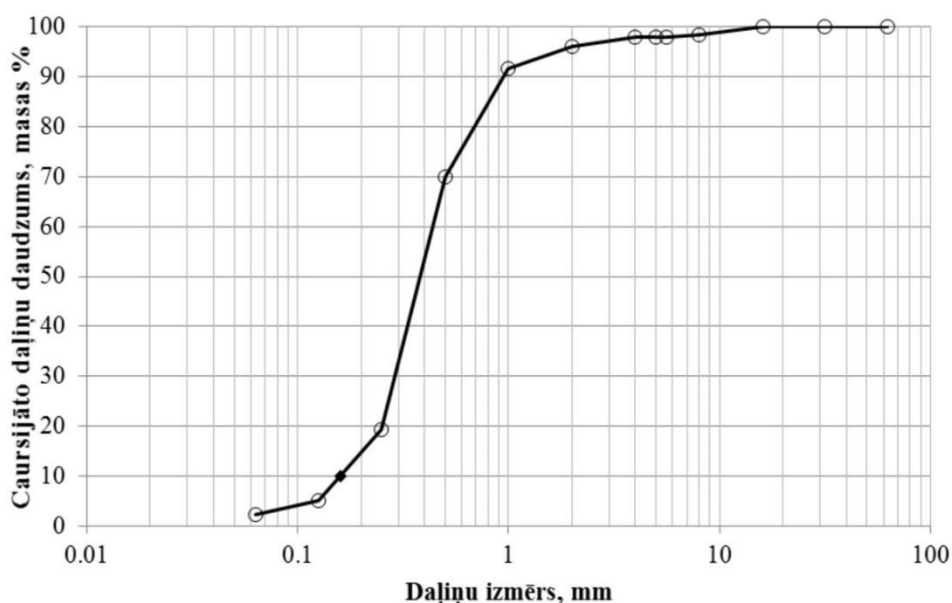
P – caur 63 μm sietu izsijātais apjoms (g);

M_2 – parauga masa pēc mazgāšanas un žāvēšanas (g).

3.4.1.2. d_{10} aprēķināšana

Efektīvais daļiņu diametrs jeb daļiņu izmērs, par kuru mazākās 10% daļiņas, var tikt noteikts divos veidos: pēc grafika vai izmantojot vienādojumu.

Efektīvā diametra noteikšanai pēc grafika nepieciešams izveidot kumulatīvo frakciju procentuālo saturu grafiku (3.7. attēls), kur daļiņu diametrs atrodas uz horizontālās (x) ass un kumulatīvie procenti uz vertikālās (y) ass. Lai noskaidrotu parauga efektīvo diametru, nepieciešams veikt daļiņu diametra nolasiņumu uz kumulatīvās līknes pret 10 % caursijāto daļiņu daudzumu.



3.7. attēls. Nogulumu parauga granulometriskā sadalījuma līkne

Efektīvā daļiņu diametra noteikšana pēc grafiskās metodes bieži vien var būt neprecīzāka un laikietilpīgāka nekā ar formulu veiktie aprēķini. Pētījuma gaitā tika veikts abu metožu salīdzinājums. Efektīvais daļiņu diametrs, kas tika noteikts ar grafisko metodi un formulu atšķīrās, par 0,8 % līdz 18,9%, vidēji 6,4%. Tāpēc šī pētījuma ietvaros efektīvais daļiņu diametrs tika aprēķināts pēc vienādojuma 3.11.:

$$\frac{d_2 \cdot (10 - m_1) + d_1 \cdot (m_2 - 10)}{m_2 - m_1} \quad (3.11.)$$

d_1 – daļiņu diametrs virs 10% parauga masas (mm);

d_2 – daļiņu diametrs zem 10% parauga masas (mm);

m_1 – kumulatīvā frakcijas masa virs 10% masas, (g);

m_2 – kumulatīvā frakcijas masa zem 10% masas, (g).

3.4.1.3. Granulometriskā sastāva noteikšana ar pipetes metodi

Paraugiem, kuriem aleirītisko un mālaino daļiņu saturs tuvojas vai pārsniedza 10 %, granulometriskais sastāvs tika noteikts, izmantojot pipetes analīzi. Pipetes analīzes veikšanai tika izmantots mērcilindrs ar tilpumu 1000 ml, termometrs, automātiskā pipete, elektriskā plītiņa, uzduļķotājs, konstantās temperatūras vanna, $\text{Na}_6\text{H}_6\text{O}_6$, svāri, tūģelīši.

Pipetes analīzes veikšanai tika iesvērti ~ 25 g gaissausa nogulumu parauga, kas tika skaloti ar 1000 ml destilētu ūdeni caur 63 μm sietu, līdz aleirītiskās un mālainās daļiņas izskalotas no parauga. Virs sieta palikušais materiāls tika žāvēts 110 \pm 5 °C temperatūrā. Pēc tam, kad paraugs pēc 12 stundu žāvēšanas sasniedza gaissausu stāvokli, tam tika veikta granulometriskā sastāva analīze, izmantojot sijāšanas metodi (3.4.1.1. apakšnodaļa).

Caur 63 μm izskalotais aleirītiskais un mālainais materiāls tika ieliets mērcilindrā un tam tika pievienots 2 g $\text{Na}_6\text{H}_6\text{O}_6$, kas darbojas kā antikoagulants. Iegūtais maisījums mērcilindrā tika sajaukts līdz $\text{Na}_6\text{H}_6\text{O}_6$ izšķīstis un noturēts konstantas temperatūras vannā, līdz temperatūra paraugā nostabilizējas, nodrošinot vienmērīgu temperatūru eksperimenta laikā.

Daļiņu grimšanas ātrums cilindrā pie mērījumu veikšanas temperatūras (20 °C) tika aprēķināts pēc formulas 3.12. Veicot nogulumu daļiņu grimšanas ātruma aprēķināšanu, tika izmantota ūdens viskozitātes vērtība pie 20 °C temperatūras (Karušs, 2012).

$$v = \frac{(\rho_d - \rho_s)gR^2}{18\mu} \quad (3.12.)$$

v – daļiņas grimšanas ātrums (m/s);

ρ_d – daļiņu blīvums, aprēķinos izmantots kvarca blīvums $\rho=2650$ (kg/m³);

ρ_s – šķidrums blīvums, aprēķinos izmantots blīvums 998,207 (kg/m³);

g – brīvās krišanas paātrinājums (m/s^2);

R – daļiņas rādiuss (m);

μ – šķīduma viskozitāte ($Pa*s$).

Pēc minētās formulas aprēķināts laiks, pēc kura daļiņas ar diametru 32; 16; 8 un 4 μm nogrimst līdz 10 cm dziļumam.

Pirms mērījumu sākšanas paraugs mērcilindrā tika uzduļķots, nodrošinot daļiņu vienmērīgu izkliedi. Laika uzskaitē tika sākta pēc uzduļķotāja izņemšanas no mērcilindra. Eksperimenta laikā ar automātisko pipeti pēc aprēķinātajiem laika intervāliem tika noņemti paraugi ar tilpumu 10 ml no 8 cm dziļuma. Noņemtie paraugi pēc tam tika izžāvēti un nosvēri. Noteiktajai parauga masai tika veikta korekcija, atņemot $NA_6H_6O_6$ masu, kas atradās 10 ml paraugā.

3.4.2. Nogulumu paraugu porainības un blīvuma noteikšana

Porainības noteikšanai tika izmantoti nogulumu monolīti, kas noņemti parauga gredzenos ar zināmu tilpumu. Nogulumu paraugs paraugošanas gredzenā tika nolīdzināts līdz ar gredzena malām un ievietots ūdenī, lai paraugs kļūtu ūdens piesātināts un poras būtu aizpildītas tikai ar ūdeni. Ūdens piesātinātais grunts paraugs ar paraugu gredzenu tika nosvērts un pēc tam žāvēts žāvskapī 12 stundas 110 ± 5 °C temperatūrā. Gaissausais grunts paraugs ar paraugu gredzenu tika atkārtoti nosvērts (Fetter, 2001). No iegūtajiem mērījumiem porainība tika aprēķināta pēc vienādojuma 3.13:

$$n = \frac{((m_1 - m_3) - (m_2 - m_3)) * \rho_{\text{ūd}}}{V} \quad (3.13.)$$

n – porainība (-);

m_1 – ūdens piesātinātu nogulumu masa ar paraugu gredzenu (g);

m_2 – gaissausu nogulumu masa ar parauga gredzenu (g);

m_3 – parauga gredzena masa (g);

$\rho_{\text{ūd}}$ – ūdens blīvums pieņemts kā 1 g/cm^3 (g/cm^3);

V – parauga gredzena tilpums (cm^3).

Parauga blīvums gaissausam paraugam tika noteikts, lai noskaidrotu, kāds ir dabiskais blīvums nogulumiem *in situ* un kādā blīvumā nepieciešams blīvēt gaissausu jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficienta noteikšanai laboratorijā. Grunts blīvums tika noteikts pēc vienādojuma 3.14.

$$\rho = \frac{(m_2 - m_3)}{V} \quad (3.14.)$$

ρ – grunts blīvums (g/cm^3);

m_2 – gaissausu nogulumu masa ar parauga gredzenu (g);

m_3 – parauga gredzena masa (g);

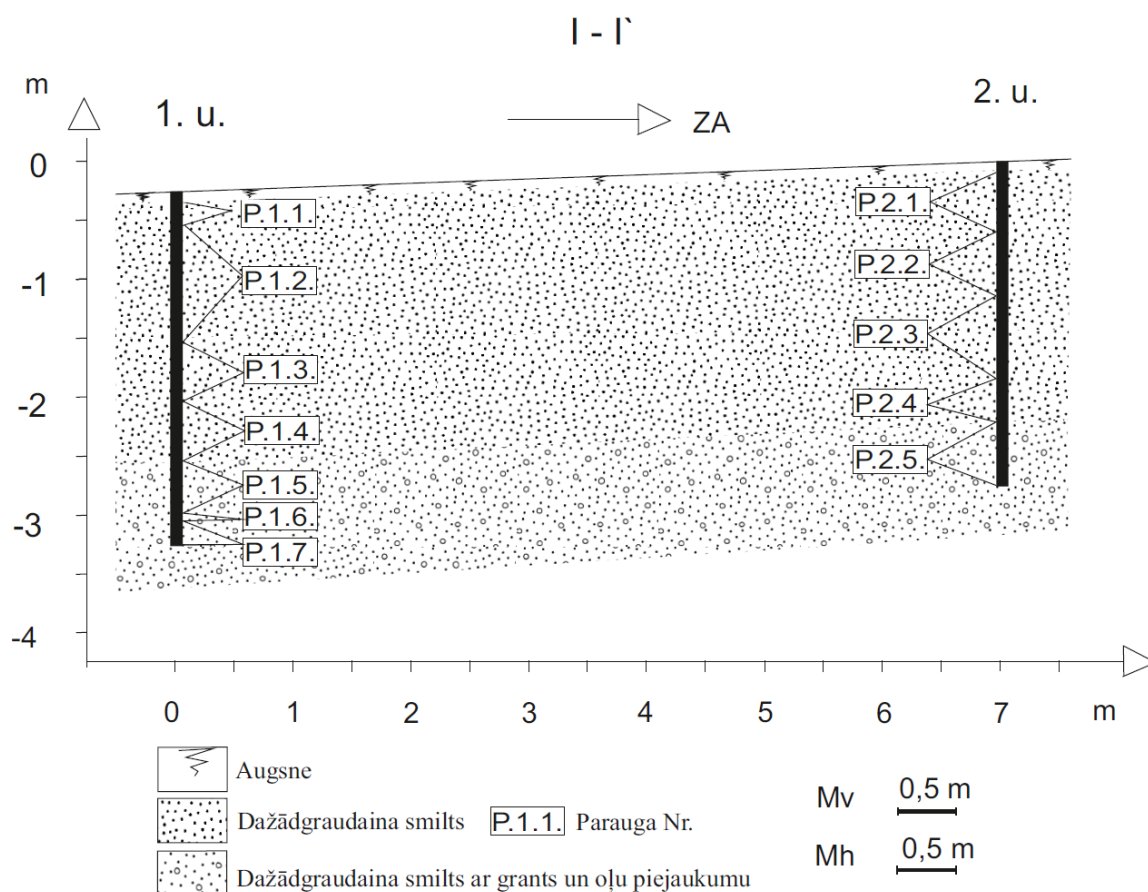
V – parauga gredzena tilpums (cm^3).

4. REZULTĀTI

4.1. Pētījumu teritorijas ģeoloģiskā uzbūve

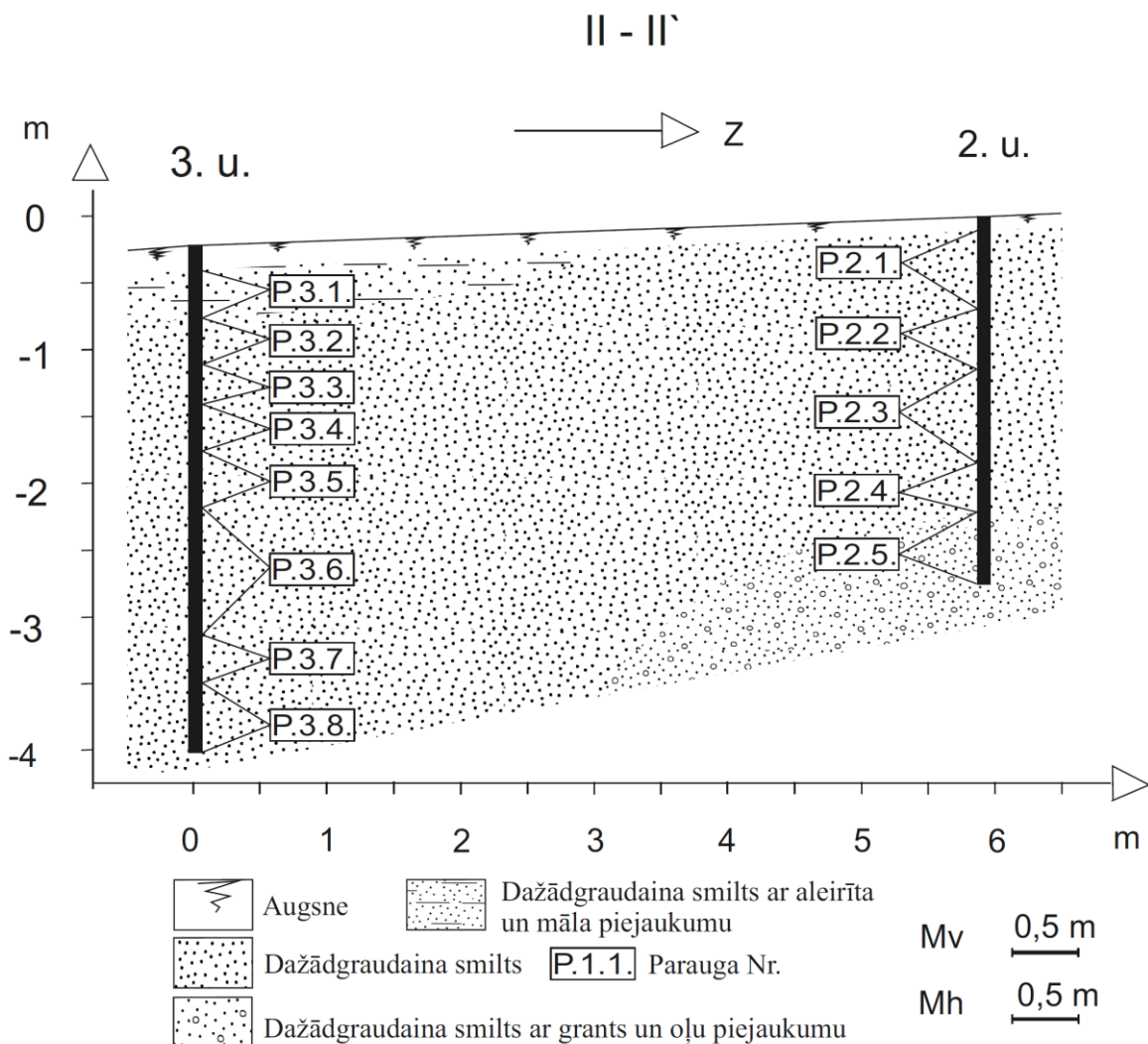
Lauka darbu laikā veiktajos urbumos konstatētajiem nogulumu slāņiem veiktā granulometriskā sastāva analīze (1. un 2. pielikums) norāda, ka pētījumu teritorijā sastopama dažādgraudaina smilts (4.1., 4.2. un 4.3. attēls). Dažādgraudainā smilts sastāv no smalkgraudainas un vidējgraudainas smilts, mazākā mērā no rupjgraudainas smilts, un to proporcija griezumā ir mainīga.

Pētījumu teritorijā augsnes biezums mainās no 9 līdz 23 cm. I – I' ģeoloģiskajā griezumā (4.1. attēls), augšējā daļā izplatīta dažādgraudaina smilts, kur smilts frakcijas kopsummā ir aptuveni 90%. Griezuma apakšējā daļā dažādgraudainas smilts slānī novērojams neliels grants un oļu piejaukums, kur oļu saturs mainās no 7,3 – 26,7%.



4.1. attēls. Pētījumu teritorijas ģeoloģiskais griezum I - I'

II – II' ģeoloģiskajā griezumā (4.2. attēls) augšējā daļā trešajā urbumā (3.u.) dažādgraudainas smilts slānī novērojams neliels aleirīta un māla piejaukums, kas sastāda 9,9%. Tālāk tam seko dažādgraudainas smilts slānis, kur smilts frakcijas kopsummā ir aptuveni 90%. Griezuma apakšējā daļā pie otrā urbuma dažādgraudainajai smiltij novērojams neliels grants un oļu piejaukums, kas sasniedz 29,3%.



4.2. attēls. Pētījumu teritorijas ģeoloģiskais griezumā II - II'

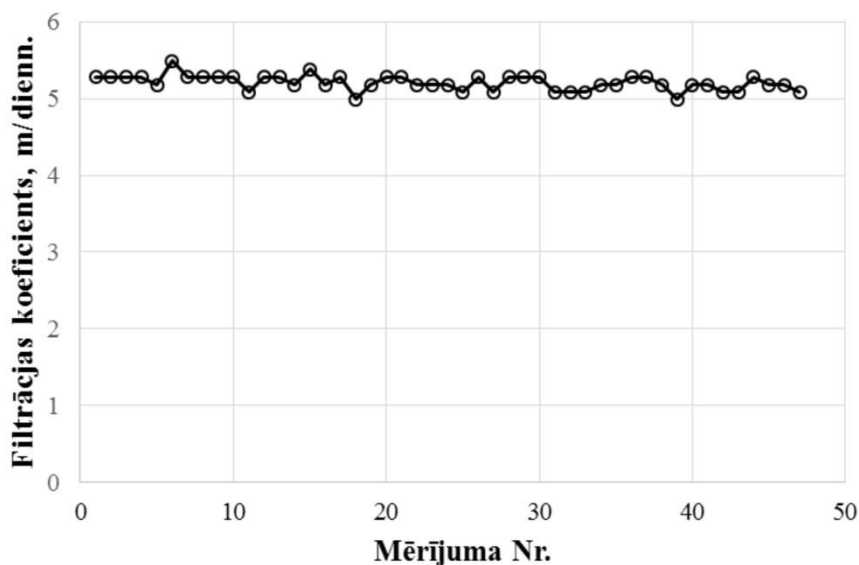
III – III' ģeoloģiskajā griezumā (4.3. attēls) augšējā daļā trešā urbuma (3.u) tiešā tuvumā dažādgraudainas smilts slānī novērojams neliels aleirīta un māla piejaukums, kas veido 9,9%. Tālāk tam seko dažādgraudainas smilts slānis. Ģeoloģiskā griezumā apakšējā daļā ap pirmo urbumu dažādgraudainas smilts slānim novērojams grants un oļu piejaukums.

Lodes muižas karjerā apsekotajā atsegumā (3. pielikums), kas atrodas aptuveni 30 m attālumā no pētījumu teritorijas, sastopams dažādgraudainas smilts materiāls ar griezumā

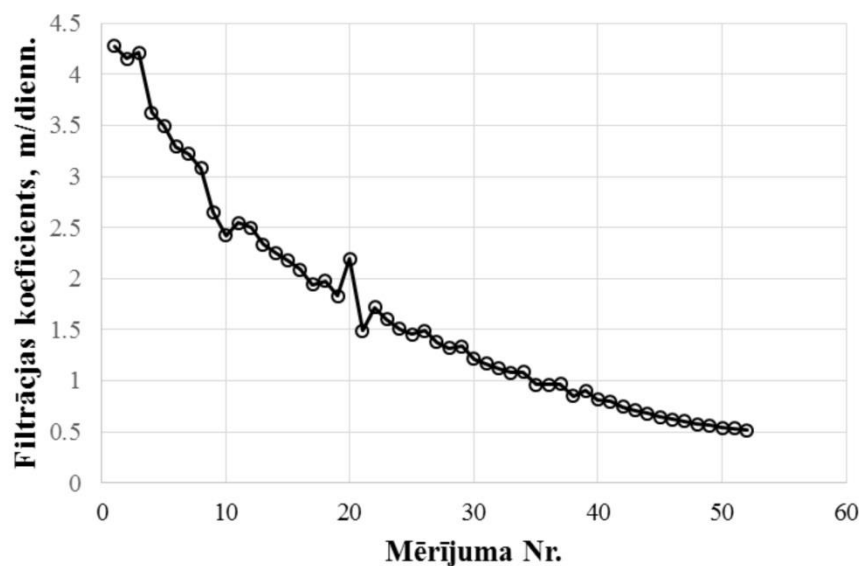
Teorētiskās blīvuma vērtības, kas izriet no materiāla granulometriskajam sastāvam atbilstošā porainības koeficienta, pēc nogulumu sastāva līdzīgos nogulumos pirmajā un trešajā punktā ir $1,66 \text{ cm}^3/\text{g}$, savukārt otrajā un ceturtajā punktā – $1,72 \text{ cm}^3/\text{g}$.

4.2. Laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu mērījumu izkliede

Veicot atkārtotus filtrācijas koeficienta mērījumus ar *Eijkelkamp* iekārtu, tika novērots, ka ne visiem paraugiem filtrācijas koeficients laika gaitā ir nemainīgs (4.4. attēls), daļai no testētajiem monolītiem laika gaitā filtrācijas koeficients samazinājās (4.5. attēls).



4.4. attēls. Filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede 2. punktā iegūtajam 3. monolītam



4.5. attēls. Filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede 2. punktā iegūtajam 2. monolītam

Šāda iegūtā filtrācijas koeficienta vērtības mainība tika konstatēta 7 monolītu paraugiem no 19 noņemtajiem. Ņemot vērā to, ka vienā paraugu noņemšanas punktā noņemtajiem monolītiem bija raksturīgi abi minētie gadījumi, jāsecina, ka filtrācijas koeficienta izmaiņas laikā nav saistāmas ar atšķirībām paraugu litoloģiskajā sastāvā.

4.3. Pētījuma laikā aprēķinātās filtrācijas koeficienta vērtības

Pētījumu teritorijā četros punktos iegūtajiem monolītu paraugiem tika veikti mērījumi ar *Eijkelkam* (3.3.2. apakšnodaļa) un GOST (3.3.1. apakšnodaļa) filtrācijas iekārtām. Iegūtie mērījumi tika izvērtēti, un aprēķināts atbilstošais filtrācijas koeficients. Iegūto rezultātu salīdzināšanai tika izmantotas vidējās filtrācijas koeficienta vērtības un to izkliede gan atsevišķa parauga ietvaros, gan punkta ietvaros.

Iegūto mērījumu rezultātu izkliede katrā no mērījumu punktiem tiks izmantota par pamatu ar empīriskajiem vienādojumiem (3.3.4. apakšnodaļa) un ar dubultgredzena infiltrometru (3.3.5. apakšnodaļa) iegūto rezultātu izvērtēšanai, pieņemot, ka patiesā filtrācijas koeficienta vērtība ir intervālā starp laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu vērtībām.

4.3.1. Pirmais mērījumu punkts

Laboratorijā iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

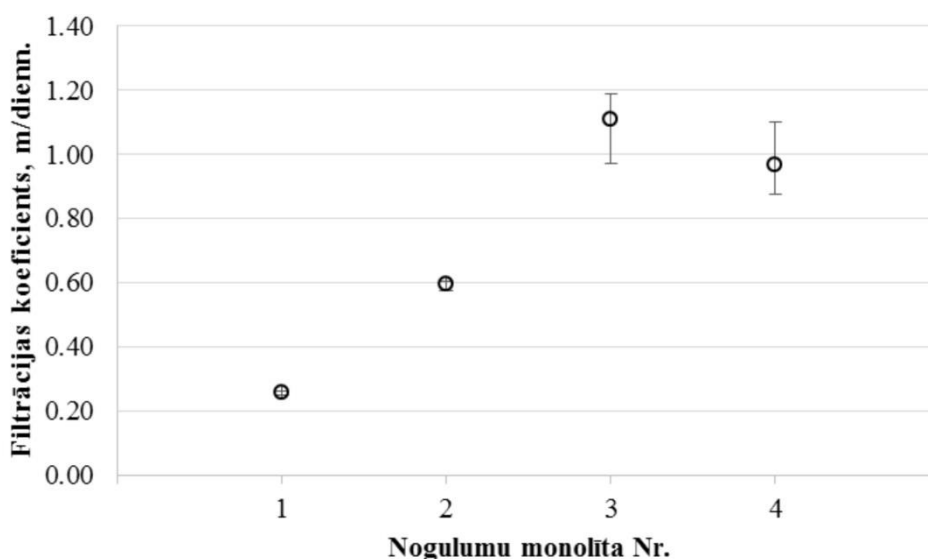
Netraucētas struktūras paraugi:

Ar **GOST** filtrācijas iekāru iegūtie filtrācijas koeficienti 1. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz relatīvi augstu rezultātu izkliedi (4.6. attēls). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,26 līdz 1,11 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 0,25 līdz 1,19 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 0,78 m/dienn.

Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede 0,22 m/dienn. novērojama trešajam un ceturtajam monolītam. No trešā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 1,11 m/dienn. rezultātu izkliede sastāda 19,58%, savukārt ceturtajam monolītam no vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 0,97 m/dienn. ir 23,20%. No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (0,78 m/dienn.) trešajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 27,69 %, savukārt ceturtajā monolītā - 28,61 %.

Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama pirmajam monolītam. Rezultātu izkliede pirmajam monolītam ir 0,01 m/dienn jeb 4,99% no

vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No pirmajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās pirmā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 1,64 %.



4.6. attēls. Ar GOST iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

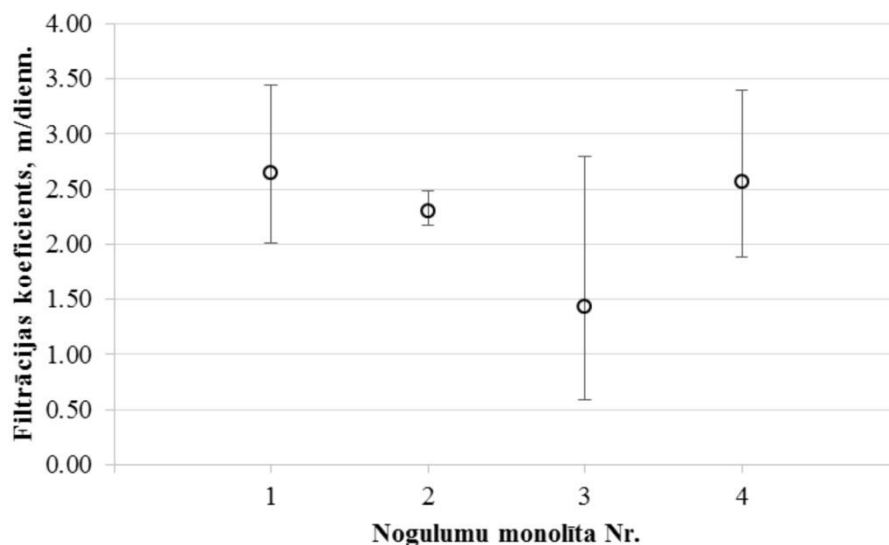
Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkliede trešajam un ceturtajam netraucētas struktūras paraugam no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkļiedes sastāda 23,11% un 23,87%. Turpretī, testējot pirmo monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 1,36% no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkļiedes.

Iegūtie filtrācijas koeficienti ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekāru 1. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz relatīvi augstu rezultātu izkļiedi (4.7. attēls). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 1,44 līdz 2,64 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkļiedi robežās no 0,59 līdz 3,44 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 2,25 m/dienn.

Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede (2,25 m/dienn.) novērojama trešajam monolītam. Rezultātu izkliede trešajā monolītā ir 1,5 reizes lielāka nekā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtība (1,44 m/dienn.). No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (2,25 m/dienn.) trešajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 98,06%.

Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama otrajam monolītam. Rezultātu izkliede pirmajam monolītam ir 0,32 m/dienn. jeb 13,95 % no vidējās

filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No pirmajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās otrajā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 14,24 %.

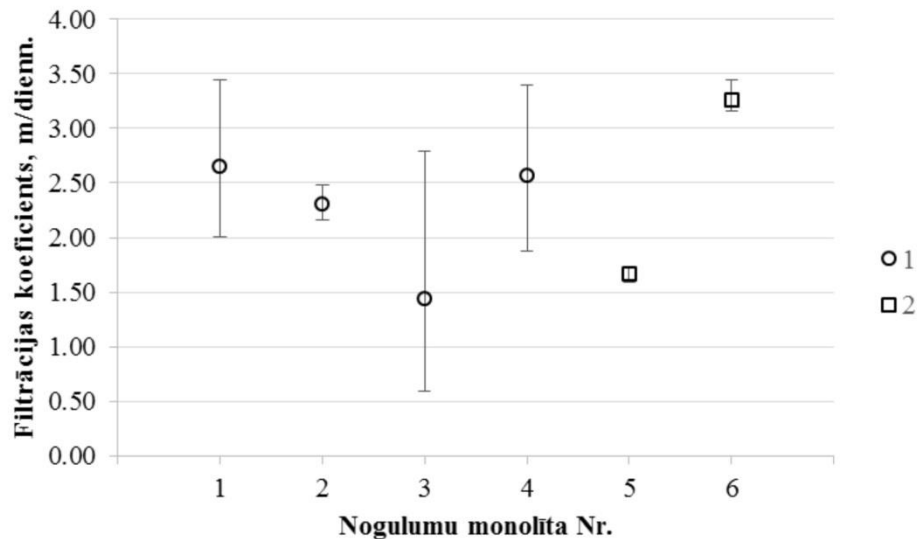


4.7. attēls. Ar Eijkelkamp iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkļiedes amplitūda, testējot trešo netraucētas struktūras paraugu, no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkļiedes sastāda 77,32%. Turpretī, testējot otro monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 11,23% no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkļiedes.

Jauktas struktūras paraugi:

Ar **Eijkelkamp** iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 1. punktā noņemtajiem dabiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.8. attēls) ir 1,67 un 3,26 m/dienn. ar rezultātu izkļiedi no 1,59 līdz 3,45 m/dienn. Abu paraugu vidējās filtrācijas koeficienta vērtības iekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot nogulumu monolītus. Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu maksimālā vērtība pārsniedz maksimālo filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus, par 0,01 m/dienn.

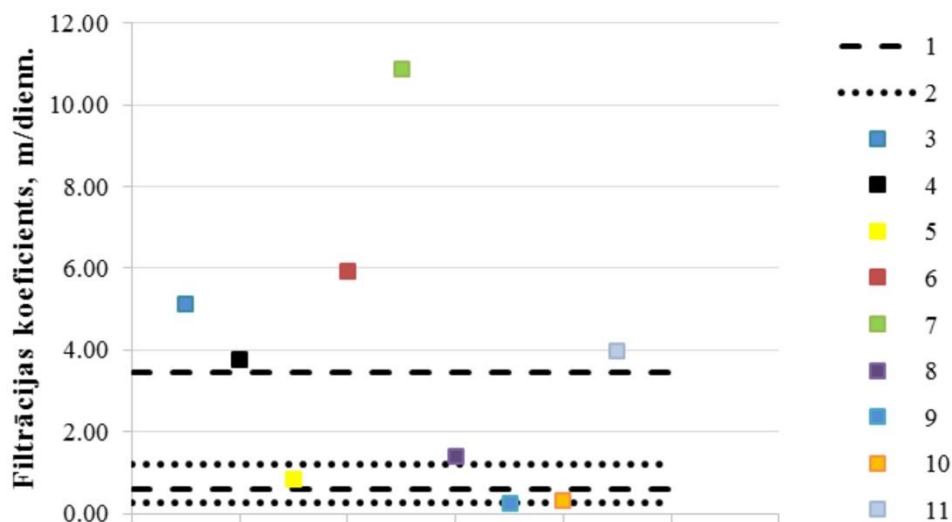


4.8. attēls. Ar Eijkelkamp iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

Apzīmējumi: 1 – Noņemto monolītu filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības.

Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Pirmajā punktā ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,26 līdz 10,87 m/dienn. (4.9. attēls).



4.9. attēls. Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības un to salīdzinājums ar laboratorijā iegūto vērtību izkliedi

Apzīmējumi: 1 – Ar Eijkelkamp filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; 2 – Ar GOST filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; Izmantotie empīriskie vienādojumi: 3 – Hāzena (1.6.); 4 – Hāzena (1.8.); 5 – Slihtera (1.10.); 6 – Tercāgī (1.18.); 7 - Krūgera (1.11.); 8 - Kozeni (1.17.); 9 – Zunkera (1.19.); 10 – Zamarina (1.14.); 11 – Zauerbreisa (1.21.).

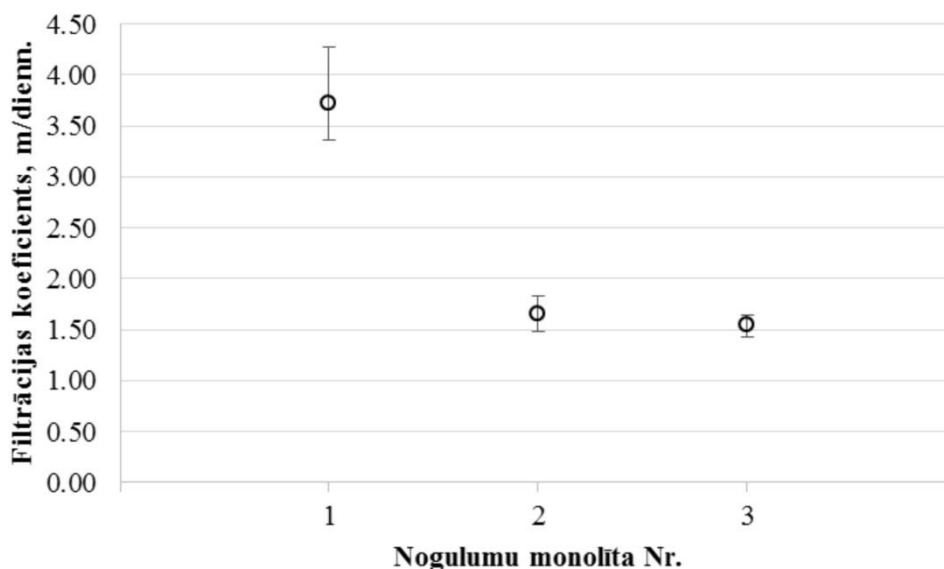
Vismazākās filtrācijas koeficienta vērtības iegūtas ar Zunkera vienādojumu, savukārt lielākas – Krūgera vienādojumu. Ar Zunkera vienādojumu iegūtajai filtrācijas koeficienta vērtībai līdzīgus rezultātus sniedz Zamarina empīriskais vienādojums (0,30 m/dienn.). Ar Slihtera empīrisko vienādojumu iegūtā filtrācijas koeficienta vērtība 0,85 m/dienn. iekļaujas ar GOST un *Eijkelkamp* filtrācijas iekārām iegūto vērtību intervālā, savukārt ar Kozeni empīrisko vienādojumu iegūtā vērtība 1,41 m/dienn. atrodas ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā. Ar Hāzena, Tercāgī, Krūgera un Zauerbreisa empīriskajiem vienādojumiem aprēķinātās vērtības (3,78 – 10,87 m/dienn.) pārsniedz ar laboratorijas iekārtām iegūtās vērtības.

4.3.2. Otrais mērījumu punkts

Laboratorijā iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Netraucētas struktūras paraugi:

Ar **GOST** filtrācijas iekāru iegūtie filtrācijas koeficienti 2. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz relatīvi augstu rezultātu izkliedi (4.10. attēlā). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 1,55 līdz 3,73 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 1,43 līdz 4,28 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 2,35 m/dienn.



4.10. attēls. Ar GOST iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

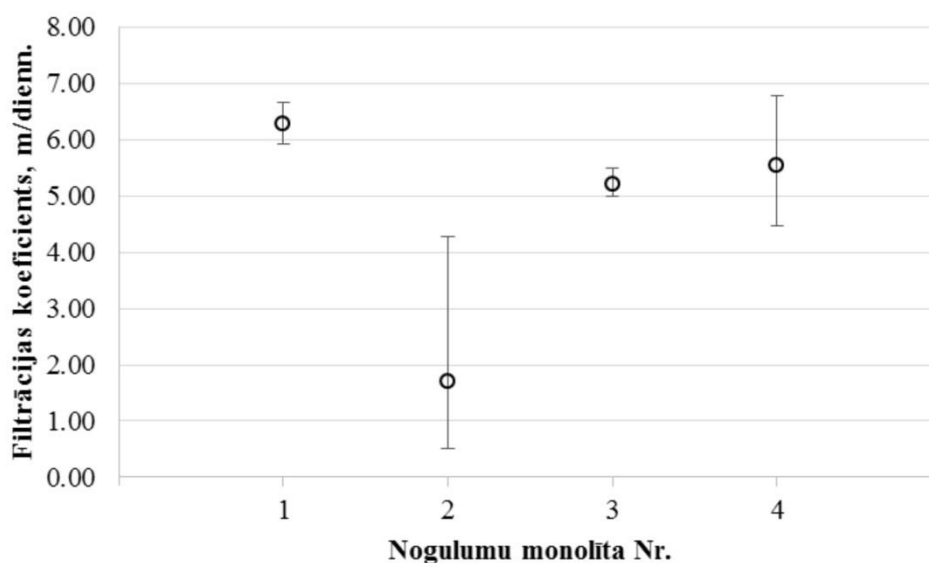
Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede (0,92 m/dienn.) novērojama pirmajam monolītam. No pirmā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 3,73 m/dienn. rezultātu izkliede sastāda 24,65 %. No vidējās mērījuma punkta

filtrācijas koeficienta vērtības (2,35 m/dienn.) pirmajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 39,13 %.

Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama trešajam monolītam. Rezultātu izkliede trešajam monolītam ir 0,21 m/dienn. jeb 13,65 % no vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No otrajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās trešā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 8,99 %.

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkliedes amplitūda, testējot pirmo netraucētas struktūras paraugu no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkliedes, sastāda 32,22 %. Turpretī, testējot trešo monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 7,40 % no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkliedes.

Ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekāru iegūtie filtrācijas koeficienti 2. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz augstu rezultātu izkliedi (4.11. attēls). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 1,70 līdz 6,28 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 0,52 līdz 6,78 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 4,29 m/dienn.



4.11. attēls. Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

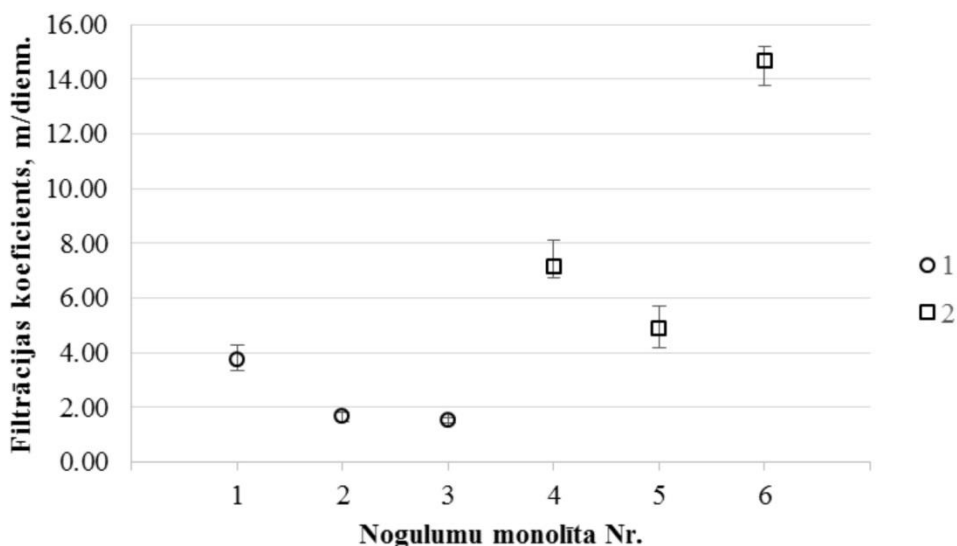
Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede 3,76 m/dienn. novērojama otrajam monolītam. Rezultātu izkliede otrajam monolītam ir 2 reizes lielāka nekā parauga vidējā filtrācijas koeficienta vērtība (1,70 m/dienn.). No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (4,29 m/dienn.) otrā monolīta filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 87,62 %.

Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama trešajam monolītam. Rezultātu izkliede trešajam monolītam ir 0,50 m/dienn. jeb 9,59 % no vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No otrajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās trešajā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 11,62 %.

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkļedes amplitūda, testējot otro netraucētas struktūras paraugu no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkļedes, sastāda 60,07%. Turpretī, testējot trešo monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 7,97 % no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkļedes.

Jauktas struktūras paraugi:

Ar **GOST** iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 2. punktā noņemtajiem dabiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.12. attēls) mainās no 4,91 līdz 14,99 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 4,20 līdz 15,21 m/dienn. Paraugu vidējās filtrācijas koeficienta vērtības neiekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Atsevišķi izdalāms piektais jauktas struktūras paraugs, kura filtrācijas koeficientu izkļedes intervāls pārklājas ar filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus.

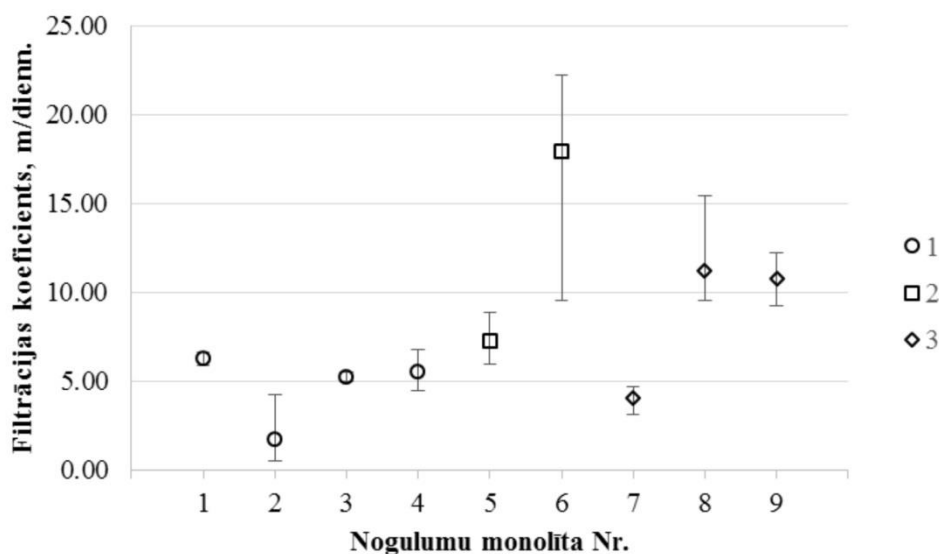


4.12. attēls. Ar **GOST** iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

Apzīmējumi: 1 – Noņemto monolītu filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības.

Ar **Eijkelkamp** iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 2. punktā noņemtajiem dabiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.13. attēls) ir 7,28 un

17,95 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 5,93 līdz 22,24 m/dienn. Paraugu vidējās filtrācijas koeficienta vērtības neiekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Kā arī izdalāms piektais jauktas struktūras paraugs, kura filtrācijas koeficientu izkliedes intervāls pārklājas ar filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus, par 0,85 m/dienn.



4.13. attēls. Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

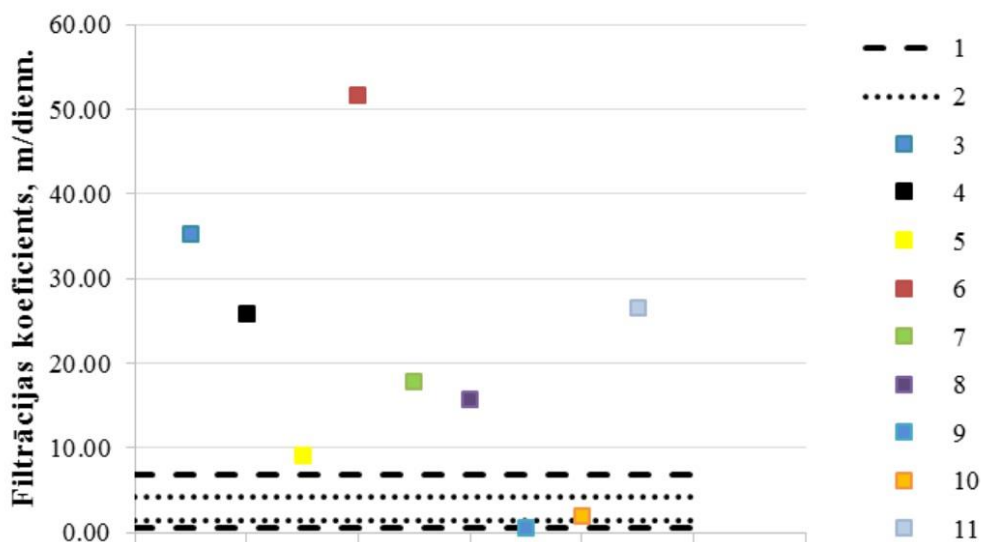
Apzīmējumi: 1 – Noņemto monolītu filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības; 3 – Sablīvētu (teorētiskais blīvums) jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības.

Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 2. punktā noņemtajiem teorētiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.13. attēls) mainās no 4,08 un 11,21 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 3,10 līdz 15,43 m/dienn. Atzīmējams septītais paraugs, kur parauga vidējā filtrācijas koeficienta vērtība iekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Kā arī 7. teorētiskajā blīvumā sablīvētais jauktas struktūras paraugs, kura filtrācijas koeficientu izkliedes intervāls pārklājas pilnībā ar filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus.

Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Otrajā punktā ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,55 līdz 51,59 m/dienn. (4.14. attēls). Vismazākās filtrācijas koeficienta vērtības tika iegūtas ar Zunkera vienādojumu, savukārt lielākas – Tercāgī vienādojums. Ar Zunkera vienādojumu iegūtajai filtrācijas koeficienta vērtībai relatīvi tuvs rezultāts tika aprēķināts ar Zamarina empīrisko vienādojumu, (2,00 m/dienn.). Ar Zamarina empīrisko vienādojumu iegūtā filtrācijas koeficienta vērtība 2,00 m/dienn. iekļaujas ar GOST un

Eijkelkamp filtrācijas iekārām iegūto vērtību intervālā, savukārt ar Zunkera empīrisko vienādojumu iegūtā vērtība 0,55 m/dienn. atrodas ar *Eijkelkam* filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā. Ar Hāzena, Slihtera, Tercāgī, Krūgera, Kozenī un Zauerbreja empīriskajiem vienādojumiem aprēķinātās filtrācijas koeficienta vērtības (9,15 – 51,59 m/dienn.) pārsniedz ar laboratorijas iekārtām iegūtās vērtības.



4.14. attēls. Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības un to salīdzinājums ar laboratorijā iegūto vērtību izkliedi

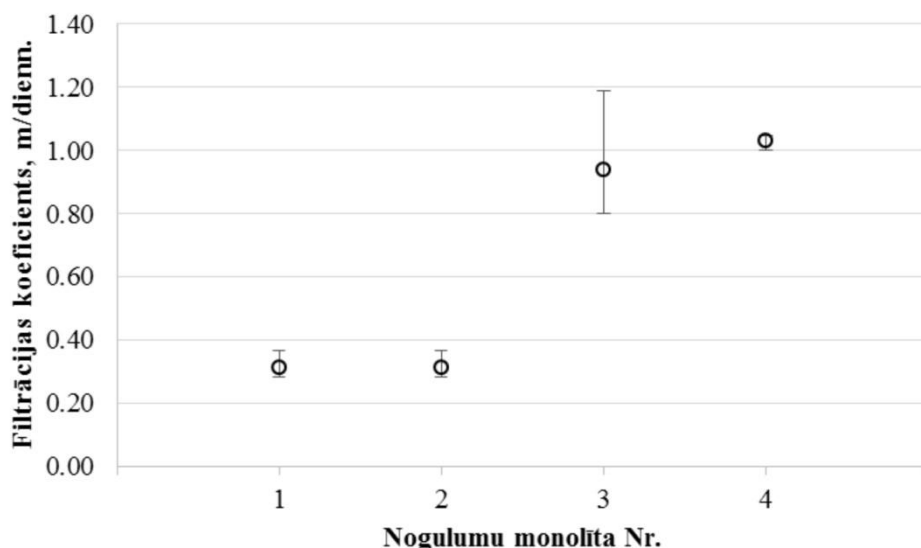
Apzīmējumi: 1 – Ar Eijkelkamp filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; 2 – Ar GOST filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; Izmantotie empīriskie vienādojumi: 3 – Hāzena (1.6.); 4 – Hāzena (1.8.); 5 – Slihtera (1.10.); 6 – Tercāgī (1.18.); 7 - Krūgera (1.11.); 8 - Kozeni (1.17.); 9 – Zunkera (1.19.); 10 – Zamarina (1.14.); 11 – Zauerbreisa (1.21.).

4.3.3. Trešais mērījumu punkts

Laboratorijā iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Netraucētas struktūras paraugi:

Ar **GOST** filtrācijas iekāru 3. punktā noņemtajiem monolītiem iegūtie filtrācijas koeficienti norāda uz relatīvi augstu rezultātu izkliedi (4.15. attēls). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,31 līdz 1,03 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 0,28 līdz 1,19 m/dien, savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 0,63 m/dienn.



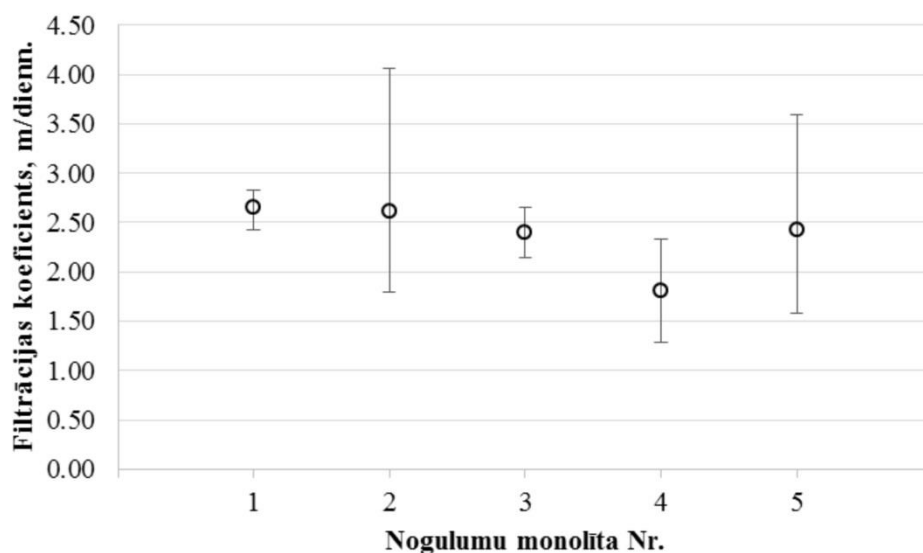
4.15. attēls. Ar GOST iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede 0,39 m/dienn. novērojama trešajam monolītam. No trešā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 0,94 m/dienn. rezultātu izkliede sastāda 41,56 %. No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (0,63 m/dienn.) trešajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 62,10 %.

Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama ceturtajam monolītam. Rezultātu izkliede ceturtajam monolītam ir 0,05 m/dienn. jeb 4,43 % no vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No trešajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās ceturajā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 7,27 %.

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkliede, testējot trešo netraucētas struktūras paraugu no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkļiedes, sastāda 43,11 %. Turpretī, testējot ceturto monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 5,05 % no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkļiedes.

Ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekāru iegūtie filtrācijas koeficienti 3. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz augstu rezultātu izkliedi (4.16. attēls). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 1,81 līdz 2,65 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 1,29 līdz 4,06 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 2,32 m/dienn.



4.16. attēls. Ar Eijkelkamp iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izklide

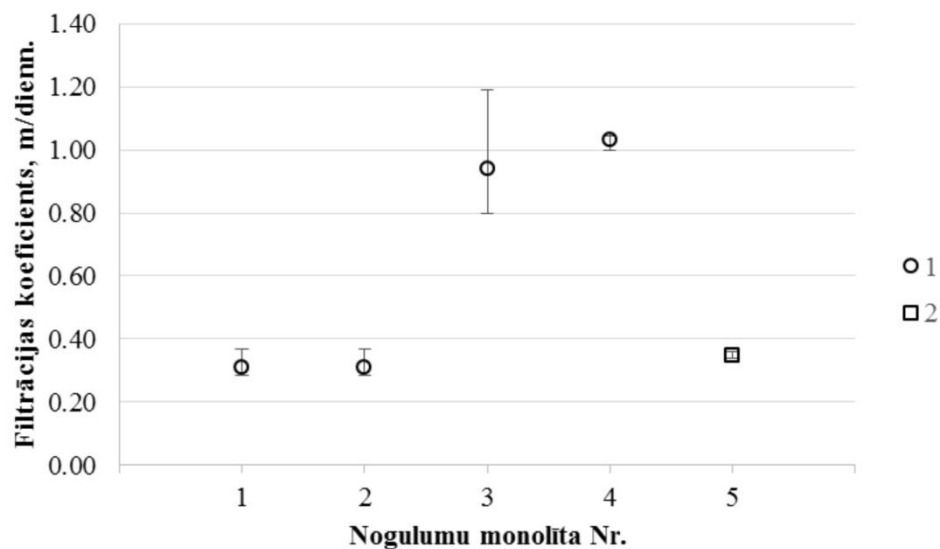
Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izklide 2,27 m/dienn. novērojama otrajam monolītam. No otrā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtības (2,61 m/dienn.) rezultātu izklide sastāda 86,87 %. No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (2,32 m/dienn.) otrajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izklide sastāda 97,57 %.

Mazākā rezultātu izklide starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama pirmajam monolītam. Rezultātu izklide pirmajam monolītam ir 0,40 m/dienn. jeb 15,06 % no vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No trešajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās pirmā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izklide sastāda 17,20 %.

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izklide, testējot otro netraucētas struktūras paraugu no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izklides, sastāda 81,79%. Turpretī, testējot pirmo monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izklide sastāda 14,42 % no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izklides.

Jauktas struktūras paraugi:

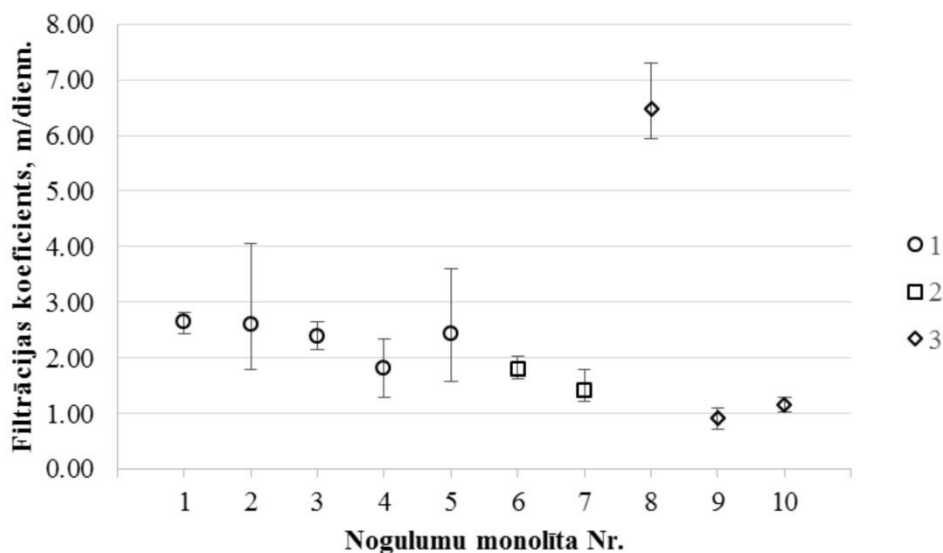
Ar **GOST** iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 3. punktā noņemtajam dabiskā blīvumā blīvētam jauktas struktūras paraugam (4.17 attēls) ir 0,35 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 0,34 līdz 0,36 m/dienn. Parauga vidējā filtrācijas koeficienta vērtība iekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Kā arī piektais jauktas struktūras parauga filtrācijas koeficientu izklides intervāls pārklājas ar filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot 1. un 2. nogulumu monolītus.



4.17. attēls. Ar GOST iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

Apzīmējumi: 1 – Noņemto monolītu filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras parauga filtrācijas koeficientu vērtības.

Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 3. punktā noņemtajiem dabiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.18. attēls) ir 1,42 un 1,81 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 1,22 līdz 2,02 m/dienn.



4.18. attēls. Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

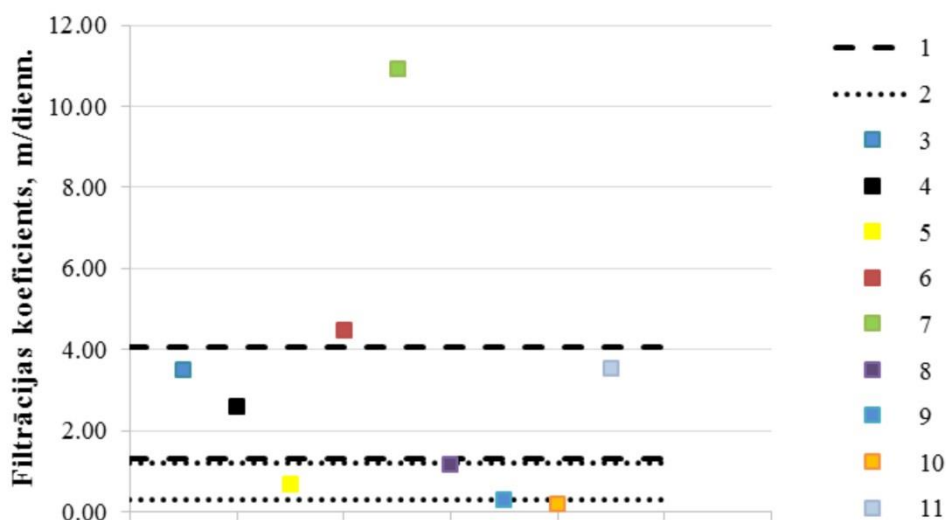
Apzīmējumi: 1 – Noņemto monolītu filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības; 3 – Sablīvētu (teorētiskais blīvums) jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības.

Abu paraugu vidējās filtrācijas koeficienta vērtības iekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Jauktas struktūras septītā parauga filtrācijas koeficientu minimālā vērtība pārsniedz minimālo filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus, par 0,07 m/dienn.

Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 3. punktā noņemtajiem teorētiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.18. attēls) mainās no 0,93 līdz 6,47 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 0,73 līdz 7,30 m/dienn. Paraugu vidējās filtrācijas koeficienta vērtības neiekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Sablīvētais jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtību intervāls nepārklājas ar filtrācijas koeficientu vērtību intervālu, kas iegūts, izmantojot monolītus.

Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Trešajā punktā ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,19 līdz 10,92 m/dienn. (4.19. attēls).



4.19. attēls. Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības un to salīdzinājums ar laboratorijā iegūto vērtību izkliedi

Apzīmējumi: 1 – Ar Eijkelkamp filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; 2 – Ar GOST filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; Izmantotie empīriskie vienādojumi: 3 – Hāzena (1.6.); 4 – Hāzena (1.8.); 5 – Slihtera (1.10.); 6 – Tercāgī (1.18.); 7 - Krūgera (1.11.); 8 - Kozeni (1.17.); 9 – Zunkera (1.19.); 10 – Zamarina (1.14.); 11 – Zauerbreisa (1.21.).

Vismazākās filtrācijas koeficienta vērtības aprēķinātas ar Zamarina vienādojumu, savukārt lielākas – Krūgera vienādojumu. Ar Zamarina vienādojumu iegūtajai filtrācijas koeficienta vērtībai līdzīgi rezultāti iegūti ar Zunkera empīrisko vienādojumu, (0,28

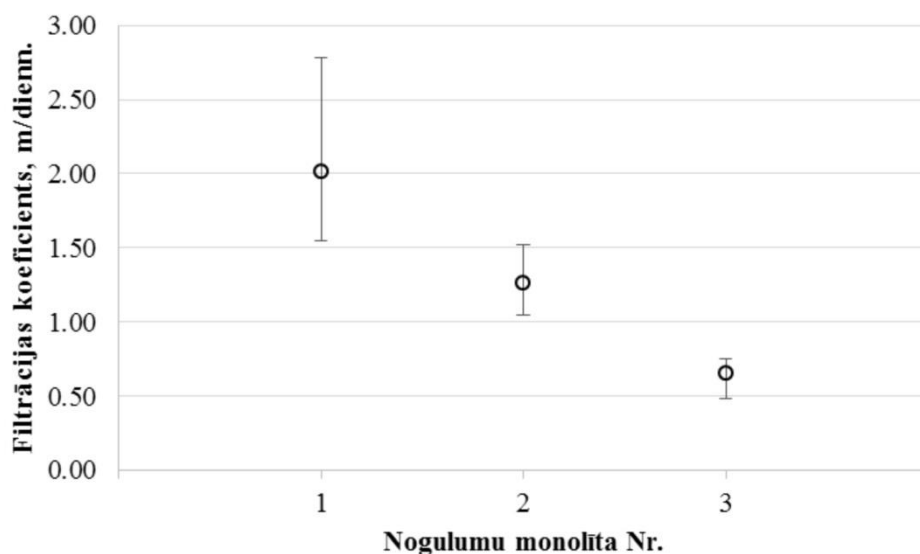
m/dienn.). Ar Slihtera empīrisko vienādojumu iegūtā filtrācijas koeficienta vērtība 0,68 m/dienn. un ar Kozenī vienādojumu iegūtā vērtība 1,17 m/dienn. atrodas ar GOST filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā, savukārt ar Hāzena (1.6. un 1.8. vienādojums) un Zauerbreisa empīriskajiem vienādojumiem iegūtās vērtības 3,15 m/dienn., 2,58 m/dienn. un 3,53 m/dienn. atrodas ar Eijkelkam filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā. Tercāgī un Krūgera empīriskie vienādojumi sniedz augstākas filtrācijas koeficienta vērtības 4,46 un 10,92 m/dienn. nekā ar laboratorijas iekārtām iegūtās vērtības.

4.3.4. Ceturtais mērījumu punkts

Laboratorijā iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Netraucētas struktūras paraugi:

Ar **GOST** filtrācijas iekāru iegūtie filtrācijas koeficienti 4. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz relatīvi augstu rezultātu izkliedi (4.20. attēls). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,65 līdz 2,01 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 0,49 līdz 2,79 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 1,39 m/dienn.



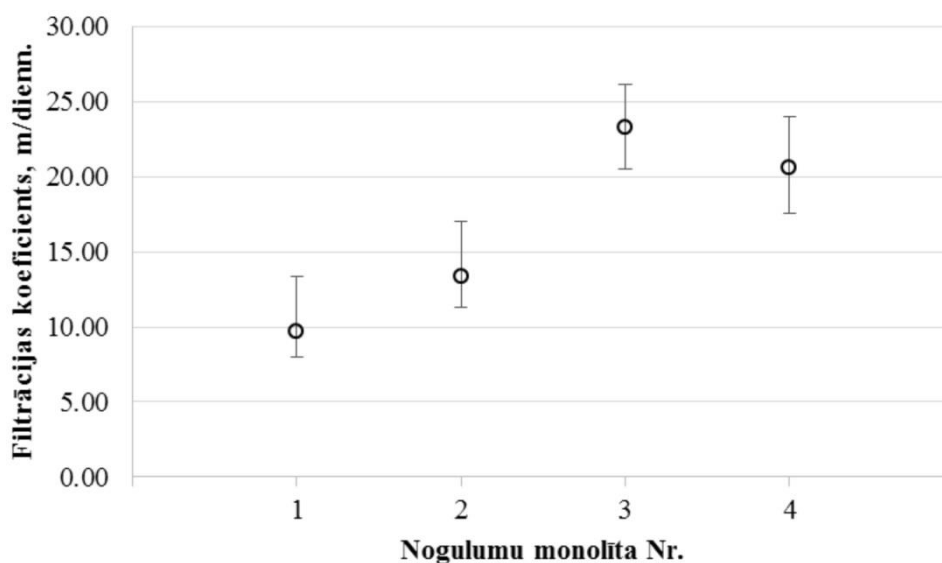
4.20. attēls. Ar GOST iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede 1,24 m/dienn. novērojama pirmajam monolītam. No pirmā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 2,01 m/dienn. rezultātu izkliede sastāda 61,79 %. No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (1,39 m/dienn.) pirmajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 89,54 %.

Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama trešajam monolītam. Rezultātu izkliede trešajam monolītam ir 0,27 m/dienn. jeb 40,72 % no vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No ceturtajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās trešajā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 19,10 %.

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkliedes amplitūda, testējot pirmo netraucētas struktūras paraugu no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkliedes, sastāda 54,02%. Turpretī, testējot ceturto monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 11,52% no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkliedes.

Iegūtie filtrācijas koeficienti ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekāru 4. punktā noņemtajiem monolītiem norāda uz augstu rezultātu izkliedi (4.21. attēlā). Iegūtās vidējās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 9,72 līdz 23,25 m/dienn. ar kopējo rezultātu izkliedi robežās no 7,96 līdz 26,12 m/dienn., savukārt vidējā filtrācijas koeficienta vērtība mērījumu punktā ir 18,55 m/dienn



4.21. attēls. Ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtās filtrācijas koeficientu vidējās vērtības un to izkliede

Starp individuālajiem mērījumiem vienam paraugam lielākā rezultātu izkliede 6,40 m/dienn. novērojama ceturtajam monolītam. No ceturajā parauga vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 20,58 m/dienn. rezultātu izkliede sastāda 31,09 %. No vidējās mērījuma punkta filtrācijas koeficienta vērtības (18,55 m/dienn.) ceturtajā monolītā iegūtā filtrācijas koeficientu rezultātu izkliede sastāda 34,50 %.

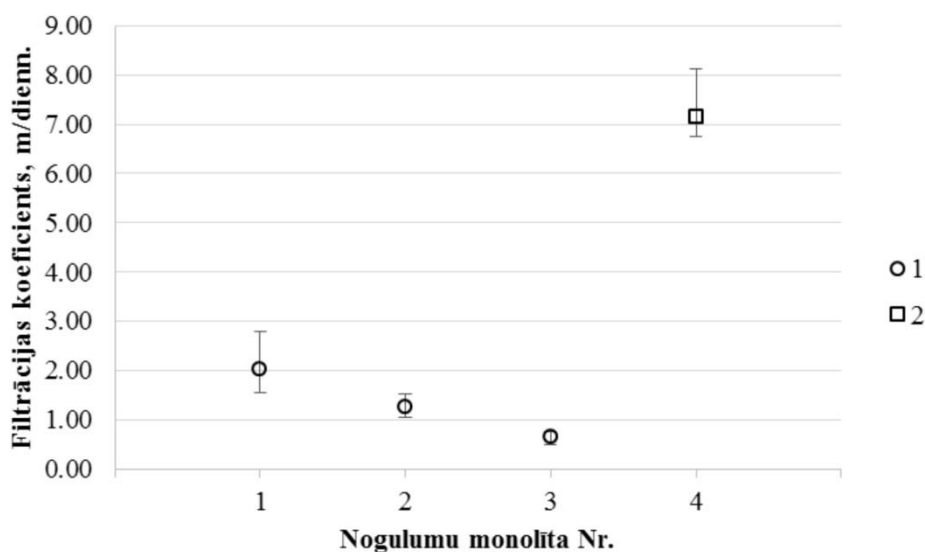
Mazākā rezultātu izkliede starp individuāliem mērījumiem paraugā novērojama pirmajam monolītam. Rezultātu izkliede pirmajam monolītam ir 5,42 m/dienn jeb 55,70 % no

vidējās filtrācijas koeficienta vērtības paraugā. No ceturtajā mērījumu punktā iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtībās pirmā monolīta filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 29,20 %.

Kopumā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkļedes amplitūda, testējot ceturto netraucētas struktūras paraugu no kopējās punktā testēto monolītu filtrācijas koeficientu rezultātu vērtību izkļedes, sastāda 35,23 %. Turpretī, testējot pirmo monolītu, iegūtā filtrācijas koeficientu vērtību izkliede sastāda 29,82 % no kopējās punktā testētās filtrācijas koeficientu vērtības izkļedes.

Jauktas struktūras paraugi:

Ar **GOST** iekārtu iegūtā vidējā filtrācijas koeficienta vērtība 4. punktā noņemtajam dabiskā blīvumā blīvētam jauktas struktūras paraugam (4.22. attēls) ir 7,17 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 6,75 līdz 8,13 m/dienn.. Parauga vidējā filtrācijas koeficienta vērtība neiekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Kā arī iegūtais filtrācijas koeficientu izkļedes intervāls nepārklājas ar filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus.

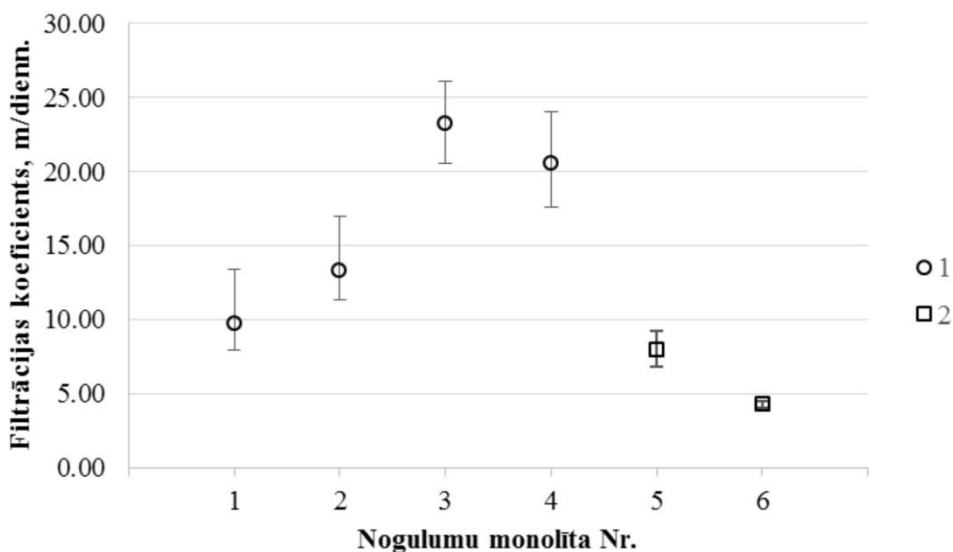


4.22. attēls. Ar **GOST** iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

Apzīmējumi: 1 – Monolītos iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības.

Ar **Eijkelkamp** iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības 4. punktā noņemtajiem dabiskā blīvumā blīvētiem jauktas struktūras paraugiem (4.23. attēls) ir 4,26 un 7,98 m/dienn. ar rezultātu izkliedi no 4,04 līdz 9,24 m/dienn. Piektā paraugu vidējā filtrācijas koeficienta vērtība iekļaujas vērtību intervālā, kas iegūts, izmantojot monolītus. Kā arī atzīmējams, ka jauktas struktūras piektā parauga filtrācijas koeficientu maksimālā vērtība

pārsniedz minimālo filtrācijas koeficientu vērtību, kas iegūta, izmantojot monolītus, par 1,28 m/dienn..

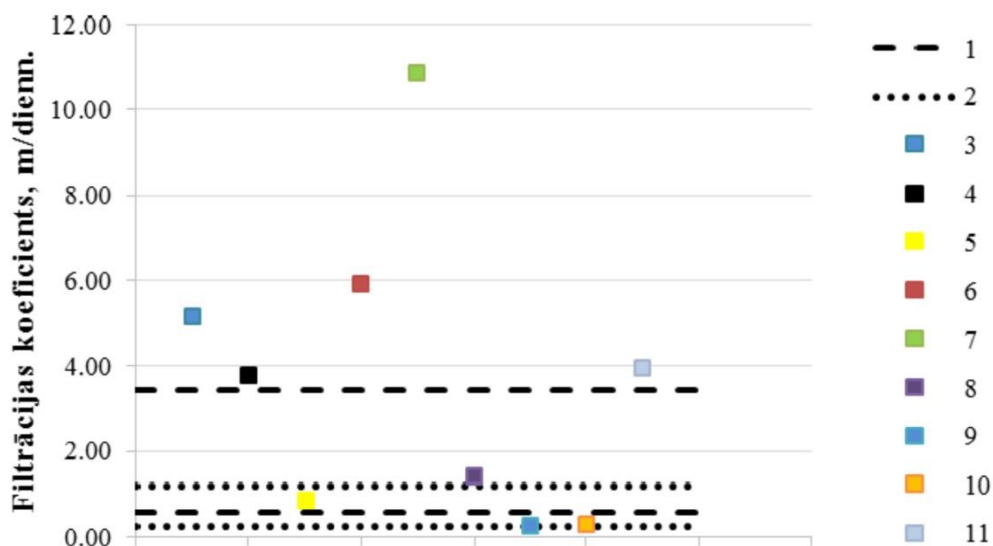


4.23. attēls. Ar Eijkelkamp iekārtu iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības

Apzīmējumi: 1 – Monolītos iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības; 2 – Jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības; 3 – Sablīvētu (teorētiskais blīvums) jauktas struktūras paraugu filtrācijas koeficientu vērtības.

Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības:

Ceturtajā punktā ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības mainās robežās no 0,39 līdz 32,09 m/dienn. (4.24. attēls). Vismazākās filtrācijas koeficienta vērtības iegūtas ar Zunkera vienādojumu, savukārt lielākas – Tercāgī vienādojums. Ar Zunkera vienādojumu iegūtajai filtrācijas koeficienta vērtībai līdzīgi rezultāti iegūti ar Zamarina empīrisko vienādojumu (0,62 m/dienn.). Ar Zamarina empīrisko vienādojumu iegūtā filtrācijas koeficienta vērtība 0,62 m/dienn. atrodas ar GOST filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā, savukārt ar abām Hāzena (1.6. un 1.8. vienādojums) (22,94 m/dienn.; 16,87 m/dienn.), Krūgera (14,41 m/dienn.), Kozeni (9,33 m/dienn.), Zauerbreisa (11,65 m/dienn.) empīriskajiem vienādojumiem iegūtās vērtības atrodas ar Eijkelkam filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā. Tercāgī empīriskais vienādojums sniedz augstākas filtrācijas koeficienta vērtības 32,09 m/dienn., kas pārsniedz ar laboratorijas iekārtām iegūtās vērtības.



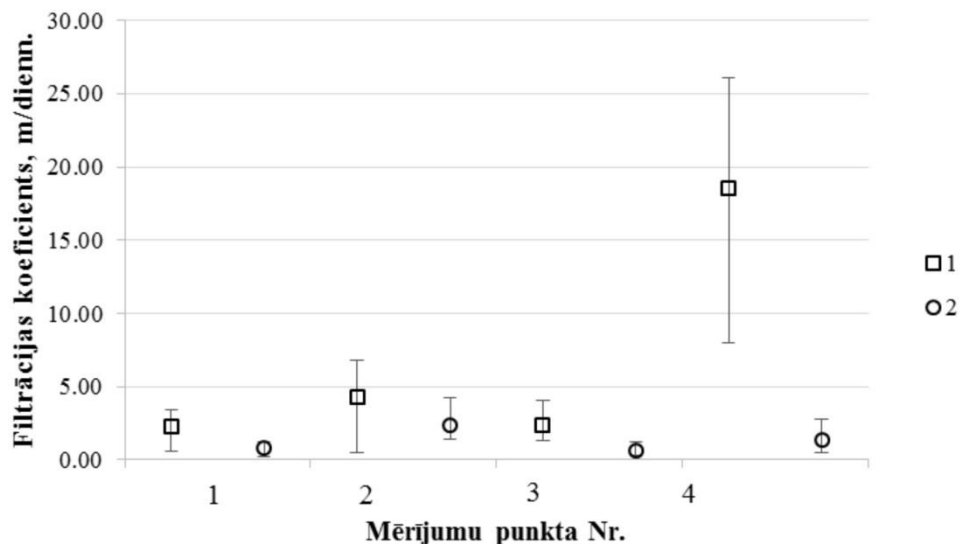
4.24. attēls. Ar empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības un to salīdzinājums ar laboratorijā iegūto vērtību izkliedi

Apzīmējumi: 1 – Ar Eijkelkamp filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; 2 – Ar GOST filtrācijas iekārtu iegūto vērtību diapazons; Izmantotie empīriskie vienādojumi: 3 – Hāzena (1.6.); 4 – Hāzena (1.8.); 5 – Slihtera (1.10.); 6 – Tercāgī (1.18.); 7 - Krūgera (1.11.); 8 - Kozeni (1.17.); 9 – Zunkera (1.19.); 10 – Zamarina (1.14.); 11 – Zauerbreisa (1.21.).

4.3.5. Laboratorijā iegūto filtrācijas koeficientu vērtību salīdzinājums starp punktiem

Kopumā laboratorijā iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības monolītu paraugiem norāda uz krasu vērtību izkliedi vienā punktā un iegūto rezultātu mainību atkarībā no izmantotās iekārtas (4.25. attēls). Teritorijā izplatīto nogulumu filtrācijas koeficienta vidējās vērtības mainās no 0,63 līdz 18,55 m/dienn.. Iegūto vērtību izkliede mainās no 0,25 līdz 26,12 m/dienn. un vidēji teritorijā tā ir 4,07 m/dienn..

Nav izslēdzams, ka 4. punktā ar Eijkelkamp filtrācijas iekārtu iegūtā filtrācijas koeficienta vērtība ir neprecīza, jo pretstatā visām pētījumu teritorijā iegūtajām vērtībām šī vērtība ir aptuveni četras reizes lielāka, kas ir maz ticams. Iespējams, veicot parauga ievietošanu parauga ietverošajā gredzenā, starp parauga gredzenu un plastmasas blīvi veidojās atstarpe, pa kuru varēja norisināties ūdens plūsma, tādējādi, iegūstot lielākas filtrācijas koeficienta vērtības.



4.25. attēls. Filtrācijas koeficientu vērtību salīdzinājums

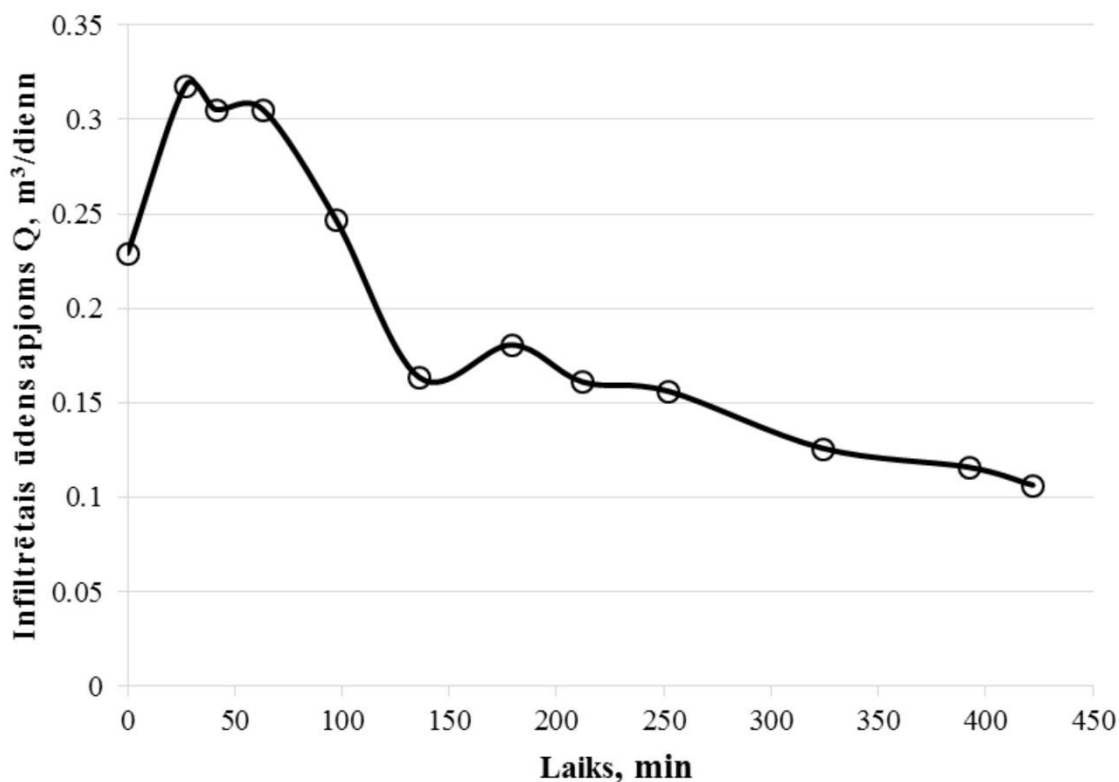
Apzīmējumi: 1 – Monolītos iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības ar Eijkelkamp filtrācijas iekārtu; 2 – Monolītos iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības ar GOST filtrācijas iekārtu.

4.4. Ar dubultgredzenu infiltrometru iegūtie rezultāti

Dubultgredzena infiltrācijas mērījumi pētījumu teritorijā tika realizēti trijos infiltrācijas punktos (3.1. attēls). Veicot mērījumus pirmajā un otrajā infiltrācijas punktā, tika konstatēts, ka infiltrētais ūdens apjoms ir laikā mainīgs (4.3.1 un 4.3.2 apakšnodaļa) un, veicot eksperimentu, neizdevās sasniegt nemainīgu infiltrācijas ātrumu. Tāpēc pirmajā un otrajā infiltrācijas punktā iegūtie infiltrācijas mērījumi netika izmantoti tālākai nogulumu filtrācijas koeficienta aprēķināšanai.

4.4.1. Pirmais infiltrācijas punkts

Pirmajā infiltrācijas punktā (1.ip.) iegūtie infiltrētā ūdens apjoma mērījumi tika veikti 7 stundas un 19 minūtes jeb 439 minūtes (4.26. attēls).

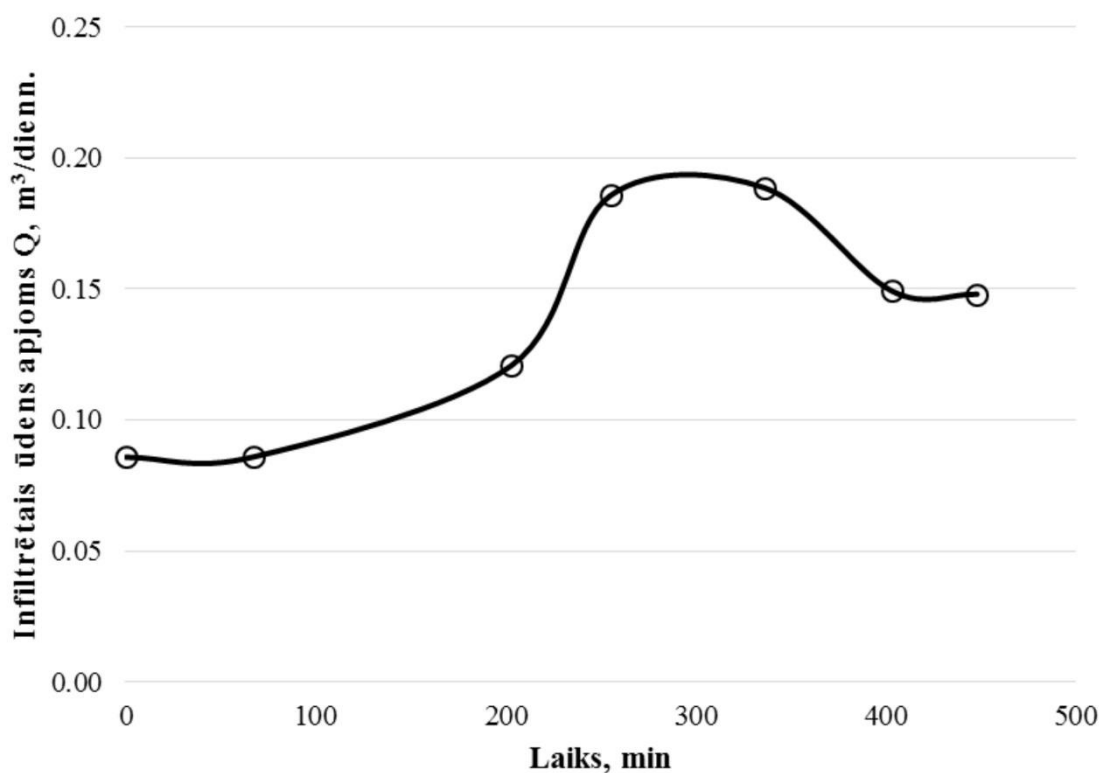


4.26. attēls. Pirmajā infiltrācijas punktā iegūtie infiltrētā ūdens mērījumi laikā

Pirmajā mērījumu punktā iegūtie infiltrētā ūdens apjoma mērījumi norāda uz to, kā eksperimenta gaitā infiltrētā ūdens apjoms laika gaitā samazinās no 0,33 līdz 0,11 m³/dienn. Pirmās stundas laikā infiltrētais ūdens apjoms bija 0,08 m³/dienn., savukārt turpmāko stundu laikā infiltrētais ūdens apjoms pamazām samazinās. Analizējot iegūtos rezultātus, tika konstatēts, ka konstanta infiltrētā ūdens apjoma infiltrācija nav sasniegta.

4.4.2. Otrais infiltrācijas punkts

Otrajā infiltrācijas punktā (2.ip.) iegūtie infiltrētā ūdens apjoma mērījumi tika veikti 7 stundas un 28 min jeb 448 minūtes (4.27. attēls). Otrajā mērījumu punktā iegūtie infiltrētā ūdens apjoma mērījumi norāda uz to, ka eksperimenta gaitā infiltrētā ūdens apjoms laika gaitā ir mainīgs. Mērījumu laikā līdz 5 stundām un 36 minūtēm jeb 300 minūtēm, infiltrētais ūdens apjoms palielinājās no 0,09 līdz 0,19 m³/dienn, savukārt turpmāko mērījumu laikā infiltrētā ūdens apjoms samazinājās no 0,19 līdz 0,15 m³/dienn. Analizējot iegūtos rezultātus, tika konstatēts, ka konstanta infiltrētā ūdens apjoma infiltrācija nav sasniegta.

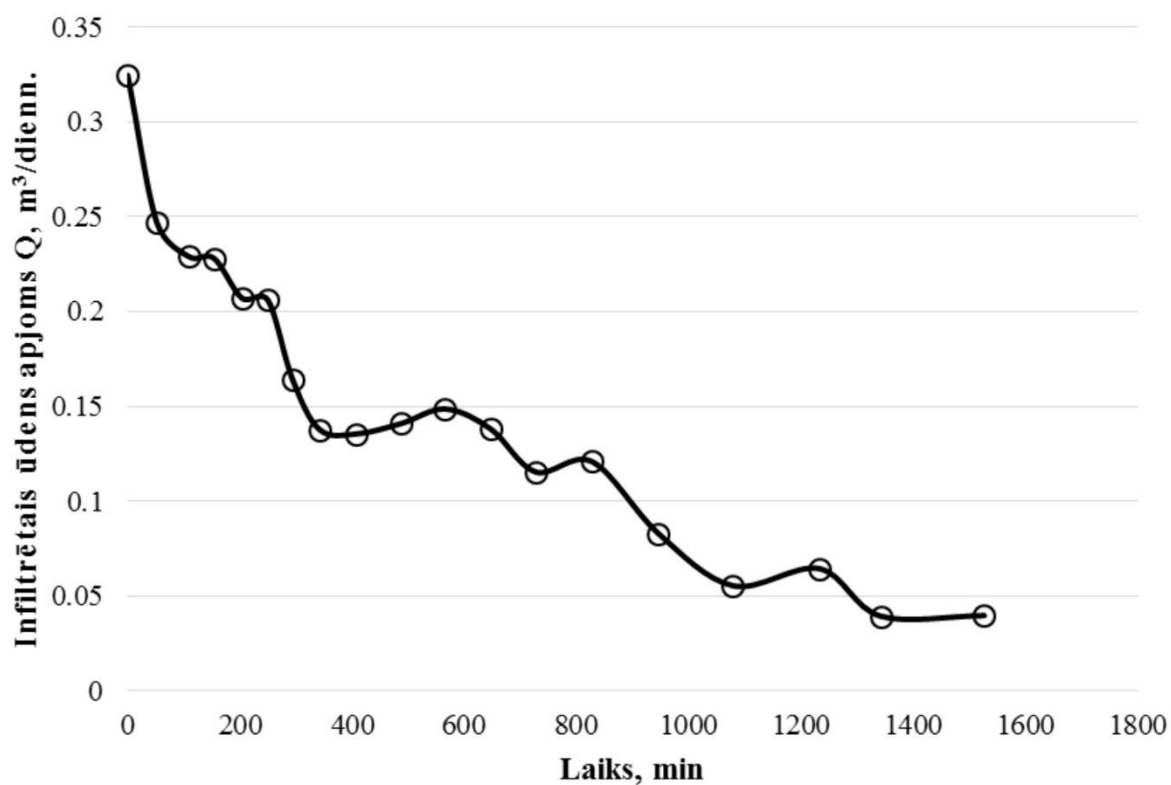


4.27. attēls. Otrajā infiltrācijas punktā iegūtie infiltrētā ūdens mērījumi laikā

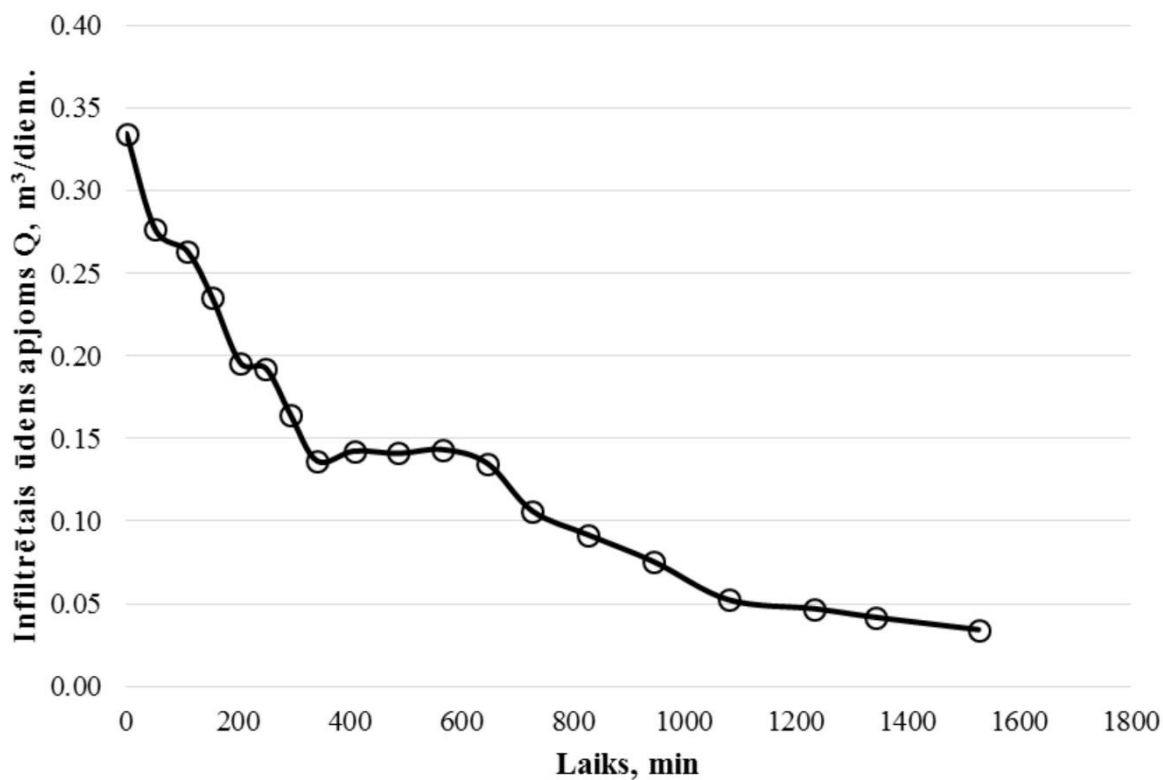
4.4.3. Trešais infiltrācijas punkts

Trešajā infiltrācijas punktā (3.ip.) veiktie infiltrētā ūdens apjoma mērījumi tika veikti 25 stundas un 37 minūtes jeb 1527 minūtes. Pēdējais mērījums pēdējā mērījumu sērijā tika veikts pēc 26 stundām un 44 minūtēm kopš mērījumu sākšanas infiltrācijas punktā.

Ņemot vērā to, ka mērījumu gaitā neizdevās nodrošināt absolūti nemainīgu ūdens līmeni infiltrometra iekšējā gredzenā, tika veikta mērījumu korekcija (3.3.6. nodaļa). Pēc atbilstošās korekcijas pielietošanas novērojams, ka infiltrētā ūdens apjoms laika gaitā eksponenciāli samazinās (4.28. un 4.29. attēls).



4.28. attēls. Trešajā infiltrācijas punktā iegūtie infiltrētā ūdens mērījumi laikā pirms korekcijas piemērošanas



4.29. attēls. Trešajā infiltrācijas punktā iegūtie infiltrētā ūdens mērījumi laikā pēc korekcijas piemērošanas

Trešajā mērījumu punktā iegūtie infiltrētā ūdens apjoma mērījumi norāda uz to, ka eksperimenta gaitā infiltrētā ūdens apjoms laika gaitā samazinās no 0,33 līdz 0,03 m³/dienn.. Pirmās stundas laikā infiltrētais ūdens apjoms bija 0,06 m³/dienn., savukārt pēdējo trīs stundu laikā – 0,008 m³/dienn. Analizējot iegūtos rezultātus, tika konstatēts, ka konstanta infiltrētā ūdens apjoma infiltrācija tomēr nav sasniegta.

Lai gan pēdējie mērījumi tika iegūti pēc aptuveni 27 stundu ilgas nogulumu piesātināšanas, iegūtie mērījumi neatbilda prasībām, kas noteiktas piesātināta filtrācijas koeficienta aprēķināšanai (maksimāli pieļaujamas 10% izmaiņas divu stundu laikā) (Eijkelkamp, 2012; Ансберг и др., 1965). Tomēr, lai iegūtu aptuvenu pētījumu teritorijā sastopamo nogulumu filtrācijas koeficienta vērtību, filtrācijas koeficienta aprēķināšanai tika izmantoti pēdējās mērījumu sērijas laikā iegūtie rezultāti, tādējādi iegūstot *in situ* filtrācijas koeficientu 0,18 m/dienn..

5. DISKUSIJA

Filtrācijas koeficienta precīzai noteikšanai tradicionāli tiek izmantotas laboratorijas un *in situ* filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes. *In situ* iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības reizēm tiek pārbaudītas ar laboratorijā iegūtajām filtrācijas koeficienta vērtībām (Rezaei et al. 2016; Ансберг и др., 1965). Savukārt laboratorijā filtrācijas koeficienta vērtības tiek iegūtas, veicot mērījumus ar dažādām filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārtām, un parasti iegūtie filtrācijas koeficienti netiek pārbaudīti ar atkārtoti ņemtiem paraugiem – dublikātiem. Tiek pieņemts, ka noteiktie filtrācijas koeficienti ir tuvi patiesajiem nogulumu filtrācijas koeficientiem.

Pētījuma gaitā tika konstatēts, ka vienā punktā ņemtiem monolītiem iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības ir atšķirīgas (4.3. apakšnodaļa). Ar GOST filtrācijas iekārtu iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības vienā no apskatītajiem punktiem mainījās no 0,65 līdz 2,01 m/dienn., bet citā punktā 1,55 līdz 3,73 m/dienn.. Ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtu vienā punktā ņemtiem monolītiem iegūtās filtrācijas vērtības mainījās no 1,70 līdz 6,28 m/dienn., bet citā punktā no 9,72 līdz 23,25 m/dienn.. Novērotā rezultātu izkliede ir uzskatāma par ievērojamu, un iegūtie rezultāti norāda uz to, ka laboratorijā noteiktie filtrācijas koeficienti nav vērtējami viennozīmīgi. Līdzīgi rezultāti ir iegūti arī citos pētījumos (Pliakas and Petalas, 2011), kuros novērota būtiska filtrācijas koeficienta vērtību izkliede paraugiem, kas ņemti no viena un tā paša punkta. Tādējādi jāsecina, ka laboratorijā iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības lielumu būtiski ietekmē ne tikai nogulumu slāņa filtrācijas īpašības, bet arī konkrētā nogulumu monolīta īpašības – iegūtā monolīta filtrācijas koeficients būtiski atšķiras no nogulumu slāņa, no kura tas ņemts, filtrācijas koeficienta. Pētījuma gaitā novērotais liecina par to, ka monolīta iegūšanas vai transportēšanas laikā tā struktūra tiek būtiski izmainīta. Ileks un Kurze (Ilek and Kucza, 2014) veiktajā pētījumā norāda, ka, iegūstot dabiska saguluma monolīta paraugu, parauga ņemšanas brīdī, starp paraugošanas gredzenu un paraugu veidojas tukšums. Tāpat nav izslēgts, ka monolīta struktūra tiek izmainīta filtrācijas koeficienta noteikšanas laikā laboratorijā.

Atzīmējams, ka, veicot mērījumus ar GOST un *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtām pirmajā un trešajā punktā ņemtajiem monolītiem, novērojama mazāka iegūto filtrācijas koeficientu vērtību izkliede (0,90 un 0,94 m/dienn.; 2,86 un 2,7 m/dienn.) nekā otrajā un ceturtajā punktā ņemtajiem monolītiem (4.3. apakšnodaļa). Mazākās filtrācijas koeficientu vērtību izkļedes, visticamākais, skaidrojamas ar lēnu filtrācijas ātrumu, ko nosaka nogulumu relatīvi palielinātais aleirītisko un mālaino daļiņu saturs paraugā, kur d_{10} ir no 0,5 līdz 0,7 mm.

Iepriekš minētais norāda uz to, ka monolīta struktūras izmaiņas notiek, veicot filtrācijas koeficienta noteikšanas eksperimentu.

Klasiski filtrācijas koeficienta noteikšanai tiek veikti aptuveni četri atkārtoti mērījumi (GOST 25584-90 p.2). Pētījumu gaitā visiem monolītiem tika veikti atkārtoti mērījumi filtrācijas koeficienta aprēķināšanai (4.2. apakšnodaļa). Teorētiski, veicot mērījumus vienam monolītam, iegūtajiem filtrācijas koeficientiem laikā nevajadzētu mainīties, kā tas tika novērots ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtu veiktajiem mērījumiem 2. punktā ņemtam monolītam (4.4. attēls). Tomēr daļai no monolītiem iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības laikā samazinājās (4.5. attēls). Ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtu iegūto vērtību mainība vienam no monolītiem pat divas reizes pārsniedza vidējo monolītā iegūto filtrācijas koeficienta vērtību. Filtrācijas koeficienta mainību laikā nevar skaidrot ar to, ka filtrācijas laikā tiek dislocētas smalkākās mālainās un aleirītiskās daļiņas, jo tad filtrācijas koeficients drīzāk kļūtu lielāks ar katru nākamo mērījumu. Tāpat filtrācijas koeficienta vērtību samazināšanos nav iespējams skaidrot ar nepietiekoši ilgi veiktu paraugu piesātināšanu, jo arī šādā gadījumā filtrācijas koeficients kļūtu lielāks ar katru nākamo mērījumu. Veiktie novērojumi norāda uz būtisku problēmu – viennozīmīgi nevar pateikt, kuras no iegūtajām vērtībām (tās, kuras iegūtas mērījumu sērijas sākumā, vai tās, kuras iegūtas pēc ilgstošas parauga testēšanas) ir tuvākas patiesajam nogulumu filtrācijas koeficientam. Novērotais norāda uz to, ka monolīta struktūras izmaiņas var notikt filtrācijas koeficienta noteikšanas eksperimenta laikā. Turklāt eksperimenta laikā atsevišķos gadījumos tika novērota paraugu sarukšana.

Pētījuma gaitā tika novērots, ka ar *Eijkelkamp* iekārtu iegūtas vidējās filtrācijas koeficienta vērtības ir augstākas nekā ar GOST iekārtu iegūtās (4.3. apakšnodaļa), kas norāda uz to, ka ar atšķirīgām iekārtām iegūtu rezultātu savstarpēja salīdzināšana var būt problemātiska. Minētais liecina par to, ka laboratorijas apstākļos noteiktais filtrācijas koeficients var neatbilst patiesajam nogulumu filtrācijas koeficientam.

Nosakot filtrācijas koeficientu, laboratorijā bieži vien netiek izmantoti lauka apstākļos ņemti nogulumu monolīti (GOST 25584-90 p.2; Klute, 1968). Filtrācijas koeficients tiek noteikts laboratorijas apstākļos, sablīvējot pētījumu teritorijā ņemto jauktas struktūras paraugu. Salīdzinoši maza uzmanība ir pievērsta tam, vai, izmantojot šādus mākslīgi blīvētus monolītus, iegūtais filtrācijas koeficients ir tuvs patiesajam (Klute, 1968). Pētījuma gaitā tika analizēti 13 mākslīgi blīvēti monolīti. Astoņiem no trīspadsmit mākslīgi blīvētajiem monolītiem tika iegūtas filtrācijas koeficienta vērtības, kas ir tuvas dabisko monolītu filtrācijas koeficienta vērtībām (4.3. apakšnodaļa). Četros gadījumos tika konstatēts, ka dabiskā blīvumā blīvēto paraugu filtrācijas koeficienta vērtības ir ievērojami lielākas.

Filtrācijas koeficienta atbilstība patiesajam ir vēl zemāka, ja monolīti tiek blīvēti līdz teorētiski aprēķinātajiem blīvumiem (4.3. apakšnodaļa).

Iegūtie rezultāti norāda uz to, ka filtrācijas koeficients, kas iegūts, izmantojot mākslīgi blīvētus nogulumu monolītus, var būtiski atšķirties no patiesās nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības.

Atzīmējams, ka pētījuma gaitā tika novērots - dabiskā blīvumā blīvētiem monolītiem noteiktās filtrācijas koeficienta vērtības, veicot atkārtotus mērījumus, nesamazinās tik izteikti kā lauka darbos iegūtajiem nogulumu monolītiem. Tikai dažos gadījumos bija novērojama filtrācijas koeficienta samazināšanās laikā. Novērotais varētu liecināt par to, ka mākslīgi blīvēto monolītu struktūra atšķiras no dabisko monolītu struktūras.

Pētījuma gaitā tika novērtētas empīrisku vienādojumu pielietošanas iespējas filtrācijas koeficienta aprēķinos. Veicot novērtējumu, tika pieņemts, ka patiesā filtrācijas koeficienta vērtība atrodas robežās starp laboratorijā noteikto maksimālo un minimālo filtrācijas koeficientu mērījumu punktā (intervāls noteiks, izmantojot nogulumu monolītus).

Pirmajā punktā vistuvākie rezultāti tika iegūti ar Slihtera un Kozeni empīriskajiem vienādojumiem. Pēc sastāva līdzīgos nogulumos trešajā punktā ņemto monolītu filtrācijas koeficienta vērtības, kas iegūtas ar abām filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārtām, savstarpēji nepārklājas. Ar GOST filtrācijas iekārtu trešajā punktā iegūto filtrācijas koeficienta vērtību intervālā ietilpa ar Slihtera un Kozeni empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības. Savukārt ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā ietilpa ar Hāzena (1.6. un 1.8. vienādojums) un Zauerbreisa empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības. Otrajā punktā filtrācijas koeficienta vērtību intervālā ietilpa ar Zamarina un Zunkera empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības. Savukārt pēc sastāva otrajam punktam līdzīgos nogulumos ceturtajā punktā ar abām iekārtām iegūtās ņemto monolītu filtrācijas koeficientu vērtības nepārklājas. Ar GOST filtrācijas iekārtu ceturtajā punktā iegūto filtrācijas koeficienta vērtību intervālā ietilpa ar Zamarina empīrisku vienādojumu iegūtā filtrācijas koeficienta vērtība. Savukārt ar *Eijkelkamp* filtrācijas iekārtu iegūto vērtību intervālā ietilpa ar Hāzena (1.6. un 1.8. vienādojums), Kozeni, Krūgera un Zauerbreisa empīriskajiem vienādojumiem iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības.

Novērojams, ka ne visos mērījumu punktos patiesajai vērtībai tuvākās filtrācijas koeficienta vērtības iegūstamas ar vieniem un tiem pašiem empīriskajiem vienādojumiem. Kā jau minēts (3.3.4. apakšnodaļa), dažādi empīriskie vienādojumi piemērojami dažādiem nogulumiem. Šajā pētījuma apskatītajiem nogulumiem ir piemērojami Hāzena (1.6. un 1.8. vienādojums), Slihtera un Zunkera empīriskie vienādojumi. Tomēr pētījuma gaitā tika

konstatēts, ka patiesajām filtrācijas koeficienta vērtībām tuvas vērtības tika iegūtas ne tikai ar šiem vienādojumiem, bet arī ar vienādojumiem, kas teorētiski piemēroti atšķirīgiem nogulumiem.

Iegūtie rezultāti norāda uz to, ka empīrisko vienādojumu izmantošana filtrācijas koeficienta noteikšanai nav lietderīga. Iegūtās vērtības sniedz tikai nedaudz precīzāku nogulumu filtrācijas īpašību novērtējumu kā zinātniskajā literatūrā apkopotās tipiskās filtrācijas koeficienta vērtības apskatītajiem nogulumiem.

Lai noteiktu nogulumu filtrācijas koeficientu lauka apstākļos, tika veikti vairāki infiltrācijas eksperimenti ar dubultgredzenu infiltrometru (4.4. apakšnodaļa). Zinātniskajā literatūrā tiek minēts, ka, lai sasniegtu piesātinātu nogulumu stāvokli, veicot mērījumus ar infiltrometru smilšainos un grantainos nogulumos, infiltrācijas mērījumi ir jāveic no 5 līdz 10 stundām (Knödel et al., 2007; Ансберг и др., 1965). Sasniedzot piesātinātu stāvokli, infiltrācijas ātrums ir laikā nemainīgs (Eijkelkamp, 2013). Tomēr tiek minēts, ka, veicot mērījumus ar dubultgredzenu infiltrometru, 100% piesātinātu nogulumu stāvokli nav iespējams sasniegt ūdens nepiesātinātā zonā noritējošo procesu dēļ (Knödel et al., 2007). Līdz ar to praktiski nav iespējams sasniegt stāvokli, kad infiltrācijas ātrums ir pilnīgi nemainīgs. Tādēļ nereti zinātnieki pauž viedokli, ka piesātināts stāvoklis ir sasniegts arī gadījumā, ja infiltrētā ūdens apjoms divu stundu laikā nav mainījies vairāk kā par 10% (Ансберг и др., 1965). Veiktā pētījuma laikā tika konstatēts, ka pat 27 stundu laikā netika sasniegts ūdens piesātinātu nogulumu stāvoklis (4.3.3. apakšnodaļa) – pat pēc 27 stundu ilgstoša infiltrācijas eksperimenta infiltrācijas ātrums mainījās vairāk kā par 10%.

Pētījumā tika izmantots infiltrometrs ar iekšējā gredzenu diametru 15 cm, kas ir mazāks nekā parasti izmantotajiem infiltrometriem (Ансберг и др., 1965). Iegūtie rezultāti, visticamāk, norāda uz to, ka izmantotā dubultgredzenu infiltrometra gredzenu diametri ir par mazu efektīvai filtrācijas koeficienta mērījumu veikšanai. Minētais apstiprina atsevišķās zinātniskajās publikācijās minēto, ka infiltrometra gredzenu diametram būtu jāpārsniedz vismaz vienu metru (Ward and Trimble, 2004; D 3385 – 94).

6. SECINĀJUMI

Pētījuma gaitā iegūtie dati ļauj izdarīt vairākus secinājumus, no kuriem būtiskākie ir:

Iegūtie rezultāti norāda uz to, ka empīrisko vienādojumu izmantošana filtrācijas koeficienta noteikšanai nav lietderīga, jo neviens no izmantotajiem empīriskajiem vienādojumiem nesniedza patiesajai vērtībai, kas raksturīgas dabā izplatītajiem dabiska saguluma nogulumiem, tuvas filtrācijas koeficienta vērtības visos mērījumu punktos. Tādējādi jāsecina, ka ar empīriskajiem vienādojumiem atsevišķos gadījumos ir iespējams iegūt patiesajam filtrācijas koeficientam tuvu vērtību, taču ir iespējamas arī ievērojamas nesakritības, kuru prognozēšana ir sarežģīta.

Pētījuma gaitā tika konstatēts, ka vienā punktā noņemtiem monolītiem iegūtās vidējās filtrācijas koeficienta vērtības ir atšķirīgas. Tāpat, izmantojot dažādas filtrācijas koeficienta noteikšanas iekārtas, tika iegūti atšķirīgi rezultāti. Ņemot vērā iepriekš minēto, jāsecina, ka ar laboratorijas metodēm iegūtās filtrācijas koeficienta vērtības neraksturo nogulumu slāņa, no kura noņemts paraugs, filtrācijas koeficientu, bet gan konkrētā parauga filtrācijas koeficientu.

Iegūtie rezultāti norāda uz to, ka filtrācijas koeficients, kas iegūts, izmantojot jauktas struktūras dabīgā blīvumā blīvētus nogulumu monolītus, var būtiski atšķirties no patiesās nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības. Jāsecina, ka jauktas struktūras dabīgā blīvumā blīvētu monolītu struktūra būtiski atšķiras no dabisku monolītu struktūras, turklāt šīs atšķirības ietekmē filtrācijas koeficientu.

Veicot ilgstošu infiltrācijas eksperimentu ar dubultgredzenu infiltrometru, netika sasniegts piesātinātu nogulumu stāvoklis. Secināms, ka veiksmīgai *in situ* filtrācijas koeficienta noskaidrošanai nav pieļaujama iekārtas ar mazu gredzenu diametru pielietošana.

Pētījuma gaitā tika konstatēts, ka patiesās nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības noskaidrošana laboratorijā ir sarežģīta. Nākotnē būtu jāveic apjomīgi pētījumi ar mērķi noskaidrot, cik ticamas ir laboratorijas apstākļos noteiktās filtrācijas koeficienta vērtības.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra

- Bikše, J., Popovs, K., Dēliņa, A., Kalvāns, A. 2016. Lauka infiltrācijas testu automatizēšana. *Latvijas Universitātes 74. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 295.-296.
- Brassington, R. 2007. *Field Hydrogeology.* The geological field guide series. Third edition. Hoboken, John Wiley & Sons. 264.
- Brutsaert, W. 2005. *Hydrogeology: an Introduction.* Cambridge [etc], Cambridge University Press. 605.
- Cheng, D., Chen, X., Huo, A., Gao, M., Wang, W. 2013. Influence of bedding orientation on the anisotropy. *International Journal of Sediment Research.* Vol. 28, No. 1. 118-125.
- Ghanbarian, B., Taslimitehrani, V., Dong, G., Pachepsky, Y. 2015. Sample dimensions effect on prediction of soil water retention curve and saturated hydraulic conductivity. *Journal of Hydrogeology.* 528 (2015). 127-137.
- Ilek, A., Kucza, J. 2014. A laboratory method to determine the hydraulic conductivity of mountain forest soils using undisturbed soil samples. *Journal of Hydrogeology.* Number 519 (2014). 1649-1659.
- Juškevičs, V. 2000. Kvartārs. Ģeoloģiskā karte M 1:200 000, lapa 43-Rīga, lapa 53-Ainaži. Paskaidrojuma teksts un kartes. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 10-30 lpp.
- Fetter, C. W. 2001. *Applied Hydrogeology.* Fourth Edition. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 598.
- Fitts, C. R. 2013. *Groundwater science.* Second Edition. Amsterdam, Boston: Academic Press. 450.
- Hiscock, K. M. 2005. *Hydrogeology: principles and practice.* Malden [etc.], Blackwell Publishing. 386.
- Hudak, P.F. 2000. *Principles of Hydrogeology.* Second Edition. Boca Raton [etc.], Lewis Publishers. 204.
- Kasenow M. 2002. Determination of Hydraulic Conductivity from Grain Size Analysis. *Water Resources Publications, LLC,* 196.
- Klute, A. 1968. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: Ed. CA Black. *Methods of soil analysis. Part one. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Agronomy Series No. 9.* Madison. American society of Agronomy. 1-23.
- Knödel, K., Lange, G., Voigt, H.-J. 2007. *Environmental Geology: Handbook of Field Methods and Case Studies.* Berlin [etc.]. Springer. 1358.
- LaMoreaux, P. E., Soliman, M. M., Memon, B. A., LaMoreaux, J. W., Assaad, F. A. 2009. *Environmental hydrogeology.* Second Edition. Boca Raton [etc.], CRC Press. 373.
- Muižniece, S. 2016. Filtrācijas koeficienta noteikšana, izmantojot empīriskos vienādojumus. *Latvijas Universitātes 74. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds. 320.-322.
- Plikas, F., Petalas, C. 2011. Determination of Hydraulic Conductivity of Unconsolidated River Alluvium for Permeameter Test, Empirical Formulas and Statistical Parameters Effect Analysis. *Water Resources Management.* Volume 25, Number 11, 2877-2899.
- Rezaei, M., Seuntjens, P., Shahidi, R., Joris, I., Boenne, W., Al-Barri, B., Cornelis, W. 2016. The relevance of in-situ and laboratory characterization of sandy soil hydraulic properties for soil water simulations. *Journal of Hydrogeology.* 534 (2016). 251-265
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E., Topp, G.C. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil Science.* 136:250-268.

- Siosemarde, M., Nodehi, D.A. 2014. Review of Empirical Equations of Estimating Saturated Hydraulic Conductivity Based on Soil Grain Size Distribution. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. 4(1s). 1-4.
- Stibinger, J. 2014. *Examples of Determining the Hydraulic Conductivity of Soils, Theory and Applications of Selected Basic Methods*. J. E. Purkyně University in Ústí n. Labem, Faculty of the Environment. 72.
- Todd, D. K., Mays, L. W. 2005. *Groundwater Hydrogeology*. Third Edition. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc. 636.p.
- Vienken, T., Dietrich, P. 2011. Field evaluation of methods for determining hydraulic conductivity from grain size data. *Journal of Hydrogeology*. 400. 58-71.
- Vukovic, M., Soro, A. 1992. Determination of Hydraulic Conductivity of Porous Media from Grain-Size Composition. *Water Resources Publications*. 83.
- Ward, A. W., Trimble, S. W. 2004. *Environmental Hydrogeology*. Second Edition. Boca Raton [etc.], CRC Press, LLC. 636.
- Ансберг, Е.А., Боровицкий, В.П., Бутц, Ш.Ф., Самарина, В.С. 1965. *Практикум по общей гидрогеологии*. Издательство Ленинградского университета, Ленинград, 232 с.
- Максимов, В.М. 1967. *Справочное руководство гидрогеолога*. Издательство Недр, Ленинград, 360 с.

Nepublicētā literatūra

- Dauškans, M. 2013. *Kēmu terases Latvijas starplobu izometriskajās augstienēs*: Promocijas darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte. 136.
- Karušs, J. 2012. *Mālainās gruntīs iegūto radiolokācijas signālu analīze*: Maģistra darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte. 97.
- Lūse, I. 2010. *Illīta struktūras glacigēnajos nogulumos Latvijā*: Promocijas darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte. 122.
- Markots, A. 2011. *Plakanvirsas pauguru morfoloģija, uzbūve un veidošanās apstākļi salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augsnēs Latvijā*: Promocijas darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte. 124.

Standarti

- D 3385 – 94-03. Standard Test method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Infiltrometer. Atsauce tekstā (D 3385 – 94)
- LVS 933-1:2012. Minerālmateriālu ģeometrisko īpašību testēšana. 1. daļa: Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšana. Sijāšanas metode. Spēkā no: 17.05.2012. Autoceļu tehniskā standartizācijas komiteja. Atsauce tekstā (LVS 933-1)
- ГОСТ 25584-90. Грунты - Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. р.2. Определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов. Atsauce tekstā (GOST 25584-90 p.2)
- СНиП 2.02.01-83. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений. Atsauce tekstā (СНиП 2.02.01-83)

LU ĢZZF karšu pārlūks:

- LVGD Kvartārģeoloģija. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 05.01.2016. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>. Atsauce tekstā (LVGD Kvartārģeoloģija)
- TOPO 50K Satelītkarte. VZD Satelītkaršu mozaīka mērogā 1:50 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 05.01.2016. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>. Atsauce tekstā (TOPO 50K Satelītkarte)

TOPO 10K PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 05.01.2016. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv> (atsauce tekstā - TOPO 10K PSRS)

LVGD Zemkvartāra. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Zemkvartāra virsmas reljefa karšu mozaīka mērogā 1:500 000. ĢZZF WMS. Skatīts 05.01.2016. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>. Atsauce tekstā (LVGD Zemkvartāra)

LVGD Dabas apvidi. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Dabas apvidu karšu mozaīka mērogā 1:500 000. ĢZZF WMS. Skatīts 05.01.2016. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>. Atsauce tekstā (LVGD Dabas apvidi)

Elektroniskie resursi:

Eijkelkamp agrisearch equipment, 2013. 09.02. Laboratory-permeameters, operating instructions. Sk. 12.08.2015. Pieejams: <https://en.eijkelkamp.com/products/laboratory-equipment/soil-water-permeameters.html> Atsauce tekstā (Eijkelkamp, 2013)

Eijkelkamp agrisearch equipment, 2012. 09.04 Double ring infiltrometer, operating instructions. Sk. 14.06.2015. Pieejams: <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/double-ring-infiltrometer.html> Atsauce tekstā (Eijkelkamp, 2012)

Eijkelkamp agrisearch equipment, 2011. 09.07 Guelph Permeameter, operating instructions. Sk. 22.02.2016. Pieejams: <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/guelph-constant-head-permeameter.html> Atsauce tekstā (Eijkelkamp, 2011)

Environmental Science Division, [S.a.]. 5 Hydraulic conductivity. Sk. 12.08.2015. Pieejams: <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/conuct.htm> Atsauce tekstā (Environmental ..., s.a.)

PIELIKUMI

1. pielikums

Granulometriskā sastāva rezultāti

Nr. p.k.	Izstrādes Nr.	Parauga/punkta Nr.	Parauga ņemšanas dziļums, m		Slāņa biezums, m	Pamatfrakcijas, %				Oļu-grants frakcijas saturs, %					Smilts frakciju saturs, %						d ₁₀ , mm	
			no	līdz		63 - 4,00 mm	4,00 - 2,00 mm	2,00 - 0,063 mm	Māli un putekļi (<0,063 mm)	63-31,5 mm	31,5-16,0 mm	16,0-8,0 mm	8,0-5,6 mm	5,6-5,0 mm	5,0-4,0 mm	4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,125 mm		0,125-0,063 mm
1	1.ip	1	0.40		-	0.7	1.0	88.7	9.6	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.2	1.0	2.8	9.6	31.9	36.1	8.3	0.07
2	1.ip	2	1.10		-	1.5	1.7	94.6	2.2	0.0	0.0	0.9	0.2	0.2	0.2	1.7	5.0	23.1	50.3	13.6	2.6	0.17
3	2.ip	3	0.30		-	0.6	0.5	86.9	12.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5	1.3	5.6	26.3	41.2	12.4	0.05
4	2.ip	4	0.75		-	0.8	1.6	95.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.3	1.6	4.7	17.4	36.6	32.9	4.3	0.14
5	1.U	P.1.1.	0.12	0.36	0.24	0.8	0.9	93.8	4.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.2	0.9	2.5	10.3	34.7	39.0	7.3	0.11
6	1.U	P.1.2.	0.36	1.30	0.94	0.5	0.8	96.8	1.9	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.1	0.8	3.7	17.9	46.0	25.4	3.8	0.15
7	1.U	P.1.3.	1.30	1.80	0.50	2.5	2.6	91.7	3.2	0.0	0.0	1.1	0.6	0.1	0.6	2.6	7.4	22.8	43.3	16.0	2.2	0.16
8	1.U	P.1.4.	1.80	2.05	0.25	0.8	0.8	95.3	3.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.2	0.8	2.6	12.3	36.2	35.9	8.3	0.12
9	1.U	P.1.5.	2.05	2.70	0.65	9.8	5.6	80.4	4.2	0.0	0.0	5.1	2.2	0.9	1.5	5.6	9.5	18.2	28.3	18.9	5.5	0.13
10	1.U	P.1.6.	2.70	2.86	0.16	7.3	1.5	87.9	3.3	0.0	0.0	5.9	0.3	0.7	0.5	1.5	2.7	4.9	11.1	54.4	14.9	0.09
11	1.U	P.1.7.	2.86	3.00	0.14	26.7	5.1	64.9	3.3	0.0	0.0	17.9	4.8	1.8	2.2	5.1	5.3	13.0	20.7	20.8	5.1	0.13
12	2.U	P.2.1.	0.09	0.60	0.51	1.1	0.9	94.7	3.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.2	0.9	3.3	14.8	46.5	25.7	4.5	0.14
13	2.U	P.2.2.	0.60	1.15	0.55	0.5	0.9	96.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.9	3.6	19.8	46.1	23.8	3.3	0.15
14	2.U	P.2.3.	1.15	1.84	0.69	2.7	4.4	89.2	3.8	0.0	0.0	0.6	0.7	0.5	0.9	4.4	10.8	25.2	34.3	16.4	2.6	0.15
15	2.U	P.2.4.	1.84	2.22	0.38	3.1	3.0	90.2	3.7	0.0	0.0	1.3	0.9	0.2	0.8	3.0	8.3	20.8	33.7	23.4	4.0	0.14
16	2.U	P.2.5.	2.22	2.75	0.53	22.0	7.3	66.4	4.4	0.0	0.0	14.0	4.1	1.0	2.7	7.3	10.8	20.7	23.3	9.2	2.3	0.17
17	3.U	P.3.1.	0.23	0.60	0.37	0.8	0.9	88.4	9.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2	0.9	2.1	8.1	30.0	36.9	11.3	0.06
18	3.U	P.3.2.	0.60	0.95	0.35	2.0	1.2	93.8	3.1	0.0	0.0	1.4	0.3	0.2	0.1	1.2	5.3	19.8	39.8	25.1	3.8	0.14
19	3.U	P.3.3.	0.95	1.25	0.30	2.2	1.7	94.8	1.3	0.0	0.0	1.4	0.3	0.2	0.4	1.7	6.7	21.2	44.7	19.9	2.3	0.17

Nr. p.k.	Izstrādes Nr.	Parauga Nr.	Parauga ņemšanas dziļums, m		Slāņa biezums, m	Pamatfrakcijas, %				Oļu-grants frakcijas saturs, %					Smilts frakciju saturs, %						d ₁₀ , mm	
			no	līdz		63 - 4,00 mm	4,00 - 2,00 mm	2,00 - 0,063 mm	Māli un putekļi (<0,063 mm)	63-31,5 mm	31,5-16,0 mm	16,0-8,0 mm	8,0-5,6 mm	5,6-5,0 mm	5,0-4,0 mm	4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,125 mm		0,125-0,063 mm
20	3.U	P.3.4.	1.25	1.57	0.32	1.3	1.7	94.0	3.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.3	1.7	6.7	21.3	44.2	19.4	2.4	0.15
21	3.U	P.3.5.	1.57	2.00	1.40	1.6	2.1	92.1	4.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	0.5	2.1	7.4	25.4	43.3	13.7	2.3	0.16
22	3.U	P.3.6.	2.00	2.97	1.40	1.6	2.5	92.2	3.7	0.0	0.0	0.3	0.8	0.3	0.2	2.5	8.1	25.7	40.7	15.0	2.7	0.15
23	3.U	P.3.7.	2.97	3.30	0.33	1.2	0.8	95.2	2.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.3	0.8	1.7	6.4	30.8	49.9	6.5	0.13
24	3.U	P.3.8.	3.30	3.90	0.60	3.6	3.8	88.9	3.8	0.0	0.0	1.3	0.6	0.6	1.1	3.8	8.3	23.1	37.8	16.6	3.1	0.15

2. pielikums

Iegūtie granulometriskā sastāva rezultāti, izmantojot pipetes metodi

Nr. p.k.	Izstrādes Nr.	Parauga Nr.	Parauga ņemšanas dziļums, m		Slāņa biezums, m	Māli un aleirīts (<0,063 mm)	Mālu un aleirīta saturs, %					d ₁₀ , mm
			no	līdz			0,063-0,032 mm	0,032-0,016 mm	0,016-0,008 mm	0,008-0,004 mm	<0,004 mm	
1	1.ip	1	0.40	-	-	9.6	6.7	0.0	2.9	0.0	0.0	0.07
3	2.ip	3	0.30	-	-	12.0	7.5	0.0	0.0	4.6	0.0	0.05

3. pielikums

Atsegums Lodes muižas karjera ZA daļā

