

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
FIZIKAS NODAĻA

DIELEKTRISKO PARAMETRU NOTEIKŠANA
ORGANOĢĒNAJIEM NOGULUMIEM

BAKALaura DARBS

Autors: **Zane Lanka**

Studenta apliecības Nr.: z111037

Darba vadītāji: Dr.Phys. Ivars Driķis

M.Ģeol. Jānis Karušs

Rīga 2015

Anotācija

Veicot zemes dziļņu izpēti ar ģeoradaru, būtiskas problēmas sagādā iegūto datu interpretācija. Lai uzlabotu iegūto datu sasaistes iespējas ar grunts fizikāli mehāniskajām īpašībām, nepieciešams veikt iegūto paraugu dielektrisko īpašību mērījumus. Paraugu nehomogenitātes dēļ tā tilpumam ir jābūt vismaz 125 cm^3 , savukārt augstā mitruma dēļ dielektriskā caurlaidība ir 60 – 80 un ir ievērojami dielektriskie zudumi, kas neļauj ar pašreiz LU pieejamajām iekārtām mērīt šādus paraugus. Darba mērķis ir atrast veidu, kā mērīt šādus paraugus un izveidot tam atbilstošu mēriekārtu, sākotnēji nosakot mēriekārtas optimālos izmērus, tad konstruējot iekārtu, to testējot ar jau izpētītu vielu kalibrācijas nolūkos un visbeidzot veicot purvā iegūto organogēno nogulumu paraugu dielektriskās caurlaidības mērījumus laboratorijā.

Atslēgvārdi: dielektriskā caurlaidība, kūdra, organogēnie nogulumi, radiolokācija, reflektometrija

Annotation

There are major problems with interpretation of subsoil data, acquired by a ground-penetrating radar. To improve the link between the said data and the physically mechanical properties of ground, it is necessary to measure the dielectric properties of the obtained samples. Because of inhomogeneity of the samples, their volume should be at least 125 cm^3 and the relative dielectric constant varies from 60 to 80 due to humidity which causes substantial enough dielectric losses to render UL equipment insufficient for such measurements. The goal of the project is to find a way to measure such samples and develop an appropriate measuring device, first by determining the optimal dimensions of the device, then by constructing the device and testing it with already explored substance to calibrate it and finally by measuring the dielectric properties of the organogenic deposits obtained from a bog in a laboratory.

Keywords: dielectric permittivity, peat, organogenic deposits, radiolocation, reflectometry

Saturs

Izmantotie apzīmējumi un saīsinājumi	4
1 Teorētiskā daļa	9
1.1 Organogēnie nogulumi	9
1.1.1 Definīcijas	9
1.1.2 Teritorijas raksturojums	9
1.2 Dielektriskā caurlaidība	10
1.3 Radiolokācijas metode un tās raksturojums	11
2 Eksperimentālā daļa, metodes	13
2.1 Radiolokācijas mērījumu veikšana	13
2.2 Laika atskaites korekcija	13
2.3 Kopējā viduspunkta mērījums	15
2.4 Paraugu iegūšana	16
2.5 Iekārtas apraksts	17
2.5.1 Iekārtas darbības apraksts	17
2.5.2 Iekārtas konstruēšana	18
2.6 Mēriekārtas kalibrēšana un atstarojumu analizēšana	22
2.7 Testa mērījumi	25
2.7.1 Mērījumi ar mainīgu ūdens staba augstumu	26
2.7.2 Mērījumi ar mainīgu temperatūru	27
2.8 Paraugu mērījumi	29
3 Rezultāti	31
3.1 Ģeoloģisko metožu rezultāti	31
3.1.1 Radarogrammas	31
3.1.2 Laika korekcija	32
3.1.3 Kopējā viduspunkta mērījums	32

3.2	Fizikālo metožu rezultāti	32
3.3	Ģeoloģisko un fizikālo metožu rezultāti	33
4	Secinājumi	35
	Literatūra	35

Izmantotie apzīmējumi un saīsinājumi

RF – radio frekvences

TEM - transversi (šķērsi) elektromagnētiski viļņi

SMA pāreja – (*eng: SubMiniature version A*) ir koaksiāla RF pāreja ar skrūvējamu savienojšo daļu un 50Ω impedanci.

λ - viļņa garums

v - signāla izplatīšanās ātrums

ν - signāla frekvence

c - gaismas izplatīšanās ātrums vakuumā

ϵ_r - relatīvā dielektriskā caurlaidība

ϵ_0 - vakuuma dielektriskā caurlaidība

ϵ_{eff} - efektīvā dielektriskā caurlaidība

p - dipola moments

α - atoma polarizējamība

E - elektriskā lauka intensitāte

B - magnētiskā lauka indukcija

n - vielas gaismas laušanas koeficients

n_1 - vides, no kuras krīt elektromagnētiskais vilnis gaismas laušanas koeficients

n_2 - vides, pret kuru vilnis atstarojas gaismas laušanas koeficients

t - laiks

t_{Σ} - kopējais laiks, pēc kura tiek saņemts signāls

t_t - tiešā - no raidītāja uz uztvērēju - signāla ceļošanas laiks

t_{atst} - laiks, pēc kura signāls tiek atstarots no virsmas

μ - magnētiskā caurlaidība

μ_0 - vakuuma magnētiskā caurlaidība

μ_r - relatīvā magnētiskā caurlaidība

R_{atst} - atstarotā EM viļņa daļa

Z_0 - līnijas impedances

h - dielektriķa biezums

W - vadošās līnijas platums

R - pretestība

R_{kop} - slēguma kopējā pretestība

K - virsmas strāvas blīvums

σ - virsmas lādiņu blīvums

Ievads

Šobrīd ir zināmas problēmas ģeoradaru izmantošanā zemes izpētē, jo šie radari spēj novērtēt tikai lielu apgabalu īpašību vidējās vērtības, kas neļauj sīkāk analizēt zemes dziļu struktūru. Ir nepieciešama jauna metode, kas ļautu ar lielāku precizitāti noteikti nogulumiežu fizikālās īpašības. Bakalaura darba mērķis: atrast metodi, kas būtu piemērota organogēno nogulumu paraugu dielektriskās caurlaidības parametru noteikšanai.

Mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- Iegūt organogēno nogulumu paraugus
- Veikt augsnes slāņu profilēšanu ar radiolokācijas metodi
- Izgatavot iekārtu paraugu dielektriskās caurlaidības noteikšanai
- Testēt iekārtu ar līdzīgas dielektriskās caurlaidības paraugiem
- Veikt iegūto mērījumu analīzi un datu interpretāciju
- Veikt paraugu dielektriskās caurlaidības mērījumus ar izgatavoto iekārtu
- Apkopot laboratorijā un no lauka mērījumiem iegūtos rezultātus, veikt iegūto datu analīzi, izdarīt secinājumus.

Bakalaura darbā izvirzīto uzdevumu sasniegšanai tika izmantots SIA Radar Systems ģeoradars Zond 12-e. Augsnes slāņu profilēšana tika veikta ar 300 un 500 MHz antenu. Kopējā viduspunkta mērījums tika veikts, izmantojot 300 un 500 MHz antenas. Lauka mērījumi un paraugu iegūšana ar ģeoloģisko urbi tika veikti Cenas tīrelī, bet paraugu dielektriskās caurlaidības mērījumi – Elektronikas un datorzinātņu institūtā.

Paraugu relatīvā dielektriskā caurlaidība tika mērīta ar oscilogrāfu, nosakot laika starpību starp signāliem, no kuriem viens caur signālu dalītāju tiek novirzīts no signālu ģeneratora uz oscilogrāfu, bet otrs caur mēriekārtu un tajā mērāmo paraugu. Šādi tika

atrasts laiks, kādā signāls izplatās caur paraugu, no kā tika iegūta tā relatīvā dielektriskā caurlaidība ϵ_r .

Darba pirmajā daļā ir dots teorētisks pārskats par organogēnajiem nogulumiem, dielektrisko caurlaidību un radiolokācijas principiem. Otrajā daļā ir izklāstīta paraugu un lauka datu iegūšanas metode un mēriekārtas konstruēšana un kalibrēšana. Darba beigās ir aprakstīti iegūtie rezultāti un gūtie secinājumi.

Darbā ir 4 nodaļas, 40 lappuses, tas satur 27 attēlus, 18 vienādojumus un 4 tabulas.

Nodaļa 1

Teorētiskā daļa

1.1 Organogēnie nogulumu

1.1.1 Definīcijas

Bakalaura darbā tika noteikti organogēnā noguluma - kūdras dielektiskie parametri. "Organogēns - tāds, kas sastāv no organiskām (dzīvnieku, augu) atliekām vai minerāliem, kas radušies organismu dzīvības procesos" [4].

Kūdra ir nogulumiezis, kas sausā veidā satur >50 % organisku vielu. To veido vairāk vai mazāk sadalījušās, palielinātos mitruma apstākļos uzkrājušās augu atliekas [4].

Pēc kūdras sadalīšanās pakāpes izšķir maz sadalījušos (sadalīšanās pakāpe <20 %, augu atliekas labi saglabājušās, var atšķirt augu grupas), vidēji sadalījušos (20-35 %, var izšķirt tikai dažas augu daļas, tās ir slikti saglabājušās un sajauktas ar trūdvielām) un labi sadalījušos (>35 %, augu atliekas pratiski nav sastopamas) kūdru [4].

1.1.2 Teritorijas raksturojums

Cenas tīrelis (Att.1.1) atrodas Viduslatvijas zemes Tīreļu līdzenumā. Pēc Kūdras fonda datiem, Cenas tīreļa platība pārsniedz 10 600 ha. Visā purva teritorijā sākotnēji uzkrājās zemā (zāļu) un pārejas tipa kūdra, to pārsedza augstā (sūnu) tipa kūdra [14].

Cenas tīrelī kūdras sadalīšanās pakāpe mainās no 25- 60 % , purva virskārtā sastopamās sfagnu kūdras sadalīšanās pakāpe reti pārsniedz 15 % [14].

Maz un vidēji sadalījušies kūdra, kāda sastopama dažāda dziļuma Cenas tīreļa kūdras slāņos, uzskatāma par nehomogēnu.

Kūdras dabiskais mitrums dabā ir aptuveni 90 % [6], Cenas tīrelī dažāda dziļuma slā-



Att. 1.1: Pētījumu teritorija 2014. gada novembrī

nos dabiskais mitrums svārstās no 86,5 līdz 95 %. [13], tāpēc var pieņemt, ka Cenas tīrēlī iegūto paraugu dielektrisko caurlaidību lielā mērā nosaka ūdens dielektriskā caurlaidība.

1.2 Dielektriskā caurlaidība

Vielas relatīvā dielektriskā caurlaidība ϵ_r raksturo attiecību starp elektrisko lauku, kāds tas būtu bez vielas klātbūtnes un elektrisko lauku vielā, respektīvi, vakuuma un vielas dielektriskās caurlaidības attiecību, ko var izteikt ar vienādojumu (1.1). To var lietot kā vielas pretestības mēru ārējam elektriskajam laukam.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1.1)$$

Atšķirībā no vakuuma, vielas dielektriskā caurlaidība ir atkarīga no pieliktās ārējā elektriskā lauka frekvences, jo vielas molekulas uz lauku reaģē ar zināmu aizkavēšanos, nevis momentāni.

Darbā izmantotā relatīvās dielektriskās caurlaidības noteikšanas metode balstās uz signālu izplatīšanās kūdrā ar augstu mitruma līmeni ātrumu mērījumiem.

Homogēna vide, kurā izpildās vienādojums (1.2) ir lineārs dielektriķis.

$$\vec{p} = \alpha \vec{E} \quad (1.2)$$

Ja lineārā dielektriķī nav brīvo lādiņu un brīvo strāvu un tajā izplatās viļņi, tos var aprakstīt ar sekojošajiem Maksvela vienādojumiem (1.3), no kā savukārt izriet, ka viļņu ātrumam jābūt formā(1.4).

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (1.3)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{n}, \quad \text{kur} \quad n = \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\epsilon_0\mu_0}} \quad (1.4)$$

Vairumam vielu, tajā skaitā ūdenim μ_r , kas ir vakuuma un vielas magnētisko caurlaidību attiecība (vienādojums (1.5)), ir aptuveni 1 [8], tāpēc vienādojumu (1.4) var pārveidot par vienādojumu (1.6).

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1.5)$$

$$n \simeq \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} = \sqrt{\epsilon_r} \quad (1.6)$$

Ievietojot vienādojumā (1.6) vienādojumu (1.4), iegūst galveno darbā lietoto vienādojumu (1.7).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.7)$$

1.3 Radiolokācijas metode un tās raksturojums

Darbā tika izmantota radiolokācijas metode, kuras pamatā ir RF diapazona viļņu izmantošana objektu atrašanās vietu detektēšanai. Šajā darbā ar radiolokācijas metodi tika noteikts kūdras slāņu dziļums.

Slāņu detektēšana iespējama gadījumā, ja kūdras dielektriskā caurlaidība vertikālā virzienā nav konstanta. Noteikt kūdras dielektriskās caurlaidības atkarību no parauga dziļuma ir viens no šī darba mērķiem. Mainoties dielektriskajai caurlaidībai, mainās arī kūdras slāņa laušanas koeficients un ir iespējama EM viļņu atstarošanās no slāņa.

Ja elektromagnētisks vilnis krīt uz divu vielu robežvirsmu, tad, aplūkojot Maksvela vienādojumus uz dotās robežvirsmas [8]:

$$\begin{cases} \vec{E}_1 - \vec{E}_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n} \\ \vec{B}_1 - \vec{B}_2 = \mu_0 (\vec{K} \times \vec{n}), \end{cases} \quad (1.8)$$

var iegūt atstaroto viļņa enerģijas daļu:

$$R_{atst} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (1.9)$$

Nodaļa 2

Eksperimentālā daļa, metodes

2.1 Radiolokācijas mērījumu veikšana

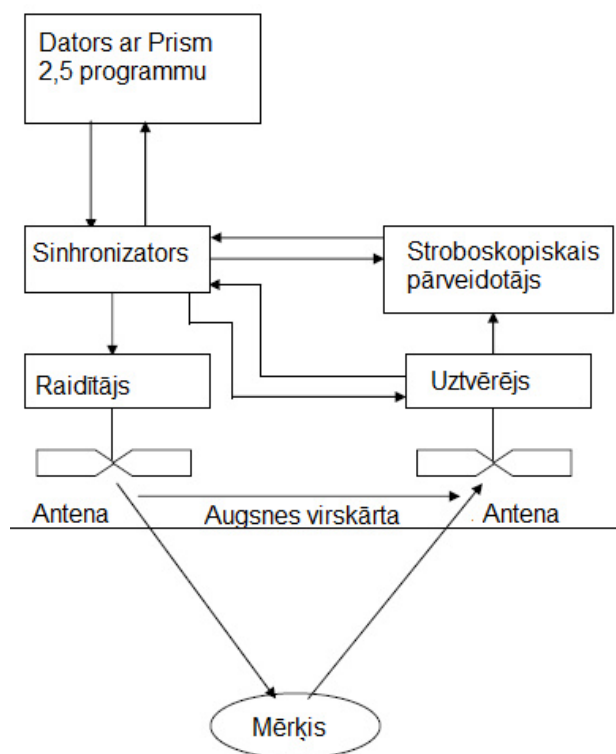
Radiolokācijas datu iegūšanai tika izmantotas Radar Systems Zond e-12 300 MHz un 500 MHz antenu sistēmas. Ģeoradarā ietilpst sinhronizators, stroboskopiskais pārveidotājs, antenu sistēma, kas sastāv no raidītājantenas un uztvērējantenas (Att. 2.1). Ģeoradara darba parametri tiek iestatīti ar programmas Prism 2,5 palīdzību.

Ražotāja norādītā frekvence ir antenas centrālā frekvence gaisā. Augsnes slāņu profilēšanas laikā raidītājantena ģenerē pusotra perioda EM impulsu attiecīgajā frekvencē [16].

Radiolokācijas mērījumi tika veikti Cenas tīreļa centrālajā daļā, izmantojot 300 MHz un 500 MHz antenu sistēmas. Tika veikts zemes slāņu profilējums 38 metru garā taisnlīnijas profilā ar plakanu reljefu. Mērījumi tika veikti, cik iespējams vienmērīgā ātrumā ejot pa taisnu, iepriekš izvēlētu līniju un velkot ģeoradaru aiz sevis pa purva virskārtu. Profila garums tika noteikts ar mērlentes palīdzību.

2.2 Laika atskaites korekcija

Pēc radiolokācijas profilēšanas veikts laika atskaites korekcijas jeb *moveout correction* un kopējā viduspunkta mērījums. Lai iegūtu precīzākus kopējā viduspunkta mērījuma rezultātus, abi eksperimenti tika veikti vienā vietā - uz radiolokācijas profila līnijas 12,60 m attālumā no profila sākuma punkta. Veicot nogulumu profilēšanu ar radiolokācijas metodi, par laika atskaites sākumu tiek pieņemts moments, kad uztvērējantēnā ir nonācis raidītājantenas raidītais signāls, tāpēc visi uztvērējantenas saņemtie signāli tiek mērīti



Att. 2.1: Ģeoradara uzbūves principiālā shēma, izmantojot [16]

attiecībā pret tiešo signālu. Kopējais laiks, pēc kura tiek saņemts signāls ir aprakstāms ar vienādojumu 2.1

$$t_{\Sigma} = t_t + t_r \quad (2.1)$$

Laika pārejai no relatīvas uz absolūtu, nepieciešams noteikt tiešā signāla ceļošanas laiku t_t [12]. Ņemot vērā, ka antenu sistēmai atrodas uz purva virskārtas, signāls pārvietojas gan pa gaisu, gan purva virskārtu, aprēķinu atvieglošanai antena tiek atrauta no purva virskārtas un mērījums tiek uzņemts signālam ceļojot gaisā. Zinot signāla ātrumu gaisā c un attālumu starp antenu sistēmā esošajām antenām, iespējams aprēķināt tiešā signāla ceļošanas laiku.

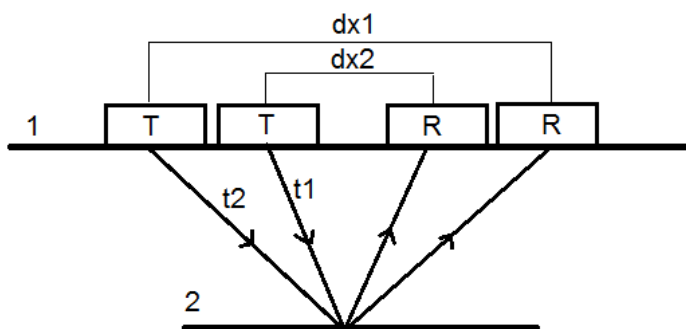
Korekcijas mērījums tika veikts, izmantojot 300 MHz antenu sistēmu, kas mērījuma sākumā atradās uz purva virskārtas, pēc apmēram 600 zondējumu veikšanas tika pacelta gaisā un pie apmēram 2100 zondējumiem tika novietota atpakaļ uz purva virskārtas, mērījums tika turpināts līdz apmēram 2200 zondējumiem. Signāla pārvietošanās ātrums no raidītāja līdz uztvērējam tika aprēķināts pēc formulas 2.2.

$$s = v \cdot t_t \quad (2.2)$$

2.3 Kopējā viduspunkta mērījums

Lai radiolokācijas mērījumu veikšanas laikā iegūto radarogrammu būtu iespējams sasaistīt ar urbemos iegūto paraugu dielektrisko īpašību izmaiņām, nepieciešams pāriet no signāla pienākšanas laika skalas uz zondējuma dziļumu skalu.

Pāreju no laika skalas uz dziļuma skalu iespējams veikt, izmantojot tiešus EM signālu izplatīšanās ātruma mērījumus, kas tika realizēti ar kopējā viduspunkta metodi [11]. Metodes realizēšanai nepieciešams veikt vismaz divus diskrētus zondējumus, starp zondējumiem antenas attālinot vienu no otras diskrētā attālumā (Att. 2.2).



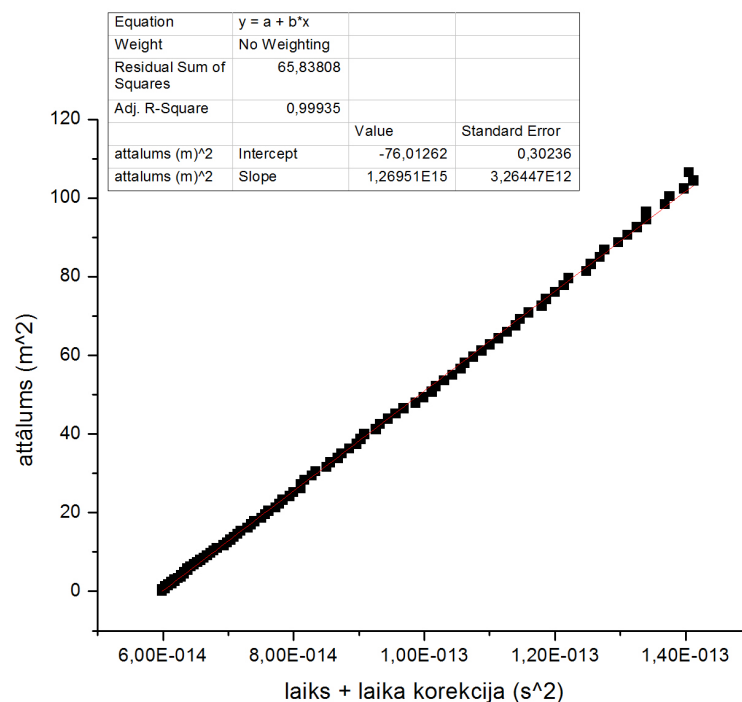
Att. 2.2: Kopējā viduspunkta mērījuma shēma, T - raidītājantena, R - uztvērējantena, t_1 - signāla laiks attāluma dx_1 veikšanai, t_2 - signāla laiks attāluma dx_2 veikšanai, 1 - purva virskārta, 2 - slānis, no kura atstarojas signāls

Pieņemot, ka signāla ātrums nogulumos horizontālā un vertikālā virzienā neatšķiras, var aprēķināt signāla ātrumu līdz izvēlētai dziļuma robežai, izmantojot vienādojumu 2.3 [15].

$$v = \sqrt{\frac{dx_2^2 - dx_1^2}{t_2^2 - t_1^2}} \quad (2.3)$$

Tā kā nogulumu zondēšana ar ģeoradaru notiek lauka apstākļos, kur ir daudz nekontrolējamo apstākļu, pētījumu rezultātos var parādīties apkārtējās vides traucējumu izraisītas neprecizitātes. Šī iemesla dēļ tika veikti vairāki diskrēti zondējumi ar diskrētu soli. Ņemot vērā, ka vienādojums 2.3 ir lineāra sakarība, EM signāla izplatīšanās ātrumu vidē iespējams noteikt no grafiski attēlotu diskrēto mērījumu tendences līknes (Att. 2.3).

Iegūtās sakarības tendences līknes slīpuma koeficients atbilst EM signāla izplatīšanās ātruma kvadrātam.



Att. 2.3: Kopējā viduspunkta eksperimenta rezultāti

Kopējā viduspunkta eksperiments tika veikts, izmantojot 300 MHz antenu kā raidītāju un 500 MHz antenu kā uztvērēju. Tika veikti 100 zondējumi, attālinot antenas vienu no otras 10,75 metrus ar soli 10 cm. Katrs zondējums sastāv no 511 datu punktiem.

2.4 Paraugu iegūšana

Darbā izmantojamie organogēno nogulumu paraugi tika iegūti ar ģeoloģiskā urbuma metodi. Urbums tika izdarīts uz tās pašas līnijas, kur tika veikta radiolokācija, 9 metrus no profilēšanas sākuma. Urbums tika veikts ar mīksto nogulumu rokas urbi (Att. 2.4 (a)), kas sastāv no 50 cm garas kameras ar diametru 5 cm un urbjstieņiem. Urbuma izdarīšana notiek iestumjot urbi kūdrā līdz nepieciešamajam dziļumam, tad, pagriežot to par 180°, vienlaikus tiek izgriezts vienlaidus nogulumu paraugs un aizvērta urbja kamera. Urbis tika pielietots, līdz to dziļāk nogulumos vairs nebija iespējams iespiest. Šis dziļums tika pieņemts par purva grunts dziļumu.

Urbums tika veikts līdz 4,35 metru dziļumam, paraugus bija iespējams iegūt sākot ar 0,66 metru dziļuma. Paraugu iegūšana 0-0,66 metru dziļumā nebija iespējama augstā mitruma līmeņa un zemās augu sadalīšanās pakāpes dēļ.

Pēc paraugu ievākšanas tie tika ievietoti puscilindriskos atbilstoša diametra paliktņos



Att. 2.4: Ģeoloģiskais urbis (a), Iegūtie paraugi puscilindriskos paliktņos(b)

(Att. 2.4 (b)), uz kuriem tika atzīmēts parauga iegūšanas dziļuma intervāls. Pēc paraugu ievietošanas paliktņos, tie ar pārtikas plēves palīdzību tika izolēti no mitruma apmaiņas ar apkārtējo vidi.

Paraugi tika novietoti 4°C temperatūrā līdz mērījumu uzsākšanai.

2.5 Iekārtas apraksts

2.5.1 Iekārtas darbības apraksts

Paraugu dielektiskās caurlaidības mērīšanai laboratorijas apstākļos tika izveidota mēriekārta, kuras darbības princips ir balstīts uz reflektometrijas principiem.

Mērāmo paraugu - kūdras - nehomogenitātes dēļ paraugu tilpumam vairākas reizes jāpārsniedz nepilnīgi sadalīto augu un to detaļu fragmentu izmēri, tāpēc tika saglabāts iegūto paraugu diametrs un meklēts optimālais parauga augstums.

Konstruējot mēriekārtu, tās diametrs tika pielāgots paraugu diametram – 5 cm, savukārt augstums tika izvēlēts, ņemot vērā divus faktoros: izmantotajai frekvencei atbilstošo viļņa garumu un vēlamo nogulumiežu slāņa augstumu, kuram noteikt dielektrisko caurlaidību.

Radiolokācijas zondējumiem, kuros lietota 300 MHz antena, centrālā frekvence purvā ir aptuveni 120 MHz. Pieņemot, ka kūdras ϵ_r ir 75, mērījumu izšķirtspēja ir apmēram 7 cm [9]. Tā kā nogulumiežu paraugi ar ģeoloģisko urbi tika iegūti puscilindra seržu formā, bet mēraparāts ir cilindriskas formas, viena mērījuma veikšanai cilindriskā iekārtā bija nepieciešami divi puscilindra formas paraugi un līdz ar to - dubults mērāmā slāņa

augstums. Lai iegūtu reflektometrijas ainu ar atdalītu ienākošo un atstaroto signālu, ko būtu viegli nolasīt un inetrpretēt, optimāls iekārtas augstums būtu viens viļņa garums.

$$\lambda = \frac{v}{\nu}, \quad (2.4)$$

Izmantotā frekvence - 1GHz, pēc formulas (2.4) un (1.7) iegūtais viļņa garums – 3,4 cm. Radiolokācijas izšķirtspējas dēļ optimālais slāņa augstums būtu 7 cm, lai aizpildītu cilindrisku iekārtu, katram puscilindram būtu jābūt 3,5 cm augstam.

Lai koaksiālas konstrukcijas kabelis ar diametru 5 cm pārvadītu signālu kā koaksiāls kabelis, tā garumam ir jāpārsniedz tā diametrs. Šī apsvēruma dēļ purvā iegūtās nogulumiežu serdes tika sadalītas paraugos pa 7 cm, kas vienā mērījumā dod vidējo vērtību no 14 cm augsta slāņa, samazinot mērījumu lineāro precizitāti, bet iegūstot fizikāli korekti mērītus lielumus.

2.5.2 Iekārtas konstruēšana

Pirmais prototips

Pamatnes daļa

- Par mēriekāras pamatni tika izmantota tekstolīta plāksnīte ar izmēriem 9 x 9 cm, biezumu 1,5 mm un ar 0.36 μm biezu vara pārklājumu katrā pusē.

Plāksnītes vidū tika izurbts caurums, kurā no plāksnītes apakšējās puses tika ieskrūvēta skrūve, to virspusē pieskrūvējot ar uzgriezni. Virspusē ap izurbto caurumu no vara tika attīrīta zona ar rādiusu 0,75 cm, bet apakšpusē no centrā izurbtā cauruma līdz plāksnītes malai plāksnīte tika attīrīta no vara, attīrītā laukuma centrā atstājot 3 mm platu vara joslu. Joslas platums tika izvēlēts tā, lai joslas impedance būtu pēc iespējas tuvāka 50 omiem. Aprēķinam pēc [2] tika izmantotas formulas (2.5) un (2.6).

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{W}{h} + 1.393 + 0.677 \cdot \ln\left(\frac{W}{h} + 1.444\right)\right)} \quad (2.5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right) \quad (2.6)$$

- Joslas galā tika pielodēta SMA pāreja ar 50 Ω impedanci, skrūve plāksnītes apakšpusē tika pielodēta pie vara joslas.

- Plāksnītes augšpusē tika pielodēts 0,5 cm augsts alvas gredzens ar iekšējo rādiusu 5,4 cm tā, lai gredzena centrs sakristu ar plāksnītes centru.
- Pie plāksnītes augšpusē aparāta kalibrēšanas nolūkiem tiek pielodēta viena 51 Ω rezistora kājiņa vienā skrūves pusē, bet nelielas stieples gals – otrā. Rezistora viena kājiņa un stieples viens gals paliek brīvi un tiem tiek saliekts gals tā, lai tos varētu apliekt ap skrūvi un nostiprināt ar uzgriezni, izveidojot kontaktu (Att.2.5 (a)). Stieple tiks izmantota īsslēguma kalibrējumam, rezistors – salāgojuma.

Koaksiālā daļa

- Mēriekārtas koaksiālā kabeļa ārējā daļa tika veidota no elastīgas plastmasas caurules ar diametru 5,10 cm un augstumu 22,5 cm, kas no ārpuses tika aplīmēta ar 50 μm biezu alumīnija foliju.
- Par koaksiālās daļas centru tika izmantota vara caurule ar augstumu 22,5 cm, diametru 6 mm un vītņi vienā galā. Caurule tika pieskrūvēta pie skrūves plāksnītes pamatnes centrā perpendikulāri pamatnei.

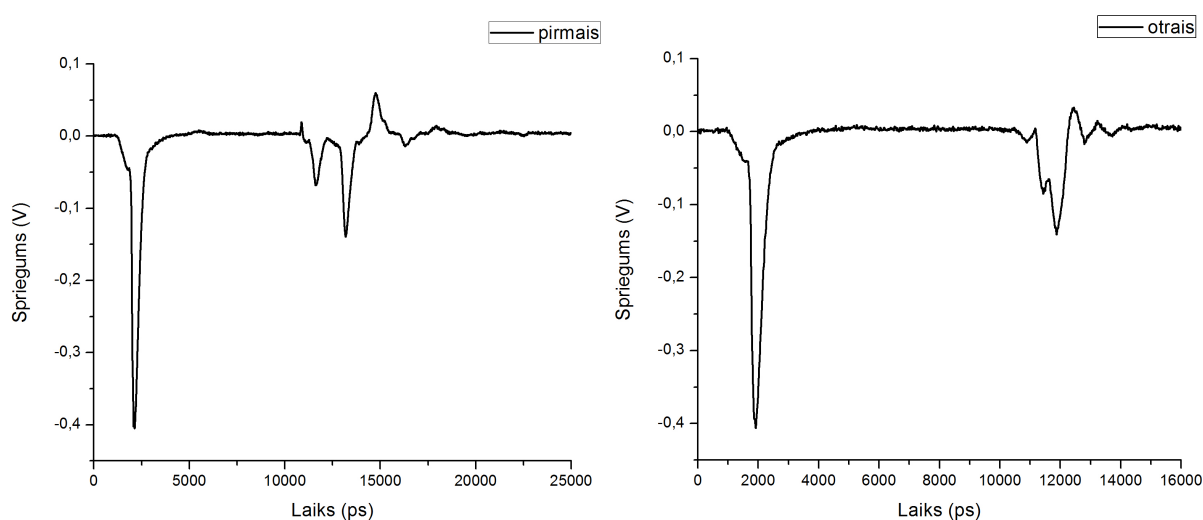
Savienojums starp pamatni un koaksiālo daļu

- Abas daļas tika savienotas, koaksiālo daļu ievietojot gredzenā tā, lai koaksiālās daļas ārējā virsma un gredzena iekšējā virsma veidotu kontaktu.



Att. 2.5: (a) Pirmā prototipa plāksnītes augšpusē ar gredzenu, skrūvi un 51 Ω rezistoru un stiepli salāgojuma un īsslēguma kalibrēšanai, (b) otrā mēriekārtas prototipa rezistoru lodējums salāgojuma kalibrējumam un kniedes gar līnijas malām.

- Lai mēriekārtā būtu iespējams mērīt paraugus ar augstu mitruma saturu, pār gredzenu un koaksiālās mēriekārtas apakšdaļu tika pārvilkts elastīgs gumijas gredzens ar augstumu 2,5 cm.
- Koaksiālās daļas apvalka elastīguma dēļ vai arī savienojamo detaļu diametru atšķirības dēļ neizdevās izveidot pamata un koaksiālās daļas ūdensnecaurlaidīgu savienojumu.
- Lai palielinātu koaksiālās daļas mehānisko pretestību gumijas gredzenam, tās lejasdaļā tika ievietots atbilstoša diametra neelastīgs plastmasas gredzens ar augstumu 2 cm.



Att. 2.6: Reflektometrijas testa mērījums pirmajam un otrajam mēriekārtas prototipam.

- Abas daļas tika savienotas un pārvilkta ar gumijas gredzenu, kas tika nostiprināts ar savilcēju .

Rezultātā tika izveidots savienojums ar mazāku ūdens caurlaidību, tomēr ne pilnīgi ūdens necaurlaidīgs.

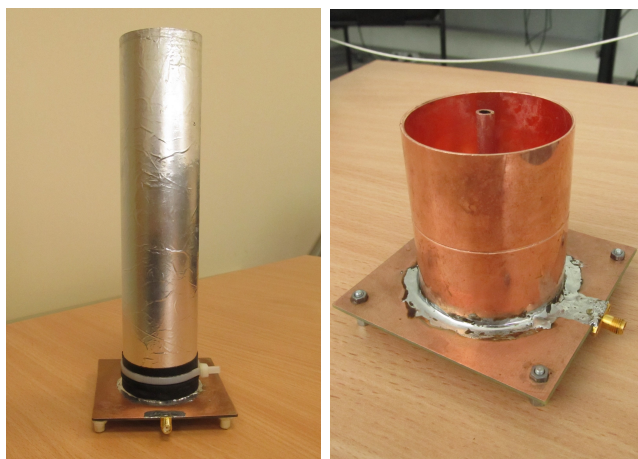
Lai pārlicinātos par pamatnes un koaksiālās daļas salāgojuma kvalitāti, tika veikts testa mērījums ar tukšu iekārtu.

Kā redzams (Att.2.6), pirmajam prototipam vērojams liels atstarojumu daudzums, kā arī ilgāka atstarojuma rimšana, kas liecina par sliktiem iekārtas salāgojumiem un augstu iespēju tupmākajos mērījumos saskarties ar grūtībām datu interpretēšanā. Tika veikti iekārtas uzlabojumi.

Otrais prototips

Pamatnes daļa

- Pamatnes daļa tika veidota uz tāda paša materiāla un izmēra plāksnītes kā pirmā prototipa gadījumā, ar tādu pašu vadošās joslas platumu un urbuma izvietojumu centrā, ar tādu pašu skrūvi un uzgriezni, kā arī ar līdzīgu SMA pāreju.
- Lai ekranētu vadošās līnijasveidoto elektrisko lauku platītes iekšpusē, abās pusēs līnija itika izvietotas kniedes (Att. 2.5).



Att. 2.7: Mēriekārtas pirmais (a) un otrais (b) prototips

- Plāksnītes apakšpusē aparāta kalibrēšanas nolūkiem paralēli tika pielodēti divi 100 Ω rezistori, kas tika izmantoti salāgojuma kalibrēšanai. Pēc kalibrēšanas mērījuma veikšanas, abi rezistori tika noņemti. Īsslēgums šoreiz tika panākts, mērījuma brīdī pie skrūves piespiežot nelielu vara plāksnīti.

Koaksiālā daļa

- Koaksiālās daļas ārējo daļu veido vara caurule ar augstumu 6,6 cm un iekšējo diametru 5,2 cm.
- Par koaksiālās daļas centru tika izmantota tāda pati vara caurule kā pirmajā gadījumā ar cilindram atbilstošu garumu 6,6 cm.
- Ārējā caurule tika pielodēta pie pamatnes, veidojot neelastīgu un ūdens necaurlaidīgu savienojumu.

Lai veiktu mērījumus, tika uzņemts mērījums ar tukšu iekārtu.

Abas iekārtas redzamas attēlā (Att.2.7).

Kā redzams (Att.2.6), otrā prototipa gadījumā atstarojumu ir mazāk un tie ir ātrāk rimstoši, kas liecina par samērā labiem iekārtas salāgojumiem un potenciāli labi interpretējamiem mērījumiem.

2.6 Mēriekārtas kalibrēšana un atstarojumu analizēšana

Ideālas iekārtas gadījumā tiktu novērtots tikai signāla atstarojums no līnijas gala. Reālas iekārtas gadījumā tika novēroti arī atstarojumi no signāla pārvades līniju savienojuma vietām. Atstarojumu var vizuāli novērot, ģenerēto un atstaroto signālu pievadot oscilogrāfam.

Mēriekārtas un tās detaļu kalibrēšanai, kā arī turpmākajiem mērījumiem tika izmantots slēgums (Att. 2.8), kurā tika izmants signālu ģenerators, reālā laika platjoslas Tektronix DPO 72004C oscilogrāfs, signālu dalītājs, kas daļu signāla nosūta uz oscilogrāfu, bet daļu - uz dalītāja izeju un tad atstaroto signālu uz oscilogrāfu. Dalītājs atstaroto signālu vājina 2 reizes.

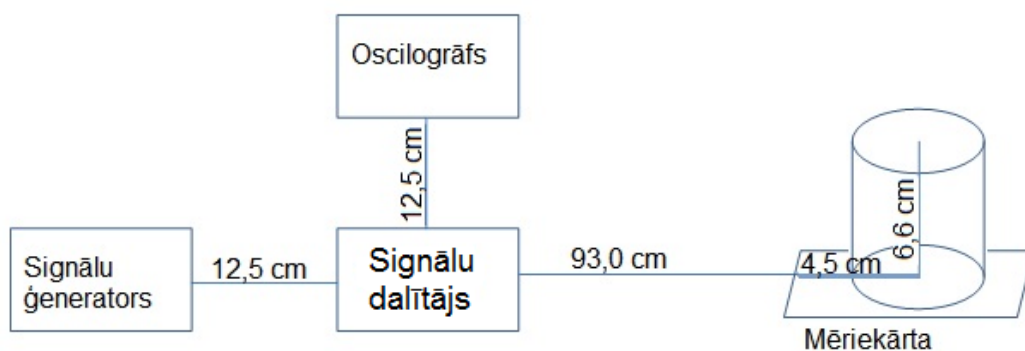
Lai noteiktu mēriekārtas salāgojuma precizitāti un sagatavotos mērījumiem, mēriekārtas izveides procesā tika veikta katras līniju savienojuma vietas kalibrēšana.

Signālu dalītāja izejas kalibrēšana tika veikta ar mērķi novērot atstarotā signāla formu un amplitūdu.

Kabeļa gala, planārās līnijas un iekārtas kalibrēšana tika veikta ar mērķi novērot atstarojumu no kalibrējamās līnijas gala, pārliccināties, vai atstarojuma attālums oscilogrammā atbilst līnijas garumam, kā arī noskaidrot, vai līnijā nerodas parazitiski atstarojumi.

Signālu dalītāja izejas kalibrēšanai tika veikti 3 mērījumi - vaļējā slēgumā (open), īsslēgumā (short) un salāgotā ķēdē (match). Vaļēja slēguma gadījumā, dalītāja izejas gals palika atvērts, īsslēguma gadījumā pie tā tika piespiesta vara plāksnīte, bet salāgojuma gadījumā tika izmantots 50 Ω kalibrēšanas elements.

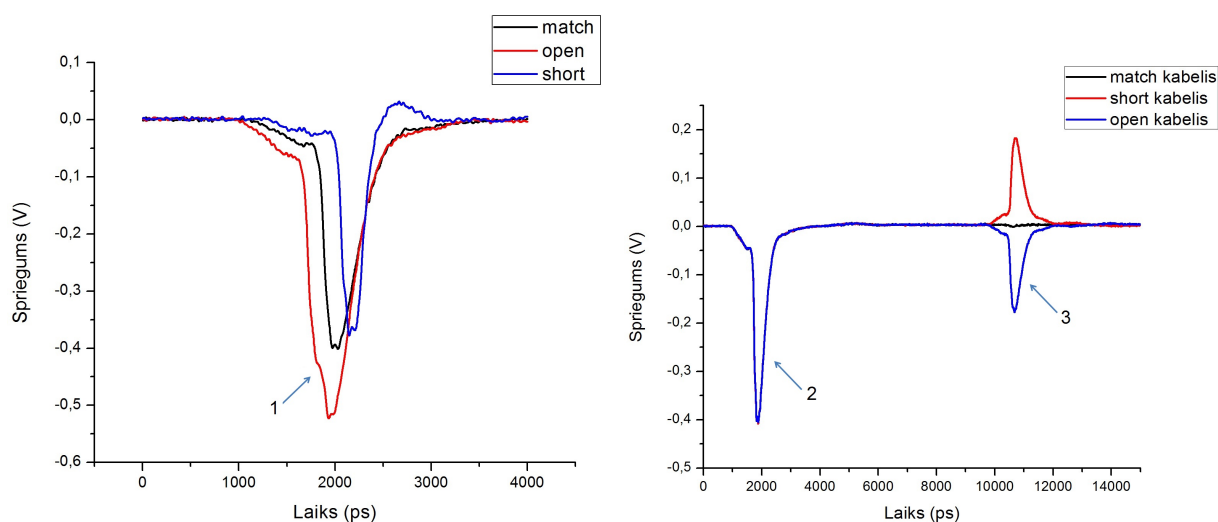
Kabelis (tips: RG405, $v=0.695 \cdot c$) ar garumu 93,0 cm tika kalibrēts, to savienojot ar signālu dalītāja izeju. Gan vaļējs, gan salāgots, gan īsslēgums tika kalibrēts tā pat, kā tas tika darīts ar signālu dalītāju. Salāgojuma gadījumā netika novērots atstarojums, bet īsslēguma un vaļēja slēguma gadījumā tika novēroti pretēji vērsti atstarojumi (Att. 2.9



Att. 2.8: Mēriekārtas slēgums

(b)).

Attēlā (Att. 2.9 (b)) redzama atstarotā signāla amplitūdas samazināšanās - 50% no signālu dalītāja vājinājuma un 4,82 % no signāla zudumiem kabelī.



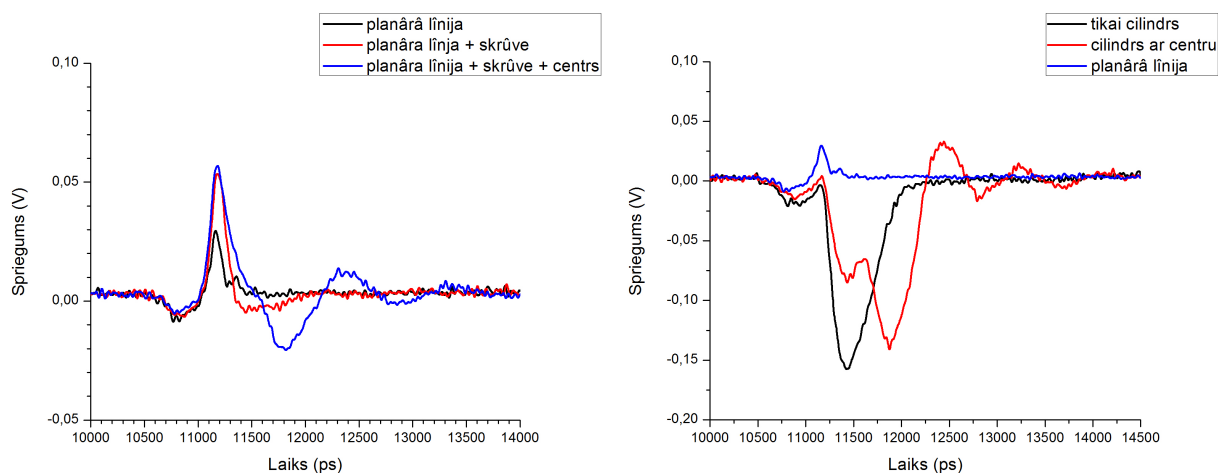
Att. 2.9: Signālu dalītāja izejas (a) un kabeļa gala kalibrēšanas (b) mērījumi. 1 - lūzums, 2 - ģenerētais signāls, 3 - atstarotais signāls

Kabelis, savienots ar planāro līniju tika kalibrēts īsslēgumā un vaļējā slēgumā līdzīgi kā iepriekš, bet salāgojuma kalibrējumam katrā planārās līnijas pusē (paralēlā slēgumā pēc formulas (2.7)) tika pielodēts pa 100Ω rezistoram (Att. 2.5 (b)).

$$\frac{1}{R_{kop}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad R_{kop} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad \text{kur } R_1 \text{ un } R_2 - 100 \Omega \quad (2.7)$$

Šis salāgojuma veids tika izmantots arī mērījumos ar skrūvi planārās līnijas galā un mēraparāta koaksiālās daļas centru, pieskrūvētu ar skrūves palīdzību. Visos salāgojuma

gadījumos tika novērots atstarojums pie vienādas laika atzīmes (Att. 2.10). Vērojama signāla amplitūdas palielināšanās, palielinoties līnijas garumam. Pēc šo mērījumu veikšanas abi rezistori tika atlodēti no iekārtas.



Att. 2.10: Atstarotais signāls planāras līnijas salāgotam slēgumam līnijas galā, ar skrūvi, ar koaksiālās daļas centru (a), atstarotais signāls no mēriekārtas koaksiālās daļas ar un bez koaksiālās daļas centra.

Pēc cilindra pielodēšanas tika veikti mērījumi tikai ar cilindru, kā arī ar cilindru un tā centru, respektīvi, pilnu mēriekārtu vaļējā slēgumā. Atstarojums no mērījuma ar cilindru un tā centru sastāv no 2 pīķiem, pīķu sākuma punkts sakrīt ar planārās līnijas salāgojumu un otrais pīķis - ar koaksiālās līnijas beigām (Att. 2.10 (b)).

No signāla atstarojuma laika iegūtā līnijas garuma salīdzinājums ar fizisko līnijas garumu redzams tabulā 2.2.

Tabula 2.1: Kalibrētās līnijas un to garumi.

Līnijas nr	Līnija	Garums, cm
1	Kabelis	93.0
2	Planārā līnija	4.5
3	Skrūve	1.0
4	Koaksiālās līnijas centrs	6.6
5	Koaksiālās līnijas ārējais cilindrs	6.6

Signāla forma un datu iegūšana

Attēlā 2.9 (a) redzams, ka ģenerētais signāls neatbilst ideālai impulsa funkcijai [5], kā arī tā frontē vērojams lūzums (Att. 2.9 (a)), ko var skaidrot ar mērījumos izmantoto 1 GHz

Tabula 2.2: No atstarojuma iegūtā kabeļa garuma salīdzinājums ar reālo kabeļa garumu.

Līnija	Slēgums	l_{teor} , cm	t_{exp} , ps	l_{exp} , cm	r, %
1	īsslēgums	93,0	8812	91,8	1,29
	vaļējs		8790	91,6	1,54
1+2	īsslēgums	97,5	9386	97,8	0,29
	vaļējs		9436	98,3	0,82
	salāgots		9372	97,6	0,82
1+2+3	salāgots	98,5	9380	97,7	0,79
1+2+4	salāgots	104,1	9370	97,6	6,23
1+2+5	vaļējs	98,5	9460	98,6	0,05
1+2+4+5	vaļējs	104,1	9956	103,7	0,37

frekvenci, pie kuras veidojas ne tikai RF, bet arī TEM viļņi [10]. Tātad var pieņemt, ka ģenerētais signāls ir 2 signālu summa.

Tā kā iegūtais signāls ir 2 signālu summa, tad tā pīķa laika ass koordinātas ir pakļautas nobīdei signālu superpozīcijas dēļ. Šīs neprecizitātes dēļ signāla koordinātas turpmāk tika nolasītas no signāla frontes stāvākās vietas jeb koordinātas ar maksimālo vai minimālo atvasinājumu meklētajā laika intervālā.

Meklējot atvasinājuma ekstrēmu vērtības, tika izmēģināta datu nogludināšana. Tika izmantotas datu analīzes un vizualizēšanas programmas Origin signāla nogludināšanas (smoothing) iespējas. Šim nolūkam tika izmantots Savicka - Goleja (Savitzky-Golay) filtrs, kas piedāvā signāla nogludināšanu ar lokālu polinomu regresiju, lai noteiktu nogludināto vērtību katram datu punktam, saglabājot pīķu augstumu un platumu [1].

Neskatoties uz to, ka nogludinot trokšņus, (izvēloties nogludināšanu 50 punktiem, kas katrs atbilst 2 pikosekundēm), šķietami kļūst acīmredzamāki intervāli ar straujiem kāpumiem vai kritumiem, nogludinātā signāla atvasinājums vairs nesniedz viennozīmīgu meklētā intervāla stāvākā krituma koordinātu. Turpmāk datu apstrādē nogludināšana tika izmantota gadījumos, kad no nenogludinātā signāla atvasinājuma nav iespējams noteikt signāla frontes stāvāko vietu meklētajā intervālā bez signāla nogludināšanas.

2.7 Testa mērījumi

Iekārtas darbības testēšanai tika veikti mērījumi ar ūdeni, paredzot, ka iespējamās aparāta darbības novirzes no teorētiski paredzētās darbības varēs detektēt šajos mērījumos.

Tika veikti divu veidu mērījumi:

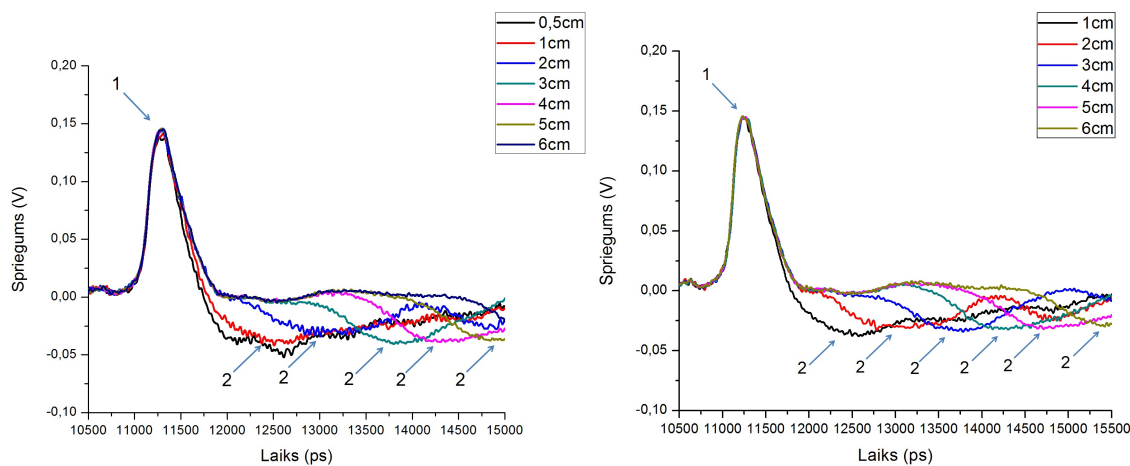
- mērījumi ar mainīgu ūdens staba augstumu kvazi-nemainīgā temperatūrā,

- mērījumi ar nemainīgu ūdens staba augstumu pie atšķirīgām temperatūrām.

2.7.1 Mērījumi ar mainīgu ūdens staba augstumu

Mērījumi tika veikti ar destilētu ūdeni un ūdeni no krāna.

Pirmie tika veikti destilētā ūdens mērījumi. Mēriekārtā tika ievietota skala un uzņemti oscilogrāfa mērījumi pie 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 un 6 cm staba augstuma. Iegūtā atstarojuma attēlos tika novērots, ka mērījumā ar 0,5 cm ūdens staba augstumu, viena atstarojuma vietā novērojami 2 mazāki atstarojumi. Tika secināts, ka šis ūdens staba augstums nav piemērots, lai novērotu atstarojumu no ūdens virskārtas, tāpēc veicot mērījumus ar krāna ūdeni, tika veikti tikai mērījumi no 1 līdz 6 cm augstumam. Uzņemtajos oscilogrāfa ekrānšāviņos tika novērota otrā atstarojuma attālināšanās no pirmā atstarojuma (Att. 2.11), palielinoties signāla noietajam ceļam, t.i. ūdens staba augstumam. Atstarojumu koordinātu sakritības ar ūdens staba augstumu tika pārbaudīta ar aprēķiniem, nosakot laika starpību starp pirmā un otrā atstarojuma kreisās signāla frontes stāvāko vietu, iegūstot laiku Δt . Iegūto laiku pareizinojot ar signāla izplatīšanās ātrumu ūdenī v , ko var iegūt no formulas 1.7, pieņemot, ka ϵ_r ūdenim ir 80.1 [7], un iegūto vērtību izdalot ar 2, tiek iegūts signāla veiktais attālums jeb ūdens staba augstums. Aprēķini tika veikti programmā Excel, bet datu statistiska apstrāde un vizualizēšana - programmā Origin.



Att. 2.11: Otrā atstarojumu attālināšanās no pirmā, pieaugot ūdens staba augstumam (a) destilētam ūdenim, (b) krāna ūdenim. 1 - pirmais atstarojums, 2 - otrais atstarojums (no ūdens virsmas).

Neskatoties uz to, ka destilēta ūdens oscilogrammās vērojami lielāki trokšņi nekā krāna ūdens oscilogrammās (Att. 2.11), neviens no izmantotajiem ūdens veidiem nesniedz

Tabula 2.3: No atstarojuma iegūtā destilēta un krāna ūdens staba augstuma salīdzinājums ar reālo staba augstumu.

H_2O līmenis, cm	H_2O	dt, ps	H_2O līmenis $_{exp}$, cm	r, %	r_{vid} , %
0.5	destilēts	1462	2.4	389.72	389.72
	krāna	-	-	-	-
1.0	destilēts	1038	1.7	73.85	63.30
	krāna	912	1.5	52.75	
2.0	destilēts	1336	2.2	11.88	8.03
	krāna	1244	2.1	4.18	
3.0	destilēts	2134	3.6	19.14	17.74
	krāna	2084	3.5	16.35	
4.0	destilēts	2524	4.2	5.68	8.66
	krāna	2666	4.5	11.63	
5.0	destilēts	3230	5.4	8.19	6.79
	krāna	3146	5.3	5.38	
6.0	destilēts	3780	6.3	5.52	6.63
	krāna	3860	6.5	7.75	

lielāku precizitāti pie visiem ūdens staba augstuma mērījumiem. Vērojama kļūdas samazināšanās līdz ar ūdens staba augstuma palielināšanos, (Tab. 2.3), tāpēc turpmākie mērījumi tika veikti pie skalas atzīmes 6 cm.

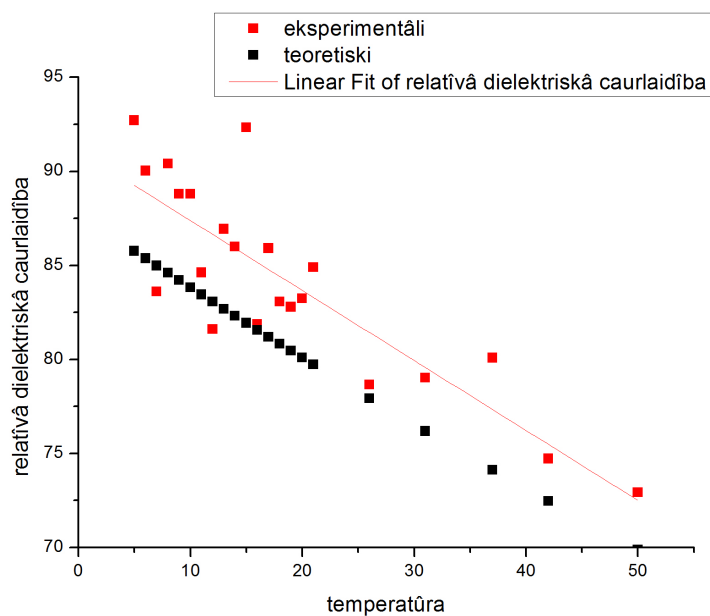
2.7.2 Mērījumi ar mainīgu temperatūru

Mērījumi tika veikti ar krāna ūdeni pie staba augstuma 6 cm temperatūras intervālā no 5°C līdz 50°C. Palielinoties temperatūrai, vērojama otrā atstarojuma laika koordinātas samazināšanās, respektīvi, laika starp abiem atstarojumiem samazināšanās. Tas skaidrojams ar ūdens molekulu kustīguma palielināšanos temperatūras palielināšanās dēļ un tam sekojošo laušanas koeficienta un dielektriskās caurlaidības izmaiņu, ko raksturo vienādojums 1.6.

No mērījumos iegūtajām reflektometrijas ainām aprēķinu rezultātā tika iegūta ūdens dielektriskās caurlaidības atkarība no temperatūras (Att. 2.12), kas tabulā 2.4 tika salīdzināta ar šo pašu lielumu sakarību literatūrā [7].

Tabula 2.4: Iegūtās dielektriskās caurlaidības salīdzinājums ar teorētisko

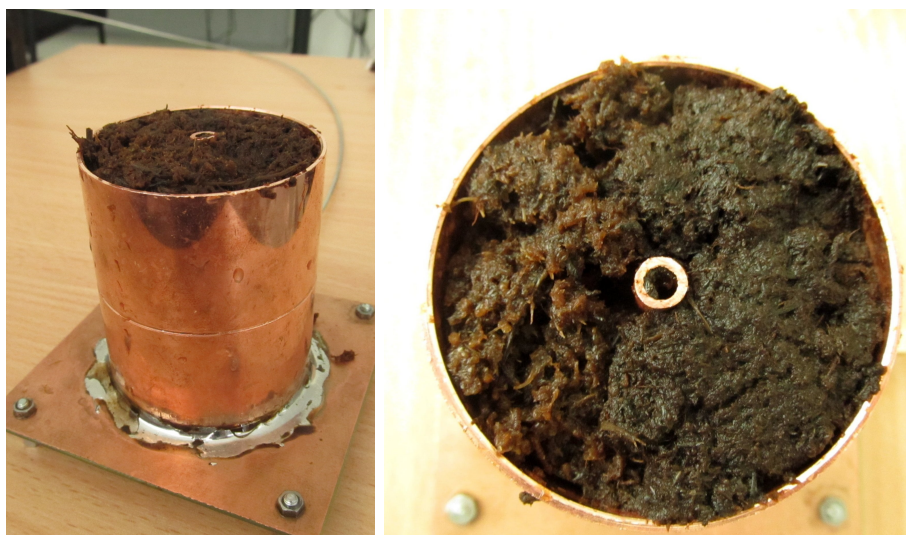
Temperatūra, °C	dt, ps	$\epsilon_{r_{teor}}$	$\epsilon_{r_{exp}}$	$r, \%$
5	7481	85.76	92.70	8.10
6	7458	85.37	90.03	5.46
7	7391	84.98	83.61	1.62
8	7463	84.59	90.41	6.88
9	7445	84.21	88.80	5.46
10	7450	83.82	88.80	5.94
11	7402	83.44	84.61	1.40
12	7377	83.06	81.61	1.75
13	7428	82.69	86.93	5.13
14	7424	82.31	86.00	4.48
15	7489	81.93	92.32	12.68
16	7366	81.56	81.88	0.39
17	7420	81.19	85.91	5.81
18	7387	80.82	83.06	2.77
19	7394	80.45	82.79	2.90
20	7381	80.09	83.24	3.94
21	7402	79.72	84.89	6.48
26	7339	77.93	78.66	0.93
31	7340	76.18	79.01	3.72
37	7354	74.13	80.08	8.03
42	7299	72.46	74.72	3.12
50	7271	69.87	72.92	4.35



Att. 2.12: Eksperimentāli iegūtās relatīvās dielektriskās caurlaidības vērtības atkarībā no temperatūras

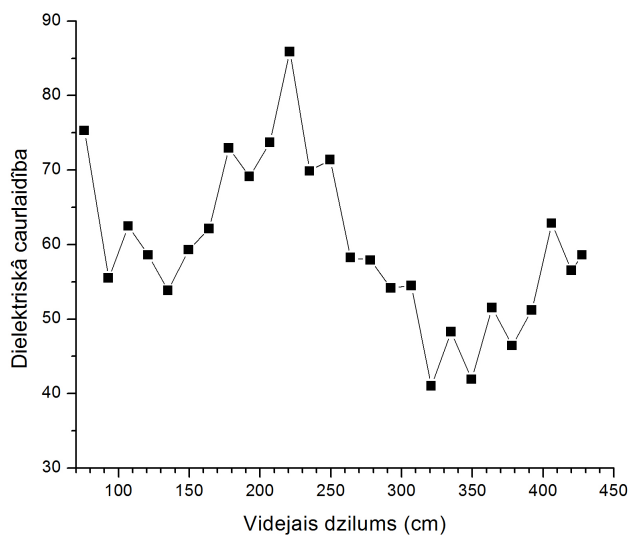
2.8 Paraugu mērījumi

Nogulumiežu dielektriskā caurlaidības mērījumi tika veikti, mēriekārtas koaksiālajā daļā starp ārējo un iekšējo cilindru ievietojot 2 iepriekš sagatavotus paraugus (nodaļa 2.3.1), kas aizpilda visu cilindra tilpumu (Att. 2.14).



Att. 2.13: Mērījumu veikšana ar kūdru (a), mērījums slāņu maiņas dziļuma paraugiem (b).

No mērījumos iegūtajām reflektometrijas ainām aprēķinu rezultātā tika iegūta relatīvās dielektriskās caurlaidības atkarība no parauga ieguves dziļuma.



Att. 2.14: Relatīvās dielektriskās caurlaidības atkarība no parauga ieguves dziļuma

Mērījumu laikā tika novērots dažāds mitruma saturs no dažāda dziļuma iegūtos pa-

raugos, kā arī izteikti atšķirīga struktūra, ko var skaidrot ar dažādu sadalīšanās pakāpi dažādā dziļumā (nodaļa 1.1.1).

Mērījumā ar vidējo dziļumu 207 cm tika novērota slāņu maiņa - mērāmā parauga no mazāka dziļuma struktūra bija nehomogēnāka, ar lielākiem sadalījušos augu izmēriem un gaišāku krāsu, dziļākais paraugs bija manāmi vairāk sadalījies.

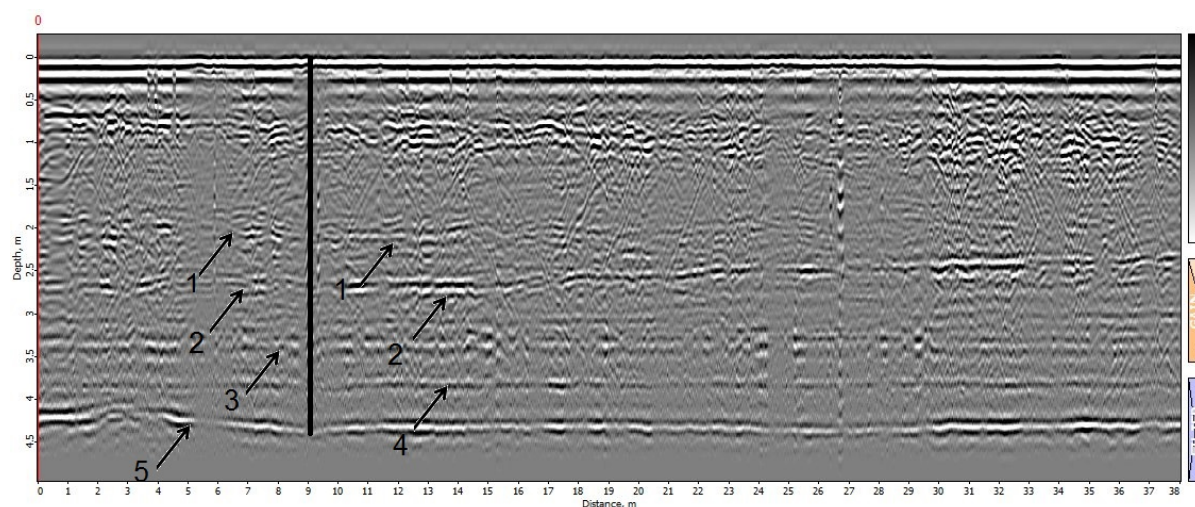
Nodaļa 3

Rezultāti

3.1 Ģeoloģisko metožu rezultāti

3.1.1 Radarogrammas

Radiolokācijas zondējumu veikšanas laikā tika iegūtas 4 radarogrammas, no kurām detalizētāk tika analizēta viena, kas veikta ar 500 MHz antenu. (Att. 3.1

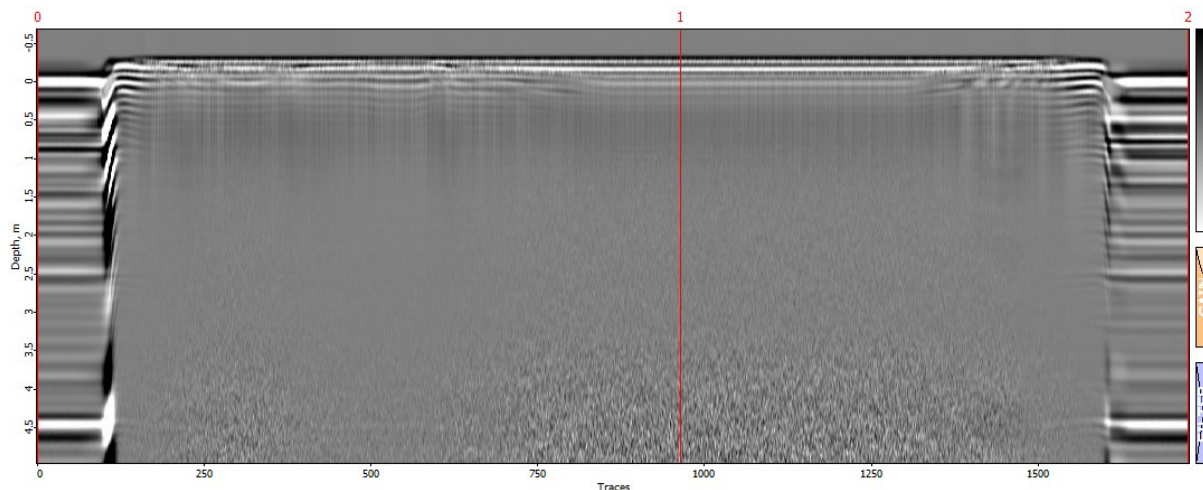


Att. 3.1: Radarogramma, 1,2,3,4,5 - informatīvi signāli.

Autorprāt, radarogrammā (Att. 3.1) iespējams izšķirt 5 signālus, kuros dielektrisko parametru izmaiņas bijušas pietiekami lielas, lai veidotu uzskatāmu atstarojumu. Atstarojums 5 atbilst purva grunts līmenim, signālu atstarojumi 1 - 4 iezīmē slāņu maiņu nogulumiežos. Vertikālā līnija apzīmē urbuma atrašanās vietu.

3.1.2 Laika korekcija

Laika atskaites korekcija tika noteikta, izmantojot *moveout correction* mērījumu metodi (Att. 3.3. Tika noteikts tiešais laiks, kas nepieciešams, lai signāls pa gaisu nokļūtu no raidītāja līdz uztvērējam.



Att. 3.2: Laika korekcijas mērījuma laikā uzņemta radarogramma. Vertikālās līnijas - radarogrammas uzņemšanas laikā veiktas atzīmes 0,2 - radars ir kontaktā ar zemi, 1 - radars ir maksimālajā augstumā.

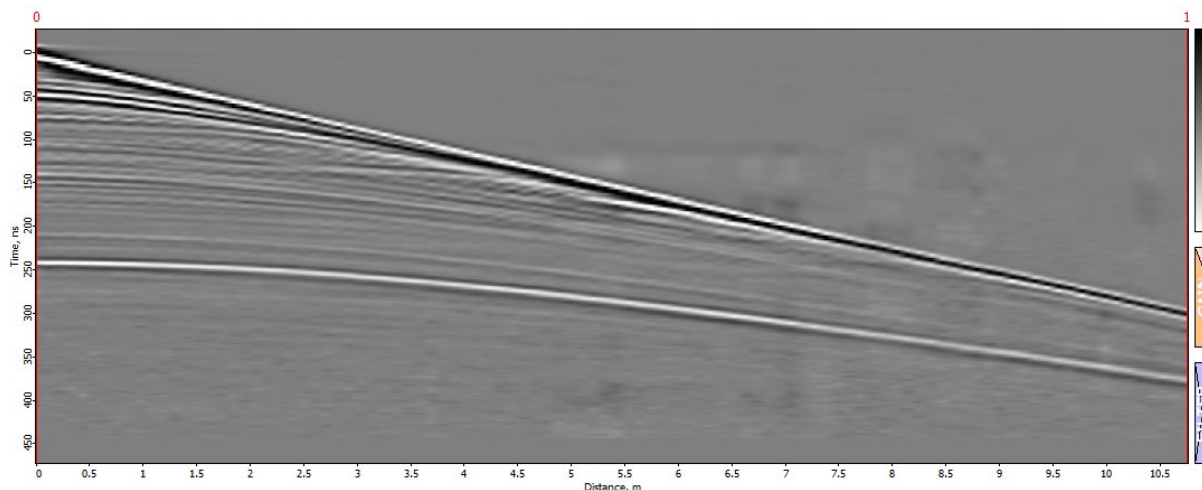
Veicot laika atskaites korekcijas jeb *moveout correction* mērījumus, tika noteikts tiešais laiks, kurā signāls pārvietojas no raidītāja līdz uztvērējam. Aprēķinātā laika starpība starp abām pozīcijām : 8.9 ns.

3.1.3 Kopējā viduspunkta mērījums

No iegūtās slīpuma koeficienta (Att. 2.3) vērtības : $1.26951 \cdot 10^{15}$ izvelkot kvadrātsakni, iegūtais vidējais signāla izplatīšanās ātrums nogulumos ir $3,56 \cdot 10^7$ m/s. No šī ātruma pēc formulas 1.7 tika aprēķināta vidējā relatīvā dielektriskā caurlaidība nogulumos. Iegūtā vērtība : 70.89.

3.2 Fizikālo metožu rezultāti

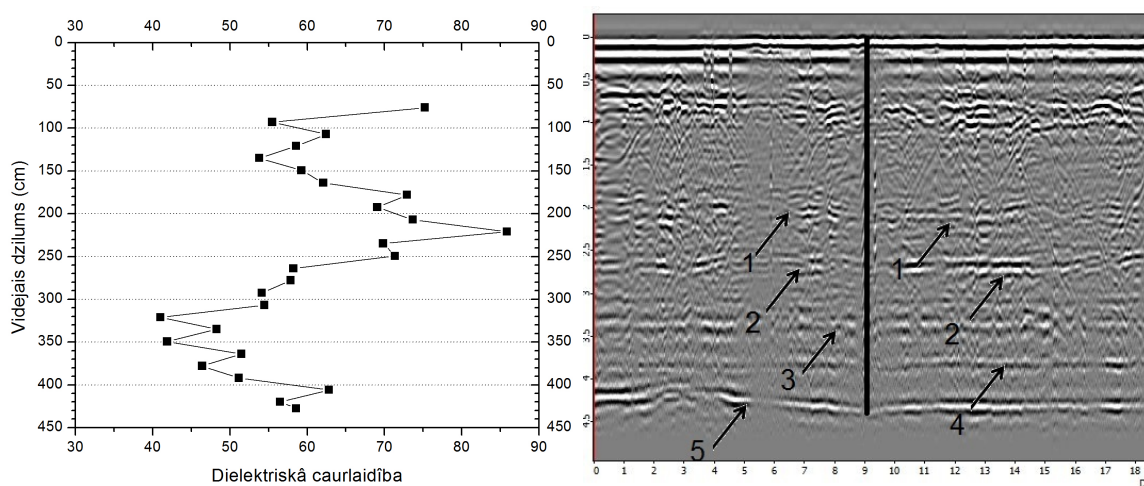
Mērījumos ar darba ietvaros konstruētu mēriekārtu tika noteikta ϵ_r vērtība organogēno nogulumu paraugiem, kas iegūti intervālā no 0,66 līdz 4,35 metru dziļumam. Iegūtie nogulumi tika sadalīti vidēji 7 cm garos paraugos, saglabājot parauga puscilindra formu.



Att. 3.3: Kopējā viduspunkta mērījuma laikā uzņemtā radarogramma.

Mērījumi tika veikti 2 paraugiem vienlaicīgi, kopā veicot iegūto nogulumiežu relatīvās dielektriskās caurlaidības mērījumus 26 dziļuma intervālos. Vidējā dielektriskās caurlaidības vērtība : 59.72, no tās iegūtais vidējais ātrums : $3.88 \cdot 10^7$ m/s. Iegūtās ϵ_r vērtības svārtās diapazonā no 41.01 līdz 85.86.

3.3 Ģeoloģisko un fizikālo metožu rezultāti



Att. 3.4: Radarogramma un atbilstošās dielektrisko caurlaidību vērtības atkarībā no dziļuma

Apvienojot radarogrammas datus un iegūtos dielektriskās caurlaidības mērījumus, var novērot, ka signāls 3 un 4, kas radarogrammā atrodas starp 3 un 4 metru dziļumu, sakrīt ar dielektriskās caurlaidības vērtību kritumu. Signāls 5 jeb purva grunts sakrīt

ar ϵ_r vērtības paaugstināšanos, kas varētu būt arī grunts atšķirīgā mitruma līmeņa dēļ. Signāla 1 urbuma vietā sakrīt ar nodaļā 2.8 novēroto paraugu atšķirīgo struktūru. Signāls 2 spilgti iezīmējas radarogrammā, bet sakrīt ar vāji izteiktu pīķi dielektriskās caurlaidības atkarībā no dziļuma attēlojumā. Tas varētu liecināt par atstarojumu citu īpašību, kuru izmaiņas nesakrīt ar dielektrisko caurlaidību, dēļ.

Nodaļa 4

Secinājumi

Pētījuma gaitā izstrādāto iekārtu ir iespējams izmantot nogulumu ϵ_r noteikšanā.

Ar ģeoradaru ir iespējams noteikt vidējo raksturīgo dielektrisko caurlaidību salīdzinoši bieziem kūdras slāņiem. Savukārt pētījuma gaitā izstrādātā iekārta ļauj veikt detalizētus kūdras dielektriskās caurlaidības mērījumus šauriem - aptuveni viena viļņa garuma platuma intervāliem.

Pētījuma gaitā iegūtie rezultāti norāda uz to, ka ar izstrādāto iekārtu dielektriskās caurlaidības absolūtās vērtības atšķiras aptuveni par 5 - 6% no teorētiskajām. Savukārt iegūtās dielektriskās caurlaidības relatīvās atšķirības ir salīdzināmas ar teorētiskajām. Atzīmējams, ka izmantojot radiolokācijas metodi ģeoloģiskos pētījumos, vairumā gadījumu ir būtiski noteikt tieši relatīvās nogulumu dielektriskās caurlaidības izmaiņas.

Turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams uzlabot iekārtu tā, lai būtu iespējams noteikt ne tikai relatīvās izmaiņas dielektriskās caurlaidības vērtībās, bet arī absolūtās nogulumu dielektriskās caurlaidības vērtības.

Literatūra

- [1] Origin: Smoothing using savitzky-golay filtering. <http://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin/DataAnalysis/SignalProcessing/SmoothingAndFiltering&pid=104>. Accessed: 2015-21-05.
- [2] Rf / microwave pc board design and layout. <https://www.jlab.org/accel/eecad/pdf/050rfdesign.pdf>. Accessed: 2015-20-05.
- [3] Windguru temperatūras arhīvs. http://www.windguru.cz/int/historie.php?getspot=&id_georegion=150&id_zeme=428&id_region=0&mis_spot=69&search=&id_typspot%5B1%5D=1&id_typspot%5B2%5D=2&id_typspot%5B6%5D=6&id_typspot%5B4%5D=4&id_typspot%5B3%5D=3&id_typspot%5B5%5D=5&id_typspot%5B10%5D=10&id_typspot%5B7%5D=7&id_typspot%5B8%5D=8&id_typspot%5B9%5D=9&id_typspot%5B11%5D=11&mis_fav=0&mis_fav_last=69&id_spot=69&odden=13&odmes=11&odrok=2014&doden=13&domes=11&dorok=2014&tj=c&wj=knots&step=3&ptmp=1&odeslano=1&model=gfs. Accessed: 2015-06-08.
- [4] I. Ancāne. *Dabas ģeogrāfija. Skaidrojošā vārdnīca*. Zvaigzne ABC., Rīga, 2000.
- [5] J. R. Andrieus. Time domain reflectometry (tdr) and time domain transmission (tdt) measurement fundamentals. 2004.
- [6] D. H. Boelter. Important physical properties of peat materials. *Proceedings of the 3rd International Peat Congress Quebec, Canada*, pages 150–154, 1968.
- [7] A.A. Maryott C. G. Malmberg. Dielectric constant of water from 0 to 100 c. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, pages 1–8, 1956.
- [8] D. J. Griffiths. *Introduction to electrodynamics*. Prentice-Hall, New Jersey, 3rd edition, 1999.

- [9] D. Bērziņš J. Karušs. Ground-penetrating radar study of the cenas tīrelis bog, latvia: Linkage of reflections with peat moisture content. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 2015.
- [10] J. D. Jackson. *Classical Electrodynamics*. John Wiley & Sons, Inc., 1962.
- [11] H.M. Jol. *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Elsevier Science.
- [12] J. Karušs. High precision calculation of move out correction in gpr measurements. *European Scientific Journal*.
- [13] J. Karušs. Radiolokācijas pētījumi cenas tīrelī. *Latvijas Universitātes 71. zinātniska konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*, pages 437–439, 2013.
- [14] G. Sičovs A. Dinķīte L. Bērtulsone S. Aļukēviča L. Kalniņa, A. Lācis. Cenas tīreļa attīstības dinamika un to ietekmējošie faktori. *Latvijas Universitātes 63. zinātniska konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*, 2005.
- [15] A. Neal. Ground- penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews (66)*.
- [16] V. Zolotarev. Georadar zond-12e user's manual. pages 1–58, 2007.

Pateicības

Darba autore vēlas izteikt pateicību darba vadītājiem Ivaram Driķim un Jānim Karušam par palīdzību un pacietību darba izstrādes procesā, Elektronikas un datorzinātņu institūta darbiniekam Gatim Šūpolam par konsultācijām tehniskos jautājumos un Aigaram un Līgai Langiniem par morālu atbalstu.

Bakalaura darbs "Dielektrisko parametru noteikšana organogēniem nogulumiem" izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

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

Autors: *Zane Lanka*

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: docents Dr. Phys. *Ivars Driķis*

Vadītājs : zinātniskais asistents M. Ģeol. *Jānis Karušs*

Recenzents: Asoc. Prof. Dr. Phys. *Sandris Lācis*

Darbs iesniegts Fizikas nodaļā 08.06.2015.

Dekāna pilnvarotā persona: Metodīķis/e:

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sedē:

Komisijas sekretārs/e: