

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

ĢEORADARA IZMANTOŠANA NIRAINES PURVA TILPUMA APRĒĶINOS
BAKALaura DARBS

Autors: **Rainers Vestmanis**

Stud. apl. rv19029

Darba vadītājs: Jānis Karušs

Dr. geol., docents, vadošais pētnieks

RĪGA 2022

SATURS

| | |
|--|-----------|
| 1. LITERATŪRAS APSKATS | 7 |
| 1.1 Kūdras nogulumu īpašību identificēšana purvā. | 7 |
| 1.1.1 Kūdras sadalīšanās pakāpes noteikšana | 8 |
| 1.2 Radiolokācijas metode un dziļuma aprēķini | 9 |
| 1.2.1 Ģeoradara izmantošana purva pētījumiem | 10 |
| 1.3 Likumdošana un izpētes prasības | 13 |
| 1.3.1 Metožu pielietojums | 14 |
| 1.3.2 Ģeofizikālu metožu pielietojums | 15 |
| 1.4 Kūdras tilpuma aprēķins | 16 |
| 1.5 Krājumu aprēķināšanas metodes | 16 |
| 2. PĒTĪTĀS TERITORIJAS VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS | 18 |
| 2.1. Pētītās teritorijas fizioģeogrāfiskais raksturojums | 18 |
| 2.2. Pētītās teritorijas ģeoloģiskais raksturojums | 20 |
| 3. MATERIĀLI UN METODES..... | 22 |
| 3.1. Pētījumā izmantotā aparatūra | 22 |
| 3.2. Sagatavošanās darbi un radiolokācijas profilu izvietojums | 23 |
| 3.3. Izpētes laukuma izvēles kritēriji un pētījuma objektu izvēle | 23 |
| 3.4. Lauka darbi | 24 |
| 3.4.1. Radiolokācijas profilu iegūšana | 24 |
| 3.5 Zondējumu veikšana un analīze | 26 |
| 3.6. Radiolokācijas profilu apstrāde | 28 |
| 3.7 iegūto dziļumu mērījumu datu analīze | 30 |
| 3.8 Purva kūdras tilpuma un derīgo izrakteņu aprēķini | 30 |
| 4. REZULTĀTI..... | 32 |
| 4.1 Radiolokācijas profilu analīze | 32 |
| 4.2 Iegūto datu interpolācija | 37 |
| 4.3 Purva tilpuma aprēķini | 39 |
| 5. DISKUSIJA | 41 |
| 6. Secinājumi..... | 44 |

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā "Ģeoradara izmantošana kūdras tilpuma aprēķinos" tika pētīts Piebalgas paugurainē esošais Niraines purvs ar tā kūdras nogulumiem, ieskaitot minerālgrunti. Pētījumā tika iegūti ģeofizikālie dati, veicot mērījumus ar ģeoradaru. No iegūtajiem radiolokācijas profiliem tika analizēti atstarojumi, kas saistās ar purva gultni, kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņām u.c. Mērījumi tika salīdzināti ar ģeoloģiskajiem urbumu datiem. Pētījuma aktualitāti nosaka tas, ka, pielietojot radiolokācijas metodi purva pētījumos, ir iespējams detalizētāk aprakstīt purva gultni, nekā ar līdz šim plaši pielietoto urbuma metodi.

Darba mērķis ir noteikt purva tilpumu ar urbumu metodi un ģeoradaru. Mērķa īstenošanai tiek veikta detalizēta radiolokācijas profilu analīze, lai identificētu purva gultni, kas ir nepieciešama, lai noteiktu kūdras nogulumu izplatības robežu. Paralēli tam, lai labāk izprastu atstarojumus purva nogulumos, tiek salīdzināti ģeofizikālie un ģeoloģiskie mērījumi, un tiek atrasti slāņu robežu rašanās iemesli un likumsakarības radarogrammās.

Atslēgas vārdi: Ģeoradars, radiolokācija, zondējumi, purva tilpums, kūdras sadalīšanās pakāpe.

ANNOTATION

In this bachelor thesis “Ground-penetrating radar use in Niraine bog volume calculations” was studied peat deposits including mineral soil in Niraines bog that is located in Piebalgas uphill. In the study geophysical data were gathered using ground penetrating radar. All data including signal reflections were identified in GPR profiles. Measurements were compared with all the geological data from the boreholes. Study is important because the reflections in profiles not always points out the sediments beneath the bog which is why new geophysical data and correlation can give broader understanding and help to figure out the problematics in other researches.

The goal is to calculate the volume of the bog with both data from boreholes and GPR. To accomplish the goal the detailed GPR profile analysis was done to identify the bog bed which is important to detect the margins of peat deposits. Parallel to that to better understand the reflections in peat sediments the geophysical and geological data were collated and it was found out that there are several reasons and regularities in radargrams. In final the volume of peat deposits were calculated in the bog with both methods.

Key words: Ground penetrating radar, radiolocation, probing, volume of bog, decomposition level of peat.

IEVADS

Pēdējo dekāžu laikā, līdz ar ģeofizikālu datu ieguves precizitātes paaugstināšanas, netiešām izpētes metodēm ir augusi aktualitāte un nozīme, kas sniedz iespēju tās vairāk pielietot, aprēķinot nogulumus, kuros ir iespējams izsekot līdz atstarojumiem no pazemes robežām.

Bakalaura darba mērķis ir ar radiolokācijas un urbumu datiem, tos savstarpēji korelējot un salīdzinot, noteikt purva tilpumu un kūdras derīgos izrakteņus. Pētījums tiek izstrādāts Niraines purvā. Radiolokācijas veikšanai tiek izmantots "SIA Radar Systems" Latvijā ražotais ģeoradars Zond-12e ar 300 MHz antenu sistēmu. Ģeofizikālo mērījumu ticamības novērtēšanai tiek veikti arī zondēšanas lauka darbi 100 x 100 metru tīklā, nosakot kūdras sadalīšanās pakāpi. Lai datus savstarpēji korelētu tiek veikta arī topogrāfiskā uzmērīšana, veicot gan ģeofizikālo, gan ģeoloģisko datu ieguvi. Darba fokuss ir interpretēt un izvērtēt radiolokācijas datus, analizējot iegūtos atstarojumus, kas saistās ar purva minerālgrunti, kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņām vai lokāliem objektiem nogulumos.

Bakalaura darbs tiek izstrādāts pēc Latvijas valsts likumdošanā (Ministru kabineta noteikumi Nr. 570) minētā, ka daļu no iegūtajiem ģeofizikālajiem mērījumiem ir iespējams sasaistīt ar tiešajiem ģeoloģiskajiem datiem, kas neprasa pilna zondējumu tīkla obligātu veikšanu. Tas rosina jautājumu, kāpēc radiolokācijas dati nav tik pilnvērtīgi, ka no tiem iegūtos datus plašāk varētu izmantot kūdras krājumu aprēķinos? Šis jautājums paver iespēju pētīt un saprast metodes priekšrocības un trūkumus. Detalizēti analizējot jaunus datus, ir iespēja nonākt pie lielākas un augstākas precizitātes purva pētījumiem ar radiolokācijas metodi. Tas var pierādīt un uzlabot metodes efektivitāti, par kuru šobrīd ir vairākas neprecizitātes un ierobežojumi gan likumdošanā, gan zinātniskajos pētījumos (Plado et al. 2011, Parsekian et al. 2012).

Ja šī metode tiktu attīstīta un pierādīta kā efektīva purva pētījumos, tad, apsekojot purvu ar radiolokācijas metodi un rūpīgāk analizējot tādas kūdras īpašības kā sadalīšanās pakāpe un dielektriskā caurlaidība, ļoti iespējams, nākotnē varētu tikt samazināts nepieciešamo zondējumu daudzums, kurus varētu aizstāt ar argumentētu radiolokācijas datu interpretāciju, nosakot kūdras krājumus.

Bakalaura darba uzdevumi ir:

- Izpētīt teoriju par ģeoradara un urbumu pētījumiem purvā, apskatot publikācijas, kurās tiek analizēti atstarojumi radarogrammās, rēķināts purva tilpums un aprēķināti kūdras krājumi utt..
- Veikt pētāmās teritorijas (Niraines purva) priekšizpētes darbus, izveidojot radiolokācijas un urbumu tīkla sagatavošanu.
- Veikt lauka darbus - Radiolokācija, zondēšana un urbšana, uz lauka analizēt iegūtos datus pēc Von posta skalas, veikt topogrāfisko uzmērīšanu.
- Veikt kamerālos darbus - Apkopot un veikt iegūto radiolokācijas profilu apstrādi, projicēt visus topogrāfiski iegūtos datus ĢIS programmatūrās, veikt datu interpolāciju, aprēķināt nogulumu tilpumu pēc urbumu un radiolokācijas metodes, aprēķināt derīgo izrakteņu daudzumu pēc urbumu un radiolokācijas metodes utt..
- Salīdzināt abas metodes un to datu precizitāti (urbumu un radiolokācijas).
- Izstrādāt metodiku, kas ļaus novērtēt un savstarpēji korelēt abu metožu iegūtos datus.
- Apkopot iegūtos ģeofizikālās un ģeoloģiskās izpētes rezultātus un izdarīt secinājumus.

LITERATŪRAS APSKATS

1.1 Kūdras nogulumu īpašību identificēšana purvā.

Kūdras nogulumus var pētīt ar ģeoloģiskām (Campos 2012; Ozola 2013) un ģeofizikālām metodēm (Karušs 2015; Ryazantsev et al. 2018). Līdz šim pasaulē visizplatītākās ir ģeoloģiskās metodes. To pamatā ir kūdras izcelšana no purva ar zondējumiem vai urbumiem, kuros tiek iegūti kūdras paraugi un veikta to analīze. Katrā purvā sākotnēji ir jāidentificē, vai tas ir augstā, zemā vai pārejas tipa purvs, jo no tā arī izrietēs tas, kāda veida kūdra būs sastopama. Atkarībā no tā kāda tipa kūdra ir sastopama – augstā (sūnu) vai zemā (zāļu) - tā tiek analizēta pēc attiecīgās skalas un kūdras ārējām pazīmēm un īpašībām (Boelter D. H 1968; von Post 1926). Kūdras nogulumus galvenokārt raksturo 5 īpašības: Sadalīšanās pakāpe (%), pelnainība, botāniskais sastāvs, mitrums un pH. Pašos nogulumos esošā koksnes un celmu tilpuma aprēķināšanā svarīgs ir arī celmainības aprēķins (Šnore 2013).

Sadalīšanās pakāpe ir "Procentos izteikta kūdras veidojošo sadalījušos augu bezstruktūras daļas attiecība pret atlieku veselo šūnu daudzumu" (Priēde et al. 2019) jeb humusa procentuālais daudzums kūdrā. Kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņas purvā ietekmē gruntsūdens līmenis, klimats un augi, kas veido kūdras nogulumus. Visspēcīgākais kūdras sadalīšanās pakāpes faktors ir skābekļa klātesamība un laiks, cik ilgi tas ir iedarbojies uz kūdru, kad tā ir atradusies konkrētā paleoklimata perioda esošajā akrotelmā (purva augšējā slānī) (Barreto et al. 2020). Ja ir zemāks uzkrāšanās ātrums un sausāki apstākļi, tad kūdra ilgāku laiku tiks pakļauta oksidēšanās apstākļiem un ātrāk humificēsies pirms apglabāšanas katotelmā, kur dominē bezskābekļa apstākļi un sadalīšanās ātrums ir ievērojami zemāks (Philben 2014). Augu atlieku strukturālās izmaiņas visintensīvāk norisinās tieši pirmajos 5-10 gados pēc to atmiršanas (Bitenieks, Kalniņa 2017). Pelnainība raksturo minerālo daļiņu daudzumu procentos no absolūti sausa visa apjoma kūdras daudzuma. Minerālās daļiņas ir tās, kas ietekmē grunts fizikāli mehaniskās īpašības. Botāniskais sastāvs norāda kādas augu atliekas veido kūdru. Atkarībā no procentuālā sastāva tiek noteikts kūdras veids. Augi, kas barojas ar minerālvielām bagātiem gruntsūdeņiem (Eitrofā augu valsts), atmiršot veido zemā tipa kūdru. Augstā tipa kūdru veido ar minerālvielām nabadzīgu nokrišņu ūdeņu barotu augu (oligotrofas augu valsts) atliekas. Mitrums kūdrā ir procentuālā ūdens satura attiecība pret kopējo kūdras masu. Tieši šis parametrs kopā ar skābekli noteiks to, cik ātri norisināsies sadalīšanās process. pH līmenis raksturo ūdeņraža jonu koncentrāciju šķīdumā.

Purvos tas ir indikatora rādītājs lai noteiktu purva tipu no kā var arī noteikt kūdras tipu. Orientējoši zemajos purvos tas svārstās no 8 – 5,5 pH, bet augstajos purvos tas ir 4,5 – 2,8 pH (Bitenieks 2017, Kalniņa 2021). Celmainība ir ‘‘koeficients, kas izteikts procentos un kurš atspoguļo kopējā celmu un stumbru atlieku tilpuma attiecību pret kopējo kūdras tilpumu.’’ (M.K. noteikumi nr. 570.)

Zinot kūdras veidojošo augu procentuālās attiecība botāniskajā sastāvā un ņemot vērā dominējošo augu sugas un to barošanās veidu un apstākļusno augšanas noteiktajā laikā, Latvijā izšķir 3 kūdras tipus:

1.1 Tabula

Kūdras tipi un purva biotopi (Priede et al. 2019).

| Kūdras tips | Zāļu | Pārejas | Sūnu |
|---------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Purva biotops | Zemais purvs | Pārejas purvs | Augtā tipa purvs |

1.1.1 Kūdras sadalīšanās pakāpes noteikšana

Kūdras sadalīšanās pakāpi laboratorijā vai uz lauka var noteikt ar vismaz 11 dažādiem paņēmieniem. Laboratorijā tiek lietotas mikroskopiskās, centrifūģēšanas, kūdras ekstraktu absorbcijas un fluorescences metodes, kas var tikt savstarpēji sasaistītas. (Rokus 2020).

Centrifūģēšana ir mehānisks process, kurā tiek izmantots centrālās spēks, lai no šķīduma atdalītu vielas daļiņas (Berk 2009). Paraugs tiek šķīrots pēc daļiņu izmēra, formas, blīvuma, viskozitātes atkarībā no rotora ātruma. Maisījuma blīvākās sastāvdaļas migrē prom no centrifūģas ass, savukārt mazāk blīvās migrē virzienā uz asi. Pēc centrifūģēšanas metodes sadalīšanās pakāpe tiek izteikta kā procentuālā attiecība pret kopējo kūdras parauga masu. Plaši lietots vēl aizvien tiek GOCT 10650-72 standarts. (GOCT 10650-72, Krūmiņš 2016)

Detalizētai kūdras organisko vielu satura noteikšanai var tikt lietota 3D fluorescences spektroskopija, izmantojot fluorescences spektrometru. Sākotnēji ir jāiegūst kūdras sārma ekstrakta paraugs, izmantojot 8% Kālija hidroksīda (KOH) šķīdumu un 10 mg gaissausas kūdras parauga masas. Tas ir jāatšķaida līdz 50 ml tilpumam un jāiestata pH uz 5. Galā ar fluorescences spektrometru no parauga ir jāiegūst emisijas ierosinātāju spektri (Krūmiņš 2016).

Sadalīšanās pakāpi kūdrai ir iespējams precīzi noteikt lauka apstākļos, izmantojot von Posta skalu. Metodes pamatā tiek izmantots tikko iegūts kūdras paraugs, kuram pēc kūdras īpašībām (elastības, ūdens atdeves, krāsas u.c.) tiek piemērota atbilstoša sadalīšanās pakāpe. Kūdra ir jāanalizē, iedalot to 10 līmeņus, sākot no vājāk līdz labāk sadalījušajai kūdrai (H1 – H10) (von

Post 1926). Paraugi var tikt iegūti ar kameras tipa urbi, pēc kuras ar Von posta metodi sākas vizuālo makroskopisko īpašību novērtēšana. Klasiski gaišāka kūdra ir ar mazāku sadalīšanās pakāpi, un tumšāka – ar augstāku. Tad tiek novērtēts makro atlieku daudzums, lielums un konsolidācijas pakāpe kūdrā, taustot un saspiežot paraugu ar kailu roku. No tā var arī novērot, cik daudz un kādā krāsā ir ūdens, kas notek pa plaukstu. (tumšāks ūdens lielāka sadalīšanās pakāpe). Tiek noteikts arī tas, cik ļoti elastīga ir kūdra. Gadījumos, kad tā ir plastiska, tiek arī pārbaudīts, cik ļoti tā smērē rokas. Metode var būt samērā subjektīva, jo vizuālā augu materiāla, kūdras tipa un humifikācijas pakāpes noteikšana prasa ievērojamas iepriekšējas zināšanas un pieredzi (von Post, 1926, Rokus 2020).

1.2 Radiolokācijas metode un dziļuma aprēķini

Radiolokācija (*ground penetration*) ir efektīga, robusta un ātra metode, ar kuru lauka darbu apstākļos dati momentāni tiek iegūti un atspoguļoti ar augstu izšķirtspēju projekcijā (radarogrammā), ko reāllaikā var redzēt un nolasīt uz datora vai viedierīces ekrāna (Rogers et al. 2012).

Ja mainās tādas slāņu elektromagnētiskās īpašības, galvenokārt, kā dielektriskā caurlaidība un elektrovadītspēja, no slāņu robežām tiek saņemts atstarojums. Metodes pamatā nogulumu slāņos tiek raidīts ģeoradara izstarotais elektromagnētisko viļņu impulss no raidītājanēnas. Tiek noteikts laiks pēc kura no uztvērējanēnas tiks saņemts viļņu atstarojums un tā amplitūdas. Tiek fiksētā arī distance, kas tika veikta, kad ģeoradara antena tika pārvietota pa pētāmo teritoriju (Lowry et al. 2009, Parry et al. 2019).

Būtisks parametrs pie kā radiolokācijas pētījumos ir jānonāk ir nogulumu dziļums. Bet līdz tam, zinot vielas dielektrisko caurlaidības reālo daļu un elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrumu vakuumā, ir iespējams nonākt lietojot 2 formulas (Karušs 2015).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}} \quad (1)$$

v – elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums dielektriķī (m s^{-1});

c – elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums vakuumā (m s^{-1});

ϵ' – dielektriskās caurlaidības reālā daļa.

Tālāk tiek izmantots laiks tikai līdz atstarotajai robežai, kas ļaus aprēķināt konkrētās slāņu robežas iegulas dziļumu.

$$S = v * \frac{t}{2} \quad (2)$$

S – dziļums, no kura saņemts atstarojums (m);

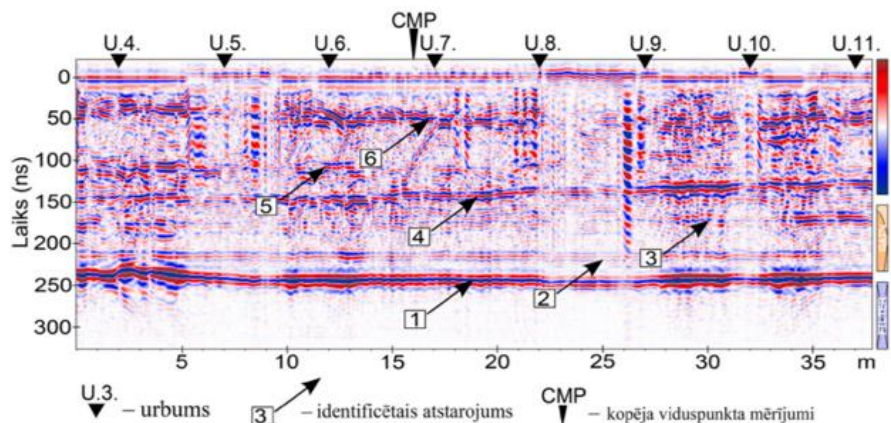
v – ģeoradara signāla izplatīšanās ātrums nogulumu slāņos līdz atstarotājpvirsmi (m s⁻¹);

t – laiks, pēc kura saņemts atstarojums (s).

1.2.1 Ģeoradara izmantošana purva pētījumiem

Ģeofizikālas metodes arvien biežāk kā jaunas inovatīvas metodes sāk pielietot purva pētījumiem, mēģinot aizstāt līdz šim plaši izmantotās invazīvās urbumu metodes. Vienoti kritēriji, saskaņā ar kuriem notiek izmaiņas, nav izveidota, tāpēc liela daļa iegūto datu ir autora interpretācija, balstoties uz līdzšinējo pētījumu izdarītajiem rezultātiem un secinājumiem. Jau vairāki zinātnieki savās publikācijas radiolokāciju apraksta kā efektīgu paņēmieni purva pētījumos, ar kuru ir iespējams identificēt purva minerālgrunti, piemēram, smilti vai mālu (Comas 2014; Rogers et al. 2012; Plado et al. 2011). Ģeoradara datu priekšrocība ir nepārtraukta datu ieguve gar profila līniju. Tas, salīdzinot ar urbumu metodi, dod iespēju izsekot līdzīgi iegulu izmaiņām visā profila līnijas garumā nevis tikai atsevišķos punktos (Sinyutkina 2018).

Ģeoradara dati sniedz informāciju par purva gultnes morfoloģiju un aptuveno iegulu vidējo dziļumu. Pētījumi parāda, ka ar ģeoradara datiem var tikt aprēķināts purva tilpums, no kā tālāk tiek aprēķināti kūdras nogulumu krājumi, paverot iespēju mazākā apjomā, bet ar rūpīgāku analīzi izmantot invazīvo zondējumu metodi, zondējot tikai vietās, kur jāpārlicinās par atstarojumiem (Parsekian et al. 2012, Benedetto et al. 2014). Ir pat iespējams redzēt rajonus, kur notiek purva kupola šķelšanās, veidojot akačus un purva lāmas (Parry 2019). Lai tiešām būtu pārlicība par atstarojumiem, protams, ir jābūt lielākai pieredzei un zināšanām. Tā, piemēram, radiolokācijas profils (1.1 att.) parāda, ka ir iespējams iegūt precīzu informāciju par purva iegulas uzbūvi. Ir iespējams identificēt un konkrēti atzīmēt dažādus atstarojumus un slāņu maiņu, un saguluma nianšes, kuras uztver ģeoradars (Karušs 2015).



1.1 Attēls. Radiolokācijas profils Cenās Tīrelī ar urbumu novietojumu. Ieraksts veikts izmantojot 300 MHz antenu sistēmu (Karušs 2015)

Ar šo neinvazīvo ģeofizikālo metodi nogulumus purvā ir iespējams identificēt līdz pat 16 m dziļumam. Tas var parādīt gan kūdras baseina lielumu un ģeometriju, kā arī uzrādīt uz purva veidošanās mehānismiem (Lowry et al. 2009). Bet par spīti jau visiem veiktajiem radiolokācijas pētījumiem, purvā nav izstrādātas kopējas vadlīnijas pēc kurām ir iespējams analizēt ģeoradara datus. Tā iemesla dēļ, lai pārbaudītu ģeoradara sniegtos datus pēc autora interpretācijas veikšanas, kā arī novērtētu elektromagnētisko viļņu ātrumu kūdrā, tiek veikta invazīvo datu sasaiste ar radiolokācijas profiliem. Uz profilu līnijām konkrētajos ar GPS zināmajos koordināšu punktos ir jāveic zondējumi līdz purva gultnei jeb minerālgruntij (Plado 2011). Tad zondējumu dati ir jāsaista ar radarogrammā identificētajiem atstarojumiem (1.2 att.), kur precīzi ir iespējams identificēt to, kurš atstarojums atbilst konkrētajam kūdras tipam un sadalīšanās pakāpei (Ryazantsev 2018 et al.).

Mainoties kūdras ģeofizikālajām īpašībām, atstarojumos iezīmējas atsevišķas robežas, kuras nogulumos var tikt identificētas ar pāris centimetru neprecizitāti (Sinyutkina 2018). Pētot kūdras ar ģeofizikālām metodēm ir jānorāda tas, ka tiek pētīts dielektriķis jeb viela kurā ir augsts dipolu blīvums, bet elementārlādiņi ir brīvi sastopami. Mitruma daudzums arī ne vienmēr būs noteicošais ģeoradara signāla atstarojumiem, kas saistāmi ar robežām starp atšķirīgiem kūdras slāņiem (Karušs 2015). Tādās kūdras masas ģeofizikālās īpašības kā tilpuma blīvuma, humifikācijas atšķirības purva pazemes slāņos būs noteicošās ģeoradara iegūtajiem atstarojumiem (Parry 2012). Šo sastāvdaļu attiecība veido vispārējās kūdras elektromagnētiskās īpašības un 1.2 tabulā ir parādīti vidējie rādītāji elektromagnētisko vērtību kritērijiem no dažādām purvu sistēmām. Tabula parāda, ka purva dabiskajā vidē ir attēlots dielektriskās konstantes (ϵ) vērtību

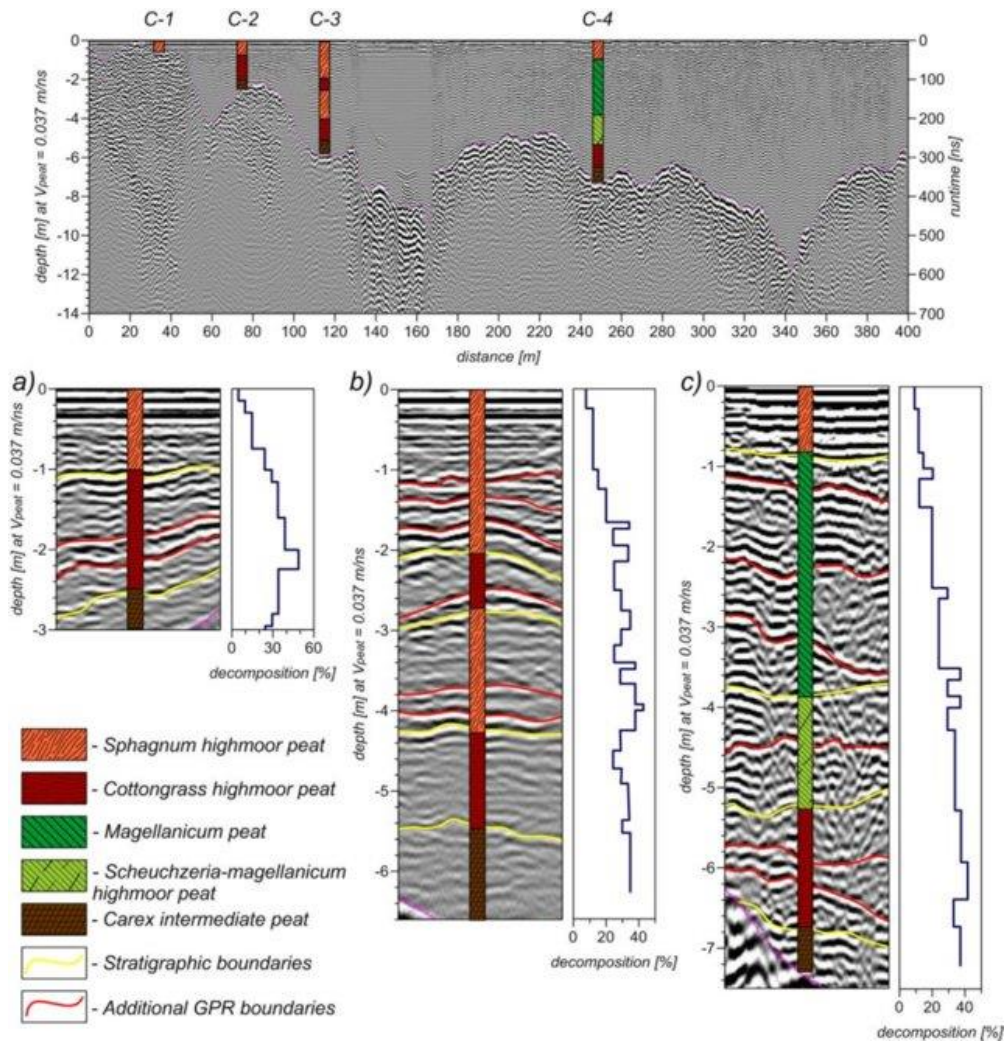
mainīgums. Jāņem vērā, ka parametri, kas norādīti tabulā ir iegūti un reģistrēti nesaistīti (Comas 2011; Ryazantsev 2018).

1.2 Tabula

Kūdras elektrofizikālās īpašības (Ryazantsev et al. 2018).

| | Dielektriskā konstante (ϵ) | Vidējā elektrovadītspēja (σ), $\mu\text{mS/cm}$ |
|----------------------|---|---|
| Worsfold et al.,1986 | 69 | 54 |
| Hänninen,1992 | 65 | - |
| Theimer et al.,1994 | 60 | 25 |
| Slater, Reeve,2002 | 61 | 40-77 |
| Lowry et al.,2009 | 41-73 | 18 |
| Sass et al.,2010 | 80 | 30-50 |
| Walter et al., | 74 | 100-400 |

(Ryazantsev 2018 et al.) Veiktais pētījums parāda, ka radarogrammā ir iespējams izsekot līdz pat atsevišķiem kūdras veidiem, kuri ģenerē specifiskus ģeoradara atstarojumus, kurus galvenokārt nosaka krasas kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņas nogulumos. Datu interpretācijas rezultātu ticamību apstiprina to salīdzinājums ar urbumu serdēm (1.2. att.).



1.2 Attēls. Radiolokācijas profils ar dažādu kūdru un nogulumu izvietojumu Radiolokācijas profilā (Ryazantsev 2018)

1.3 Likumdošana un izpētes prasības

Latvijā kārtību kādā tiek veikta ģeoloģiskā pazemes izpēte nosaka Zemes dziļu likums (Likums "Par zemes dziļēm"). Tālāko derīgo izrakteņu izpēti un to, kā tā tiek veikta regulē Ministru kabineta noteikumi Nr. 570 (Ministru kabineta. noteikumi Nr. 570.) un rīkojums Nr. 696 (Ministru kabineta noteikumi Nr. 696). Likumu mērķis ir nodrošināt racionālu, vidi saudzējošu un ilgtspējīgu zemes dziļu izmantošanu.

Pirmkārt, pirms jaunā plāna sagatavošanas, pētāmajā teritorijā ir jāizpēta visi vēsturiskie pieejamie dati hronoloģiskā secībā par visiem ģeoloģiskās izpētes datiem un pētījumiem, aprēķināto krājumu apjomu, slāņkopas biezumu u.c. (Ministru kabineta. noteikumi Nr. 570. 2012.

3.5 punkts) Otrkārt, ir jāsaņem zemes dziļu izmantošanas licence (līdz 1 gadam), ko izsniedz Valsts vides dienests (Ministru kabineta noteikumi Nr. 696. 1. punkts). Katra jauna ieguves uzsākšana ir jāaskaņo ar Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centru (LVĢMC pārskats 2021), kas pārskata vai ieguves plāns ir sastādīts atbilstoši pēc Ministru kabineta noteikumiem nr. 570. Tad ir jāveic ģeoloģiskā izpēte krājumu aprēķinu laukumā atbilstoši pētāmā laukuma kritērijiem. (Ministru kabineta noteikumi Nr. 696. 2011. 2. pielikums)

Pēc licences saņemšanas kūdras ieguve var tikt veikta 75 gadus ar nosacījumu veikt pārskatu ik pēc 25 gadiem. (Likums "Par zemes dziļēm" 9. pants). Savukārt kūdras ieguves lauku inventarizāciju veic saskaņā ar (Ministru kabineta. noteikumi Nr. 570. 7.2. nod.) noteiktajām prasībām, un pēc 78. punkta prasībām, to veic ne retāk kā reizi 7 gados.

Atsaucoties uz likumu Nr. 570 7.2. daļu un 80.1. punktu par kūdras atradnes pārskata noteikumu prasībām, purva inventarizācijas darbu pārskatā ir jāsniedz ieguves vietas vispārīgais raksturojums. Par vietu, kurā tiek veikts pētījums un ir plānotas atradnes. Noteikumi pieprasa, ka topogrāfiskajām kartēm tiek lietots atbilstošs mērogs, norādot atrašanās vietu ar kadastra platību ar koordinātām. Ir jābūt ģeoloģisko apstākļu novērtējumam, kartējot visas ģeoloģiskās izpētes izstrādes, veicot ģeodēzisko izpēti. Pirms ģeoloģiskās izpētes veikšanas purva robežās ir jāizveido raksturojums par ģeomorfoloģiju, apjomu, kvalitāti, paredzētās izpētes dziļumu un izpētes kategoriju.

1.3.1 Metožu pielietojums

Likuma Nr. 570. 6. punkts nosaka, ka pirms izpētes darbiem ir jānorāda, kāds ir nepieciešamais aprīkojums, lai veiktu izpēti. Tas ir jāpamato balstoties no kūdras un pētāmās teritorijas īpatnībām.

Pētot purvu ar invazīvām metodēm, ir jāveic zondējumi vai urbumi un to analīze atkarība no purva platības. M. K. noteikumi 570. 2 pielikums nosaka, ka purvam, kura platība nepārsniedz 300 hektārus, urbumi ir jāveic 100 x 100 m zondēšanas tīklā.

Veicot zondējumus, katrs urbums ir jāveic līdz minerālgruntij. Jākonstatē, cik dziļi iegul kūdras gultnes robeža un jākonstatē, vai ir izveidojies sapropeļa slānis. No iegūto zondējumu analīzes ir jāizveido ģeoloģiskais griezum, kur tiek izdalīti kūdras slāņi ar robežām, izdalot

dažādas sadalīšanās pakāpes. Uz lauka to ir iespējams analizēt no urbumu serdēm, atzīmējot un nosakot slāņu robežas, bet kūdras īpašību raksturošanai ir jāiegūst kūdras paraugi.

Paraugi tiek iegūti pēc M. K. noteikumu 570. 2. pielikuma, kas nosaka, ka urbumus, no kuriem iegūst paraugus kūdras īpašību analīzēm, izvieto vienmērīgi atkarībā no zondējumu rezultātiem un to skaita kūdras iecirknī. Ir jāizveido vismaz 3 paraugu ņemšanas punkti katrā iecirknī, kuri ir izvietoti 400 x 400 m tīklā. Paraugu iegūst, izmantojot speciālu kameras tipa urbi ar noslēdzamu kameru. Intervāls paraugu iegūšanai ir 0,5 m visā izpētes dziļumā (Kameras tipa urbja serde). Katrs urbums ir jāanalizē nosakot kūdras sadalīšanās pakāpes un mitruma vidējo rādītāju pa slāņiem un kūdras iegulu slāņa vidējā biezuma aprēķinu. Kūdras paraugu ņemšanas punktā, zondējot 100 punktus ik pēc 1 m, ir jānosaka celmainība.

Kūdras paraugu analīzei M. K. noteikumi Nr. 570. nosaka, ka no kūdras urbumu serdes tālākām kvalitātes analīzēm (botāniskais sastāvs, sadalīšanās pakāpe, pelnu saturs u.c.) ir jānogādā akreditētā laboratorijā. Tabulās ir jāapkopo un jāsniedz detalizēts apraksts par kūdras sadalīšanās pakāpes un mitruma vidējā rādītāja aprēķinu pa slāņiem un kūdras iegulas slāņa vidējā biezuma aprēķinu. Pēc ģeoloģiskās izpētes veikšanas ir jāprognozē, cik lieli ir potenciālie derīgo izrakteņu krājumu apjomi un cik daudz tos ir plānots iegūt. (Ministru kabineta. noteikumi Nr. 570. 4. punkts).

1.3.2 Ģeofizikālu metožu pielietojums

Izmantojot ģeofizikālas metodes, ir jāsniedz to pamatojums, jāapraksta metodika un izpildes tehnika. Radiolokācijas datus var lietot, izmantojot 15% apjomā no kopējā zondēšanas punktu skaita ar precizitāti $\pm 0,1$ m. Ja ģeofizikālie dati ir iegūti pietiekamā apjomā, tad ir iespējams aprēķināt un identificēt iegulu izmērus, formu un uzbūvi, veidojot un izstrādājot ģeoloģiskos griezumus. Pamatojoties uz teritorijas vispārējām hidroģeoloģiskajām likumsakarībām un teorētiskiem pieņēmumiem. Ģeofizikālās izpētes dati var tikt lietoti, lai identificētu un atspoguļotu ūdens iegulu horizontus un sprost slāņu biezumus. Iegūtos rezultātus ir jākontrolē, iegūstot arī ģeoloģiskus datus ar satrakumiem vai urbumiem, zondējot ar kameras tipa urbi (Ministru kabineta. noteikumi Nr. 570. 4. pielikums).

No iegūtajiem zondējumu un ģeofizikālajiem datiem par maksimālo un vidējo dziļumu apraksta ir jāizveido ģeoloģiskais griezums. Pēc šiem datiem ir jāsniedz informācija par kūdras bloku krājumu apjomu.

1.4 Kūdras tilpuma aprēķins

Nosakot kūdras derīgo izrakteņu apjomu, vispirms ir jāaprēķina nogulumu tilpums. Kūdras iegulu tilpumu purvā ir iespējams aprēķināt vairākos veidos. Var tikt salīdzināta purva virsma un gultne (Comas 2017 et al.), lietoti zondējumi un radiolokācija (Parsekian et al. 2012) kā arī datorprogrammās, piemēram, ArgGis (Campos 2012 et al.).

Tilpuma aprēķināšanai ir jālieto 2 purva nogulumu robežas: virsas topogrāfija un purva gultne. Zinot attālumu starp vienu otru, var aprēķināt augstuma starpību, kas būs starp tām. Izmantojot to, var reprezentēt kūdras tilpumu (Silvestri et al. 2019). Var tikt pielietots trapecveida likums (trapezoidal rule), kas balstās uz pararēlu vienāda garuma līniju novilkšanu pāri visam poligonam. Līnijas poligonu sadala vienāda izmēra trapecveida figūrās, kurām precīzi var tikt aprēķināts tilpums (Comas et al. 2017). Izmantojot urbumu dziļumus līdz gultnei ar noteiktām koordinātām un zināmām poligona robežām, tās ir iespējams aprēķināt izmantojot ArcGis 9.2 programmatūru (Campos et al. 2011). No iegūtajiem zondējumu dziļumu datiem, "Arcgis" programmatūrā izmantojot rīku "point to raster", ir iespējams telpiski vidēji aprēķināt kūdras nogulumu dziļumu katrā no punktiem (Gatis 2019 et al.). Virsmas modelis apvienojumā ar urbuma datiem sniedz informāciju par kūdras biezumu purvā. Modeļa izveidei ir nepieciešami dati no lauka darbiem un telpiskā interpolēšana. Ir vajadzīgs gan modelis pētāmā poligona platībai, gan kūdras iegulu dziļumam. Zinot to, iegūtos datus var sasaistīt, izmantojot "Kriging" interpolācijas rīku ArcGis programmatūrā. Tas var tikt lietots, lai izveidotu kupola formas kūdras modeli, radot 3D modeli, kam ir zināms tilpums. Lietojot kūdras slāņu biezumu un virsmas modeli, izmantojot ArcGIS "3D Analyst" rīku tiek aprēķināts kūdras tilpums (Jaenicke 2010).

1.5 Krājumu aprēķināšanas metodes

No purva kopējā tilpuma, ir jāaprēķina kūdras potenciālie derīgo izrakteņu krājumi no kūdras laukiem. Ir jāveic aprēķini, nosakot esošās kūdras apjomu, ko aprēķina atbilstoši nosacītajam mitrumam ($W = 40\%$). Ir jābūt apkopotām kūdras aprēķinu tabulām, kurās ir noteikti kūdras ģeoloģiskie krājumi, iegulas slāņu vidējais dziļums un lauku platības. No analīžu testēšanas datiem ir jānorāda kūdras sadalīšanās pakāpes un relatīvā mitruma vidējo rādītāju aprēķinu pa slāņiem (noteikumi nr. 570). Ģeoloģiskajā griezumā iegul dažāda veida kūdra. Viens no būtiskākajiem mērījumiem ir noteikt ģeoloģiskos krājumus noteiktā ieguves lauka platībā. Ir

jāizrēķina kopējos ģeoloģiskos kūdras krājumus. Izmantojot sadalīšanās pakāpes analīzes ir jānorāda maz sadalījušās, vidēji un labi sadalījušās kūdras krājumus. (LVĢMC pārskats 2021).

Kūdras vidējā dziļuma aprēķins

Kūdras vidējo iegulu dziļumu atradnē vai atsevišķā laukā var noteikt ar visu dziļumu mērījumu vidējo aritmētisko metodi, pēc formulas:

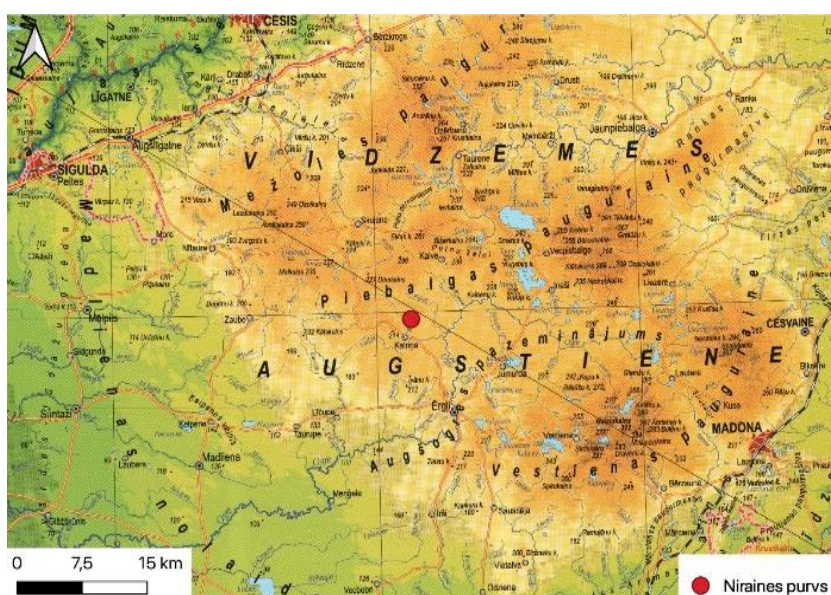
$$H = \frac{h1}{n1}$$

Kur: H – kūdras vidējais dziļums (m) atradnē; h1 – zondējumu dziļumu summa (m);
n1 – zondējumu skaits

PĒTĪTĀS TERITORIJAS VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

2.1. Pētītās teritorijas fiziogeogrāfiskais raksturojums

Niraines purvs atrodas Latvijā, Vidzemes augstienē, Piebalgas paugurienē (2.1. att.). Administratīvi purva teritorija atrodas Cēsu novadā, Kaives pagastā 12 km ZR no Ērgļiem un 2 km ZA virzienā no Katrīnas ciema, kas atrodas 42,6 km no Madonas un 118 km no Rīgas. Purva DR mala ir izvietota aptuveni kilometru no autoceļa P31 (2.2. att.). Purva Augstums virs jūras līmeņa ir aptuveni 195 metri. Nosacītā purva platība laukuma robežās ir 149,07 hektāri (Ministru kabineta noteikumi Nr. 696. 2011.)



2.1. attēls. Niraines purva novietojums (B) (fiziogeogrāfisko karte (pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/>));

Vidzemes augstienes uzbūvi veido salveida glaciostruktūras, kas Latvijas teritorijā hipsometriski sasniedz vislielāko augstumu v.j.l. Piebalgas pauguraine atrodas Vidzemes augstienes centrālajā daļā. Tās Ziemeļu daļa robežojas ar Mežoles pauguraini un Dienvidos ar augšogres pazeminājumu. Paugurainei ir raksturīgi pauguri, kas ir 5-50 m augsti, veidojot paugurmasīvus, pauguru grupas un pirmmasīvu lielpaugurus, ar vidēji vai sīkpaugurotu virsmu. Stāvās nogāzes veido pazeminājumus ar šaurām ieplakām, kurās ir izveidojušies ezeri. Starp šīm paaugstinātājām reljefa formām arī veidojas ieplakas, kurās veidojas labvēlīgi apstākļi, lai tajās veidotos purvi un purvaini apvidi (Salmane 2010 et al., Markots, 2011).



2.2. Attēls. Niraines purva ainava pētāmajā poligonā (A) pētījumu teritorijas novietojums Niraines purvā (sarkanais poligons) (B).

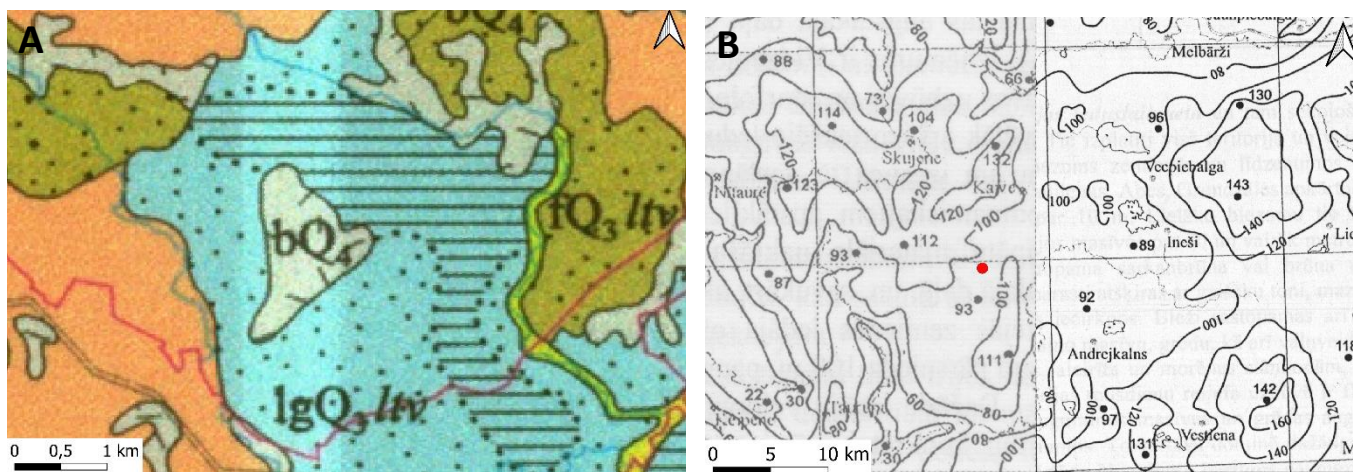
Pētītās teritorijas uzbūve un veģetācija

Niraines purvs ir augstā tipa sūnu purvs, kas ir veidojies reljefa pazeminājumā, pārpurvojoties starppauguru ieplakai. Purvu no visām pusēm apņem egļu un jauktu koku mežs, uz malām kopā ar priedēm aug arī bērzi. Purvs ir ar priedēm apaudzis sūnu purvs, kura malās ir daži grāvji, kuru ūdeņi satek Meltnes upītē, kas tālāk ietek Ogres upē. Ūdens daudzums sfagnos dabīgi valgā purvā svārstās 94,20—95,80%, apakšslānī — 88,80%. Lielākais dziļums sasniedz 4 m, bet vidējais ir aptuveni 2 m. Purva slāņojumā līdz 3 m dziļumam maz un vidēji sadalījusies spilvu-sfagnu kūdra, 3 - 4 m vidēji un labi sadalījusies spilvu-koku-sfagnu kūdra. Purva malās sastop vidēji un labi sadalījušos grīšļu-koku-sfagnu un arī sfagnu-grīšļu-koku kūdras. Purva minerālgrunti

veido glīzds (morēna) un smilts. Kubikmetrs dabīgi valgas kūdras dod sausnes 41,3—57,8 kg un minerālvielu saturs sausnē ir 1,65—3,30% (Nomals 1943).

2.2. Pētītās teritorijas ģeoloģiskais raksturojums Kvartāra nogulumu

Bakalaura darbā tiek pētīti kvartāra nogulumu, kas ietver to virsējo kārtu ar purva nogulumu, līdz pat minerālgruntij. Kvartāra nogulumu kartē (2.3 att.) var redzēt, ka Niraines purvs ir attēlots uz kvartāra perioda Holocēna laikmeta purva nogulumu (bQ₄) (kūdra). Minerālgruntī ir sastopams blīvs pelēks vai brūnganpelēks viendabīgs morēnas smilšmāls vai retāk mālsmilts. Nogulumus veido Lētīžas leduslaikmeta morēna, kas sastāv no sarkanbrūna, ļoti blīva, viendabīga monolīta morēnas mālsmilts, kurai raksturīgs palielināts grants frakcijas saturs. (Vasiļevska, Vircava 2013). Purvs atrodas bijušā pēdējā Vislas apledošanas Valoles sprostezera gultnē, kurā notecēja ledāja kušanas ūdeņi. Par cik purvs ir izvietots ieplakā, tad tā minerālgruntī nogulumu ir mālaināki un pētītā teritorija ir izvietojies starp glaciolimniskajiem nogulumu (lgQ₃ltv). (Zelčs 2018). Tas ir veicinājis to, ka purvs ir veidojies, pārpurvojoties upju un ezeru lēzenajiem krastiem un veidojot purvu masīvu (Nomals 1943, Kalniņa 2021). Kvartāra biezuma kartē var identificēt to, ka purvs ir veidojies pazeminājumā, kurā arī ir veidojusies purvu veidošanās procesam vajadzīgie apstākļi (Gorovņeva, Kalniņa 2006). Kvartāra biezuma sega sasniedz aptuveni 80 – 100 metrus (LU ĢZZF karšu serveris). Tiek lēsts, ka purvā ir 2240 tūkstoši tonnu kūdras krājumi : (Vecpiebalgas novada teritorijas plānojums 2013-2015 I daļa paskaidrojuma raksts 2018).



2.3. Attēls. Kvartāra nogulumu karte (A), Kvartāra biezuma karte (B).

Pirmskvartāra virsma

Pētāmo poligonu veido pirmskvartāra nogulumi no Daugavas svītas (D3dg). Tās biezums varētu sasniegt 15 – 38,7 m. Niraines purvs atrodas Daugavas fāciju centrālajā zonā, kur dominē dolomīti. Piebalgas paugurienē apkārt teritorijai Daugavas svīta robežojas ar augšdevona katlešu svītu (D3ktl), kas ir Vidzemes pacēluma virsma, kas sastāv no terigēnajiem iežiem un mazākā daudzumā karbonātiežiem. (Karušs 2010, Stinkulis 2021).

MATERIĀLI UN METODEDES

Metodika un vieta pētījuma veikšanai tika izvēlēta, ņemot vērā citu autoru līdzīgos pētījumos izmantotos paņēmienus un tehniku (Parsekian et al. 2012, Karušs 2015, Lamsters 2020). Lauka darbi norisinājās 8 dienas, kas tika iedalītas vairākos posmos un izbraukumos. Pirmajā posmā - 2021. gada 4. augustā - tika veikti radiolokācijas darbi. 2. posmā - 2021. gada 30. un 31. augustā un 1., 2., 19., 25., 26. septembrī - tika veikti zondēšanas darbi. Pēc datu iegūšanas tika veikta to apstrāde - un kamerālie darbi.

3.1. Pētījumā izmantotā aparatūra

Radiolokācijas pētījumos tika izmantots Latvijas Universitātes ĢZZF Lietišķās ģeoloģijas katedrā pieejamais SIA “RadarSystems” ģeoradars Zond-12e. Ģeoradars tika nokomplektēts ar datoru un datorprogrammu Prism 2.61. Ģeoradara parametri ir doti 3.1 un 3.2 tabulās.



3.1 Attēls. Ģeoradars Zond 12 ar 300 MHz antenu un Lenovo T450s portatīvo datoru pirms izlūkgājiena uzsākšanas (Dairas Kropes foto 2021. gada 4. augusts).

Ģeoradara Zond-12e raksturojums (izstrādājis autors pēc Radarsystems 2017)

3.1. tabula

| “RadarSystems” ģeoradars Zond-12e | |
|--|--|
| Laika diapazons | Lietotājām maināms no 1-2000 ns ar soli 1 ns |
| Raidītāja impulsa atkārtotības frekvence | 225 KHz |
| Mērījumu skaits vienā zondējumā | 512 mērījumi |
| Izmērs | 35 x 50 x 5.5 cm |
| Svars | 3,2 kg |

Pētījumā izmantotās antenas apraksts

3.2 tabula

| Parametrs | 300 MHz antena |
|--------------------------|-----------------------|
| Izmērs | 94 x 53 x 13 |
| Svars | 13,5 kg |
| Uztvērēja jūtīgums | 120 mcV |
| Uztvērēja pastiprinājums | 10 dB |
| Izšķirtspēja un dziļums | 1.0 x 7-10m* |

3.2. Sagatavošanās darbi un radiolokācijas profilu izvietojums

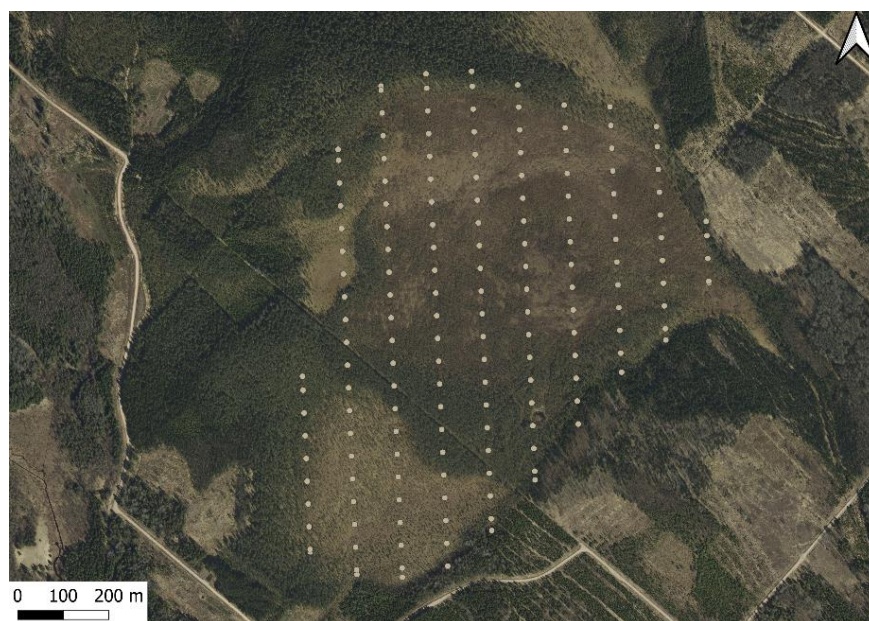
Pirms radiolokācijas veikšanas ģeoradars tika saslēgts kopā ar antenu un portatīvo datoru, ieslēdzot Prism 2.61 datorprogrammu. Uz katra profila punkta tika lietots Emlid reach RS+, kas precīzi fiksēja atrašanās koordinātas, bet Garmin GPSMAP64 (s/n: 3BM001498) tika lietots, lai redzētu, kur atrodas profilu līnijas. GPS koordinātas tika noteiktas pēc EPSG 4326 WGS 84 koordināšu sistēmas.

3.3. Izpētes laukuma izvēles kritēriji un pētījuma objektu izvēle

Izmantojot, VSIA „Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” fondu materiālus un „LU ĢZZF WMS” karšu datubāzē pieejamo 6. cikla ortofoto aerofoto uzņēmumus, tika meklēts purvs ar apvidu, kur augtu pēc iespējas mazāk koku un virsu klātu salīdzinoši daudz veģetācija, pa kuru būtu iespējams pārvietoties ar nokomplektētu ģeoradara aprīkojumu. Tam tika izvēlēts

Niraines augstais kūdras purvs, kurā tika veikta ģeofizikālā izpēte ar ģeoradaru (3.4 att.) un zondējumi (3.5 att.), lai varētu sākt analizēt purva kūdras slāņus, iegulu biezumu un purva gultni, izpildot izvirzītos darba uzdevumus. Kā arī pēc 1943. gada purva izpētes datiem (Nomals 1943) un nesenās 2018. gada ĢZZF studentu Kavartārģeoloģijas lauku prakses purva apsekošanas tika secināts, ka pētāmā teritorijā būs iespējams realizēt pētījuma mērķi.

Ņemot vērā purva platību, kas nepārsniedz 300 ha, un ieapaļo formu tika iegūta 100 x 100 m zondējumu tīkla karte tīklā atbilstoši prasībām, ko nosaka Ministru kabineta noteikumi nr. 570. Radiolokācijas profili tika ierakstīti pararēli viens otram ar 100 m attālumu starp profila līnijām (att. 3.2).



3.2. Attēls Sastādītā koordināšu punktu karte priekš lauka darba mērījumiem. (izmantojot ortofoto 6. cikla karti (pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/>)).

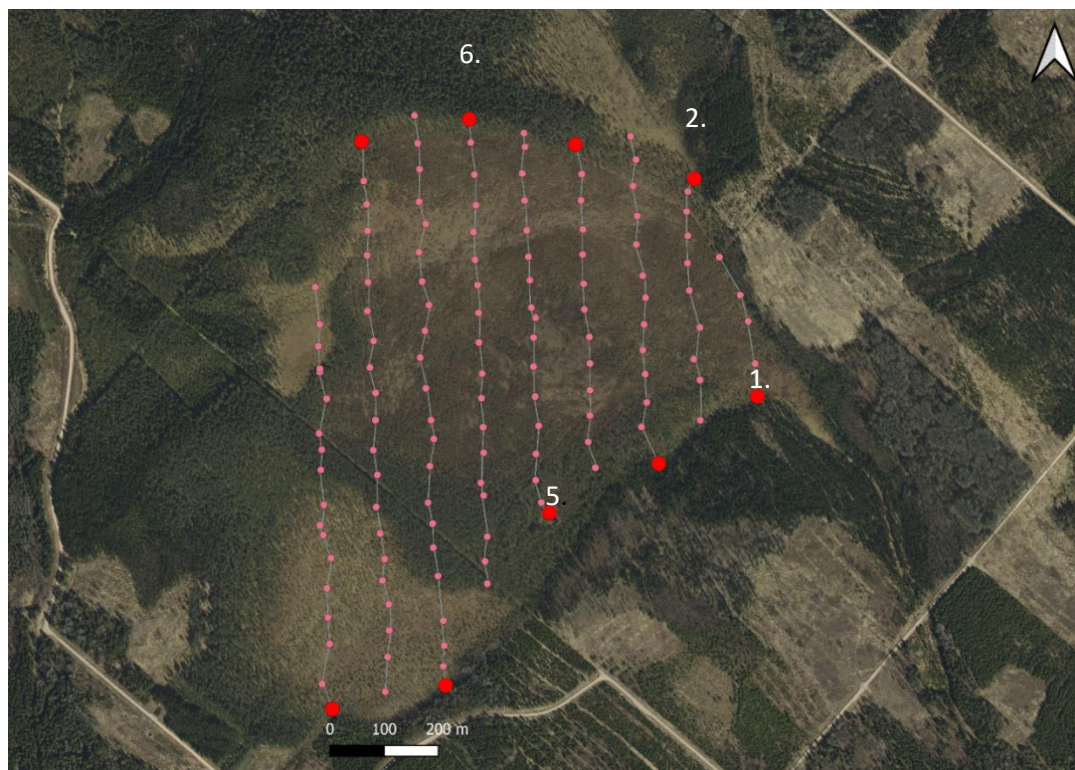
3.4. Lauka darbi

3.4.1. Radiolokācijas profilu iegūšana

1. posma lauka darbi norisinājās netālu no Katrīnas ciema esošajā Niraines purvā. Kopumā radiolokācijas profili veidoja 6425 metrus, ierakstot 126 kvalitatīvus radiolokācijas profilus, kuros ir identificējama purva gultne.

Lai būtu iespējams identificēt un korelēt radiolokācijas datus ar GPS nomērītajiem punktiem, katrs jauns profila ieraksts un līnija tika atdalīta, izmantojot Prism 2.61 iestrādāto “mark” funkciju. Katra ieraksta garums bija plānots 50 m, bet, ņemot vērā purva reljefu un GPS

neprecizitāti, to garums atšķirās. Lauka apstākļos tika secināts, ka pāris punkti, kur sākotnēji tika plānots iegūt radiolokācijas datus, ar izmantoto aparatūru nebija sasniedzami. Tāpēc mērījumi tika veikti pēc iespējas tālāk uz plānotajiem mērījumu punktiem, kas bija sasniedzami, virzoties tik tālu uz purva malām, cik apstākļi - veģetācija un reljefs - to atļāva (att. 3.3.). Tā, piemēram, tuvojoties purva Z malas robežai, ieraksts tika veikts līdz biezi aizauguša meža sākumam.



3.3. Attēls Radiolokācijas profilu un punktu karte (izmantojot ortofoto 6. cikla karti (pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/>)).

Apzīmējumi: Sarkanais punkti – profila sākuma punkti. Rozā punkti – fiksētās koordinātās. Līnijas – aptuvenais radiolokācijas maršruts. Baltie cipari - radiolokācijas profili, kuros tika analizēti atstarojumi radarogrammās. (1. profils ir austrumu pusē, savukārt 9. profils ir galējā rietumu pusē.)



3.4. Attēls Radiolokācijas profilu iegūšanas lauka darbi Niraines purvā, izmantojot 300 MHz antenu sistēmu (Dairas Kropes foto 2021. gada 4. augusts).

3.5 Zondējumu veikšana un analīze

Zondējumu tīkls tika veidots, balstoties uz iegūto radiolokācijas profilu GPS nomērīto koordinātu punktu karti (att. 3.3). Zondējumi tika veikti katrā 2. iegūtajā radiolokācijas profila punktā, lai tas atbilstu 100 x 100 m zondējumu tīklam, kā to pieprasa Ministru kabineta noteikumi nr. 570.



3.5. Attēls Sagatavošanās darbi pirms urbšanas (Rainera Vestmaņa foto 2021. gada 4. augusts).

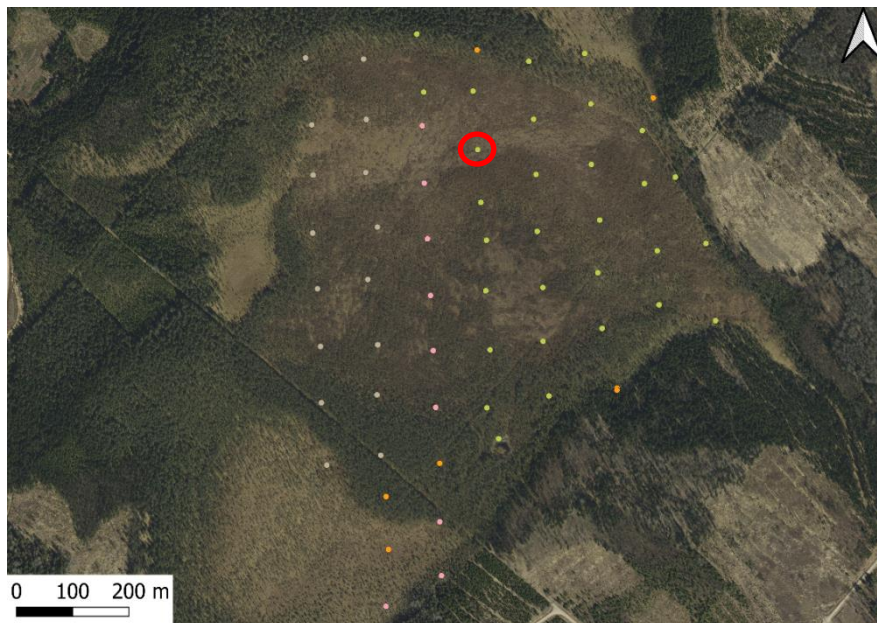
Urbšanas darbiem tika izmantots ĢZZF pieejamais mīksto nogulumu kameras urbis (Russian corer). Tā kameras garums ir 50 cm un diametrs 5 cm. Gadījumos, kad minerālgrunts vēl netika sasniegta vai urbumā bija kaut kas ciets (koka gabals), kur kameras urbis nevarēja iegūt paraugu, tika pielietots 70 mm un 90 mm diametra cilpurbjas uzgalis.

Veicot zondēšanu, lauka darbu apstākļos urbis tika iespiests purva nogulumos attiecīgā dziļumā un pagriezts par 180°, aiztaisot urbja kameru. Izvelkot ārā zondējuma serdi (nogulumu monolītu), iegūtajās kūdras serdēs tika analizētas kūdras īpašības un noteikta sadalīšanās pakāpe. Fiksējot kūdras sadalīšanās izmaiņas pa slāņiem, vizuāli ar rokām un plaukstām sadalīšanās pakāpe tika analizēta pēc Von Posta skalas un sadalīšanās un izmaiņas fiksētas ar mērlenti līdz par purva minerālgruntij. Iegūtie zondējumi tika numurēti ar lapiņu vai uz telefona ekrāna un tika veikta to foto fiksācija ar mobilo tālruni. Iegūtie datu rezultāti tika fiksēti lauka darbu kladē. Katrs zondējums tika piesaistīts pie koordinātām ar Emlid reach RS+, Trimble R4 GPS uztvērējus un Garmin GPSMAP64 (s/n: 3BM001498) iekārtām.



3.6. Attēls Astotā profila (no austrumiem) 6. urbuma 250 – 300 cm dziļumā iegūtā kūdras parauga serde (a); 7. profila urbuma U 7-2 brūnas smilts morēna (b) un 5. profila urbuma U 5-5 pelēcīgas aleirītiska māla minerālgrunts sasniegšana ar cilpurbi (c).

Lauka darbos kopumā tika veikti 62 urbumi no kuriem dziļākais sasniedza 5,25 m, kas tika konstatēts 2. līnijas (no austrumiem) 2. urbumā (no dienvidiem) (att. 3.7) . Visu analizēto kūdras paraugu seržu zondējumu kopējā garuma summa sasniedza 181,11 metrus.



3.7. Attēls Veiktie urbumi līdz purva minerālgruntij. Apzīmējumi: sarkans aplis: urbums 5 - 7 U. (izmantojot ortofoto 6. cikla karti (pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/>)).

3.6. Radiolokācijas profilu apstrāde

Pētījumā iegūtie radiolokācijas profili tika iegūti un apstrādāti Prism 2.61 programmatūrā. Sākotnēji tika izgriezti tie zondējumi, kuros ģeoradars atradās nekustīgā pozīcijā. Tad bija nepieciešams savienot profilus, lai iegūtu garu šķērsriezuma profilu visa purva garumā, lietojot "Profiles combining" rīku. Lai izceltu svarīgos atstarojumus un proporcionāli kompensētu signālu zudumus, tiem izplatoties, tika lietots "Gain" rīks. Kas saistās ar kūdras nogulumiem un slāņu maiņu robežām, lai noņemtu horizontālos signālus, kas nesniedz lietderīgus datus, tika izmantots "Background removal" rīks. Lai pazeminātu ne tik būtisko pārsvarā zemo frekvenču viļņu piesātinājumu radiolokācijas profilā tika lietots "Ormsby Bandpass" filtrs, mainot profila spektru. (Karušs 2013, Lamsters 2020). Datorprogrammā "QGIS 3.20" ar "QChainage" rīku katram profilam tika izveidots attiecīgais punktu skaits, kas atbilst zondējumu skaitam profilā pēc tā apstrādes. Tālāk, izmantojot "Rstudio" programmu, radiolokācijas profiliem tika pievienotas

koordinātas. Tad Prism 2.61 programmā apstrādātajos radiolokācijas profilos ar ‘‘annotations’’ funkciju, izmantojot ‘‘Draw’’ rīku, ar sarkanu marķieri tika interpretēta un izzīmēta purva gultne.

Iegūtā atstarojuma dziļuma noteikšana pēc ģeofizikālās izpētes veikšanas ar ģeoradaru notika ‘‘Prism 2.16’’ programmatūrā. Kūdras nogulumu dielektriskā caurlaidība tika iestatīta kā 64 (ϵ), kā to nereti dara Karušs savos pētījumos (Karušs 2013, Karušs 2015). Veicot zondējumus, šī aptuvenā dielektriskā caurlaidības vērtība sniedza līdzīgu dziļumu kā to iepriekš ģeofizikālās izpētes laikā parādīja ģeoradars, tāpēc lielā daļā gadījumu pirms zondēšanas jau pāris desmitu centimetru robežās bija skaidrs aptuvenais urbuma dziļums līdz minerālgruntij. Bet apskatot (Plado et al. 2011) pētījumu, dielektriskā caurlaidība kūdras nogulumos var atšķirties robežās no 60,1 līdz 75,7 (ϵ) vai pat vairāk atkarībā no kūdras tipa, tāpēc tā tika pārreķināta priekš Niraines purva nogulumiem.

Analizējot radiolokācijas profilus, nogulumu slāņu dziļuma aprēķināšanai no radiolokācijas datiem, tika aprēķināts vidējais elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums kūdras nogulumos. Atsaucoties uz (Karušs 2013, Karušs 2015) pētījumiem, ka purvā, kura kūdras nogulumu dziļums nav liels (līdz aptuveni 5,5 m), purva gultnes dziļuma aprēķināšanai tika izmantots iegūtais vidējais elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums. Lai aprēķinātu ātrumu, tika izmantoti 5 urbumu mērījumu dati, kuros tika sasniegta minerālgrunts un 5 radiolokācijas profilu dati (3.3. tabula), kuros tajās pašās konkrētajās zondējumu vietās saņemto atstarojumu autors ir interpretējis purva gultni.

Aprēķinos tika iegūta dielektriskā caurlaidība kūdras nogulumiem (ϵ , epsilons), lietojot gaismas izplatīšanās ātrumu vakuumā ($c = 299792458$ (m/s)) un elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrumu (v) (Karušs 2015).

Dielektriskās caurlaidības aprēķinu tabula.

| S dziļums (m) | t (s) | v (m/s) | Dielektriskā caurlaidība (ε) | Aprēķināts dziļums (m) |
|---------------|-------------|-------------|------------------------------|------------------------|
| 5,05 | 2,798E-07 | 36097212,29 | 68,97537632 | 5,073552078 |
| 3,9 | 0,000000204 | 38235294,12 | 61,47698146 | 3,69908729 |
| 3,67 | 1,977E-07 | 37126960,04 | 65,20225631 | 3,584850771 |
| 3,36 | 0,000000195 | 34461538,46 | 75,67842455 | 3,535892263 |
| 4,45 | 0,000000249 | 35742971,89 | 70,34934962 | 4,515062428 |

ε vidējais (kūdrai) = 68,3364777

Tas tika aprēķināts, izmantojot formulas: (3.1)

$$S = v \times \frac{t}{2}, \text{ kur} \quad (3.1)$$

S – dziļums, no kura saņemts atstarojums (m);

v – ģeoradara signāla izplatīšanās ātrums nogulumu slāņos līdz atstarotājpvirsmi (m s⁻¹);

t – laiks, pēc kura saņemts atstarojums (s).

$$H(\text{kūdras gultne}) = t(\text{kūdrai}) \times V(\text{kūdrai}) \quad (3.2)$$

t – laiks

H – dziļums

V - ātrums

3.7 iegūto dziļumu mērījumu datu analīze

Iegūtie izpētes purva gultnes dziļuma dati tika apkopoti projicēti datorprogrammā ‘‘Arcmap 10.8.1’’. Tālāk ar ‘‘Kriging 3D analyst’’ rīku dati tika interpolēti, iegūstot 3D modeļus.

Beigās no šī modeļa ar funkciju ‘‘Volume’’ ir tika aprēķināts kūdras tilpums purvā. Tad tika veikts abu datu iegūšanas metožu - zondējumu un radiolokācijas - salīdzinājums, analizējot to atšķirības, trūkumus un precizitāti.

3.8 Purva kūdras tilpuma un derīgo izrakteņu aprēķini

Purva kūdras derīgo izrakteņu aprēķins tika rēķināts pēc 2 metodēm: vidējās aritmētiskās un Arcmap 10.8.1. ‘‘surface volume’’ rīka.

Pēc (Lukša 2019), pieņemot, ka blīvums kūdrai vidēji ~ 300 kg/m³. Ņemot vērā datus no 62 urbumiem (att. 3.7), kas aptver purvu līdz 8. profila 8. urbumam (no Ziemeļiem) tika aprēķināts

aptuvenais tilpums. Tika aprēķināts vidējais katra urbuma dziļums. Tad, salīdzinot tos pret visa purva platību.

Vidējā aritmētiskā metode

$$\frac{181,11 (m)}{62 (urbumu skaits)} * 1\,490\,000 (m^2) = 2,92 m * 1\,490\,000 (m^2) = 4\,350\,800 (m^3)$$

$$300 * 4\,350\,800 = 1\,305\,240\,000 (kg) = 1\,305\,240 (t) \sim 1\,305 \text{ tūkst. tonnas}$$

Pēc radiolokācijas datiem un "Arcmap 10.8.1." "surface volume" rīka metode

Pēc radiolokācijas datiem

$$300 * 2\,081\,185 (m^3) = 624\,355\,761 kg = 624\,355,7 (t) = 6\,243,5 \text{ tūkst. tonnas}$$

Pēc urbumu datiem un "Arcmap 10.8.1." "surface volume" rīka metode

$$300 * 1\,849\,195 = 554\,758\,500 kg = 5\,547,5 \text{ tūkst. t.}$$

REZULTĀTI

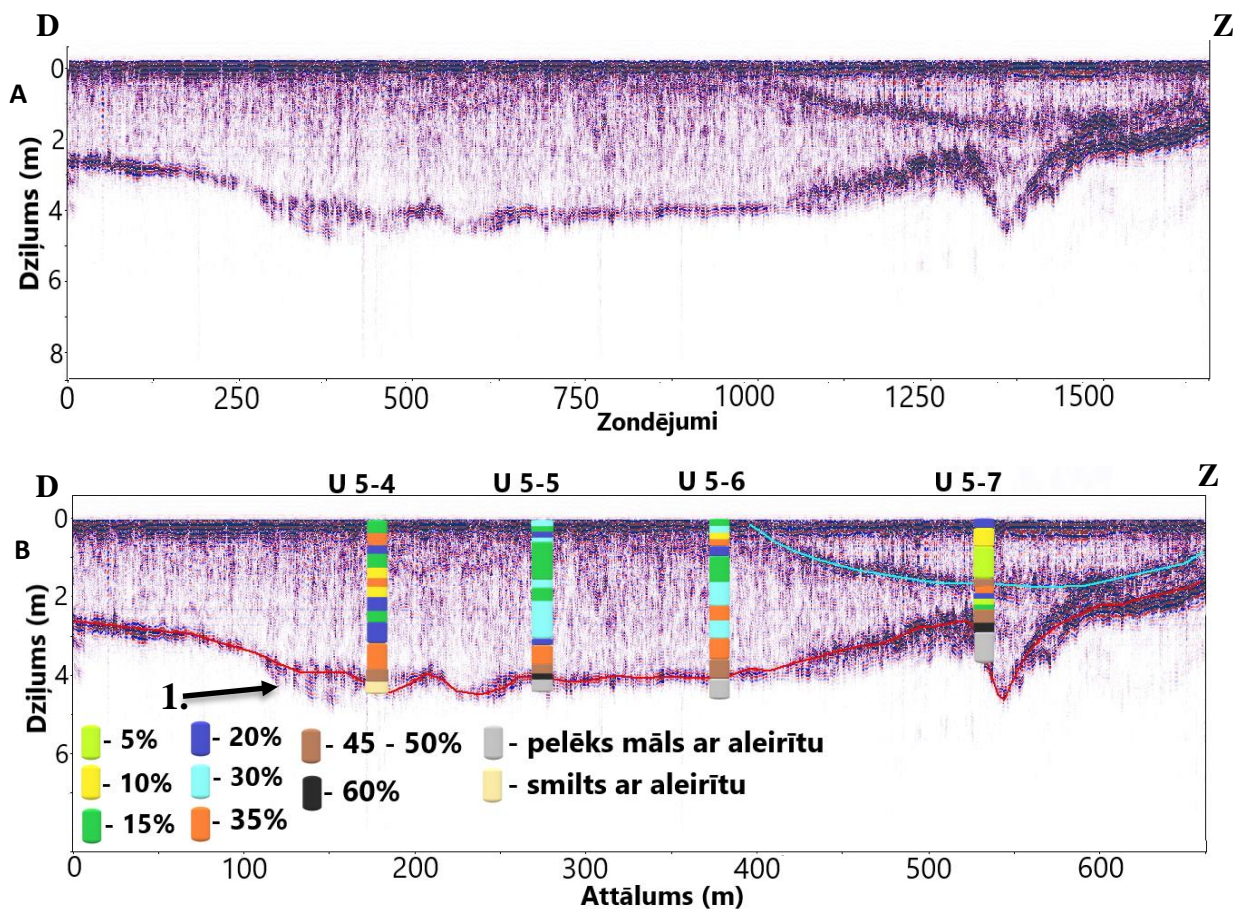
Pētījumā ir apkopoti rezultāti mērījumiem, kas tika iegūti Niraines purvā - ģeofizikālās izpētes laikā ar ģeoradaru un ģeoloģiskās izpētes - zondējumiem līdz purva gultnei.

4.1 Radiolokācijas profilu analīze

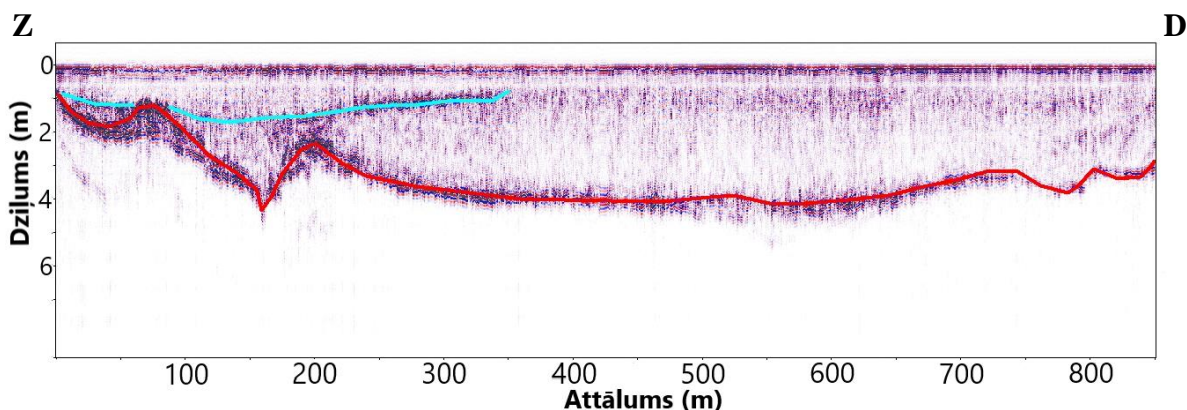
Lielā daļā profilu vidusdaļā atstarojumus ir grūti identificēt, tāpēc tur interpretācija ir salīdzinoši grūta, bet iezīmējas arī spilgtas pārejas, kur strauji izmainās elektromagnētiskās īpašības nogulumos (Karušs 2015). Vispēcīgākais atstarojums ir interpretējams ar purva gultni, kas ir saņemts pat pēc salīdzinoši liela laika intervāla (4.1. att.; 4.2. att. ; 4.3. att. - sarkana līnija). Šis izteiktais atstarojums ir izsekojams visā purva profila garumā, tāpēc tas arī reprezentē purva gultnes reljefa izmaiņas. Visu urbumu dati apstiprina kūdras nogulumu izmaiņas, kur kūdras slāni pie minerālgrunts nomaina morēna (4.5. att.; 4.6. att.; 4.7. att.).

Apskatot 5. radiolokācijas profilu (4.1. att.), ir iespējams identificēt to, ka profila ZA daļā 0,65 m dziļumā, sākot ar 400 m atzīmi, iezīmējas spēcīgs atstarojums. Tas pakāpeniski padziļinās, līdz pat 550 m, sasniedzot aptuveni 1,7 m dziļumu. Tālāk tas turpinās līdz pat profila beigām, samazinot dziļumu, izveidojot ieapaļu formu. Tas, ka lielā daļā gadījumu dziļāk par minerālgrunti signāls un pārējie atstarojumi strauji pavājinās, līdz nav saskatāmi vispār, ir skaidrojams ar pelēcīgiem aleirītiskiem māla nogulumiem zem kūdras slāņiem (3.6. att. c) (Comas et al. 2014). 70 m pirms un ap urbumu (U 5-4) signāls tik ātri nepavājinās, kas varētu būtu saistīts ar to, ka minerālgruntī tika identificēta tumša aleirītiska smilts (3.6. att. b).

Otrs spilgtākais atstarojums saistās ar strauju kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņām nogulumos (4.1. att. B; 4.2. att. - zilā līnija). Ļoti straujas kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņas tika konstatētas 3.7. attēla 5. profila urbumā (U 5 - 7) . To labi parāda urbumu seržu analīze. Urbuma 3. serdē (4.7. att. C) 1,17 m dziļumā kūdras sadalīšanās pakāpe pēkšņi nomainījās no 5% uz 45%, kāda tā turpinājās līdz 1,30 m dziļumam. Acīmredzot šāda sadalīšanās pakāpe radīja pietiekamas elektromagnētisko īpašību izmaiņas kūdras nogulumos, lai atstarojums varētu parādīties arī radiolokācijas profilos tik spilgti, lai to būtu iespējams interpretēt, izzīmējot tā robežas radarogrammā.

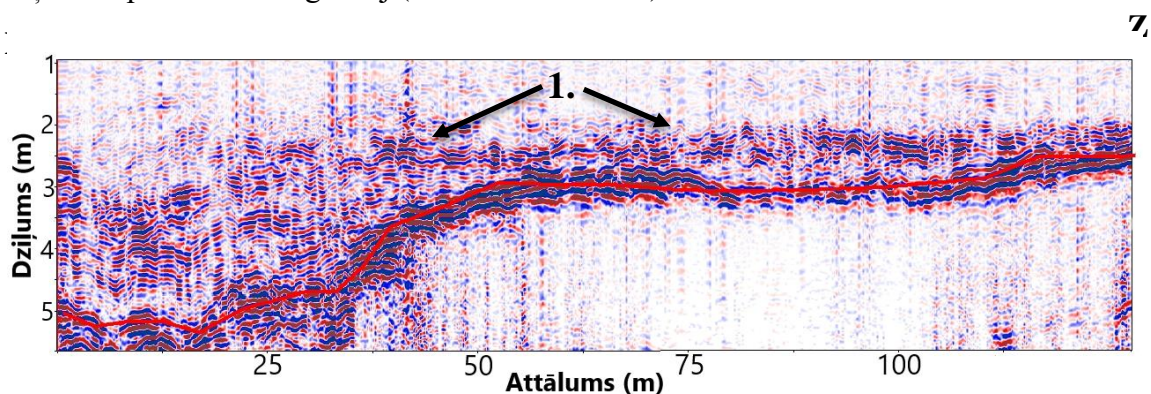


Līdzīgas kūdras sadalīšanās pakāpes izmaiņas var novērot arī 6. radiolokācijas profila analīzes rezultātos (4.2. att.).



4.2. Attēls 6. profila radarogramma. Apzīmējumi: Sarkana līnija - Purva gultne. Zilā līnija - Strauja kūdras sadalīšanās pakāpes maiņa (no 10 % uz 40%); Z - ziemeļi, D - dienvidi;

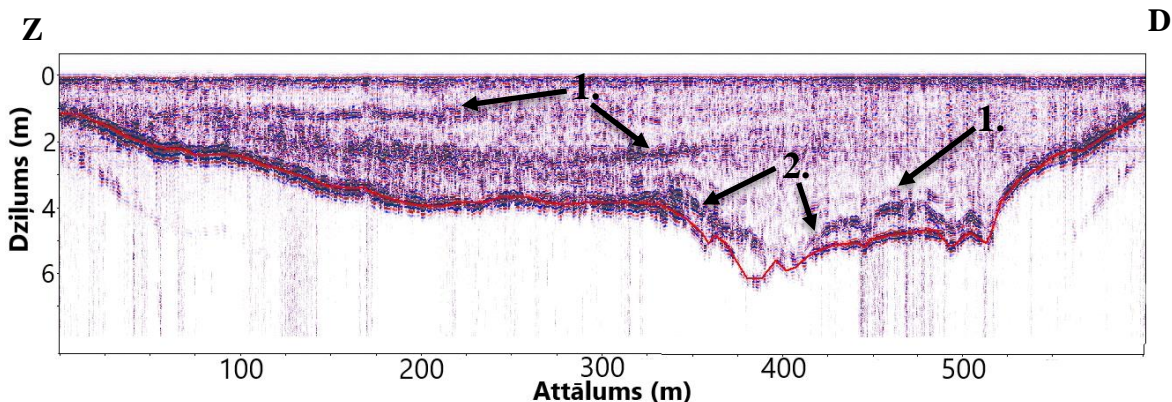
Ir vēl atstarojumi, kurus var identificēt periodiski, bet kas diezgan spilgti iezīmējas starp kūdras nogulumu slāņiem. Šādu slāni var identificēt 1. un 2. radarogrammās (4.3. att. un 4.4. att.) Pēc urbumu datiem šajās vietās iezīmējas kūdras slānis ar paaugstinātu koksnes jeb koku gabaliņu un zariņu (pāris cm lielumā) saturu. Ticamību atstarojumam pastiprina zondējumā atrastie koka gabaliņi tuvu purva minerālgruntij (4.5. att. un 4.6. att.)



4.3. Attēls 1. profila radarogramma. Apzīmējumi: sarkana līnija - purva gultne; 1. - atstarojums, kas saistās paaugstinātu koksnes gabaliņu saturu; Z - ziemeļi, D - dienvidi;

Pēc visu profilu interpretācijas visdziļākā purva gultne tika identificēta 2. radiolokācijas profila (4.4. att.) ap 380 m, sasniedzot 6,23 m dziļumu. Konkrēti 2. profilam aptuveni 1 un 2 metru dziļumā iezīmējas spilgti atstarojumi, kas varētu būt saistīts ar paaugstinātu koksnes saturu jeb koka gabaliņiem, kas palikuši no maz sadalījušajās veģetācijas (4.4. att. - 1.). Kā arī aptuveni no 350. līdz 525. m tuvu purva gultnei iezīmējas koku gabaliņu slānis, kura iegulu forma ir ļoti līdzīga

purva gultnei, kas sākas pelēcīgu aleirītisku smilti, ko dziļākos slāņos nomaina pelēcīgs aleirītisks māls (4.4. att. - 2.).



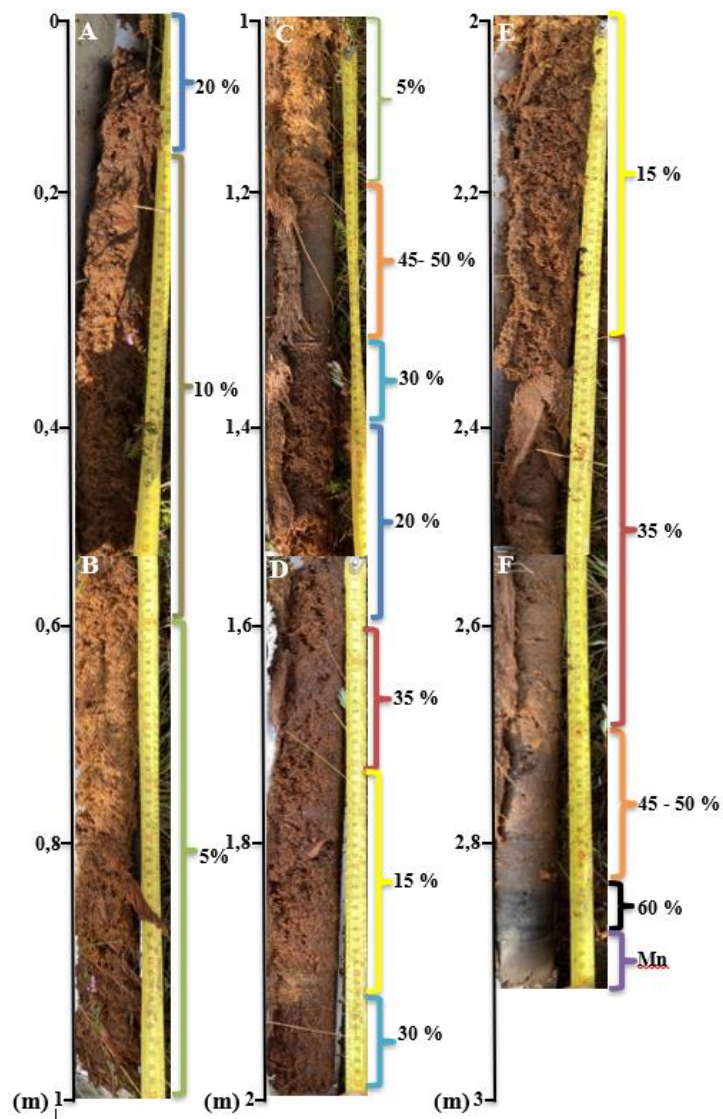
4.4. Attēls. 2. radiolokācijas profila radarogramma. Apzīmējumi: sarkana līnija - purva gultne; **1.** - atstarojumi, kas saistās ar ar paaugstinātu koksnes gabaliņu saturu kūdrā **2.** - Atstarojums, kas parāda kūdras robežu ar pelēcīgu aleirītisku smilti.



4.5 Attēls 2. profila urbuma U 2-2 3,5 - 4 m dziļumā ar redzamiem koka gabaliņiem kūdrā (līdz 3,9 m), kur tos dziļāk nomaina minerālgrunts (**A**); 8. profila urbuma U 8-8 serde 2,5 - 3 m dziļumā - pirmie 0,06 m veido kūdru ar 60% sadalīšanos pakāpi, ko nomaina minerālgrunts ar koksnes gabaliņiem (**B**) un 8. profila urbuma 8 -8 serde 1 - 1,5 m dziļumā ar identificētu koka gabaliņu slāni kūdrā.

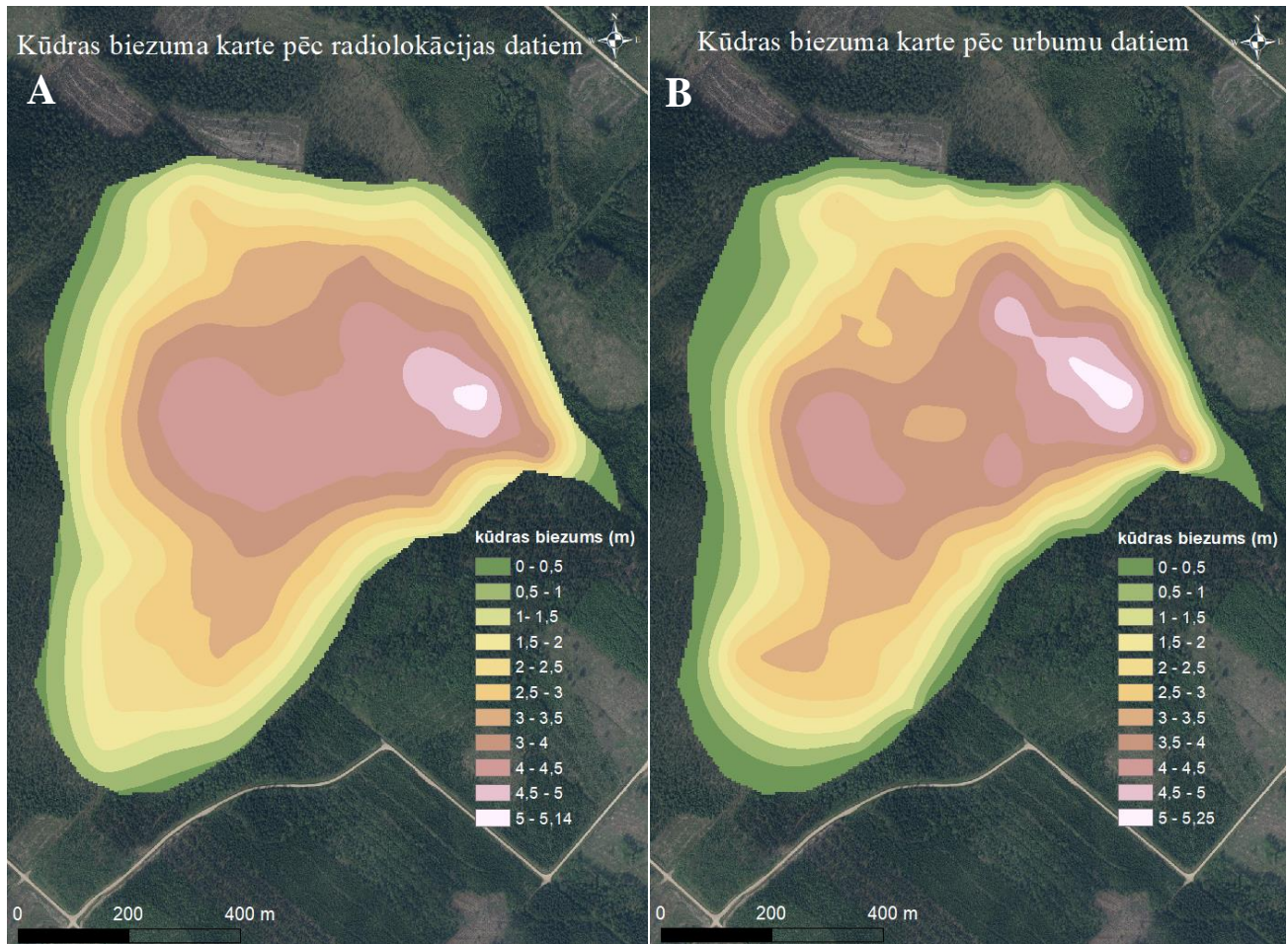


4.6 Attēls 1. profila urbums U 1-1 1,5 līdz 2 m dziļumā, kur 0,27 m kūdras slānis ar koksnes gabaliņiem nomaina minerālgrunts, kas sastāv pelēcīgas aleirītiskas smilts.



4.7. Attēls 5. profila urbuma U 5-7 kūdras Apzīmējumi: cipari - urbumu dziļums (m); % - kūdras sadalīšanās pakāpe, Mn - minerālgrunts.

4.2 Iegūto datu interpolācija



4.8. attēls (A) kūdras biezuma karte pēc radiolokācijas datiem un (B) kūdras biezuma karte pēc urbumu datiem.

Kūdras biezuma kartes pēc radiolokācijas analīze

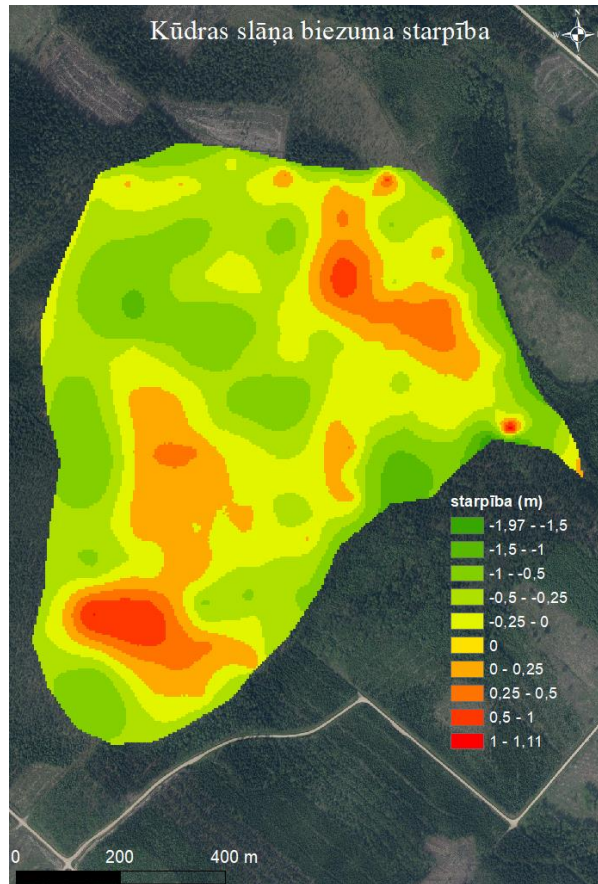
Apskatot kūdras biezuma karti pēc radiolokācijas datiem (4.8. att. A), tad ir iespējams identificēt to, ka aptuveni 200 m no purva austrumu malas ir 2280 m² liels apvidus, kur kūdras slānis pārsniedz 5 m, sasniedzot vislielāko dziļumu. Purva kupola centrālajā daļā kūdras slānis veido reģionu ar otru lielāko kūdras biezuma slāni, kas pārsniedz 4 m biezumu. Tas pakāpeniski samazinās virzienā uz purva malām.

Kūdras biezuma kartes pēc urbumu datiem analīze

No kūdras biezuma kartes pēc urbumu datiem (4.8. att. B) 200 m no purva austrumu malas likumsakarīgi iezīmējas aptuveni 4860 m² apvidus, kur kūdras slānis pārsniedz 5 m biezumu, sasniedzot arī dziļāko urbumos konstatēto purva punktu (5,25 m), kas ir ticis identificēts 2. līnijas no austrumiem 4 urbumā no augšas. No tā aptuveni 400 m uz ZR iezīmējas reģions, kur kūdras biezums pārsniedz 4 m. Kūdras biezums, kas pārsniedz 4 m dziļumu ir identificēts arī centrālajā daļā ar nelielu novirzi uz rietumiem. Virzienā uz purva malām tas pakāpeniski samazinās.

Iegūto un interpretēto datu salīdzināšana

Pēc kūdras biezuma kartes no radiolokācijas datiem (4.8. att. A) atņemšanas no kūdras biezuma kartes pēc urbumu datiem (4.8. att. B) ir iespējams saskatīt to, ka iegūtie dati savstarpēji ir līdzīgi. Apgabali, kur purva maksimālais dziļums tika identificēts ar ģeoradaru, arī urbuma dati liecina par padziļinājumu (4.9. att.). Purva malā ģeofizikālie dati uzrāda pat 1,97 m lielāku padziļinājumu, bet ir apvidi, kur urbuma dati ir par 1,11 m lielākā dziļumā. ZR daļā ir neliels apvidus, kur atšķirība pat pārsniedz 1 m ar nelielu punktu arī pašos poligona Austrumos. Kopumā absolūti lielākā daļa mērījumu atšķiras par mazāk kā 1 m ar lielu daļu datiem, kas atšķiras par mazāk kā 0,5 m vai pat 0,25 m.



4.9. attēls. Kūdras biezuma kartes pēc radiolokācijas datiem (4.3. att.) un kūdras biezuma kartes pēc urbumu datiem (4.4. att.) salīdzinājums.

4.3 Purva tilpuma aprēķini

Pēc vidējā aritmētiskā aprēķināšanas no urbumu datiem iznāk, ka purvā ir 1 305 tūkst. tonnas kūdras. Pēc Arcmap 10.8.1. "surface volume" rīka iznāk 5 547,5 tūkst t, savukārt pēc ģeofizikālajiem datiem iznāk visvairāk 6 243,5 tūkst. t.

Iegūto tilpumu un derīgo izrakteņu apjoma salīdzinājums

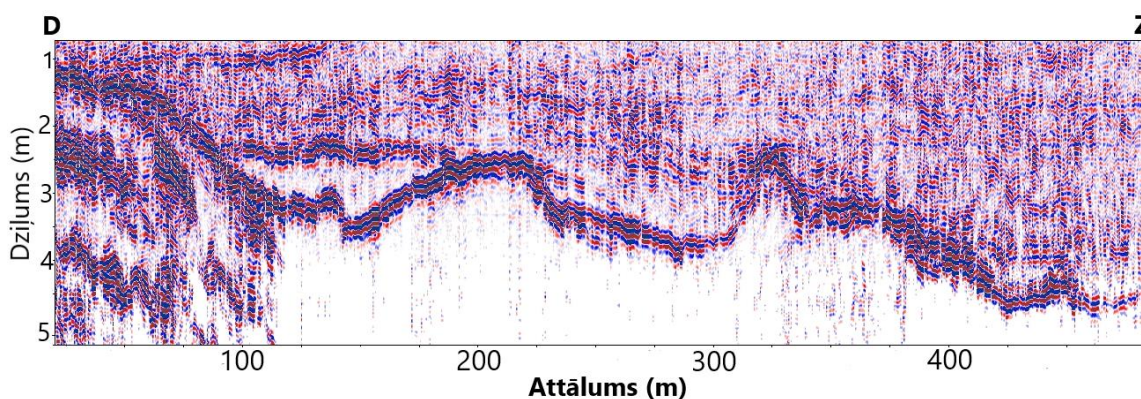
Ja salīdzina iegūtos tilpuma datus, tad var secināt to, ka to aprēķins atšķiras. Pēc radiolokācijas datiem tas ir 2081185,87 m³, kas sastāda 6 243,5 tūkst. tonnas kūdras, savukārt urbuma datiem tas ir 1849195,43 m³, kas veido 5 547,5 tūkst t.. Līdz ar to arī prognozētais kūdras krājumu aprēķins tonnas vislielākais sanāk pēc ģeoradara datiem. Pēc vidējās aritmētiskās metodes tilpums ir 4 350 800 (m³), līdz ar ko arī derīgo izrakteņu daudzums ir vismazākais ~ 1 305 tūkst.

tonnas. To, iespējams, var skaidrot ar to, ka mērījumi klāja mazāku laukumu, un tajos netika izmantoti arī interpolācijas dati.

Paaugstināts kūdras tilpuma daudzums, lietojot radiolokācijas datus ir skaidrojams ar to, ka aprēķinos tika izmantoti vairāk punkti, kas izvietoti lielākā blīvumā purva gultnē, tādējādi apklājot arī lielāku laukumu no pētāmā poligona.

DISKUSIJA

Apskatot purva gultnes signāla atstarojumu, ir iespējams identificēt salīdzinoši platu joslu, kurā ir iespējams izzīmēt saņemto signālu. Ir zināms tas, ka purva minerālgrunts robeža diezgan skaidri iezīmējas urbumu datos, bet, analizējot radiolokācijas datus, situācija kļūst krietni komplicētāka. Apskatot 7. radiolokācijas profilu (6.1. att. un 6.2. att.), atspoguļojas vairākas lietas.

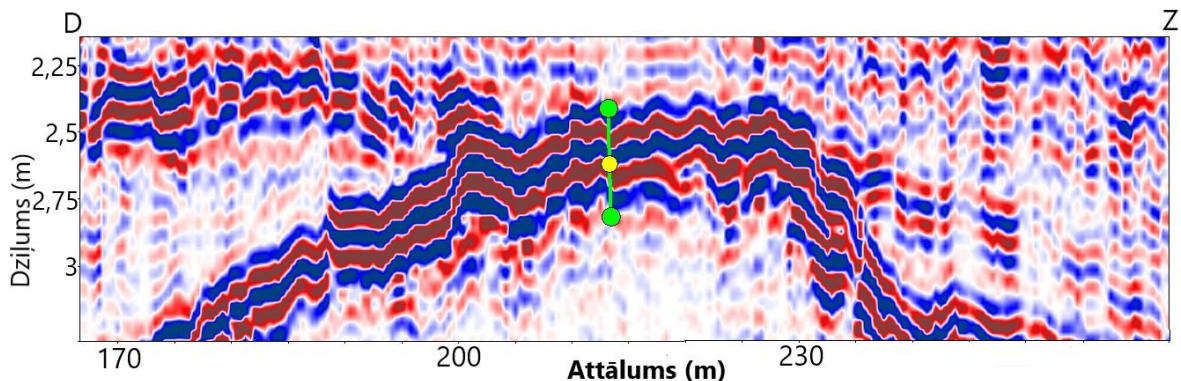


6.1. Attēls 7. radiolokācijas profila pietuvinājums. Z - ziemeļi, D - dienvidi.

Interpretētā atstarojuma zonu 1,5 periodus liels atstarojums, kas kopumā veido platjoslas signālu. (6.2. att. D). Attālums no augšējās, kas atrodas 2,42 m dziļumā, (augšējais zaļais punkts) līdz apakšējai, kas atrodas 2,78 m dziļumā, (apakšējais zaļais punkts) līnijai ir 26 cm. Tas nozīmē, ka interpretāciju ir iespējams veikt 26 cm robežās, kas arī paver iespēju dažādi noteikt purva gultnes robežu, analizējot radiolokācijas profilus. Tālāk to korelācijas var būt atšķirīga no iegūtajiem urbuma datiem aptuveni 26 cm robežās. Tas ir vairāk kā puse no vienas kameras tipa urbja serdes. Tāpēc ir vērts turpmākajos radiolokācijas pētījumos purvā nolemt, pa kuru joslu veikt interpretāciju robežas slānim starp dažādiem nogulumiem, lai pēc iespējas precīzāk noteiktu un korelētu interpretējamos ģeofizikālos datus ar patiesajiem ģeoloģiskajiem datiem dabā.

Lai dati būtu pēc iespējas precīzāki, ir jāveic vairākas datu interpretācijas pa katru no izzīmētajām līnijām, salīdzinot katrus iegūtos datus ar urbuma datiem, kas ir uzurbti tieši

konkrētajā vietā. Tas prasītu veikt jaunu pētījumu un vēl papildus urbumus ar uzsvāru pētīt tieši šo problēmu, atrodot to atstarojumu, kas visprecīzāk reprezentē reālo situāciju dabā.



6.2. Attēls 6.1 attēla pietuvinājums un analīze. Apzīmējumi: Augšējais zaļais punkts - augšējā atstarojuma interpretācijas robeža - 2,42 m; Apakšējais zaļais punkts - apakšējā atstarojuma interpretācijas robeža. 2,78 m Dzeltenais punkts - atstarojuma viduspunkts; Z - ziemeļi, D - dienvidi.

Risinājums interpretācijai varētu būt izzīmēt purva gultni pa pusperioda atstarojuma vidus līniju. Ja atstarojums sastāv no 7 līnijām, kā tas ir redzams 2. attēla D sadaļā, tad tas var būt punkts, kas atrodas uz 4. līnijas no Ziemeļiem vai dienvidiem - paspilgtinātā atstarojuma centrālajā daļā.

Protams, šo metodi vēl būtu jāpārbauda, tāpēc nākotnē ir iespēja ierosināt vai izvērst pētījumus ar domu precizēt šo jautājumu par atstarojumu robežu interpretāciju kūdras nogulumos purvā.

Datu precizēšana pēc urbumu metodes

Pēc 1943. gada (Nomals 1943) apsekojuma purva dziļums tika definēts līdz 4 m, savukārt pēc 2021. gada apsekojuma dziļums ir 5,25 m. Pēdējos 78 gados kūdras iegulu dziļums nevarētu būt palielinājies par 1,25 m, tāpēc var uzskatīt, ka šajā purvā ir izdevies atrast dziļākus kūdras nogulumus.

Līdzšinējais Niraines purva kūdras derīgo izrakteņu uzskaitē

Pēc Vecpiebalgas novada plānojuma kūdras krājumi purvā tika noteikti ap 2240 tūkst. t. (*VECPIEBALGAS NOVADA TERITORIJAS PLĀNOJUMS, 2018*). Nav noskaidrots, kāds kūdras blīvums tika pieņemts un cik lielā poligonā krājumi tika rēķināti. Bet pēc veiktā pētījumā kūdras krājumi purvā tiek lēsti kā 2 līdz gandrīz par 3 reizes lielāki. Tas rosina jautājumu par to, vai par

aprēķinu pamatu netika ņemti vērā līdzšinējie pētījumi, ko ir veicis, piemēram, pētnieks Nomals, (Nomals 1943) kurš aprakstīja, ka purva gultne ieguļ 4m dziļumā. Savukārt līdzšinējais pētījums pierāda, ka purva gultne ieguļ 5,25 m dziļumā pēc urbumu datiem vai pat 6,23 m dziļumā pēc ģeoradara datiem.

Secinājumi

Pēc lauka darbos iegūto un kamerālo darbu datu analīzes ir iespējams secināt, ka:

Kūdras nogulumos, kur sadalīšanās pakāpe strauji izmainās, ir iespējams identificēt atstarojumu un to interpretēt, izzīmējot tā izplatības robežas profila garumā.

Koka gabaliņu slāņi kūdras nogulumos urbuma seržu datos parāda to, ka arī radarogrammās tādā pašā dziļumā ir iespējams identificēt spilgtu atstarojumu.

Ģeofizikālā izpēte ar ģeoradaru ļauj detalizētāk interpretēt purva gultnes reljefu nekā urbumu metode.

PATEICĪBAS

Arī lauka darbu izstrādē liels paldies jāsaka Kārlim Emīlam Vītolam, Dairai Kropei, Ignacio Dieguez Fernandez un Senijai Ozolai un Elzai Martinovai.

Paldies Guntaram un Ilzei Vestmaņiem par transporta sagādi uz pētāmo poligonu un silta biroja sagādāšanu, kur bija iespējams veikt kamerālos darbus.

Paldies arī Baibai Mikai par pajumtes nodrošināšanu Ērgļos no kurienes bija ļoti ērti piekļūt Niraines purvam, kā arī Guntaram Mikam par palīdzēšanu salabot kameras tipa zondes uzgali.

Paldies arī Lodes muižas personālam par atļauju dzīvot pāris dienas stacionārā, kamēr tika veikts pētījums.

Paldies visam LU personālam, kas deva ieteikumus un idejas darba izstrādes laikā.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētie avoti

Barreto, Carlos & Lindo, Zoë. 2020. *Decomposition in Peatlands: Who Are the Players and What Affects Them?*. *Frontiers for Young Minds*. 8. 1–9. 10.3389/frym.2020.00107.

Benedetto, A., & Benedetto, F. 2014. Application Field–Specific Synthesizing of Sensing Technology. *Comprehensive Materials Processing*, 393–425. doi:10.1016/b978-0-08-096532-1.01315-7

Berk, Z. (2009). *Centrifugation*. *Food Process Engineering and Technology*, 217–232. doi:10.1016/b978-0-12-373660-4.00009-0

Biteniekš Reinis, Kalniņa Laimdota 2017. *Izstrādāto purvu kūdras slāņu īpašību raksturojums*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Boelter, D.H. 1968. *Important physical properties of peat materials*. Department of Energy, Minds and Resources and National Research Council of Canada: 150-154.

Campos, José & Silva, Alexandre & Vidal-Torrado, Pablo. 2012. *Mapping, organic matter mass and water volume of a peatland in Serra do Espinhaço Meridional*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36. 723-732. 10.1590/S0100-06832012000300004.

Comas, X., Slater, L., & Reeve, A. S. 2011. *Atmospheric pressure drives changes in the vertical distribution of biogenic free-phase gas in a northern peatland*. *Journal of Geophysical Research*, 116(G4). doi:10.1029/2011jg001701

Comas, X., Terry, N., Slater, L., Warren, M., Kolka, R., Kristiyono, A., Darusman, T. 2015. *Imaging tropical peatlands in Indonesia using ground-penetrating radar (GPR) and electrical resistivity imaging (ERI): implications for carbon stock estimates and peat soil characterization*. *Biogeosciences*, 12(10), 2995–3007. doi:10.5194/bg-12-2995-2015

Comas, X., Terry, N., Slater, L., Warren, M., Kolka, R., Kristiyono, A., Sudiana, N., Nurjaman, D., and Darusman, T. 2014. *Imaging tropical peatlands in Indonesia using ground-penetrating radar (GPR) and electrical resistivity imaging (ERI): implications for carbon stock estimates and peat soil characterization*, *Biogeosciences*, 12, 2995–3007, <https://doi.org/10.5194/bg-12-2995-2015>, 2015.

Gatis N., D.J. Luscombe, D. Carless, L.E. Parry, R.M. Fyfe, T.R. Harrod, R.E. Brazier, K. Anderson, 2019. *Mapping upland peat depth using airborne radiometric and lidar survey data*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.041>.

Gorovņeva Ilze, Kalniņa Laimdota. 2006. *Purvu veidošanās Rūjas un Sedas pazeminājumos*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Jaenicke Julia, 2010. *3D modelling and monitoring of Indonesian peatlands aiming at global climate change mitigation*. Dissertation Fakultät für Biologie Ludwig-Maximilians-Universität München.

Karušs Jānis, Segliņš Valdis. 2010. *Pētījumi ar ģeoradaru Taurenēs apkārtnes smilšu iegurās*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Krūmiņš Jānis 2016. *Kūdras sastāva ietekme uz metālisko elementu akumulāciju zemajos purvos*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Lamsters Kristaps, Karušs Jānis, Ješkins Jurijs, Džeriņš Pēteris. 2020. *Mapping of large-scale diapir structures at the paleo-ice tongue bed in western Latvia from geophysical investigations and borehole data*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Lowry, C. S., Fratta, D., & Anderson, M. P. 2009. Ground penetrating radar and spring formation in a groundwater dominated peat wetland. *Journal of Hydrology*, 373(1-2), 68–79. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.04.023

Lukša, Diāna Jana, Kalniņa Laimdota 2019. *Kūdru veidojošo augu sastāva un īpašību izmaiņas Laugas purva attīstības gaitā*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Markots Aivars 2011. *Plakanvirsas pauguru morfoloģija, uzbūve un veidošanās apstākļi salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs Latvijā*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Nomals Prof. P. 1943. *Zemes bagātību pētīšanas institūta raksti*. Vidzemes un Latgales purvu apraksts.

Ozola Ilze 2013. *Holocēna organogēnie nogulumu un to uzkrāšanās apstākļu izmaiņas purvos Ziemeļvidzemē*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Parry Lauren, Joseph Holden, Pippa Chapman, Jared West, John Dinsdale, Richard Roberts 2012. *Using ground penetrating radar to map peat condition at a condition at a landscape scale*. 14th International peat Congress

Parsekian, A. D., Slater, L., Ntarlagiannis, D., Nolan, J., Sebesteyen, S. D., Kolka, R. K., & Hanson, P. J. 2012. *Uncertainty in Peat Volume and Soil Carbon Estimated Using Ground-Penetrating Radar and Probing*. *Soil Science Society of America Journal*, 76(5), 1911. doi:10.2136/sssaj2012.0040

Pereira, D., Dias, E. & Ponte, M. 2017. *Investigating the internal structure of four Azorean Sphagnum bogs using ground-penetrating radar*. Mires and Peat, 19(13), 1-19. doi:10.19189/MaP.2016.OMB.259

Plado, J., Sibul, I., Mustasaar, M., & Jõelet, A. 2011. *Ground-penetrating radar study of the Rahivere peat bog, eastern Estonia*. Estonian Journal of Earth Sciences, 60(1), 31. doi:10.3176/earth.2011.1.03

Ryazantsev, P., & Mironov, V. 2018. *Study of peatland internal structure by the Ground Penetrating Radar*. 2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). doi:10.1109/icgpr.2018.8441680

Rogers Salman Samson, Andrew Clague and Hans-Dieter Viktor Boehm 2012. *Ground Penetrating Radar Mapping of Peat Depth*. Conference: International Symposium on Wild Fire and Carbon Management in Peat-Forest in Indonesia.

Salmane Līga. 2010. *Glaciālo ezeru aizaugšanas intensitāte Vidzemes augstienes Mežoles pauguraines centrālajā daļā*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Silvestri, S., Knight, R., Viezzoli, A., Richardson, C., Anshari, G. Z., Dewar, N., Comas, X. 2019. *Quantification of peat thickness and stored carbon at the landscape scale in tropical peatlands: A comparison of airborne geophysics and an empirical topographic method*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface. doi:10.1029/2019jf005273

Sinyutkina, A. A. 2018. *Investigating the peat deposits of the Great Vasyugan Mire margin using ground-penetrating radar*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 211, 012066. doi:10.1088/1755-1315/211/1/012066

Vasiļevska Ginta, Vircava Ilze. 2013. *Mālu minerālu ģenēze augsnēs uz morēnas cilmiežiem spinduļu mežā*. Rīga, Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds.

Elektroniskie resursi

Kalniņa L. *Purvi Latvijā*. Nacionālā enciklopēdija 2021. <https://enciklopedija.lv/skirklis/27677-purvi-Latvijā> (skatīts 31.01.2022).

Zelčs V. *Latvijas reljefs*. Nacionālā enciklopēdija. <https://enciklopedija.lv/skirklis/26548-Latvijas-reljefs> (skatīts 22.05.2022).

LVGMC pārskats 2021. *Pārskats par kūdras atradnes inventarizācijas darbiem un kūdras krājumu aprēķinu.* (skat. 08. 11. 2021.) Pieejams https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5dpCcGHgKuAJ:https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Geologija/Geologiska_izpete/3_kudras_ieguves_lauku_inventari_zacijas_parskats_PARAUGS.doc+&cd=2&hl=lv&ct=clnk&gl=lv

Priede A., Gancone A. (red.) 2019. *Kūdras ieguves ietekmētu teritoriju atbildīga apsaimniekošana un ilgtspējīga izmantošana.* Baltijas krasti, Rīga. Pieejams [LIFE REstore grāmata 1.pdf](#)

Radarsystems 2017. *Georadara Zond – 12e apraksts.* Sk. 2.29.2021. Pieejams: <http://www.radsys.lv/en/products-soft/products/prod/4>

Rokus Mike 2020. *History of the von Post Scale.* Duluth MLRA SSOL. Pieejams [file:///C:/Users/Rainers/Downloads/von_Post%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Rainers/Downloads/von_Post%20(2).pdf)

Stinkulis Ģ. *Latvijas ģeoloģiskā uzbūve.* Nacionālā enciklopēdija. Pieejams <https://enciklopedija.lv/skirklis/26128-Latvijas-ģeoloģiskā-uzbūve> (skatīts 08.02.2022).

Šnore, A., 2013. *Kūdras ieguve.* Nordik, Rīga, lpp. 73-74. Pieejams https://restore.daba.gov.lv/public/lat/aktivitates_un_rezultati/rokasgramata_kudras_ieguves_ietekmetu_teritoriju_atbildiga_apsaimniekosana_un_ilgtspējiga_izmantosana/

Kalniņa L., Namatēva A. *Teiču purvu masīvs.* Nacionālā enciklopēdija. Pieejams <https://enciklopedija.lv/skirklis/30734-Teiču-purvu-masivs> (skatīts 22.05.2022).

Von Post L., Granlund E. 1926. *Peat Resources in Southern Sweden.* Yearbook, Stockholm, 19.2 Series C, No. 335, 127 pp. Pieejams <https://www.blacklandcentre.org/the-science/von-post-humification-scale/>

ГОСТ 10650-72 Торф. 1974. *Метод определения степени разложения.* Pieejams: <https://docs.cntd.ru/document/1200024140>

Vecpiebalgas novada teritorijas plānojums 2013-2015 I daļa paskaidrojuma raksts. 2018. *Lauku vide. Dabas vide, resursi, derīgie izrakteņi.* Pieejams: https://vecpiebalga.lv/wp-content/uploads/2018/05/Pask-raksts-1.sej_3_laukuvide.pdf

Kartogrāfiskais materiāls

Fizioģeogrāfiskā karte. Karšu izdevniecības Jāņa Sēta Fizioģeogrāfiskā karte mērogā 1:400 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/>

LĢIA LiDAR DEM ēnojuma mozaīka, izgatavota no LĢIA LiDAR datiem. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/>

LVGD Pirmskvartāra. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Pirmskvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/>

LVGD Kvartāra nogulumu karte. Latvijas Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kvartāra nogulumu karšu mozaīka M1:200 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/>

LVMGEO 7. cikla ortofoto karte Pieejams: <https://lvmgeoserver.lvm.lv/geoserver/public/wms?>

Normatīvie akti

Ministru kabineta noteikumi *Likums "Par zemes dziļēm"*. Pieņemts 02.05.1996. Latvijas Republikas Saeima. Pieejams <https://likumi.lv/ta/id/40249>

Ministru kabineta noteikumi Nr. 696. *"Zemes dziļu izmantošanas licenču un bieži sastopamo derīgo izrakteņu ieguves atļauju izsniegšanas kārtība, kā arī publiskas personas zemes iznomāšanas kārtība zemes dziļu izmantošanai"*. Pieņemts 06.09.2011. Pieejams <https://likumi.lv/ta/id/236750>

Ministru kabineta noteikumi Nr. 570. *"Derīgo izrakteņu ieguves kārtība"*. Pieņemts 21.08.2012. Pieejams <https://likumi.lv/ta/id/251021>

Bakalaura darbs „Ģeoradara izmantošana Niraines purva tilpuma aprēķinos” izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

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

Autors: Rainers Vestmanis


paraksts

23./05./2022.
datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: amats, zinātn. grāds Vārds Uzvārds

_____/_____/2022.
paraksts datums

Recenzents: amats, zinātn. grāds Vārds Uzvārds

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede *Indra Baltmane*

_____/_____/2022.
paraksts datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts Ģeoloģijas bakalaura akadēmisko studiju gala pārbaudījumu komisijas sēdē

2022./_____/____.
gads, datums, mēnesis

protokola nr.

vērtējums

Sekretārs

_____/_____/2022.
paraksts

datums