



TALLINNA ÜLIKOOL

Loodus- ja
terviseteaduste instituut
Ökoloogia keskus

Uuring

Georadari uuringud Emajõel, Kavastus, leidmaks Caroluse vraki võimalik asukoht

Koostajad: Hannes Tõnisson PhD

Sten Suuroja PhD (Geoloogiateenistus)

Olav Harjo (Elermo OÜ)

Tallinnas 2024

1. Metoodika

1.1 Taust.

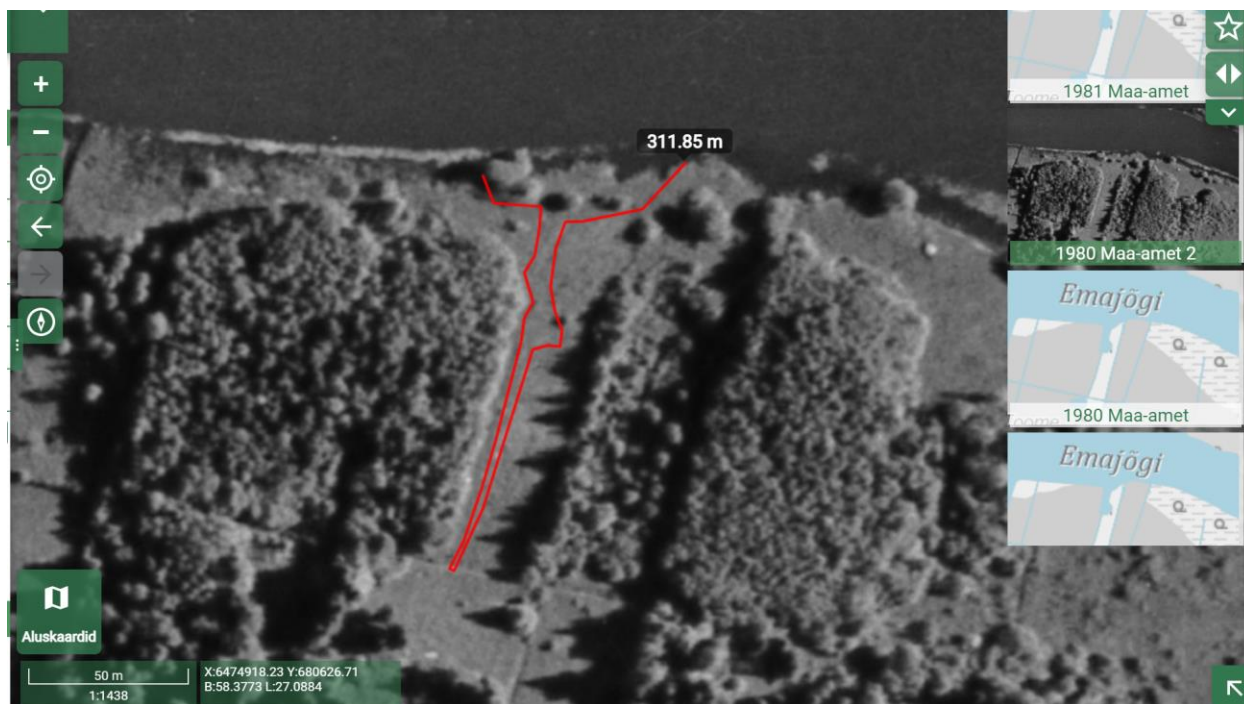
Tartu maakonnas, Luunja vallas, Kavastu külas, Emajõe vasakkalda lähedal (Joonis 1) on muinsuskaitsega seotud kinnismälestis nr 12867: Brigantiini Caroluse vraki võimalik hukkumise koht. Koht on kaitseall alates 1998. aastast. Teadaolevalt toimus siin 1704. aasta 14. mail, Põhjasõja raames Kastre jõelahing Rootsi kuningriigi Peipsi laevastiku ja Vene tsaaririigi Peipsi lodjalaevastiku vahel (Kastre jõelahing). Lahingu lõpus lasti laev õhku ja selle jäänused peaks tänini paiknema kaardil märgitud piirkonnas (joonis 1.). Teadaolevalt oli laev 17.8 m pikk, 5.6 m lai ja selle süvis oli 1.6 m (Kodu Uudised, 2014).



Joonis 1. Emajõe telgjoonest veidi parempoolse kalda poole paikneb Brigantiini Caroluse vraki võimalik hukkumise koht (Maa-ameti geoportaal).

Kohalike elanikuga (Valli kinnistul paikneva sadama omanik) vesteldes selgus, et nende teada pole lähiajal selles piirkonnas miskit laevale või selle lastile viitavat leitud, sealse jõepõhja uurimiseks on kasutatud ka sukeldujaid. Kohaliku sadama omanik teadis rääkida, et vraki piirkonnas toimus tänasel Toome kinnistul paatide veeskamise koha/sadamakoha rajamine/süvendamine Nõukogude Liidu aja lõpus ja välja kaevatud materjal paigutati jõkke, sinnasamasse suudmeala lähedale. Suure tõenäosusega võis süvendusmaterjal sattuda vraki peale. Vanade aerofotode kontrollimisel selgus,

et sadamaomaniku jutt võib olla õige. Paatide sisselaskmise koht/sadamakoht on selgelt nähtav 1995. aasta aerofotol, kuid 1980. aastal paiknes samas kohas vaid jõeäärne heinamaa (joonis 2.), mistõttu võib tõepoolest olla Caroluse vrakk maetud süvendatud setete alla. Seda teadmist võetakse arvesse edasiste uuringutulemuste interpreteerimisel.

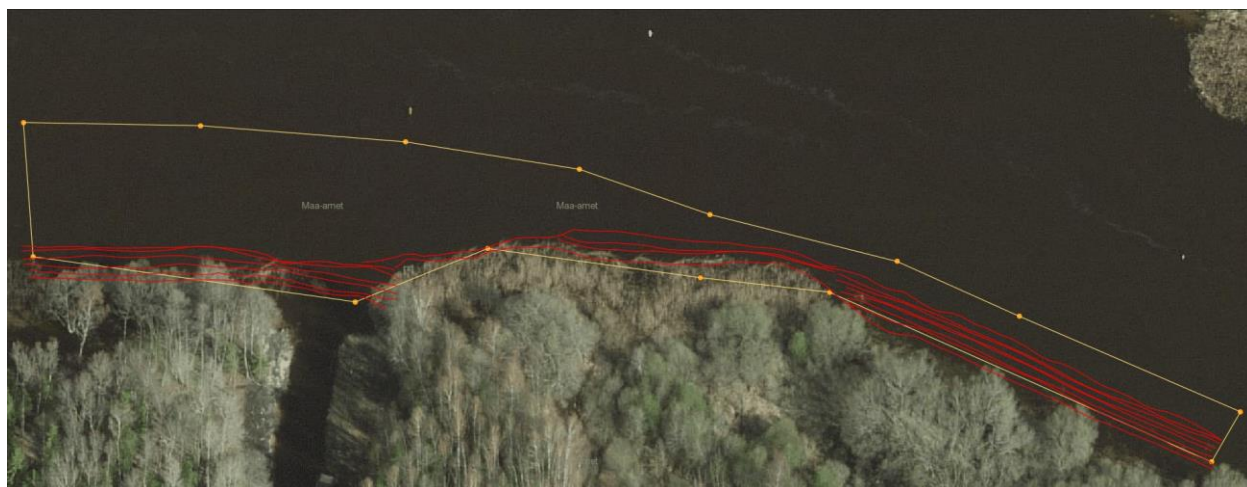


Joonis 2. 1980. aasta aerofotole on punase kontuuriga märgitud juba 1995. aastal seal piirkonnas paiknenud paatide sisselaskmise koha/sadamakoha kontuur. Aerofotol on siin piirkonnas näha vaid madal jõeäärne heinamaa (Maa-ameti geoportaali ajaloolised kaardid).

1.2.Välitööd

19. veebruaril, 2024. aastal teostati esmased georadari uuringud Emajõe jäält. Vaatamata külmale talvele oli ohutu jääle minna vaid kaldalähedasel alal (foto 1) ning nende välitöödega oli võimalik ära katta just kaldaäärne, osaliselt roostikuga kaetud ala (foto 2), kus tavaliselt ei ole võimalik liikuda näiteks paadiga. Esmaste tööde läbiviimiseks kasutati ImpulseRadari poolt ehitatud radarsüsteemi kaheagedusliku antenni (300Mhz ja 70 MHz), Cross Over CO730 mudelit. Radari antenni mõõdetud info kogumiseks kasutati Android süsteemil põhinevat Samsung Galaxy Tab Active 2-te, mis oli juhtmevabalt läbi WIFI signaali ühendatud radari antenniga. Kogu mõõdistamise ajal kasutati radariantenni järeleveetavana, nõ odomeeter rattaga. Profiilide asukohta täpselt määramiseks kasutati radarile kinnitud välist RTK-GPS seadet, mis tagas profiilide asukoha täpsuseks üldjuhul mõni sentimeeter.

Kaldajoonega paralleelselt mõõdistati vraki asukohast ülesvoolu 6 profiili, veidi allavoolu liikudes 2 profiili ja veidi kaugemale allavoolu liikudes (madalam ala jõe paremkada lähedal) veel 7 profiili (joonis 3). Nende profiilidega oli hästi võimalik katta kogu planeeritud uuritava ala roostunud ning väga madal osa. Kui need tööd teostatud, jäädi ootama jää minekut, et saaks ülejäänud uuritava ala katta juba paati paigutatud georadariga.



Joonis 3. Jämedam joon tähistab etteantud uuringuala kontuuri, selle sees olevad peened ja veidi kõverad jooned tähistavad jää peal tehtud georadari profiile (aluseks Maa-ameti ortofoto).



Fotod. Foto 1 - veebruari keskel oli jõel kandev jää vaid servades ja ohutuks liikumiseks kanti kuiva ülikonda; foto 2 – Radariga oli jääpealt võimalik hästi katta roostunud ala.

Täiendavad välitööd viidi läbi juba 6. märtsil, mil oli kalda ääres tekkinud küll värske kallasjää ning jõel triivis väheldast triivjää, ent oli piisavalt ohutu minna 2.5 HJ bensiinimootoriga varustatud kummipaadiga mõõtma (foto 3). Tollel päeval oli mõõdistatud (Ilmateenistus) Praagal (allavoolu) keskmiseks veetasemeks 198 cm (jaama kõrgus 28.16 m, EH2000 süsteemis) ja Tartus HJ jaama (ülesvoolu) andmetel 179 cm (jaama kõrgus 29.77 m).



Foto 3. Paadi põhja paigutati georadar ning paadile paigutati ka külgvaatesonar, sellega asukoha määramiseks kasutati sama RTK-GPS-seadet.

Paadist tehtud mõõdistustel oli kasutusel sama georadar millega viidi läbi ka eelmised välitööd jää pealt. Georadar paigutati nüüd paadi põhja ning radarile paigutati taas RTK-GPS seade, mis tagas mõne sentimeetrise asukoha täpsuse. Georadariga tehti vähemalt 15 erineva pikkusega uut profiili (joonise 4) piki kaldajoont. Ning 5 ristprofiili. Lisaks georadarile kasutati sellel korral ka SonarBeam toodetud külgvaatesonarit ning Meridata tarkvara nii andmete kogumiseks kui ka hilisemaks töötlemiseks. Kahesagedusliku sonari (400/900 KHz) kasutamisel lülitati sisse vaid kõrgem sagedus, mis tagas parema resolutsiooni. Sonar lasti vette paadi paremast pardast ja parema ülevaate saamiseks pandi see vaid ca 0.5 m sügavusse vette. Sonariga tehti 4 mõõdistust piki jõge ja võimaliku anomaalia ümber oleval alal veel neli mõõdistust risti jõe teljega (joonis 4). Sonariga mõõdistatud mosaiik salvestati Geotiff formaati, mida hiljem analüüsiti Mapinfo Professional GIS programmis.



Joonis 4. Tumedad jooned tähistavad külgvaate sonari liikumise teekondi, lillakad jooned tähistavad paadiga mõõdistatud georadari profiilide asukohti, punakad pikijõge jooned tähistavad varasemalt kalda ligidal jää pinnalt mõõdistatud georadari profiilide asukohti, lühikesed risti jõge punased jooned tähistavad paadist tehtud radari ristprofiile. Kollased täpid tähistavad võimalikku laeva asukohta. (alus: Maa-ameti uusim ortofoto).

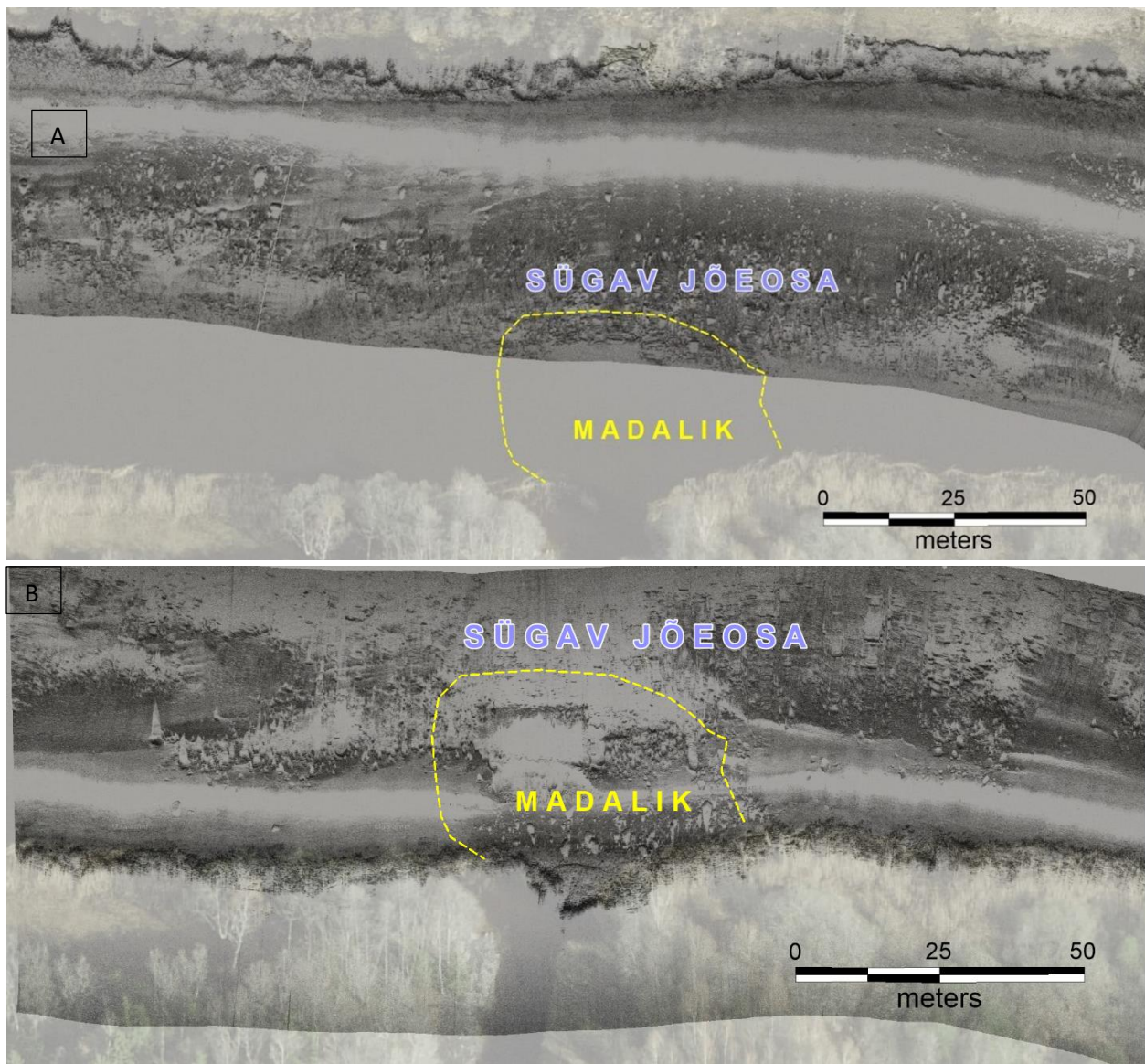
Radargrammide töötlemine toimus programmis GPR-Slice. Seal viidi läbi nii andmete filtreerimine kui ka erinevate video lõigete koostamine. Radargrammidel anti radarisignaali kiiruseks 0.033 m/ns, mis peaks olema keskmine teoreetiline väärtus radari signaalile vees. Põhjasetetes võib olla kiirus pisut suurem ja seega sügavused veidi alahinnatud, kuid erinevus võiks jääda mõne cm juurde. Töös on esitatud ka mõned väljavõtted videost.

Lisaks aruandes esitatule on lisana kaasas ka:

1. 3D-slice videod, kus on võimalik vaadata pinnase tiheduse muutust vertikaaltasandil,
2. Originaal-radargrammid ühes videos, alates kaldapoolseimast.
3. Radargrammid ühel pildil (Bandbass filtriga).
4. Külgvaatesonari pildid GEOTIFF kujul.

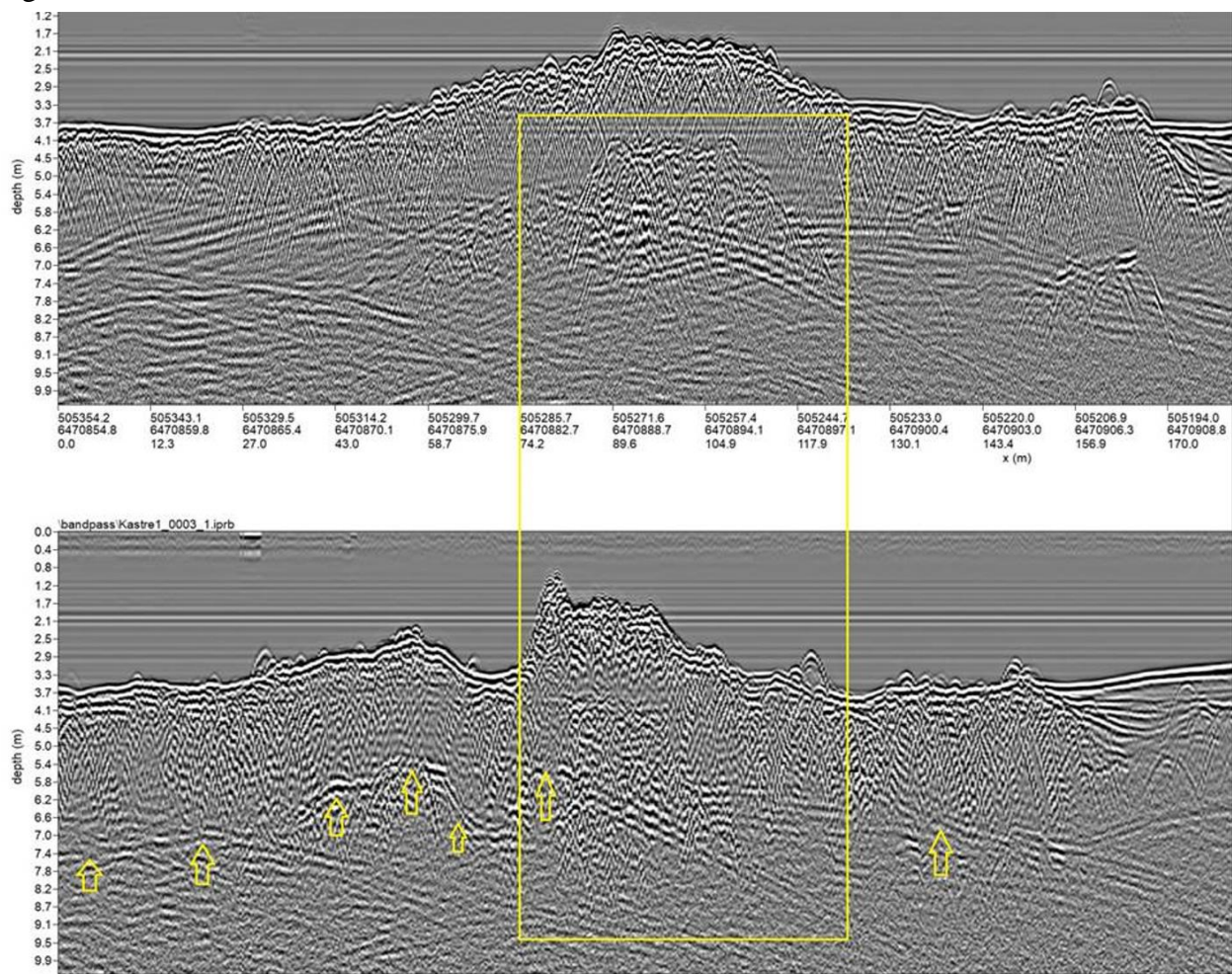
2. Objektil tuvastatud anomaaliad

Alustame piirkonna jõepõhja iseloomustusest, kasutades selleks külgvaatesonari pilte (joonis 5) ja mõningaid radargramme. Sonari pildi vaatamisel näeme, et uuritavas piirkonnas on sadamakoha ees umbes 30 m jõkke ja ca 50 m pikki jõge ulatuv madalik, kus kevadise suurveega oli veesügavus enamasti 1-2 m. Kuna madalik asub täpselt sadamakoha ees ning on veidi allavoolu välja venitatud, siis see kinnitab hästi kohaliku naabersadama omaniku juttu, et väikepaatide sadamakoha tekitamisel süvendatud materjal kuhjati sinnasamasse sadamasuudemesse jõepõhja.



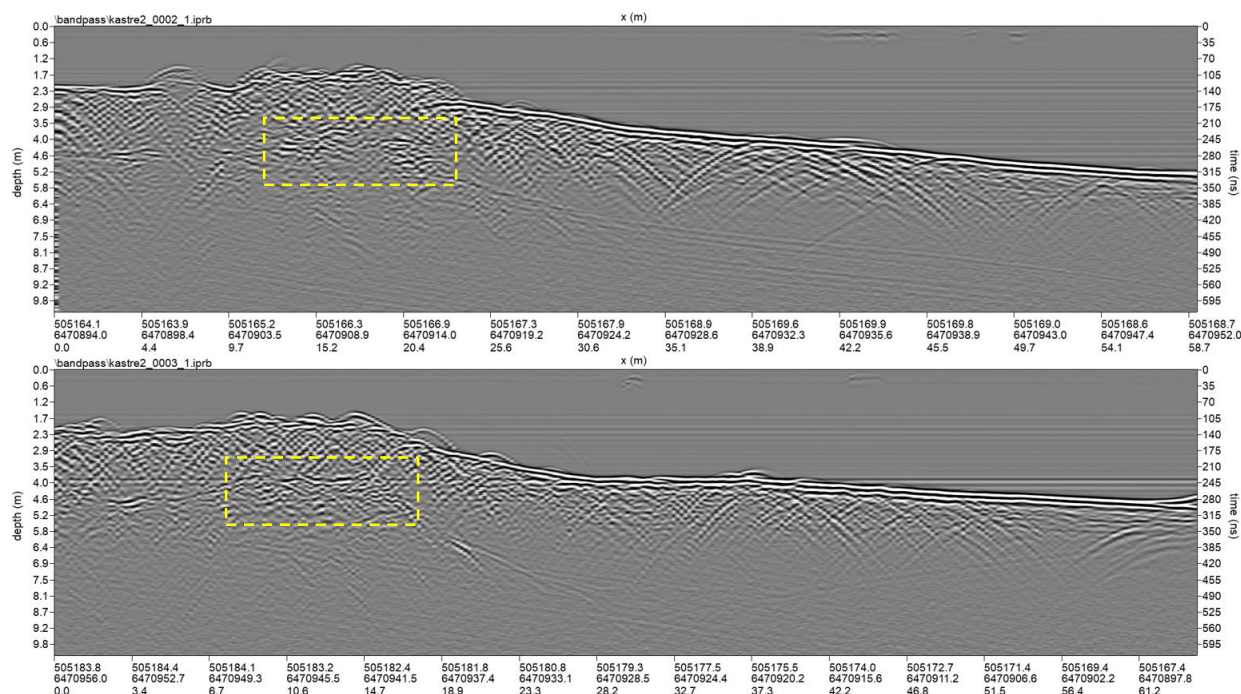
Joonis 5. Külkvaatesonari pilt (alusena uusim ortofoto): a- Emajõe vasakkalda lähedalt, b- Emajõe paremkalda lähedalt. Mõlemal pildil on selgesti eristatav sadamakoha ees olev madalik (kollane kontuur), sinna on ilmselt pandud süvendatud materjal. Sügava jõeosa laius on siin vaid ca 35 meetrit.

Radargramme (joonis 6) vaadates näeme, et väljapool madalikku on jõgi umbes 4-5 m sügav, kohati veidi rohkem, kohati veidi vähem. Madalikul tehtud radargrammidel näeme, et tänasest jõepõhjast umbes 2 m sügavamal asub veel üks tugev reflektor, mis võiks viidata jõesette all olevale tugevale moreeni või liivakivi pinnale. Võttes eelduseks selle, et jõepõhjas olev madalik on sinna kuhjatud kunstlikult, ilmselt umbes 30-40 a tagasi, siis võime eeldada, et võimalik laevavrakk võiks paikneda kohati kuni 2 m sügavusel sette sees. Joonisel nr 6 ongi kollase kastiga ümbritsetud üks anomaalia, mis paikneb tänasest jõepinnast umbes 4-4.5 m allpool. Profiilil 3 (alumine) näeme ühes kohas tugeva signaali alas nagu väikest lohku, selle põhjuseks võib olla signaali kiirem liikumine ülemistes kihtides.



Joonis 6. Radargramm nr 2(ülemine) ja 3 (alumine). Kollased nooled tähistavad tugevat pinda, mis võiks olla pehmete jõesetete all olev moreeni või liivakivi pind. Kollane kast näitab anomaaliat, mis asuks nagu selle tugeva pinna peal.

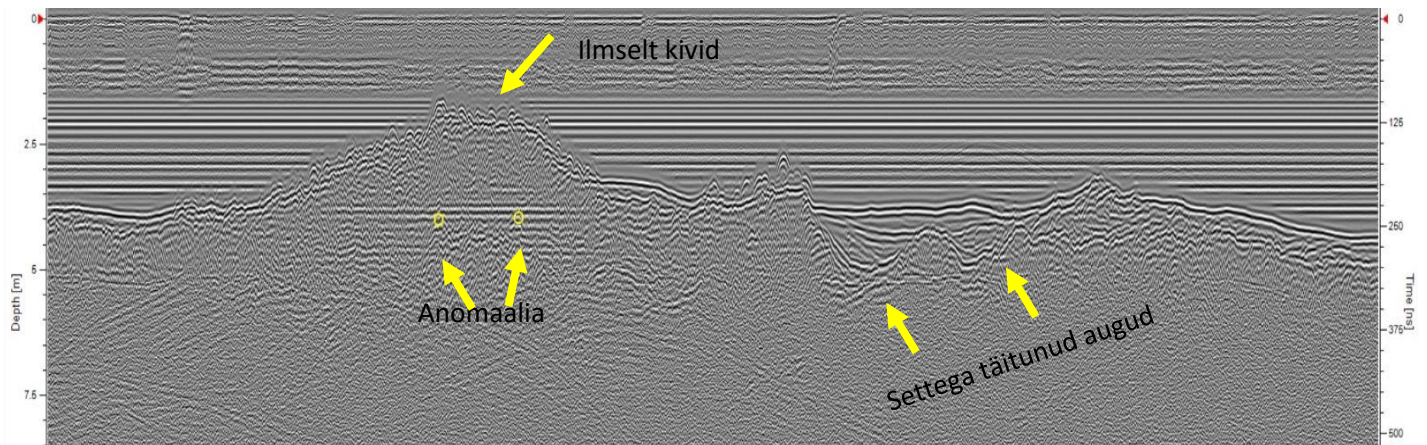
Analüüsi alustame lühikestest ristprofiilidest nr 2 ja 3, siin näeme, et jõe vasakul kaldal ulatub vee sügavus umbes 5 meetrini ning jões oleva madaliku suunas sügavus pisut väheneb. Madaliku sees näeme aga, et seal paiknev anomaalia on umbes sama sügaval kui keskmine tänane jõepõhi, mis võiks viidata sellele, et sealne anomaalia paikneski enne vahetult jõepõhjas kui sinna süvendamisel tekkinud materjal peale kuhjati.



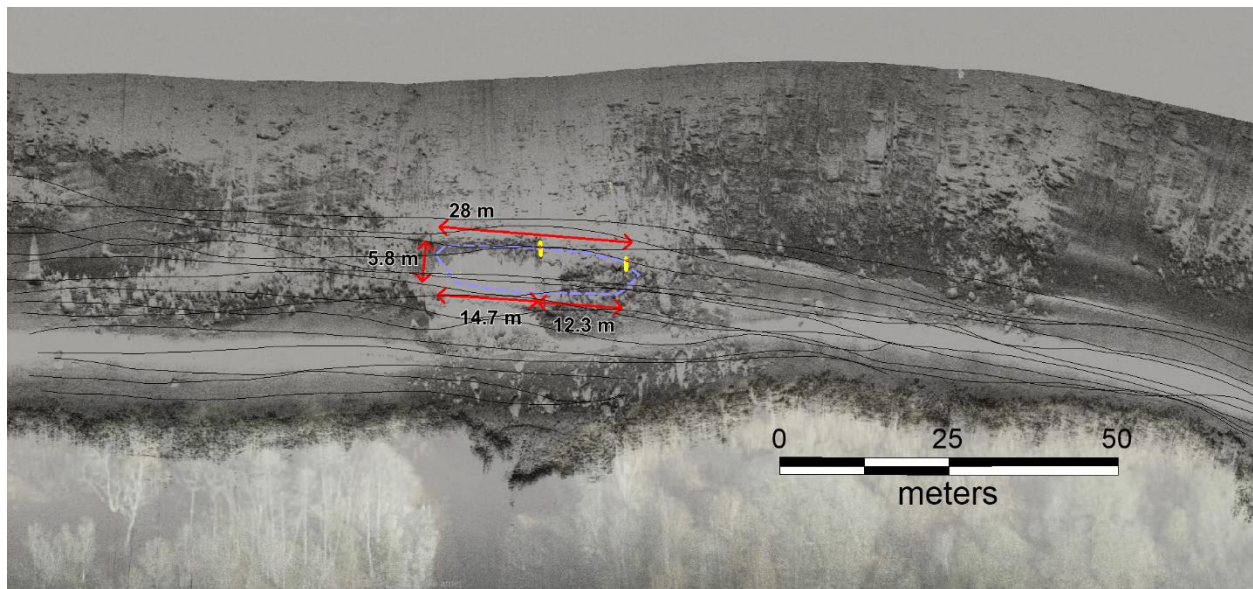
Joonis 7. Radargrammid kastre2_2 ja kastre2_3 on mõõdistatud risti jõega. Kollase punktiiriga on märgitud anomaalia mis paikneb umbes 4 m sügavusel (ca 1.5-2 m sette sees).

Järgnevalt käsitleme lähemalt radargrammi nr 2, mis läheb üle madaliku, jõepoolse osa servast mõned meetrid maapoole (joonis 8). Näeme selgelt, et umbes 4 m sügavusel on nähtav võrdlemisi tugev anomaalia mis viitab tavaliselt kas kividele või läbiimbunud puidule vms. See anomaalia paikneb umbes 2 m tüseduse settekihi all. Ruumiliselt paikneb see anomaalia samas kohas kui jõest risti üle mõõdetud profiilide anomaalia. Kui me paigutame need punktid sonari pildile, siis näeme, et umbes sellel alal joonistub välja kõrgendik ja selle kõrval lohk (ülesvoolu). Kahe kollase punkti vahe on veidi üle 12 m ja kogu selle lohk/kõrgendik süsteemi pikkus umbes 28 m ja laius enamasti 5-6 m. Kusjuures, see on suhteliselt laeva kujuga ja üsna teravate piiridega, mille laadset kujutist tavaliselt looduses ei kipu nägema. Lähemal uurimisel näeme, et seda piirkonda läbivad veel lisaks profiilid nr 3, 4, 8 ja 10 (joonis 10). Kuna profiil 10 ja profiil 2 paiknevad üksteisele väga lähedal, siis parema võrdluse saamiseks jätsime profiil 2 välja ja paigutasime ülejäänud

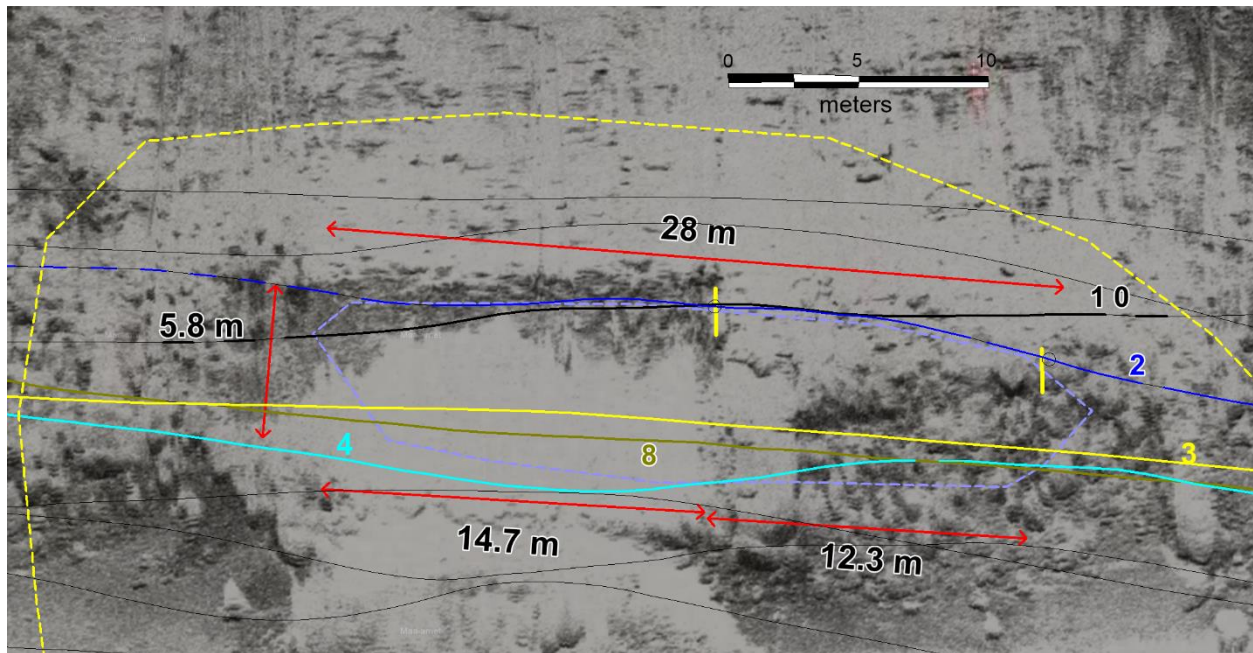
profiilid loogilises järjekorras üksteise alla, nii nagu nad paiknevad looduses jõe keskelt kalda poole liikudes (joonis 11). Üksteise alla on paigutatud profiilid järgnevas järjekorras: 10, 3, 8, 4.



Joonis 8. Piki jõge (allavoolu) mõõdistatud profiil nr 2. Kollaste täppidega on märgitud selge anomaalia piirid, mis paikneb tänasest jõepinnast umbes 4 m allpool. Madaliku/veealuse künka harjal on näha hüperboole, mis viitavad ilmselt süvendatud materjalidest väljapestud kividele. Veidi allavoolu näeme mitmeid settega täitunud auke/depressioone, kuhu on ilmselt kantud madaliku pinnalt minema uhutud peenem sete.



Joonis 9. Kollased triibud kaardil märgivad joonisel 8 toodud anomaalia asukohta sonari pildil. Sinine kontuur näitab osaliselt kõrgendikku (tume, paremal), osaliselt depressiooni/lohu (hele, vasakul), millel oleks justkui laeva kuju. Mustad jooned näitavad sealt läbi minevaid radari profiile (pikad profiilid, mis on mõõdistatud paadist).

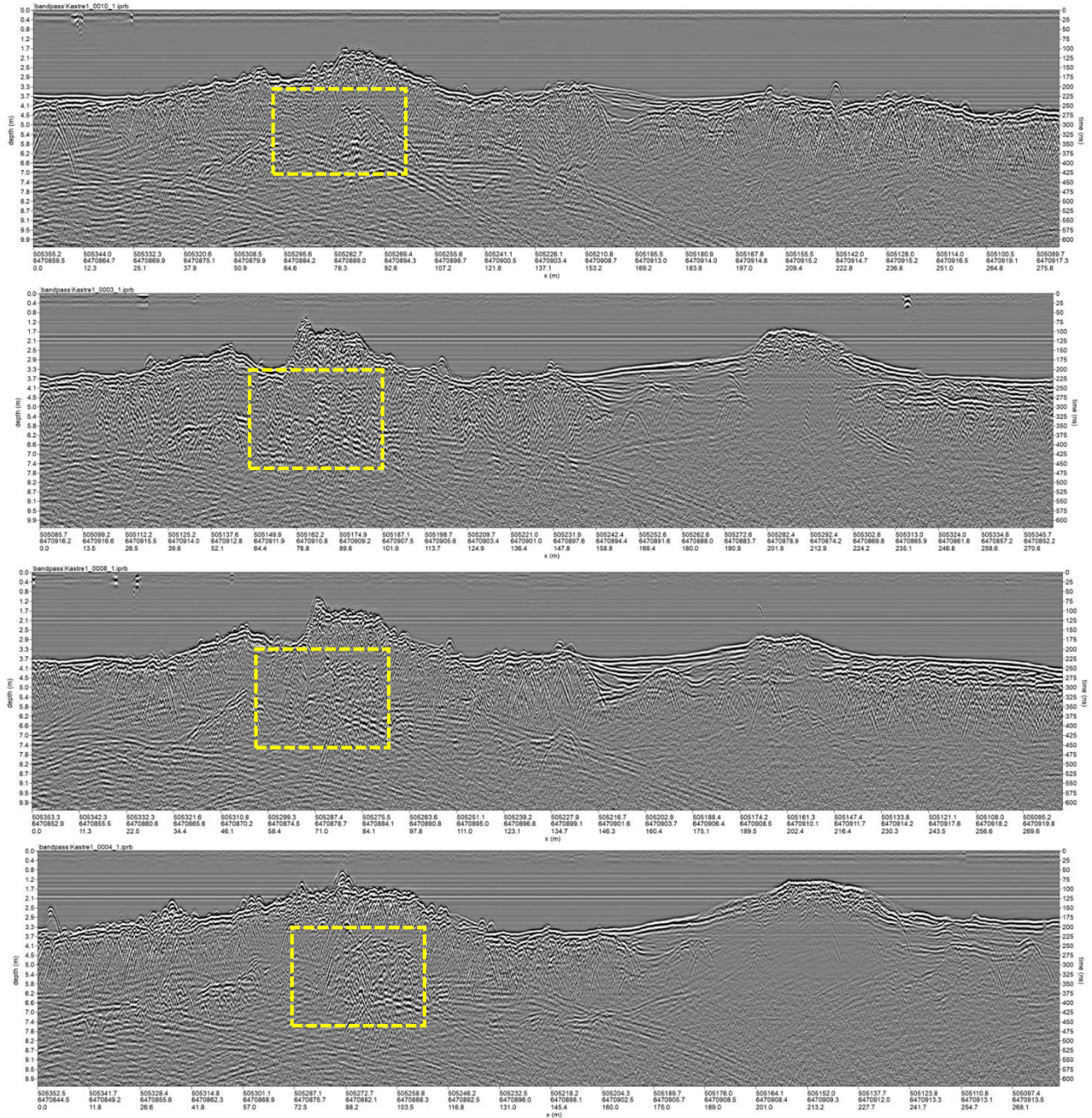


Joonis 10. Detailne vaade laevakujulisele anomaaliale. Numbrid 2, 3, 4, 8 ja 10 tähistavad anomaaliat läbivaid profiile (numbri värv vastab profiili värvile). Heledam ala (14.8 m) tähendab sügavamat auku. Tumedam ala (12.3m) tähistab kõrgemat ja ilmselt kivisemat kohta.

Jooniselt 11 näeme selgelt, et kõigil profiilidel, joonis 10 toodud anomaalia ala paremas servas (umbes 12 m pikkusel lõigul) on väga selge tugeva signaali anomaalia, mis viitab, et seal võib umbes 2 m sügavuse täitematerjali all olla mingi tugevam objekt, näiteks veest läbiimbunud puit. Metallile omast väga selget signaali pigem ei ole. Kuna aga tegu on veekeskkonnaga ning signaal tuleb päris sügavalt (peal on nii vee kui täitematerjali kiht, sealhulgas kivid), siis seda täielikult välistada ei saa.

Tegelikult on mõningad anomaaliad nähtavad ka nn heledamal (sügavamal) alal, ehk siis laeva kujutise vasakpoolses osas, eelkõige selle keskosa lähedal, mida läbivad profiilid 3 ja 8 (joonis 11). Kuna teadaolevalt oli laeva pikkus umbes 18 m, siis on meie leitud objekt pisut liiga pikk. Kuna aga on teada, et enne põhjaminekut toimus plahvatus ja ilmselt murdus alus pooleks, siis pole võimatu, et laevavraki esimene ja tagumine osa paiknevad üksteisest veidi eemal.

Tekib küsimus, miks meil ühel osal anomaaliast on tegemist kuhjatisega, teisel osal aga hoopis lohuga. Siinkohal võiks arvata, et täitematerjali paigutamisel jõepõhja jäid selle alla ka laeva jäänused. Tihti võib aga laevrakkides jääda tühimikke. Mõne aja möödudes võisid aga puitkonstruktsioonid järele anda ning sellel olev täitematerjal täitis varasemad tühimikud – sellisel viisil saabki tekkida laeva kujuline sügavam ala jõepõhja.



Joonis 11. Profiilid nr 10, 3, 8 ja 4. Kollasega punktiiriga on tähistatud anomaalia asukoht profiilidel. Eriti selgelt on nähtav anomaalia märgistatud ala paremas servas, nn kuhja all.

Slice videol paraku midagi väga selget silma ei torganud, sest jõe sügavus muutub väga suures ulatuses ning keeruline on väga pisikesel alal näha väikest tiheduse muutust. Vaatamata sellele on tööle siiski lisatud ka nn GPR-slice videod. Küll peab märkima, et kogu alalt ei leitud metallile iseloomulikku (näiteks suurtükid) väga tugevat signaali.

Kokkuvõtteks

Umbes 320 aastat tagasi hukkus Kavastu jõelahingu käigus Rootsi brigantiin Carolus. Tänaseni oli teada laeva ligikaudne asukoht, kuid polnud selge kas miskit sellest laevast ka säilinud on. Kohalike inimeste teada on sellesse kohta N-Liidu aja lõpus kuhjatud pinnast, mis jäi üle lähedaasuva sadama/paadi sisselaskekoha rajamisel ja süvendamisel.

2024. aasta hilistalvel viidi läbi kaks väliekspeditsiooni laeva eeldatava hukkumispäiga piirkonda. Kasutati nii Georadarit kui ka külgvaate sonarit ning töid teostati nii paadist kui ka jää pealt. Töid teostati oletatavast hukkumispäigas alatest jõe telgjoonest kuni jõe parempoolse kaldani ja umbes 300 m pikkusel lõigul.

Leiti mitmeid üksikuid ja väga lokaalseid anomaaliaid, mis pigem viitasid põhjas olevatele kividele vms looduslikele objektidele. Veidi erinevaks osutus aga üks anomaalia oletatavast laevavraki asukohast veidi parema kalda poole. Selle anomaalia läänepoolne osa (ülesvoolu) on väga selgelt nähtav külgvaate sonari pildil kui väike lohk. Radargrammidelt on näha, et lohu sügavus on enamasti 0.5-1 m. Lohul oleks justkui laeva kuju ja selle laius on 5-6 m ning pikkus veidi vähem kui 15 m. Sellest ida poole (allavoolu) jäi aga hoopis muhk. See oleks nagu kividega kaetud objekt ning loogiline jätk eelnevale anomaaliale. Radargrammidel on siin näha, et umbes 2 m sügavuse vee all paikneb kivine täitematerjali/süvendusmaterjali kiht, mille all, vahel isegi vähem kui 2 m sügavusel on nähtav suhteliselt tugev anomaalia, ulatusega ca 12 m (piki jõge). Kogu selle anomaaliat ala laius on umbes 5-6 m ja pikkus ca 28 m (positiivse ja negatiivse vormi ulatus kokku). Kohalike inimeste sõnul kaevati selles piirkonnas jõega risti olev paatide sisse laskmise koht/väikesadam, mis valmis N-Liidu perioodi lõpus. Välja kaevatud materjal aga kuhjati sama sadama suudmesse jõkke. Kaevamist ja materjali uputamist jõkke kinnitavad nii aerofotod kui ka radargrammid.

Lähtudes seni teadaolevast ei saa välistada, et eelpool mainitud anomaaliad tähistavad Caroluse vraki asukohta. Loogiline tundub, et tänase nn „lohu“ asukohas võis olla mingi tühimikuga osa laevast, mis mõne aja möödudes täitematerjali raskuse all kokku varises ning tekitas laevakujulise lohu. Võimalik, et mingi osa laevast võiks paikneda lohuga kõrvuti oleva kuhjatise all, ca 2 m sügavusel täitematerjali sees. Sellele viitavad tugevad anomaaliad radargrammidel.

Tõenäoliselt ei ole jõe põhjas paikneva kuhjatise all paikneva võimaliku vraki osa tänaste tehnoloogiate abil võimalik eriti kergesti kontrollida. Seevastu võiks lähemalt (näiteks sukeldumise käigus) uurida laeva kujulist lohku sellest kuhjatisest läänesuunas (ülesvoolu). Mingil põhjusel on sellel lohul suhteliselt selged piirid, mis viitab pigem inimese tegevusele kui looduslikele protsessidele. Kontrollsukeldumine tuleks pigem läbi viia varakevadel, mil vesi on puhas ning nähtavus hea.

Kasutatud materjalid

1. Ilmateenistus - www.ilmateenistus.ee
2. Kastre Jõelähing https://et.wikipedia.org/wiki/Kastre_j%C3%B5elähing (vaadatud 22.02.2024)
3. Kodu Uudised, 2014. <https://dea.digar.ee/article/koduuudised/2014/04/01/21> (vaadatud 22.02.2024)
4. Maamaeti geoportaal - www.maaamet.ee