

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias

**Pudisoo jõe oru morfomeetrised näitajad ja nende leidmine  
topograafiliste ja geoloogiliste andmete alusel**

Joosep Aia

Juhendajad: PhD Raivo Aunap

PhD Tiit Hang

Tartu 2023

## **Annotatsioon**

### **Pudisoo jõe oru morfomeetriselised näitajad ja nende leidmine topograafiliste ja geoloogiliste andmete alusel**

Pudisoo jõgi on Eestis ainulaadne kuna seal on teadaolevalt ainukene säilinud ebapärlikarbi (*Margaritifera margaritifera*) asurkond. Seetõttu on oluline omada ülevaadet jõe ja selle valgala iseloomust ja morfomeetriselised näitajatest. Bakalaureusetöö eesmärk on anda ülevaade Soome lahe vesikonda kuuluva Pudisoo jõe oru morfomeetriselised näitajatest ja leida nende seos valgala geoloogiaga. Töös analüüsiti jõe valgala, pikiprofiili, langu, meandreeruvust ning oru sügavust ja laiust. Lisaks loodi välitööde käigus kogutud andmete baasil mõned jõe ristlõiked ning nende setete läbilõiked. Töö põhiandmestiku moodustab LiDAR kõrgusmudel ning välitööde käigus kogutud andmed. Uurimistöö tulemusel valmis ülevaade jõe olulisematest morfomeetriselised näitajast ning need visualiseeriti graafiliselt.

**Märksõnad:** Pudisoo jõgi, jõeorg, jõe pikiprofiil, looketegur, jõe oru morfomeetriselised näitajad

**CERES kood:** P510 - Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

## **Annotation**

### **Morphometric indicators of the Pudisoo River valley and their determination based on topographic and geological data**

The Pudisoo River in the Gulf of Finland watershed, northern Estonia, is the only river with the presence of the last remaining population of freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*). Therefore, it is significant to have an overview of the river and its watershed topography and morphometric parameters. The aim of this bachelor thesis is to give an overview of the morphometric characteristics of the Pudisoo River valley and to find correlation with the catchment geology. The study analyzed the longitudinal profile, flow gradient, depth, width, cross-sectional shape of the valley and meandering coefficient changes along the river profile. The basic dataset for the analyses is the LiDAR elevation data, the bed parameters and bottom sediments

have been described during the fieldwork. As a result of the study, an overview of the morphometric parameters was compiled and presented graphically.

**Keywords:** River Pudisoo, river valley, longitudinal profile, meandering coefficient, river valley morphometric parameters

**CERES code:** P510 - Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

# Sisukord

|   |    |
|---|----|
| Sissejuhatus .....  | 6  |
| 1. Jõgede kirjeldus .....   | 8  |
| 1.1 Jõe valgla .....  | 8  |
| 1.2 Jõgede meandreerumine.....  | 8  |
| 1.3 Jõe lang.....   | 9  |
| 1.4 Jõe oru morfomeetrilised parameetrid .....  | 9  |
| 1.5 Erosioon ja setete liikumine vooluveekogus .....                                      | 10 |
| 2. Pudisoo jõe ja valgla loodusgeograafiline ja geoloogiline kirjeldus ning uuritus ..... | 12 |
| 2.1 Valgla reljeef.....   | 13 |
| 2.2 Aluspõhi ja aluspõhja reljeef.....  | 14 |
| 2.3 Pinnakate ja pinnavormid .....  | 16 |
| 2.4 Maaparandussüsteemid .....  | 21 |
| 3. Materjal ja metoodika .....  | 22 |
| 3.1 Andmed .....  | 22 |
| 3.2 Metoodika .....   | 22 |
| 3.2.1 Jõe valgla piiritlemine.....  | 22 |
| 3.2.2 Jõe pikiprofiili koostamine kõrgusmudelilt.....                                     | 23 |
| 3.2.3 Jõe langu arvutamine .....  | 23 |
| 3.2.4 Jõe looketeguri saamine .....   | 23 |
| 3.2.5 Jõe oru sügavuse mõõtmine .....   | 24 |
| 3.2.6 Jõe oru laiuse mõõtmine .....   | 24 |
| 4.1 Valgla.....   | 26 |
| 4.2 Pudisoo jõe looketeguri leidmine .....  | 26 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.3 Pudisoo jõe pikiprofiil.....</b>                     | <b>26</b> |
| <b>4.4 Pudisoo jõe orgu iseloomustavad parameetrid.....</b> | <b>29</b> |
| <b>4.4.1 Oru sügavus.....</b>                               | <b>29</b> |
| <b>4.4.2 Oru laius .....</b>                                | <b>30</b> |
| <b>4.7 Oru ristlabilõiked.....</b>                          | <b>30</b> |
| <b>5. Arutelu .....</b>                                     | <b>40</b> |
| <b>Kokkuvõte.....</b>                                       | <b>43</b> |
| <b>Summary.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>Tänuavaldused .....</b>                                  | <b>46</b> |

## Sissejuhatus

Vooluveekogude seisund on üle maailma hapras seisus, olles enim mõjutatud inimtegevusest. Ühelt poolt liigub inimtegevuse tulemusel vooluvetesse saasteaineid, teisalt on inimene voolusänge nõnda ümber kujundanud, et jõgedel on üha raskem muutunud oludest taastuda (Kumaraswamy, 2019).

Soome lahe vesikonda kuuluv Pudisoo jõgi asub Ida-Harjumaal, Lahemaa rahvuspargis. Jõe pikkus on 32 kilomeetrit. Pudisoo jõe lähe asub Suru Suursoo Pikklaukas, kust ta voolab lõunast põhja, suubudes Kolga lahte. Pudisoo jõe teeb ainulaadseks asjaolu, et seal on teadaolevalt säilinud ainuke ebapärlikarbi (*Margaritifera margaritifera*) populatsioon Eestis (Vahula, 1995). Ebapärlikarbile sobilik elukeskkond on vahetult seotud ka jõe voolukiiruse ja süngisustega, mis omakorda sõltuvad nii pinnakatte setetest kui ka mitmetest jõe oru morfomeetrilistest parameetritest. Pudisoo jõge on juba ajalooliselt mõjutanud inimtegevus - peamiselt maaparandussüsteemide rajamise ja süngi õgvendamine. Taoline tegevus on olulisel määral mõjutanud jõe parameetreid ja elukeskkonda. Loodusliku elukeskkonna vaatevinklist on jõe looklevus ehk meandreeruvus märgilise tähtsusega kuna rohkem meandreeruvad ning vähem kanaliseeritud vooluveekogudes kipub olema suurem bioloogiline mitmekesisus (Bertalan *et al*, 2018). Maaparandustöödega on kuivendusalade veega koos avatud ka peeneteraliste ja tihti orgaanikarikaste setete juurdevool jõkke. Lisaks on valgla kuivendustööd põhjustanud jõe vooluhulga olulist kõikumist, mis kuival perioodil soodustab hõljumis või põhja mööda transporditud peeneteraliste setete settimist. Nimetatud tegurid võivad olla üheks põhjuseks miks ebapärlikarbi populatsioon jões on kahanenud ja paljunemise järjepidevus on kahtluse alla sattunud. Karbi populatsiooni mõjutavate tegurite selgitamiseks on algatatud mitmeid uuringuid sealhulgas rahvusvaheline Euroopa Komisjoni rahastatud projekt „Life revives“, mille üheks ülesandeks on selgitada ka setete ja jõe oru morfomeetriliste parameetrite võimalikku seost teadaolevate karbi asurkondadega (RMK internetilehekül, külastatud 24.05.2023). Käesolev töö püüab anda panuse selle ülesande lahendamisse.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on kirjeldada Pudisoo jõe valglat ja orgu loodusgeograafilistele ja geoloogilistele andmetele toetudes ja kasutades geoinformaatilist ja kartograafilist analüüsi. Oru morfomeetriliste parameetrite leidmisel on kasutatud LiDAR kõrgusandmete baseeruvat kõrgusmudelit. Geoloogiline andmestik on saadud

suuremõtkavalise geoloogilise kaardistamise materjalidest ja autori poolt kogutud välitööde andmetest.

# 1. Jõgede kirjeldus

## 1.1 Jõe valgla

Jõe valgla on piirkond, kust vesi koguneb jõkke. Kuna jõgi võib oma vee saada nii pinnaseveest kui ka põhjaveest siis tihti käsitletakse eraldi jõe topograafilist ja hüdrooloogilist valglat. Hüdrooloogiline valgla võib erineda topograafilisest kuna põhjavee liikumissuund ei sõltu maapinna kallakusest. (Mardiste jt, 2014)

## 1.2 Jõgede meandreerumine

Meandreerumine ja selle mõistmine on inimkonda köitnud juba aastasadu. Sõna „meander“ pärineb arvatavasti Edela-Türgis voolavast Büyüik Menderes jõest, mis on tuntud oma suure hulga loogete poolest (Leopold and Wolman, 1957). Meandreerumine on füüsiline protsess, mille käigus kujuneb jõe, ojale või mõne muule vooluveekogule kaarja kujuga voolusäng, mis on sirgjoonelisest trajektoorist oluliselt kõrvale kandunud. Meandrite ehk loogete tekke soodustavaks teguriks on küljeerosiooni domineerimine, mis eeldab aeglast voolukiirust voolusängis. Kiire vooluga sängis on valdavaks põhjaerosioon, mille tagajärjel kujunevad suhteliselt sirged vooluveekogud. Uute loogete tekkeks võib tõuke anda väikseimgi häiring, ka settesakeste põrkumine vastu pörkeveergu. (Hang ja Kalm, 2014) Tavaliselt on meandreerumine iseloomulik aeglase vooluga tasandikujõgedele, kus on kergesti erodeeritavad setted. Sellistele jõgedele on iseloomulik ka pidev muutlikus.

Vooluveekogude iseloomustamiseks kasutatakse üldjuhul looklevustegurit (ka looketegur), mis saadakse jõe reaalse pikkuse ning suudme ja lähte vahelise kauguse jagatisena. Mida suurem on looklevustegur, seda rohkem on jõgi meandreerunud, kui aga antud koefitsiendi väärtus on üks või selle lähedane, siis võib lugeda jõge sirgeks või peaaegu sirgeks. Terve jõe kohta tehtud arvutus võib jõge liialt üldistada, seega on võimalik jõgi jagada kokkuleppeliselt või vajaduse põhiselt lõikudeks, mis võimaldab anda täpsemat infot konkreetse jõe osa kohta (Mardiste jt, 2014). Seega on meandreerumist käsitleval ülesande püstitusel äärmiselt oluline lähtuda eesmärgist ja konkreetsest vajadusest.

Eesti jõgesid on analüüsitud eelkõige kvantitatiivsel meetodil, kus jõed on jagatud kindla pikkusega lõikudeks ning seejärel arvatud looketegur konkreetsetele jõelõikudele (Jaanus, 2012). Praktika puuduseks on asjaolu, et valitava lõigu pikkusest sõltuvad suuresti tulemused. Lõigu pikkuse paneb paika uurija oma prima äranägemise järgi ning raske on siin toetuda



objektiivsetele asjaoludele. Samuti sõltub optimaalne analüüsitava lõigu pikkus konkreetse jõe tüübist ning ülesande iseloomust. Üks levinud lähenemine sobiva pikkusega jõelõigu valimiseks on kasutada selleks kartograafilise üldistamise põhimõtteid. Näiteks saab selleks kasutada Reumanni-Witkami joonlihtsustusalgorütm, mis kehtestab tolerantsi, mis on maksimaalne lubatud kõrvalekalle tinglikust jõe trajektooriga (Mõisja, 2019). Lisaks soovitatakse jõe hetkelisele voolusängile hinnata oru looketegurit, mis erinevalt jõe trajektooriga on ajas oluliselt püsivam (Mueller, 1968). Varasemad tööd käsitlevad mõnikord ka muid sellest tingitud parameetreid, suuremate jõgede puhul näiteks meandri raadiust (Hafel, 2022).

### **1.3 Jõe lang**

Jõe lang ehk gradient väljendab jõe veetaseme absoluutkõrguse muutust pikkusühiku kohta. Kõik jõed püüdleavad tasakaaluprofiili poole, kus lähtest suudme suunas põhja kallakus ühtlaselt väheneb ja jõe kulutus-kuhjeline tegevus ja setete transport on tasakaalus. Reaalsuses selliseid jõgesid ei eksisteeri. Eksisteerivad vaid jõed, mis koosnevad erineva languga lõikudest. Küll aga võib jõe lang ajapikku muutuda (Järvekül, 2001). Jõe tasakaaluprofiili poole püüdlemine väljendub põhjaerosiooni domineerimises kiiremates lõikudes, kust pinnasematerjal kantakse aeglasema vooluga lõikudesse (Hang ja Kalm, 2014).

Põhja-Eesti jõgedel määrab langu sealne geoloogiline suurvorm, klindiasang ja neotektooniline maatoos. Need tegurid annavad Põhja-Eesti jõgedele iseloomuliku pikiprofiili – väiksem lang ülem- ja keskjooksul ning suurem pigem alamjooksul (Hang ja Loopman, 1995). Samuti on pikiprofiili kirjeldamisel oluline parameeter nõlvakalde muutus ehk profiili kõverus. Matemaatiliselt on see teine tuletis, mis kirjeldab vertikaalselt kõverust suurima kalde suunas. Profiilikõverus on seotud ka voolukiirusega ning sellest tingitud materjali edasikandega, nõgusatel nõlvadel on vool aeglustuv ja kumeratel vool kiirenev (Roosaare, 2019).

### **1.4 Jõe oru morfomeetriselised parameetrid**

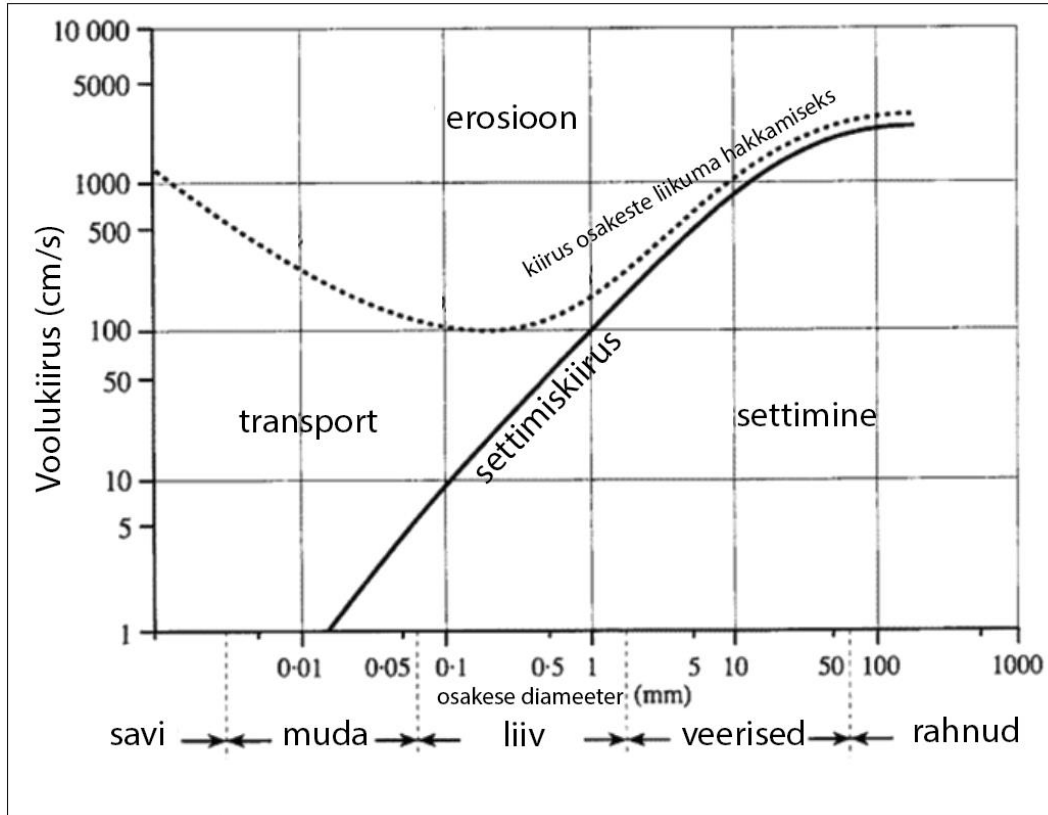
Jõe oru sügavus on otseses seoses jõe erodeeriva tegevusega ja konkreetse piirkonna geoloogiliste iseärasustega. Näiteks tasakaaluprofiili poole püüdlev jõgi hakkab suurema languga piirkondades põhja erodeerima (Hang ja Kalm, 2014). Seeläbi suureneb sellistes jõelõikudes oru sügavus. Lisaks mõjutab oru sügavust erodeeritava pinna geoloogia. Kergemini erodeeritavaks materjaliks võib lugeda purdmaterjali – liiv, kruus, aleuriit ja ka liivakivi. Samas raskemini erodeeritava materjalid

on lubjakivi, tardkivimid, savi ja turvas. Seetõttu on ka oru sügavus mõjutatud peamiselt nendest kahest ülal märgitud tegurist. (de Jager, 2015)

Oru laius on mõnevõrra kokkuleppeline, see tähendab, et selle defineerimine sõltub paljuski uurijast või töö ülesandest. Näiteks on olenevalt töö iseloomust erinevates töödes oru laiuseks loetud kas ainult oru põhjas olevat lameda põhja ehk lammi ulatust või ka sellega piirnevaid nõlvu ehk oru veergusid kuni oru perveni (Harel *et al.*, 2019). Siiski on mõlemad võrdlemisi erinevad parameetrid ja neid tasub käsitleda üksteisest lahus. Eelkõige on see seotud oru veeru kallakusega, mis võib tulemusi oluliselt muuta. Seni puudub erialakirjanduses ühtne seisukoht, kui suurest nõlvakaldest algab või lõppeb oru veer (Harel *et al.*, 2022). Sellest tingituna ei eksisteeri ka domineerivat meetodikat, mis oleks teiste suhtes eelistatud. Beeson *et al.* (2018) ja Harel *et al.* (2022) on oru laiuse mõõdistamisel kasutanud poolautomaatset meetodikat, kus iga 100 meetri tagant on käsitsi sisestatud oruga risti asetsev joonelement nii, et joone otspunktid markeerivad oru servi (perve).

## **1.5 Erosioon ja setete liikumine vooluveekogus**

Setete liikumine süngis on eelkõige seotud voolu kiiruse ja jõe süngi geoloogilise ehitusega. Purdmaterjali puhul mängib suurt rolli tera suurus. Näiteks kehtib printsip, et suuremad osakesed vajavad liikumisse haaramiseks suuremat energiat ehk suuremat voolukiirust. Samas terasuurusega alla 0,11 millimeetri suureneb materjali transpordiks vajalik voolukiirus oluliselt, sest osakeste vaheline nakkejõud on tugevam. Taolist muutust nimetatakse erosiooni kõveraks või Sundborg-Hjulström'i graafikuks (joonis 1) (de Jager, 2015; Kawai Venancio, 2020).

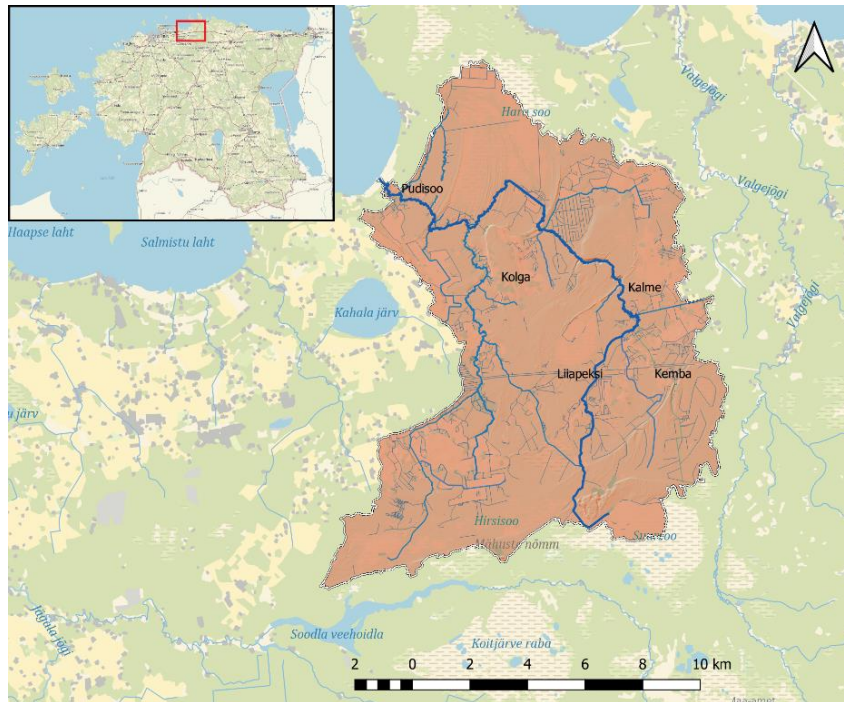


**Joonis 1.** Sundborg-Hjulström'i graafik, mis näitab erineva terasuurusega setete erosiooni, transpordi ja settimise seost voolukiirusega jõe süngis (de Jager, 2015). Joonis on tõlgitud inglise keelest.

Näiteks nähtub jooniselt üks, et 0,001 millimeetrise läbimõõduga saviosakese liigutamiseks läheb vaja umbes sama suurt voolukiirust, kui kümne sentimeetrise kiviveerise liigutamiseks. Samuti tasub meele pidada, et antud graafik on ligikaudne ja sõltub ka vee vooluhulgast ja dünaamikast. Eeltoodust võib järeldada, et materjal, mille terasuurus on 0,1 – 1,0 millimeetrit, on võrdlemisi lihtsasti erodeeritav. Kasutades Uddeni-Wentworthi lõimiseskaalat võime väita, et tegemist on eelkõige liivaga (Blair and McPherson, 1999). Setete liikumine sõltub ka võimest püsida transpordituna, mis on väiksem kui erosiooniks vajalik kiirus. Seejuures on transpordis püsimiseks vajaliku kiiruse alampiir võrdlemisi lineaarne, seda kuni umbes 50 millimeetrise läbimõõduga setteosakesteni, kus piirjoon hakkab kalduma järjest enam horisontaalsemaks. Tähelepanuväärne on ka asjaolu, et väiksemad osakesed kui umbes 0,01 millimeetrit ei vaja vees püsimiseks praktiliselt üldse liikuvat vett (de Jager, 2015; Kawai Venancio, 2020).

## 2. Pudisoo jõe ja valgla loodusgeograafiline ja geoloogiline kirjeldus ning uuritus

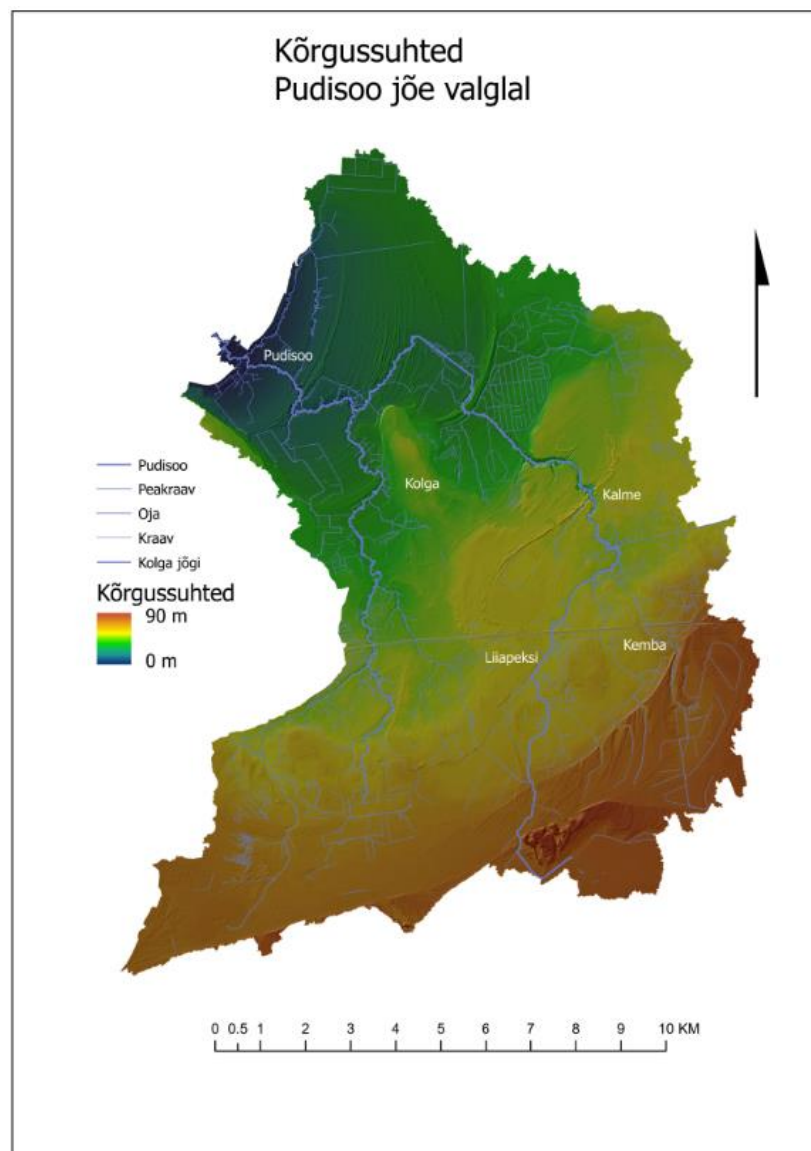
Pudisoo jõgi, tuntud ka kui Pärlijõgi, Tõlde jõgi või Leedikõrve jõgi (Järvekül, 2001), asub Harjumaal, Kuusalu vallas. Jõgi läbib Pudisoo, Uuri, Kolga, Kõnnu, Kalme, Kõnnu, Kemba, Liiapeksi ja Suru külasid (joonis 2) (Maa-ameti geoportaali kaardirakendus, 2023d). Pudisoo jõgi algab Pikklaukast Kõnnu Suursoo põhjaservas Kemba külast umbes 4,5 kilomeetrit lõuna-edela pool ja suubub Pudisoo küla lähedal Kolga lahte. Vasakpoolseteks lisajõgedeks on Välgu peakraav, Pärlijõgi, Kõnnu oja, Punsu oja, Alttoa kraav ja Hara oja, parempoolseteks Koseselja kraav, Kalme oja, Tagavälja peakraav, Kolga jõgi ja Inga oja (Eesti Veemajandusinspeksioon, 1986). Pudisoo jõe pikkus on 32,6 kilomeetrit ning valgla pindala 143,7 km<sup>2</sup>, jõe kogu langus LiDAR kõrgusandmete toetudes on 73 meetrit (Keskonnaportaali internetilehekül, 2022). Jõe pikiprofiili ja languse jaotust sellel, mis määrab ka jõe voolukiiruse ja sealt oru morfoloogia, seni detailsemalt uuritud ei ole. Vastavalt Ivar Aroldi (Arold, 2005) maastikulisele liigestusele algab Pudisoo jõgi Kõrvemaal, keskjooksul läbib Harju lavamaad ning alamjooks voolab Soome lahe rannikumadalikul.



*Joonis 2. Käesolevas töös piiritletud Pudisoo jõe ja valgla ja selle asukohakaart. Aluskaardina on kasutatud Maa-ameti WMS kaarti.*

## 2.1 Valgla reljeef

Pudisoo jõe valgla reljeef on lauge üldise loodesuunalise kallakusega. Kõrguste jaotuses esineb kolm tsooni: lõuna- ja kaguosas jäävad kõrgused 85–75 meetrit üle merepinna ja need vähenevad järsult loode suunas olles valgla keskjooksul 55–50 meetrit üle merepinna ning klindiastangu ees, merelistel terrassidel, on kõrgused 35–30 meetrist kuni meretasemeni (Joonis 3). Jõe ülem- ja keskjooksul liigestavad reljeefi lõunaosas liustikulised pinnavormid ja keskosas aluspõhjalised kõrgendikud. Jõe alamjooksul liigestavad rannikumadalikku Läänemere eri staadiumite terrassidel paiknevad rannavallistikud ja maasääred (Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal, 2023).



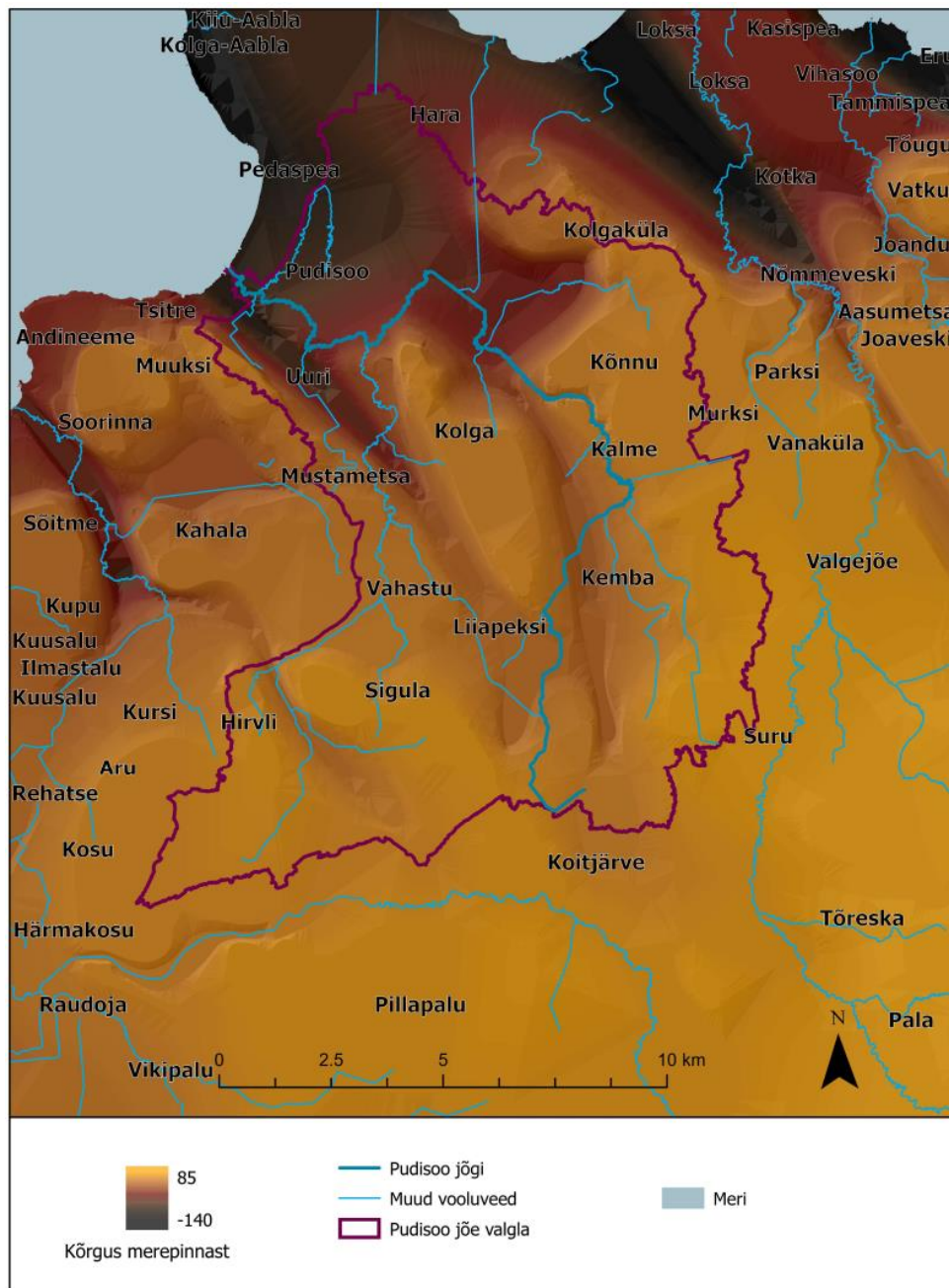
*Joonis 3. Pudisoo jõe valgla reljeef. Aluskaardina on kasutatud Maa-ameti kõrgusmudelit.*

## 2.2 Aluspõhi ja aluspõhja reljeef

Valgla aluspõhja moodustavad lõunaosas Kesk- ja Ülem-Ordoviitsiumi lubjakivid ning valgla alamjooksuas Kesk- ja Ülem-Kambriumi savi- ja liivakivid. Piirkonnas suuremaid aluspõhja kivimite paljandeid teada ei ole, kuid siiski leidub neid klindiaastangul või klindineemikute nõlvadel pinnasteedel või jõesängis. (Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal, 2023)

Aluspõhja reljeef valgla lõunaosas on tasane ja paikneb umbes 55–50 meetri absoluutkõrgusel. Seda lubjakiviplatood liigestavad sügavad loode-kagu suunalised aluspõhja lõikunud orud: Pudisoo org valgla edelaosas on kuni 70 meetri sügavune ja Kemba org valgla idaosas kuni 30 meetri sügavune. (Joonis 4) Mõlemad orud on nooremate setetega täitunud ja nüüdisreljeefis neid näha ei ole. Järsk aluspõhja pealispinna kõrguse muutus valgla keskosas markeerib Eesti aluspõhja suurvormi Põhja-Eesti klinti (Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal, 2023). Klinti tähistab klindilahtedest liigestatud kohati väga järsk, kohati laugem 20–30 meetri kõrgune ahang, kus absoluutkõrgused muutuvad 45–50 kuni 15–20 meetrini. Väga selgelt tulevad välja kaks klindineemikut: Kolgaküla klindineemik valgla idaosas ja Kolga klindineemik valgla lõunaosas Kolga küla kohal (Kessel ja Linkrus, 1979). Eelnevatega sarnase Muuksi klindineemiku idanõlv tähistab aga Pudisoo jõe valgla läänepiiri. Kaasaegses reljeefis esinevad need õhukese pinnakattega kõvikud kuni 30 meetri kõrguste kõrgendikena, mille nõlvasid on laugemaks muutnud Holotseense Läänemere lainetus ja mida liigestavad Läänemere eri staadiumite rannamoodustised. Klindi ees on aluspõhja reljeef väga tasane kallakusega Kolga lahe suunas ja absoluutkõrguste vahemikus 0–40 meetrit Pudisoo mattunud orus isegi kuni 60 meetrit. Kuna aluspõhi valgla lääneosas Pudisoo kesk- ja alamjooksul ning valgla lõunaosas, Pudisoo jõe ülemjooksul Tallinn-Narva maanteest lõunas, on kaetud 20–40 meetri paksuselt pinnakatte setetega, siis nendes piirkondades aluspõhja mõju valgla veejuhtmetele ja Pudisoo orule puudub (joonis 1). Pudisoo jõe keskjooksul, Kalmeveski ümbruses, on org umbes kahe kilomeetri pikkusel lõigul lõikunud aluspõhja. Jõgi Kalme kohal on kiirevooluline, Kalmeveskist ülesvoolu isegi kärestikuline ning voolab kitsas järsuveerulises 10 kuni 20 meetri sügavuses orus. Just sellel lõigul laskub aluspõhja pealispind ümbritsevalt lubjakiviplatoolt (45–50 meetrit ü.m.p.) sügavasse Kemba aluspõhjalisse orgu (põhja kõrgusega 15–20 meetrit ü.m.p.). Siin voolab Pudisoo jõgi umbes 500 meetri ulatuses lausa lubjakivi pinnal, see tähendab, et lubjakivi avaneb sängi põhjas (foto 1). Kalmeveski kohal muudavad ilmselt aluspõhja peal olnud moreenist väljapestud suured

rahnud jõe kärestikuliseks. Vahetult Kalmest allavoolu voolab jõgi taas lammorus. (Maa-ameti geoportaali kaardirakendus, 2023b)



*Joonis 4. Pudasoo jõe valgla aluspõhja reljeef. Kaardil on kasutatud Maa-ameti kaardikihte.*



*Foto 1. Kalme veskist ülesvoolu avanevad aluspõhja lubjakivid sängi põhjas ja kaldal. Fotol jõe paremal kaldal näha lubjakivi plaadid, sängis olevad rahnud on aluspõhjal lasuvast moreenis välja pestud.*

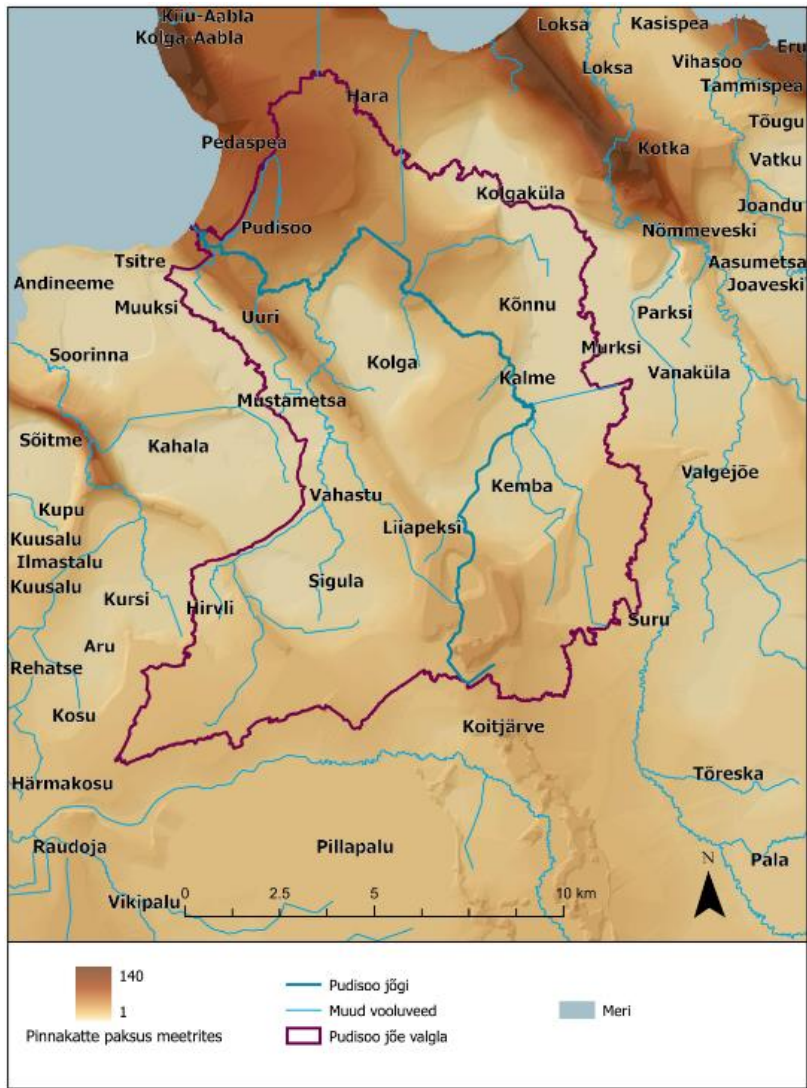
### **2.3 Pinnakate ja pinnavormid**

Pudisoo valgla pinnakattes domineerivad liustiku, jää sulamisvee ja Holotseensed Läänemere setted (joonis 5). Maapinnal avanevatest setetest domineerivad jääjärvelised (39%) ja jääjõelised (11%) setted ning u 8% pindalast avanevad moreen ja Antsülusjärve setted. Holotseensetest setetest on suurima (20%) levikuga soosetted (Piirimäe jt, 2016).

Pinnakatte paksus Pudisoo valgjal varieerub märkimisväärselt ulatudes vaid mõnekümnest sentimeetrist aluspõhjalistel kõvikutel kuni 60 meetrini klindiesisel tasandikul ja mattunud orgudes. Üldistades võib pinnakatte setete paksused jagada kolmeks vööndiks. Esmalt klindiesine madalik ja klinti lõikunud orud, kus pinnakatte setete paksus on üsna muutlik, mõnest meetrist kuni 60 meetrini. Teisalt paeplatoo servaala, millele on iseloomulik pinnakatte paksus kuni paar meetrit ja kus esineb ka alvareid. (Joonis 5) Lõunasse ja kagusse, niinimetatud Vahe-Eesti suunas,



suureneb pinnakatte paksus keskmiselt 10–20 meetri ulatudes. Kemba glatsiofluviaalse delta alal kuni 40 meetri tiseduseni. (Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal, 2023)



*Joonis 5. Pinnakatte paksus Pudasoo jõe valgal. Aluskaardina on kasutatud Maa-ameti kaardirakenduse geoloogilist baaskaarti.*

Pinnakattes valdavad viimase, Hilis-Weichseli, jäätumise liustiku ja liustiku sulavee setted (Suuroja jt, 2002). Varasemate jäätumiste setteid alalt teada ei ole ja ka viimase taanduva liustiku niinimetatud Palivere pealetung siiani ei ulatunud. Liustikusete moreen levib ühtlase kihina ja selle vanuselist liigestust uuringute käigus seni teha ei ole õnnestunud. Kaardistamise andmeil aga erineb moreeni iseloom selgelt klindi ees ja paeplatoo peal. Klindi ees on moreeni paksus alla 10 meetri välja arvatud sügavates mattunud orgudes. Klindi ees karbonaatkivimid aluspõhjas

puuduvad ja nii on ka moreen seal sinakas- või rohekashall savikas väikese jämepurdse materjali sisaldusega ja kristalse materjali suure osakaaluga. Põhja-Eesti paeplatoo peal aga on moreen kollaka- kuni beežikashalli tooniga jämepurru rikas rähkne saviliiv. Moreeni paksus siin on põhja pool alla 5 m ja suurenedes lõuna suunas kuni 10 meetrini. (Suuroja jt, 2002)

Glatsiofluviaalsed ehk jääjõelised setted esinevad mattunud orgudes, kus nende paksus võib ulatuda mitmekümne meetrini ja valdavad erineva terajämedusega kruusad ja liiv-kruusad. Valgla lõunaosas esinevad need setted paksu kihina ja avanevad maapinnal olles seal kuhjunud liustikuserva ees glatsiofluviaalsete deltadena (Kemba ja Valgjärve deltad) kujutades nüüdisreljeefis lainja pinnaga kaldtasandikku millel eristub väga selge järsk ida- ja põhjapoolne nõlv, mis on kunagine liustiku kontaktnõlv (joonis 3). Liustiksर्व püsis sellel joonel Pandivere staadiumi ajal umbes 14 000 – 13 800 a.t. (Saarse jt, 2012)

Suurima levikuga Pudisoo valgla alal on jääjärvede ehk glatsiolakustrilised setted. Need on peeneteralised savi-aleuriit kuni peenliivad ja ka viirsavi (Suuroja jt. 2002). Need on kujunenud viimase liustiku taande ajal liustikuserva ees paiknenud suurtes jääjärvedes. Suuremad paksused esinevad klindi ees ja mattunud orgudes, kus see võib ulatuda isegi 30 meetrini ja liustiku servamoodustiste vööndis jääjärvelistes mõhnastikes kuni 15–20 meetrini.

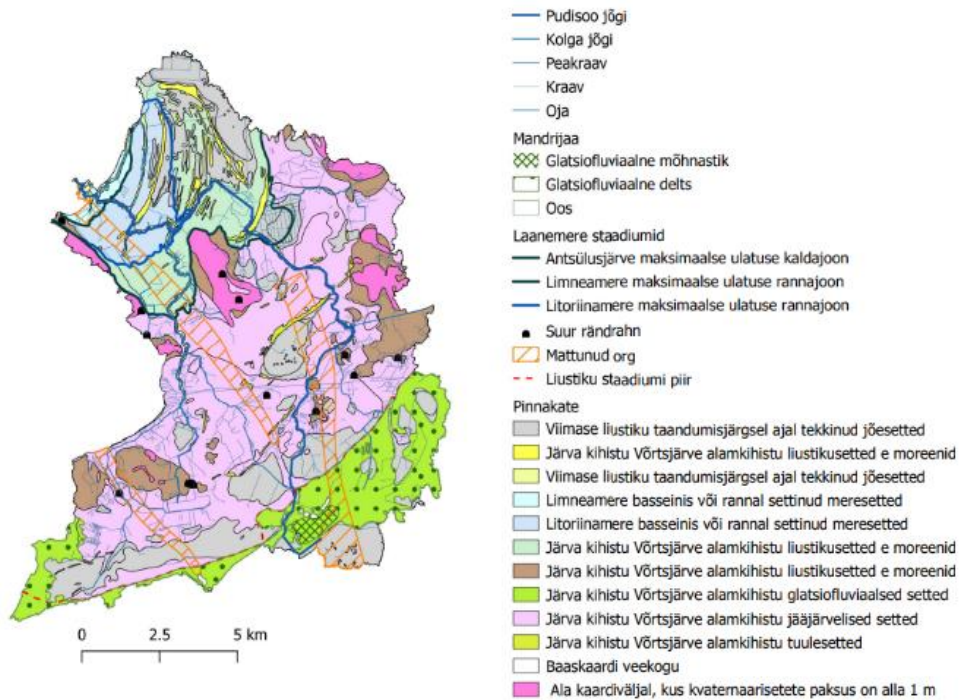
Holotseensed meresetted esinevad klindiasangu ees kuni 32 meetrit üle merepinna, Antsülusjärve setete paksus 0,5–5 ja nõgudes isegi kuni 16 meetrit. Litoriinamere setted esinevad tasemel 10–20 meetrit üle merepinna ja lamavad moreenil, jääjärvelistel- ja Antsülusjärve setetel 1–4 meetri paksuse kihina. Nendel omakorda lasuvad ebaühtlase, suhteliselt õhukese kihina nooremad, post-Litoriinamere (Limneameri) liivakad-aleuriitsed setted (Suuroja jt, 2002). Raskuste tõttu dateerimisel ei ole Litoriinamere ja post-Litoriinamere setteid geoloogilisel kaardistamisel eristatud.

Geoloogiliselt baaskaardilt on näha, et glatsiofluviaalsete liiv-kruusade levik jääb suuresti valgla lõunapiirile, ning on seotud Kemba ja Valgejõe deltadega. Pudisoo jõe keskjooks kuni Punsu ojani on valdavalt kaetud peeneteraliste jääjärve setetega (joonis 6 ja 7). Samuti on sama settetüüp ka suures ulatuses Kolga jõe kesk- ja ülemjooksul. Pudisoo jõe alamjooksul on valdavaks settetüübiks peenest- ja keskteralisest liivast rannasetted ja pinnavormid. Samas on selles piirkonnas ka olulisel määral esindatud hilisemad Holotseeni tuulesetted (joonis 6). (Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal, 2023)

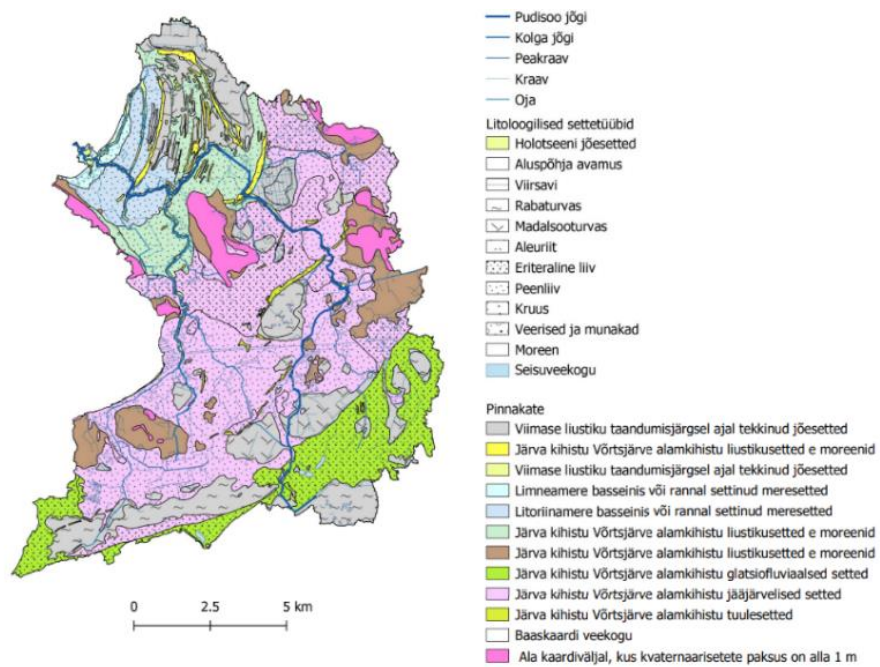
Pudisoo jõe ülemjooksul voolab jõgi poolkaares ümber Kemba glatsiofluviaalse delta lael paikneva Pühamae glatsiofluviaalse mõhnastiku (joonis 7). Allavoolu liigub jõgi põiki üle Kemba aluspõhjalise oru, mis on tänapäevaks suuresti mattunud. Kuni Kalme küalani toimub pinnakatte järkjärguline õhenemine, mis kulmineerub Kalme külas, kus kohati aluspõhi süngi põhjas paljandub (foto 1).

Kalme küla läheduses puhandab jõgi kirde-edela suunalist luitestunud maasäärt (joonis 7). Peale Liiapeksi – Loksa maanteed toimub pinnakatte setete järsk paksenemine, mis on tingitud aluspõhja klindiasangust. Piirkonda iseloomustavad klindineemikud ja pinnakatte paksenemine kuni 60 meetrini Pudisoo küla lähistel. Vahetult peale Puntsu oja algavad Holotseeni tuulesetted, mis kulgevad kirde-edela suunaliste kaarjate kõrgenditena kuni Mustakatku mägedeni. Nende vahel leidub Anstülusjärve ja Litoriinamere setteid ning turvast. Seal paikneb piirkonna üks silmapaistvamaid kohalikke pinnavorme – kuivendatud Leedikõrve madaloo. Leedikõrve on praeguseks kuivendatud ja oluliselt ümberkujundatud sootasandik, mis valdavalt koosneb Antsülusjärve jäänukjärve setetest (Kessel ja Linkrus, 1979; Suuroja jt, 1999). Arvatavasti hakkas jõgi ja jõe süng seal piirkonnas tekkima alles järve soostumise faasis. Nüüdisaegsel reljeefimudelil on aimatavad vanad jõelooked, mis peale süngi õgvendamist kulgevad põllumajanduslikul maal.

Leedikõrve tasandikult väljudes lõikub jõgi Antsülusjärve rannavallides, mille vahel paiknevad soostunud nõod ja mis kohati on kaetud Holotseeni tuulesetetega. Jõe kulgemine ning lõikumine vallidesse annab kindlat aimu, et jõe tänapäevane süng kujunes välja peale rannavallide kujunemist. Raudsilla talust allavoolu maapinna kallakus suureneb põhjustades ka jõe langu ja voolukiiruse suurenemise. Samuti ilmub jälle selgepiiriline, kuni 15 meetri sügavune org. Ilmselt on selle põhjuseks Antsülusjärvele järgnenud Litoriinamere kulutus. Taoline org kulgeb kuni Pudisoo küalani. Org on lõikunud Litoriinamere setetesse, millest on kujunenud ka vastava ajastu rannavallistik, mille laelt leiame kohati Holotseeni tuulesetteid. Vahetult enne Pudisoo küla saavad valdavaks Post-Litoriinamere (Limneamere) setted, mis jätkuvad kuni mereni (joonis 6). Ka siin jätkub rannavallistik, tõsi küll märksa madalamate vormidega kui vallistiku vanemas osas.



**Joonis 6.** Pudisoo valga pinnakate ja litoloogilised settetiübid. Kaardi alusandmed pärinevad Eesti 1:50 000 geoloogiliselt kaardilt.



**Joonis 7.** Pudisoo valga pinnakate ja geomorfoloogia. Kaardi alusandmed pärinevad Eesti 1:50 000 geoloogiliselt kaardilt.

## 2.4 Maaparandussüsteemid

Pudisoo jõel ja valglal ning sellega piirneval alal paikneb hulganisti eri aegadel rajatud maaparandussüsteeme. Peamiselt paiknevad maaparandussüsteemid Kalme ja Kemba küla naabruses, Kolgaküla ja Kolga külade vahel ning Pudisoo külast kuni Soodla harjutusvälja piirini lõunas. Enamik süsteeme on põllumajanduslikud ning rajatud rohu- või haritavatele maadele. Siiski leidub ka metsamassiivide kuivendussüsteeme, mis paiknevad Punsu oja valglal ja Vahastu küla naabruses (Maa-ameti geoportaali kaardirakendus, 2023e).

Lisaks Eesti maaparandussüsteemide registrisse kantud süsteemidele on alust arvata, et maaparandustöid ja sängi õgvendamisi on tehtud Pudisoo jõe ja lisajõgedega juba 19. sajandist (Maa-ameti geoportaali kaardirakendus, 2023a). Sellele viitavad sirged lõigud Suursoost kuni Tallinn – Narva maanteeeni. Kindlasti väärrib märkimist Viru rabas tehtud kuivendustööd, kuigi raba võeti kaitse alla 1971. aastal jätkati siiski turba kaevandamist kuni 1985. aastani. 2011. aastal hakati raba ökoloogiliselt taastama ning rajati kraavidele tammid, et taastuks algne veerežiim (Kimmel, 2015). Suuremad maaparandussüsteemid paiknevad ka Lilleaasa, Uustalu ja Leedikõrve piirkonnas ning Punsu oja valglal, kus Punsu oja ja Pudisoo jõe ristumiskohast itta jääval alal paiknevad Kolgaküla UP-16 maaparandussüsteemid. Lisaks paiknevad maaparandussüsteemid Kolgakülalt edelas, mis suubuvad Punsu oja. Omaette terviku moodustab Lilleaasa, Uustalu ja Leedikõrve talude piirkond, kus paikneb kuivendatud madal soo, mis tähistab kunagise Leedikõrve rannajärve asukohta (Kessel ja Linkrus, 1979).

## 3. Materjal ja metoodika

### 3.1 Andmed

Bakalaureusetöö olulise andmestiku moodustab Maa-ameti maapinna kõrgusmudel lahutusega üks meeter. Andmed pärinevad 2020. aasta aerolaserskanneerimise ülelennust, mille käigus rakendati Riegl VQ-1560i lasersensorit (Maa-ameti geoportaal, 2021). Kõrgusandmed on vabavaralised ning need laaditi alla Maa-ameti veebirakendusest. Tööks kasutati kaardilehti 63884, 63893 – 63894, 63984, 63991 – 63994, 64901, 64903, 73082 ning 73091 – 73092, millega kaeti kogu Pudisoo jõe valgla. Peale erinevate kaardiruutude allalaadimist liideti need üheks, tervet Pudisoo jõe valgla, katvaks kõrgusrastriks. Lisaks laaditi ETAK-ist ehk Eesti Topograafilisest Andmekogust alla Eesti vooluveekogude kaardikiht ning eraldati huvipakkuva Pudisoo jõe vesikonnaga seotud vooluveed, mida kasutati selles töös olulise alusandmestikuna (joonis 2). Töös kasutatud geoloogilised andmed pärinevad 1:50 000 geoloogiliselt baaskaardilt (Maa-ameti geoportali kaardirakendus, 2023c; Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal, 2023).

Lisaks käis autor välitöödel, mis toimusid 2022. aasta maist juunini. Välitööde käigus kirjeldati Pudisoo jõge alates Tallinn – Narva maanteest Liiapeksis kuni Pudisoo alevikuni. Kirjeldamisel suunati tähelepanu eelkõige oru morfoloogiale, süngi morfomeetriaale, jõe põhja- ja kaldasetetele ning nende vertikaalsele läbilõikele. Samuti tehti välitööde käigus kaheksa ristprofiili süngist, mille kaardistamisel kasutati ühe meetri pikkust mullapuuri. Puurimispunktide asukohtade valikul lähtuti põhimõttest, et jõelõigul saaks kaardistatud kohad, kus jõe morfomeetria muutub oluliselt. Vastavalt olukorrale tehti jõe voolusüngis üks kuni kaks proovimist ning üks proovimine ka mõlemal kaldal.

### 3.2 Metoodika

#### 3.2.1 Jõe valgla piiritlemine

Pudisoo jõe valgla piiritlemiseks moodustati kolmeteistkümnest kõrgusmudeli kaardilehest monoliitne kõrgusraster. Selleks kasutati GIS-tarkvara rastrit liitmise töövahendit '*Merge Raster*'. Seejärel rakendati töövahendit '*Fill sinks*', mis kõrvaldab sulglohud ning '*Flow accumulation*', mis leiab igale rasterpikslile oma voolu suuna. Viimasena kasutades töövahendit '*Stream to feature*', mille väljundiks on piirkonna vooluniredega vektorkiht. Viimasena loodi voolunirede võrgustikust polügoon ning see tähistaski antud jõe valglat.

### 3.2.2 Jõe pikiprofiili koostamine kõrgusmudelilt

Jõe pikiprofiili loomiseks kasutati QGIS-i profiilitööriõvahendit '*Profile Tool*', mis arvutab joone kõrgusväärtuse kõrgusrastrilt. Metoodiliselt oli oluline esialgse pikiprofiili puhastamine, sest jõe langust tulenevad tunnusjooned olid küll esialgsel kõrgusprofiililt nähtavad, kuid lokaalsed kõrvalekalded oleksid edasist analüüsi oluliselt seganud. Kõrvalekaldeid reaalsest olukorrast tekitasid teetammid ja LiDAR mõõdistuse iseloomust tulenevad juhuslikud kõrvalekalded jõe sängis, näiteks vette kukkunud puud, suuremad rahnud sängis ja veepeegli peegeldused. Lisaks võis väärtumusi anda ka jõe vektorkihi marginaalne ja üldistatud digiteerimine.

Häiringutest vabanemiseks kasutati QIS-i graveerimistöövahendit '*Carve*', mis tasandas voolusängi hüdrooloogiliselt loogiliseks tervikuks ja eemaldas häiringuid (GRASS GIS manual, 2022). Seejärel kasutati uuesti profiilitööriõvahendit '*Profile Tool*', mis seekord andis töö autori arvates rahuldava tulemuse. Sama tegevust korrati ka Pudisoo suuremate lisajõgedega, milleks on Kolga jõgi ja Kemba oja.

### 3.2.3 Jõe langu arvutamine

Jõe kõrgusgradiendi ehk langu muutuse visualiseerimiseks piki jõe voolutelge töödeldi eelnevalt loodud jõe pikiprofiili graafikut nõnda, et väärtused tähistaksid jõe langu ehk langust ühe meetri kohta. Selleks lahutati absoluutsest kõrgusväärtusest järgneva mõõtmise tulemus ning saadud vahe tähistabki jõe langu.

### 3.2.4 Jõe looketeguri saamine

Jõe looklevus ehk meandreerumine on oluline aspekt jõe kirjeldamisel (foto 2). Jõe meandreerumise lihtsaim kirjeldus on leitav jõe reaalse pikkuse ja suudme ja lähte vahelise sirgjoone pikkuse jagatisena ehk looketegurina ehk looklevuse koefitsiendina. See aga annab jõe kohta keskmistatud väärtuse ning ei võimalda hinnata muutuseid jõe pikiprofiilil. Selleks, et saaks kirjeldada iga jõe lõiku eraldi on tarvis jagada jõgi eraldi lõikudeks, mille pikkus on mõistlik määrata vastavalt ülesande iseloomule.

Kasutati QGIS-is jõe meetrika pistikprogrammi '*River Metrics*', mis võimaldab arvutada vektorkihina ja joonena kuvatud jõe meandreeruvust jooksvalt piki jõge. Programm arvutab valitud pikkusega jõe lõigul tegeliku pikkuse ja sirge jagatise (looketegur), seejärel liigutab valitud pikkusega lõigu piki jõge edasi ning kordab tegevust (QGIS Python Plugins Repository, külastatud

06.05.2023). Autori katsed on tuvastanud, et antud jõel tasub kasutada 100 meetrist lõiku, mida tõstetakse 10 meetrit edasi, sest siis ilmneb looketegur kõige selgemalt.



*Foto 2. Näide jõe lookest Pudisoo keskjooksul kus põrkeveerude vahele jääv meandri kael on juba väga kitsaks muutunud*

### **3.2.5 Jõe oru sügavuse mõõtmine**

Oru sügavus leidmiseks töödeldi valgla kõrgusrastrit SAGA-GIS oru sügavuse tööriistaga 'Valley depth'. Antud tööriist tuvastab oru ja arvutab selle sügavuse võrreldes ümbritseva maapinnaga. Tööriista väljundiks on rasterkiht, kus rasterpikslite väärtus väljendab oru sügavust konkreetses kohas (SAGA-GIS Tool Library Documentation (v7.2.0), 2012). Saadud rasterkihil kasutati juba varasemalt tuttavat profiili töövahendit 'Profile tool'.

### **3.2.6 Jõe oru laiuse mõõtmine**

Jõe oru laiuse leidmiseks kasutati sisendina oru sügavuse kõrgusrastrit. Visuaalse kaardianalüüsi ja välitööde käigus kohapeal kogetu põhjal eeldas autor, et oruks võib lugeda piirkonda, mis jääb ümbritsevast madalamale kui üks meeter. Seetõttu jagati modifitseeriti rastrit nii, et alles jäi kaks klassi – väärtused, mis on suuremad kui üks meeter ja väärtused, mis on väiksemad kui üks meeter. Peale seda vaadeldi piirkonda, mis jääb kuni 150 meetri kaugusele jõeteljest. Oru laiuse leidmiseks



loodi jõe teljele iga 100 meetri tagant punkt, millele ümber loodi 150-meetrise raadiusega puhver. Seejärel leiti igale puhvrile keskmine rasterväärtuse esinemissagedus, selleks kasutati QGIS-i statistikatööriista 'Zonal Statistics', mis arvutab rasterkihi statistilisi parameetreid (Documentation QGIS 2018, külastatud 06.05.2022). Selline arvutuskäik andis ligikaudse tulemuse ning aimduse, et kui suure osa puhvrist saab lugeda jõeoruks. Seejärel rakendati ringi pindala valemeid, mille kaudu sai hinnata, kui lai võib olla oru keskmine laius antud puhvri piirkonnas. Saadud tulemustest koostati graafik, kasutades MS Excelit.

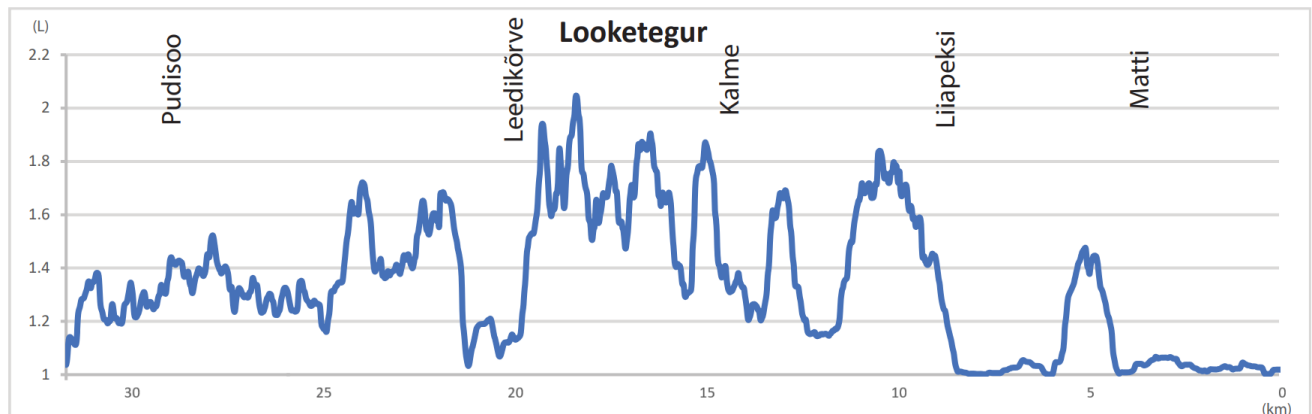
## 4. Tulemused

### 4.1 Valgla

Kasutades eelkirjeldatud metoodikat saadi jõe valgla 145 441 199 ruutmeetrit ehk 145,4 ruutkilomeetrit, mis langeb kokku varasemate arvutustega (Järvekülg, 2001). Valgla pikkuseks põhja-lõuna suunal on 19 kilomeetrit ja ida-lääne suunaliseks laiuseks 11 kilomeetrit (joonis 1).

### 4.2 Pudisoo jõe looketeguri leidmine

Pudisoo jõe looketegur on leitud kasutades 'Rivermetrics' töövahendit, looketegur arvutati iga 10 meetri tagant, 100 meetri pikkusele jõelõigule. Arvestades, et jõe pikkus on 32,6 kilomeetrit ja linnulennult suudmeni on 14,1 kilomeetrit, saame jõe üldiseks looketeguriks 2,31. Detailsem analüüs aga näitab looketeguri suurt varieeruvust jõe pikiprofiilil jäädes vahemikku 1–2. Ülemjooksul on jõe looketegur üsna väike jäädes alla 1,5, mis vastab peaaegu sirgele jõe. Erandiks on vaid väike lõik Matti talu juures, kus looketeguri väärtus on kuni 1,5. Kesk- ja alamjooksul on jõe looketegur oluliselt suurem, jäädes üldiselt üle 1,5. Seejuures on keskjooksul tegur veidi suurem kui alamjooksul. Erandiks on vaid Leedikõrve talu lähedal õgvendatud jõelõik oluliselt madalama looketeguriga (joonis 8).

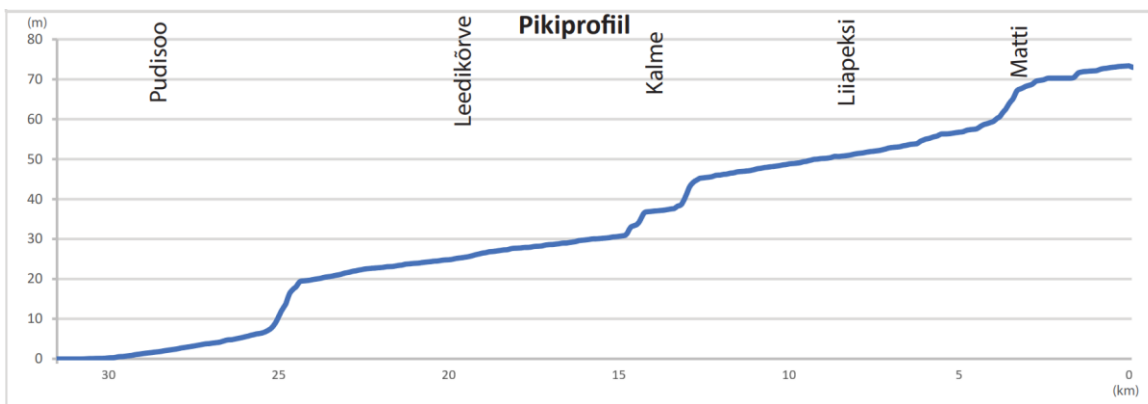


Joonis 8. Jõe looketeguri muutus jõe pikiprofiilil.

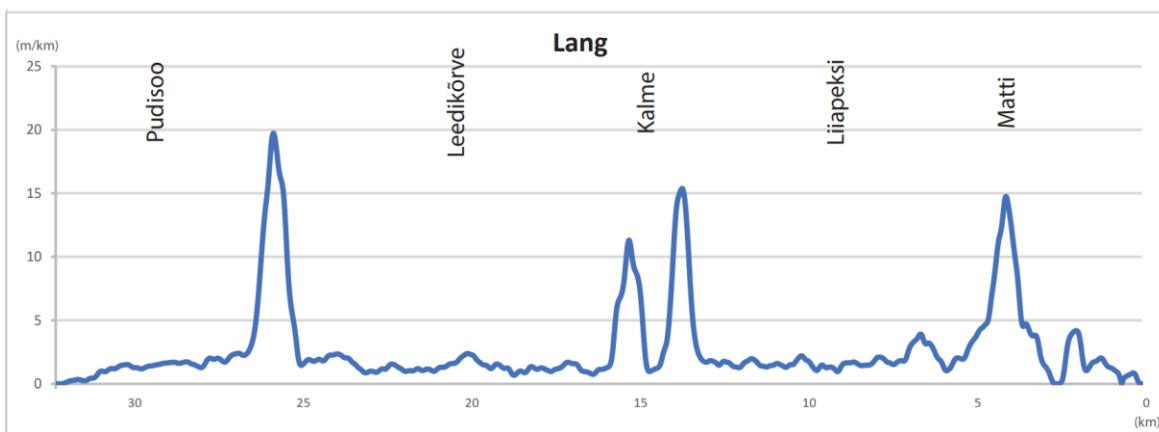
### 4.3 Pudisoo jõe pikiprofiil

Pudisoo jõe pikiprofiililt nähtub, et jõgi algab 73 meetri kõrguselt üle merepinna, suubudes Kolga lahte meretasemel (joonis 9). Kogu languse, 73 meetrit, ja jõe kogupikkuse, 32 kilomeetrit, juures teeb keskmiseks languks 2,25 meetrit kilomeetri kohta (m/km). Pikiprofiililt aga on selgelt näha, et lang pikiprofiilil ei jagune ühtlaselt. Selgelt eristub kolm üldisest suurema languga ehk

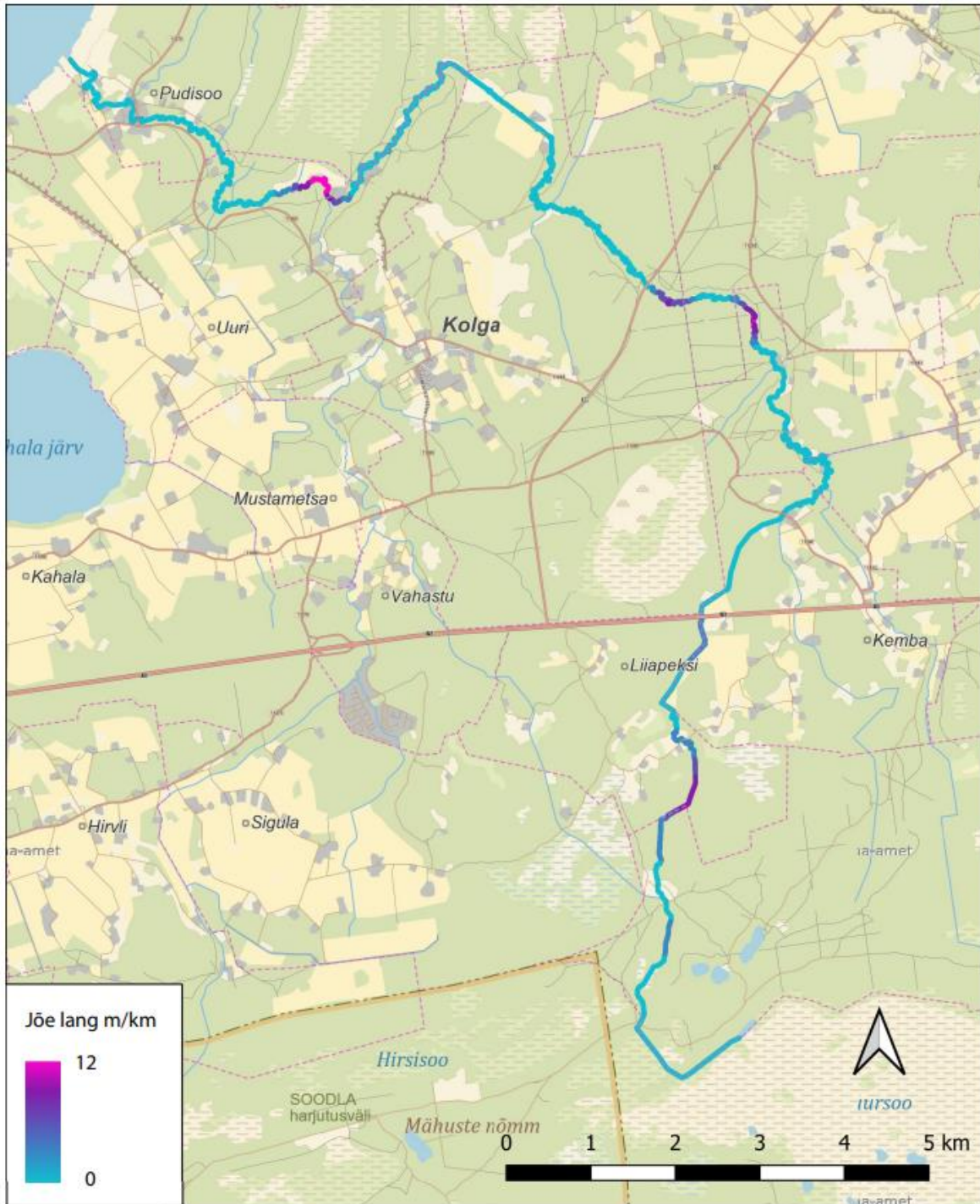
anomaalse languga jõelõiku (joonis 11). Anomaalse languga jõelõiguks nimetatakse jõe pikiprofiili osa, mille lang on suurem talle eelnenud jõelõigust. Esimene anomaalse languga lõik paikneb Matti talu juures 3–4 kilomeetrit, kus jõgi langeb Kemba delta servalt, kus jõe veetaseme kõrgus kahe kilomeetri jooksul alaneb 12,6 meetrit, mis teeb lõigu languks 6,3 m/km. Leitud suurus on oluliselt suurem jõe keskmisest (2,25). Teise suurema languga lõigu leiame Kalme külaga piirnevast jõe osast 13–15 kilomeetrit (Joonis 10). Antud lõigus toimub lang kahes osas umbes ühe kilomeetri pikkuste lõikudena, mida omakorda lahutab umbes üks kilomeeter väiksema languga jõe. Kiirematest lõikudest ülemise lang on 7,4 m/km ja alumise lang on 5,6 m/km. Kolmas anomaalse languga lõik algab Urii külas Raudsilla kinnistu juures ja kulgeb ligikaudu kilomeetri pikkuselt Kolga jõe suudmeni, seal langeb jõgi 1,1 kilomeetri jooksul 13 meetrit ehk 11,8 m/km. Antud lõik on seega jõe kõige suurema languga osa. Eelmainitud suure languga piirkondade vahele jäävad lõigud, mille lang on üsna ühtlaselt üks kuni kaks m/km, vaid alamjooksul on lang alamjooksu suunas sujuvalt vähenev (joonis 9).



*Joonis 9. Pudisoo jõe pikiprofiil.*



*Joonis 10. Pudisoo pikiprofiili esimene tuletis ehk langu muutus.*



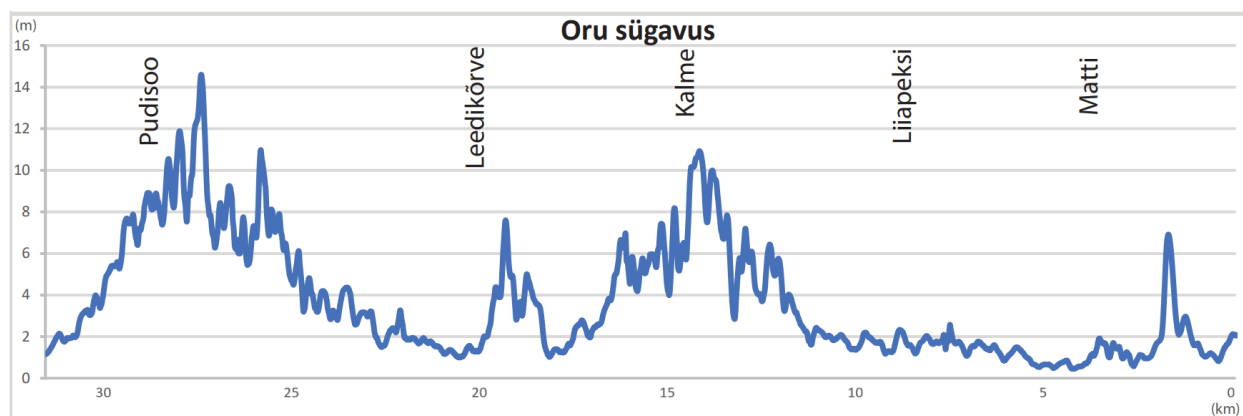
*Joonis 11. Puhala jõe langude suurus. Aluskaardina on kasutatud Maa-ameti põhikaarti.*

## 4.4 Pudisoo jõe orgu iseloomustavad parameetrid

### 4.4.1 Oru sügavus

Oru sügavus küündib Pudisoo jõel kuni 16 meetrini, samas on piirkondi, kus jõel org sisulist puudub ehk jõgi voolab sängorus. Terve jõe keskmine oru sügavus on 3,65 meetrit. Oru sügavuse analüüsid pikiprofiilil aga on näha küllalt suur muutlikkus, et oru sügavuse märkimisväärsed suurenemised toimuvad neljal lõigul, millest kaks on selgelt teistest suurema sügavusega ja pikemad (joonis 12).

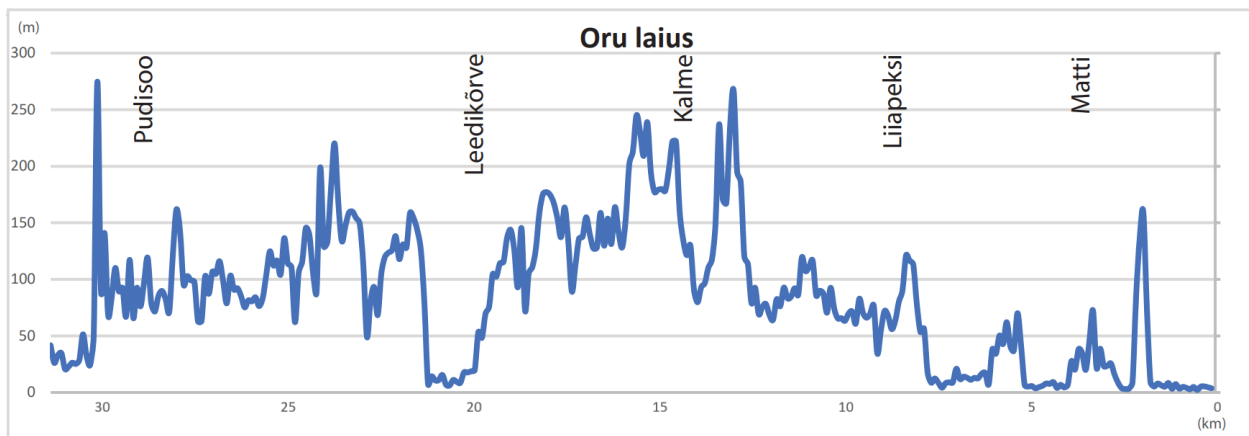
Lähtest suudme poole liikudes leiame esimese sügavuse suurenemise Pühamäe piirkonnas paikneva mõhnastiku tõttu, millest jõgi on end läbi puhandanud (joonis 3). Üldiselt on oru sügavus ülemjooksul 2–3 meetrit, lokaalselt aga ulatub üle seitsme meetri. Allavoolu liikudes jääb oru sügavus umbes kahe meetri piiridesse kuni Kalme külani. Kalme, Vetepere ja Vana-Liivapõllu vahel, oru sügavus hakkab märkimisväärselt kasvama, saavutades oma maksimumi umbes kolm kilomeetrit allavoolu, kus oru sügavus on kuni 11 meetrit. Seejärel hakkab oru sügavus uuesti langema ja enne Punsu oja suuet langeb see taas alla kahe meetri. Vahetult peale Punsu oja suuet umbes 18. kilomeetri juures kasvab oru sügavus taas ning saavutab maksimumi 8 meetrit. Seejärel sügavus taas väheneb ning 20. kilomeetri juures on taastunud sängorg. Viimane oru sügavuse suurenemine leiab aset Pudisoo küla piires. Ligikaudu kümne kilomeetri ulatuses enne suubumist on näha oru suuremaid sügavusi. Selles lõigus on suurimad sügavused Saekalda talu juures ning Maarikoja ja Karu-Augu talude juures, kus org on kuni 16 meetri sügavune (Joonis 12).



*Joonis 12. Pudisoo jõe oru sügavuse muut pikiprofiilil.*

#### 4.4.2 Oru laius

Oru laius varieerub kahest meetrist ülemjooksu sängorus ulatudes kuni 250 meetrini kesk- ja alamjooksul ning on keskmiselt 85 meetrit. Oru laius on senistest jõe oru morfomeetristest parameetritest kõige enam varieeruv. Siiski on võimalik eristada kolme orulõiku, kus oru laius on selgelt suurem ulatudes 100–250 meetrini. Ülemjooksul varieerub oru laius mõnest meetrist kuni 50 meetrini. Umbes seitsmendast kilomeetrist oru laius suureneb 50–100 meetrile ja ligikaudu 13 kilomeetril toimub järsk laiuse muutus kulmineerudes Kalme küla juures, kus oru laius on kohati kuni 250 meetrit. Seejärel toimub aeglane laiuse vähenemine kuni Leedikõrveni, kus õgvendatud jõelõigus on sängoru laius vaid mõni meeter. Peale seda laius suureneb taas 100–200 meetrini kuni Pudisoo asulani. Ekstreemselt kuni 300 meetri laiune lõik esineb 30 kilomeetril. (Joonis 13)



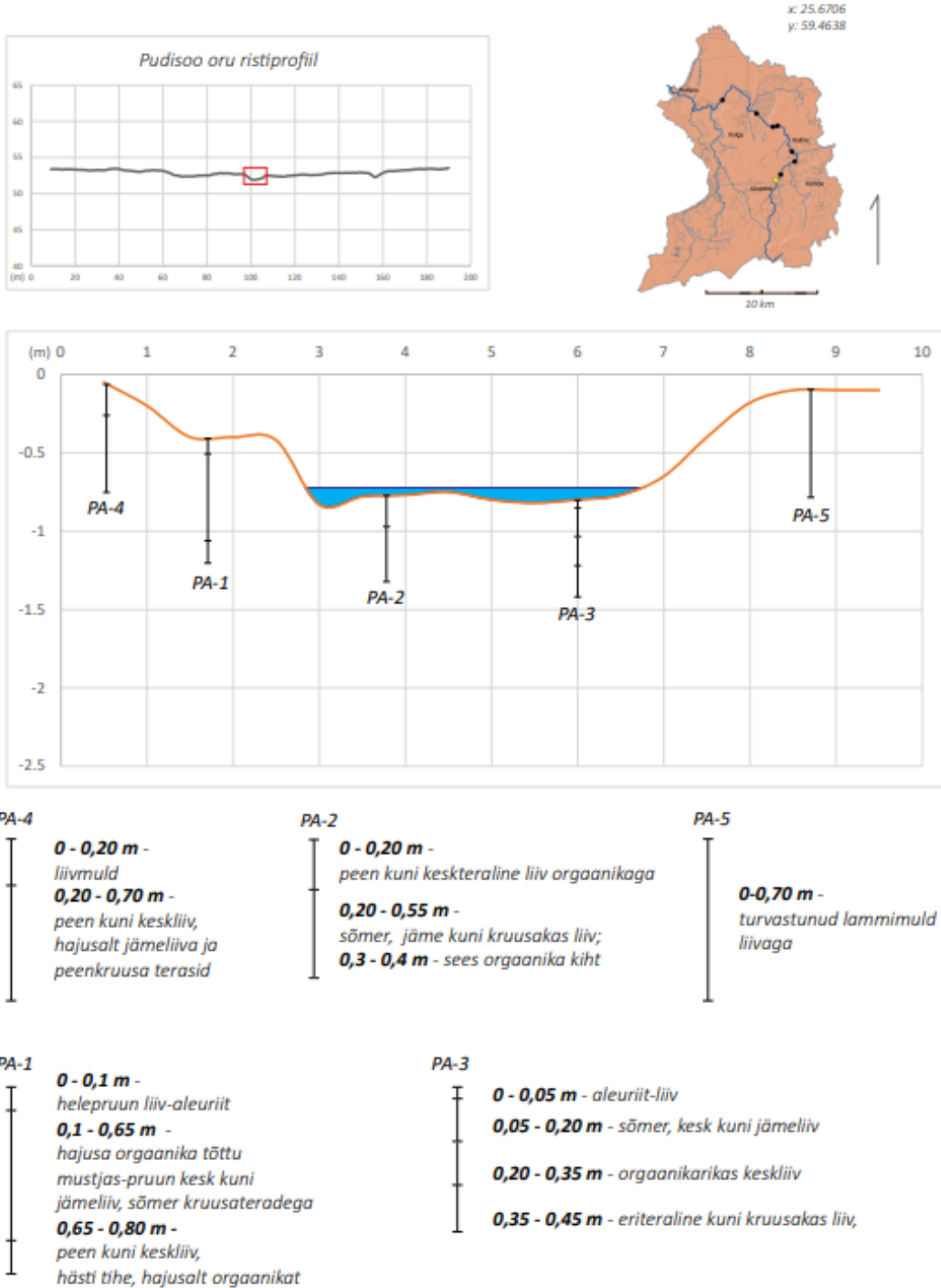
*Joonis 13. Pudisoo jõe oru laius jõe pikiprofiilil.*

#### 4.7 Oru ristlääbilõiked

Pudisoo oru pikiprofiilidest selgub, et jõeorg on väga erinevad kujuga. Joonisel 14 nähtub, et jõgi voolab sängorus, mis on võrdlemisi tasasel piirkonnas. Allavoolu minnes aga näeme, et tekkinud on juba madal lammorg (joonis 15), mida kohati ilmestavad reljeefist tulenevad kuju iseärasused (joonis 16). Liikudes suudme suunas näeme jällegi, lammorgu on küll ainult viis meetrit sügav, kuid see-eest lammiorule iseloomuliku kujuga (joonis 17), lammitasandiku hinnanguline laius on 60 meetrit. Joonisel 18 ja 19 võime näha võrdlemisi sarnaste kuju, mõõtmete ja järskude pervedega sügavat orgu, mille põhjas on näha nõrga kallakusega lammitasandik. Oru sügavus on siin kuni 20 meetrit ja lammitasandiku hinnanguline laius kuni 120 meetrit. Umbes 18 kilomeetril on jõgi naasnud salkorgu ja joonisest 20 nähtub, et suuremaid reljeefi ebataasusi ristiprofiilil ei leidu. 21

joonisel paikneval profiilil, mis asub vaadeldavates profiilidest kõige lähemal lähte, ilmneb jälle lammioru profiil, mida on tugevalt mõjutanud ümbritsev reljeef.

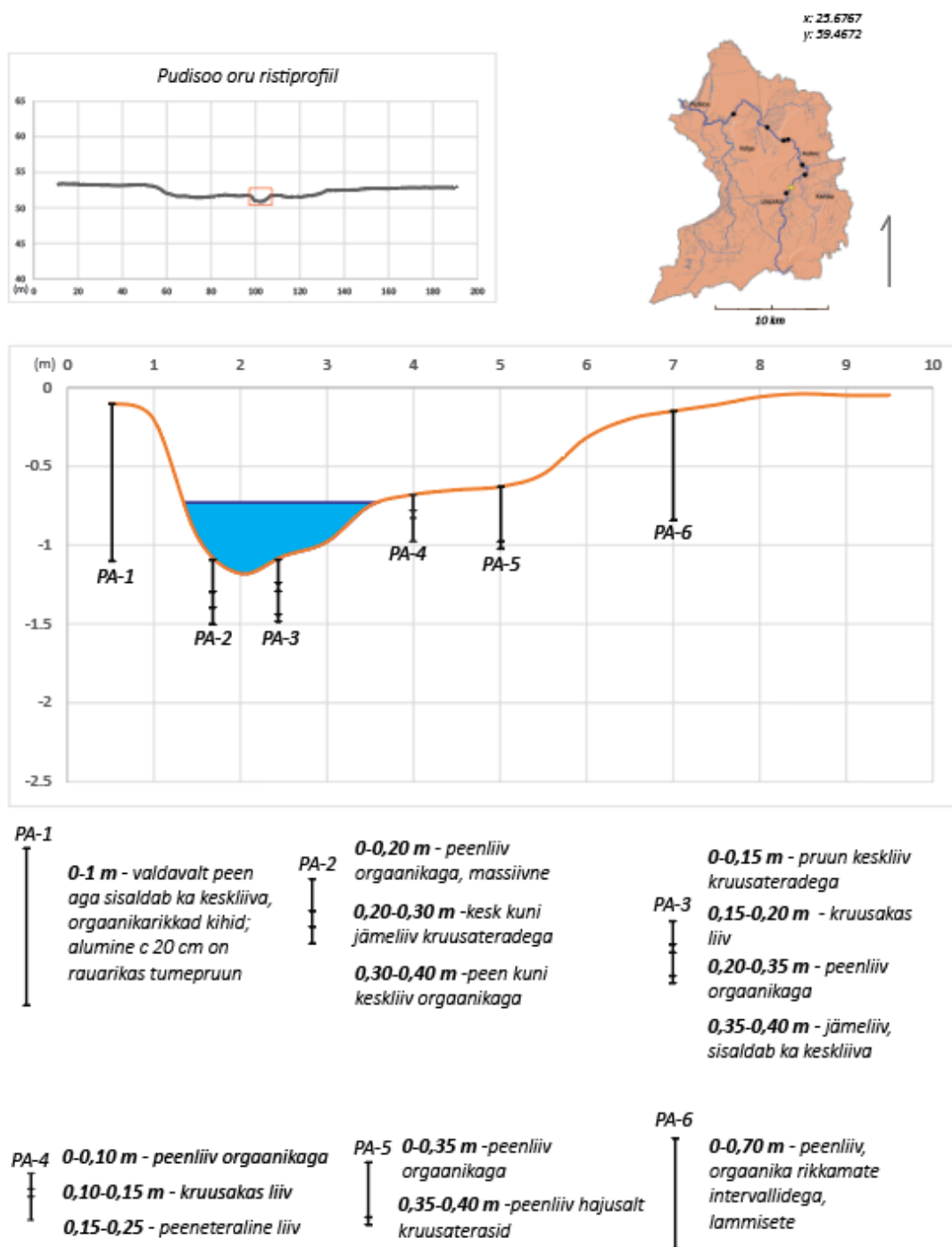
# Pudisoo profil 1



Joonis 14. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 1.



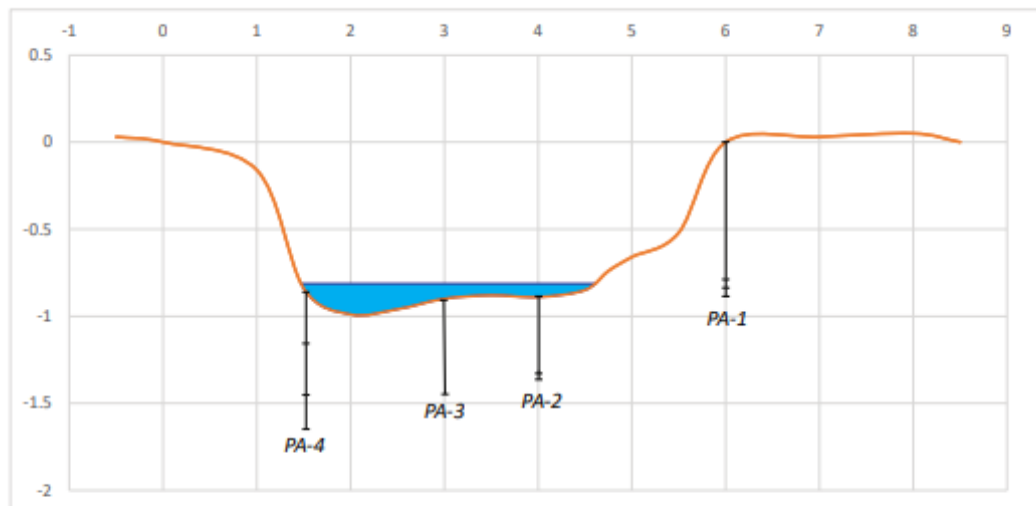
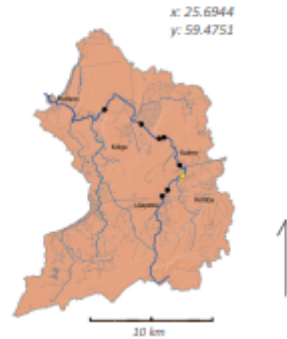
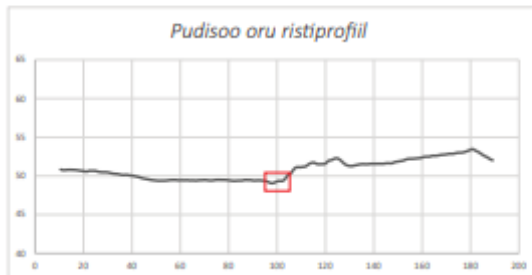
## Pudisoo profil 2



Joonis 15. Pudisoo jõe ristlõike profil nr 2.

# Pudisoo profil 3

Välitööd 05.2023



**PA-4**

- 0-0,30 m - peen-kuni keskliiv
- 0,30-0,60 m - üleminek jämeliivaks
- 0,60-0,80 m - jämeliiv kuni peenkruus

**PA-3**

- 0-0,55 m - sõmer jämeliiv kuni peenkruus

**PA-2**

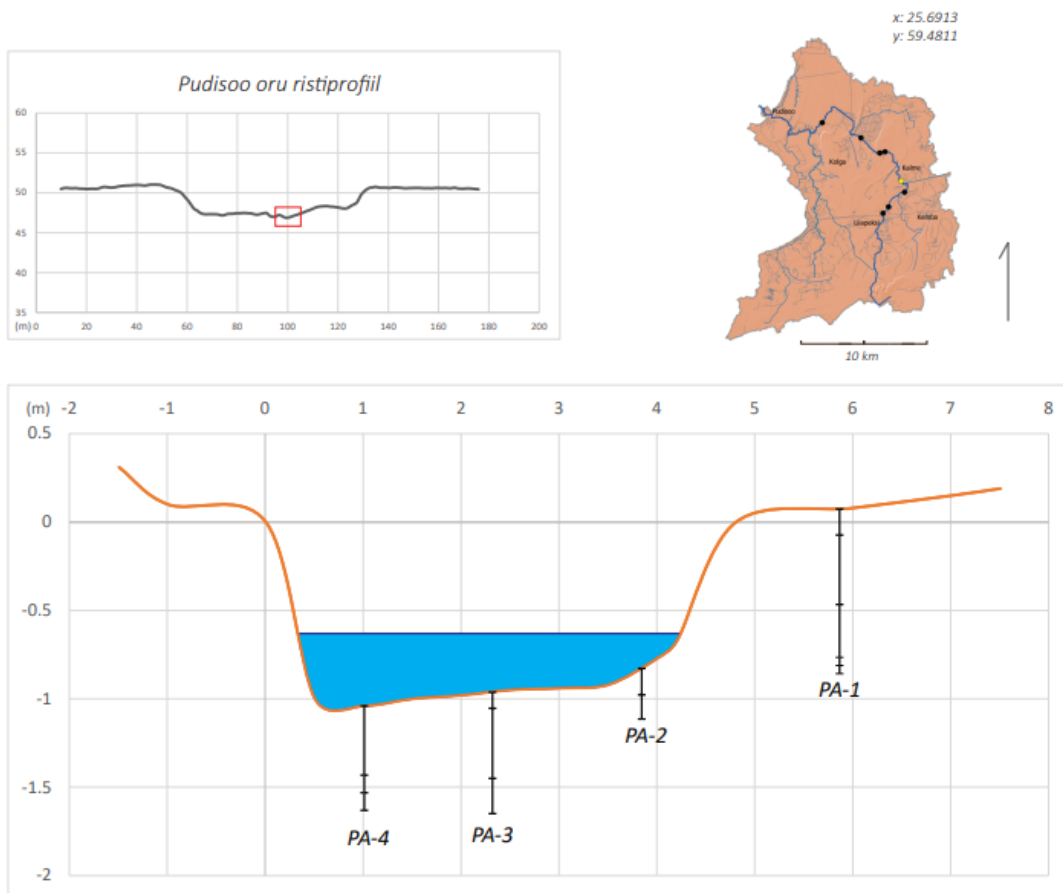
- 0-0,45 m - jämeliiv kuni kruusakas liiv
- 0,45-0,55 m - ümardamata peen-kuni keskruus

**PA-1**

- 0-0,80 m - pruun, hästi pehme tturvasmuld
- 0,80-0,95 m - peenliiv rohke orgaanikaga
- 0,95 - 1,0 m - sõmer keskliiv

Joonis 16. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 3.

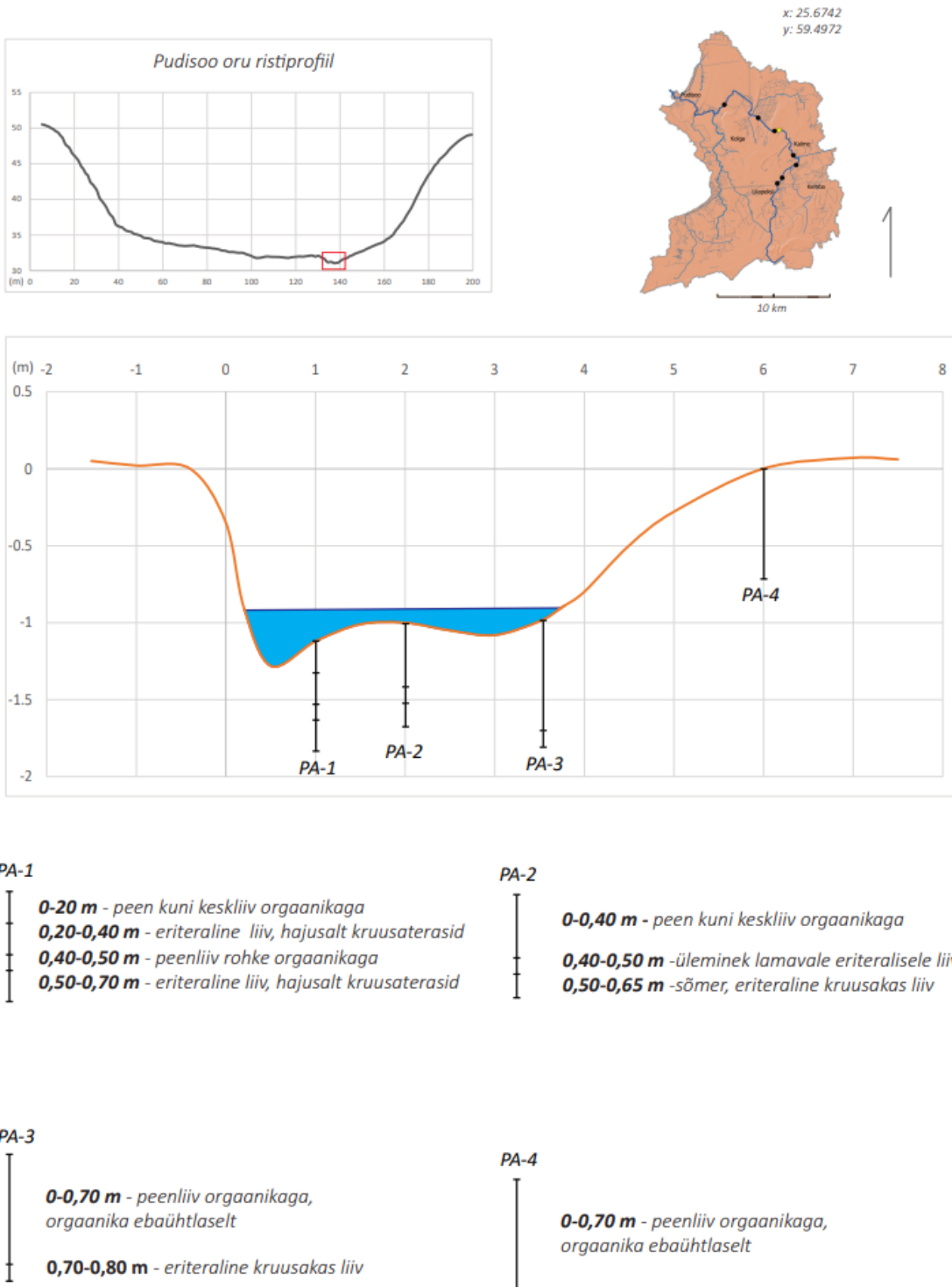
# Pudisoo profil 4



- |   |   |
|---|---|
| <p><b>PA-4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0-0,40 m - eriteraline liiv, kruusakas liiv orgaanikaga</li> <li>0,40-0,50 m -peenliiv rohke orgaanikaga</li> <li>0,50-0,40 m - eriteraline liiv orgaanikaga</li> </ul> | <p><b>PA-3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0-0,10 m - peen kuni keskliiv orgaanikaga</li> <li>0,10-0,50 m - sõmer jämeliiv kruusateradega</li> <li>0,50-0,80 m - üleminek peenliivaks</li> </ul>   |
| <p><b>PA-2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0-0,15 m - peen kuni keskliiv orgaanikaga</li> <li>0,15-0,3m - peen kuni keskliiv orgaanika-</li> </ul>   | <p><b>PA-1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0-0,15 m - kõdu</li> <li>0,15-0,55 m - peenliiv orgaanikaga</li> <li>0,55-0,85 m - eriteraline sõmer liiv, sisaldab orgaanikat ja kruusa</li> <li>0,85-0,95 m - aleuriiti sisaldav peenliiv</li> <li>0,95-1 m - eriteraline liiv</li> </ul> |

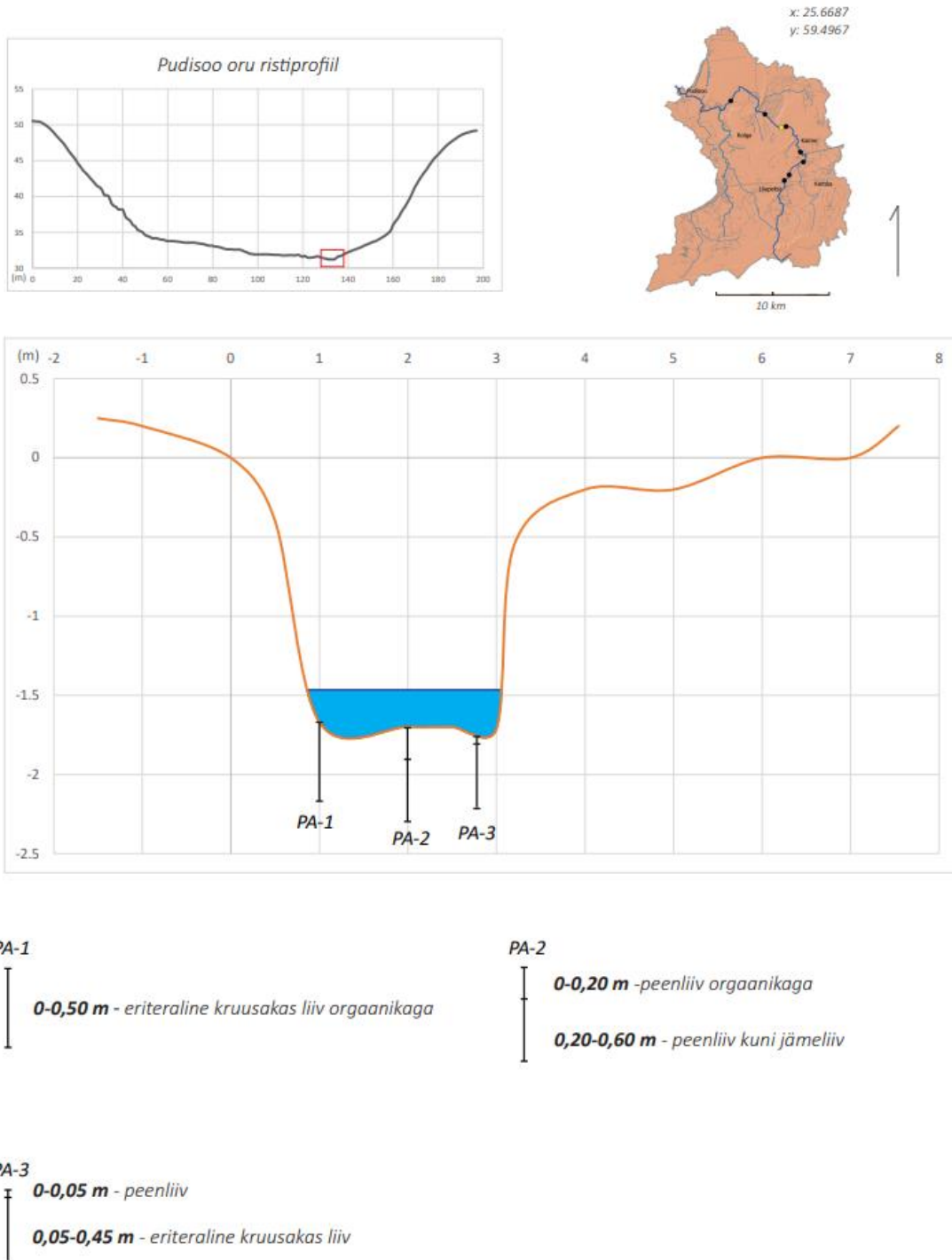
Joonis 17. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 4.

# Pudisoo profil 5



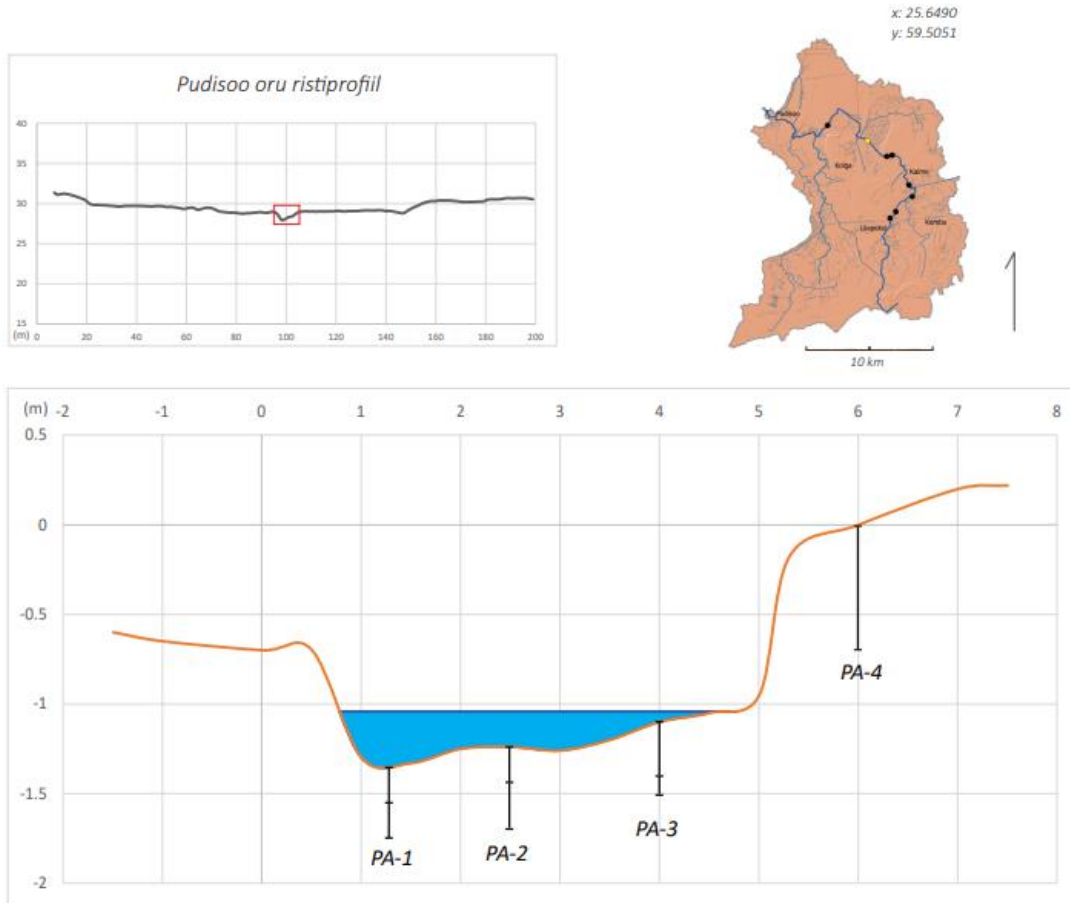
Joonis 18. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 5.

# Pudisoo profil 6



Joonis 19. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 6.

# Pudisoo profil 7



**PA-1**

0-0,20 m - eriteraline kruusakas liiv  
 0,20-0,40 m - tihe must orgaanika

**PA-2**

0-0,20 m - sõmer eriteraline liiv  
 0,20-0,45 m - tihe madalsooturvas, mineraalosa puudub

**PA-3**

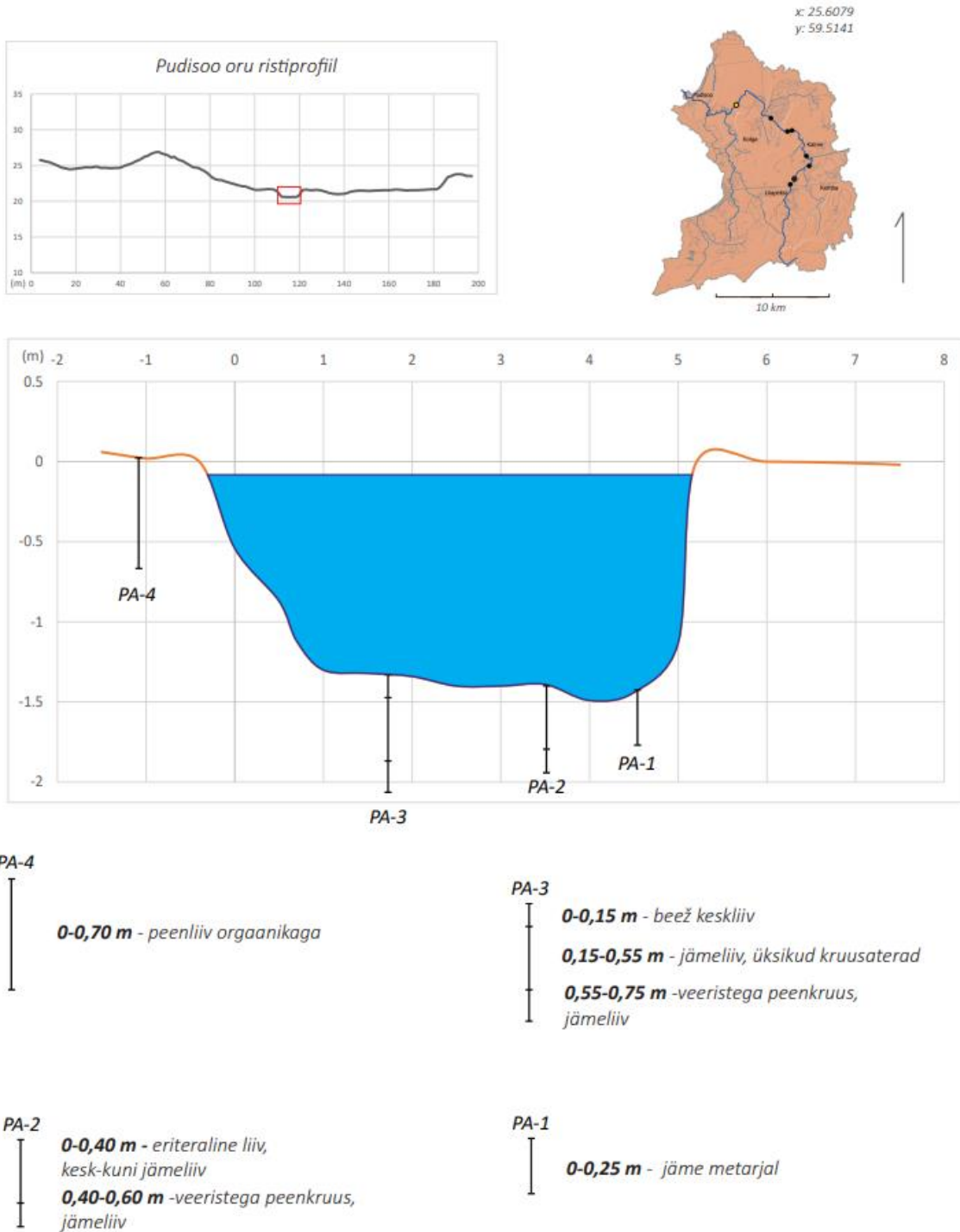
0-0,30 m - eriteraline liiv orgaanikaga  
 0,30-0,45 m - tihe madalsooturvas

**PA-4**

0-0,70 m - tihe peenliiv rohke orgaanikaga

*Joonis 20. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 7.*

# Pudisoo profil 8



Joonis 21. Pudisoo jõe ristlõike profiil nr 7.

## 5. Arutelu

Pudisoo jõe oru morfomeetristest näitajatest on kõige subjektiivsem arvatavasti oru laius, kuna seal sõltub tulemus parameetrite ja oru defineerimisest olulisel määral. Oru sügavus, pikiprofiil ja sellest leitavad väärtused on arvatavasti usaldusväärsed, kuna kasutusel olnud kõrgusmudeli täpsus on võrreldes muude ruumiandmetega üsna täpne. Seega tasuks järgnevates sarnastes töodes keskenduda oru laiuse täpsemale kaardistamisele.

Kuigi kõrgusmudel on üsna täpne, tuleb siingi arvestada, et kõrgusmudelil võivad olla teatud häiringud. Taolise töö puhul võivad sügaval orus paiknevad rändrahnud, palgid, koprapaisud ja muu taolised takistused mõjutada mudelit niipalju, et andmete kvaliteet langeb oluliselt. Kuna jõgi ise on võrdlemisi kitsas võis leida ka anomaaliad, mis on tingitud olukorrast, et jõe asukoht kõrgusmudelil ja ETAK andmekogus ei olnud alati ühene.

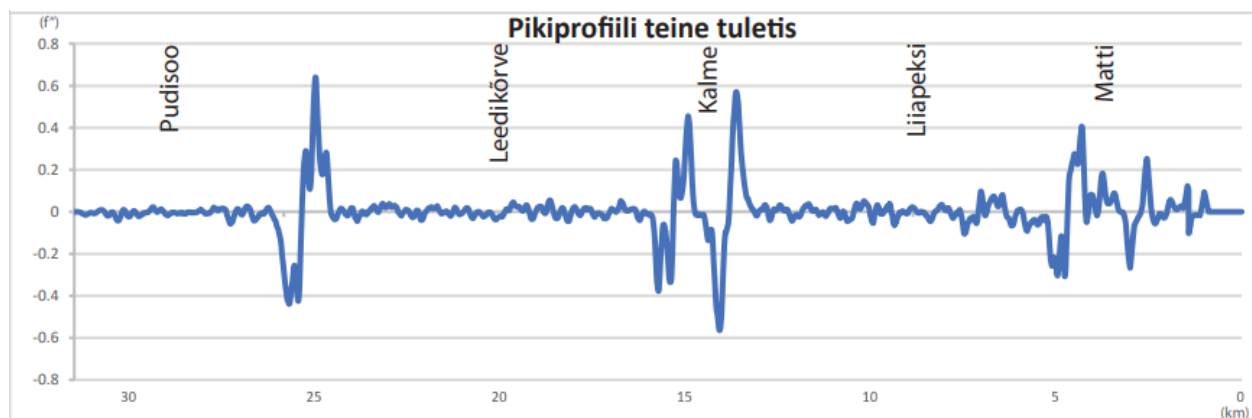
Neljal juhul kolmest eelneb suuremale oru sügavuse kasvule suurema languga jõelõik (Joonis 23). See on autori arvates seletatav suuremast langust tingitud põhjaerosiooniga ning seeläbi tekitab jõgi endale ajapikku sügavama oru. Eelduse selleks annab geoloogilistest teguritest tingitud astang, järsak või mõni muu ebatasasus, mis mõjutab jõge piisavalt. Seda kinnitab ka pikiprofiili esimene ja teine tuletis - esimene tulemus näitab jõe langu muutumist ning teine selle muutumise kiirust, ehk kõveraid ja nõgusaid profiile (joonis 22). Teisest tuletisest näeme selgelt ka, kuidas kumerad profiilid paiknevad selgelt kärestikulisema lõigu alguses või vahetult enne ning nõgusamad profiilid asuvad kärestikulisema osa lõpus või vahetult peale lõppu. See annab kinnitust asjaolule, et langust tuleneva voolukiiruse kasvul on jõe pikiprofiili teisel tuletisel positiivsed väärtused ja voolukiiruse langusel negatiivsed väärtused (joonis 22).

Pudisoo jõel on sügavama oru esinemine seotud suurema oru laiusega. Selle põhjus on üsna triviaalne, nimelt on eesti pinnakate võrdlemisi väikse sidususega ning seetõttu kaasneb sügavama oruga ka suurem oru laius. Vaadeldes oru ristiprofiile 1–8, võib märgata keskjooksul profiile, mis on inimtegurist oluliselt mõjutatud. Neid iseloomustab sängorg, mille vahetus läheduses võivad kulgeda ka kraavid. Oru sügavuse kasvades aga esineb reeglina looduslik säng.

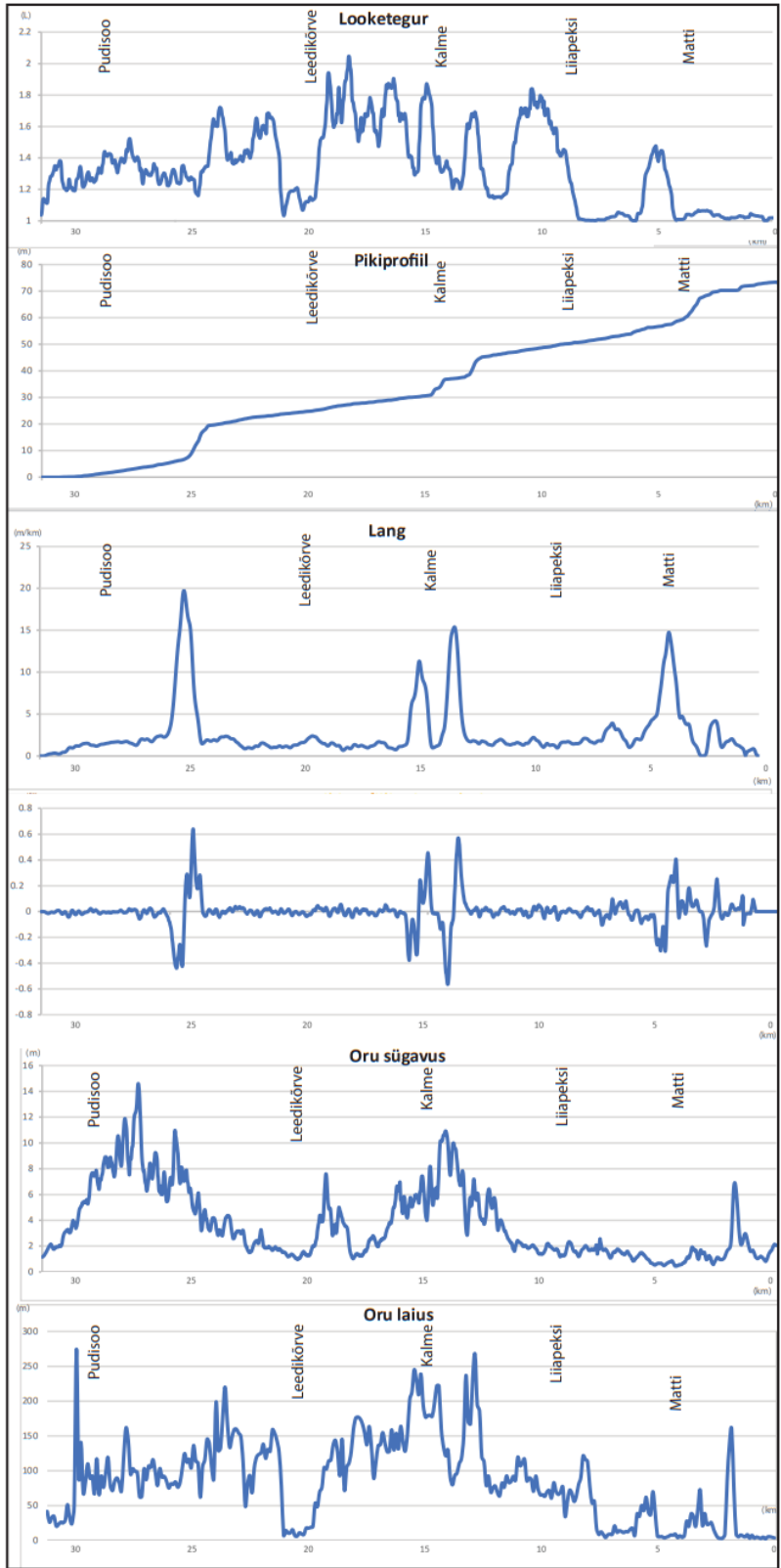


Jõe looklevus on enim mõjutatud inimtekkelise maaparanduse tulemusest. Seda on märgata eelkõige jõe ülemjooksul, kus metsamajanduse eesmärgil on jõe sängi oluliselt õgvendatud. Seevastu piirkondades, kus jõe org on olnud piisavalt sügav ning jõesängi tehnilik muutmise ei ole olnud eesmärgipärane ega tehnilisest mõistlik on ka looklevus suurem. Seda kinnitab ka asjaolu, et Leedikõrve talu ümbruse, kus oru sügavus on väga väike on põllumajanduslikel eesmärkidel jõe sängi oluliselt sirgendatud. Samuti on looklevus mõjutatud sängisetetest, raskemini erodeeritavatel aladel püsib säng sirgem pikemalt.

Tulemuses toodud ristprofiilide setteprofiilidel on antud juhul raske tuua otseseid seoseid jõe morfoloogiliste näitajatega. Arvatavasti seda põhjusel, et võrreldes oru morfoloogiliste näitajate muutumisega olid profiilide vahekaugused liiga suured.



*Joonis 22. Pudisoo jõe pikiprofiili teine tuletis.*



Joonis 23. Pudisoo jõe ja jõe oru morfomeetrilised näitajad.

## Kokkuvõte

Pudisoo jõgi paikneb Ida-Harjumaal, kus saab alguses Suursoos asuvast Pikklaukast (73 m ü.m.p.) ja 32 kilomeetri pärast suubub Kolga lahte. Jõe pikkus mõõdetuna kaardilt milliselt on 32 kilomeetrit.

Pudisoo jõe valgla aluspõhja reljeefi iseloomustavad nõrk lõunasuunaline kallakus, klindias tang, klindineemikud ja mattunud aluspõhjalised orud. Aluspõhja katva pinnakatte paksus on reeglina nii suur, et aluspõhja reljeef jõe kulgemist ja oru morfoloogiat mõjutanud ei ole. Siin on erandiks lühike lõik Kalme ümbruses kus aluspõhja pealispind alaneb järsult ja katva pinnakatte paksus on vaid mõni m. Aluspõhja kallakuse tõttu on jõe lang suur ning sellest tulenevalt ka voolukiirus, mistõttu pinnakate sellel lõigul on ära erodeeritud ja aluspõhja lubjakivid avanevad kärestikulise sängi põhjas. Pinnakatte setetes on peamiselt liustiku ja liustiku sulavee setted, Holotseeni setetest on valglal suurima levikuga soosetted ja Läänemere eri staadiumite liivad kruusad. Pinnavormidest leidub alal hulganisti rannamoodustisi, luiteid, liustikudeltadest tekkinud kõrgendikke ja vähemalt üks oos.

Antud töös kasutati Maa-ameti aerolaserskanneerimisel saadud maapinna kõrgusandmetest koostatud kõrgusmudelit. Sellele tuginedes mõõdeti ja konstrueeriti jõe pikiprofiil, mõõdeti oru sügavuse ja laiuse muutlikkus pikiprofiilil ning arvutati jõe looketegur. Samuti tehti välitõid ning nende käigus loodi kaheksa sängiprofiili. Selle käigus kaardistati setted ühe meetri sügavuselt ning kanti tulemustes toodud skeemidele.

Geoinformaatiliseks analüüsiks kasutati QIS tarkvara. Tulemustest selgus, et jõe langu koosneb Pudisoo jõe kolmest suurema languga piirkonnast, mis paiknevad ülemjooksul, keskjooksul ja alamjooksul. Pudisoo jõe pikiprofiilil esineb kolm suurema ehk anomaalse languga lõiku ülemajooksul Kembal, keskjooksul Kalmel ja alamjooksul Pudisoos. Ülemajooksul on see seotud Kemba glatsiofluviaalse delta liustiku kontaktnõlvaga, keskjooksul klindias tanguga ja alamjooksul rannamoodustiste ja rannatasandiku üleminekualaga. Jõe lookelisuus on mõjutatud jõe langust aga ka inimtegevusest. Eelkõige tuleb see välja ülemajooksul, enne Tallinn-Narva maanteed, kus on selgelt jõge õgvendatud aga ka Liiapeksi põllumajanduslikul maal. Jõe laius on mõjutatud palju geoloogilisest ehitusest aga ka langust. Sügavam oru puhul kipub olema ka laiem org.

# **Morphometric indicators of the Pudi-soo River valley and their determination based on topographic and geological data**

Joosep Aia

## **Summary**

Streams are crucial habitats that support a wide range of living creatures. What makes Pudi-soo River in northern Estonia unique, is that it harbors the only surviving freshwater mussels (*Margaritifera margaritifera*) population in Estonia. Older and juvenile individuals of the population are represented in the river when the middle-aged population is missing or is very rare. Amongst the factors affecting the pearl population the flow parameters and sediments largely depending on flow gradient, meandering and sediment supply are of critical importance. Therefore, it is essential to analyze the parameters of the river and its watershed.

The Pudi-soo River is located in Eastern Harju County, southern Gulf of Finland. River starts from the Pikklaugas pond in Suursoo and flowing into Kolga Bay after a distance of 32 km. The catchment area of the river exhibits a gentle southward sloping. The bedrock surface lying at an altitude of -60 to 55 meters displays few outstanding features as an ancient coastal cliff called locally North-Estonian klint, klint headlands, klint bays and buried bedrock valleys. A thick surface covering eliminates the influence of the underlying relief on the Pudi-soo River, except for the section above the Kalme cut where the river has intersected the bedrock and exposed limestone at the bottom of the channel. The surface cover in the watershed consists of glacial and glacial meltwater deposits, as well as Holocene Baltic Sea sediments, ranging in thickness from a few centimeters on bedrock outcrops to 60 meters in front of cliffs.

Using LiDAR base elevation data and DEM this study focuses on determining the catchment of the River Pudi-soo, the examining of the longitudinal profile, width and depth of the river valley and the meandering parameters along the river profile. The data obtained through aerial laser scanning and the Estonian topographical database were used for this purpose. Based on this information, the longitudinal profile of the river was measured and constructed. The study also measured the variations in depth and width of the valley along the longitudinal profile and calculated the meandering factor of the river. Additionally, fieldwork was conducted, resulting in

the creation of eight cross profiles. Sediments were mapped at a depth of one meter and incorporated into the diagrams provided in the results.

Through the mathematical analysis, the first and second derivatives of the river's longitudinal profile were calculated. Geoinformatic analysis to obtain geometric parameters for the river and the valley were performed using QGIS software.

The results revealed three distinct sections along the longitudinal profile with significant changes in gradient: the upper reaches, middle course, and lower course. The NW ice contact slope of the Kemba glaciofluvial delta contributes to the greater (6,3 m/km) fall in the upper reaches. The klint escarpment causes the increased fall (7,4 m/km) in the middle courses of the river, while the beach formations contribute to it in the lower courses, respectively. The meandering of the river has been strongly affected by human activities, resulting in significant straightening of the riverbed, particularly in the upper and middle courses. The width of the river is influenced by both the geological structure and changes in gradient, with deeper valleys tending to have wider valleys.

## **Tänuavaldused**

Täna enda juhendajaid Tiit Hangu ja Raivo Aunapit asjatundliku ja pühendunud panuse eest.

## Kirjanduse loetelu

- 1) **Arold, I.** (2005). *Eesti maastikud*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- 2) **Beeson, H. W., Flitcroft, R. L., Fonstad, M. A., Roering, J. J.** (2018). Deep-Seated Landslides Drive Variability in Valley Width and Increase Connectivity of Salmon Habitat in the Oregon Coast Range. *Journal of the American Water Resources Association*, 54(6), 1325–1340. Doi: 10.1111/1752-1688.12693.
- 3) **Bertalan, L., Novak, T. J., Nemeth, Z., Rodrigo-Comino, J., Kertész, A., Szabó, S.** (2018). The Example of the Sajó River, Hungary. *Water*, 10(11), 1613. Doi:10.3390/w10111613.
- 4) **Blair, T. C., McPherson, J.** (1999). Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 6–19. Doi: 10.2110/jsr.69.6.
- 5) **de Jager, M.** (2015). *An analysis of soil properties associated with badland and gully erosion in rural catchments of the Ngqushwa District, Eastern Cape Province*. Magister Scientiae. Nelson Mandela Metropolitan University, Faculty of Science. Doi: 10.13140/RG.2.1.4180.6242.
- 6) **Eesti Veemajandusinspektsioon.** (1986). *Eesti NSV jõgede, ojade ja kraavide ametlik nimestik*. Tallinn: Valgus.
- 7) **Hafel, Y. I.** (2022). Excess energy theory for river curvature and meandering. *Journal of Hydrology*, 608. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.127604.
- 8) **Hang, T., Kalm, V.** (2014). Maa pinnamood ja seda kujundavad tegurid. Mander, Ü. ja Liiber, Ü. (toim.), *Üldmaateadus. Õpik kõrgkoolidele*. 143–230. Tartu: Eesti Loodusfoto.
- 9) **Hang, T., Loopman, A.** (1995). Jõed. Raukas, A. (toim.), *Eesti Loodus*. 292–300. Tallinn: Valgus.
- 10) **Harel, E., Goren, L., Crouvi, O., Ginat, H., Shelef, E.** (2022). Drainage reorganization induces deviations in the scaling between valley width and drainage area. *Earth Surface Dynamics*, 10(5), 875–894. Doi: 10.5194/esurf-10-875-2022.
- 11) **Harel, E., Goren, L., Shelef, E., Ginat, H.** (2019). Drainage reversal toward cliffs induced by lateral lithologic differences. *Geology*, 47(10), 928–932. Doi: 10.1130/G46353.1.
- 12) **Jaanus, M.** (2012). *Eesti jõgede looklevus ja looklevuse mõõtmise*. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.
- 13) **Järvekülg, A.** (2001). *Eesti jõed*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

- 14) **Kawai Venancio, K., Garcia, P., Gireli, T., Corrêa, T.** (2020). Hydrodynamic modeling with scenario approach in the evaluation of dredging impacts on coastal erosion in Santos (Brazil). *Ocean & Coastal Management*, 195, 1–15. Doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105227.
- 15) **Kessel, H., Linkrus, E.** (1979). *Vanadest rannajärvedest ja nende rannamoodustistest Lahemaa lääneosas*. Raukas, A. (toim.). Eesti NSV saarkõrgustike ja järvenõgude kujunemine. 104-117. Tallinn: Valgus.
- 16) **Kumaraswamy, T. R., Javeed, S., Javaid, M., Naika, K.** (2019). *Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation*. Singapore, Springer.
- 17) **Kimmel, K.** (2015). *Eesti Sood*. Tallinn: Varrak.
- 18) **Leopold, L. B., Wolman, M. G.** (1957). *River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight*. Physiographic And Hydraulic Studies of Rivers. Geological Survey Professional Paper 282-B.
- 19) **Mardiste, H., Järvet, A., Sepp, M., Kanal, A., Karro, E.** (2014). Hüdrosfäär. Mander, Ü. ja Liiber, Ü. (toim.), *Üldmaateadus. Õpik kõrgkoolidele*. 309-379. Tartu: Eesti Loodusfoto.
- 20) **Mueller, J. E.** (1968). An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes. *Annals of the Association of American Geographers*, 58(2), 371–385. Doi: 10.1111/j.1467-8306.1968.tb00650.x.
- 21) **Mõisja, K.** (2019). Kohateabe edastamine. Roosaare, J. (toim.). *Geoinformaatika. Õpik kõrgkoolidele*. 529–633. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- 22) **Piirimäe, K., Kiiker, K., Raidla, M., Malleus, M., Jürgenstein, T.** (2016). *Pudisoo jõe (Pärlijõe) veetasemete ja jõesängis liikuvate setete seirevõrgustiku loomise ettevalmistamine koos valgla analüüsiga*. Consultare OÜ. Aruanne.
- 23) **Roosaare, J.** (2019). Kartograafiline modelleerimine. Roosaare, J. (toim.). *Geoinformaatika. Õpik kõrgkoolidele*. 393–411. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- 24) **Saarse, L., Vassiljev, J., Heinsalu, A.** (2010). Reconstruction of the land–sea changes on the Juminda Peninsula, North Estonia, during the last 10 300 years. *Baltica*, 23 (2), 117–126.



- 25) Suuroja, K., Saarde, T., Morgen, E., Mardim, T., Kadastik, E., Jalakas, I., Aibast, M., Tammiste, E. (1999). *Lahemaa Geoloogilis-Hüdroloogiline kaardistamine mõõtkavas 1:50 000* (GR-94-15/1; p. 34). Eesti Geoloogiakeskus. Aruanne.
- 26) Vahula, M. (1995). Pudisoo jõestiku hüdroloogiast, hüdrokeemiast ja ebapärlikarbi (*Margaritifera margaritifera*) populatsiooni seisundist. Bakalaurusetöö. Tartu Ülikool, Zooloogia ja Hüdrobioloogia Instituut, Hüdrobioloogia õppetool.

### Interneti allikad

- 1) **Documentation QGIS 2018.** (i.a). Zonal Statistics Plugin. Külastatud 06.05.2023.  
[https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user\\_manual/plugins/plugins\\_zonal\\_statistics.html](https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user_manual/plugins/plugins_zonal_statistics.html)
- 2) **Eesti Geoloogiateenistuse geoportaal.** (2023). Geoloogiline baaskaart. Külastatud 04.04.2023.  
<https://gis.egt.ee/portal/apps/webappviewer/index.html?id=a5d1134b615f4d2c9662a195e5dfb47f>
- 3) **GRASS GIS manual.** (2022). R.crave. Külastatud 05.05.2023.  
<https://grass.osgeo.org/grass82/manuals/r.mode.html#>
- 4) **Keskonnaportaali internetilehekülg.** (2022). Pärlijõgi / Pudisoo jõgi. Külastatud 14.03.2023. <https://register.keskkonnaportaal.ee/register/body-of-water/8380270>
- 5) **Maa-ameti geoportaal.** (2021). ALS III ring (2016) 2017—2020. Külastatud 13.03.2023.  
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Korgusandmed/Aerolaserskaneerimise-korguspunktid/ALS-III-ring-2016-20172020-p625.html>
- 6) **Maa-ameti geoportaal kaardirakendus.** (2023a). Ajaloolised kaardid. Külastatud 10.04.2023. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/ajalooline>
- 7) **Maa-ameti geoportaal kaardirakendus.** (2023b). Eesti põhikaart. Külastatud 14.03.2023. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>
- 8) **Maa-ameti geoportaal kaardirakendus.** (2023c). 1:50 000 geoloogiline baaskaart. Külastatud 15.03.2023. [X-GIS 2.0 \[geoloogia50k\] \(maaamet.ee\)](https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo)
- 9) **Maa-ameti geoportaal kaardirakendus.** (2023d). Maainfo. Külastatud 14.03.2023.  
<https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>

- 10) **Maa-ameti geoportaali kaardirakendus.** (2023e). Maaparandussüsteemid. Külastatud 10.04.2023. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maaparandus>
- 11) **RMK internetilehekülg.** (i.a). Ebpärlikarbi populatsioonide ja elupaikade taaselustamine. Külastatud 24.05.2023.  
<https://rmk.ee/organisatsioon/el-fondid-1/life-programm/life-revives?fbclid=IwAR269Z0tMwy3FIOZa2R2oXaXDS0XxbX9oOjn1IbDXVg6PEAcLoxSfeE5YA8>
- 27) **QGIS Python Plugins Repository.** (i.a). RiverMetrics. Külastatud 06.05.2023.  
<https://plugins.qgis.org/plugins/RiverMetrics/>
- 12) **SAGA-GIS Tool Library Documentation (v7.2.0).** (2012). Tool Valley Depth. Külastatud 06.05.2023.  
[https://sagagis.sourceforge.io/saga\\_tool\\_doc/7.2.0/ta\\_channels\\_7.html](https://sagagis.sourceforge.io/saga_tool_doc/7.2.0/ta_channels_7.html)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Joosep Aia,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose **Pudisoo jõe oru morfomeetrilised näitajad ja nende leidmine topograafiliste ja geoloogiliste andmete alusel**, mille juhendajateks on Tiit Hang ja Raivo Aunap, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Joosep Aia*

**28.05.2023**