

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

**Porkuni järve ja Väinjärve valgala iseloomustamine mulla  
ärakande modelleerimise teel**

Eliisabet Preismann

Juhendaja: PhD Raivo Aunap

Tartu 2025

## **Annotatsioon**

### **Porkuni järve ja Väinjärve valgala iseloomustamine mulla ärakande modelleerimise teel**

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli modelleerida potentsiaalsed mulla ärakannet Porkuni järve ja Väinjärve valgaladel ning hinnata valgalaade maakasutuse potentsiaalsed mõju järvede seisunditele. Töös iseloomustati valgalaade omadusi ning arvutati valgalaade ja alamvalgalaade statistilised näitajad. Analüüs põhines Maa- ja Ruumiameti viiemeetrisel digitaalsel kõrgusmudelil, mille alusel modelleeriti järvede valgala ning mulla ärakanne. Uurimistöö tulemusena tekkis ülevaade Porkuni järve ning Väinjärve valgalaast ning nende potentsiaalsest mulla ärakandest.

**Märksõnad:** mulla ärakanne, RUSLE mudel, Pandivere kõrgustik, Porkuni järv, Väinjärv

**CERCS kood:** P510 – Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

### **Characterization of the Lake Porkuni and Lake Väinjärv catchment area by modeling soil erosion**

The aim of this bachelor's thesis was to model the desired soil erosion in the Lake Porkuni and Lake Väinjärv catchment areas and to assess the desired impact of land use in the catchment area on the conditions of the lakes. The work characterized the characteristics of the catchments and calculated the statistical indicators of the catchments and subcatchments. The analysis was based on the five-meter digital elevation model of the Estonian Land and Spatial Development Board, on the basis of which the catchment area and soil erosion of the lakes were modeled. The research work published an overview of the Lake Porkuni and Lake Väinjärv catchment area and these soil erosions.

**Keywords:** soil erosion, RUSLE model, Pandivere upland, Porkuni Lake, Väinjärv

**CERCS code:** P510 – Physical geography, geomorphology, soil science, cartography, climatology

# Sisukord

Sissejuhatus .....	5
1. Teoreetiline ülevaade .....	6
1.1 Uurimisala ülevaade .....	6
1.1.1 Pandivere kõrgustik .....	6
1.1.2 Porkuni järv .....	6
1.1.3 Väinjärv .....	9
1.2 Veepoliitika raamdirektiiv .....	10
1.3 Veekogude seisundi hindamine.....	11
1.4 Ökoloogilise seisundi modelleerimine .....	12
1.4.1 Mulla ärakande mudelid.....	12
1.4.2. Põhja- ja pinnavee mudelid.....	14
2. Materjal ja meetodika.....	15
2.1 Järvede valgala piiritlemine .....	15
2.2 Mulla ärakande arvutamine.....	16
2.3 Järvede valgala statistiliste näitajate arvutamine .....	19
3. Tulemused ja arutelu .....	20
3.1 Valgalade piiritlemine .....	20
3.2 Mulla ärakande modelleerimine.....	23
3.3 Valgalade statistiliste näitajate analüüs .....	25
3.3.1 Maakate .....	25
3.3.2 Mullad .....	29
3.3.3 Mulla ärakanne .....	32
3.4 Potentsiaalsed reostusallikad.....	34
4. Arutelu.....	36
4.1 Järvede võrdlus.....	37
4.2 Mulla ärakande potentsiaalne mõju.....	38

4.3 Keskkonna mõju.....	39
5. Kokkuvõte.....	40
Summary.....	41
Tänuavaldused .....	42
Kasutatud kirjandus.....	43

## Sissejuhatus

Veekogumite seisund on oluline keskkonnaseisundi indikaator, peegeldades nii looduslikke kui inimtekkelisi protsesse, mis on mõjutatud kogu valgalast. Tänapäeval on üks levinumaid ohutegureid veekogude seisundile hajureostus, mis kandub edasi mullaerosiooni tulemusel. Seetõttu on tähtis teada mullaerosiooni ruumilist ulatust ning potentsiaalset mõju veekogude seisundile. Mullaerosiooni mõju ulatub ökosüsteemi, põllumajandusliku tootmise, joogivee, eutrofeerumise, bioloogilise mitmekesisuse ja süsinikuvarudeni (Panagos jt 2015b).

Euroopa Liidu keskmine mulla erosiooni määr on ligikaudu 2,46 t/ha (Panagos jt 2015b). Kõrgeim mullakadu esineb haritaval ja hõredal taimestikul, kus taimkate ei suuda pinnast piisavalt kaitsta. Tegelike mullaerosiooni näitajate mõõtmine on aeganõudev ning kulukas, mistõttu kasutatakse selle asemel laialdaselt mudelipõhiseid meetodeid. Riiklik veeseire keskendub samuti vaid suurematele veekogudele, mistõttu on väiksemate oma peaaegu olematu. Seireandmete puudumisel võib veekogude seisundi hindamisel alternatiivina kasutada kaudseid meetodeid, modelleerides valgalaid ning kaardistades ainevooge ja reostusallikaid.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on modelleerida potentsiaalset mulla ärakannet Porkuni järve ja Väinjärve valgaladel ning hinnata valgala maakasutuse potentsiaalset mõju järvede seisunditele. Töös analüüsitakse RUSLE mudeliga arvatud mullaerosiooni ruumilist jaotust kahe Pandivere kõrgustiku järve valgaladel ning saadud tulemused seostatakse maakatte ning mulla omadustega. Selgitatakse välja, millised alamvalgalad on suurima potentsiaalse mulla ärakandega ning missugune on mulla ärakanne potentsiaalne mõju järvede seisundile.

Töös kasutatakse peamiselt Maa- ja Ruumiameti geoportaali digitaalse kõrgusmudelit, ETAK veekogude kaardikihte ning Keskkonnaagentuuri 2018. aasta CORINE maakatte kihti. Töö tulemusena leitud andmeid võrreldi Maaelu Teadmuskeskuse avaliku mullaerosiooni kaardirakenduse andmetega. Modelleeritud tulem annab väärtuslikku sisendit maakasutuse ning keskkonnakaitse planeerimiseks ning aitab paremini teadvustada mulla erosiooni protsesside võimalikust rollist järvede seisundi kujunemisel.

# 1. Teoreetiline ülevaade

## 1.1 Uurimisala ülevaade

### 1.1.1 Pandivere kõrgustik

Pandivere kõrgustik on põhjavee kujunemise ala ning Eesti suurim infiltratsiooniala, mistõttu on see üheks tähtsaimaks põhjaveevaruks (Sall jt 2012). Eesti geoloogilise baaskaardi seletuskirja järgi (2015) puuduvad kõrgustiku keskosas, umbes 1375 km<sup>2</sup> suurusel maa-alal, alalised veekogud. Porkuni järv on ainuke looduslik järv Pandivere kõrgustiku lael. Põhjavesi väljub allikatena kõrgustiku nõlval ja jalamil põhjustades soostumist. Sealt saavad alguse mitmed suured Eesti jõed (Pärnu, Põltsamaa, Pedja, Jägala, Loobu, Kunda, Valgejõgi jt), mistõttu on veekaitse Pandivere kõrgustikul eriti oluline. Kõrgustiku jagab põhja-lõuna suunas kaheks loode-kagu suunaline Porkuni ürgorg ja selle Porkunist lõuna poole üle Kiltsi suunduv haru (Eesti Geoloogiakeskus 2015).

Pandivere kõrgustikul on aluspõhjaks karstunud lubjakivid ja dolomiidid, mistõttu leidub sealses piirkonnas palju karstijärvikuid (Heinsalu 1979). Assamalla luha veed valguvad kohalike arvamus järgi Võhmetu-Lemküla karstijärvedesse. Lemküla, Võhmetu ja Piisupi lähistel asuvad Pandivere tuntuimad karstijärved, mille veetase hakkab tõusma, kui Assamalla luhas veetase alaneb (Joonuks 1974).

### 1.1.2 Porkuni järv

EELISE andmetel (2024) on Porkuni järv (keskkonnaregistri kood VEE2033500) paisjärv Lääne-Viru maakonnas Tapa vallas Porkuni külas. Porkuni järv kuulub Harju alamvesikonda ja Lääne-Eesti vesikonda ning sellest saab alguse Valgejõgi, mis suubub Hara lahte. Järve veepeegli pindala on 49,4 hektarit, millele lisandub saartealune pindala 4,9 ha (EELIS 2024). AS Mavesi (2007) kirjelduse järgi on Porkuni järv paisudega jagatud neljaks: Suurjärv ehk Ülemine järv (36 ha), Karujärv ehk Alumine järv (1,9 ha), Aiajärv (1 ha) ja Iiri järv (0,3 ha). Loodepoolsed saared, 7,5 ha suurune Lossisaar ja sellest 40 m põhja pool Alumises järves asuv 0,1 ha suurune saar, on mineraalpinnasest. Suurjärve kaguosas paiknevad mitmed turbapinnasega saared, millest mõned kõrge veetaseme korral ja tuule kaasabil suudavad asukohtasid vahetada (AS Maves 2007). Järve keskmine sügavus on 2 meetrit ning maksimaalne sügavus 3 meetrit (EELIS 2024). Järv on tuntud oma veetaseme kõikumise ning

Suurjärvel ujuvate saarte poolest. Mõnel aastal jääb järv täiesti kuivaks, mille põhjustavad järve põhjas olevad karstilõhed (Eesti Geoloogiakeskus 2015).

EELISE andmete põhjal kuulub Porkuni järv Veepoliitika Raamdirektiivi (VRD) järgi veetüübilt kalgiveeliste kloriidivaesete ja kihistumata veega järvede (I) hulka. Valgala ametlik pindala on 28,8 km<sup>2</sup>. Veevahetus toimub järves 15 korda aastas, mistõttu on veevahetus skaalal 5. ehk väga tugev. Järve pikkus on 2020 m, kaldajoone pikkus 12 710 m ning kalda liigendatus on 5,1. Limnoloogiliselt tüübilt kuulub järv alkalitroofsete ehk allikatoiteliste hulka (EELIS 2024). Järv kuulub Porkuni maastikukaitseala koosseisus Natura 2000 võrgustikku ning asub Adavere-Põltsamaa nitraaditundlikul alal (AS Maves 2007).

Porkuni ürgorus esineb rohkesti allikaid, mille hulka kuuluvad ka Porkuni järve peamiselt toitvad aluspõhja allikad (Heinsalu 1963). Allikate esinemist on täheldatud järve kagutipus ja kirdepoolses servas. AS Mavesi uuringu (2007) jäävad suurimad allikad ehk Külma- ja Kaieallikas kirdekalda keskosasse. Järve vesi on heleroheline, põhjani läbipaistev ja hästi segunev. Veetase on umbes 106 m ümp – kõrgseisude ajal paar meetrit kõrgem, madalseisu korral võib järv täielikult ära kuivada. Järve täielik kuivamine on üles täheldatud aastatel 1940, 1965, 1976, 2003 ning 2006, kuid vee-elustik taastub peale kuivaks jäämist eelnevaga sarnaseks. Järve kaldad on enamasti järsud, ulatudes loodeosas ja Lossisaarel veepiirist kümnekond meetrit kõrgemale. Kaguosas on kaldad madalamad ja soostunud ning maapind tõuseb seal 5 meetrit (AS Maves 2007).

Heinsalu (1963) järgi saab Porkuni järvest alguse Valgejõgi, mis voolab oma ülemjooksul Porkuni ürgorus. Ürgoru põhja laius ulatub 0,5 kilomeetrini ja selle sügavus on umbes 10 meetrit. Pandivere kõrgustiku piires on oru nõlvad võrdlemisi järsud. Kõrgustiku piires on Valgejõgi osaliselt süvendatud ning voolab kunstlikus sängis. Mööda Porkuni ürgorgu kulgeb ulatuslik loode-kagusuunaline lõheliisuvöönd, mille olemasolu Porkunist loodepool näitab oru sirgjooneline kulgemine ja lõikumine kaugele kõrgustiku sisse. Kagu suunas jätkub org maetuna kulgedes üle Koonu ja Vesioru vähemalt Eipri külani. Porkunist Koonuni on maapinna reljefis loode-kagusuunaliselt orgu märgata väga lameda orundina. Mattunud ürgoru laius on 1-1,5 km ja sügavus 8-10 m. Juba jääajaeelsel ajal toimus Porkuni lõheliisuvööndi piires intensiivne karsti areng ning see jätkus ka holotseenis. Pindmised karstivormid esinevad enamuses lõheliisuvööndi edelapoolsel serval, mis võib olla tingitud loode-kagusuunalistest hästi välja kujunenud lõhedest nii vertikaalses kui horisonaalses

suunas just vööndi edelapoolsel serval, mistõttu vana karst sai seal paremini areneda. (Heinsalu 1963).

Üle Valgejõe ja Põltsamaa jõe veelahkme kulgeb Vao-Porkuni-Valgejõe ürgorg, mis on ligi 30 km pikkune aluspõhjaline orund (Eesti Geoloogiakeskus 2015). Järv asub loode-kagu ja põhja-lõunasuunaliste ürgorgude lõikumiskohas (Heinsalu 1963). Eesti Geoloogiakeskuse (2015) järgi on orund üldiselt laugeperveline, kuid maastikus hästi jälgitav kuni 20 m sügav ja 100 meetrist kuni ühe kilomeetri laiune. Porkuni järvest umbes kilomeeter lõuna pool, kus aluspõhja tase on umbes 105 ümp, asendub orundi põhja-lõunasuunaline kallakus põhjasuunalisega. Valgejõe väljavoolu kohast umbes kilomeeter loode pool pöördub Vao-Porkuni-Valgejõe orundist kirdesse Porkuni-Neeruti aluspõhjaline orund, mis jälgib Porkuni-Neeruti oosiahelikku ning on umbes 400 meetri laiune ning kümnekonna meetri sügavune. Osaliselt liustikuliste ja liustiku sulamisvete setetega täidetud Vao-Porkuni-Valgejõe aluspõhjalises orundis levivad kitsaste väljavenitatud lasunditena järvesetted (IIV). Porkuni järve loodekaldal, Porkuni-Lemküla järvestiku järvede põhjas ja Põltsamaa jõeorus avanevad järvesetted maapinnal. Suurjärves ulatub sapropeeliga segunenud järvelubjakihi paksus kohati kahe meetrini (Eesti Geoloogiakeskus 2015).

Eesti Geoloogiakeskuse järgi (2015) moodustab Porkunist kuni viis kilomeetrit põhjapoole ulatuv üldjoontes põhja-lõunasuunaline järvede ahel Porkuni-Lemküla järvestiku. Sinna kuuluvad Porkuni järv, Piisupi järv, Võhmetu järv, Mardihansu järv ja Lemküla järv ja veel mitmed väiksemad järved. Vaid Porkuni järv on eelpool nimetatutest alaline, teised täituvad kevadel karstivetest ja kuivavad suve teisel poolel (Eesti Geoloogiakeskus 2015).

Otti (2009) kohaselt ei saa Porkuni järve tüüpi rangelt võttes määrata looduslike veekogude tüpoloogია järgi, sest tegemist on kunstlikult paisutatud järvega. VRD alusel kategoriseeritakse järv tugevasti muudetud veekoguks, mille seisundi hindamiseks tuleb lähendada näitajate väärtuseid kõige sarnasema loodusliku tüübiga, mis Porkuni järve puhul on väga kareda veega järv (I tüüp) (Ott 2009).

Otti (2009) läbi viidud hüdrokeemia ja -füüsika uuringu tulemusel selgus, et järves on orgaanilise aine sisaldus madal, hapnikuolud halvad, fosforiühendite sisaldus madal, erakordselt kõrge lämmastiku sisaldus ning suur elektrijuhtivus. Üldfosfori ja pH näitajate poolest oli 2009. aastal järve seisund väga hea. Samas koormab järve väga suur lämmastikreostus ning üldlämmastiku näitajate poolest oli järv väga halvas ökoloogilise

seisundi klassis. Madal fosforisisaldus limiteerib bakterite arvukust järves. Porkuni järve mõjutab oluliselt veetaseme kõikumine. Järve seisund sõltub veemahust ning karstialal ei ole selle reguleerimine võimalik, mistõttu ökoloogiline seisund on suuresti muutlik. Porkuni järvel on võrreldes teiste väga karedaveeliste järvedega tugev ökosüsteem. Samas on järve fosforisisaldus on väga madal ning lämmastikutase kõrge, mis veerikastel aastatel võib soodustada lämmastikulembeliste taimede vohamist ning mändvetikate vähenemist (Ott 2009).

### **1.1.3 Väinjärv**

EELISE (2025) järgi on Väinjärv (keskkonnaregistri kood VEE2050300) looduslik järv Järva maakonnas Järva vallas Väinjärve ja Ervita külades. Väinjärv kuulub Ida-Eesti vesikonda ja Peipsi alamvesikonda ning sealt saab alguse Väinjärve oja, mis suubub Preedi jõkke. Järve keskel on kaks saart. Järve veepeegli pindala on 36,7 hektarit, millele lisandub saartealune pindala 1,1 ha. Väinjärve keskmine sügavus on 5,6 meetrit ning maksimaalne sügavus 11,5 m. Järv kuulub VRD järgi veetüübilt vee keskmise karedusega, kloriidivaeste, kihistunud veega järvede (III) hulka. Valgala ametlik pindala on 21,7 km<sup>2</sup>. Veevahetus toimub viis korda aastas. Järve pikkus on 1330 m, kalda liigendatus 2,2 ning limnoloogiliselt kuulub järv karedaveeliste miksotroofsete ehk karedaveeliste segatoiteliste hulka (EELIS 2025). Järv toitub sademetest, põhjaalikatest, mida esineb rohkesti järve lääneosas, ning mõnest sissevoolavast kraavist (Krause jt 2013). Väinjärv on ida-läänesuunaline, piklik ning poolsaartega liigestatud. Järvest põhjas asuvad drenaažkuivendusega põllumaad, ida- ja lõunaosas kraavitatud turbaalad ning läänes põllumaad ning Tudre-Väinjärve tunnelorg.

Zeemani (1981) põhjal on Väinjärv toitaineterikas ehk eutroofne järv, mis on väga produktiivne ning taimerohke. Eutrofeerumist põhjustavad järve valgalt vette sattunud toitesoolad, millest tähtsamad on lämmastiku- ja fosforiühendid, mis põhjustavad kõrgema taimestiku tugeva arengu ja suvel vetikate massilise vohamise. Väinjärve kesise seisundi on aegade jooksul põhjustanud veetaseme alandamine, suur sõnniku, väetise ning heitvee koormus. Toitainete koormus on järvele viimastel aastakümnetel oluliselt vähenenud, kuid on siiski üks olulisemaks reostusallikaks. Väinjärv on olnud minevikus tunduvalt suurem. 1952. aastal alandati järve veetaseme meetri võrra, mis põhjustas Väinjärve, eriti selle idaosa, kinnikasvamist ja soostumist. Selle mõju vähendamiseks tõsteti 1977. aastal taas järve veepinda (Zeeman 1981). Järve eutrofeerumise, saastumise ja kinni kasvamise vältimise üheks lahenduseks on hoida Väinjärve veetase võimalikult kõrgel (Zeeman 1987). Väinjärve säilitamiseks tuleb pidurdada eutrofeerumist ja reostumist.

Eesti Geoloogiakeskuse (2017) kohaselt kulgeb Väinjärvest loodes loode-idasuunaliselt kulgev 200-500 meetri laiune ning 12 kilomeetri pikkune Tudre-Väinjärve org on 10-15 meetri sügavuselt lõikunud paekividesse. Väinjärve tunnelorg kujunes välja ilmselt varasemate jäätumiste käigus (Eesti Geoloogiakeskus 2017).

## 1.2 Veepoliitika raamdirektiiv

Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2000/60/EÜ ehk veepoliitika raamdirektiiviga (VRD) kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik. Direktiivi eesmärk on kehtestada kõikide vete (maismaa pinnavee, üleminekuvee, rannikuvee ja põhjavee) kaitse raamistik, et säilitada ja parandada liikmesriikide vesikeskkonda. Selleks rakendatakse valgalapõhiseid veemajanduse põhimõtteid, moodustatakse veemajanduse korraldamiseks vesikonnad ning koostatakse igale vesikonnale vastavad veemajanduskavad (Eur-Lex 2000).

Eestis on moodustatud kolm vesikonda: Ida-Eesti vesikond, Lääne-Eesti vesikond ning Koiva vesikond, mis jagunevad kaheksaks alamvesikonnaks – Viru, Peipsi, Võrtsjärve, Harju, Matsalu, Pärnu, Läänesaarte ja Mustjõe (Keskkonnaportaali 2025). Porkuni järv jääb Lääne-Eesti vesikonda ja Harju alamvesikonda, Väinjärv Ida-Eesti vesikonda ja Peipsi alamvesikonda (EELIS 2024). Vastavalt keskkonnaministri 07.10.2022 käskkirjale nr 357 on 2022. – 2027. aastateks koostatud igale vesikonnale veemajanduskavad.

Keskkonnaameti (2015) järgi on vee seisundi hindamise üksuseks veekogum, mis võib olla kas pinnaveekogum (jõgi, oja, kraav, järv, rannikumeri) või põhjaveekogum. Pinnavee, sh järvede seisundi arvestust peetakse pinnaveekogumite kaupa. Pinnaveekogumiks on määratud seisuveekogud, mille veepeegli pindala on suurem kui 50 ha, ja vooluveekogud, mille valgala on suurem kui 10 km<sup>2</sup> (Keskkonnaamet 2015). Veeseaduse (2025) kohaselt antakse pinnaveekogumi ökoloogilisele ning keemilisele seisundile. Sõltuvalt inimõju ulatusest hinnatakse pinnaveekogumite ökoloogilist seisundit 5-astmelises skaalas: väga hea, hea, kesine, halb, väga halb. Pinnaveekogumi keemilise seisundit iseloomustatakse kahe seisundiklassiga: hea ja halb (Veeseadus 2025).

### 1.3 Veekogude seisundi hindamine

Järved on olulised nii veevaru säilitamiseks kui ka taimede ja loomade elupaikadena ning oluliseks keskkonnakaitse peegliks. Järvede kasutamiseks ja kaitsmiseks tuleb arvestada kõiki võimalikke kasutusviise ning looduslikku omapära.

Keskonnaportaali (2025) andmetel on Eestis 2794 seisuveekogu. Eesti Topograafia Andmekogu (ETAK) järgi on Eestis seisuveekogusid üle 121 000, mille hulka kuuluvad lisaks looduslikele järvedele ka tiigid, laukad, veehoidlad ja muud veesilmad. Seisuveekogudest seiratakse 93 kogumit, millest vaid 15% on heas või väga heas seisundis. Riiklik seireprogramm keskendub üle 50 hektarise pindalaga seisuveekogudele, mistõttu on väiksemate veekogude seire minimaalne (Kliimaministeerium 2024). Suurte valgalade puhul on raske seostada põllumajandustegevust vee kvaliteediga, kuid väiksemate valgate puhul on peamiseks reostusallikaks põllumajandus, mistõttu on seire ka väikestel valgaladel oluline (Elias 2020).

Põllumajandusest tuleneva reostuskoormuse ja keskkonna hea seisundi vahelise tasakaalu leidmiseks on kehtestatud seadusandlusega erinevaid piiranguid ja kohustusi. Kaks põhilist reostusallikat põllumajanduses on taime- ja loomakasvatus. Põllumajandusliku hajukoormuse vähendamiseks on mitmeid lahendusi: põldudel talvise taimkatte olemasolu, teine puhverriba põllu ja veekogu vahel, mis püüaks osa toitaineid kinni, mõistlik väetamine jm. Põllumajandusest pärineb 60% kogu Eesti lämmastikukoormusest ning 30% fosforikoormusest, mistõttu on põllumajanduse osakaal toitainekoormusest veekogudele väga suur (Elias 2020).

Järvede seisundi määramiseks kasutatakse erinevaid näitajaid, hinnates näiteks elurikkust, vee kvaliteedinäitajaid ning ümbruskonna iseloomu. Valgala inimõju määramiseks järvedele kasutatakse valgala indeksit (VI), mille arvutamiseks liidetakse inimasustuse tihedus järve veemahu kohta, loodusliku ja põllumajandusliku protsent valgalal, kodu- ja kariloomade arv järve mahu kohta ja jääkreostus (Ott jt 2013).

## 1.4 Ökoloogilise seisundi modelleerimine

### 1.4.1 Mulla ärakande mudelid

Valgala maakasutusel on veekogude ökoloogilisele seisundile märkimisväärne mõju. Põllumajandusest tingitud hajureostusega kanduvad veekogudesse toitained, mis halvendavad vee kvaliteeti ning võivad põhjustada veekogude eutrofeerumist (Elias 2020). Oluline roll hajureostuse levikul on mullaerosioonil, mis suureneb taimkatteta aladel ning suure sademete hulga või lumesulamise perioodil. Mulla ärakannet modelleerides on võimalik potentsiaalselt hinnata maakasutuse mõju veekogude seisundile.

Mullaerosioon on oluline globaalne keskkonnaprobleem, mis mõjutab mulla produktiivsust, toitainete kadu, veekogude mudastumist ning vee kvaliteedi halvenemist (Benavidez 2018). Mullaerosiooni tagajärjel väheneb mulla viljakus, toitained kanduvad põllult veekogudesse, suureneb veekogude mudastumine ja väheneb vee filtreerimisvõime, mis omakorda soodustab eutrofeerumist (Panagos jt, 2015b). Mullaerosiooni otsene mõõtmine on keeruline ja kulukas, mistõttu kasutatakse erosiooni hindamiseks empiirilisi mudeleid. Üks enim kasutatav mulla erosiooni mudel on universaalne mulla ärakande võrrand USLE (The Universal Soil Loss Equation) ning selle edasiarendatud versioon RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard jt 1997). USLE võrrand loodi leidmaks pikaajalist keskmist mulla vee-erosiooni, kui täpseid uuringuid pole tehtud (PMK Mullaseire büroo, TÜ Geograafia Osakond).

Renard jt (1997) järgi on RUSLE erosiooni mudel, mis ennustab pinnase erosiooniga kaasnevat potentsiaalset mulla ärakannet. Mudelis arvestatakse kuut faktorit: sademete erosiooni (R), mulla erodeeritavust (K), nõlva pikkust (L), nõlvakallet (S), taimkatet (C) ning kaitseabinõude rakendamist (P). Mulla ärakannet saab hinnata vastavalt RUSLE mudeli valemile:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

**R – sademete erosiooni faktor ([kJ/m<sup>2</sup>]\*[mm/h])**

Sademete erosiooni faktor (R) on RUSLE mudeli üks olulisemaid komponente, mis eristab seda varasemast USLE mudelist. Renard jt (1997) põhjal iseloomustab R-faktor sademete poolt põhjustatud mulla erosioonipotentsiaali. R-faktor arvutatakse sademeenergia (E) ning maksimaalse sademete intensiivsuse (I) korrutisena. Sademeenergia E on leitav valemist

$$E = 0.119 + 0.0873 * \log_{10}(I)$$

, kus I on sademete intensiivsus millimeetrites tunnis (mm/h).

Logaritmiline seos väljendab, et vihmapiiskade kineetiline energia suureneb intensiivsemate sadude korral ning see omakorda suurendab piiskade erosioonivõimet. Sademete intensiivsus (I) peegeldab, millal on mulla erosioon kõige tõenäolisem (Renard jt 1997).

Varasemad uuringud näitavad, et kui muud tegurid on konstantsed, on mullakadu haritavatel põldudel otseselt võrdelised vihmajärgu parameetritega. Erodeeritavus sõltub nii sademete intensiivsusest kui ka vihmapiiskade kineetilisest energiast, mida mõjutavad vihmapiiskade suurus ning kukkumiskiirus. R-faktori korrutis peegeldab, kuidas vihmapiiskade eraldumine on ühendatud vee transpordivõimega (Renard jt 1997).

### **K – mulla erodeeritavuse faktor ( $[t/ha] * [m^2/kJ] * [h/mm]$ )**

Renard jt (1997) kohaselt kirjeldab mulla erodeeritavuse faktor (K) pinnase loomulikku vastuvõtlikkust erosioonile ning kajastab mullaosakeste eraldumise ja äraande määra sademete ning äravoolu mõjul. Mulla erodeeritavuse faktori kirjeldab sademete, äravoolu ning imbumise koosmõju. Peamine K-faktori väärtust mõjutav omadus on mulla lõimis ehk tekstuur, kuid arvestatakse ka mulla struktuuri, orgaanilise aine sisaldust ja vee läbilaskvust (Renard jt 1997). K-faktor võimaldab võrrelda eri tüüpi muldade erodeerumise kiirust, kui muud erosiooni mõjutavad tegurid on ühesugused (Pacific Northwest National Laboratory i.a). Keskmise K-faktori väärtus Eestis on  $0.0254 [t/ha] * [m^2/kJ] * [h/mm]$ , Euroopa keskmine on 0.032 ühikut (Panagos jt 2014a).

### **LS – nõlva pikkuse faktor \* nõlvakalde faktor**

Emeribeole jt (2015) põhjal kirjeldab reljееfi mõju RUSLE valemis LS-faktor, mis koosneb nõlva pikkuse (L) ning nõlvakalde faktorist (S). Nõlva pikkuse faktoriga (L) arvestatakse nõlva pikkuse kasvades suurenevat erosiooni mõju. Seda määratletakse kui horisontaalset kaugust pinnase voolu tekkekohast kuni punktini, kus nõlva gradient väheneb piisavalt sadestumiseks või äravool koondub määratletud kanalisse. Nõlvakalde faktor (S) kirjeldab nõlva gradiendi mõju erosioonile. LS-faktorit arvutatakse valemi  $(\frac{\lambda}{22,13})^m * (\sin \theta * \pi / 180) / 0,0896)^{1,3}$  järgi, kus  $\lambda$  on nõlva pikkus (meetrites),  $\theta$  on nõlvakalle (kraadides), m on konstant sõltuvalt nõlvakalde gradiendist (Emeribeole jt 2015).

## **C – taimkatte faktor**

Lastoria jt (2008) põhjal kajastab taimkatte faktor (C) põllukultuuride ja nende majandamisviiside mõju erosioonile. C-faktor sõltub taimkattest, mis hajutavad sademete kineetilist energiat enne pinnasele jõudmist. C-faktori väärtus sõltub taimestiku tüübist, kasvufaasist ja katvuse protsendist. Oluliseks muudab faktori asjaolu, et see esindab tegureid, mida saab erosiooni vähendamiseks hõlpsasti muuta. Taimkatte suurenedes väheneb mulla kadu eksponentsiaalselt (Lastoria jt 2008). Keskmise C-faktor Eestis on 0,059, haritaval maal 0,217 ning mitteharitaval maal 0,027 (Panagos jt 2015a).

## **P – kaitseabinõude rakendamise faktor**

P- faktor arvestab mulla erosiooni vähendavaid meetmeid, näiteks kontuurpõllunduse, ribapõllunduse ja terrassime mõju (Renard jt 1997). Faktorit on keeruline suurte alade puhul hinnata, mistõttu võetakse seda arvutamisel harva arvesse.

### **1.4.2. Põhja- ja pinnavee mudelid**

Veeseaduse (2025) kohaselt hinnatakse põhjavee seisundit põhjaveekogumite seisundi põhjal. Põhjaveekogumi seisund määratakse põhjaveekogumi keemilise seisundi või koguselise seisundi alusel, arvestades kumma näitajad on halvemad. Põhjaveekogumi keemiline seisund kujutab inimtegevusest mõjutatud muutusi põhjavee keemilises koostises. Koguseline seisund kujutab veevõtu mõju põhjaveekogumile (Veeseadus 2025). Paljud kasutavad põhjavee mudelid baseeruvad USA Geoloogiateenistuse poolt välja töötatud ModFlow mudelil, mida peetakse rahvusvaheliseks standardiks põhjavee tingimuste ning põhja- ja pinnavee vastastikmõju prognoosimiseks (USGS 2022).

Veeseaduse (2025) järgi hinnatakse pinnavee seisundit pinnaveekogumite ja territoriaalvee seisundi põhjal. Hindamisel arvestatakse vastavust kvaliteedi piirväärtustele või muude kvaliteedinäitajate väärtustele. Pinnaveekogumi seisund määratakse pinnaveekogumi ökoloogilise seisundi või keemilise seisundi alusel, arvestades kumma näitajad on halvemad. Pinnaveekogumi ökoloogiline seisund kujutab veeökosüsteemide struktuuri ja funktsioneerimise kvaliteeti ning füüsikalisi, keemilisi ja hüdro-morfoloogilisi kvaliteedinäitajaid, mis on veeökosüsteemide toimimiseks olulised (Veeseadus 2025).

## 2. Materjal ja metoodika

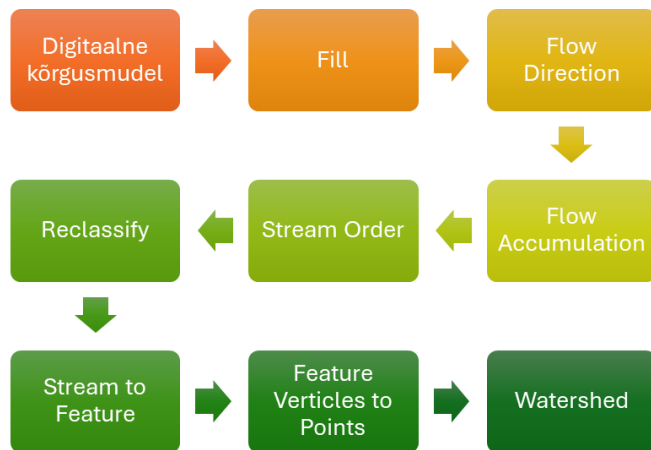
Käesolevas uurimistöös kasutatakse peamiselt Maa- ja Ruumiameti geoportaalist saadud andmeid. Kõrgusandmeid saab geoportaalist alla laadida kaardilehe numbril alusel. Töös kasutati viie meetrise eraldusvõimega digitaalset kõrgusmudelit järgnevate 1:10 000 mõõtkavaga kaardilehtede ulatuses: Porkuni järve piirkonnas 64523, 64524, 64533, 64621, 64622, 64631, 64623, 64624, 64633; Väinjärve piirkonnas 64411, 64412, 64312, 64313, 64314, 64321, 64323.

Töös kasutati Eesti topograafia andmekogu (ETAK) seisu- ja vooluveekogude kaardikihti ning Keskkonnaagentuuri CORINE maakatte kihti. Andmeanalüüsis kasutati PRIA loomade registri ning põllumassiivide kaarte, Maaelu Teadmuskeskuse mullaerosiooni kaardirakendust, EELISE meteoroloogilise seire ja järvede valgalade kaardikihti ning AS MAVES poolt koostatud valgalade kaardikihti. Lisaks kasutati tehisintellekti abi ArcGISis tehtud modelleerimisel tekkinud vigade lahendamiseks.

### 2.1 Järvede valgala piiritlemine

Selleks, et analüüsida maakasutuse mõju järve seisundile, tuleb esmalt määratleda järve valgala. Valgala piiritlemiseks kasutati ArcGIS Pro ruumianalüüsi tööriistu (Spatial Analyst Tools, Joonis 1) ning Maa- ja Ruumiameti viie meetrise ruumilise lahutusega digitaalset kõrgusmudelit (DTM). Tulemusi võrreldi EELISE ning AS Mavesi valgalade kaardikihtiga.

Kõrgusmudeli põhjal luuakse järvede lähialade digitaalse kõrgusmudeli rasterkiht. Tööriista Fill kasutades täideti sulglohud, misjärel arvutati D8 voolumudelit kasutades tööriistaga Flow Direction igale pikslile vee voolusuund. Voolusuundade põhjal arvutatakse tööriistaga Flow Accumulation voolu akumulatsioon ehk igasse pikslisse koguneva vee hulk. Voolujoonte määratlemiseks kasutatakse Stream Order tööriista, millega järjestati need Strahleri meetodil, mis annab voolujoontele järjestuse nende harude hulga ning liitumise põhjal. Eemaldamiseks detailsed voolujooned kasutatakse Reclassify tööriista, mis eemaldab väärtused 1-6, ning seejärel teisendatakse saadud tulemus objektiklassiks (Feature Class). Voolujoonte lõpppunktid leitakse tööriistaga Feature Vertices to Points, misjärel arvutatakse tööriistaga Watershed leitud lõpppunktide ja varasemalt leitud voolusuundade järgi järve valgala.



Joonis 1. Valgala piiritlemiseks kasutatud ArcGISi tööriistade kasutamise skeem.

## 2.2 Mulla ärakande arvutamine

Mulla ärakande arvutamiseks korrutatakse omavahel sademete erosioonipotentsiaal, mulla erodeeritavuse faktor, nõlva pikkus ja kalle, taimkatte faktor ning kaitseabinõude rakendamise faktor.

Sademete erosioonipotentsiaali faktori (R) arvutamisel kasutatakse järvedele lähima meteoroloogiajaama mõõdetud sademete andmeid. Porkuni järve R-faktori arvutamiseks kasutatakse Väike-Maarja meteoroloogiajaamas aastatel 2004–2024 ning Väinjärve puhul Tooma soojaama aastatel 2009–2024 mõõdetud andmeid. Sademete andmete põhjal arvutatakse aastate keskmine R-faktor, mida kasutatakse konstandina kogu valgala ulatuses.

R-faktori väärtuste muutust prooviti arvutada ArcGISis interpoleerimise teel, kuid valgala pindala väiksuse tõttu ei muutunud R-faktor märkimisväärselt ning järvede geograafilise läheduse tõttu mõõtejaamadele olid tulemid nendega samaväärsed. Seetõttu kasutati Väike-Maarja jaama arvutatud keskmist R-faktorit, mis oli  $707 \text{ [kJ/m}^2\text{]}\cdot\text{[mm/h]}$  ning Tooma jaama oma, mis oli 826 ühikut.

Mulla erodeeritavuse faktor (K) leitakse Stewart jt (1975) koostatud tabelist, kus kirjeldatakse K-faktori hinnangulist keskmist suurusjärku koos orgaanilise aine sisalduse ja mulla tekstuuriklassiga. Andmed mulla lõimiste kohta saadakse Maa- ja Ruumiameti mullastiku

kaardilt. Kahe tekstuuriklassiga lõimiste puhul kasutati nende väärtuste aritmeetilist keskmist (Pacific Northwest National Laboratory i.a). Eesti mullastiku kaardilt tehti Clip tööriistaga väljavõtte järve valgala maa-alast ning ühendati Tabel 1 valgala väljavõtte atribuutide tabeliga. Samamoodi tehti CORINE maakatte mudeliga, et arvutada taimkatte faktor (C).

Tabel 1. Mulla erodeeritavuse faktori (K) väärtused sõltuvalt mulla lõimisest.

Mulla nimetus	Mulla šiffer	huumusesisaldus		
		0.50%	2%	4%
peenliiv	11	0.016	0.014	0.01
saviliiv	sl	0.012	0.01	0.08
kerge liivsavi	ls1	0.027	0.024	0.019
tolmjas liivsavi	tls	0.048	0.042	0.033
raske liivsavi	ls3	0.028	0.025	0.021
tolmjas raske liivsavi	tls3	0.037	0.032	0.026
tolmjas savi	ts	0.025	0.023	0.019
savi	s		0.02	
keskmine liivsavi	ls2		0.041	

Nõlva pikkuse ja nõlva kalde korrutis (LS) arvutatakse valemi  $(\frac{\lambda}{22,13})^m * (\sin \theta * \pi / 180) / 0,0896)^{1,3}$  põhjal, kus  $\lambda$  on nõlva pikkus meetrites, m on nõlvakalde gradiendist sõltuv konstant ning  $\theta$  on nõlva kalle.  $\lambda$  leidmiseks kasutatakse Flow Length tööriista, kus kasutatakse valgala leidmiseks arvutatud voolusuundade tulemit.

M-faktori leidmiseks arvutatakse järve lähiala kõrgusmudelil nõlvakalded protsentides (Tabel 2), millest omakorda tuletati ArcGISi Raster Calculatori tööriistaga ning Con-funktsiooniga faktori väärtused kasutades järgmist käsku:

```
Con("nõlvakalle_" < 1, 0.2,  
    Con("nõlvakalle_" < 3, 0.3,  
        Con("nõlvakalle_" < 5, 0.4,  
            Con("nõlvakalle_" < 100, 0.5))))
```

Tabel 2. M-faktori väärtused.

Nõlvakalle	M-faktor
< 1%	0,2
1–3%	0,3
3–5%	0,4
> 5%	0,5

Kaitseabinõude rakendamise faktori (P) väärtusena kasutati väärtusena ühte, sest uuritava alal ei kohaldata erosiooni takistamiseks abinõusid. Taimkatte faktori (C) määramiseks tuvastatakse maakatte tüübid CORINE maakatte andmekogu 2018. aasta andmete põhjal ning seejärel määratakse C-faktori väärtused nendele vastavalt varasematel uuringutel põhinevatele andmetele (Tabel 3).

Tabel 3. Taimkatte faktori väärtused CORINE maakatte tüüpide alusel.

CLC Kood	Maakatte tüüp	C-faktor
112	Hõredalt hoonestatud alad	0.01
121	Tööstus- ja/v kaubandusterritooriumid	0.003
211	Niisutuseta haritav maa	0.45
222	Puuvilja- ja marjaaiad	0.22
231	Karjamaad	0.02
242	Kompleksmaaviljelus (>75% haritav maa)	0.12
243	Põllumajandus <75% + looduslik taimestik	0.12
311	Heitlehised lehtmetsad	0.004
312	Okasmetsad	0.004
313	Segametsad	0.004
324	Üleminekulised metsaalad mineraalmaal	0.007
412	Turbarabad	0.01
512	Veekogud	0

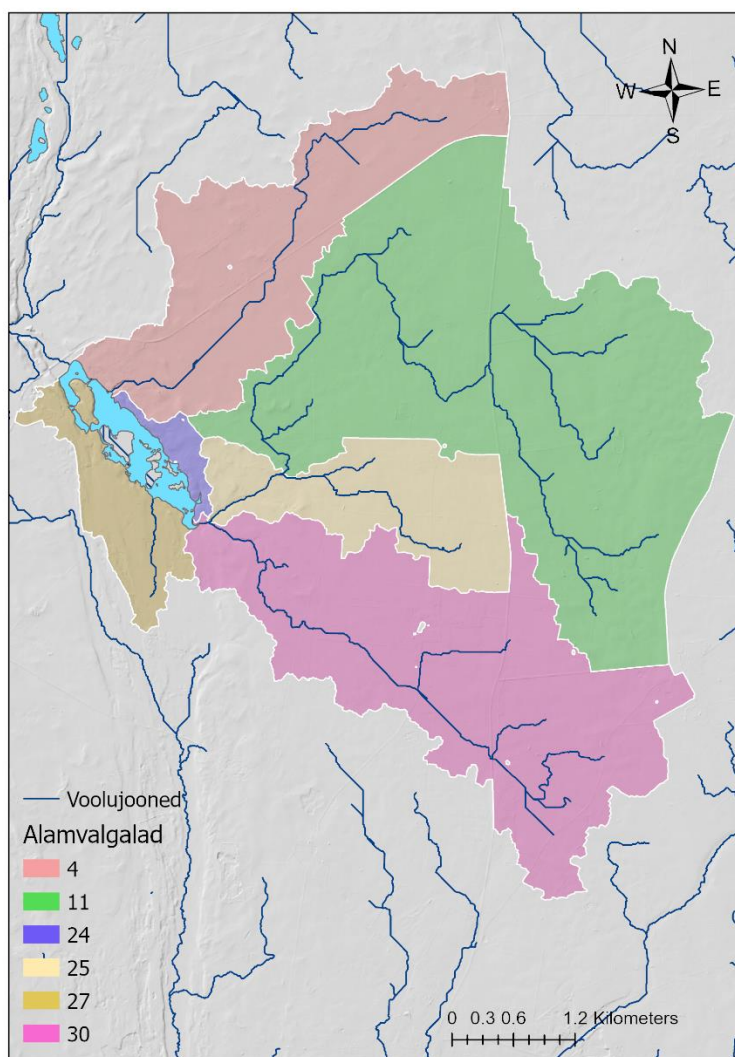
### 2.3 Järvede valgala statistiliste näitajate arvutamine

Valgala maakasutuse potentsiaalse mõju leidmiseks järvedele arvutatakse alamvalgalade statistilised näitajad kasutades ArcGIS Geoprocessing tööriistu ning Pythoni skripte. Exceli programmis kasutatakse PivotTabel funktsiooni, et leida uuritavate järvede kogu- ning alamvalgaladel paiknevate maakatte ning muldade lõimiste ja šiffrite pindala. Saadud tulemuste põhjal arvutatakse näitajate osakaal valgaladest ning analüüsitakse nende mõju mulla ärakandele.

### 3. Tulemused ja arutelu

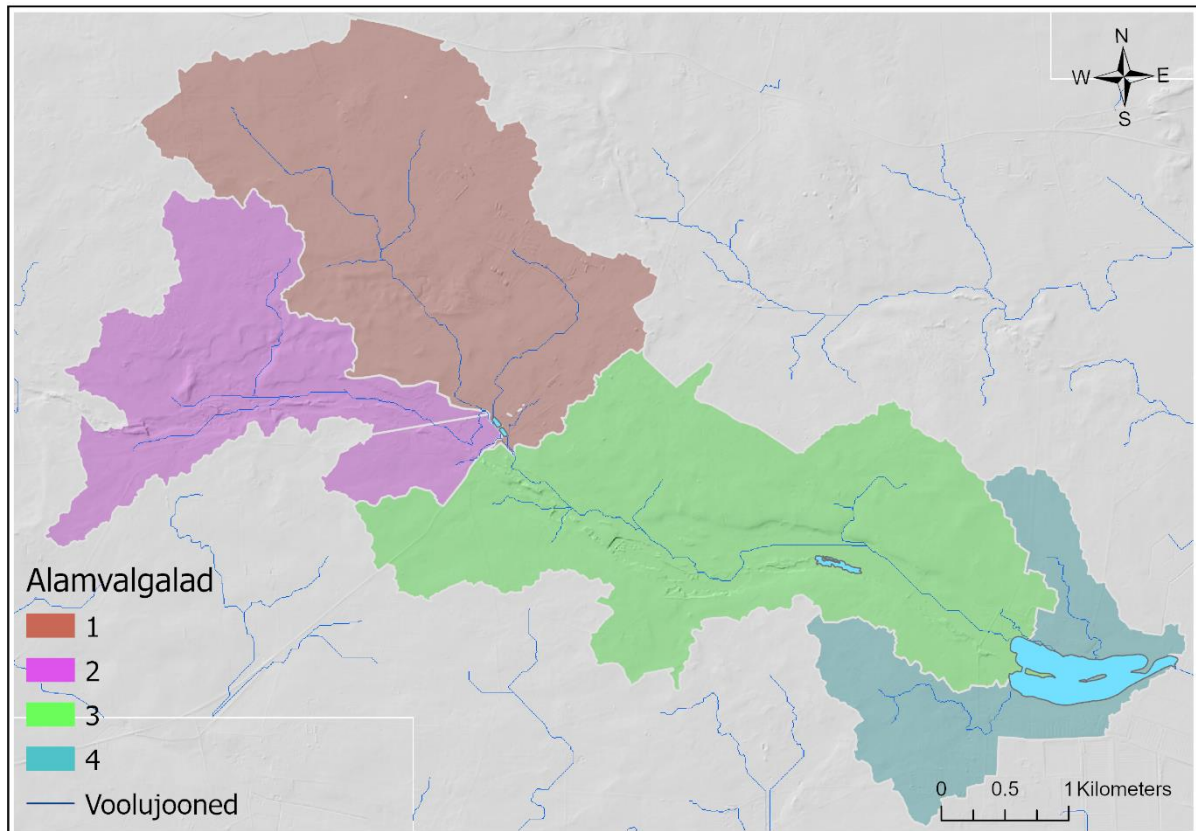
#### 3.1 Valgalade piiritlemine

Alamvalgalade leidmiseks määrati järve voolavate suuremats sissevoolude suudmetesse lõpppunktid, mille järgi arvutati alamvalgalad Watershed tööriistaga. Suurima sissevoolu valgala jagati väiksemateks osadeks. Järvede kallastele on vastavalt seadustele kehtestatud kaitsevööndid, mistõttu võib sealne maakasutus tavapärasest erineda. Järvede kalda ümbrusesse moodustati eraldi alamvalgalad, et vähendada nende mõju. Modelleeritud tulemusi võrreldi EELISE ning AS Mavesi järvede valgalade kaardikihtidega. Erinevused EELISE valgaladega olid minimaalsed, kuid AS Mavesi valgalad olid oluliselt suuremad, ilmselt erinevate voolujoonte lõpppunktide valiku tõttu.



Joonis 2. Porkuni järve alamvalgalade jaotus voolujoontega.

Keskkonnainvesteeringute keskuse uuringu (2015) järgi voolab põhjavesi eeldatavalt Porkuni järve ümbruses kirde ja ida suunast järve poole ning lääne ja lõuna suunast järvest eemale. Järve põhjavee toiteala asub valdavalt põllumajandusmaastikul, siis ei saa välistada, et liigne lämmastik jõuab Porkuni järve põhjaveega (Terasmaa jt 2015). ArcGISis modelleeritud tulemuste põhjal on pinnavee liikumise suunad sarnased põhjaveega (Joonis 2).



Joonis 3. Väinjärve alamvalgalade jaotus voolujoontega.

Väinjärve sissevool koosneb peamiselt järve suubuvatest kraavidest (Joonis 3). Loodeosas suubub järve suurim kraav, mille kaudu jõuab järve enamik selle valgala veest. Järvest voolab välja Väinjärve oja, mis suubub Preedi jõkke.

Tabel 4. Porkuni järve alamvalgalad ning nende mulla ärakanne.

<b>Alamvalgala</b>	<b>Pindala (ha)</b>	<b>Osakaal koguvalgalast</b>	<b>Keskmine mulla ärakanne (t/ha)</b>
4	502.7	17.1%	0.75
11	1223.0	41.6%	0.44
24	31.2	1.1%	1.92
25	270.4	9.2%	0.47
27	135.3	4.6%	1.46
30	775.6	26.4%	0.41

Porkuni järve alamvalgaladest on kõige suurema pindalaga alamvalgala 11 (Joonis 2), mis moodustab järve koguvalgalast 41,6% (Tabel 4). Väiksema pindalaga on järve kaldaäärse valgalad 24 ja 27, mille osakaal koguvalgalast jääb alla 5 protsendi. Väinjärve suurimaks alamvalgalaks on number 3 (Joonis 3), mille pindala on 777,3 ha ning osakaal koguvalgalast 36% (Tabel 5). Alamvalgala 4 pindala on 280,1 ha, moodustades 13% kogu Väinjärve valgalast. Suurema osakaaluga valgalad paiknevad suuresti põllumajandusliku kasutusega maadel, mistõttu on neil mulla ärakanne kujunemisel oluline roll.

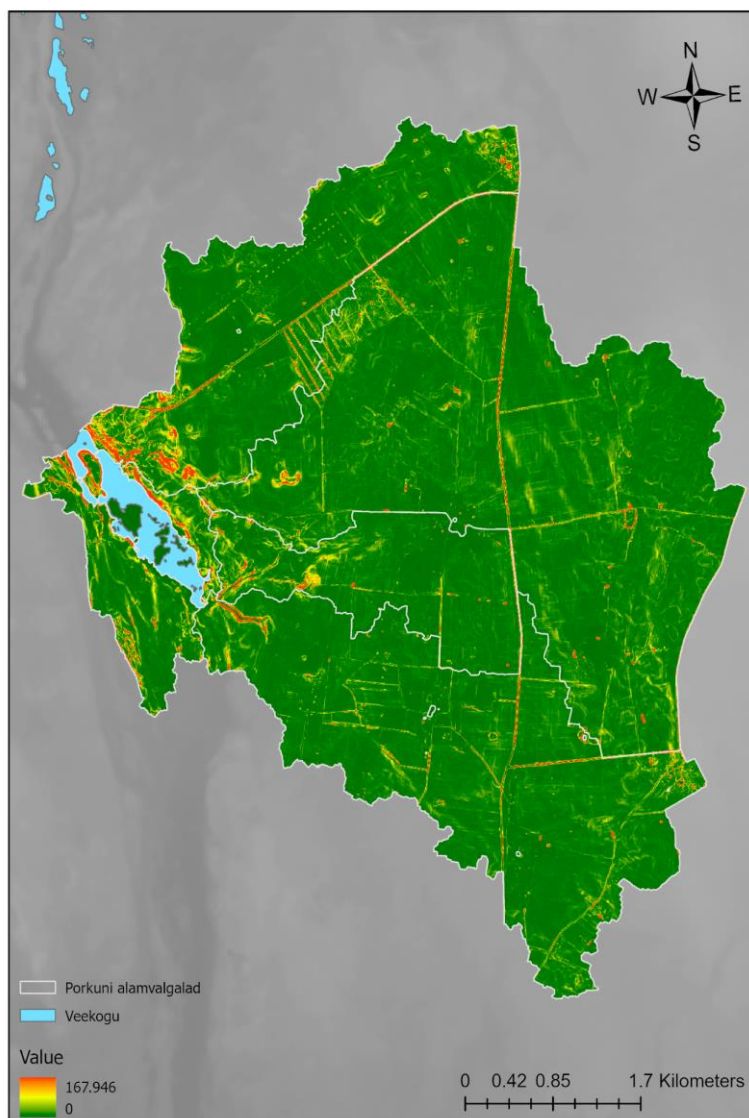
Tabel 5. Väinjärve alamvalgalad ning nende mulla ärakanne.

<b>Alamvalgala</b>	<b>Pindala (ha)</b>	<b>Osakaal koguvalgalast</b>	<b>Keskmine mulla ärakanne (t/ha)</b>
1	688.8	31.9%	0.98
2	415.7	19.2%	1.83
3	777.3	36%	0.77
4	280.1	13%	0.25

### 3.2 Mulla ärakande modelleerimine

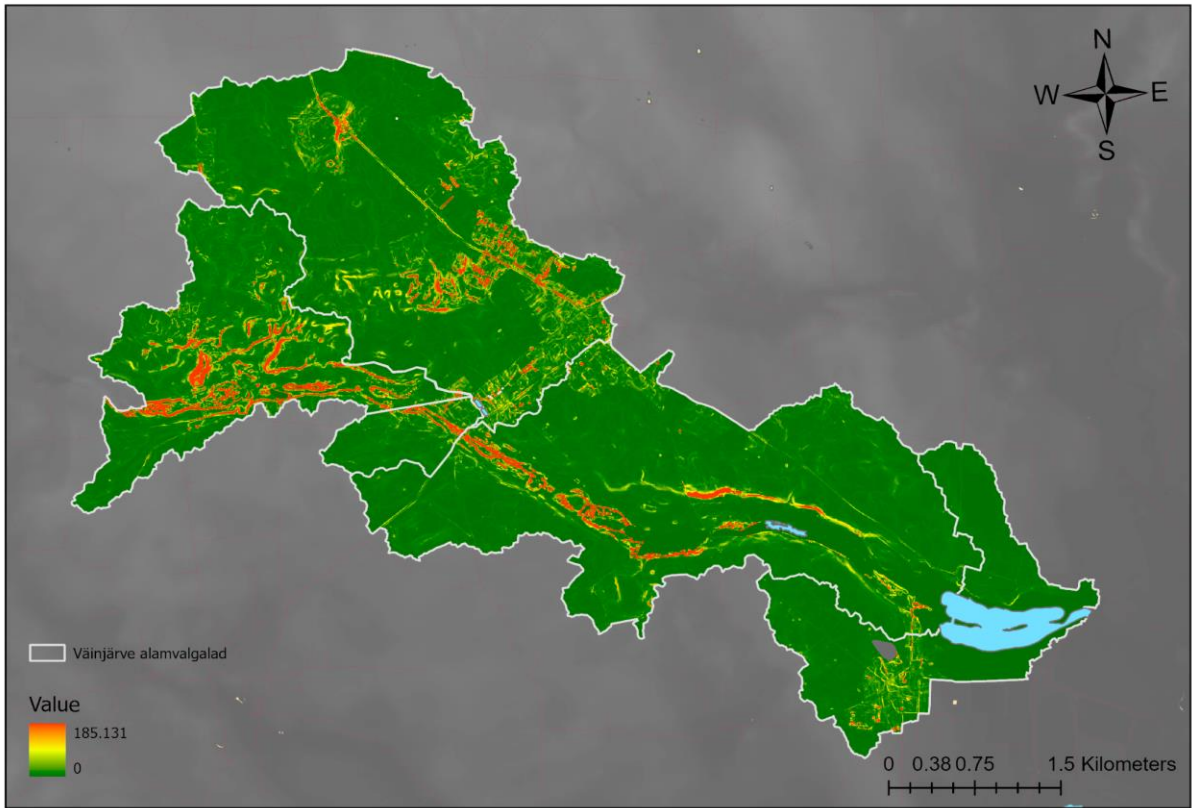
RUSLE mudeliga arvutati Porkuni järve ja Väinjärve potentsiaalne mulla ärakanne koguvalgala ning alamvalgalade kohta. Keskmise mulla ärakanne Porkuni järve valgala on 0,54 tonni hektari kohta aastas, Väinjärve valgala 1,06 t/ha. Eesti keskmine oli 2010. aasta andmetel 0,21 t/ha, haritava maa puhul 0,70 t/ha (Panagos jt, 2015b). Eesti aastane mullakadu on kokku ligikaudu 270 tuhat tonni (PMK Mullaseire büroo, TÜ Geograafia Osakond, i.a).

Modelleerimise tulemusel leiti, et kõige intensiivsema potentsiaalse mulla ärakandega piirkonnad asuvad Porkuni järve ida- ja loodekallastel (Joonis 3) ning Väinjärve valgala lääneosas oru nõlvadel ja endises karjääris ning järvest loodes (Joonis 4). Porkuni järve asukoht ürgorus ning seda ümbritsevad kõrgete nõlvakalletega kaldad suurendavad mulla erosiooni vahetut mõju järvele ja selle seisundile. Samas on enamik Porkuni järve valgala tasane põllumajanduslik maa, kus erosiooninäitajad jäävad 0,4 tonni juurde hektari kohta. Mudeli arvutamisel esinesid mõned probleemid ühikute ning nende teisendamise tulenevate väärtuste erineumisega, mis mõjutasid esialgsete tulemuste täpsust. Arvutuste käigus leiti õigete suhtarvudega tulemused, mis näitas, et valem siiski töötab. RUSLE mudeli kasutamine võimaldas detailsemalt hinnata erosiooniriske ning selle ruumilist jaotust.



Joonis 3. Porkuni järve valgala mulla ärakande kaart.

Väinjärve valgatal on mulla erosioon Porkunist keskmiselt intensiivsem ning nende keskmine väärtus erineb 0,5 t/ha võrra. Kogu Väinjärve valgala läbib org, mille nõlvad on erosioonile vastuvõtlikumad. Valgala läänepoolses osas on mulla ära-kanne väiksel maa-alal üsna intensiivne ning seal esineb ka erodeeritud muldi. Samas asub piirkond järvest üsna kaugel, mistõttu selle potentsiaalne mõju järve seisundile on võrreldes järvele lähemate aladega väike. Järvest loodes on oru nõlvad järsud, sealsed nõlvakalded ulatuvad 20 protsendini. Modelleeritud tulemused osutavad kõrgele erosiooniriskile, mida kinnitab sealne erodeeritud muldade levik. Piirkond vajab maakasutuse planeerimisel erilist tähelepanu. Tulemuste ruumiline jaotus on kooskõlas looduseadustega: suurem ära-kanne potentsiaal esineb nõlvadel ning hõreda taimestikuga aladel. Võib järeldada, et kasutatud meetodika alusel saab usaldusväärselt modelleerida potentsiaalse mulla ära-kanne suundumusi.



Joonis 4. Väinjärve valgala mulla ärakande kaart.

### 3.3 Valgalade statistiliste näitajate analüüs

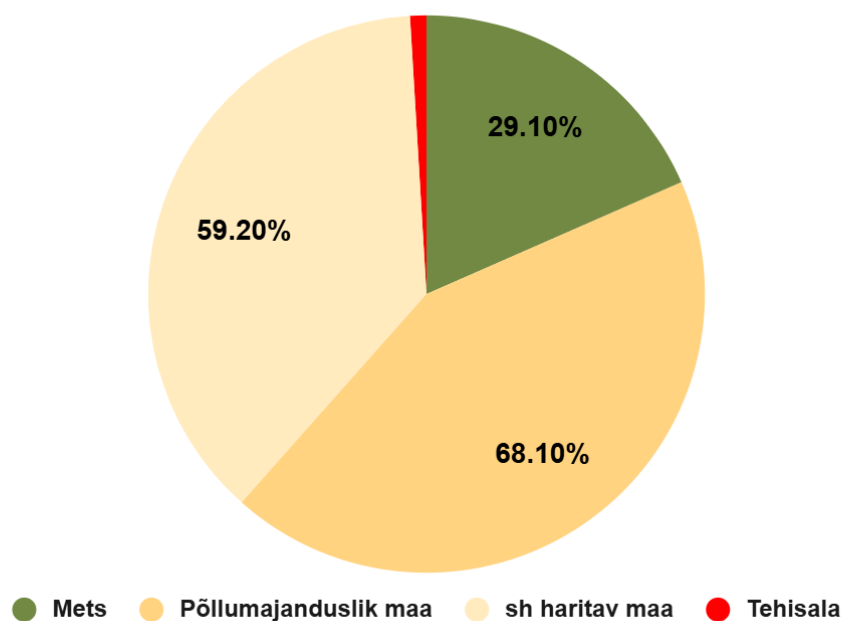
#### 3.3.1 Maakate

Porkuni järve valgala on CORINE maakatte 2018. aasta klassifikaatorite järgi jagatud üheteistkümneks ning Väinjärve valgala kaheteistkümneks. Järvede valgalade kooslus on omane Pandivere kõrgustiku piirkonnale, kus tegeletakse intensiivselt põllumajandusega. Mõlema järve valgala maakate oli suures enamuses sarnane, sisaldades järgnevaid klassifikaatoreid: hõredalt hoonestatud alad (CORINE tähis 112), niisutuseta haritav maa (211), karjamaad (231), kompleksmaaviljelus (>75% haritav maa) (242), põllumajandus <75% + looduslik taimestik (243), heitlehised lehtmetsad (311), okasmetsad (312), segametsad (313), üleminekulised metsaalad mineraalmaal (324) ning veekogud (512).

Väinjärve valgalat eristavad Porkunist tööstus- ja/või kaubandusterritooriumite (121) ning turbarabade (412) maakatted. Tööstus- ja kaubandusterritooriumid paiknevad alamvalgalas 1 ning kujutasid Koeru alevikku, kus elab 900 elanikku (Järva vald 2025). Porkuni järve piirkonnas suuri asulaid ei paikne ning külade elanike arv jääb alla 200. Väinjärve alamvalgalas 4 paikneb turbaraba, mida Porkuni järve valgalas samuti ei esine. Väinjärv asub Pandivere kõrgustiku äärealal, kus põhjavesi väljub allikatena, samas Porkuni järv asub kõrgustiku lael, kus soostumist ei esine. Porkuni järve valgalal paikneb puuvilja- ja marjaalade (212) maakate, mille põhjuseks on Kullengal asuv RMK taimla, kus tegeletakse taimekasvatusega.

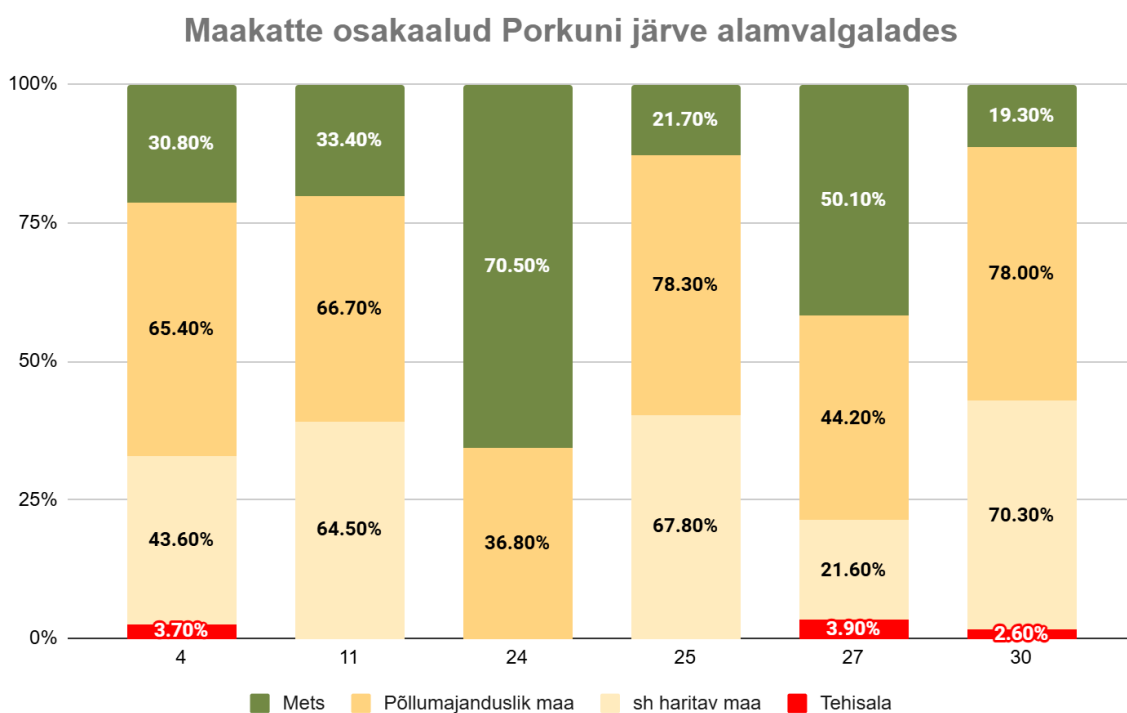
Maakatte klassifikaatorid jagati vastavalt C-faktorile nelja klassi: metsad, põllumajanduslik maa, sh haritav maa, tehismaa ning märgalad, mille C-faktorid on vastavalt 0,00475, 0,186, sh 0,225, 0,005 ning 0,01 ühikut. Metsaklassi kuulusid heitlehised lehtmetsad (311), okasmetsad (312), segametsad (313), üleminekulised metsaalad mineraalmaal (324); haritava maa hulka niisutuseta haritav maa (211) ning puuvilja- ja marjaalad (222); põllumajandusliku maa alla karjamaad (231), kompleksmaaviljelus (>75% haritav maa) (242), põllumajandus <75% + looduslik taimestik (243); tehisalade hulka kuulusid hõredalt hoonestatud alad (112) ja tööstus- ja/või kaubandusterritooriumid (121) ning märgalade hulka turbaraba (412).

### Maakatte osakaalud Porkuni järve valgalas



Joonis 5. Maakatte osakaalud Porkuni järve koguvalgalas.

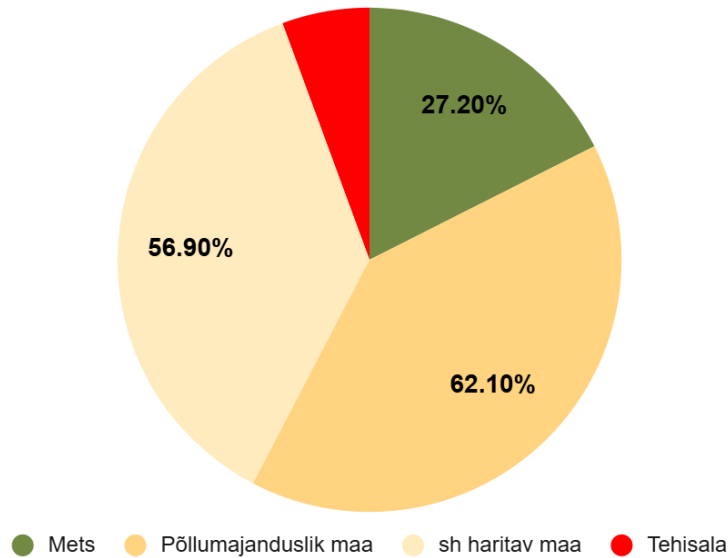
Porkuni järve valgala moodustavad 29,1% metsad, 68,1 % põllumajanduslik maa, sh 59,2% haritav maa ning 1,5% tehisalad (Joonis 5). Valdavalt on alamvalgalade maakatte protsentuaalne jaotus (Joonis 6) sarnane koguvalgalale, kus põllumajanduslik maa moodustab suurima osakaalu ning sellele järgneb metsamaa. Tehisalasid leidis ainult 4, 27, 30 alamvalgalades, kuhu jäid Porkuni, Aburi ja Koonu külad. Järve kaldaäärsetel alamvalgaladel 24 ja 27 moodustab mets suurima osa maakattest, mis on seletatav järskude ürgoru nõlvadega, kus on keeruline maad harida. Suurima osa koguvalgalast moodustab piirkonnale omaselt põllumajanduslik maa.



Joonis 6. Maakatte osakaalud Porkuni järve alamvalgalades.

Väinjärve valgala moodustavad 27,2% metsad, 62,1% põllumajanduslik maa, sh 56,9% haritav maa, tehisalad 8,7% ning märgalad 0,05% (Joonis 7). Väinjärve kõigis neljas alamvalgalas moodustab põllumajanduslik maa märkimisväärse osa (Joonis 8), ulatudes keskmiselt 60 protsendini. Vaid alamvalgalas 2 on metsa osakaal suurem, ulatudes 62,5 protsendini. Alamvalgalad 1 ja 4 paiknevad Koeru aleviku ning Ervita ja Väinjärve külade aladel, mistõttu ulatub nendes tehisalade osakaal ligikaudu 15 protsendini.

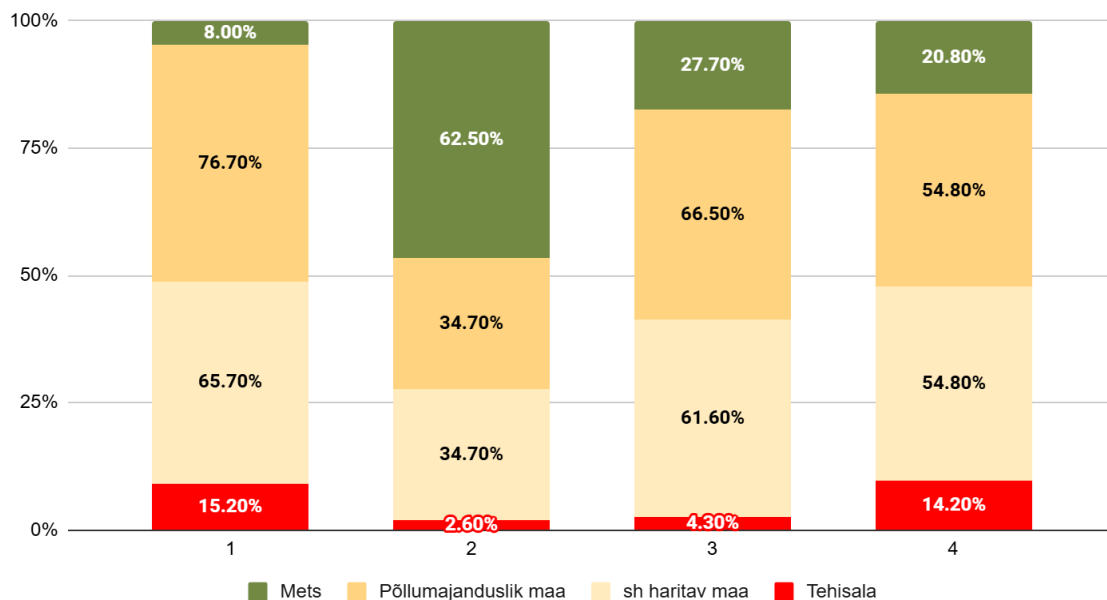
## Maakatte osakaalud Väinjärve valgalas



Joonis 7. Maakatte osakaalud Väinjärve koguvalgalas.

Mõlema järve valgala metsa- ning põllumajandusmaa osakaal valgalast oli sarnane. Suurim erinevus oli tehisalade määras, tulenedes Väinjärve valgalasse jäävatest suurematest asulatest. Põllumajanduslik maa moodustas mõlema järve valgalal suurema enamuse, millest haritava maa osakaal oli ligikaudu 55%. Valgalad on tugevalt mõjutatud intensiivsest põllumajanduslikust tegevusest, mis kujutab järvede seisundile potentsiaalset ohtu.

## Maakatte osakaalud Väinjärve alamvalgalades



Joonis 8. Maakatte osakaalud Väinjärve alamvalgalades.

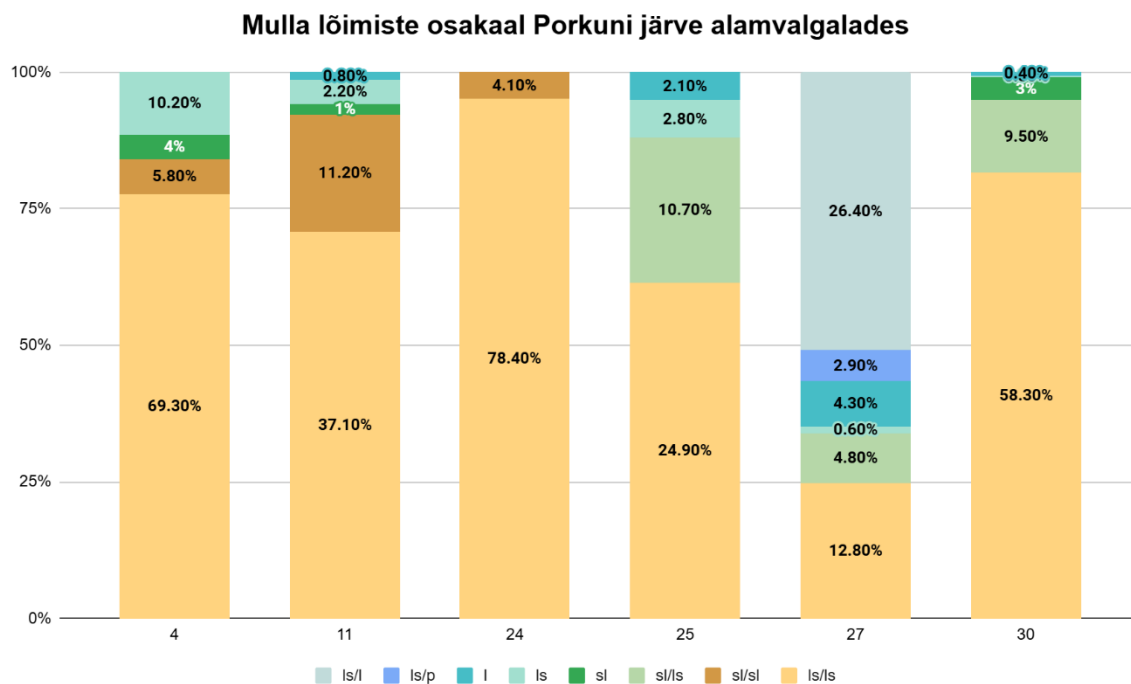
### 3.3.2 Mullad

Leostunud muld (Ko), leetjas muld (KI), rähkmuld (K) moodustavad 80% kogu Porkuni järve valgalast ning 75% Väinjärve valgalast. Leostunud muld on kõige levinum muld Porkuni alamvalgalades 11 ja 25 ning Väinjärve alamvalgalades 2, 3, 4; leetjas muld Porkuni alamvalgalas 30 ning Väinjärve alamvalgalas 1; rähkmuld Porkuni alamvalgalades 4 ja 27. Porkuni alamvalgala 24 levinum muld on koreserikas rähkmuld (Kr). Lisaks esineb Väinjärve valgalal gleistunud muldi, mis on Pandivere kõrgustiku jalamile iseloomulikud.

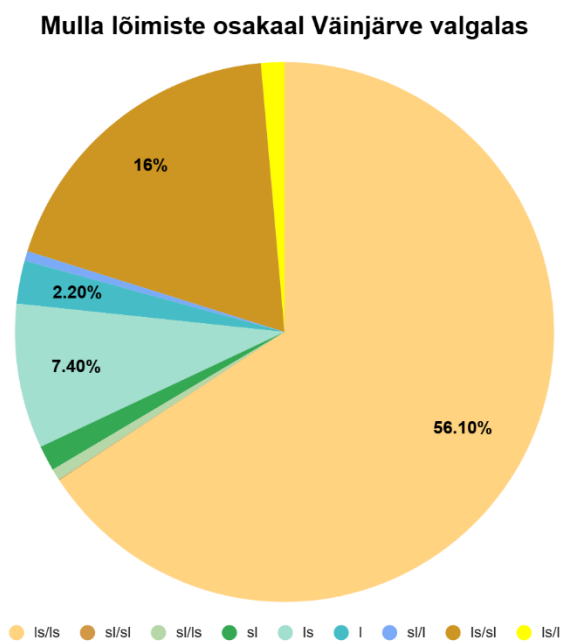
Mulla lõimis määrab mulla erodeeritavuse, kergema lõimisega mullad erodeeruvad paremini. Mulla kores on mõlema järve valgalas piirkonnale omaselt rähkne ja veeriseline. Liivsavi muldadel on mullaosakesed keskmise suurusega ning ei suuda hästi vett pidada, mistõttu muld erodeerub kergemini. Liivsavi lõimiste erodeeritavus on suhteliselt kõrge, nende K-faktori väärtused on ligikaudu  $0,024-0,042 [t/ha] \cdot [m^2/kJ] \cdot [h/mm]$ . Liiva ja saviliiva erodeeritavus on 0,01 ühikut.

Tulemuste analüüsimisel taandati lõimiseid ning üksikute väikestel aladel levivate muldade lõimiseid ei arvestatud, et neid oleks lihtsam võrrelda. Seetõttu ei ole analüüsis ja joonistel arvestatud väikese osakaaluga lõimiseid. Mõlema järve valgalades domineerivad liivsavi lõimised. Kõige arvukam mullalõimis on v11s/r2ls, mida leidub ligikaudu 6 ruutkilomeetril kogu Porkuni järve valgalast ning 4,8 ruutkilomeetril Väinjärve valgalast. Kahekihilised liivsavi lõimised moodustavad üle poole mõlema järve valgala lõimistest ning moodustavad peaaegu kõikides alamvalgalades suurima osakaalu.



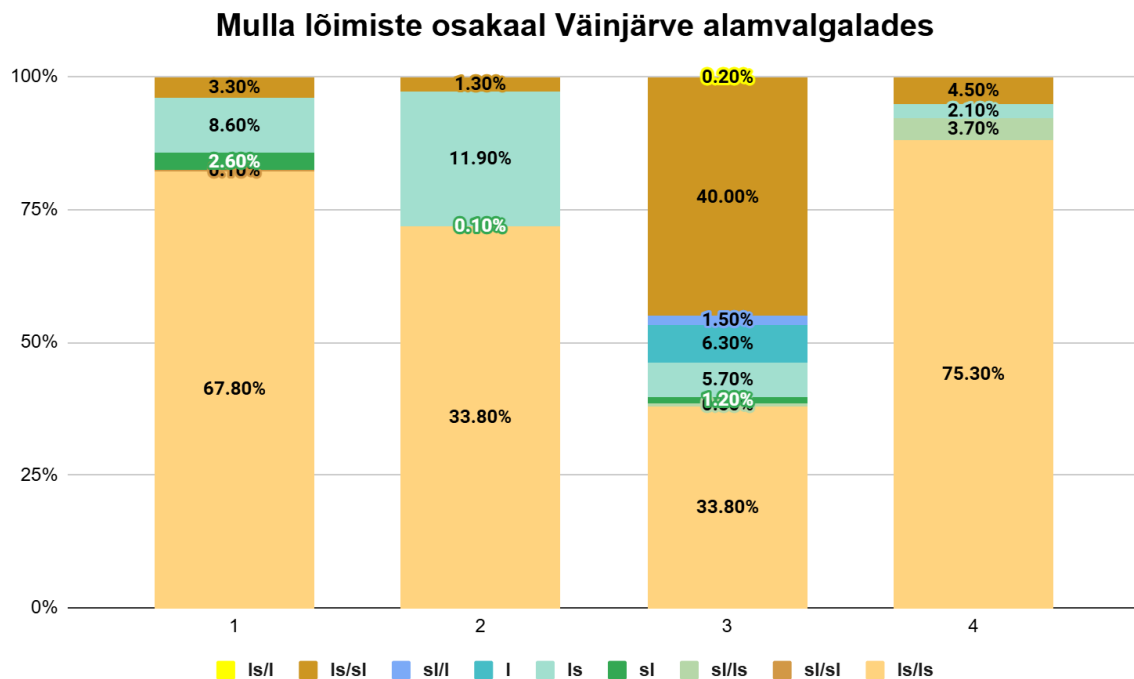


Joonis 10. Mulla lõimiste osakaal Porkuni alamvalgalades.



Joonis 11. Mulla lõimiste osakaal Väinjärve valgalas.

Väinjärve alamvalgalades 1, 2 ja 3 esineb erodeeritud muldi. Künklike alade järskudel nõlvadel võivad intensiivse vihmasaju või lumesulamisvee tõttu tekkida erodeeritud mullad. Erosiooni edasiseks pidurdamiseks tuleks neid kasutada püsirohumaad või metsana. (Eesti Maaülikool 2020) CORINE maakatte 2018 andmete põhjal kasutatakse mõlema alamvalgala erodeeritud mullaga aladel maad siiski haritava maana. Nende muldade levikuala mulla ärakannet on eriti oluline teada, et vajadusel kasutada lisameetmeid erosiooni takistamiseks.



Joonis 12. Mulla lõimiste osakaal Väinjärve alamvalgalades.

### 3.3.3 Mulla ärakanne

RUSLE mudeli kasutamine võimaldas täpsustada varasemalt arvatud statistikat maakatte ja muldade mõjutuste kohta. Mulla ärakanne on suurim Porkuni järve alamvalgalas 24, kus see ulatub 1,9 tonnini hektari kohta. Seda saab põhjendada järve asukohaga ürgorus, mistõttu on järve kaldad järsud ning sealsed nõlvakalded tavapärasest suuremad. Nõlvakallete mõju mulla ärakandele kinnitab ka järve läänekaldal asuva alamvalgala 27 suurem tulem. Nõlvakallete mõjutused esinevad ka Väinjärve valgala. Suuremas osas Väinjärve valgala kulgeb Tudre-Väinjärve org, mille nõlvakalded mõjutavad suuresti sealsete alamvalgalade tulemeid. Väinjärve põllumajandusliku maakastusega alamvalgalade tulemid on Porkuni sarnaste valgala omadest oluliselt suuremad just oru nõlvakallete mõjutusel. Väinjärve alamvalgalasid 1 ja 3 kasutatakse peamiselt põllumajanduslikul eesmärgil. Sealne keskmine

mulla ärakande näitaja on 0,875 t/ha, mis on Eesti keskmisest veidi suurem ning oluliselt suurem kui Porkuni järve sarnastes alamvalgalades.

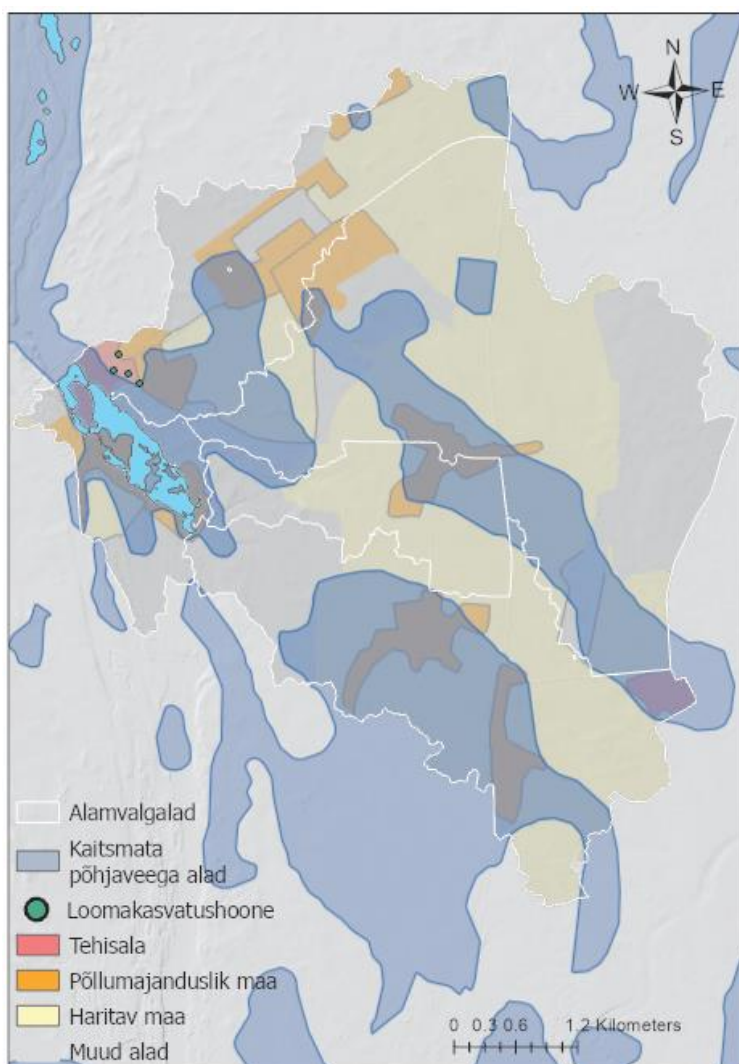
Vaatamata Pandivere kõrgustiku üpris tasele reljeefile on keskmine mulla ärakanne mõlema järve valgala Eesti keskmisest suurem. Porkuni järve suure haritava maa osakaaluga alamvalgalades 11, 25, 30 on mulla ärakanne 0,44 t/ha, jäädes Eesti keskmisest haritava maa näitajast märkimisväärselt madalamale. Kõigi kolme alamvalgala maakasutus ning mullaomadused on minimaalsete erinevustega. Arvatavasti on Porkuni keskmisest madalamad näitajad seotud Pandivere kõrgustiku keskosa tasase pinnamoega, mistõttu nõlvakalded on enamasti väikesed ning ei mõjuta suuresti mulla ärakannet. Väinjärve valgala on reljeef ebataasem ning esineb palju suuremate nõlvakalletega nõlvi.

Suurim mulla ärakanne on Väinjärve alamvalgala 2, olles põhjustatud ilmselt sealsest künklikust reljeefist. Alamvalgala 4 mulla ärakanne on väiksem, jäädes vaid 0,25 t/ha juurde. Kahe järve omavahelisel võrdlusel on nende keskmine mulla ärakanne võrdlemisi erinev. Väinjärve valgala on mulla ärakanne aastas keskmiselt 1,06 t/ha, samas kui Porkunis jääb näitaja 0,54 ühiku juurde. Väinjärve valgala 1 ja 3, mille maakasutus sarnaneb Porkuni valgala 4, 11, 25 ning 30, mulla ärakanne on vastavalt 0,77 ning 0,98, samas kui Porkuni järve sarnaste valgala puhul on näitajad keskmiselt 0,4 t/ha. See näitab, et mulla ärakannet mõjutab lisaks maakasutusele suuresti reljeef ning mulla omadused.

Töö tulemusena selgus, et potentsiaalselt suurima mulla ärakandega on alamvalgala 2, kus maastik on kõige reljeefsem. Porkuni järve puhul on vastavaks valgala alamvalgala 24, kus aastane keskmine tulem on 1,92 t/ha. Väinjärve valgala suurima mulla ärakandega valgala on alamvalgala 2, kus ärakande aastane keskmine väärtus on 1,83 t/ha. Mõlema alamvalgala keskmisest oluliselt suuremad tulemused on põhjustatud reljeefsemast maastikust ning suurtest orgude nõlvakalletest.

### 3.4 Potentsiaalsed reostusallikad

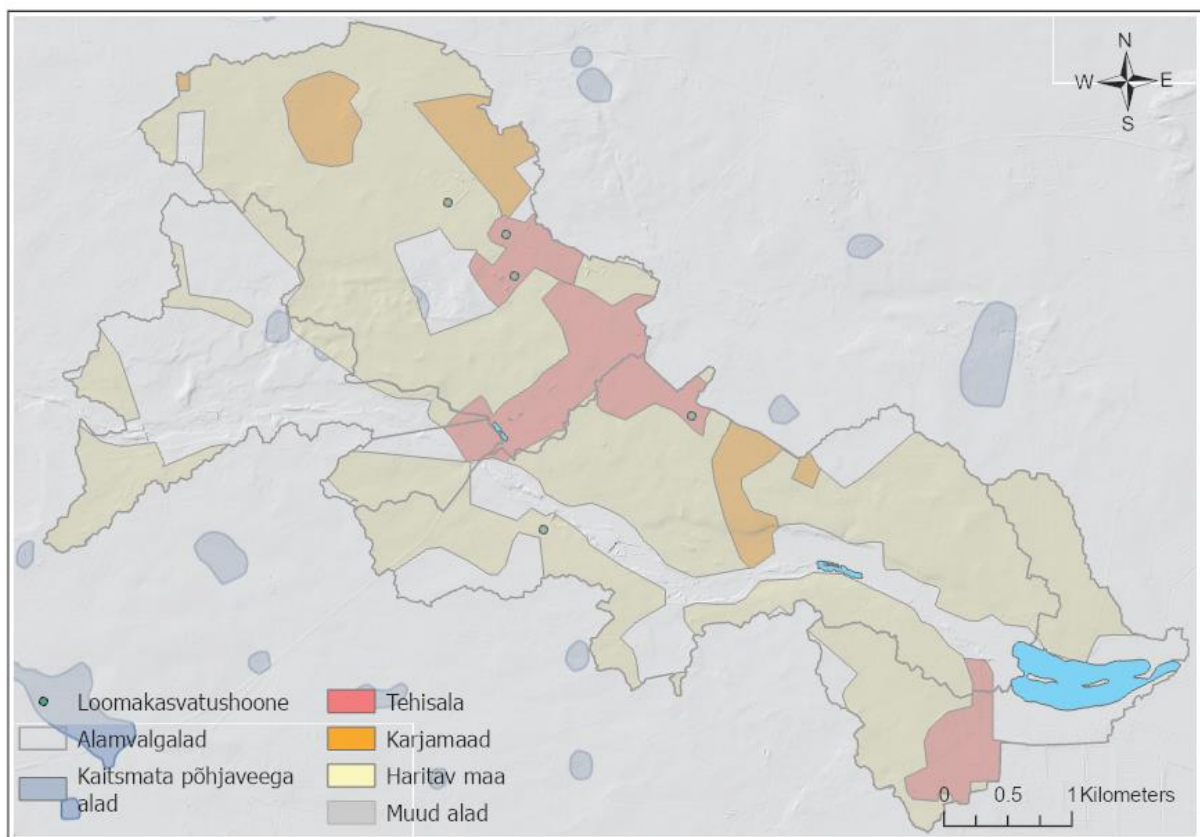
Porkuni järv ja Väinjärv asuvad Adavere-Põltsamaa nitraaditundlikul alal, lisaks on mõlema valgalal mitmeid kaitsmata põhjaveega alasid ning laialdaselt levinud karstinähtused. Töö käigus kaardistati potentsiaalsed põllumajanduslikud reostusallikad, kaitsmata põhjaveega alad ning intensiivsema kasutusega põllumajanduslikud maad. Porkuni järve valgalas on mitu ulatuslikku kaitsmata põhjaveega ala (Joonis 13), mis muudab selle reostusele vastuvõtlikumaks. Ka karstialadelt võib reostus liikuda kiiresti pinnaveest põhjavette. Porkuni järve valgalal on asustustihedus pigem hõre, suuremad külad on Porkuni, Koonu ja Aburi, kus elab kokku paarsada inimest. Väinjärve valgalal on asustustihedus suurem. Valgalasse jääb Väinjärve ja Ervita külad ning Koeru alevik ning piirkonnas elab kokku üle tuhande inimese.



Joonis 13. Porkuni järve valgala potentsiaalsed reostusallikad ning kaitsmata põhjaveega alad.

Porkuni alamvalgalas 4 tegutseb mitu loomakasvatusega tegelevat ettevõtet. PRIA veebikaardi (2025) andmetel on piirkonnas registreeritud 9 hobust ning lambad, kelle arv jääb ligikaudu paarisaja juurde. Väinjärve valgalas tegeletakse loomakasvatusega intensiivsemalt. Alamvalgalas 3 kasvatatakse põhjaosas kümmet siga ning idaosas kümmet lammast. Alamvalgalas 1 asub Koeru alevikust loodes kolm suurt laudakompleksi, kuhu on kokku registreeritud 964 veist (PRIA 2025). Porkuni järve valgalas tegeletakse loomakasvatusega küll väiksemas mahus, kuid järvest paarisaja meetri kaugusel, mistõttu on potentsiaalne reostusohu järvele hinnanguliselt suurem kui viie kilomeetri kaugusel asuvate laudakompleksite mõju Väinjärvele.

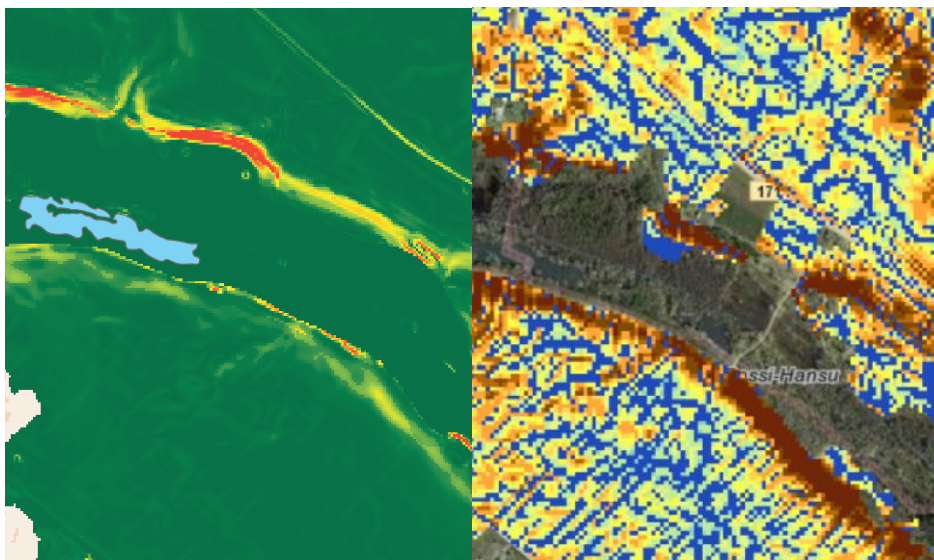
Väinjärve valgalas tegeletakse intensiivsemalt loomakasvatusega ning seal on tihedam asustus. Samas jäävad potentsiaalsed reostusallikad järvest pigem kaugemale (Joonis 14), kuigi võivad valgala vooluteede kaudu sinna siiski sattuda. Porkuni järve reostusohu mõjutavad lähedalasuvad reostusallikad, nagu mitmed loomakasvatushooned ning intensiivne põllumajandus reostustundlikul maa-alal. Karsti ja kaitsmata põhjaveega alade ulatuslikum levik suurendavad Porkuni järve potentsiaalse reostuse ohtu.



Joonis 14. Väinjärve valgala potentsiaalsed reostusallikad ning kaitsmata põhjaveega alad.

## 4. Arutelu

Käesoleva tööga leitud tulemusi saab võrrelda Maaelu Teadmuskeskuse (METK) mullaerosiooni kaardirakendusega, kus USLE-mudeli abil on modelleeritud vee-erosiooni ulatust. Kaardirakendusest saab eraldi uurida potentsiaalset erosiooni ning erosiooni mustkesal, vahelharitaval kultuuril, suviviljal, taliviljal, lühiajalisel rohumaal ning püsirohumaal. METKi kaardil on erosioon arvatud vaid põllumajanduslikul maal, keskendudes rohkem harimisviiside mõjule. Käesoleva tööga modelleeriti kogu järve valgala mulla äraanne, mistõttu on tulemus terviklikum ning võimaldab hinnata ka metsade ning tehisalade potentsiaalset mõju. Mõlemal kaardil joonistuvad välja piirkonna reljeefierinevused ning suuremad teed. METKi kaarti on kohati puudulike andmete tõttu keeruline võrrelda töös modelleeritud tulemiga, lisaks ulatuvad kaardi väärtused legendis vaid 15 tonnini. Seetõttu on joonisel 15 kujutatud erosioon METKi kaardil oluliselt tugevamalt rõhutatud. Tulemused on mõlemal kaardil suhteliselt sarnased (Joonis 15), mistõttu võib järeldada, et käesolevas töös modelleeritud mudelid on usaldusväärsed ning sobilikud erosiooniohu hindamiseks.



Joonis 15. Käesolevas töös RUSLE valemiga modelleeritud ning METKi kaardirakenduse mulla äraande väljavõte Väinjärve valgalal.

## 4.1 Järvede võrdlus

Pandivere kõrgustikul on vähe järvi ning need on üldiselt väikese valgalaga. Selles töös käsitleti kahte suuremat sealset järve: kõrgustiku keskosas paiknevat Porkuni järve ning Väinjärve, mis asub kõrgustiku lõunaserval. Porkuni järve pindala on ligikaudu 10 hektarit suurem, kuid Väinjärv on keskmiselt 3 meetrit sügavam. Mõlemas järves esinevad saared, millest tähelepanuväärsemad on Porkuni kaguosa turbapinnasest saared, mis suudavad tuulega asukohti vahetada.

Järved on veetüübilt ning limnoloogiliselt erinevad, kuid asuvad mõlemad Adavere-Põltsamaa nitraaditundlikul alal, mistõttu on need potentsiaalsele reostusele vastuvõtlikumad. Mõlemad järved on liustikutekkelised, asuvad orgudes ning on allikatoitelised. Porkuni suurimad allikad asuvad järve kirdeosas ning Väinjärve omad lääneosas. Porkuni järve kaldad on valdavalt järsud, loodeosas kuni kümme meetrit veepiirist, kaguosas madalamad ja soostunud. Väinjärve kaldad on tasasemad ning sealsed nõlvad on laugemad, lõunaosas on madal järsak.

Järvede seisundit iseloomustavad mitmed probleemid. Väinjärv on toitaineterikas ning taimerohke, mida on põhjustanud veetaseme alandamine ning suur toitainete koormus lähiasulate heitveest. Porkuni järve seisundit mõjutab oluliselt veetaseme kõikumine. Porkuni järve vesi on hästi segunev, samas Väinjärve oma on kihistuv. Kuigi järved asuvad sarnases geograafilises piirkonnas, on nende omadused siiski mõnevõrra erinevad.

Mudeldatud tulemused indikeerivad, et Väinjärve valgalas on mulla ärakanne suurem kui Porkuni järve valgalas, olles aastas keskmiselt vastavalt 1,06 t/ha ning 0,54 t/ha. Suurem ärakanne on tingitud Väinjärve valgala reljeefsemast maastikust, kus esineb nii voor, oosiahelik kui ka org. Porkuni järv asub samuti orus, kuid ülejäänud reljeef on Pandiverele omaselt tasane, mistõttu keskmine tulemus on madalam. Mõlema järve valgalas asub piirkondi, kus suurte nõlvakallete tõttu ulatuvad maksimaalsed ärakande väärtused Porkunis 167,9 ja Väinjärvel 185,1 tonnini. Arvestades oluliselt madalamat keskmist väärtust, siis on maksimaalsed väärtused ilmselt anomaalsed tulemused.

Porkuni järve ja Väinjärve valgalad on üpris sarnased. Mõlema järve valgala on ligikaudu sama suur ning ka maakasutus ning mullastik sarnane. Järved asuvad Adavere-Põltsamaa nitraaditundlikul alal, kus on kehtestatud erinevaid piiranguid potentsiaalsetele ohuteguritele, nagu väetiste kasutamine või loomade kasvatamine. Valgalad asuvad karstialadel, lisaks asub

Porkuni järve valgala suures osas kaitsmata põhjaveega aladel. See võib oluliselt mõjutada järve seisundit, sest reostuse levikul ei ole suuri takistusi. Otti jt (2009) tehtud uuringu põhjal hinnati Porkuni järves orgaanilise aine sisaldus madalaks, hapnikuolud halvaks, fosforiühendite sisalduse väga madalaks ning üldlämmastiku sisalduse erakordselt kõrgeks. Porkuni järve koormas väga suur lämmastikureostus. Väinjärve üldine toitainete sisaldus on madal (Terviseamet 2020).

## **4.2 Mulla ärakande potentsiaalne mõju**

Digitaalse kõrgusmodeli põhjal arvatud valgala ning modelleeritud mulla ärakanne võimaldavad hinnata mulla erosiooniga leviva hajureostuse potentsiaalset mõju järve seisundile. Vee seisund on üks olulisemaid keskkonnaseisundi indikaatoreid ning veekogude hea seisund on tähtis nii looduse kui ka inimeste heaolu seisukohalt.

Geoinfosüsteemide kättesaadavuse ning laiapõhiste tööriistade abil on pinnavee liikumise modelleerimine üpris lihtne. Keerulisemaks muudab selle asjaolu, et lisaks pinnaveele mõjutavad vee liikumist Pandivere kõrgustikul ka põhjavesi ning karst. Töö üheks eesmärgiks oli iseloomustada Pandivere kõrgustiku järvede sissevoolu ruumilisi omadusi ning iseloomu. Pandivere kõrgustiku hüdroloogiline režiim on omapärane ning piirkonda iseloomustab ulatuslik karsti mõju ja hõre maapealne vetevõrk. See muudab järvede sissevoolu modelleerimise tavapärasest keerulisemaks. Töös kasutatud digitaalse kõrgusmodeli põhjal määratud valgalad ning arvatud RUSLE mudel põhinevad eeldusel, et vesi liigub peamiselt pinnapealselt. Keskenduti vaid pinnavee modelleerimisele ja mõjutustele ning põhjavee ja karsti mõju vajab täiendavat käsitlemist.

Veekogude keskkonnaseisundit mõjutavad mitmed tegurid nagu maakasutus ja mulla omadused. Üheks veekogude seisundi mõjutajaks on peamiselt põllumajandusest tekkiv hajureostus, mis mulla ärakande tõttu võib sattuda ka veekogudesse ning potentsiaalselt mõjutada vee seisundit. Suur haritava maa osakaal tähendab ka suuremat väetise- ja pesitsiidikoormust, kuigi selle kasutamisel on nitraaditundlikul alal piirangud. Samuti mõjutavad toitainete ärakannet ka kergema lõimisega mullad. Nende tegurite ja järskude nõlvade kombineerumisel suureneb oluliselt hajukoormuse järve jõudmise potentsiaal.

Järve seisundi hindamisel on oluline teada selle valgala ning valgalalt koguneva hajureostuse mõju. Valgala pindala piiritlemine loob üldise ettekujutuse kui suurelt alalt järve oma vee kogub. RUSLE mudeliga potentsiaalse erosiooni modelleerimine toob esile, millised alad on potentsiaalselt suurima mõjuga järve seisundile. Ökoloogilise seisundi hindamiseks kasutatakse mitmeid näitajaid: vee-elustikku, füüsikalisi-keemilisi näitajaid, vesikonnaspetsiifilisi saasteaineid ning hüdro-morfoloogiat (Muna, Kovtun-Kante 2021). Nende näitajate kaudu kajastub otseselt või kaudselt järve jõudvate ainete koormust. Käesoleva töö tulemuste põhjal on mulla ärakande ning järve seisundi vahel võimalik tuua vaid kaudseid näiteid ning verifitseerimine vajab täiendavat käsitlemist.

### **4.3 Keskkonna mõju**

Viimaste aastakümnete jooksul on suurenenud tähelepanu ning inimeste teadmised järvede seisundile. Punktireostuse roll veekogude seisundile vähenenud ning hajukoormuse oma suurenenud. Samas ei ole punktireostus täielikult kadunud. Teades järve valgala piire on võimalik teha oletusi valgala maakasutuse mõju kohta järve valgalale. Eriti oluline võib selline modelleerimine olla intensiivsema tehiskeskkonnaga maa-aladel, kus oht reostuseks on suurem. Töös arvutati RUSLE mudeliga mulla ärakande potentsiaal igas alamvalgala. Kuigi mudel ei kajasta otseselt reostuskoormust ega ainete kontsentratsioone, aitab see hinnata erosiooniohtlikemaid piirkondi ning nende potentsiaalset mõju järve seisundile. Samuti saab selle abil planeerida maakasutust ning vähendada mõjutusi järvele.

Töö tulemuste põhjal saab seada hüpoteese valgala iseloomu mõjust vee seisundile. Seega saab töö tulemusi kasutada edaspidistes uuringutes sisendina järvede seisundi hindamisel. Intensiivse põlluharimisega piirkonnas võivad olla mitmeid potentsiaalseid hajureostuse allikad, mõjutades järve lämmastiku ja fosfori sisaldust. Sellised mudelipõhised hinnangud aitavad veekaitset paremini planeerida. Käesoleva töö tulemused näitavad, et valgala potentsiaalse mulla ärakande ruumiline analüüs võib järvede seisundi võimalike mõjude kohta anda väärtuslikku informatsiooni. Potentsiaalsed seosed ei pruugi olla alati tugevad näitajad, kuid need on olulised lähtesisukohad edasiseks uurimiseks ning keskkonnakaitse korraldamiseks.

## 5. Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli modelleerida potentsiaalselt mulla ärakannet Porkuni järve ja Väinjärve valgaladel ning hinnata valgala maakasutuse potentsiaalselt mõju järvede seisunditele. Selle saavutamiseks modelleeriti digitaalse kõrgusmudeli põhjal Porkuni ja Väinjärve valgalad, mis jaotati vastavalt kuueks ja neljaks alamvalgalaks. Piiritletud tulemuste põhjal arvutati mulla äraanne koguvalgala ulatuses ning analüüsiti alamvalgalade potentsiaalselt mõju järve seisundile. Selline lähenemine võimaldab järve potentsiaalselt seisundit hinnata ka olukorras, kus mõõtmised on ebatäpsed või puuduvad.

Tulemused näitasid, et nii maakasutus kui mulla omadused on Porkunil ja Väinjärvel võrdlemisi sarnased. Mõlema järve valgalal on ligikaudu 25% maa-alast metsamaa ning 65% põllumajanduslik maa, millest 55% haritav maa. Umbkaudu kolmveerandi mulla osakaalust moodustasid mõlema järve valgalal leostunud muld (Ko), leetjas muld (KI) ning rähkmuld (K).

Modelleeritud mulla äraande tulemused indikeerisid, et suurim mulla ärakannet mõjutav tegur on nõlvakalde faktor. Kõrgeimate mulla äraandega alamvalgaladel asusid ka kõige reljeesemad alad ning suurimate nõlvakalletega nõlvad. Porkuni järve ja Väinjärve valgala asuvad mõlemad osaliselt ürgorus, mistõttu on nõlvakallete mõjutused kogu valgala mulla erosioonile suhteliselt suured. Seetõttu on oluline jälgida suurema mulla äraandega alade maakasutusel erosiooni ning võimalusel kasutada selle takistamise meetmeid.

Töö indikeeris, et ilma mõõtmistulemusteta on geoinformaatilise modelleerimise abil võimalik teha järeldusi valgala omaduste ja potentsiaalse mõju kohta vee seisundile. Selline lähenemine on eriti väärtuslik piirkondades, mille kohta seireandmed puuduvad või on puudulikud. Käesolev töö aitab paremini mõista potentsiaalselt ohtu Pandivere kõrgustiku järvedele ning aitab paremini planeerida maakasutust.

# **Characterization of the Lake Porkuni and Lake Väänjärvi catchment area by modeling soil erosion**

Eliisabet Preismann

## **Summary**

The aim of this bachelor's thesis was to model potential soil erosion in the catchments of Lake Porkuni and Lake Väänjärvi and to assess the potential impact of land use in the catchment area on the status of the lakes. To achieve this, the catchments of Lake Porkuni and Lake Väänjärvi were modelled based on a digital elevation model, which were divided into six and four sub-catchments, respectively. Based on the results obtained, soil erosion was calculated over the entire catchment area and the potential impact of the sub-catchments on the status of the lake was analysed. This approach allows the assessment of the potential status of the lake even in situations where measurements are inaccurate or missing.

The results showed that both land use and soil properties are relatively similar in Lake Porkuni and Lake Väänjärvi. Approximately 25% of the land area in the catchment area of both lakes is forest land and 65% is agricultural land, of which 55% is arable land. Approximately three-quarters of the soil in the catchment area of both lakes was made up of albeluvisol (Ko), podzol (KI) and cloamy soil (K).

The results of the modeled soil erosion indicate that the largest soil erosion factor is the slope factor. The most relief areas and slopes with the largest slope slopes were also located in the sub-catchments with the highest soil erosion. Lake Porkuni and Lake Väänjärvi catchments are both located partly in a primeval valley, and the effects of slope slopes on soil erosion in the entire catchment are large. It is important to consider erosion in the land use of areas with higher soil erosion and, if possible, to use measures to prevent it.

The work indicated that without measurement results, it is possible to draw conclusions about the characteristics of the catchment area and its potential impact on water status using geoinformatics modeling. Such an approach is especially valuable in areas where monitoring data are missing or incomplete. This work helps to better understand the potential threat to the lakes of the Pandivere Upland and helps to better plan land use.

## **Tänuavaldused**

Soovin tänada oma juhendajat Raivo Aunapit asjatundliku juhendamise, pühendatud aja ning igakülgse toe eest kogu töö valmimise protsessis. Samuti olen väga tänulik oma perele ja sõpradele, kes elasid tööle kaasa, julgustasid ja toetasid mind kogu töö vältel.

## Kasutatud kirjandus

**AS Maves.** 2007. Porkuni järve keskkonnaseisundi uuring. Tamsalu Vallavalitsus, Tallinn.  
<https://maaamet.ee/egf/index.php?lht=aru&id=31778>

**Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., Norton, K.** 2018. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018> (Kasutatud 13.05.2025)

**Eesti Geoloogiakeskus.** 2017. EESTI GEOLOOGILINE BAASKAART GEOLOGICAL BASE MAP OF ESTONIA 6413 JÄRVA-JAANI SELETUSKIRI EXPLANATION TO THE MAPS. <https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/6413Seletuskiri.pdf> (Kasutatud 18.05.2025)

**Eesti Geoloogiakeskus.** 2015. EESTI GEOLOOGILINE BAASKAART GEOLOGICAL BASE MAP OF ESTONIA 6432 VÄIKE-MAARJA SELETUSKIRI EXPLANATION TO THE MAPS <https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/6432Seletuskiri.pdf> (Kasutatud 18.05.2025)

**Eesti Looduse Infosüsteem (EELIS)** 2024. Veekogu andmete kuvamine, <https://infoleht.keskkonnainfo.ee/veekogu/-497678745> (Kasutatud 02.11.2024, 23.03.2025).

**Eesti Maaülikool.** 2020. Aasta\_muld\_2020\_voldik\_02.indd  
<https://dspace.emu.ee/server/api/core/bitstreams/0439fe80-789b-40f0-ba3e-b7d2ce5a3180/content> (Kasutatud 18.05.2025)

**Elias, K. (2020).** TTÜ teadlane: põllumajanduse mõju Eesti vee kvaliteedile on üsna suur. ERR. , <https://novaator.err.ee/1096135/ttu-teadlane-pollumajanduse-moju-eesti-vee-kvaliteedile-on-usna-suur> (Kasutatud 13.05.2025)

**Emeribeole, A.C., Iheaturu, C. J. (2015).** Mapping of Potential Soil Erosion Risk Areas in IMO State Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Remote Sensing (RS) and Geospatial Information System (GIS) Techniques.  
[https://www.researchgate.net/publication/345003379\\_Mapping\\_of\\_Potential\\_Soil\\_Erosion\\_Risk\\_Areas\\_in\\_IMO\\_State\\_Using\\_the\\_Revised\\_Universal\\_Soil\\_Loss\\_Equation\\_RUSLE\\_Remote\\_Sensing\\_RS\\_and\\_Geospatial\\_Information\\_System\\_GIS\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/345003379_Mapping_of_Potential_Soil_Erosion_Risk_Areas_in_IMO_State_Using_the_Revised_Universal_Soil_Loss_Equation_RUSLE_Remote_Sensing_RS_and_Geospatial_Information_System_GIS_Techniques)

**EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2000/60/EÜ (23.10.2000).**

EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60> (Kasutatud 19.03.2025)

**Järva vald.** <https://jarvavald.ee/asulad-ja-elanike-arv> (Kasutatud 18.05.2025)

**Heinsalu, Ü.** 1963. Karst Pandivere kõrgustikul. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut, Tallinn.

**Heinsalu, Ü.** 1979. Karstijärvikud Eestis. Eesti Loodus. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340743/298086/page/35>

**Joonuks, H.** 1974. Ajutiste järvede maal. Eesti Loodus. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340618/298246/page/57>

**Keskkonnaamet.** 2015. Eesti vete seisund.

<https://keskkonnaamet.ee/sites/default/files/documents/2021-05/Eesti%20vete%20seisund.pdf> (Kasutatud 04.04.2025)

**Keskkonnaportaal.** 2025. <https://register.keskkonnaportaal.ee/register/body-of-water/8375779> (Kasutatud 23.03.2025)

**Keskkonnaportaal.** 2025. <https://register.keskkonnaportaal.ee/register/body-of-water/8377601> (Kasutatud 23.03.2025)

**Kliimaministeerium.** 2024. <https://kliimaministeerium.ee/merendus-veekeskond/vesi/pinnavesi> (Kasutatud 23.04.2025)

Krause, T., Palm, A., Silm, M. 2013. Kalastiku ja püügivahendite efektiivsuse uuring Eesti väikejärvedes. <https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2021-12/V%C3%A4ikej%C3%A4rvede%20kalastiku%20ja%20p%C3%BC%C3%BCgivahendite%20uuringu%202013.%20aasta%201%C3%B5pparuanne.pdf> (Kasutatud 23.03.2025)

**Lastoria, B., Miserochi, F., Lanciani, A., Monacelli, G.** 2008. An Estimated Erosion Map for the Aterno-Pescara River Basin.

[https://www.researchgate.net/publication/268403134\\_An\\_Estimated\\_Erosion\\_Map\\_for\\_the\\_Aterno-Pescara\\_River\\_Basin](https://www.researchgate.net/publication/268403134_An_Estimated_Erosion_Map_for_the_Aterno-Pescara_River_Basin) (Kasutatud 13.05.2025)

**Maaelu Teadmuskus.** 2025. Mullaerosiooni kaardirakendus.

[https://athena.agri.ee/connect/analyst/mobile/#/main?mapcfg=%2FAnalyst%2FNamedProjects%2Fmulla\\_erosioon](https://athena.agri.ee/connect/analyst/mobile/#/main?mapcfg=%2FAnalyst%2FNamedProjects%2Fmulla_erosioon)

**Muna, M., Kovtun-Kante, A.** 2021. Eesti pinnaveekogumite seisundihindamise meetodika täpsustused. Tallinn.

**OpenAI.** 2025. ChatGPT (GPT-4-turbo, 17. mai versioon), suur keelemudel.

<https://chat.openai.com/>

**Ott, I. 2009.** Neeruti maastikukaitseala, Porkuni maastikukaitseala, Äntu maastikukaitseala ja Põhja-Kõrvemaa looduskaitseala järvede uuringud. Eesti Maaülikool, Rannu.

<https://registerdok.keskkonnaportaal.ee/getdok/580436799>

**Ott, I., Maileht, K., Laarmaa, R.** 2013. Järvede ökoloogilise seisundi hindamisel kasutatava fütoplanktoni ja füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate klassipiiride korrigeerimine ja referentstingimuste seadmine.

<https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2021-12/J%C3%A4rvede%20%C3%B6koloogilise%20seisundi%20hindamisel%20kasutatava%20f%C3%BCtoplanktoni%20ja%20f%C3%BC%C3%BCsikalise%20keemiliste%20kvaliteedin%C3%A4itajate%20klassipiiride%20korrigeerimine%20ja%20referentstingimuste%20seadmine.pdf>

**Pacific Northwest National Laboratory.** (i.a) Soil Erodibility Factor.

[https://mepas.pnnl.gov/mepas/formulations/source\\_term/5\\_0/5\\_32/5\\_32.html](https://mepas.pnnl.gov/mepas/formulations/source_term/5_0/5_32/5_32.html) (Kasutatud 27.04.2025)

**Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borelli, P., Alewell, C.** 2014a. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010> (Kasutatud 13.05.2025)

**Panagos, P., Borelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L.**

2015a. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021> (Kasutatud 13.05.2025)

**Panagos, P., Borelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C.** 2015b. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012> (Kasutatud 13.05.2025)

**PMK Mullaseire büroo, TÜ Geograafia Osakond.** 2012. Muldade erosioon Eestis modelleerituna USLE mudeliga, täpsustamine LIDAR andmete põhiste reljeefiandmetega. Eesti maaelu arengukava 2007–2013 2. telje püsihindamine. Põllumajandusuuringute Keskus. <https://metk.agri.ee/media/1974/download> (Kasutatud 13.05.2025)

**PRIA Veebikaart.** 2025. <https://kls.pria.ee/kaart/>

**Raidma, R.** 2015. Porkuni järve seisund pärast 2006. aasta kuivamist. Bakalaurusetöö. Tallinna Ülikool, Tallinn. <https://www.etera.ee/s/W2sjexNd9X>

**Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C.** 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). (Kasutatud 13.05.2025)

**Sall, M., Peterson, K., Kuldna, P.** 2012. VEEKAITSEST PANDIVERE JA ADAVERE-PÕLTSAMAA NITRAADITUNDLIKUL ALAL. SA Säästva Eesti Instituut/Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna keskus, Tallinn.

**Terasmaa, J., Vainu, M., Lode, E., Pajula, R., Raukas, A.** 2015. Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk. Lõpparuanne. SA Keskkonnainvesteeringute Keskus.

<https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2021-10/P%C3%B5hjaveekogumi%20veest%20s%C3%B5ltuvad%20%C3%B6kos%C3%BCstee mid%20nende%20seisundi%20hindamise%20kriteeriumid%20ja%20seirev%C3%B5rk.pdf>

**Terviseamet.** 2020. Väinjärve supluskohta suplusvee profiil. [https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/documents/2024-09/vainjarve\\_supluskohta\\_profiil.pdf](https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/documents/2024-09/vainjarve_supluskohta_profiil.pdf) (Kasutatud 20.05.2025)

**Tummeleht, L-I., Ruut, K., Rüütel, I., Kaja, U.** 2008. Lääne-Virumaa väärtuslikud maastikud. VR kirjastus.

**United States Geological Survey.** 2022 <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs> (Kasutatud 24.04.2025)

**Veeseadus** (01.11.2024). Riigi Teataja.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/122022019001?leiaKehtiv> (Kasutatud 24.04.2025)

**Zeeman, R.** 1981. Veel kord Väinjärvest. Võitlev Sõna : EKP Paide Rajoonikomitee ja Paide Rajooni RSN häälekandja

<https://dea.digar.ee/?a=d&d=voitlevsona19810331.2.11&srpos=444&e=-----et-25--426--txt-txIN%7ctxTI%7ctxAU%7ctxTA-v%c3%a4inj%c3%a4rv-----> (Kasutatud 23.03.2025)

**Zeeman, R.** 1987. Väinjärve ümbrus on muutunud. Võitlev Sõna : EKP Paide Rajoonikomitee ja Paide Rajooni RSN häälekandja

<https://dea.digar.ee/?a=d&d=voitlevsona19870129.2.10.3&srpos=405&e=-----et-25--401--txt-txIN%7ctxTI%7ctxAU%7ctxTA-v%c3%a4inj%c3%a4rv-----> (Kasutatud 23.03.2025)

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Eliisabet Preismann,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

“Porkuni järve ja Väinjärve valgala iseloomustamine mulla ärakande modelleerimise teel”, mille juhendaja on 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.

Eliisabet Preismann

22.05.2025