

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

Bakalaureusetöö geoloogias (12 EAP)

**Kuressaare veehaarde põhjavee reostuse uurimine**  
**Birgit Pruunlep**

Juhendaja: Magdaleena Männik

Tartu 2026

## **Kuressaare veehaarde põhjavee reostuse uurimine**

Põhjavesi on üks peamisi joogiveeallikaid kogu maailmas, mistõttu on oluline hinnata selle kaitstust ja reostumise riske. Põhjavee reostumise tekke ja leviku kirjeldamiseks koostatakse kontseptuaalseid mudeleid ning põhjavee kaitstuse kaarte. Üheks maailmas laialt levinud põhjavee kaitstuse kaartide koostamise meetodiks on DRASTIC-metoodika. Kuressaare Tõlli veehaardes leiti 2023. aastal *coli*-laadsete bakterite olemasolu, mille põhjuseks peeti kaitsmata põhjaveega alasid ning vigaseid puurkaeve. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida antud reostuse tekkepõhjuseid ning levikut. Töö tulemusena valmis uuringualal põhjavee kaitstuse kaart, reaalse reostusohu kaart ning reostuse levikut kirjeldav kontseptuaalne mudel.

Märksõnad: Põhjavee kaitstus, kontseptuaalne mudel, DRASTIC-metoodika

CERCS kood: P470 Hüdrogeoloogia, geoplanering ja ehitusgeoloogia

## **Investigation of groundwater pollution in the Kuressaare water intake**

Groundwater is one of the most common drinking water sources in the world, which is why it is important to evaluate its vulnerability and contamination risk. Conceptual models and groundwater vulnerability maps are used to describe the occurrence and spread of groundwater contamination. One way to create groundwater vulnerability maps is by using the DRASTIC method, which is widely used around the world. In 2023, the presence of *coli*-like bacteria was detected in the Kuressaare water intake, which was attributed to an unprotected groundwater area and faulty wells. The aim of this bachelor's thesis was to investigate the causes and spread of this contamination. As a result of the study, a groundwater vulnerability map, a real contamination risk map and a conceptual model describing the spread of contamination within the study area were developed.

Keywords: Groundwater vulnerability, conceptual model, DRASTIC method

CERCS code: P470 Hydrogeology, geographical and geological engineering

## Sisukord

<b>1. Sissejuhatus .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Teoreetiline taust .....</b>	<b>5</b>
2.1. Põhjavesi .....	5
2.2. DRASTIC .....	6
2.3. DRASTIC-L.....	6
2.4. Kontseptuaalne mudel.....	7
<b>3. Hüdrogeoloogiline taust.....</b>	<b>8</b>
<b>4. Materjalid ja meetodid .....</b>	<b>9</b>
4.1. Uuringuala kirjeldus.....	9
4.2. Geofüüsika .....	13
4.3. Andmed .....	13
4.4. DRASTIC-metoodika parameetrid .....	13
4.4.1 Parameetrite iseloomustused.....	16
<b>5. Tulemused .....</b>	<b>19</b>
<b>6. Arutelu .....</b>	<b>23</b>
<b>7. Kokkuvõte.....</b>	<b>27</b>
<b>Summary.....</b>	<b>28</b>
<b>Tänuavaldused .....</b>	<b>30</b>
<b>Kasutatud kirjandus.....</b>	<b>31</b>

## 1. Sissejuhatus

Põhjavesi on üks peamisi joogiveeallikaid kogu maailmas, mistõttu on põhjavee reostumise kontroll ja kaitsmine oluline. Reostusohlike alade määramiseks koostatakse põhjavee kaitstuse kaarte (Männik ja Karro 2023). Põhjavee reostuse all mõeldakse üldiselt inimtegevuse otsesel või kaudsel mõjul vette või pinnasesse sattunud aineid, mis ohustavad inimeste tervist või keskkonda (Perens *et al.* 2004). Eesti territoorium jagatakse põhjavee kaitstuse alusel viite erinevasse klassi: kaitsmata kuni kaitstud põhjaveega alad (Veeseadus 2019).

Lisaks kaartidele on võimalik põhjavee reostumist ja reostuse ohtu esitleda ka kontseptuaalsete mudelitega, mis näitavad lihtsustatud viisil looduslike ja inimtekkeliste tegurite mõju põhjaveele (European Communities 2010). Kontseptuaalse mudeli mõiste on otseselt defineerimata (Spijker *et al.* 2010), kuid selles esitatakse senised teadmised ja omadused võimalikult selgelt ja arusaadavalt (European Communities 2010). Kontseptuaalseid mudeleid kasutatakse põhjavee kaitstuse uurimisel esimese etapina, et teha selgeks taust ning uurimisküsimused, millele järgneb hüdrokeoloogiliste mudelite koostamine (Spijker *et al.* 2010).

Kuressaare põhjavee saastumise uusim ning aktuaalseim teema on 2023. aasta mais avastatud *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterite olemasolu Kuressaare veehaardes (Kriis 2023). Veehaardel läbi viidud geofüüsikaliste uuringute käigus leiti, et osad seirekaevud on vigased ning aitasid reostusel levida põhjaveekihti (Tarros *et al.* 2025). Lisaks leiti ka veehaaret mõjutavatelt karstialadelt mitmeid entero- ja *coli*-laadseid baktereid (Albert 2023).

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida Kuressaare veevärgi puurkaevude reostumist, selle põhjuseid ning reostuse levikut. Töö tulemusena valmis kontseptuaalne mudel, mis võtab kokku kõik teadaolevad andmed ja kirjeldab Kuressaare põhjavee reostuse probleemi ühtse tervikuna, annab juhised ning võimalikke lahendusi edaspidiseks reostuse vältimiseks. Samuti koostati töö käigus kaks detailsemat Kuressaare veehaarde põhjavee kaitstuse kaarti kasutades muudetud DRASTIC-metoodikaid.

## 2. Teoreetiline taust

### 2.1 Põhjavesi

Põhjavesi esineb pinnase poorides ning liigub seal rõhu ja raskusjõu toimel (NGWA 2025). Eestis toitub põhjavesi enamjaolt läbi sademete ja lumesulavee ning selle intensiivsus sõltub piirkonna pinnasest ja selle eripäradest (Hunt *et al.* 2024). Veehaare on ehitis vee võtmiseks veekogust ja põhjaveekihist ning selle toiteala on piirkond, millelt põhjavesi liigub veehaardesse (Veeseadus 2019). Tegevus toitealal võib mõjutada põhjavee kvaliteeti veehaardes (Veeseadus 2019). Põhjaveekihi jagunevad omakorda avatud põhjaveekihtideks ehk maapinnalähedasteks, mis on üldiselt inimtegevuse poolt rohkem mõjutatud ning isoleeritud põhjaveekihtideks ehk sügavamateks, mis on tänu katvatele veepidemetele inimtegevuse poolt rohkem kaitstud (Hunt *et al.* 2024). Mõned põhjaveekihi on reostusele vastuvõtlikumad ning veehaarde reostumisel on selle restaureerimine kallid (Ozegin *et al.* 2024).

Põhjavee kaitstust määravad peamiselt looduslikud tegurid nagu sademete intensiivsus ning pinnase koostis (Hunt *et al.* 2024). Põhjavee peamisteks koormusallikateks on punktkoormus, hajukoormus, veevõtt ja voolurežiimi muutus ning hüdroloogilised ja hüdro-morfoloogilised muutused (European Environment Agency 2023). Põhjavee kvaliteeti mõjutavate koormuste tüüpideks on näiteks põllumajandus, heitvesi, transport ja kaevandamine (European Environment Agency 2023). Lisaks võib koormusallikaks lugeda ka ümbritseva teistsuguse koostisega veega segunemist, mis võib omakorda mereveega kokkupuutel viia põhjavee sooldumiseni (Hunt *et al.* 2024). Põhjavee kogust Eestis mõjutavad peamiselt ühisveevärk või kaevandamisega seotud vee pumpamine (Marandi 2019).

Veeseaduse §68 järgi on põhjavee kaitstus põhjaveekihi kaetus vett halvasti juhtiva pinnasekihiga või veepidemega. Samuti jagatakse Eesti territoorium põhjaveekihi loodusliku kaitstuse ja piirkonna pinnase settetüübi ning selle paksuse alusel järgmisteks klassideks: kaitsmata, nõrgalt kaitstud, keskmiselt kaitstud, suhteliselt kaitstud ning kaitstud põhjaveega ala. Veeseaduse §68 alusel on kaitsmata põhjaveega aladel väga kõrge reostusohhtlikkus ning kaitsmata põhjaveega aladeks loetakse karstialasid, alvareid, pinnaseid, kus on moreeni alla 2 meetri, ning pinnaseid, kus on liiva või kruusa alla 20 meetri. (Veeseadus 2019)

## 2.2 DRASTIC

Üheks põhjavee kaitstuse hindamise võimaluseks on maailmas laialt levinud indeksipõhine DRASTIC-metoodika, mis põhineb seitsmel hüdrogeoloogilisel parameetril: veetaseme sügavus, netoinfiltratsioon, põhjaveekihi omadused, mulla omadused, topograafia, aeratsioonivöö mõju ning filtratsioonimoodul (Aller *et al.* 1987). Igal parameetril on oma kindel kaalukus viie palli skaalal ja hinnang ühest kümneni vastavalt parameetri omadustele (Aller *et al.* 1987). Põhjavee kaitstuse indeksi saamiseks korrutatakse omavahel iga parameetri kaalukus ja hinnang ning seejärel liidetakse kõikide parameetrite tulemused kokku (Aller *et al.* 1987). Kaitstuse hindamiseks määratakse tavaliselt esimese aluspõhjalise põhjaveekihi kompleksi kaitstust (Männik *et al.* 2023).

DRASTIC-metoodika üks peamisi eeliseid on selle paindlikkus, mis võimaldab mudeli kohandamist vastavalt uuringuala andmetele ja tingimustele (Ozegin *et al.* 2024). Originaalne DRASTIC-metoodika ei võta arvesse mitmeid hüdrogeoloogilisi tingimusi, mis esinevad Kvaternaari setetega aladel ning selleks on vaja antud piirkondades metoodikat muuta (Männik *et al.* 2023). Selle saavutamiseks on muudetud kolme DRASTIC-metoodika parameetri olemust: veetaseme sügavus, mulla omaduste asemel pinnakatte omadused ning aeratsioonivöö mõju asemel pinnakatte paksus (Männik ja Karro 2023). Käesolevas töös on kasutusel Männik *et al.* (2023) ning Männik ja Karro (2023) artiklites kirjeldatud muudetud DRASTIC-metoodika, mille abil koostati uuringuala põhjavee kaitstuse kaart.

## 2.3 DRASTIC-L

DRASTIC-L on üks muudetud DRASTIC-metoodikatest (Ozegin *et al.* 2024). Kui DRASTIC-metoodika arvestab vaid looduslikku kaitstust, siis DRASTIC-L ehk maakasutusega DRASTIC-metoodika kasutamise tähtsus seisneb lisaks looduslikule kaitstusele ka inimtegevusest tuleneva reostusohu arvestamises ning metoodika puhul võetakse arvesse piirkonna maakasutust (Männik *et al.* 2025). Metoodika kasutamine põhjavee kaitstuse hindamiseks suurendab hinnangu usaldusväärsust ja optimeerib tulemuste kvaliteeti tänu reaalse põhjavee reostumise riski hinnangule (Abduljaleel *et al.* 2024). DRASTIC-L-metoodika puhul lisandub juurde L ehk maakasutuse parameeter, mille kaalukus on 5 oma kriitilise rolli tõttu reostusohlike alade määramisel (Männik *et al.* 2025). Käesolevas töös on kasutusel Männik *et al.* (2025) artiklis kirjeldatud muudetud DRASTIC-L-metoodika, mille abil koostati uuringuala põhjavee reaalse reostusohu kaart.

## 2.4 Kontseptuaalne mudel

Kontseptuaalse mudeli mõiste on veepoliitika raamdirektiivis defineerimata, kuid see on laialt kasutatav termin erinevates teaduse valdkondades (Spijker *et al.* 2010). Kontseptuaalseid mudeleid kasutatakse põhjavee kaitstuse uurimisel esimese etapina, et teha selgeks taust ning mida hakatakse uurima ja tegema, millele järgneb hüdrogeoloogiliste mudelite koostamine (Spijker *et al.* 2010). Hüdrogeoloogias on kontseptuaalne mudel põhjavee kaitstuse usaldusväärsema hindamise aluseks ning see võtab arvesse põhjavee reostusega seotud riske ja visualiseerib nende võimalikku tekkeprotsessi (European Communities 2010). Mudelis esitatakse lihtsustatud viisil teadaolevad teadmised ja omadused põhjavee süsteemi kohta (European Communities 2007). Üheks kasutusvõimaluseks on näidata põhjavee kvaliteedi ning looduslike ja inimtekkeliste mõjude omavahelist suhet arusaadaval viisil (European Communities 2010). Mudeli detailsus oleneb antud probleemist ja sellest, mis etappi põhjavee majandamisest kujutatakse (European Communities 2010). Mudelit võib esitada mitmel viisil, sealhulgas läbilõikena, kahe- või kolmedimensionaalselt (European Communities 2010).

### 3. Hüdrokeoloogiline taust

Eesti asub Balti Arteesia Basseinil, mis koosneb tard- ja moondekivimitest ning hoiab endas ja enda peal lasuvates terrigeensetes ja karbonaatsetes settekivimites mitmeid tähtsaid veehaardeid (Kitterød *et al.* 2022). Eestis leidub Ediacara, Kambriumi ja Ordoviitsiumi liiva- ja savikivimeid, Ordoviitsiumi ja Siluri karbonaatkivimeid ning Devoni aleuoliite ja liivakivimeid (Puura *et al.* 1991).

Aluspõhja katavad Kvaternaari setted, milleks on peamiselt jääaegsed Pleistotseeni setted, ehk moreenid, liustikujõgede ja jääpaisjärvede setted, kuid ka jäävaheaegsed Holotseeni biogeensed setted (Puura *et al.* 1991). Saaremaa pinnakatte paksus varieerub suuresti, alates alvaritest kuni ürgorgudeni, kuid enamasti jääb selle paksus viie kuni kümne meetri vahemikku (Perens *et al.* 2004).

Eestis paiknevateks peamisteks põhjaveekompleksideks on Kvaternaari, Ülem-Devoni, Kesk-Devoni, Kesk-Alam-Devoni, Siluri-Ordoviitsiumi, Ordoviitsium-Kambriumi ja Kambrium-Vendi (Perens ja Vallner 1997). Kuressaare Tõlli veehaare asub Siluri Saaremaa põhjaveekogumil ning selle puurkaevud avavad Siluri põhjaveekihti (Hunt *et al.* 2024).

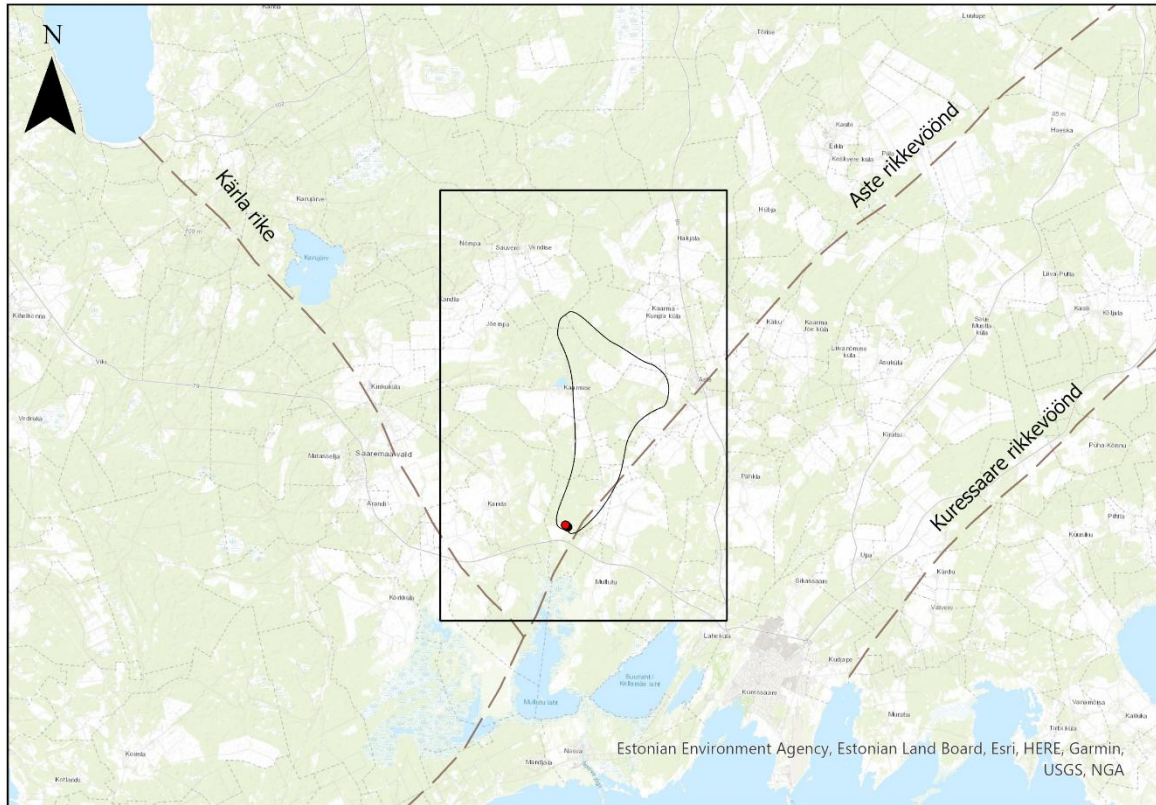
## 4. Materjalid ja meetodid

Käesoleva töö raames koostati Kuressaare veehaarde piirkonna põhjavee kaitstuse kaardid kasutades DRASTIC-metoodikaid (Männik *et al.* 2025; Männik ja Karro 2023) ning ArcGIS tarkvara (ArcGIS Pro). Lisaks koostati veehaarde kontseptuaalne mudel näitamaks reostuse levikut veehaardes kasutades Affinity tarkvara (Affinity). Käesoleva töö koostamisel ei ole kasutatud tehisintellekti abi.

### 4.1 Uuringuala kirjeldus

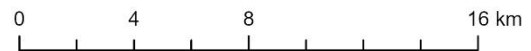
Käesolev töö keskendub Kuressaare Tõlli veehaardele, mis asub Saare maakonnas Saaremaa vallas Tõlli külas ja selle toitealale (Joonis 1) ning veehaaret haldab AS Kuressaare Veevärk (Hunt *et al.* 2024). Hunt *et al.* (2024) on toonud välja, et Kuressaare Tõlli veehaarde toiteala koosneb 87% kaitsmata põhjaveega ja 13% nõrgalt kaitstud põhjaveega aladest. Toiteala läbib lõunaosas puurkaevude lähistel ka oletatav Aste rikkevöönd (Eesti Geoloogiateenistus 2026) ning toitealal paikneb ka Kaarmise karst (Albert 2023). Saaremaa peamiseks reostusallikaks on põllumajanduslikud heitmed ja jäätmed, täpsemalt kütused, hoidlad, väetised ning vigased puhastusseadmed või kanalisatsioon (Perens *et al.* 2004).

2023. aastal viis Saaremaa vallavalitsus läbi piirkonna karstialade mikrobioloogilise uuringu, et hinnata põhjavee bakteriaalset reostust ja võimalikku kolibakterite esinemise põhjust (Albert 2023). Uuringud viidi läbi kaheksal veehaaret mõjutada võival karstialal: Kaarmise karst, Kalmu karst, Kõue karst, Kuumi karst, Nõmpa karst, Kalja karst, Tõllaurga oja karstiala ning Kalja oja väljavool Karujärvest (Albert 2023). Bakteriaalne reostus võib tuleneda nii reoveest kui ka põllumajandusest (Kelly *et al.* 2009). Peaaegu kõikidest uuritud karstialadest leiti *coli*-laadsete, *e-coli* ja enterobakterite olemasolu, vaid Kalja oja väljavoolul Karujärvest puudusid *e-coli* ja enterobakterid (Albert 2023). Kõrgete bakterisisalduste põhjuseks peeti soojemaid ilmasid ning veehaarde reostus pinnavee poolt põhjavette kantud reostuse tõttu (Albert 2023).



### Asukohaskeem

- Tõlli veehaarde toiteala
- Uuringuala
- Rikkevöönd
- Veehaarde puurkaevud

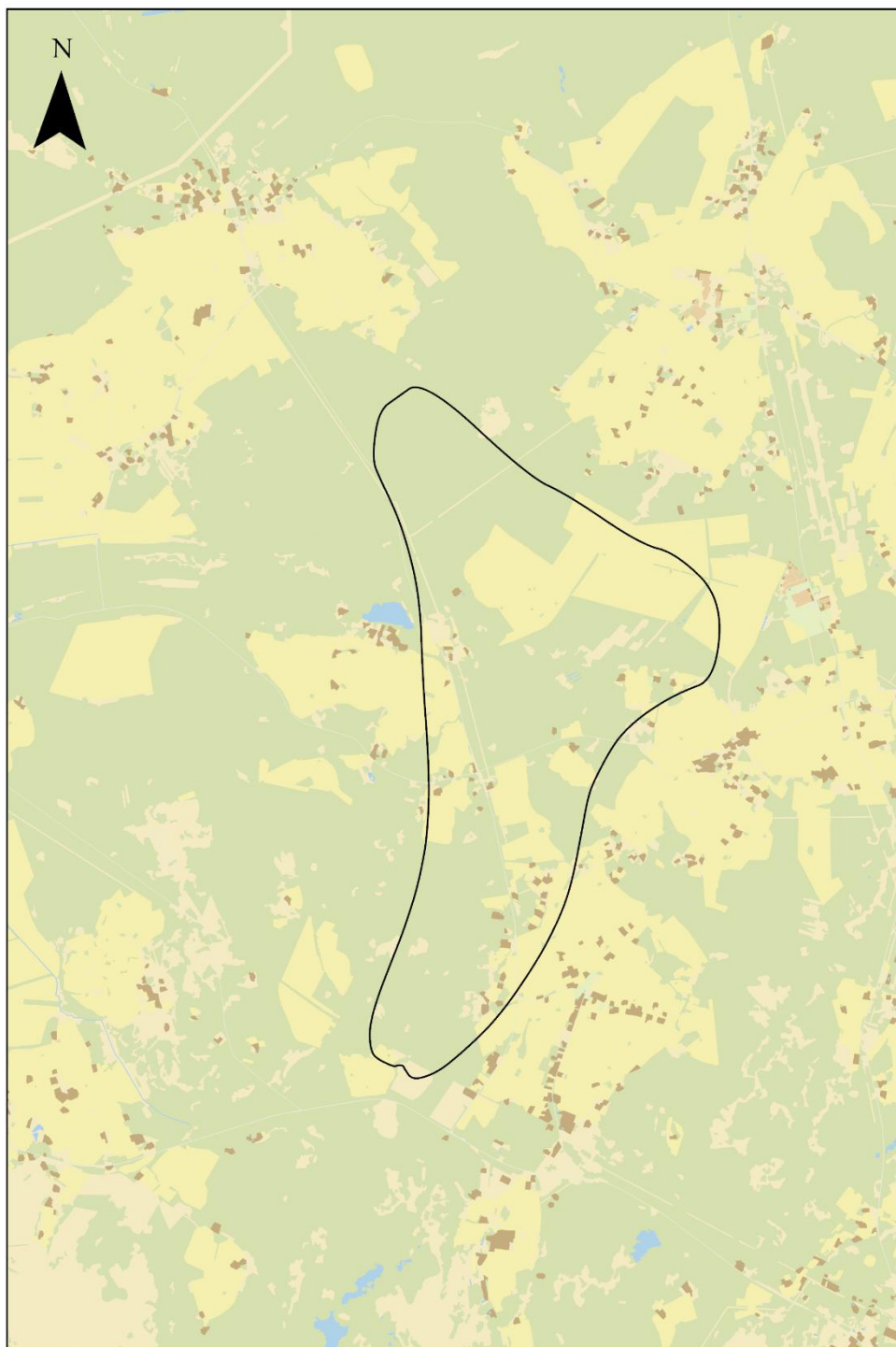


**Joonis 1.** Uuringuala asukohaskeem 1:200 000 mõõtkavas koos veehaarde puurkaevude ja rikkevöönditega (Andmed: Eesti Geoloogiateenistus 2026; Hunt *et al.* 2024; Tarros *et al.* 2025)

Kvatenaarisetetest esineb veehaarde toiteala piires suures osas moreeni (gQ1jr3), kuid ka õhukese pinnakattega alasid, peenliiva (LtQ2), kruusliiva (LtQ2) ning madalsooturvast (bQ2) (Eesti Geoloogiateenistus 2025) (Joonis 2). Uuringuala pindala on 150 km<sup>2</sup> ning toiteala pindala 15 km<sup>2</sup>. Tõlli veehaarde toiteala koosneb enamjaolt metsadest ja haritavatest maadest, kuid on ka üksikuid märgalasid, kanaliseerimata õuealasid ja lagedaid alasid (Joonis 3) (Maa- ja Ruumiamet 2020).



**Joonis 2.** Uuringuala pinnakatte kaart (Andmed: Eesti Geoloogiateenistus 2025)



### Maakasutus



**Joonis 3.** Uuringuala maakasutuse kaart (Andmed: Maa- ja Ruumiamet 2020)

## 4.2 Geofüüsika

Geofüüsikalisi meetodeid kasutatakse maapinna ja selle sisemuse materjalide ja kivimite kaardistamiseks ja tõlgendamiseks (Balasubramani 2025). Geofüüsikalise uuringu eesmärgiks on puurkaevude, puuraukude ja maapinna õõnsuste kivimikihtide hüdrogeoloogiliste omaduste tuvastamine, põhjaveevoolu režiimi selgitamine, puurkaevude konstruktsiooni kindlaks tegemine ning piirkonna geoloogilise ehituse määramine (Tarros *et al.* 2017).

Tarros *et al.* (2025) aruandes 2025. aastal läbi viidud Kuressaare Tõlli veehaarde geofüüsikaline uuring keskendus veehaarde neljale puurkaevule katastrinumbritega 8664, 8665, 8666 ja 8667 ning selle eesmärgiks oli kaevu tehnilise seisukorra, põhjavee liikumise ja kivimikihtide piiride hindamine. Puurkaevudel 8664, 8665 ja 8666 leiti puuduv või vigane tsementatsioon, mis viitab kahjustunud puurkaevule. Vigane tsementatsioon võib seada ohtu puurkaevude stabiilsuse ja vee kvaliteedi. Samuti leiti läbi lubjakivi lõhede ühendus puurkaevude 8666 ja 8667 vahel, mis võib otseselt mõjutada vee kvaliteeti. Aruande tulemusena soovitati kahjustatud puurkaevud sulgeda või rekonstrueerida, viia läbi pumpamiskatseid ning teostada regulaarselt hooldus- ja puhastustöid. (Tarros *et al.* 2025)

## 4.3 Andmed

Kasutades VEKA (2026) puurkaevude registrit leiti uuringuala piires esinduslike puurkaevude kirjeldustest pinnakatte paksus ja erideebit ning need lisati koordinaatide alusel ArcGIS kaardile. Veetasemete kirjeldused on saadud EELIS (Keskkonnaagentuur 2025) andmebaasist. Pinnakatte kirjeldused on saadud 2025. aastal tehtud Eesti Geoloogiateenistuse Saaremaa pinnakattekaardistamiselt (Eesti Geoloogiateenistus 2025). Kõrgusandmeteks kasutati kaardilehtede 52601, 52602, 52603, 52604, 52701 ja 52702 1 m lahutusega rasterkaarte Maa- ja Ruumiameti kõrgusmodelite geoportaalist (Maa- ja Ruumiamet 2021). Netoinfiltratsioonid on saadud Hunt *et al.* (2024) aruandest üle-eestilisest hüdrogeoloogilisest mudelist. Filtratsioonimooduliks kasutati varasemalt hinnatud Siluri veehorisondi Maasi-Sauvere veekihi filtratsioonimooduli väärtust 23,5 m/d (Kupits *et al.* 1994). Uuringuala suuruseks võeti kõikide kasutatud kõrgusandmete kaardilehtede ala.

## 4.4 DRASTIC-metoodika parameetrid

DRASTIC-metoodika on indeksipõhine metoodika, mida kasutatakse põhjavee kaitstuse hindamiseks seitsme hüdrogeoloogilise parameetri alusel (Aller *et al.* 1987). DRASTIC-metoodika põhjavee kaitstuse tulemus iga piksli kohta uuringuala piirides saadakse, kui

korrutada iga piksli puhul tema hinnang parameetri kohta selle parameetri kaalukusega ning kõik parameetrid liidetakse omavahel:

$$D_i = \sum_{j=1}^n (W_j \times R_j) \quad (\text{Valem 1})$$

kus  $D_i$  on kaitstuse indeks,  $W_j$  parameetri  $j$  kaalukus,  $R_j$  parameetri  $j$  hinnang ning  $n$  on parameetrite arv (Cogu ja Dassargues 2000). Iga parameetri hinnang ja kaalukused on saadud võrreldes neid omavahel ja reostusohu potentsiaaliga (Aller *et al.* 1987). Kaitstuse indeksid on omakorda jaotatud põhjavee kaitstuse klassideks, kus suurem tulemus viitab suuremale reostumise riskile (Männik ja Karro 2023). Käesoleva töö raames DRASTIC-metoodikat kasutades koostatud põhjavee kaitstuse kaart on kaitstuse indeksi alusel kategoriseeritud vastavalt varasemalt Kvaternaarisetetega kaetud aladele sobivatele Männik ja Karro (2023) artiklis välja pakutud vahemikele: kaitstud alad 51...101, suhteliselt kaitstud alad 102...130, keskmiselt kaitstud alad 134...164, nõrgalt kaitstud alad 165...195 ja kaitsmata alad >195 (Männik ja Karro 2023) ning DRASTIC-L metoodikal koostatud põhjavee reaalse reostusohu kaart Männik *et al.* (2025) artiklis pakutud vahemikele: kaitstud alad 54...101, suhteliselt kaitstud alad 102...130, keskmiselt kaitstud alad 131...159, nõrgalt kaitstud alad 160...188 ja kaitsmata alad >188.

**Tabel 1.** DRASTIC-metoodika parameetrid (Andmed: Männik *et al.* 2025)

Parameeter	Kaalukus	Hinnang	Tähendus	Kirjeldus
Veetaseme sügavus (D)	5	1	Põhjaveetaseme kõrgus võrreldes aluspõhja pealispinnaga	>5 m
		2		3...5 m
		3		1...3 m
		5		0...1 m
		6		-1...0 m
		7		-5...-1 m
		9		-10...-5 m
		10		<-10 m
Netoinfiltratsioon (R)	4	1	Vee kogus, mis infiltreerub maapinda aasta jooksul	0...50 mm/a
		3		50...100 mm/a
		6		100...175 mm/a
		8		175...250 mm/a
		9		>250 mm/a
Põhjaveekihi omadused (A)	3	1	Esimest aluspõhjalist veekompleksi moodustava kivimi omadused	Veepide
		3		Olulise põhjaveearuta veekihid
		4		Kvaternaari veekompleks veeandvusega 0,1...0,5 l/s/m
		5		Kvaternaari veekompleks veeandvusega 0,5...1,0 l/s/m
		6		Kvaternaari veekompleks veeandvusega >1,0 l/s/m
		5		Liivakivi veekompleks veeandvusega <0,5 l/s/m
		6		Liivakivi veekompleks veeandvusega 0,5...1,0 l/s/m
		7		Liivakivi veekompleks veeandvusega >1,0 l/s/m
		9		Karbonaatsete kivimite veekompleks veeandvusega <1,0 l/s/m
		10		Karbonaatsete kivimite veekompleks veeandvusega >1,0 l/s/m
Pinnakatte omadused (S)	5	1	Maapinnast alates 2 meetri sügavusel asuvate Kvaternaarisetete omadused	Savi
		2		Järvemuda
		6		Aleuriit
		6		Turvas
		7		Moreen
		8		Peen- ja jämeliiv ning kruus
		9		Veerised ja munakad
		10		Aluspõhja avamus
		10		Karstiala

Topograafia (T)	1	1	Maapinna nõlvakalle	>18%
		3		12...18%
		5		6...12%
		9		2...6%
		10		0...2%
Pinnakatte paksus (I)	5	1	Pinnakatte paksus ehk teekond põhjaveekihini	>40 m
		3		20...40 m
		5		10...20 m
		7		5...10 m
		9		2...5 m
		10		0...2 m
Filtratsioonimoodul (C)	3	1	Kivimite veejuhtivus	0,04...4 m/d
		2		4...12 m/d
		4		12...28 m/d
		6		28...40 m/d
		8		40...80 m/d
		10		>80 m/d
Maakasutus (L)	5	1	Maakasutus ehk inimõju	Märgala ja veekogu
		2		Poollooduslik ala
		8		Haritav ala
		10		Tehislik ala

#### 4.4.1 Parameetrite iseloomustused

Veetaseme sügavuse ehk D-parameetri muudetud parameeter iseloomustab põhjaveetaseme kõrgust võrreldes aluspõhja pealispinnaga, kus aluspõhja pealispinnast kõrgema piesomeetrilise taseme puhul on reoine liikumine põhjaveekihini takistatud surve tõttu, mille tulemusel on tegu paremini kaitstud alaga (Männik *et al.* 2023). Kui põhjaveetaseme on allpool aluspõhja pealispinda, on põhjaveekiht surveta ja reostus levib kergemini põhjaveekihti (Männik *et al.* 2023). Põhjaveetaseme sügavuse parameetri määramiseks kasutati Keskkonnaagentuuri (2025) EELIS andmebaasist saadud veetasemeid ning VEKA (2026) andmebaasist saadud puuraukude läbilõigete kirjeldusi uuringuala piires, mis lisati punktideni kaardilehele. *IDW* tööriistaga koostati punktidest põhjaveetaseme ning pinnakatte paksuse interpoleeritud rastrid 1 m lahutusega. Aluspõhja pealispinna rasterfaili jaoks kasutati *Raster Calculator* tööriista, mille abil lahutati Maa- ja Ruumiamet (2021) 1 m lahutusega kõrgusandmetest pinnakatte paksuse rasterfail. *Raster Calculator* tööriistaga lahutati seejärel põhjaveetaseme rasterfailist aluspõhja pealispinna raster, mille tulemusel valmis D-parameetri 1 m lahutusega rasterfail.

Netoinfiltratsioon ehk R-parameeter iseloomustab vee kogust, mis infiltreerub maapinda aasta jooksul pindalaühiku kohta (Aller *et al.* 1987). Kõrgem netoinfiltratsiooni väärtus viitab suuremale reostusohule tänu suuremale vee kogusele, mis põhjaveekihini jõuab (Aller *et al.* 1987). Netoinfiltratsiooni parameetri määramiseks kasutati andmeid joogiveehaarete toitealade riskihindamise aruandest (Hunt *et al.* 2024), mis lisati punktidenä kaardile. Kasutades *IDW* tööriista koostati punktide netoinfiltratsiooni interpoleeritud raster 1 m lahutusega. *Clip Raster* tööriistaga lõigati raster uuringuala suurusesse, mille tulemusel valmis R-parameetri 1 m lahutusega rasterfail.

Põhjaveekihi omadused ehk A-parameeter iseloomustab veekompleksi kivimeid ja nende omadusi, mis otseselt mõjutavad põhjavee kaitstust ja vee läbilaskvust (Aller *et al.* 1987). Suuremateralsed ja lõhelisemad kivimid viitavad suuremale reostusohule tänu suuremale vee läbilaskvusele (Aller *et al.* 1987). Põhjaveekihi omaduste parameetri määramiseks kasutati VEKA (2026) puurkaevude registrit, kust leiti uuringuala piires esindusliku läbilõikega ja erideebitiga puurkaevud, mis lisati punktidenä kaardile. Kasutades *IDW* tööriista koostati punktide erideebiti interpoleeritud raster 1 m lahutusega. *Clip Raster* tööriistaga lõigati raster uuringuala suurusesse, mille tulemusel valmis A-parameetri 1 m lahutusega rasterfail.

Pinnakatte omaduste ehk S-parameetri muudetud parameeter iseloomustab Kvaternaari setteid, mis mõjutavad otseselt põhjavee kaitstust ja vee läbilaskvust (Männik *et al.* 2023). Pinnakatte omaduste parameetri määramiseks kasutati Saaremaa pinnakatte kaardistamise andmestikku (Eesti Geoloogiateenistus 2025). Pinnakattetüübid jagati gruppidesse vastavalt parameetri hinnangutele. Kasutades *Dissolve* tööriista liideti kõik sama hinnanguga parameetrite polügoonid üheks. *Polygon to Raster* tööriistaga koostati 1 m lahutusega rasterfail, mis lõigati *Clip Raster* tööriistaga uuringuala suurusse, mille tulemusel valmis S-parameetri 1 m lahutusega rasterfail.

Topograafia ehk T-parameeter iseloomustab maapinna kallakust, kus järsematelt nõlvadelt voolab reostus tasasematele aladele, kus on suurem reostuse ja vee infiltreerumine ehk põhjavesi vähem kaitstud (Aller *et al.* 1987). Topograafia parameetri määramiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti (2021) 1 m lahutusega kõrgusandmete kaardilehti, mis liideti omavahel kokku kasutades *Merge* tööriista. *Slope* tööriistaga leiti nõlvade kallakus kaardilehtede ehk uuringuala piires, mille tulemusel valmis T-parameetri 1 m lahutusega rasterfail.

Pinnakatte paksuse ehk I-parameetri muudetud parameeter iseloomustab teekonna pikkust, mida reostus peab läbima enne kui ta jõuab põhjaveekihini ehk aluspõhja pealispinnani

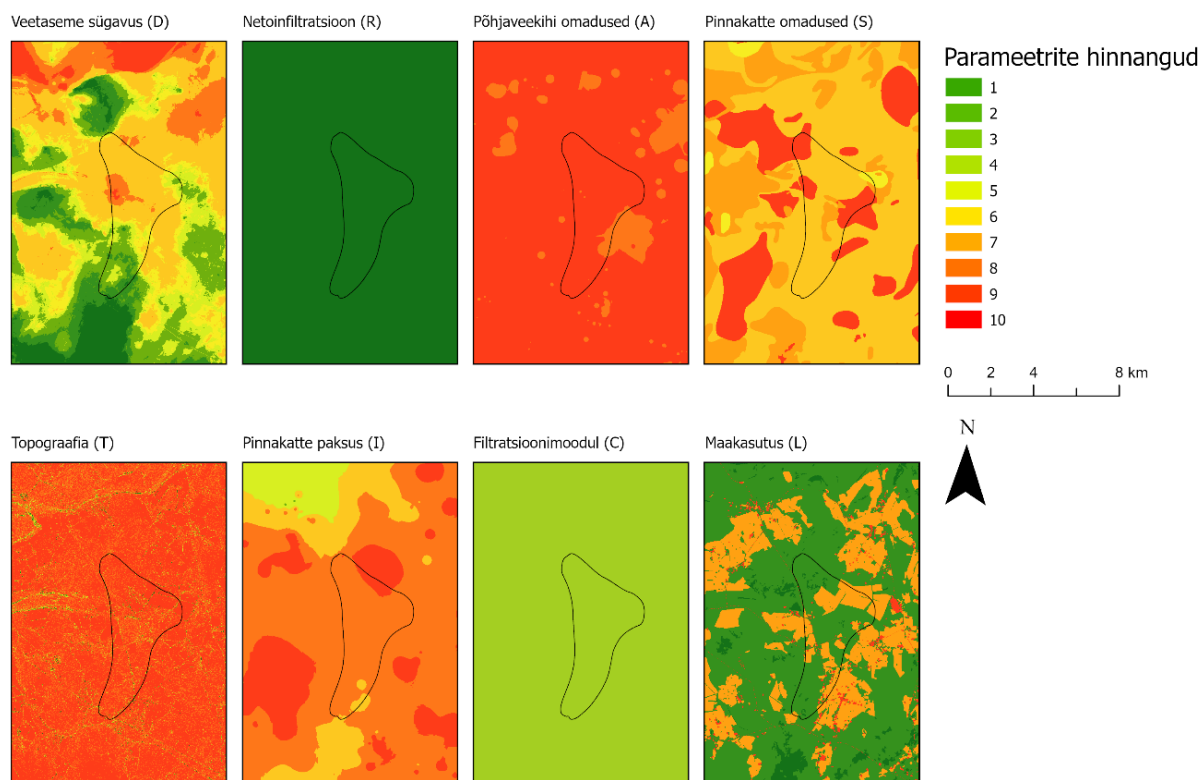
(Männik *et al.* 2023). Pinnakatte paksuse parameetri 1 m lahutusega rasterfaili koostamiseks kasutati D-parameetri leidmiseks koostatud pinnakatte paksuse rasterfaili.

Filtratsioonimoodul ehk C-parameeter iseloomustab põhjaveekihi võimet vett juhtida, ning suurem voolukiirus viitab suuremale reostusohule, kuna reoained saavad edasi liikuda vaid koos veega (Aller *et al.* 1987). Filtratsioonimooduli parameetri määramiseks kasutati kogu uuringuala piires varasemalt hinnatud filtratsioonimooduli väärtust 23,5 m/d (Kupits *et al.* 1994).

Maakasutus ehk L-parameeter iseloomustab põhjavee kaitstuse kvaliteeti vastavalt maakasutusele, kus suurema inimõjuga aladel on kõrgem reostusohu (Männik *et al.* 2025). Maakasutuse parameetri määramiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti (2020) ETAK andmebaasist saadud kõlvikute shape formaadis faile: E\_301\_muu\_kolvik\_a.shp, E\_302\_ou\_a.shp, E\_303\_haritav\_maa\_a.shp, E\_304\_lage\_a.shp, E\_305\_puittaimestik\_a.shp, E\_306\_margala\_a.shp, E\_202\_seisuveekogu\_a.shp, E\_203\_vooluveekogu\_a.shp ning E\_501\_tee\_a.shp. Maakasutuse kõlvikud jagati gruppidesse vastavalt parameetri hinnangutele. Kasutades *Polygon to Raster* tööriista koostati L-parameetri 1 m lahutusega rasterfail.

## 5. Tulemused

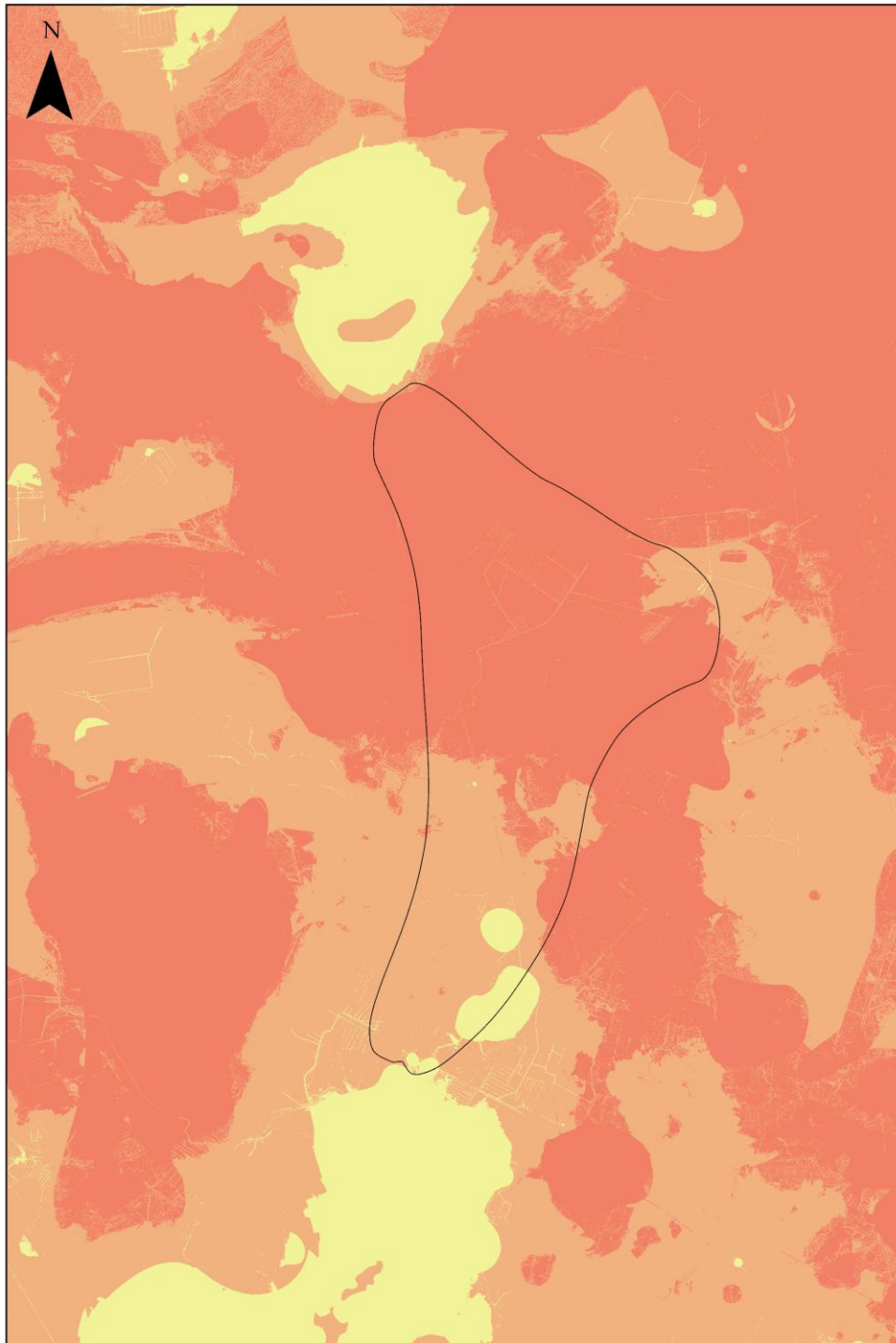
Muudetud DRASTIC-metoodikat kasutades koostati iga parameetri hinnangu saamiseks uuringualal kaardid (Joonis 4), kus punased värvused iseloomustavad suuremat reostumise riski ning rohelised väiksemat riski. Suurima reostusohuga parameetriteks on pinnakatte paksus, kus enamus toiteala kattis 2...5 m Kvaternaarisetteid, põhjaveekihi omadused, kus enamus toiteala kattis >1 l/s/m veeandvusega karbonaatsete kivimite veekompleks ning topograafia, kus enamus veehaarde toiteala nõlvakalded jäid vahemikku 6...0%. Teistest vähem mõjutab reostumise ohtu maakasutuse tüüp ning puuduva reostusohuga parameetriteks on netoinfiltratsioon ning filtratsioonimoodul. Veetaseme sügavuse kaardil on nähtav veehaarde toiteala madalaim reostusohklikkus toiteala lõunaosas, kus paiknevad ka puurkaevud ning pinnakatte omaduste kaardil on nähtav keskmine kuni kõrge reostusohklikkus tänu moreenile ja turbaaladele.



**Joonis 4.** Uuringuala DRASTIC-metoodika parameetrite hinnangud

Töö tulemusena valmisid kaks Kuressaare Tõlli veehaarde põhjavee kaitstuse kaarti. Esimene kaart (Joonis 5) kujutab muudetud DRASTIC-metoodikal koostatud põhjavee kaitstuse kaarti. Veehaarde toiteala koosneb peamiselt 66,6% kaitsmata ja 29,9% nõrgalt kaitstud põhjaveega aladest ning toiteala lõunaosas on nähtavad keskmiselt kaitstud põhjaveega alad, mis

moodustavad 3,5% põhjavee kaitstusest. Teine kaart (Joonis 6) kujutab muudetud DRASTIC-L-metoodikal koostatud põhjavee reaalse reostusohu kaarti. Veehaarde toiteala koosneb peamiselt 46,9% kaitsmata ja 46,6% nõrgalt kaitstud põhjaveega aladest ning toiteala lõunaosas on taaskord nähtavad keskmiselt kaitstud põhjaveega alad, mis moodustavad 6,5% põhjavee kaitstusest. Muudetud DRASTIC-L meetodi rakendamisel on nähtav Tõlli veehaarde toiteala keskmise kaitstuse paranemine võrreldes muudetud DRASTIC meetodi puhul ning nähtav on põllumajanduslike alade väiksem põhjavee kaitstus.



**Põhjavee kaitstus**  Tõlli veehaarde toiteala

Keskmiselt kaitstud ala  
 Nõrgalt kaitstud ala  
 Kaitsmata ala

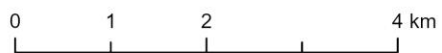
0 1 2 4 km

**Joonis 5.** Uuringuala põhjavee kaitstuse kaart muudetud DRASTIC-meetodil



**Põhjavee reaalne reostusohu kaart**

- Suhteliselt kaitstud ala
  - Keskmiselt kaitstud ala
  - Nõrgalt kaitstud ala
  - Kaitsmata ala
- Tõlli veehaarde toiteala

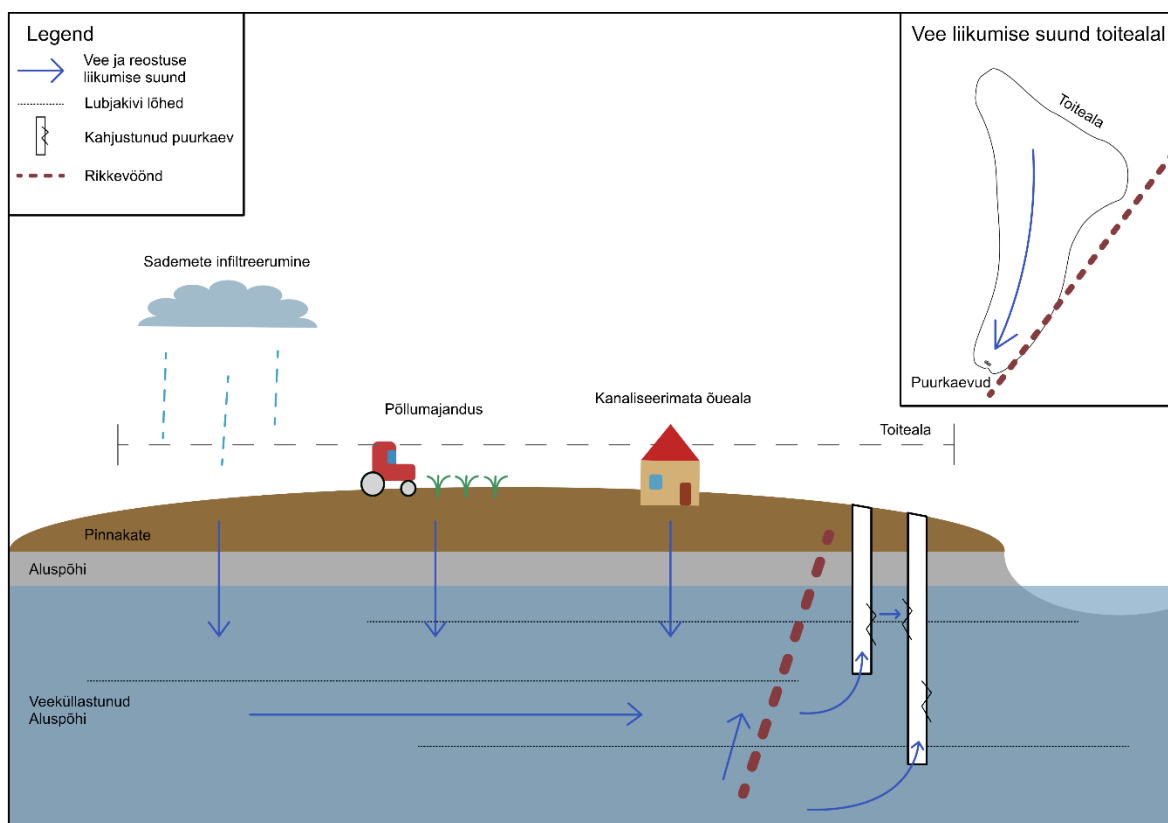


**Joonis 6.** Uuringuala põhjavee reaalse reostusohu kaart muudetud DRASTIC-L-meetodil

## 6. Arutelu

Käesoleva töö eesmärgiks oli koostada Kuressaare Tõlli veehaarde kontseptuaalne mudel ning detailsemad põhjavee kaitstuse kaardid, et täpsemalt ja efektiivsemalt kirjeldada veehaarde reostumise võimalikke põhjuseid. 2023. aasta kevadel ilmnis Kuressaare Tõlli veehaardes reostus tänu vigastele puurkaevudele (Tarros *et al.* 2025). Läbi nende puurkaevude pääses veehaardesse kolibakteritega reostunud põhjavesi (Albert 2023). Albert (2023) uuringus toodi välja, et reostus levib põhjavette põllumajanduslikel aladel paiknevate vett juhtivate kraavide pinnavee kaudu. Lisaks paikneb veehaarde toitealal mitmeid kanaliseerimata õuealaid (joonis 3) ning üleüldiselt kaitsmata ja nõrgalt kaitstud põhjaveega alaid (joonis 5 ja 6), mis suurendavad märkimisväärselt reostumise ohtu.

Kontseptuaalne mudel (Joonis 7) visualiseerib põhjavee ja reostuse võimalikku levikut veehaarde põhjaveekihi ja puurkaevus. Eestis paikneb mitmeid põhjaveekihte, millest Kuressaare Tõlli veehaarde paikneb Siluri põhjaveekihi (Hunt *et al.* 2024). Siluri põhjaveekihi esineb lõhesid, mis aitavad kaasa põhjavee liikumisele (Tarros *et al.* 2025). Pinnakattetüübilt valdavad toitealal moreenid, kuid esineb ka näiteks aluspõhja avamusi ja peenliivaga alaid (Joonis 2) (Maa- ja Ruumiamet 2025). Veehaarde puurkaev saab oma vee toitealalt, kus sademed infiltreeruvad põhjaveekihti. Reostus saab levida ainult koos vee liikumisega (Aller *et al.* 1987) ning põhjavesi voolab veehaarde suunas. Lõhelised lubjakivid, kahjustunud puurkaevud ja rikkevöönd soodustavad vee kiiremat ja kergemat liikumist (Tarros *et al.* 2025). Põllumajanduse ja loomakasvatusega aladel ning kanaliseerimata õuealadel tekib mitmeid reoained (Hunt *et al.* 2024), mis infiltreeruvad toitealal põhjavette ja liiguvad koos sellega veehaardesse.

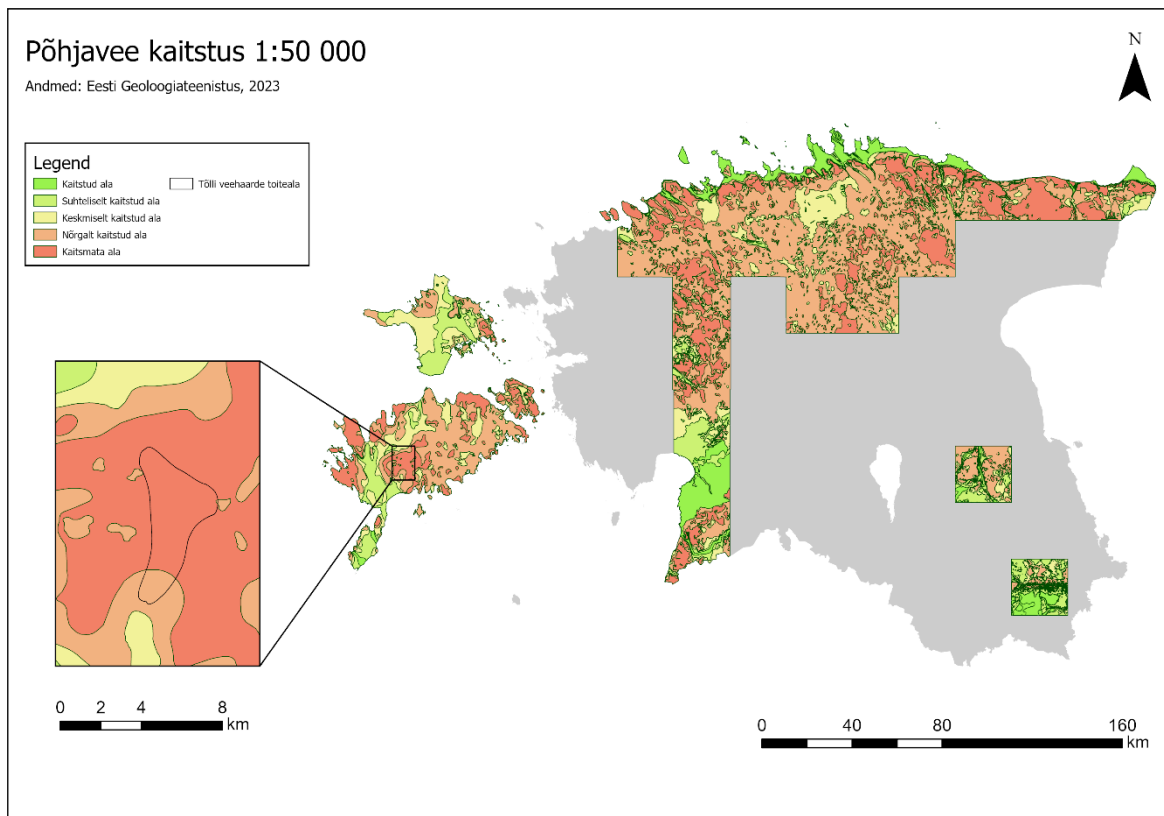


**Joonis 7.** Veehaarde toiteala kontseptuaalne mudel

Kuressaare Tõlli veehaarde põhjavee kaitstuse määramiseks kasutati nii muudetud DRASTIC-metoodikat kui ka muudetud DRASTIC-L-metoodikat (Joonised 5 ja 6). Antud metoodikal koostatud parameetrite kaartidel (Joonis 4) on nähtav uuringuala üldine suurem reostumise oht, millele viitavad kollasemad ja punasemad värvitoonid. Põhjavee kaitstuse kaartidel (Joonised 5 ja 6) on nähtavad kõige suurema reostumise ohuga ehk kaitsmata alad enamjaolt veehaarde toiteala põhjaosas ning puurkaevude lähistelt toiteala lõunaosas leiab kohati ka nõrgalt kaitstud alasid. See viitab asjaolule, et reostus tuleb pigem puurkaevudest kaugemalt toiteala põhjaosast. Põhjavee reaalse reostusohu kaardilt paistavad kaitsmata põhjaveega aladena välja põllumaad, mis põhjavee kaitstuse kaardil on ühendunud ümbritseva piirkonnaga üheks. See toob välja suurema põhjavee reostumise ohu põllumajanduslikel aladel ning väiksema reostumise ohu nende vahel paiknevatel metsaaladel. Samuti paistavad DRASTIC-L kaardilt välja ka sõiduteed ja asustatud alad kaitsmata põhjaveega aladena tänu suuremale inimõjule.

Töö tulemusena koostatud kaartidelt paistab välja üldine sarnasus põhjavee kaitstuse piirkondade alusel. Siiski on märgatav põhjavee reaalse reostusohu kaardi detailsus tänu lisatud maakasutuse parameetritele, mis võtab arvesse ka inimõju. Selle põhjal võib eeldada, et

peamine põhjavee kaitstust mõjutav tegur on küll looduslik kaitstus, kuid inimõju arvesse võtmine muudab selle usaldusväärsemaks. Samuti võib järeldada, et töö raames DRASTIC-metoodikal koostatud põhjavee kaitstuse kaardid kirjeldavad reaalselt põhjavee kaitstuse olukorda Kuressaare veehaardel tänu kaartidel nähtavatele kaitsmata ja nõrgalt kaitstud põhjaveega aladele, mis viitavad suurele reostumise ohule. Lisaks annavad need kaardid usaldusväärsema ja detailsema ülevaate, kui varasem 1:50 000 mõõtkavas koostatud Eesti põhjavee kaitstuse kaart (Joonis 8).



**Joonis 8.** Eesti põhjavee kaitstuse kaart 1:50 000 mõõtkavas koos Tõlli veehaarde toitealaga (Andmed: Eesti Geoloogiateenistus 2026)

DRASTIC-metoodikate üheks peamiseks tugevuseks on nende parameetrite muudetavus, mis võimaldab metoodikat rakendada erineva geoloogiaga piirkondades. Käesoleva töö raames on kasutatud muudetud DRASTIC-metoodikaid (Männik ja Karro 2023; Männik *et al.* 2025), mis võimaldavad selle metoodika usaldusväärsemat kasutust Kvaternaarisetetega aladel. Samuti võimaldab maakasutuse ehk L-parameetri lisamine tänu inimõju kaasamisele põhjavee kaitstuse määramise usaldusväärsemaks muutmist. Kuid DRASTIC-metoodikal võib esineda ka mitmeid piiranguid. Näiteks ei pruugi pinnakatte omaduste parameeter piisava detailsusega

piirkonda kirjeldada või maakasutuse parameeter ei võta arvesse põllumajanduslikel aladel kasutatavaid väetisi ega nende koguseid. Samuti on kõikide parameetrite hinnangud ja kaalukused täisarvuliste väärtustena, mis võib tuua kaasa liigseid üldistusi. Piiranguid esineb ka käesoleva töö raames. Probleemiks võivad olla puudulikud või aegunud puurkaevude kirjeldused VEKA (2026) puurkaevude registris ning üleüldiselt asjaolu, et töö raames ei teostatud välitöid ning kogu analüüs põhineb varasemalt kogutud vabalt kättesaadavatel andmetel, mis võib samuti kaasa tuua andmete ebatäpsusi või vananenud informatsiooni.

Käesoleva töö raames koostatud kontseptuaalset mudelit saab tulevikus kasutada Kuressaare veehaarde reostusallikate ja reostuse levikumehhanismide selgitamiseks ning võimalike reostusjuhtumite kiiremaks tuvastamiseks, lahendamiseks ja ennetamiseks. Töö tulemused näitavad, et Kuressaare Tõlli veehaare on kõrge reostumise ohuga piirkond, mistõttu on oluline veehaarde seirekaevude pidev jälgimine võimalike reostuste varajaseks avastamiseks ning mõju vähendamiseks. Lisaks paikneb suur osa Eesti põhjaveest nõrgalt kaitstud või kaitsmata põhjaveega aladel, tänu millele saab kontseptuaalset mudelit rakendada ka teistes sarnaste hüdrogeoloogiliste tingimustega piirkondades, et põhjavee kaitstust täpsemini hinnata ning ennetada ja likvideerida võimalikke reostusjuhtumeid. Edaspidiseks reostuse vältimiseks tuleks peamiselt nii Kuressaare Tõlli veehaarde kui ka teiste veehaarete toitealadel maakasutust paremini planeerida. Käesoleva töö raames koostatud põhjavee reaalse reostusohu kaardilt (Joonis 6) paistab välja asjaolu, et põllumajanduslikel aladel on suurem reostumise oht, eriti kui need alad kattuvad looduslikult kaitsmata põhjaveega aladega. Põllumajanduse ja üleüldise maakasutuse tõhusam planeerimine aitaks vähendada põhjavee reostumise ohtu.

## 7. Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli hinnata Kuressaare Tõlli veehaarde põhjavee reostumist, analüüsida selle võimalikke tekkepõhjuseid ja kirjeldada selle levikut ning anda juhiseid ja eesmäärke edaspidiseks tegevuseks. Töö keskendus põhjavee kaitstust mõjutanud looduslikele ja inimõjust tulenenud teguritele, mis võisid põhjustada 2023. aasta kevadel toimunud reostust (Kriis 2023).

Põhjavee kaitstus ning selle reostumise kontrollimine ja haldamine on tähtis põhjavee kvaliteedi säilitamiseks. Põhjavee reostuse leviku visualiseerimiseks ja lihtsustatud viisil kirjeldamiseks koostatakse kontseptuaalseid mudeleid (European Communities 2010). Mudeli detailsus oleneb antud probleemist ning mudeli esitamiseks on mitmeid viise, millest käesoleva töö raames kasutati kahedimensionaalset kontseptuaalset mudelit (European Communities 2010). Lisaks koostatakse põhjavee kaitstuse määramiseks kaarte, mille üheks viisiks on maailmas laialt levinud DRASTIC-metoodika, mis põhineb seitsmel hüdrogeoloogilisel parameetril (Aller *et al.* 1987). Käesolevas töös kasutati muudetud DRASTIC (Männik ja Karro 2023) ning DRASTIC-L (Männik *et al.* 2025) metoodikaid põhjavee kaitstuse kaartide koostamisel, mis võimaldavad metoodika usaldusväärsemat kasutust Kvaternaarisetetega aladel.

Töö tulemusena valmis muudetud DRASTIC-metoodikal uuringuala põhjavee kaitstuse kaart, muudetud DRASTIC-L-metoodikal uuringuala põhjavee reaalse reostusohu kaart ning kontseptuaalne mudel, mis kirjeldab põhjavee reostuse võimalikku levikut. Töö käigus selgus Kuressaare Tõlli veehaarde toiteala madal või puudulik põhjavee kaitstus, mis viitab otseselt suurele reostumise ohule. Veehaarde põhjavee kaitstust mõjutavad nii looduslikud tegurid, inimõju maakasutuse kujul kui ka vigased puurkaevud. Tulevaseks veehaarete toitealade reostusohu vähendamise peamiseks võimaluseks on maakasutuse parem planeerimine veehaarete toitealadel.

# Investigation of groundwater pollution in the Kuressaare water intake

**Birgit Pruunlep**

## Summary

Groundwater is one of the most common drinking water sources in the world, making it crucial to assess groundwater vulnerability and quality. Groundwater vulnerability maps and conceptual models can be used to describe and assess the spread of groundwater pollution (European Communities 2010). The aim of this bachelor's thesis was to investigate the causes and spread of the 2023 contamination in the Kuressaare water intake caused by *e-coli* bacteria. (Kriis 2023)

Groundwater vulnerability is divided into five classes: protected, relatively protected, medium protection, weakly protected and unprotected groundwater areas (Veeseadus 2019). Conceptual models are used to show in an easily understandable way how groundwater pollution is generated and spread (European Communities 2010). Usually conceptual models are created as a first step in groundwater vulnerability evaluation to establish the background and objectives, which is followed by the development of hydrogeological models (Spijker *et al.* 2010).

One way to make groundwater vulnerability maps is by using the DRASTIC method which is widely used around the world (Aller *et al.* 1987). The DRASTIC method is based on seven hydrogeological parameters: depth to water table, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of vadose zone and hydraulic conductivity (Aller *et al.* 1987). A modified version of the DRASTIC method was developed to enable its application in areas with Quaternary deposits (Männik ja Karro 2023). Along with that, a modified DRASTIC-L method was also created that includes the landuse parameter, to highlight areas with higher human activity.

As a result of the study, two groundwater vulnerability maps of the study area (Figures 5 & 6) were developed using ArcGIS Pro software (ArcGIS Pro) along with a conceptual model describing the spread of contamination (Figure 7) made with Affinity software (Affinity). The results show that a large part of the Kuressaare Tõlli catchment area consists of weakly or unprotected groundwater areas that point to a higher contamination risk. The real groundwater pollution risk map (Figure 6) highlights increased vulnerability in agricultural and populated

areas. The conceptual model also brings out the impact of fractured carbonate rocks, unsewered yards, damaged wells and fault zones.

The conceptual model developed in this study can be used in areas with similar hydrogeological conditions to support and assess groundwater protection and landuse planning. The groundwater vulnerability maps provide a more detailed overview of contamination risks in the Kuressaare water intake. In the future, the main opportunity for the reduction of pollution risk in water intake areas is better landuse planning.

## **Tänuavaldused**

Täna oma juhendajat Magdaleena Männikut toetuse ja ideede eest ning Meelis Albertit Saaremaa Vallavalitsusest.

## Kasutatud kirjandus

- Abduljaleel, Y., Amiri, M., Amen, E. M., Salem, A., Ali, Z. F., Awd, A. *et al.* 2024. Enhancing groundwater vulnerability assessment for improved environmental management: addressing a critical environmental concern. *Environmental Science and Pollution Research*, **31**(13), 19185-19205. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32305-1>
- Affinity. Affinity tarkvara. Canva. <https://www.affinity.studio/> (vaadatud 2026-04-17)
- Albert, M. 2023. *Kuressaare linna veehaaret mõjutada võivate karstialade mikrobioloogiline ja Tõlli-Ansi veehaarde lähiümbruse uuring*. Saaremaa Vallavalitsus
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. ja Hackett, G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/2-87/035.
- ArcGIS Pro. Uue põlvkonna ArcGIS Desktop tarkvara. AlphaGIS. <https://www.gisbaltic.eu/et-ee/product/arcgis-pro/overview> (vaadatud 2026-05-03)
- Balasubramani, D. P. 2025. Applications of Geophysical Techniques in Geotechnical Engineering. *Indian Geotechnical Journal*, **55**(4), 2477-2491. <https://doi.org/10.1007/s40098-025-01343-y>
- Cogu, R. C. ja Dassargues, A. 2000. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*, **39**(6), 549-599. <https://doi.org/10.1007/s002540050466>
- Eesti Geoloogiateenistus. 2026. Eesti Geoloogiateenistuse 1:50 000 geoloogilise baaskaardi WMS teenus. <https://gis.egt.ee/geoportaal/teenused#wfs-50t> (vaadatud 2026-05-12)
- Eesti Geoloogiateenistus. 2025. Pinnakatte kaardi ruumiaandmed.
- European Communities. 2007. Guidance on groundwater monitoring. Guidance document No. 15. European Commission
- European Communities. 2010. Guidance on risk assessment and the use of conceptual models for groundwater. Guidance document No. 26. European Commission
- European Environment Agency. 2023. WFD Reporting Guidance 2022. [https://cdr.eionet.europa.eu/help/WFD/WFD\\_715\\_2022](https://cdr.eionet.europa.eu/help/WFD/WFD_715_2022) (vaadatud 2026-05-10)

- Hunt, M., Osjamets, M., Pärn, J., Raidla, V., Kuusma, E., Hints, L. ja Marandi, A. 2024. *Joogiveehaarde toiteala riskihindamise ja -juhtimise teostamiseks vajalike eeltööde läbi viimine vastavalt joogiveehaarde toiteala riskihindamise ja riskijuhtimise nõuetele*. Geoloogiafond, EGF:9932, Tallinn. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9932>
- Kelly, W. R., Panno, S. V., Hackley, K. C., Martinsek, A. T., Krapac, I. G., Weibel, C. P. ja Stormont E. C. 2009. Bacteria Contamination of Groundwater in a Mixed Land-Use Karst Region. *Water Qual Expo Health*, **1**(2), 69-78. <https://doi.org/10.1007/s12403-009-0006-7>
- Keskkonnaagentuur. 2025. Eesti looduse infosüsteem EELIS. <https://keskkonnaagentuur.ee/eelis> (vaadatud 2025-12-10)
- Kitterød, N.-O., Kværner, J., Aagaard, P., Arustienė, J., Bikše, J., Dagestad, A. *et al.* 2022. Hydrogeology and groundwater quality in the Nordic and Baltic countries. *Hydrology Research*, **53**(7), 958-982. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.018>
- Kriis. 2023. Analüüs kinnitab: Kuressaare joogivees tuvastati *Escherichia coli*. <https://kriis.ee/uudised/analuus-kinnitab-kuressaare-joogivees-tuvastati-escherichia-coli> (vaadatud 2025-12-08)
- Kupits, T., Metsur, M. ja Otsa, E. 1994. Dejevo sõjaväeosa raketitankla poolt tekitatud reostuse kaardistamine. AS Maves. <https://registerdok.keskkonnaportaal.ee/getdok/1845683390> (vaadatud 2025-12-11)
- Maa- ja Ruumiamet. 2020. Eesti topograafia andmekogu tuumaandmed. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/eesti-topograafia-andmekogu/laadi-etak-andmed-alla-p609.html> (vaadatud 2025-12-10)
- Maa- ja Ruumiamet. 2021. Kõrgusandmed. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/korgusandmed/laadi-korgusandmed-alla-p614.html> (vaadatud 2025-12-10)
- Marandi, A., Karro, E., Raidla, V. & Vaikmäe, R. 2012. Conceptual model of groundwater quality for the monitoring and management of the Voronka groundwater body, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **61**(4), 328-339. <https://doi.org/10.3176/earth.2012.4.11>

- Männik, M., Bikše, J., Karro, E. ja Marandi, A. 2025. A framework for assessing groundwater vulnerability and pollution risk in transboundary aquifers: Insights from the Estonian-Latvian transboundary area. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **60**, 102525. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102525>
- Männik, M. ja Karro, E. 2023. Application of Modified DRASTIC Method for the Assessment and Validation of Confined Aquifer Vulnerability in Areas with Diverse Quaternary Deposits. *Water*, **15**, 3585. <https://doi.org/10.3390/w15203585>
- Männik, M., Karro, E., Marandi, A., Polikarpus, M., Ani, T ja Rosentau, A. 2023. Modified DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment in areas with diverse Quaternary deposits. *Hydrology Research*, **54(7)**, 840-854. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.009>
- National Ground Water Association (NGWA). 2025. Groundwater Fundamentals. <https://www.ngwa.org/what-is-groundwater/About-groundwater> (vaadatud 2025-12-08)
- Ozegin, K. O., Ilugbo, S. O. ja Adebo, B. 2024. Spatial evaluation of groundwater vulnerability using the DRASTIC-L model with the analytic hierarchy process (AHP) and GIS approaches in Edo State, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **134**, 103562. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103562>
- Perens, R., Parm, T., Savva, V. ja Leglus, M. 2004. *Saare maakonna põhjavee kaitstuse digitaalse kaardi 1:50 000 koostamine*. Geoloogiafond, EGF:7571, Tallinn. <https://fond.egt.ee/fond/egf/7571>
- Perens, R. ja Vallner, L. 1997. Water-bearing formation. A. Raukas ja A. Teedumäe (toim), *Geology and mineral resources of Estonia*. Eesti Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, 137-145.
- Puura, I., Kalm, V., Kivisilla, J., Klein, V., Puura, V., Raudsep, R. ja Riet, K. 1991. Eesti geoloogiline ehitus ja maavarad: sümposiumi materjalid. Eesti Geoloogia Selts. <https://kirjandus.geoloogia.info/reference/14501> (vaadatud 2026-05-15)
- Spijker, J., Lieste, R., Zijp, M. ja de Nijs, T. 2010. Conceptual models for the Water Framework Directive and the Groundwater Directive. *National Institute for Public Health and the*

*Environment*. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/607300015.pdf> (vaadatud 2026-05-06)

Tarros, S., Kebbinau, K., Erg, K. ja Häelm, M. 2017. *Hüdrogeoloogilis-geofüüsikaliste mõõteseadmete kasutamise metoodiline juhend*. Geoloogiafond, EGF:9670, Tallinn. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9670>

Tarros, S., Marandi, A. ja Osjamets, M. 2025. *Kuressaare Tõlli-Ansi veehaarde tarbepuurkaevude geofüüsikaline uuring*. Geoloogiafond, EGF:47192, Tallinn. <https://fond.egt.ee/fond/egf/47192>

Veeseadus. Vastu võetud 11.05.1994, RT I 1994, 40, 655. Viimane redaktsioon RT I, 22.02.2019, 33.

VEKA. 2026. Eesti veekasutuse andmebaas. <https://veka.keskkonnainfo.ee/> (vaadatud 2026-02-19)

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

Mina, Birgit Pruunlep,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „**Kuressaare veehaarde põhjavee reostuse uurimine**“, mille juhendaja on Magdaleena Männik, 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.

*Birgit Pruunlep*

**25.05.2026**