

TARTU ÜLIKOOL  
Arvutiteaduse instituut  
Informaatika õppekava

**Eero Pihelgas**  
**Veebiteenus valgate hinnangulistele**  
**reostuskoormustele**  
**Bakalaureusetöö (9 EAP)**

Juhendaja(d): Kristi Uudeberg, PhD  
Helle Hein, PhD

Tartu 2022

## **Veebiteenus valglate hinnangulistele reostuskoormustele**

### **Lühikokkuvõte:**

Bakalaureusetöö eesmärk on luua veebiteenus valglate hinnangulistele reostuskoormustele, mis hõlbustaks reostuskoormuste arvutamist ja pakuks masinloetavaid tulemusi. Töös kirjeldatakse andmemudelit ning seireandmete põhjal igas Eesti punktis hinnangulise vooluhulga ja reostuskoormuse arvutamise loogikat. Veebiteenus valglate hinnangulistele reostuskoormustele on aktiivselt kasutuses Keskkonnaagentuuris.

### **Võtmesõnad:**

Veebiteenus, veebiliides, Java, vooluveekogu, vooluhulk, reostuskoormus

**CERCS:** P175 Informaatika, süsteemiteooria

## **Web service for estimating pollution load from catchment areas**

### **Abstract:**

The aim of the bachelor's thesis is to create a web service for estimating pollution loads from catchment areas, simplifying the calculation of pollution loads, and providing machine-readable results. The thesis contains an overview of the data model and calculation logic for estimating discharge and pollution load for every point in Estonia. Estonian Environment Agency actively uses the web service for estimating pollution load from catchment areas.

### **Keywords:**

Web service, web API, Java, stream, discharge, pollution load

**CERCS:** P175 Informatics, systems theory

## Sisukord

1.	Sissejuhatus .....	4
2.	Akronüümid ja lühendid .....	5
3.	Taust .....	6
3.1	Läänemeri ja eutrofeerumine .....	6
3.2	Läänemere kaitse .....	7
3.3	Veega merre jõudva reostuskoormuse hindamine .....	8
4.	Nõuded veebiteenusele .....	11
4.1	Funktsionaalsed nõuded .....	11
4.2	Mittefunktsionaalsed nõuded .....	12
5.	Loodud veebiteenus .....	13
5.1	Andmemudel .....	13
5.2	Algoritmid .....	17
5.3	Veebiliides .....	19
5.4	Arhitektuur .....	25
5.5	Kasutatud tehnoloogiad ja keeled .....	26
5.6	Autentimine ja autoriseerimine .....	26
5.7	Majutamine .....	27
5.8	Testimine .....	27
6.	Kasutus .....	29
7.	Kokkuvõte .....	30
8.	Viidatud kirjandus .....	31
Lisad	.....	33
I.	Litsents .....	33

## 1. Sissejuhatus

Läänemere üheks olulisemaks probleemiks on tänapäeval eutrofeerumine, mis kujutab endast veekogu rikastumist toitainetega. Probleemid Läänemeres ei ole riigipõhised, sest Läänemerd ümbritseb üheksa riiki: Eesti, Läti, Leedu, Poola, Rootsi, Saksamaa, Soome, Taani ja Venemaa. Nende probleemidega tegelemiseks loodi 1974. aastal Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon ehk Helsingi komisjon (HELCOM), mille eesmärk on Läänemere merekeskkonda saasteallikate eest kaitsta [1]. Sellest tulenevalt on Eesti üheks kohustuseks iga-aastaselt raporteerida Eesti alalt Läänemere jõudvaid reostuskoormuseid.

Sisemaalt jõuab reostuskoormus merre peamiselt jõgede kaudu ja heidete tõttu rannikualalt. Jõgede kaudu merre jõudev reostuskoormus on hinnanguline suurus ja seda arvutatakse seiratud vooluhulga ning uuritava aine kontsentratsiooni järgi vees. Eestis mõõdetakse vooluhulki hüdroloogilise seire ja aine kontsentratsioone hüdrokeemia seire raames. Andmestikud on tihti mõõdetud samal jõel erinevates seirejaamades, erineva ajalise sammuga ja lisaks hoiustatakse erinevates andmebaasides [2, 3]. Seepärast nõuab reostuskoormuste hinnangute arvutamine palju lisateisendusi ja andmete kombineerimist ning on ressursikulukas.

Bakalaureusetöö eesmärk on luua veebiteenus valgate hinnangulistele reostuskoormustele. Selleks tuleb luua (1) andmemudel, kus on kirjeldatud hinnatavate objektide seosed seiretulemustega ja üksteisega; (2) vooluhulga algoritm, millega saab arvutada seiretulemuste põhjal hinnangulist vooluhulka igas Eesti punktis; (3) koormuse algoritm, millega saab arvutada seiretulemuste põhjal hinnangulist koormust igas Eesti punktis; (4) veebiliides, mis võimaldab hallata seiratavate objektide ja seireandmete andmebaasi ning pakub dünaamilisi masinloetavaid reostuskoormuse hinnanguid.

Töö kolmandas peatükis antakse ülevaade eutrofeerumise mõjust Läänemeres, kirjeldatakse reostuskoormuse arvutamise loogikat ja tuuakse välja töö käigus valmiva veebiteenuse loomise põhjused. Neljandas peatükis esitatakse funktsionaalsed nõuded ja mittefunktsionaalsed nõuded loodavale veebiteenusele. Viiendas peatükis kirjeldatakse loodud andmemudelit, veebiliidest, tutvustatakse kasutatud tehnoloogiaid ja antakse ülevaade valminud lahendusest ning selle testimisest. Kuuendas peatükis loetletakse reaalsed situatsioonid, kus loodud veebiteenust on kasutatud.

## 2. Akronüümid ja lühendid

A	Mõõtmiste protsent alla määramispiiri
API	Rakendusliides ( <i>Application Programming Interface</i> )
BSAP	Läänemere tegevuskava ( <i>Baltic Sea Action Plan</i> )
C	Aine kontsentratsioon vees, mg/l
EELIS	Eesti Looduse Infosüsteem
ETAK	Eesti topograafia andmekogu
HELCOM	Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon ehk Helsingi komisjon
HTTP	Hüperteksti edastuse protokoll ( <i>Hypertext Transfer Protocol</i> )
ISO	Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon ( <i>International Organization for Standardization</i> )
JSON	JavaScripti objektide notatsioon ( <i>JavaScript Object Notation</i> )
KeM	Keskkonnaministeerium
KeMIT	Keskkonnaministeeriumi Infotehnoloogiakeskus
KESE	Keskkonnaseire Infosüsteem
KOTKAS	Keskkonnaotsuste Infosüsteem
KKR	Keskkonnaregister
L	Reostuskoormus, kg
LOQ	Määramispiir ( <i>Limit of quantification</i> )
PLC	Reostuskoormuse koostamine ( <i>Pollution Load Compilation</i> )
Q	Hinnanguline vooluhulk, m <sup>3</sup> /s
S	Valgla pindala, km <sup>2</sup>
SQL	Struktuurpäringukeel ( <i>Structured Query Language</i> )
TN	Üldlämmastik, mg/l
TP	Üldfosfor, mg/l
WISE	Euroopa veeinfosüsteem ( <i>Water Information System for Europe</i> )

### 3. Taust

#### 3.1 Läänemeri ja eutrofeerumine

Läänemeri on geoloogiliselt suhteliselt noor, madala bioloogilise mitmekesisusega ning poolsuletud aeglase veevahetusega üks maailma suurimaid riimveekogusid. Samas on see ka üks maailmas kõige tugevama inimõju all olevaid meresid [4]. Läänemere pindala on umbes 420 000 km<sup>2</sup>, kuid Läänemere valgla ehk maa-ala, millelt vesi sellesse veekogusse voolab, on ligikaudu neli korda suurem ja sellel alal elab üle 85 miljoni inimese [1]. Seega keskkonnamõjude suhtes tundlik Läänemeri [5] peab lisaks looduslikele surveteguritele hakkama saama ka inimtegevusest põhjustatud survetega nagu eutrofeerumine, kalade ülepüük, ohtlike ainete mõju, mereprügi ja veealune müra.

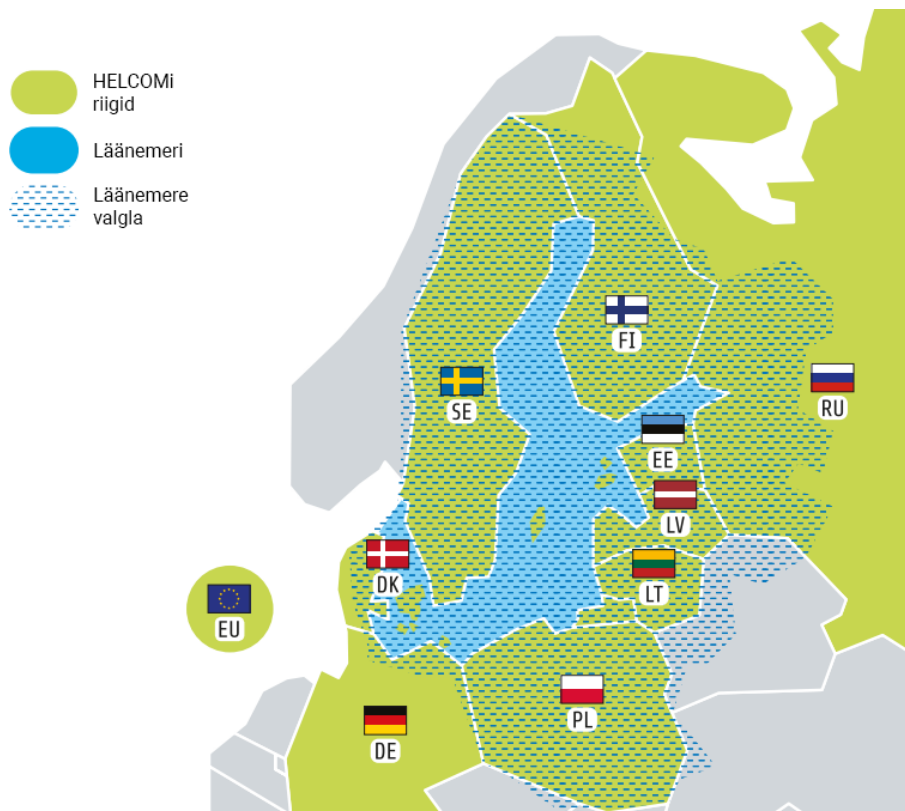
Üheks suurimaks probleemiks Läänemeres on eutrofeerumine ehk üleliigsete toitainete, enamasti lämmastiku või fosfori, sattumine veekeskkonda. Eutrofeerumine (joonis 1) põhjustab bioloogilise mitmekesisuse vähenemist, veeõitsengute tihenemist, vee läbipaistvuse kahanemist, hapnikusisalduse vähenemist, ranniku väljanägemise halvenemist ja kalavarude vähenemist [6]. Esmakordselt tunnistati eutrofeerumist Läänemere survena 1980. aasta algustes [7]. Tänapäevaks on enamik Läänemere piirkondadest toitainetega ülekoormatud. Läänemerre satuvad toitained nii looduslikest allikatest kui ka inimtegevuse tagajärjel vee ja õhu kaudu. Vee kaudu satuvad toitained merre peamiselt jõgedest (üldlämmastik 70,3% ja üldfosfor 94,8% [7]) ja punktreostusallikate otsesest heitest [5].



Joonis 1. Läänemere vee eutrofeerumine. Foto: Samuli Korpinen [8].

### 3.2 Läänemere kaitse

Läänemere probleemid ei ole riigipõhised, seega Läänemere merekeskkonna kaitset korraldavad Läänemere riigid koostöös. Selleks loodi 1974. aastal Läänemere merekeskkonnakaitse komisjon ehk Helsingi komisjon (HELCOM), mille eesmärk on Läänemere merekeskkonda saasteallikate eest kaitsta. Samal aastal allkirjastati ka Läänemere merekeskkonna kaitse konventsioon ehk Helsingi konventsioon, mille eesmärk on kaitsta Läänemerd tööstuse ja muude inimtegevuse põhjustatud keskkonnaprobleemide eest [1]. Konventsiooniga on ühinenud Taani, Eesti, Soome, Saksamaa, Läti, Leedu, Poola, Venemaa, Rootsi ning Euroopa Liit [4] (joonis 2). Eesti ühines konventsiooniga 1992. aastal.



Joonis 2. Läänemeri, selle valgla ja HELCOMiga ühinenud riigid [1].

2007. aastal võtsid Läänemere riikide ministrid vastu HELCOMi Läänemere tegevuskava (*Baltic Sea Action Plan, BSAP*), mille üldeesmärgiks oli saavutada Läänemere hea keskkonnaseisund aastaks 2021 [8] tegeledes eutrofeerumise, ohtlike ainete, bioloogilise mitmekesisuse ja merel toimuvate tegevustega. Kuigi kahjuks üldist eesmärki ei saavutatud, siis on see siiski andnud positiivseid tulemusi, kogemusi ja teadmisi. Aastal 2021

allkirjastati uus BSAP, mis sisaldab üle 200 meetme ja mis aitaks aastaks 2030 Läänemere seisundit oluliselt parandada [5].

### 3.3 Veega merre jõudva reostuskoormuse hindamine

Eesti maismaalt Läänemerre vee kaudu jõudev kogu reostuskoormus koosneb seiratavate jõgede, seiramata alade ja punktreostusallikate, mis on juhitud otse Läänemerre, reostuskoormuste summast ning arvutused järgivad HELCOM PLC-Water Guidelines [6] juhiseid:

$$L_{tot} = \sum_n L_{jõgi} + \sum_m L_{seireta} + \sum_k L_{punkt}, \quad (1)$$

kus  $L_{tot}$  on aastane vee kaudu merre jõudev kogu reostuskoormus (ühik: kg),  $L_{jõgi}$  on seiratud jõest merre jõudev aastane reostuskoormus (ühik: kg),  $n$  on seiratud jõgede arv,  $L_{seireta}$  on seiramata alalt veega merre jõudev reostuskoormus (ühik: kg),  $m$  on seiramata alade arv,  $L_{punkt}$  on otse merre juhitud punktallika reostuskoormus (ühik: kg) ja  $k$  on otse merre juhitud punktallikate arv.

Jõgede kaudu merre jõudev reostuskoormus on hinnanguline suurus ja on kirjeldatav valemiga [6]:

$$L_{jõgi} = 0,0864 \cdot \sum_{t=1}^n (Q_t \cdot C_t), \quad (2)$$

kus  $L_{jõgi}$  on jões hinnatud aastane reostuskoormus (ühik: kg),  $Q_t$  on jões seiratud t-nda päeva vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $C_t$  on jões t-nda päeva aine kontsentratsioon (ühik: mg/l),  $n$  on päevade arv aastas ning 0,0864 on faktor ühikute teisendamiseks (sekundite arv päevas ja koormuse teisendamine kilogrammideks). Kui aine kontsentratsioonid on alla määramispiiri (*Limit of quantification*, LOQ), siis hinnangulised aine kontsentratsioonid leitakse valemiga [6]:

$$C_{hinnanguline} = \frac{(100\% - A) \cdot LOQ}{100}, \quad (3)$$

kus  $C_{hinnanguline}$  on hinnanguline aine kontsentratsioon (ühik: mg/l),  $LOQ$  on aine määramispiir (ühik: mg/l) ja  $A$  on mõõtmiste protsent alla määramispiiri. Kui vooluhulk ja aine kontsentratsioon ei ole mõõdetud jõel samas seirejaamas, siis hinnangulise reostuskoormuse leidmiseks esmalt arvutatakse hinnanguline vooluhulk seirejaamas, kus oli mõõdetud aine kontsentratsioon, kasutades seost [6]:

$$Q_{hc} = Q_{hy} \cdot \frac{S_{hc}}{S_{hy}}, \quad (4)$$

kus  $Q_{hc}$  on vooluhulk hüdrokeemia seirejaamas (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $Q_{hy}$  on vooluhulk hüdroloogia seirejaamas (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{hc}$  on hüdrokeemia seirejaama valgla (ühik: km<sup>2</sup>) ja  $S_{hy}$  on hüdroloogia seirejaama valgla (ühik: km<sup>2</sup>). Järgmiseks leitakse hinnanguline reostuskoormus hüdrokeemia seirejaamas kasutades valemit (2).

Seiramata alalt veega merre jõudev reostuskoormus on hinnatav kasutades sarnase seiratud ala reostuskoormuse hinnanguid ja seost [6]:

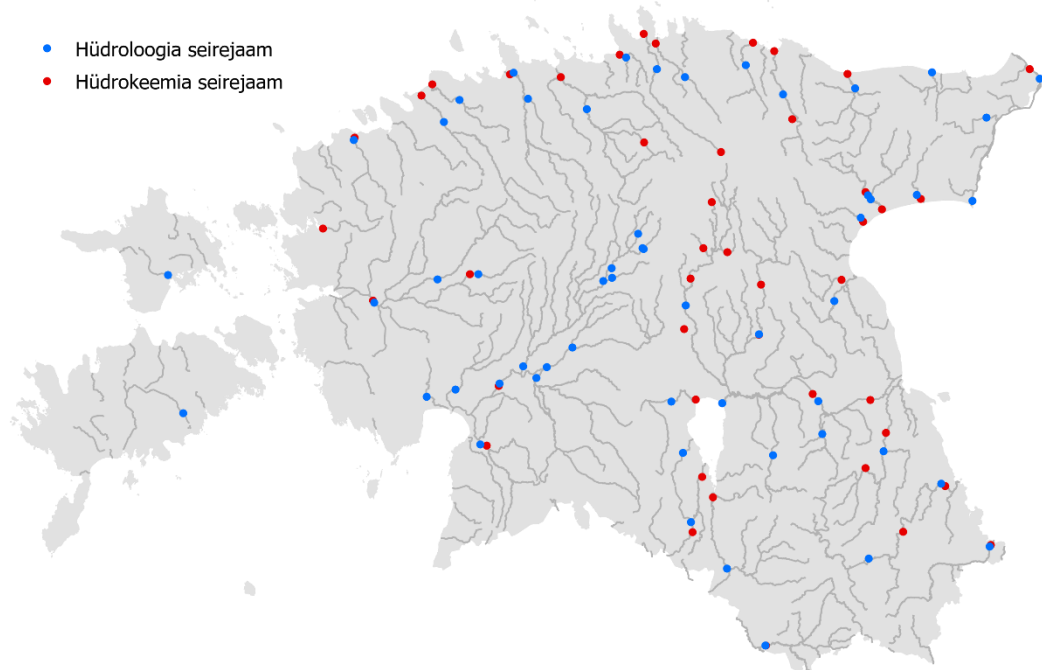
$$L_{seireta} = L_{seirega} \cdot \frac{S_{seireta}}{S_{seirega}}, \quad (5)$$

kus  $L_{seireta}$  on hinnanguline reostuskoormus seireta alalt (ühik: kg),  $L_{seirega}$  on hinnanguline reostuskoormus seirega alalt (ühik: kg),  $S_{seireta}$  on seireta ala pindala (ühik: km<sup>2</sup>) ja  $S_{seirega}$  on seirega ala pindala (ühik: km<sup>2</sup>).

Otse merre suunatud punktreostusallikate koormused pärinevad ettevõtete poolt raporteeritud andmestikest.

### 3.3.1 Reostuskoormuse arvutuste Eesti sisendandmestikud

Hinnanguliste reostuskoormuste leidmiseks vajalikud sisendandmed on vooluhulgad, aine kontsentratsioonid, otse merre juhitud punktreostusallikate reostuskoormused ja keskkonnaobjektide ruumiaandmed. Eestis mõõdetakse vooluhulki hüdroloogilise seire raames hüdroloogia seirejaamades. Mõõtmisi teostatakse kord päevas ning andmed 55 seirejaama kohta on kättesaadavad Ilmateenistuse kodulehelt [2] eraldi CSV-failidena. Aine kontsentratsioone mõõdetakse hüdrokeemia seire raames hüdrokeemia seirejaamades. Mõõtmised toimuvad neli kuni kaksteist korda aastas ja andmestik on kättesaadav Keskkonnaseire Infosüsteemist (KESE) [3]. Hüdroloogia ja hüdrokeemia seirejaamad ei paikne jõel samades asukohtades ning seirejaamu ei ole kõikidel jõgedel (joonis 3). Punktreostusallikate hinnangulised reostuskoormused tuginevad ettevõtete veekasutuse aastaaruandlus andmetel ja on kättesaadavad Keskkonnaotsuste Infosüsteemist (KOTKAS) [9].



Joonis 3. Eesti hüdrolögia ja hüdrokeemia seirejaamade paiknemine Eesti jõgedel.

Eelnev info näitab, et hinnanguliste reostuskoormuste arvutamiseks vajalikud Eesti sisendandmete andmestikud on tihti mõõdetud samal jõel erinevates seirejaamades, erineva ajalise sammuga ning lisaks hoiustatakse erinevates andmebaasides ja formaatides. Seepärast nõuab hinnangute reostuskoormuste arvutamine palju lisateisendusi ja andmete kombineerimist ning on ressursikulukas. Loodav veebiteenus katab jõgede ja seiramata alade hinnangulisteks reostuskoormusteks vajaliku.

## 4. Nõuded veebiteenusele

### 4.1 Funktsionaalsed nõuded

- Administraator peab saama pärida, lisada, muuta ja kustutada riike.
- Kasutaja peab saama pärida riike.
- Administraator peab saama pärida, lisada, muuta ja kustutada vesikondi.
- Kasutaja peab saama pärida vesikondi.
- Vesikondi ei tohi saada lisada ilma riiki täpsustamata.
- Administraator peab saama pärida, lisada, muuta ja kustutada vooluveekogusid.
- Kasutaja peab saama pärida vooluveekogusid.
- Vooluveekogusid ei tohi saada lisada ilma vesikonda või peajõge täpsustamata.
- Administraator peab saama pärida, lisada, muuta ja kustutada seirejaamu.
- Kasutaja peab saama pärida seirejaamu.
- Seirejaamu ei tohi saada lisada ilma vooluveekogu täpsustamata.
- Administraator peab saama pärida, lisada, muuta ja kustutada seiretulemusi.
- Kasutaja peab saama pärida seiretulemusi.
- Seiretulemusi ei tohi saada lisada ilma seirejaama, näitajat ja kuupäeva täpsustamata.
- Kõik ruumiobjektid ja seireandmed peavad olema unikaalsed.
- Administraator peab saama pärida ja arvutada uuesti seiretulemuste põhjal hinnanguid.
- Kasutaja peab saama pärida seiretulemuste põhjal hinnanguid.
- Kõik andmebaasi sisu muutvad päringud peavad nõudma autentimist.
- Kasutaja peab saama pärida riigi, vesikondade, vooluveekogude ja seirejaamade vooluhulkade ning reostuskoormuste hinnanguid.
- Vooluveekogude hinnanguid peab saama pärida soovitud lävendil ja võimalusel täpsustada valgla pindala.
- Hinnanguid peab saama pärida aasta, kvartali, kuu ja päeva sammuga.
- Reostuskoormuse hinnanguid peab saama pärida iga HELCOM PLC raporti näitaja kohta.
- Lisaks arvatud hinnangutele peab saama pärida ka algandmeid.
- Riike, vesikondi, vooluveekogusid ja seirejaamu peab saama otsida osalise koodi või nime järgi.

## 4.2 Mittefunktsionaalsed nõuded

Loodavat veebiteenust hakkab majutama Keskkonnaministeeriumi Infotehnoloogiakeskus (KeMIT) [10], mistõttu loodavale veebiteenusele kehtivad nende haldusala mittefunktsionaalsetest nõuetest [11] järgmised.

- Kuupäeva ja aja talletamisel teksti kujul tuleb aluseks võtta ISO 8601 [12] standardis kirjeldatud põhimõtted.
- Andmebaasi objektide nimed peavad olema sisulised ja andma aimu nende otstarbest.
- Lihtsamatele päringutele peab loodav lahendus vastama maksimaalselt 2 sekundi jooksul. Keerulisemate päringute puhul on ajaline piirang 5 sekundit.
- Loodav lahendus peab võimaldama serveri poolt lõppkasutajale tagastatavate andmeobjektide arvu piirangut ja/või mahukate andmekomplektide leheküljaotust.
- Rakenduse autentimise jõustamine peab toimuma serveri poolel.
- Ebaõnnestunud autentimine peab lõppema viisil, mis ei jäta ründajale võimalust rakendusse sisse tungida ega tohi võimaldada kasutajale ligipääsu süsteemi toimimise informatsioonile.
- Autentimist võimaldav informatsioon ei tohi sisalduda lähtekoodis ega võrgus olevates lähtekoodi hoidlates.
- Rakendus ja selle komponendid peavad võimaldama keskkondade lahusust.
- Kõik võtmed ja salasõnad peavad olema asendatavad ning need tuleb toodangu keskkonna installatsiooni ajal luua või asendada.
- Tarkvara iga versioon peab läbima koodikvaliteedikontrolli süsteemi SonarQube [13] nii, et pole *Security*, *Blocker* ja *Critical* tüüpi vigu.
- Rakendusse ja andmetele tohib olla ligipääs ainult dokumenteeritud ning kirjeldatud teid mööda ja dokumenteeritud autentimisprotseduure kasutades.
- Välistele kasutajatele mõeldud veebilehega rakendused peavad olema kaitstud keelatud päringute eest.

## 5. Loodud veebiteenus

### 5.1 Andmemudel

Andmemudel koosneb kuuest tabelist, mis moodustavad ülesehituselt puustruktuuri. Kuna kõiki tabeleid tuleb ka filtreerida puustruktuuri järgi, siis kõige parem on kasutada relatsioonilist andmebaasi. Tabelitevahelisi ühendusi tehes saab andmebaasi abil juba andmete filtreerimise ära teha ning tagada optimaalse andmevahetuse serverite vahel. Andmebaasil on võimekus hoiustada mitme riigi andmeid, kuid objektide koodid peavad olema unikaalsed. Hetkel sisaldab andmebaas Eesti andmestikku.

#### 5.1.1 Riigid

Riikide üldinfot hoitakse tabelis *country* (tabel 1). Riigi koodid on võetud ISO 3166-1 alpha-2 koodide [14] loetelust. Hetkel on andmebaasis ainult üks riik. Eesti maismaa pindala pärineb Eesti Looduse Infosüsteemi (EELIS) [15] andmebaasist. Riikide unikaalsust kontrollitakse riigi koodi järgi.

Tabel 1. Andmebaasi tabeli *country* andmeväljade nimi, tüüp ja kirjeldus.

<b>country</b>		
code	sõne	Riigi ISO 3166-1 alpha-2 kood
name	sõne	Riigi nimi
area	ujukomaarv	Riigi maismaa pindala ruutkilomeetrites

#### 5.1.2 Vesikonnad

Vesikondade üldinfot hoitakse tabelis *district* (tabel 2). Keskkonnaobjektide koode haldab Keskkonnaregister (KKR) [16]. Andmed pärinevad EELISE andmebaasist. Hetkel on andmebaasis kolm vesikonda. Vesikondade unikaalsust kontrollitakse vesikonna koodi järgi.

Tabel 2. Andmebaasi tabeli *district* andmeväljade nimi, tüüp ja kirjeldus.

<b>district</b>		
code	sõne	Vesikonna KKR kood
name	sõne	Vesikonna nimi
area	ujukomaarv	Vesikonna maismaa pindala ruutkilomeetrites
country	sõne	Riigi ISO 3166-1 alpha-2 kood

### 5.1.3 Vooluveekogud

Vooluveekogude üldinfot hoitakse tabelis *river* (tabel 3). Hetkel on andmebaasis 1755 vooluveekogu, mis on need Eesti vooluveekogud, millel on KKR kood. Andmed pärinevad ETAKi andmebaasist. Lisaks on tehtud arvutusi kaardiobjektidega. Vooluveekogude unikaalsust kontrollitakse vooluveekogu koodi järgi.

Tabel 3. Andmebaasi tabeli *river* andmeväljade nimi, tüüp ja kirjeldus.

<b>river</b>		
code	sõne	Vooluveekogu KKR kood
name	sõne	Vooluveekogu nimi
area	ujukomaarv	Vooluveekogu valgla pindala ruutkilomeetrites
country_area	ujukomaarv	Riigi osa vooluveekogu valgla pindalast ruutkilomeetrites
district	sõne	Vesikonna KKR kood
distance	ujukomaarv	Kaugus suubumiskohast jõe suudmeni kilomeetrites
length	ujukomaarv	Vooluveekonna pikkus kilomeetrites
receiving_river	sõne	Vooluveekonna, kuhu see vooluveekogu suubub, KKR kood (võib puududa, kui vooluveekogu suubub merre)

### 5.1.4 Seirejaamad

Seirejaamade üldinfot hoitakse tabelis *station* (tabel 4). Andmed pärinevad EELISE andmebaasist. Lisaks on tehtud arvutusi kaardiobjektidega. Hetkel on andmebaasis 105 püsiseirejaama. Seirejaamade unikaalsust kontrollitakse seirejaama koodi järgi.

Tabel 4. Andmebaasi tabeli *station* andmeväljade nimi, tüüp ja kirjeldus.

<b>station</b>		
code	sõne	Seirejaama KKR kood
name	sõne	Seirejaama nimi
area	ujukomaarv	Seirejaama pindala ruutkilomeetrites
country_area	sõne	Riigi osa seirejaama valgla pindalast ruutkilomeetrites
distance	ujukomaarv	Seirejaama kaugus jõe suudmest kilomeetrites
type	sõne	Seirejaama tüüp ( <i>hydrological</i> või <i>hydrochemical</i> )
river	sõne	Vooluveekogu, millel see seirejaam asub, KKR kood

### 5.1.5 Mõõtmistulemused

Seirejaamades seiratud näitajate mõõtmistulemusi hoitakse tabelis *station\_measurement* (tabel 5). Hetkel on andmebaasis 1 203 692 mõõtmistulemust. Andmed pärinevad KESE andmebaasist [3] ja Ilmateenistuse kodulehelt [2]. Mõõtmistulemuste unikaalsust kontrollitakse seirejaama koodi, näitaja koodi ja kuupäeva järgi.

Tabel 5. Andmebaasi tabeli *station\_measurement* andmeväljade nimi, tüüp ja kirjeldus.

<b>station_measurement</b>		
station	sõne	Seirejaama KKR kood
parameter	sõne	Näitaja kood
date	kuupäev	Hinnangu kuupäev
value	ujukomaarv	Mõõdetud väärtus
limit	ujukomaarv	Määramispiir (võib puududa)
uncertainty	täisarv	Määramatus

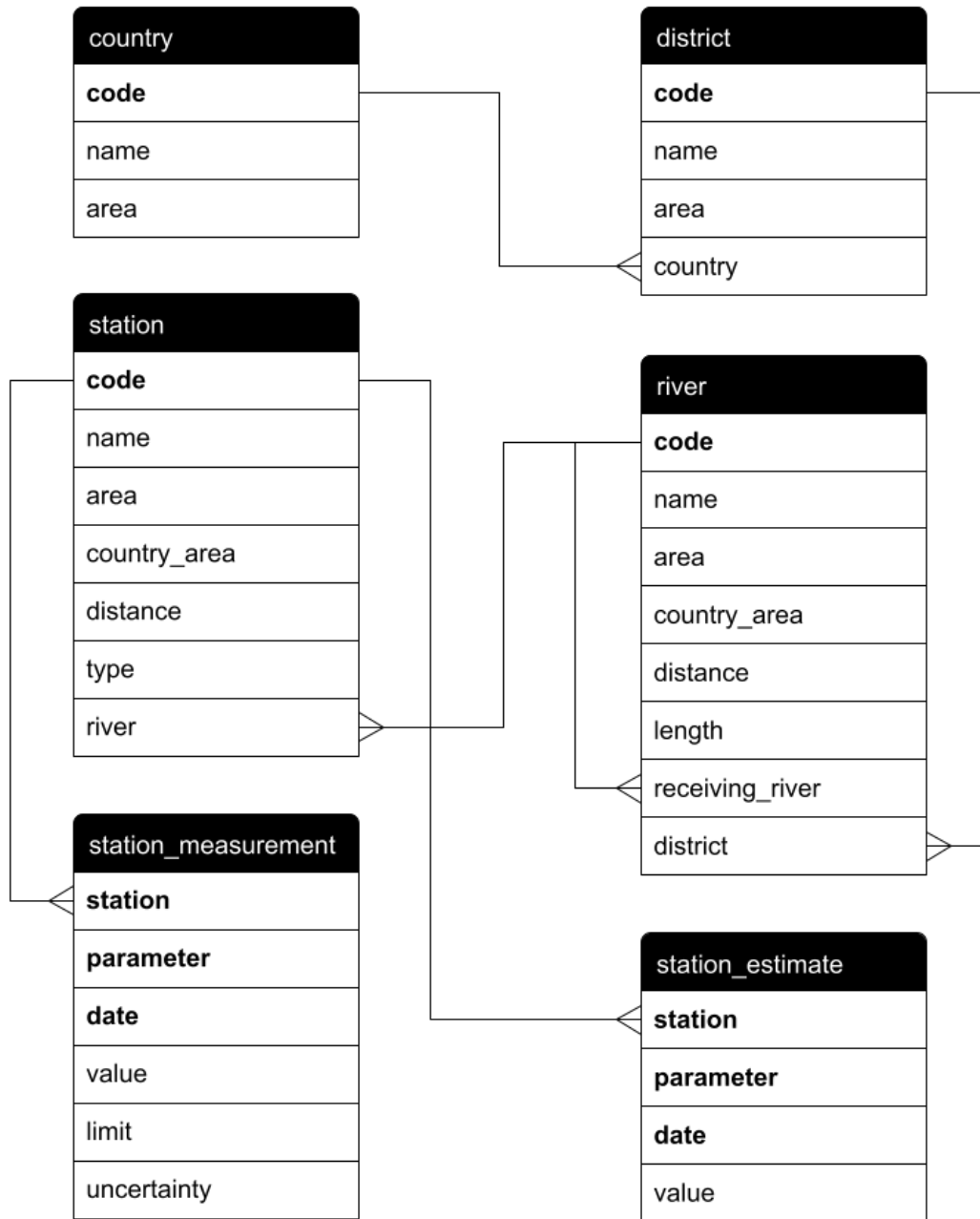
### 5.1.6 Hinnangud

Seirejaamade vooluhulkade ja reostuskoormuste hinnanguid hoitakse tabelis *station\_estimate* (tabel 6). Seirejaamade hinnangud arvutatakse interpoleeritud ja korrastatud mõõtmistulemuste põhjal. Nende abil saab ka teiste objektide hinnanguid arvutada. Hetkel on andmebaasis 6 368 891 hinnangut. Hinnangute unikaalsust kontrollitakse seirejaama koodi, näitaja koodi ja kuupäeva järgi.

Tabel 6. Andmebaasi tabeli *station\_estimate* andmeväljade nimi, tüüp ja kirjeldus.

<b>station_estimate</b>		
station	sõne	Seirejaama KKR kood
parameter	sõne	Näitaja kood
date	kuupäev	Hinnangu kuupäev
value	ujukomaarv	Hinnangu väärtus

Andmebaasi tabelite seoseid üksteise vahel on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Olem-seos andmemudel.

## 5.2 Algoritmid

### 5.2.1 Vooluhulga leidmine

Riigi maismaalt pärinev hinnanguline vooluhulk leitakse merre suubuvate jõgede sulgevate seirejaamade vooluhulkade ja valglate pindala suhte ehk äravoolumooduli ning riigi pindalaga:

$$Q_{riik} = S_{riik} \cdot \frac{\sum_n Q_{hy}}{\sum_n S_{hy}}, \quad (6)$$

kus  $Q_{riik}$  on riigi maismaalt pärinev hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{riik}$  on riigi maismaa pindala (ühik: km<sup>2</sup>),  $Q_{hy}$  on sulgeva hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{hy}$  on sulgeva hüdroloogia seirejaama valgla pindala (ühik: km<sup>2</sup>) ja  $n$  on sulgevate hüdroloogia seirejaamade arv. Sulgev seirejaam on vaadeldava vooluveekogu kõige suudmepoolsem seirejaam, kus mõõtmisi teostati. Sulgevaid seirejaamu võib jõel olla mitu, kui lisajõel, mis ühineb peajõega suudme ja peajõel asuva seirejaama vahel, on ka aktiivne seirejaam.

Lisaks leitakse vesikonnapõhised hinnangulised vooluhulgad maismaa aladelt. Eesti on jagatud kolmeks vesikonnaks: Lääne-Eesti, Ida-Eesti ja Koiva. Selleks otsitakse alguses sulgevaid seirejaamu vesikonna merre suubuvatelt jõgedelt ning vajadusel liigutakse edasi lisajõgedele. Vesikonna hinnangulist vooluhulka leitakse sarnaselt riigi hinnangulisele vooluhulgale (valem (6)) ja arvutatakse seosega:

$$Q_{vesikond} = S_{vesikond} \cdot \frac{\sum_n Q_{hy}}{\sum_n S_{hy}}, \quad (7)$$

kus  $Q_{vesikond}$  on vesikonna maismaa pärinev hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{vesikond}$  on vesikonna maismaa pindala (ühik: km<sup>2</sup>),  $Q_{hy}$  on sulgeva hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{hy}$  on sulgeva hüdroloogia seirejaama valgla pindala (ühik: km<sup>2</sup>) ja  $n$  on sulgevate hüdroloogia seirejaamade arv. Kui vesikonnast ei leitud ühtegi sulgevat hüdroloogia seirejaama, siis kasutatakse riigi sulgevaid hüdroloogia seirejaamu.

Jõe hinnanguline vooluhulk leitakse valemiga:

$$Q_{jõgi} = Q_{seirega} + Q_{seireta}, \quad (8)$$

kus  $Q_{jõgi}$  on jõe hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $Q_{seirega}$  on jõe seirega alalt hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s) ja  $Q_{seireta}$  on jõe seireta alalt hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s). Jõe seirega osa hinnangulise vooluhulga leidmiseks kasutatakse jõe sulgevaid hüdroloogia seirejaamu ja leitakse valemiga:

$$Q_{seirega} = \sum_n Q_{hy}, \quad (9)$$

kus  $Q_{seirega}$  on jõe seirega osa hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $Q_{hy}$  on jõe sulgeva hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s) ja  $n$  on sulgevate hüdroloogia seirejaamade arv.

Jõe seireta osa hinnangulise vooluhulga leidmiseks kasutatakse kahte lähenemist. Kui jõel, kuhu vaadeldav jõgi suubub, on suubumiskohast allavoolu aktiivne hüdroloogia seirejaam, siis jõe seiramata ala hinnanguline vooluhulk arvutatakse valemiga:

$$Q_{seireta} = S_{seireta} \cdot \frac{(Q_{alumine\ hy} - \sum_n Q_{ülemine\ hy})}{(S_{alumine\ hy} - \sum_n S_{ülemine\ hy})}, \quad (10)$$

kus  $Q_{seireta}$  on jõe seireta osa hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{seireta}$  on jõe seireta osa pindala, mis leitakse jõe pindala ja sulgevate hüdroloogia seirejaamade valglate pindalade summa vahega (ühik: km<sup>2</sup>),  $Q_{alumine\ hy}$  on suubumiskohast allavoolu jääva aktiivse hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $Q_{ülemine\ hy}$  on suubumiskohast allavoolu jääva aktiivse hüdroloogia seirejaama sulgeva hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{alumine\ hy}$  on suubumiskohast allavoolu jääva aktiivse hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{ülemine\ hy}$  on suubumiskohast allavoolu jääva aktiivse hüdroloogia seirejaama sulgeva hüdroloogia seirejaama pindala (ühik: km<sup>2</sup>) ja  $n$  on sulgevate hüdroloogia seirejaamade arv. Kui jõel, kuhu vaadeldav jõgi suubub, ei ole suubumiskohast allavoolu aktiivset hüdroloogia seirejaama, siis jõe seiramata ala hinnanguline vooluhulk arvutatakse valemiga:

$$Q_{seireta} = S_{seireta} \cdot \frac{\sum_n Q_{hy}}{\sum_n S_{hy}}, \quad (11)$$

kus  $Q_{seireta}$  on jõe seireta osa hinnanguline vooluhulk (ühik: m<sup>3</sup>/s),  $S_{seireta}$  on jõe pindala (ühik: km<sup>2</sup>),  $Q_{hy}$  on jõega sama vesikonna sulgeva hüdroloogia seirejaama vooluhulk (ühik:

$m^3/s$ ),  $S_{hy}$  on jõega sama vesikonna sulgeva hüdroloogia seirejaama valgla pindala (ühik:  $km^2$ ) ja  $n$  on sulgevate hüdroloogia seirejaamade arv. Kui vesikonnast ei leitud ühtegi sulgevat hüdroloogia seirejaama, siis kasutatakse riigi sulgevaid hüdroloogia seirejaamu.

Jõe mistahes punkti ehk lävendi hinnangulise vooluhulga leidmiseks kasutatakse jõe seireta ala arvutamise loogikat valitud lävendist ning lisaks arvestatakse lävendi ja sellest lävendist allavoolu jääva hüdroloogia seirejaama vaheliste lisajõgedest lisanduvaid hinnangulisi vooluhulkasid.

## 5.2.2 Reostuskoormuse leidmine

Hinnangulise reostuskoormuse arvutamiseks hüdrokeemia seirejaamas on kaks sammu. Esimeseks leitakse vooluhulk hüdrokeemia seirejaama lävendis kasutades peatükis 5.2.1 toodud seoseid vooluhulga arvutamiseks igas jõe mistahes lävendis. Teiseks leitakse leitud vooluhulga ja aine kontsentratsioonide põhjal hinnangulised reostuskoormused kasutades valemit (2).

Jõe mistahes lävendi hinnangulise reostuskoormuse leidmiseks kasutatakse peatüki 5.2.1 vooluhulga hindamise arvutusloogikat, sest antud töös on reostuskoormuse dünaamika sarnane vooluhulga omale.

## 5.3 Veebiliides

Tulemuseks on üle veebi kasutatav teenus, kuhu kasutajad saavad saata *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) [17] päringuid kasutades HTTP meetodeid *GET*, *POST*, *PUT*, *DELETE*. Veebiliidese abil on *GET* käsuga võimalik andmeid pärida, *POST* ja *PUT* käsuga andmeid lisada/asendada ja *DELETE* käsuga andmeid kustutada. Nende päringute täitmiseks genereeritakse vajaminevad *Structured Query Language* (SQL) [18] päringud, mis edastatakse andmebaasile. Andmebaasilt saadud andmetega tehakse soovitud arvutused ning need tagastatakse kasutajale *JavaScript Object Notation* (JSON) formaadis [19].

### 5.3.1 Riigid

*POST* päringu saatmisel aadressile */countries* riigi andmetega (joonis 5), mis ühilduvad riigi andmetabeliga (tabel 1), lisatakse see riik andmebaasi.

```
{
  "code" : "EE",
  "name" : "Eesti",
  "area" : 45396.9
}
```

Joonis 5. Näidisandmed Eesti riigi lisamiseks.

*GET* päringu saatmisel aadressile */countries* saab vastuseks riikide loetelu. Loetelust saab otsida riigi koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */countries/{country-code}*, kus *country-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud riigi kood, saab vastuseks ainult selle riigi andmed.

*DELETE* päringu saatmisel aadressile */countries/{country-code}*, kus *country-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud riigi kood, kustutatakse selle riigi andmed ning sinna riiki kuuluvad vesikonnad, vooluveekogud, seirejaamad koos mõõtmistulemustega ja hinnangutega andmebaasist.

### 5.3.2 Vesikonnad

*POST* päringu saatmisel aadressile */countries/{country-code}/districts*, kus *country-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud riigi kood, vesikonna andmetega (joonis 6), mis ühilduvad vesikonna andmetabeliga (tabel 2), lisatakse see vesikond andmebaasi ja seotakse selle riigiga.

```
{
  "code" : "EE1",
  "name" : "Lääne-Eesti vesikond",
  "area" : 23478.0
}
```

Joonis 6. Näidisandmed Lääne-Eesti vesikonna lisamiseks.

*GET* päringu saatmisel aadressile */districts* saab vastuseks loetelu kõikidest vesikondadest. Loetelust saab otsida vesikonna koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */countries/{country-code}/districts*, kus *country-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud riigi kood, saab vastuseks loetelu selle riigi vesikondadest. Loetelust saab otsida vesikonna koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */districts/{district-code}*, kus *district-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vesikonna kood, saab vastuseks selle vesikonna andmed.

*DELETE* päringu saatmisel aadressile */districts/{district-code}*, kus *district-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vesikonna kood, kustutatakse selle vesikonna andmed ning sinna vesikonda kuuluvad vooluveekogud, seirejaamad koos mõõtmistulemustega ja hinnangutega andmebaasist.

### 5.3.3 Vooluveekogud

*POST* päringu saatmisel aadressile */districts/{district-code}/rivers*, kus *district-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vesikonna kood, vooluveekogu andmetega (joonis 7), mis ühilduvad vooluveekogude andmetabeliga (tabel 3), lisatakse see vooluveekogu andmebaasi ja seotakse selle vesikonnaga.

```
{
  "code" : "VEE1123500",
  "name" : "Pärnu jõgi",
  "area" : 6734.1,
  "countryArea" : 6732.1,
  "distance" : 0.0,
  "length" : 144.0
}
```

Joonis 7. Näidisandmed Pärnu jõe lisamiseks.

*POST* päringu saatmisel aadressile */rivers/{river-code}/tributaries*, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vooluveekogu kood, vooluveekogu andmetega (joonis 7), mis ühilduvad vooluveekogude andmetabeliga (tabel 3), lisatakse see vooluveekogu andmebaasi ja seotakse lisajõeks.

*GET* päringu saatmisel aadressile */rivers* saab vastuseks loetelu kõikidest vooluveekogudest. Loetelust saab otsida vooluveekogu koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */countries/{country-code}/rivers*, kus *country-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud riigi kood, saab vastuseks loetelu selle riigi vooluveekogudest. Loetelust saab otsida vooluveekogu koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */districts/{district-code}/rivers*, kus *district-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vesikonna kood, saab vastuseks loetelu selle vesikonna

vooluveekogudest. Loetelust saab otsida voluueekogu koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */rivers/{river-code}/tributaries*, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud jõe kood, saab vastuseks loetelu selle jõe lisajõgedest. Loetelust saab otsida jõe koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, filtreerida jõe kauguse järgi suudmest (*distance*), piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */rivers/{river-code}*, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud voluueekogu kood, saab vastuseks selle voluueekogu andmed. Kauguse (*distance*) täpsustamisel saab vaadata ka voluueekogu pikkust ja valgla pindala soovitud lãvendil.

*DELETE* päringu saatmisel aadressile */rivers/{river-code}*, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud voluueekogu kood, kustutatakse selle voluueekogu andmed ning sellele voluueekogule kuuluvad lisajõed, seirejaamad koos mõõtmistulemustega ja hinnangutega andmebaasist.

#### 5.3.4 Seirejaamad

*POST* päringu saatmisel aadressile */rivers/{river-code}/stations*, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud voluueekogu kood, seirejaama andmetega (joonis 8), mis ühilduvad seirejaama andmetabeliga (tabel 4), lisatakse see seirejaam andmebaasi ja seotakse selle voluueekoguga.

```
{
  "code" : "SJA8483000",
  "name" : "Pärnu jõgi: Oore",
  "area" : 5159.3,
  "countryArea" : 5159.3,
  "distance" : 26.0,
  "type" : "hydrochemical"
}
```

Joonis 8. Näidisandmed seirejaama Oore lisamiseks.

*GET* päringu saatmisel aadressile */stations* saab vastuseks loetelu kõikidest seirejaamadest. Loetelust saab otsida seirejaama koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, filtreerida seirejaama tüübi (*type*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */countries/{country-code}/stations*, kus *country-code* on ühe eelnevalt lisatud riigi kood, saab vastuseks loetelu selle riigi seirejaamadest. Loetelust

saab otsida seirejaama koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, filtreerida seirejaama tüübi (*type*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */districts/{district-code}/stations*, kus *district-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vesikonna kood, saab vastuseks loetelu selle vesikonna seirejaamadest. Loetelust saab otsida seirejaama koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, filtreerida seirejaama tüübi (*type*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */rivers/{river-code}/stations*, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vooluveekogu kood, saab vastuseks loetelu selle vooluveekogu seirejaamadest. Loetelust saab otsida seirejaama koodi (*code*) ja nime (*name*) järgi, filtreerida seirejaama kauguse järgi suudmest (*distance*) ja seirejaama tüübi (*type*) järgi, piirata loetelu pikkust (*limit*) ning määrata alguspunkti (*offset*).

*GET* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, saab vastuseks selle seirejaama andmed.

*DELETE* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, kustutatakse selle seirejaama andmed ning sellele seirejaamale kuuluvad mõõtmistulemused ja hinnangud andmebaasist.

### **5.3.5 Mõõtmistulemused**

*PUT* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}/measurements*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, mõõtmistulemusega (joonis 9), mis ühilduvad seirejaama mõõtmistulemuste andmetabeliga (tabel 5), lisatakse need mõõtmistulemused andmebaasi ja seotakse selle seirejaamaga. Kuna see käsk võib asendada olemasolevaid mõõtmistulemusi, on vajalik täpsustada päringuga saadetud mõõtmistulemuste näitaja kood (*parameter*), algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*). Mõõtmistulemuste veebiteenusele saatmisel kontrollitakse nõutud andmeväljade väärtuste olemasolu ja mõõtmiskuupäevade unikaalsust.

```
[ {  
  "parameter" : "tn",  
  "date" : "2020-01-06",  
  "value" : 3.1,  
  "limit" : null,  
  "uncertainty" : 20  
} ]
```

Joonis 9. Näidis seirejaamale 01.06.2020 mõõdetud üldlämmastiku (*TN*) kontsentratsiooni 3.1 mg/l lisamiseks.

*GET* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}/measurements*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, saab vastuseks kõik selle seirejaama mõõtmistulemused. Mõõtmistulemusi saab filtreerida näitaja (*parameter*), algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*) alusel.

*DELETE* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}/measurements*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, kustutatakse selle seirejaama mõõtmistulemused andmebaasist. Täpsustada tuleb ka näitaja (*parameter*), algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*).

### 5.3.6 Hinnangud

*DELETE* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}/estimates*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, loob mõõtmistulemuste põhjal seirejaama hinnangud. Täpsustada tuleb ka näitaja (*parameter*), algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*). Reostuskoormuse arvutamisel vajadusel korrigeeritakse aine kontsentratsiooni väärtusi vastavalt valemile (3) ja arvutatakse lineaarse interpoleerimise abil puuduvad väärtused aastate lõikes. Vooluhulga (*Q*) hinnangute loomiseks hüdrokeemia seirejaamadesse peavad enne hüdroloogia seirejaamade vooluhulkade mõõtmistulemused andmebaasi lisatud olema. Samuti peab koormuste hinnangute loomiseks olema vooluhulga hinnangud loodud.

*GET* päringu saatmisel aadressile */stations/{station-code}/estimates*, kus *station-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud seirejaama kood, saab vastuseks selle seirejaama hinnangud (joonis 10). Vaikimisi tagastatakse kõik aastased vooluhulga hinnangud. Tulemust saab muuta näitaja (*parameter*), ajasammu (*time-step*) algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*) täpsustamisega.

```
[ {
  "parameter" : "tn",
  "date" : "2020-12-31",
  "value" : 5118734.20495775,
  "unit" : "kg"
} ]
```

Joonis 10. Näidis 2020 aasta üldlämmastiku (TN) koormusehinnang.

GET päringu saatmisel aadressile `/rivers/{river-code}/estimates`, kus *river-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vooluveekogu kood, saab vastuseks selle vooluveekogu hinnangud. Vaikimisi tagastatakse kõik aastased vooluhulga hinnangud. Tulemust saab muuta näitaja (*parameter*), kauguse vooluveekogu suudmest (*distance*), valgla pindala (*area*), ajasammu (*time-step*) algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*) täpsustamisel.

GET päringu saatmisel aadressile `/districts/{district-code}/estimates`, kus *district-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud vesikonna kood, saab vastuseks selle vesikonna hinnangud. Vaikimisi tagastatakse kõik aastased vooluhulga hinnangud. Tulemust saab muuta näitaja (*parameter*), ajasammu (*time-step*) algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*) täpsustamisel.

GET päringu saatmisel aadressile `/countries/{country-code}/estimates`, kus *country-code* on ühe eelnevalt andmebaasi lisatud riigi kood, saab vastuseks selle riigi hinnangud. Vaikimisi tagastatakse kõik aastased vooluhulga hinnangud. Tulemust saab muuta näitaja (*parameter*), ajasammu (*time-step*) algus- (*start-year*) ja lõppaasta (*end-year*) täpsustamisel.

## 5.4 Arhitektuur

Lõputöö tulemusena on loodud veebiteenus, mis vastab varem välja toodud nõuetele. Tehniliselt on töö jagatud kolmeks projektiks. Esimene on tuum, kus on defineeritud üldised arvutusvalemid ja arvutusteks vajaminevad objektide väljad. Teiseks seotakse esimeses projektis defineeritud objektid andmebaasiga, mille tulemusena on võimalik nendes sisalduvaid andmeid salvestada, muuta ja kustutada. Viimases projektis on kirjeldatud veebiliides ehk meetodid, mida saab üle veebi käivitada.

Veebiteenus vajab sobivat veebiserverit ja andmete hoidmiseks andmebaasi. Veebiserver peab haldama andmebaasi ühendusi ja kasutajakontosid.

## 5.5 Kasutatud tehnoloogiad ja keeled

### 5.5.1 Java programmeerimiskeel

Loodud veebiteenus on kirjutatud täielikult Java programmeerimiskeeles [20]. Keele spetsifikatsiooni järgi on Java programmeerimiskeel lihtne üldotstarbeline klassipõhine objektorienteeritud keel. Kuna Java on tugevalt ja staatiliselt tüübitud ning on turvaline keel, sobib see ideaalselt veebiteenuste arendamiseks.

### 5.5.2 Jakarta Persistence

Jakarta Persistence on Java rakendusliides andmete püsivaks salvestamiseks ja objektide vaheliste seoste haldamiseks, mis on mõeldud relatsiooniliste andmebaaside kasutamiseks [21]. Veebiteenus kasutatakse EclipseLink-i [22], mis realiseerib Jakarta Persistence rakendusliidest.

### 5.5.3 Jakarta RESTful Web Services

Jakarta RESTful Web Services [23] on Java rakendusliides veebiteenuste arendamiseks *Representational State Transfer* (REST) stiilis [24]. Veebiteenus kasutatakse Eclipse Jersey-t [25], mis realiseerib Jakarta RESTful Web rakendusliidest.

### 5.5.4 Jakarta Bean Validation

Jakarta Bean Validation pakub Java objekti tasemel piiranguid ja valideerimise võimalust [26]. Selle abil saab määrata objektide väljadele tingimused, millele väljade väärtused peavad vastama. Objekte valideeritakse, kui veebiteenusesse saadetakse salvestamiseks või töötlemiseks andmeid, millest pannakse serveri pool kokku objektid.

## 5.6 Autentimine ja autoriseerimine

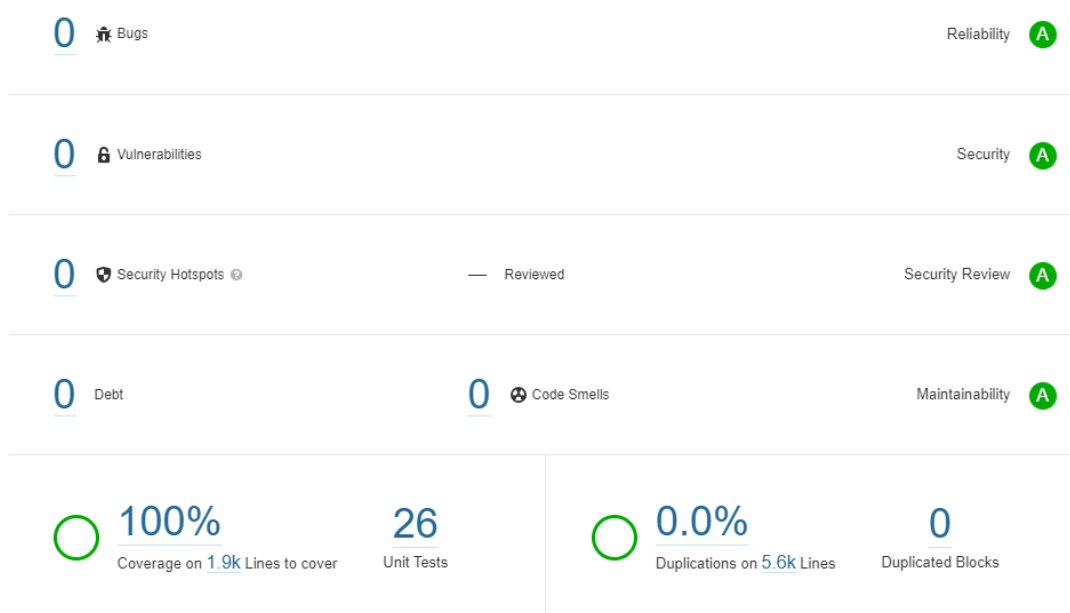
Kõik veebiteenuse ressursid, kus midagi lisatakse, muudetakse või kustutatakse, nõuavad *HTTP Over TLS* ühendust [27] ja on kaitstud kasutades *HTTP Basic Authentication*'it [28]. Kaitstud ressursi kasutamiseks tuleb päringule lisada päis nimega "Authorization", väärtusega "Basic", millele järgneb tühikuga *Base64* kodeeringus [29] kasutajanimi ja parool, mis on eraldatud kooloniga. Ilma "Authorization" päiseta või väärpäise väärtusega päringut tehes vastab server staatusega 401 ning autentiseerimist nõudva päisega "www-authenticate", mille väärtuseks on "Basic realm="EstModel"".

## 5.7 Majutamine

Valminud veebiteenusele pakub majutust Keskkonnaministeeriumi Infotehnoloogiakeskus (KeMIT) [10]. Veebiteenus on kasutatav aadressil <https://estmodel.envir.ee/>. Keskkonnaministeeriumi (KeM) [30] haldusala tehnoloogilise profiili [31] järgi on rakendusserveriks Apache Tomcat [32] ja andmebaasiks PostgreSQL [33]. Paigaldamisel on vaja lisada serverile vastav andmebaasi draiver ning lisada konfiguratsiooni andmebaasi ühendus nimega “jdbc/estmodel” ja kasutajad rolliga “estmodel-admin”. Rakendusserveriks sobivad kõik veebiserverid, mis toetavad Jakarta Servlet 5.0 [34] versiooni. Andmebaas peab ühilduma EclipseLink-iga [22].

## 5.8 Testimine

Äriloogika üksuste testimiseks kasutatakse JUnit [35] testimisteedi, veebiteenuse testimiseks rakendatakse veel lisaks Jersey testraamistikku [36] koos Apache Derby [37] andmebaasiga ning Jacoco [38] abil arvutatakse testide kattuvust. Joonisel 11 olevad SonarCube [13] analüüsitulemused näitavad, et lähtekood on kvaliteetne ja kõik lähtekoodi read on testidega kaetud. Loodud veebiteenuse jõudlustestid näitavad, et riigi ja vesikonna hinnanguliste reostuskoormuste arvutamine on ressursikulukam kui jõgede ja hüdrokeemia seirejaamade omad (tabel 7). Lisaks veebiteenuse jõudluse testimine samaaegse saja kunstliku kasutajaga näitab, et tavapäringute kiirus jäi alla viie sekundi. Seega prognoositava kasutajate kogusega saab veebiteenus hakkama.



Joonis 11. SonarCube [13] lähtekoodi analüüsi tulemus.

Tabel 7. Veebiteenuse jõudlustesti tulemused.

Aadress	Külastuste arv	Keskmine (ms)	Standardhälve	Läbivus sekundis
/countries	100	0	0,50	101,01
/districts	100	0	0,51	100,60
/rivers	100	1	0,47	100,81
/stations	100	0	0,26	100,60
/countries/EE/estimates	100	2535	936,71	22,18
/districts/EE1/estimates	100	472	150,96	66,09
/rivers/VEE1123500/estimates	100	21	2,27	99,01
/stations/SJA8483000/estimates	100	2	0,32	100,91

## 6. Kasutus

Loodud veebiteenust kasutatakse Keskkonnaagentuuris nii rahvuslikul kui ka rahvusvahelisel tasemel.

- Veebiteenusest päritakse HELCOM PLC raporti jaoks seiratud jõgede hüdrokeemia seirejaamade hinnangulisi vooluhulki ja reostuskoormusi. Lisaks kasutatakse päringu tulemusi raporti seiramata alalt veega leviva reostuskoormuse hindamise sisendiks. Tulemused edastatakse rahvusvahelisse HELCOM PLC-Water andmebaasi [39].
- Hinnangulisi vooluhulkasid ja toitainete reostuskoormuseid kasutatakse agentuuris arenduses oleva valglalt aastase toitainete ärakande hinnangumudeli ehk EstModeli [40] sisendiks.
- Igapäevaste hüdroloogia seirejaamade vooluhulkadega täidetakse WISE-3 raportit [41].
- Hüdrokeemia seirejaamade hinnangulisi reostuskoormusi raporteeritakse WISE-1 [42] raames.
- Veebiteenuse abil leitud vooluveekogumite suudmepoolsete lävendite hinnangulisi vooluhulkasid ja ökoloogilisi miinimumvooluhulkasid kasutati Veemajanduskava veeseireprogrammi vooluveekogumite grupeerimise (keemilise seisundi ülekandmiseks) meetodika loomiseks.
- Bakalaureusetöö esitamise hetkeks on hinnangulisi vooluhulki ja reostuskoormusi kasutatud Keskkonnaagentuurile esitatud 11-le teabenõudele vastamiseks.

## 7. Kokkuvõte

Eestil, mis asub ühe maailma kõige tugevama inimõju all oleva mere, Läänemere, kaldal, on rahvusvaheline kohustus iga-aastaselt raporteerida Eesti alalt veega Läänemerre jõudvaid reostuskoormuseid. Reostuskoormus on hinnanguline suurus, mida arvutatakse seiratud vooluhulga ning uuritava aine kontsentratsiooni järgi. Hinnanguliste reostuskoormuste sisendiks olevad andmed on tihti mõõdetud samal jõel erinevates seirejaamades, erineva ajalise sammuga ja lisaks hoiustatakse erinevates andmebaasides. Seepärast vajab reostuskoormuste hinnangute arvutamine lisateisendusi, andmete kombineerimist ja on ressursikulukas. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli luua valglate hinnanguliste reostuskoormuste veebiteenus, mis oleks kergesti kasutatav ja pakuks masinloetavaid andmeid.

Bakalaureusetöö raames loodi valglate hinnanguliste reostuskoormuste veebiteenus, kust saab pärida (1) riigi, vesikondade, jõgede ja seirejaamade üldandmeid; (2) riigi, vesikondade, jõgede ja seirejaamade hinnangulisi vooluhulki ning reostuskoormusi; (3) riigi vesikondade, vooluveekogude ja seirejaamade nimekirju; (4) vesikonna vooluveekogude ja seirejaamade nimekirju; (5) jõgede lisajõgede ja seirejaamade nimekirju; (6) seirejaamade mõõtmistulemusi. Selleks loodi andmemudel, kirjeldati hinnangulise vooluhulga ja reostuskoormuse arvutamise loogikat seireandmete põhjal igas Eesti punktis ning loodi vastav veebiliides.

Töö autori jaoks on oluline, et loodud veebiteenus on juba aktiivselt kasutusele võetud Keskkonnaagentuuris. Seda kasutatakse nii riiklikele teabenõuetele vastamisel, analüüsi- ja arendusprojektide sisendiks kui ka rahvusvaheliste raporteerimiskohuste (HELCOM PLC, WISE-1, WISE-3) täitmiseks.

Lähitulevikus on plaanis loodud veebiteenusele juurde arendada veekogumite ja punktreostusallikate haldamise võimekus. Nii veekogumitele kui ka punktreostusallikatele saab hinnangulisi vooluhulki ja reostuskoormuseid pakkuda tuginedes juba loodud algoritmidele. Järgmiseks suureks sammuks on valglalt aastase toitainete ärakande hinnangumudeli ehk EstModeli lisamine veebiteenusesse koos mudeli sisendandmete kataloogiga.

## 8. Viidatud kirjandus

- [1] About us – HELCOM. <https://helcom.fi/about-us/> (01.05.2022).
- [2] Vooluhulgad | Keskkonnaagentuur. <https://ilmateenistus.ee/siseveed/ajaloolised-vaatlusandmed/vooluhulgad/> (01.05.2022).
- [3] KESE. <https://kese.envir.ee/> (01.05.2022).
- [4] Merekeskkonna kaitse | Keskkonnaministeerium. <https://envir.ee/keskkonnakasutus/merekeskkonna-kaitse> (06.05.2022).
- [5] Läänemere kaitse | Keskkonnaministeerium. <https://envir.ee/keskkonnakasutus/merekeskkonna-kaitse/laanemere-kaitse> (05.05.2022).
- [6] HELCOM PLC Water Guidelines 2022. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2022/04/HELCOM-PLC-Water-Guidelines-2022.pdf> (06.05.2022).
- [7] State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011–2016. <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/> (05.05.2022).
- [8] European Court of Auditors, *Läänemere eutrofeerumisega võitlemine: tuleb võtta rohkem ja mõjusamaid meetmeid*. Eriaruanne nr 03, 2016. Luxembourg: Publications Office, 2016.
- [9] KOTKAS. <https://kotkas.envir.ee/> (09.05.2022).
- [10] KeMIT. <https://www.kemit.ee/> (01.05.2022).
- [11] Keskkonnaministeeriumi haldusala mittefunktsionaalsed nõuded, 2021. <https://www.kemit.ee/sites/kemit/files/2022-01/KEM-haldusala-mittefunktsionaalsed%20n%C3%B5uded-2021-11-18.pdf> (01.05.2022).
- [12] ISO - ISO 8601 — Date and time format, ISO. <https://www.iso.org/iso-8601-date-and-time-format.html> (10.05.2022).
- [13] Code Quality and Code Security | SonarQube. <https://www.sonarqube.org/> (10.05.2022).
- [14] ISO - ISO 3166 — Country Codes. <https://www.iso.org/iso-3166-country-codes.html> (01.05.2022).
- [15] EELIS. <https://eelis.ee/> (03.05.2022).
- [16] Keskkonnaregister. <https://register.keskkonnaportaali.ee/register> (01.05.2022).
- [17] RFC 2616 - Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2616> (01.05.2022).
- [18] ISO - ISO/IEC 9075-1:2016 - Information technology — Database languages — SQL — Part 1: Framework (SQL/Framework). <https://www.iso.org/standard/63555.html> (01.05.2022).
- [19] JSON. <https://www.json.org/> (01.05.2022).
- [20] The Java® Language Specification. <https://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se17/html/index.html> (01.05.2022).
- [21] Jakarta Persistence. <https://jakarta.ee/specifications/persistence/3.0/jakarta-persistence-spec-3.0.html> (01.05.2022).
- [22] EclipseLink. <https://www.eclipse.org/eclipselink/> (01.05.2022).
- [23] Jakarta RESTful Web Services. <https://jakarta.ee/specifications/restful-ws/3.0/jakarta-restful-ws-spec-3.0.html> (01.05.2022).
- [24] Fielding Dissertation: CHAPTER 5: Representational State Transfer (REST). [https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest\\_arch\\_style.htm](https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm) (01.05.2022).
- [25] Eclipse Jersey. <https://eclipse-ee4j.github.io/jersey/> (01.05.2022).
- [26] Jakarta Bean Validation specification. <https://beanvalidation.org/2.0/spec/> (01.05.2022).

- [27] RFC 2818 - HTTP Over TLS. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2818> (01.05.2022).
- [28] RFC 2617 - HTTP Authentication: Basic and Digest Access Authentication. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2617> (02.05.2022).
- [29] RFC 4648 - The Base16, Base32, and Base64 Data Encodings. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4648> (01.05.2022).
- [30] Keskkonnaministerium. <https://envir.ee/> (01.05.2022).
- [31] KeM haldusala tehnoloogiline profiil, 2021. <https://www.kemit.ee/sites/kemit/files/2022-02/KEM-haldusala-tehnoloogiline-profiil-2021-11-18.pdf> (02.05.2022).
- [32] Apache Tomcat. <https://tomcat.apache.org/> (01.05.2022).
- [33] PostgreSQL. <https://www.postgresql.org/> (01.05.2022).
- [34] Jakarta Servlet Specification. <https://jakarta.ee/specifications/servlet/5.0/jakarta-servlet-spec-5.0.html> (01.05.2022).
- [35] JUnit 5. <https://junit.org/junit5/> (10.05.2022).
- [36] Jersey Test Framework. <https://eclipse-ee4j.github.io/jersey.github.io/documentation/latest/test-framework.html> (10.05.2022).
- [37] Apache Derby. <https://db.apache.org/derby/> (10.05.2022).
- [38] EclEmma - JaCoCo Java Code Coverage Library. <https://www.eclEmma.org/jacoco/index.html> (10.05.2022).
- [39] Helcom PLC. [http://nest.su.se/helcom\\_plc/](http://nest.su.se/helcom_plc/) (09.05.2022).
- [40] EstModel. <https://estmodel.app/et/> (09.05.2022).
- [41] WISE SoE - Water Quantity (WISE-3). [https://cdr.eionet.europa.eu/help/WISE\\_SoE/wise3](https://cdr.eionet.europa.eu/help/WISE_SoE/wise3) (09.05.2022).
- [42] WISE SoE - Emissions (WISE-1). [https://cdr.eionet.europa.eu/help/WISE\\_SoE/wise1](https://cdr.eionet.europa.eu/help/WISE_SoE/wise1) (09.05.2022).

## **Lisad**

### **I. Litsents**

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

Mina, Eero Pihelgas

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Veebiteenus valglate hinnanguliste reostuskoormuste“, mille juhendajad on Kristi Uudeberg ja Helle Hein, 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 litsentsiga CC BY NC ND 3.0, 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.

*Eero Pihelgas*

**10.05.2022**