

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond

Meresüsteemide instituut

**KÄINA LAHE VEETASEME MUUTLIKKUS**

**Bakalaureusetöö**

**Natalia Novak**

Juhendaja: Taavi Liblik, PhD

Tallinn 2017

## Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

Töö autor: Natalia Novak

*(allkiri ja kuupäev)*

Juhendaja: Taavi Liblik

*(allkiri ja kuupäev)*

Kaitsmiskomisjoni esimees: Lubatud kaitsmisele

## LÜHIKOKKUVÕTE

Käina laht on peaaegu suletud ja väga madal veekogu, mis on Väinamere ja Vaemla lahega ühenduses kolme kanali kaudu. Töös keskendutakse Käina lahe veetaseme muutlikkusele ja veevahetusele avamerega.

Töö käigus digitaliseeriti Käina lahe veeregulaatorite päeviku andmed. Lisaks kasutatakse töös 2017. aprillis ja mais tehtud veeparameetrite mõõdistuse andmeid ning Heltermaa rannikujaama veetaseme- ja Vilsandi ilmajaama tuuleandmete aegridasid.

Bakalaureusetöös leiti, et vee kõrgseis Käina lahes on novembrist märtsini, lahele kriitiline madalveeseisu periood kestab aprillist juunini. Avamere veetaseme suuremad muutused, millele veetase Käina lahes reageerib teatud inertsiga, leiavad aset septembrist kuni märtsini, kui esinevad tugevamad tuuled. Veetaseme muutlikkus on Käina lahes väiksem, kui avameres. Käina lahes esineb kahte tüüpi veevahetust, mille iseloom sõltub avamere veetasemest. Kui veetase on kõrgem, tõuseb Vaemla lahe veetase tänu läbi Õunaku silma toimuvale transpordile kiiremini kui Käina lahe veetase ning seetõttu saabub avamere vett Käina lahte ka läbi Laisna kanali. Madalama veetaseme puhul on Õunaku silm valdavalt kuival ning soolase vee juurdevool Vaemla lahte (aga ka sealt äravool) toimub läbi Käina lahe. Edasised uuringud peavad eelkirjeldatud veevahetusrežiimide olemasolu kinnitama ja täpsustama.

Võtmesõnad: merevee tase, veevahetus, Läänemeri, rannikumere dünaamika.

## **ABSTRACT**

Käina Bay is almost isolated and very shallow marine area, which is connected to the Väinameri and Vaemla Bay via three channels. The work focuses on the sea level variations and water exchange in the Käina Bay.

Source materials of this work include: sea level data from Käina Bay that was digitalized from hand written daily journal in the frame of this work; time-series of several water parameters collected in April-May 2017 in the Käina Bay; sea level time-series from Heltermaa coastal station and wind time-series from Vilsandi meteorological station.

It was found that on average high water level in Käina Bay lasts from November until March and critically low water level period is from April until June. Most extreme changes in the sea level; onto which water level in the bay reacts with certain time lag, occur in the open sea from September until March, when stronger winds prevail. Sea level variability in the Käina Bay is smaller comparing to open sea. Two types of water exchange regime occur in the Käina Bay, which depend on the water level in the open sea. In the case of higher sea level water in the Vaemla Bay rises faster due to transport through Õunaku sill comparing to Käina Bay and as a consequence, open sea water arrives to the Käina bay also through Laisna channel. In the case of lower sea level water exchange through Õunaku sill does not occur and therefor saltier water inflow (outflow) to (from) the Vaemla Bay occurs through Käina Bay. Further investigations must confirm and specify the suggested water exchange regimes.

Keywords: sea level, water exchange, Baltic Sea, coastal sea dynamics.

## SISUKORD

Lühikokkuvõte .....	2
Abstract .....	3
Sissejuhatus .....	6
1. Taust.....	8
1.1 Läänemere veetaseme muutlikkus.....	8
1.1. Käina laht .....	11
2. Metoodika ja andmed.....	16
2.1 Andmed .....	16
2.2 Metoodika.....	18
3. Veetaseme muutlikkus .....	19
3.1 Pikaajaline muutlikkus ja keskmine aastane käik .....	19
3.2 Sagedusjaotused ning kõrg- ja madalveeseisude esinemine .....	24
3.3 Lühiajaline muutlikkus.....	26
4. Diskussioon ja järeldused.....	31
5. Kokkuvõttes .....	38
Kasutatud kirjandus.....	40
Lisad.....	43
Lisa 1 .....	43
Lisa 2 .....	44

Lisa 3 ..... 45

## SISSEJUHATUS

Käesoleva bakalaureusetöö uurimisobjektiks on Väinamere loodeosas, Hiiumaa ja Kassari saare vahel paiknev Käina laht. Käina laht kujutab endast peaaegu suletud madalaveelist veekogu, mille veevahetus toimub läbi kolme avause: Orjaku kanal, Orjaku silm ja Laisna (Vaemla) kanal (Leito, 1995). Orjaku kanal ning Orjaku silm ühendavad lahte ava-Väinamerega, Laisna (Vaemla) kanal ühendab Käina lahte Vaemla lahega, mis on Väinamerega omakorda ühendatud Õunaku silma kaudu. Käina laht moodustab ökosüsteemi, mis on tähtsaks kudemis- ja pesitsuskohaks mitmetele kala- ning veelinnuliikidele, mille seab ohtu lahe liiga madal veetaseme (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015). Probleemi lahendamiseks paigutati 1998. aastal Käina lahe kanalitele veeregulaatorid (vt. Lisa 1), mille ülesandeks oli madala mereseisu korral lahe optimaalse veetaseme hoidmine (Leito, 2012). Regulaatorid on ehitatud nii, et veetaseme langemisel -20 cm märgini takistavad kinni pandud luugid vee edasist väljavoolu lahest. Kui mereveetaseme on üle 20 cm, voolab vesi neist üle. Regulaatorite abil on mere madalveeseisu korral võimalik säilitada optimaalset veetaseme kaks-kolm nädalat (Leito, 2012). Tänapäevaks on vee regulaatorid amortiseerunud ning on otstarbekas uurida, kuidas lahendada Käina lahe veerežiimi ja veevahetusega seotud probleeme. Viimane veevahetuse uuring viidi läbi 1995. aastal (Leito, 1995) ning tänapäevaks võib lahe seisund olla oluliselt muutunud.

Lõputöö on osa TTÜ meresüsteemide instituudis läbi viidavast rakendusprojektist, mille lõpp-eesmärk on pakkuda välja alternatiivsed lahendused, mille rakendamisel oleks tagatud Käina lahe ja avamerevahelise veevahetuse säilimine, kalade pääs kudealadele, minimaalse veetaseme säilimine, Käina alevi reoveesüsteemide töö, laheäärsete maade senise kasutamise võimalused.

Töö eesmärgiks on kirjeldada Käina lahe veerežiimi, selgitada milline on veevahetus avamerega, ning kuidas Käina lahe veetaseme muutlikkus on seotud avamere veetaseme muutustega.

Tööeesmärgi saavutamiseks on autori poolt püstitatud järgmised uurimisülesanded:

- 1) Saada ülevaade uuritava ala varasematest uuringutest.
- 2) Saada ülevaade uuritava alaga seotud probleemidest.
- 3) Koguda ning digitaliseerida uuritava ala veetaseme vaatlusandmed.
- 4) Analüüsida ning kirjeldada uuritava ala veerežiimi, veetaseme muutlikkust ning selle põhjuseid vaatlusandmete alusel.

Käesolev töö on jaotatud viieks peatükiks. Esimene peatükk hõlmab taustamaterjali uuritava piirkonna ja veetaseme muutlikkuse kohta. Esimeses alapeatükis käsitletakse peamisi Läänemere veetaseme sesoonsete ning pika- ja lühiajaliste muutuste mõjureid ning üldiseid veetaseme trende, teises alapeatükis antakse Käina lahe üldiseloomustus. Teine peatükk kirjeldab töös kasutatud andmeid ning meetodikat. Kolmandas peatükis analüüsitakse ning võrreldakse Väinamere ja Käina lahe veetasemeid ning Vilsandi tuuleandmeid. Eelviimases peatükis diskuteeritakse Käina lahe veevahetusrežiimi üle ning selle mõju üle Käina lahe seisundile. Kokkuvõttes tuuakse välja töö olulisemad tulemused.

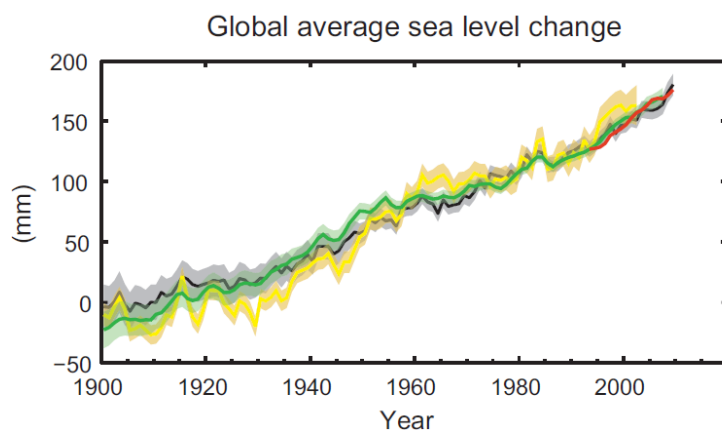


# 1. TAUST

## 1.1 Läänemere veetaseme muutlikkus

Veetaseme muutuse kirjeldamisel on kasutuses kaks mõistet: suhteline veetase (RSL, ingl. *Relative Sea Level*) ning tegelik veetase (ASL, ingl. *Actual Sea Level*). Jaamades mõõdetud veetaseme andmed näitavad veetaseme muutust ranniku suhtes, ehk see on suhteline veetaseme muutus. Tegeliku veetaseme muutuse arvutamiseks peab arvestama maakoore liikumise (kerkimine/vajumine) kiirust antud piirkonnas, seega tegelik veetaseme muutus on suhtelise veetaseme muutuse ja lokaalse maakoore liikumise summa. (Suursaar jt, 2009).

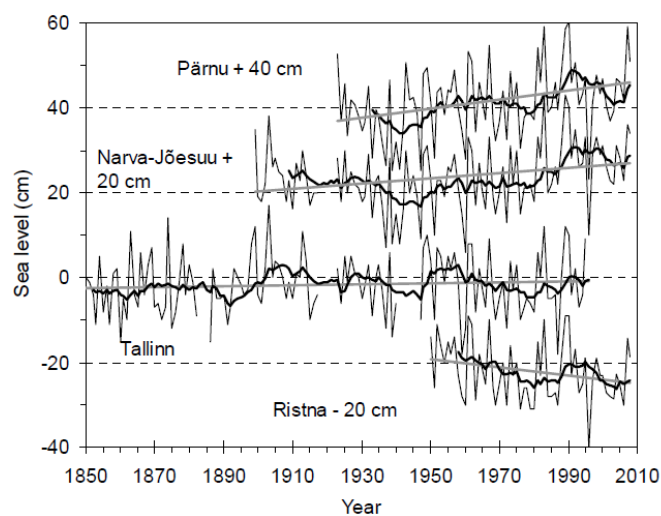
Läänemere pikaajalise suhtelise veetaseme muutuse taga on kolm peamist mõjutegurit: globaalse veetaseme muutumine, maakoore kerkimine või vajumine



Joonis 1.1.1. Keskmise ülemaailmse meretaseme (tegelik veetase) muutumine. Aegread näitavad iga-aastaseid keskmisi väärtusi, värvilised jooned viitavad erinevatele andmekogumitele, määramatuse hinnangud on näidatud varjunditega (IPCC 2013).

ning konkreetse piirkonna veetaseme muutumine (Suursaar jt. 2006, Suursaar jt. 2009).

Kaugseire ja instrumentaalsed merevee taseme andmed näitavad, et globaalne meretaseme tõus on aset leidnud alates 20. sajandi algusest (vt. Joonist 1.1.1), selle peamisteks põhjusteks on merevee termaalne paisumine ning järkjärguline liustike sulamine (IPCC 2013; Suursaar jt. 2006).



Joonis 1.1.2. Aastate keskmised suhtelised veetasemed (kuni 2008 aastani) koos 11-aastate libisevate keskmiste ning lineaarsete trendidega neljas Eesti jaamas. Aegread ei ole maapinna kerke kiirustega, mis on erinevates jaamades erinevad, korrigeeritud (vt tabel 1.1). Selguse huvides on jaamade aegread nihutatud üksteise suhtes (Suursaar jt. 2009).

Teiseks Läänemere pikaajalise suhtelise veetaseme muutuse põhjuseks on maakoore isostaatiline liikumine, mis on piirkondliku päritoluga ning erineb lokaalselt (Suursaar jt. 2006). Maakerge on kiireim Läänemere põhjaosas, vastavalt Soome veetaseme aegridade analüüsile (perioodil 1887-2002) paikneb postglatsiaalse maakerke kiirus vahemikus 8,9 mm aastas (Vaasas) kuni 3,1 mm aastas (Haminas) (Johansson jt. 2004). Läänemere lõunaosas toimub vajumine ca 1 mm aastas (Håkanson jt. 2004). Maakoore liikumise uuringutes on kindaks määratud, et

maakerke kiirused Eesti rannikualadel varieeruvad vahemikus 0,5 kuni 2,8 mm aastas (Vallner jt. 1988). Hiiumaa saare piirkonnas on maakerke kiirus vahemikus 2-3 mm aastas (Suursaar jt. 2006).

Eesti ranniku veetaseme aastate keskmiste väärtuste aegread näitavad meretaseme kasvamise tendentsi (joonis 1.1.2, tabel 1.1.1): maakerke kiiruse alusel olid arvutatud tegelikud veetaseme tõusu kiirused: 1,5 mm/a Tallinnas (1842–1995), 1,7 mm/a Narva-Jõesuus (1899–2008), 1,7 mm/a Ristnas (1950–2008) ja 2,7 mm/a Pärnus (1924–2008) (Suursaar jt. 2009).

Tabel 1.1.1. Aastate keskmiste veetasemete miinimumide, maksimumide ja keskmiste trendid erinevates jaamades ning ajavahemikel. Tegeliku veetaseme (ASL) tõusu kiirus on suhtelise veetaseme (RSL) tõusu kiiruse ning lokaalse maapinna kerke kiiruse (mm/a) summa (Suursaar jt. 2009).

Jaam	Periood	Maakerge	Min		Max		Keskmine	
			RSL	ASL	RSL	ASL	RSL	ASL
Pärnu	1924-2008	1.5	1.6	3.1	2.9	4.4	1.2	2.7
	1946-2008	1.5	2.1	3.6	4.2	5.8	1.1	2.6
Ristna	1950-2008	2.6	-0.2	2.4	8.8	11.4	-0.9	1.7
Narva-J.	1899-2008	0.5	0.4	0.9	4.3	4.8	0.6	1.1
	1946-2008	0.5	1.0	1.5	7.1	7.6	1.7	2.2
Tallinn	1899-1995	1.8	0.1	1.9	1.9	3.7	-0.3	1.5
	1947-1995	1.8	-1.0	0.8	3.9	5.7	-0.3	1.5

Veetaseme muutuse veel üheks põhikomponendiks on vee bilanss Läänemeres tervikuna, need kõikumised on põhjustatud vee sisse- ja väljavooluga Taani väinade kaudu ning jõgede sissevooluga Läänemerre (Suursaar jt. 2006). Veevahetust reguleerivad peamiselt meteoroloogilised tingimused (tuulerežiim, õhurõhk), mis on tugevasti seotud Põhja-Atlandi atmosfäärirõhu muutlikkusega, ehk Põhja-Atlandi ostsillatsiooniga (NAO, ingl. *North Atlantic Oscillation*) (Johansson jt. 2004; Suursaar jt. 2006).

Atmosfääri mõju põhjustab veetaseme dekaadidevahelisi muutuseid, kuid selle toime on geograafiliselt heterogeenne. Läänemere võib vastavalt atmosfääri mõju osakaalule veetaseme pikaajalistele trendidele jagada kaheks: ühte ossa kuuluvad

Läänemere põhja- ja ida piirkonnad, kus see mõju on suur, teine osa hõlmab Läänemere atmosfäärse tsirkulatsiooni väiksema mõjuga lõuna piirkonda. (Karabil jt. 2017)

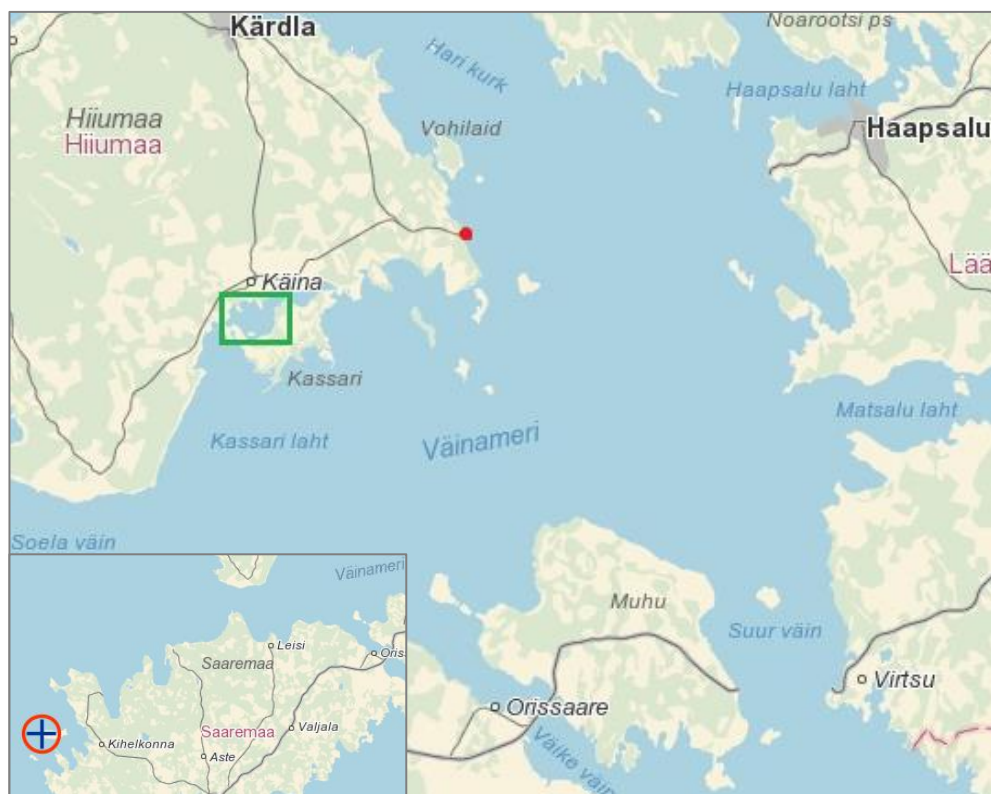
Veetaseme sesoonsed ja lühiajalised (mõnepäevased) muutused on üldiselt reguleeritud kohalike meteoroloogiliste protsessidega nagu õhurõhk ning tuule režiim (Johansson jt, 2004), mida omakorda tekitab Põhja-Atlandi kõrg- ja madalrõhu piirkondade muster. Hiiumaa piirkonnas on ekstreemsete kõrgete veeseisude puhul domineerivaks tuuleks on edelatuul. (Ekman, 1996; Ömblus, 2005; “The Baltic Sea Basin,” 2011)

Läänemere eripäraks on väga väike loodete energiatase. Samal ajal esinevad Läänemeres seisid, mis võivad esile kutsuda veetaseme muutuseid. (Leppäranta & Myrberg, 2009)

## **1.2 Käina laht**

Väinameri on suhteliselt väike Mandri-Eesti läänerranniku ja Lääne-Eesti saarestiku vahel paiknev mereala. Selle pindala on 2243 km<sup>2</sup> ja maht 10,6 km<sup>3</sup>. Viis kitsast väina ühendavad Väinamerd ümbritsevate merealadega (joonis 1.2.1.). Kaks suuremat väina paiknevad piki N-S suunda, need on: Suur väin (laius 4 km, maksimaalne sügavus 22m, ristlõike pindala 0,04 km<sup>2</sup>) ning Hari kurk (laius 8 km, sügavus 10 m, ristlõike pindala 0,045 km<sup>2</sup>). Madalveeline Voosi kurk (laius 2 km, maksimaalne sügavus 2 m, ristlõike pindala 0,004 km<sup>2</sup>) paikneb Vormsi saare ja Noarootsi poolsaare vahel ning on Hari väinaga paralleelne. Väike väin, mis on Suure väinaga paralleelne, on suletud ehitatud tammteega ning arvestatavat veevahetust seal ei toimu. Soela väin (4 km, 4 m, 0,01 km<sup>2</sup>) on ainus, kus veevahetus toimub piki W-E suunda ( Suursaar jt. 2001).

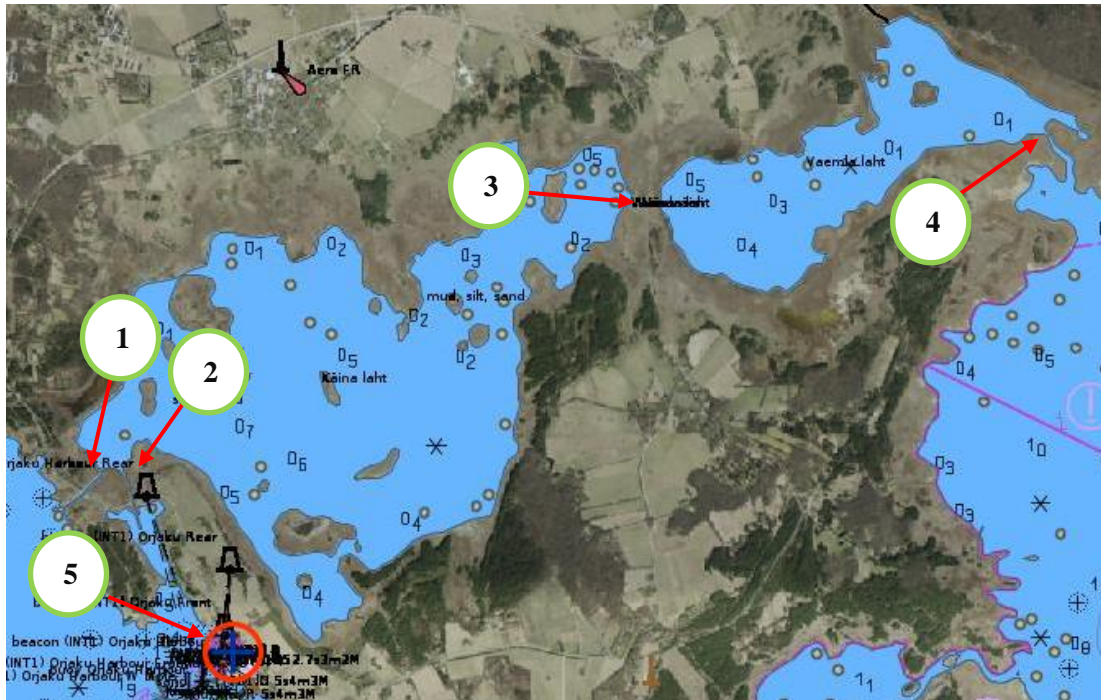
Väinamere loodeosas asub Käina laht (joonis 1.2.2.), mis on käesoleva bakalaureusetöö uurimisobjektiks.



Joonis 1.2.1. Väinameri ja viis väina, mis ühendavad seda ülejäänud Läänemerega: Suur väin, Väike väin, Soela väin, Hari kurk, Voosi kurk. Ristkülikuga on märgitud Käina lahe asukoht; punase täpiga – Heltermaa rannikujaama, sinise ristiga – Vilsandi ilmajaama asukohad. (Kaart: <http://xgis.maaamet.ee>)

Käina laht kujutab endast küllaltki unikaalset ala, see on suhteliselt isoleeritud, nõrga veevahetusega väga madal veekogu savimudase põhjaga. Lahe keskmine sügavus on 0,3-0,5 m; pindala 900 ha ja veemaht 4 milj. m<sup>3</sup>. Veevahetus teiste Väinamere osadega toimub kolme kitsa kanali kaudu (joonis 1.2.2), need on: Orjaku (Puulaiu) kanal, Orjaku silm, Laisna (Vaemla) kanal. Orjaku kanal on neist kolmest kõige laiem ja sügavam, seega on ta kõige suurema läbilaskevõimega (Kikas, 1995; Leito, 1995, 2012). Orjaku kanal ja Orjaku silm ühendavad Käina lahte ava-Väinamerega

ning Laisna kanal madala, poolsuletud Vaemla lahega. Vaemla laht on ühendatud ava-Väinamerega Õunaku silma kaudu.



Joonis 1.2.2. Käina laht ja Vaemla laht ning neid Väinamere teiste osadega ühendavad kanalid: 1 – Orjaku kanal, 2 – Orjaku silm, 3 – Laisna (Vaemla) kanal, 4 – Õunaku silm; 5 – Orjaku sadam. (Merekaart: <http://xgis.maaamet.ee>)

Veevahetus toimub Käina lahes hinnanguliselt 2-3 korda aasta jooksul (Leito, 1995, 1996, 2012). Kõik kolm lahe kanalit on selle protsessi jaoks olulised, kuid käituvad erinevalt sõltuvalt veetasemest avameres. Peale avamere veetaseme kõrguse mõjutavad Käina lahe veetaset ka sinna suubuvad allikad (on täheldatud vähemalt viite allikat) ning lahte voolav Selja peakraav (Leito, 1995, 2012). Veel üheks tähtsaks Käina lahe veetaseme mõjuriks on Vaemla jõgi, mis madala veeseisu korral voolab merre ainult läbi Käina lahe (muidu nii Käina kui ka Vaemla lahe kaudu). Vähemal määral mõjuvad lahe veetasemele sademed ja aurumine (Leito, 1995). Lahe täitumine mereveega kõrgveeseisu ajal toimub 3-7 päevaga, madalvee korral toimub lahe tühjenemine sama kiiresti, väga madala veetasemega paljandub 15-20% lahe pindalast (Leito, 2012).

Tänu madalusele tõuseb lahe vee temperatuur kevadeti kiiremini, luues soodsamaid kudemistingimusi kalade jaoks võrreldes naabermerealadega, seega on Käina laht potentsiaalselt oluliseks kudealaks säina, särje, ahvena ja kiisa jaoks (Kikas, 1995). Viimane kalastiku uuring näitas aga, et tänapäevaks on olukord muutunud ning särje ja ahvena arvukus Käina lahes on drastiliselt vähenenud, samas hõbekoger näitab pidevat arvukuse tõusu (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015; Vetemaa, 2010). Suurem osa kaladest lahkub lahest sigimisperioodi lõpus ning talvel on laht kaladest peaaegu tühi. Külmadel talvedel võib laht jäätuda praktiliselt põhjani (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015; Vetemaa, 2010).

Liiga madal veetase Käina lahes võib osutada probleemiks, kuna sellest sõltub kalade pääsemine oma kudemis- ja toitumisaladele. Eriti kriitiline olukord on kevadel, sest mereveetase on sellel ajal tavaliselt madal (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015; Leito, 2012).

Samuti ohustab kalu lahe ja mere vaheliste läbijooksude kinnikasvamine, kuna kalad võivad kanalitesse lõksu jääda (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015).

Oma madaluse, kaitstuse ja toidurikkuse tõttu on Käina laht ja seal asuvad laiud kogu Hiiumaa ranniku tähtsaim lindude, eriti veelindude, pesitsus- ja rändepeatuspaigaks ning toitumisalaks (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015; Kikas, 1995). Käina laht kuulub rahvusvahelise tähtsusega linnualade (nn IBA-de) ja märgalade (nn Ramsari alade) hulka (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015).

Väga madal veetase Käina lahes võib negatiivselt mõjuda selle piirkonna linnustikule. Käina lahel asuvatel saartel on pesitsevad linnud kaitstud röövlomade eest. (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015). Kui

veetase on väga madal ja röövloomadel tekib juurdepääs laidudele, siis on see linnustikule ohuteguriks.

Käina laht on üheks Eesti ravimudaleiukohaks, meremuda on ladestunud siia viimase 2000 aasta jooksul. Mudakihi paksus on mitu meetrit, levimise piirkond on 183 ha ning ravimuda kogumaht ligikaudu 1 miljon m<sup>3</sup>. (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015).

Aastast 2007 kuulub Käina laht Vabariigi Valitsuse vastu võetud määrusega nr 148 Käina lahe - Kassari maastikukaitseala alla (Looduskaitseadus, 2007). Kaitseala hakkas kujunema juba aastal 1939, kui kaitse alla võeti Käina lahe ravimuda, 1961. aastal võeti Käina laht kaitse alla kohaliku ornitoloogilise alana. Kaitseala kuulub ka Natura 2000 võrgustikku (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015).

1998. aastal rajati Käina lahe kanalitele regulaatorid, mille ülesandeks oli lahe veetaseme soovitud tasemel hoidmine (*Siirde-, poolsiirde- ja mageveeliste kalaliikide koelmualade taastamise programm*, 2015). Regulaatorite eesmärk oli ära hoida veetaseme langus lahes alla -20 cm, mis tagab kaladele võimaluse pääseda läbi kanalite liikuma (suurte luukide sisse ehitatud kalaluugid võimaldavad seda ka suletud luukide korral) ning ei lase lahe põhjal paljanduda suurel määral. Kriitilise madala mereseisu korral on võimalik regulaatorite abil hoida veetaset sobival tasemel kaks kuni kolm nädalat, mis on üldjuhul piisav, et vähemalt keskmise kõrgusega meretase taastuks (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015; Leito, 2012).

Aastal 2005 viidi läbi lahte merega ühendavate kanalite puhastus- ja süvendustööd, mis aitaks vältida kalade hukkumist suvekuudel ning võimaldaks kevadist kuderännet (*Siirde-, poolsiirde- ja mageveeliste kalaliikide koelmualade taastamise programm*, 2015).



## 2. METOODIKA JA ANDMED

### 2.1 Andmed

Töös kasutatud andmed Väinamere veetaseme ja tuule kohta on väljastatud Keskkonnaagentuuri poolt. Kasutati järgmiseid andmeid aastatest 1981 – 2016:

- iga kolme tunni tagant käsitsi mõõdetud 2 minuti keskmised tuule suunad ja 10 minuti keskmised kiirused (1981-2003) ning igatunnised (10 minutit enne täistundi), automaatjaamaga mõõdetud keskmised tuule suunad ja kiirused Vilsandilt (2003-2016);
- ööpäevased keskmised käsitsi mõõdetud (1981-2008) ja igatunnised automaatjaamaga mõõdetud (2009-2016) veetasemed Heltermaalt.

Veetasemed on välja toodud Balti Süsteemis. Balti Süsteem on Eestis kasutatav kõrgussüsteem, mille baastasemeks on pikaajaline keskmine veetase Kroonlinna veemõõdujaamas, millele on liidetud 500 cm (Õmblus, 2005).

Heltermaa veetaseme aegridades esineb lünkasid, käsitsi mõõdetud veetaseme puhul puuduvad andmed 314 päeva kohta ning automaadiga mõõdetud veetasemete puhul puuduvad 29 päeva kohta.

Vilsandil rannikujaam kirjeldab meretuult suhteliselt hästi (Žukova, 2009), kuigi sõltuvalt asendist võivad idakaarte tuuled olla seal mõningal määral alahinnatud. Andmetes samuti esineb lünkasid.

Andmed Käina lahest on võetud TTÜ meresüsteemide instituudis olevast käsitsi täidetud Käina lahe veeregulaatorite päevikust (aastatest 1998-2009 paber kandjal (vt. Lisa 2), 2009-2011 MS Exceli tabelina). Päevik sisaldab järgmiseid ööpäevase sammuga registreeritud üksikmõõtmiste lugemeid:

- veetase kolmes Käina lahe kanalis (Orjaku kanal, Orjaku silm, Laisna kanal (vt joonist 1.2.2)),
- veetase Käina lahest väljas, Orjaku sadamas,
- veevoolu suund kanalis (sisse/välja),
- veeregulaatorite ja kalaluukide asend mõõtmise hetkel.

Antud töö käigus paberikandja andmed digitaliseeriti ning esitati MS Exceli tabeli kujul (vt. Lisa 3). Kuna mõõtmised ei olnud regulaarsed, esineb veetaseme aegridades palju lünkasid.

Samuti kasutati töös andmeid järgmistest Orjaku kanalis 19.04-16.05.2017 mõõdetud parameetritest:

- veetemperatuur (C°),
- soolsus (PSU, *Practical Salinity Unit*),
- hägusus (NTU, *Nephelometric Turbidity Unit*),
- hapniku sisaldus (mg/l ja %).

Vee parameetrid registreeriti CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) sondi SBE16plus abil. Sond mõõdab tegelikku *in situ* temperatuuri T, elektrijuhtivuse ja temperatuuri kaudu arvutatakse soolsust. Soolsuse väärtused on töös esitatud Praktilise Soolsuse skaalas (Fofonoff, Millard J. 1983). Hägusus hinnatakse nefelomeetrilise hägususühikuga, 1 ühik vastab 0,58 mg kaoliini (SiO<sub>2</sub>) tekitatud

hägususele ühes dm<sup>3</sup> vees. Töös esitatud lahustunud hapniku andmed on antud protsentides küllastustaseme suhtes..

Vastavalt viimati tehtud kalibreerimisele (Aleksejeva, 2016) korrutati sondiga mõõdetud hapnikuandmed läbi väärtusega 1,278.

## 2.2 Metoodika

Enne veetaseme andmete töötlust lahutati Heltermaal mõõdetud veetasemest 500 cm, et saada väärtused Kroonlinna nulli suhtes. Heltermaa veetaseme automaatandmetest arvutati päevakeskmised ja pandi need käsitsi mõõdetud andmetega kokku. Tuule automaatandmetest võeti andmed iga 3 h tagant, et aegrida oleks sarnane käsitsi mõõdetud andmetega ning pandi need käsitsi mõõdetud andmetega kokku.

Käina lahe andmetest võeti analüüsiks Orjaku silmas ja Orjaku sadamas mõõdetud veetasemed, kuna nende kohta oli kõige rohkem andmeid. Käina lahe digitaliseeritud ning MS Exceli andmed pandi kokku.

Andmete analüüsiks on kasutatud programmi Microsoft Excel.

Väinamere pikaajalise veetaseme muutuse analüüsiks arvutati Heltermaa andmete alusel kuude ja aastate keskmised väärtused, milleks kasutati MS Exceli liigendtabeli rakendust. Samal viisil leiti veetaseme maksimumid ja miinimumid.

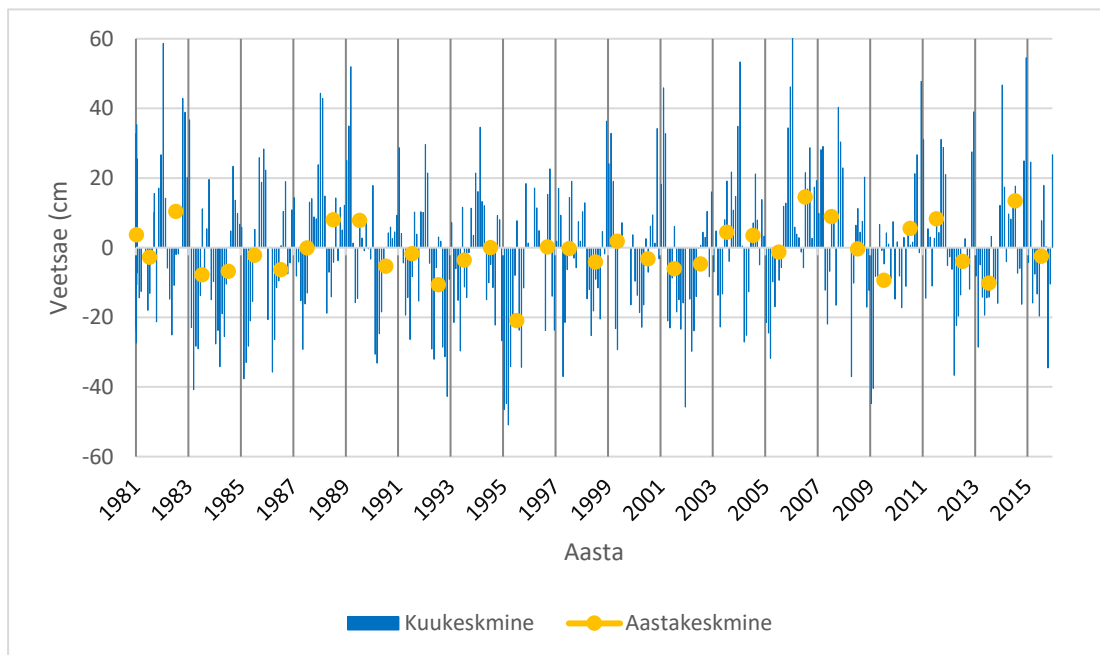
Veetaseme muutlikkuse sesoonsuse analüüsiks arvutati veetaseme standardhälve kuude kaupa.

Edelatuule komponendi arvutamisel kasutati valemit  $\text{COS}(\text{RADIANS}((\text{suund}-227.5))) \cdot \text{kiirus}$ , kus „suund“ on tuule suund kraadides ning „kiirus“ on tuule kiirus m/s.

### 3. VEETASEME MUUTLIKKUS

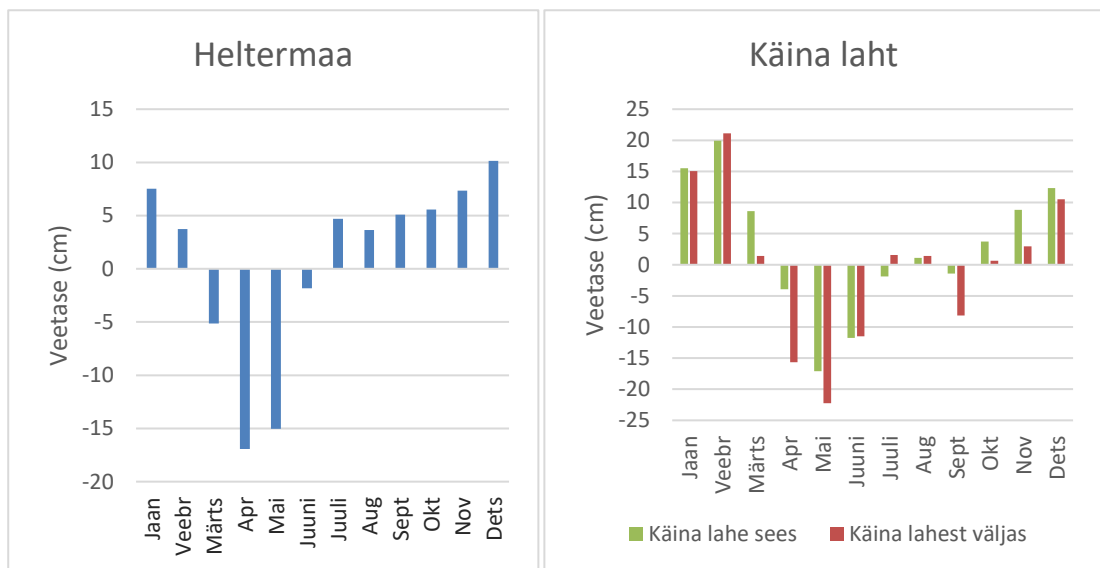
#### 3.1 Pikaajaline muutlikkus ja keskmine aastane käik

Väinamere kui Läänemere osa pikaajalise suhtelise veetaseme muutlikkuse taga on eelkõige globaalne veetaseme muutus; maapinna kerke ning atmosfääri mõju. Viimane avaldub tuule režiimis ja selle poolt tekitatud veepinna kaldes, õhurõhu muutumises, veevahetuses Taani väinade kaudu ning jõgede sissevoolus (vt peatükk 1.1).



Joonis 3.1.1. Veetaseme kuude ja aastate keskmised väärtused Heltermaa jaamas 1981-2016.

Väinamere pikaajalist veetaseme muutust saab jälgida aasta keskmiste veeseisude alusel (joonis 3.1.1). Veetaseme keskmist aastast käiku ehk sesoonsust (aastaajalist muutlikkust) saab hinnata kuu keskmiste veeseisude alusel (joonised 3.1.2 ja 3.1.3). Veetaseme sesoonset käiku analüüsid on näha, et Väinamere (Heltermaa andmete põhjal) vee kõrgseis on keskmiselt oktoobrist jaanuarini, Käina lahes kestab see

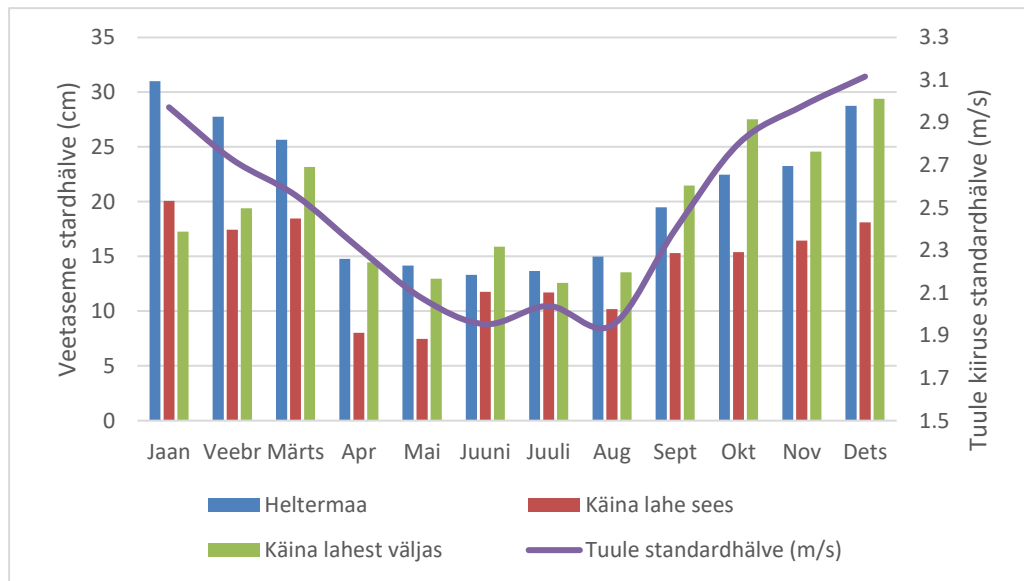


Joonis 3.1.2. Kuukeskmiste veetasemete sesoonne käik Heltermaa jaamas ning Käina lahe sees ja lahest väljas (Orjaku sadamas) 1998-2011 aastate põhjal.

novembrist märtsini.

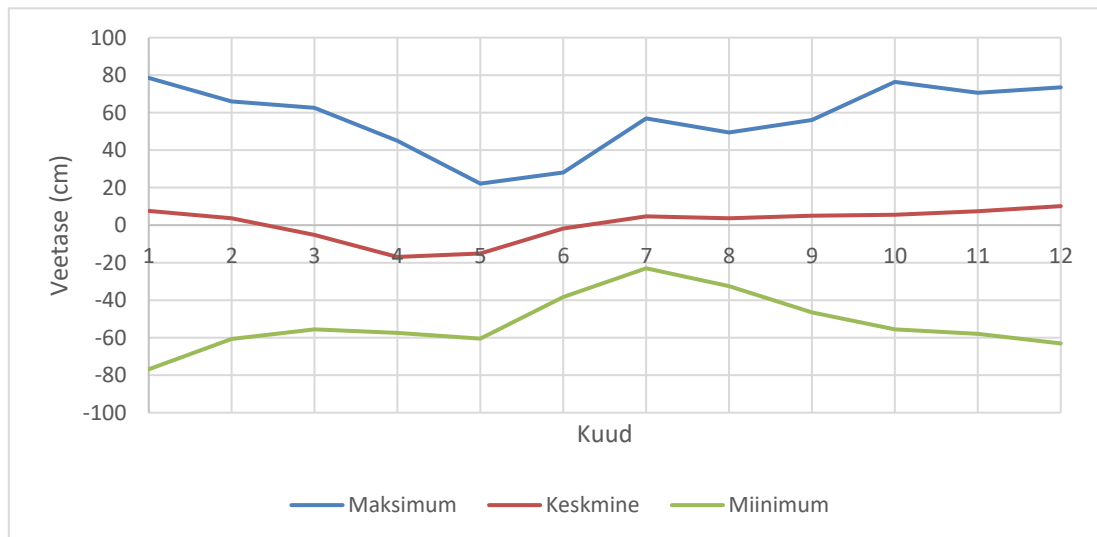
Standardhälbe alusel saab hinnata, kui suur on veetaseme varieeruvus teatud perioodi vältel.

Joonisel 3.1.3 toodud standardhälvetest on näha, et suuremad meretaseme kõikumised Väinameres tervikuna ja sellest tulenevalt ka Käina lahes toimuvad septembrist kuni märtsini. Aprillist kuni augustini on veetase suhteliselt stabiilne. Samuti tuleb ära märkida, et veetaseme varieeruvus Käina lahe sees on väiksem kui lahest väljas Orjaku sadamas.



Joonis 3.1.3. Veetaseme ja tuule päevakeskmise kiiruse standardhälbed kuude kaupa Heltermaal ning Käina lahe sees ja lahest väljas (Orjaku sadamas (perioodil 1998-2011)).

Veetaseme ja selle standardhälbe sesoonne käik on sarnane tuule päevakeskmise kiiruse standardhälbe aastase käiguga (joonis 3.1.3). Tugevate tuulte korral esineb suurem veetaseme muutlikkus. Võib väita, et tuul on üheks peamiseks veetaseme

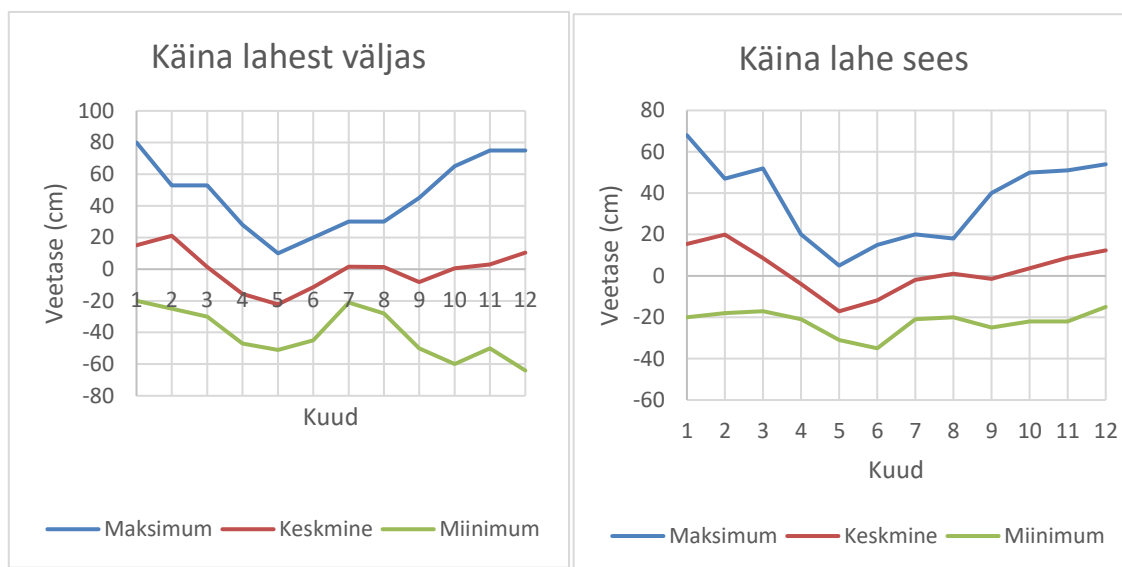


Joonis 3.1.4 Heltermaa sadama ööpäeva keskmiste veetasemete maksimaalsed, minimaalsed ja keskmised veetasemed kuude kaupa 1998-2011.

sesoonse käigu tekitajaks.

Vaadeldud perioodi (1998-2011) ööpäeva keskmine maksimaalne Heltermaa sadamas registreeritud veetase on olnud 79 cm (11. jaanuar, 2005), veetaseme miinimumiks on olnud -77 cm (28. Jaanuar, 2010); maksimaalse ja minimaalse veetaseme vahe on 155 cm (joonis 3.1.4). 2005. jaanuaris tõusis veetase Heltermaal ajutiselt 146 cm kõrgusele (Suursaar jt. 2006).

Kõige madalamad ja ka kõige kõrgemad veeseisud esinevad talvel. Maist kuni augustini käituvad kuude maksimaalsete, minimaalsete ja keskmiste veetasemete sesoonsed käigud üpris sarnaselt (vt. Joonis 3.1.4). Madalaim kuukeskmise veetase Heltermaal on olnud aprillis, -17 cm ja kõrgeim detsembris, 10 cm (vt. Joonis 3.1.4). Madalaim kuukeskmise veetase Käina lahe sees on olnud mais, -17 cm ning kõrgeim veebruaris, 20 cm. Samasugune tendents eristub ka kuude keskmiste veetasemete



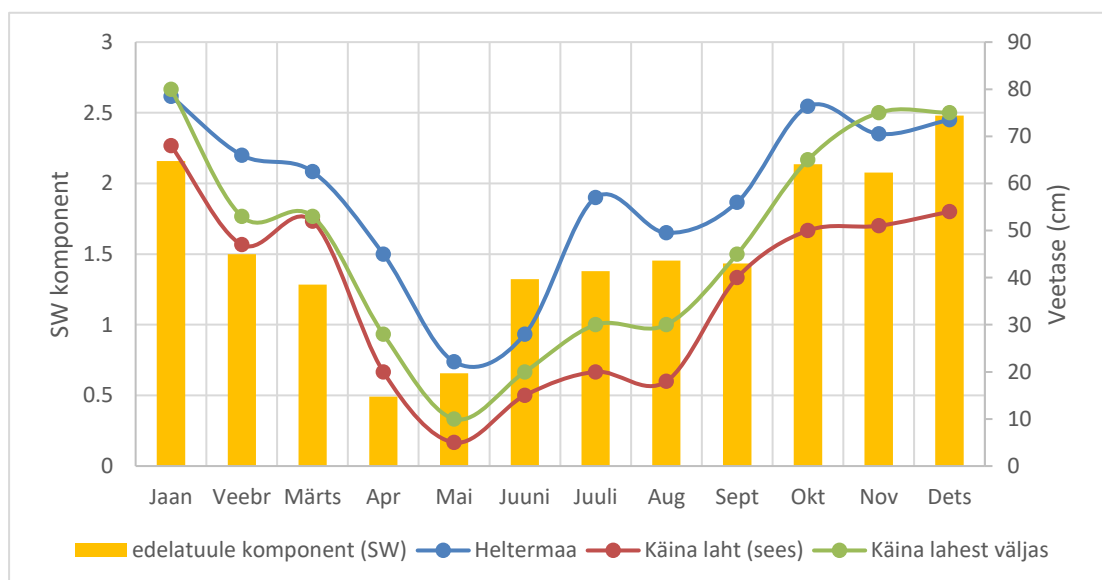
Joonis 3.1.5. Käina lahe kuude keskmiste, maksimumide ja miinimumide aastane käik 1998-2011. andmete põhjal.

põhjal Käina lahest väljas (Orjaku sadamas); madalaim keskmine veeseis on samuti mais ja kõrgeim veebruaris, need on vastavalt -22 cm ning 21 cm (vt. Joonis 3.1.5).

Käina lahe veetaseme kuude maksimumide, miinimumide ning keskmiste aastane käik on toodud joonisel 3.1.5. Käina lahe maksimaalne veetase eelpool toodud perioodil on olnud 68 cm (26. jaanuar, 2002), mis langeb ajalisel kokku ka lahest väljas mõõdetud maksimaalse veetasemega, milleks registreeriti 80 cm (joonis 3.1.5). Kuna 2005. aasta jaanuari Käina lahe veetaseme andmed puuduvad, siis ei saa kindlaks määrata, kas veetase Käina lahes on olnud antud maksimumist veel kõrgemal (seoses 2005. aastal 8.-9. jaanuaril toimunud tormiga) või mitte. Minimaalne veetase Käina lahes on olnud -35 cm (7. juuni, 2008). Seega registreeritud veetaseme maksimumi ja miinimumi vahe Käina lahes on 103 cm. Veetaseme miinimum Käina lahest väljas on -64 cm (6. detsember, 2002) ning maksimaalse ja minimaalse veetaseme vahe on 144 cm.

Käina lahe veetasemete maksimumidel on sarnane sesoonne käik (joonis 3.1.5), nagu veetaseme keskmistel (vt. Joonis 3.1.4).

Joonis 3.1.6 kirjeldab veetaseme maksimumide seost edelatuule komponendiga, sellest on näha, et edelatuul on peamiseks veetasemete maksimumide tekitajaks ning sesoonsuse põhjustajaks.

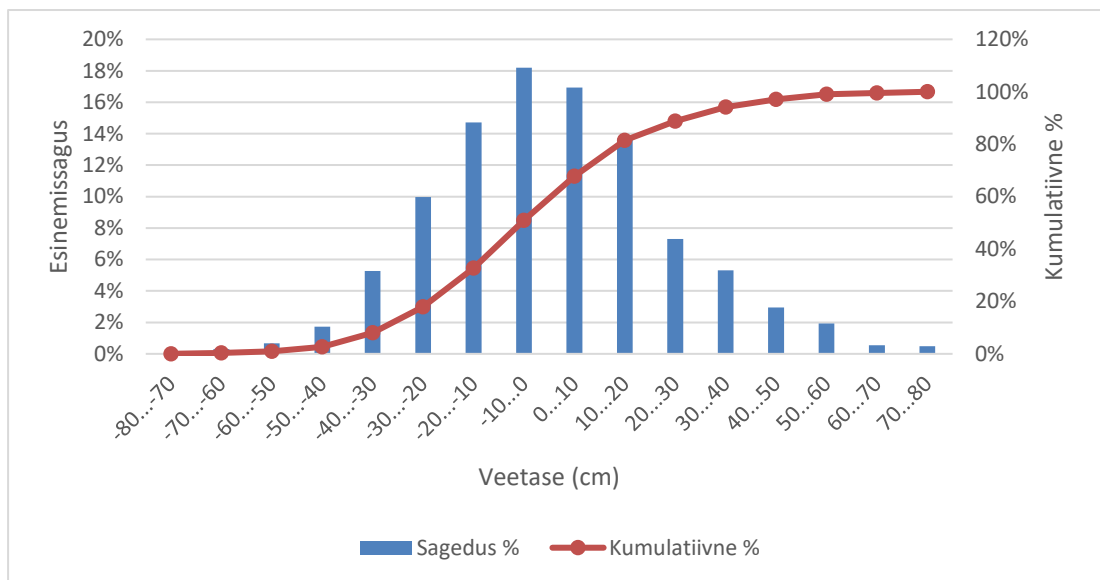


Joonis 3.1.6. Heltermaa ja Käina lahe (sees ja väljas) kuude maksimumide ning edelatuule komponendi kuukeskmised (perioodil 1998-2011).

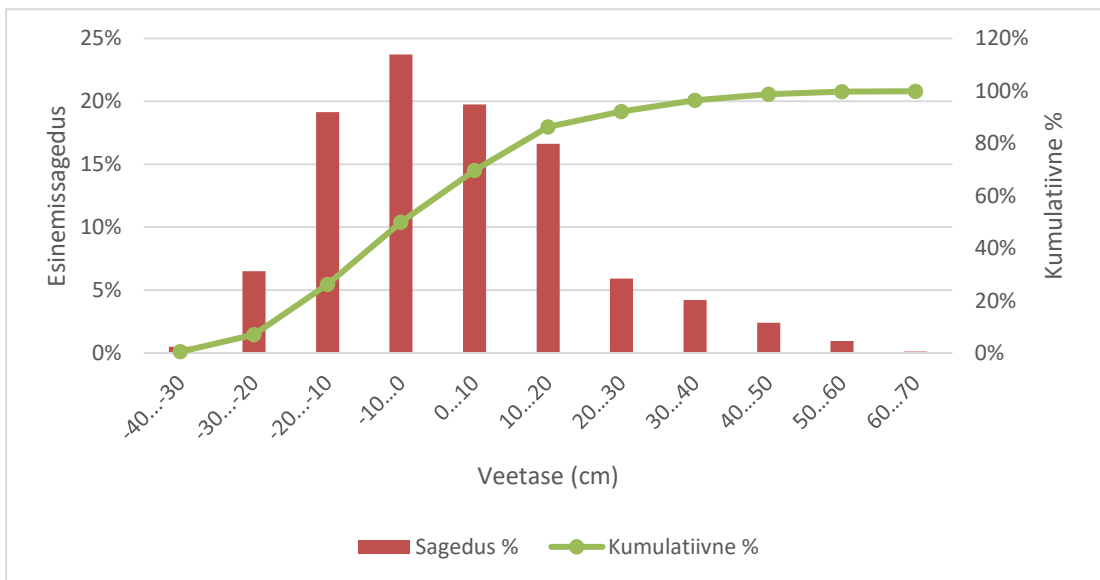


### 3.2 Sagedusjaotused ning kõrg- ja madalveeseisude esinemine

Veetaseme kõrgus Heltermaal jääb kõige sagedamini (85%) vahemikku -30...30 cm

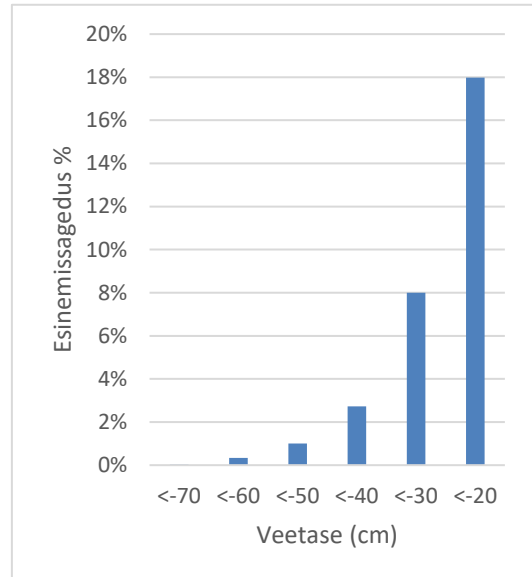
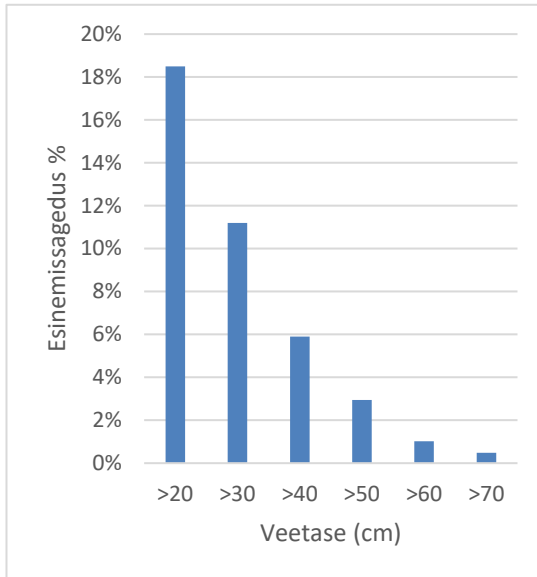


Joonis 3.2.1. Veetaseme histogramm Heltermaa 1998-2011 andmetel.



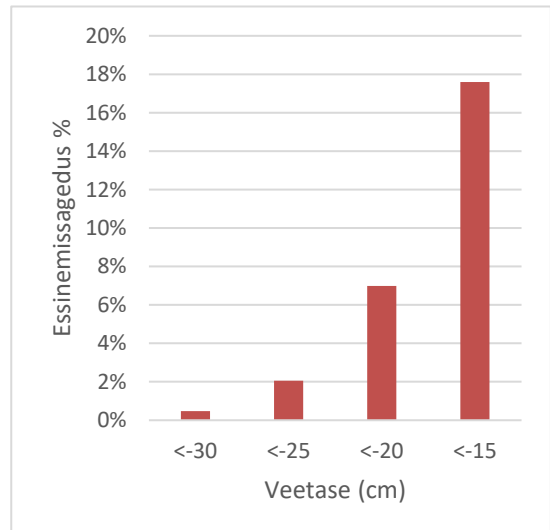
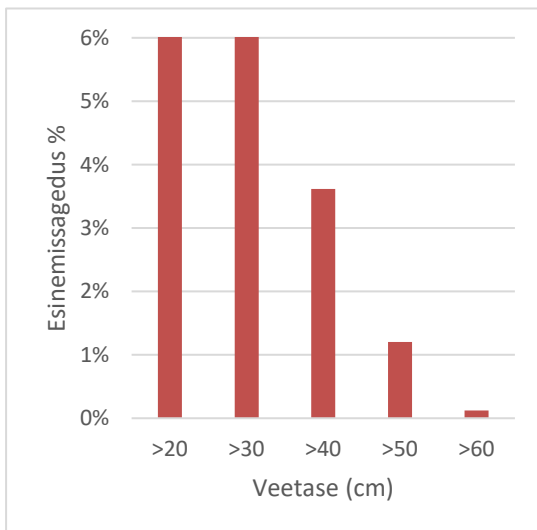
Joonis 3.2.2 Veetaseme histogramm Käina lahe 1998-2011 andmetel.

Kroonlinna nulli suhtes (joonis 3.2.1). Käina lahes jääb veetase samasse vahemikku 92% (joonis 3.2.2).



Joonis 3.2.3. Kõrgete veetasemete esinemissagedused Heltermaa sadamas 1998-2011 andmetel.

Joonis 3.2.4. Madalate veetasemete esinemissagedused Heltermaa sadamas 1998-2011 andmetel.



Joonis 3.2.5. Kõrgete veetasemete esinemissagedused Käina lahes 1998-2011 andmetel.

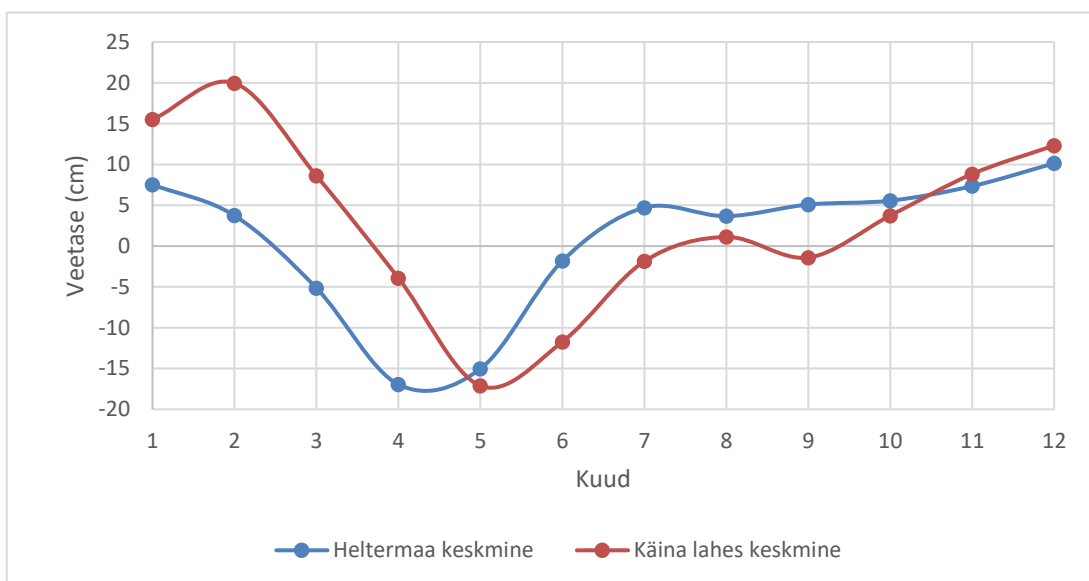
Joonis 3.2.6. Madalate veetasemete esinemissagedused Käina lahes 1998-2011 andmetel.

Veetase >70 cm esineb Heltermaal väga harva, ainult 0,48% vaatlustest (joonis 3.2.3). Üle 50 cm veetaset esines Heltermaal ligikaudu 3% vaatlustest. Veetaseme langus <-70 cm on samuti harva esinev sündmus, vaid neljal korral kümnest tuhandest (joonis 3.2.4). Seevastu <-40 cm veetaset esines ligikaudu neljal korral sajast.

Kõrged veeseisud Käina lahes veetasemega üle 60 cm on erakordsed sündmused, mille esinemissagedus on 0,12% (joonis 3.2.5). Veetaseme alla -30 cm languse esinemistõenäosus on 0,48% (Joonis 3.2.6).

### 3.3 Lühiajaline muutlikkus

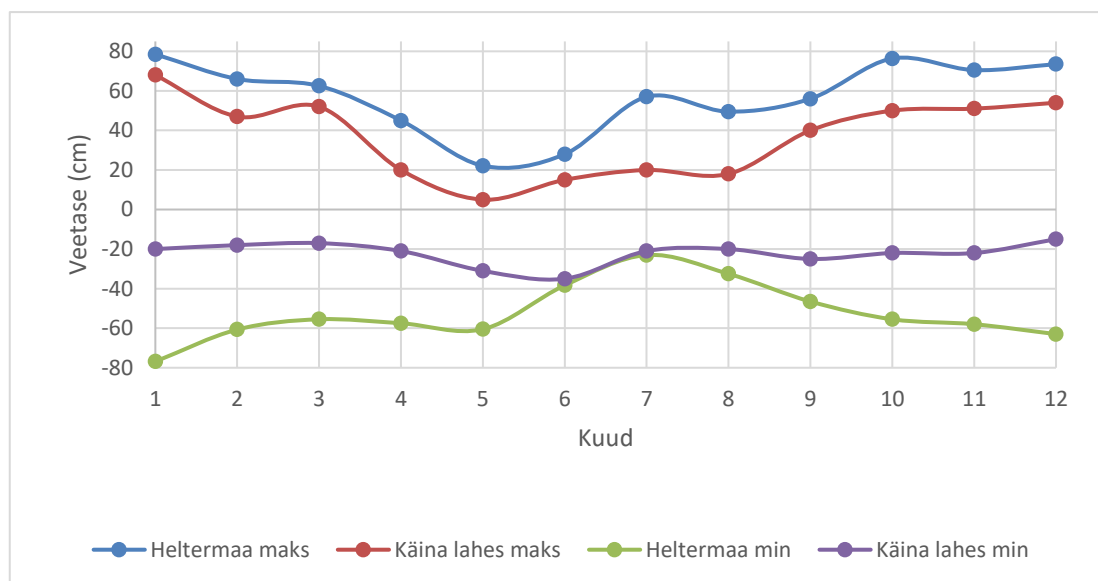
Allpool toodud jooniste abil saab hinnata, kui hästi Väinamere ja Käina lahe veetasemete aegread korreleeruvad omavahel (joonised 3.3.1 ja 3.3.2).



Joonis 3.3.1. Heltermaa ja Käina lahe kuude keskmiste veetasemete sesoonne käik 1998-2011 andmete põhjal.

Kuude keskmiste veetasemete sesoonsed käigud käituvad sarnaselt, nagu ka kuude maksimumide ja miinimumide aastased käigud, kuid on selgelt näha, et Käina lahe veetaseme reaktsioon veetaseme sesoonsetele kõikumistele toimub umbes kuu ajalise nihkega (keskmiste veetasemete alusel). Sesoonsega seotud miinimumide ja maksimumide tekkimisele reageerib Käina lahe veetase vähem tundlikult, kui meretase Väinameres.

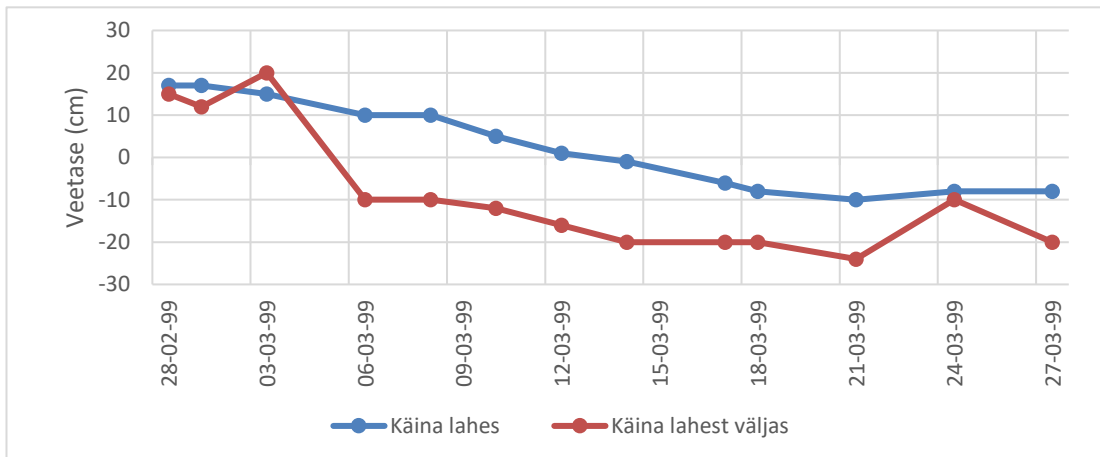
Allpool toodud joonistel analüüsitakse näidete alusel, kui kiiresti voolab laht vett



Joonis 3.3.2. Heltermaa ja Käina lahe kuude maksimaalsete ja minimaalsete veetasemete sesoonne käik 1998-2011 andmete põhjal.

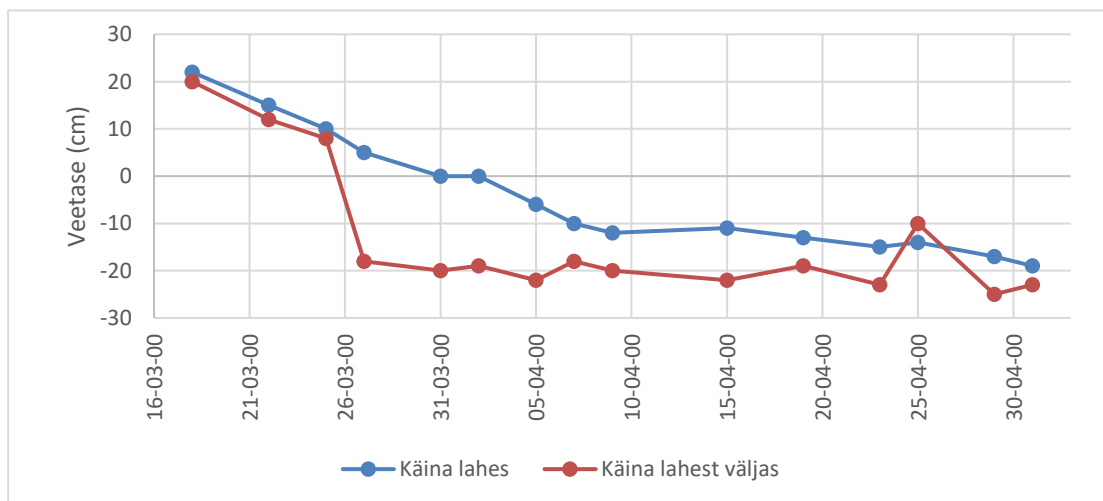
täis, kui Väinameres veetase oluliselt tõuseb ning kui kiiresti voolab laht veest tühjaks, kui veetase väljas langeb ja kas luugid täidavad oma eesmärgi.

3.-6. märtsil 1999 (joonis 3.3.3) langes Väinamere veetase kolme päevaga 30 cm võrra ning jõudis märgile -10 cm (Kroonlinna suhtes), veetaseme langus jätkus kuni 21. märtsini, kuid mitte nii intensiivselt. Kõikide kanalite luugid olid all (kinni) alates 1998. novembri keskpaigast. Käina lahes jõudis veetase märgile -10 cm 18 päevaga ning pärast hakkas tõusma, kuna meres selleks ajaks veetase samuti hakkas tõusma. Seega suletud luukidega seisis Käina lahe veetase >-10 cm üle kahe nädala.



Joonis 3.3.3. Veetaseme muutused Käina lahes ja lahest väljas 28. veebruarist 27. märtsini, 1999.

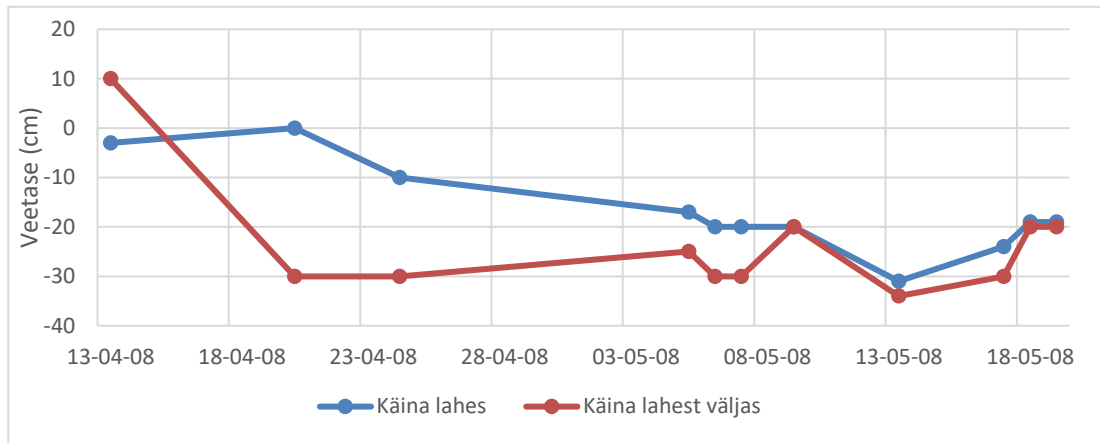
25.-27. märtsil 2000 (joonis 3.3.4) langes meretase Väinameres 8 sentimeetrilt -18 cm peale ning järgmistel päevadel veetase seisis umbes samal tasemel. Orjaku kanali luugid olid all (kinni) alates jaanuarist, Orjaku silma luugid pandi kinni 27. märtsil ja Laisna kanali omad olid üleval (seejuures vool seal oli seal oli valdavalt Käina lahte sisse). Veetase lahe sees 25. märtsil oli 10 cm, see langes aeglasemalt ning jõudis -17



Joonis 3.3.4. Veetaseme muutused Käina lahes ja lahest väljas 18. märtsist 1. maini, 2000.

cm märkeni alles 29. aprillil, 32 päevase nihkega võrreldes Väinameriga.

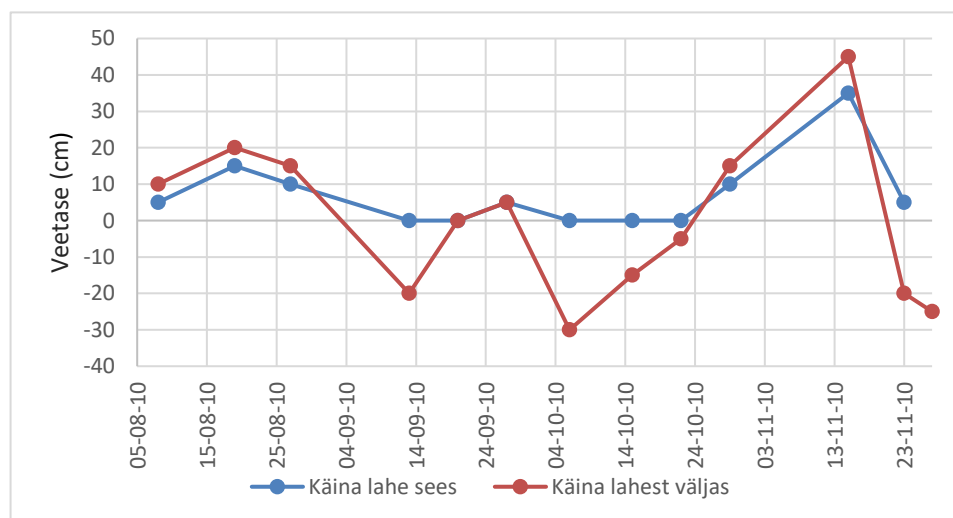
13.-20. aprillil 2008 (joonis 3.3.5) langes suhteliselt järsult veetase lahest väljas märgini -30 cm. Orjaku kanali ja Orjaku silma luugid sellel perioodil olid kinni, kuid kalade suure arvukuse tõttu tehti vahepeal üks kahest luugist lahti (6. – 9. mai). Laisna kanalis pandi luugid samuti kinni, aga kala tõttu tehti vahepeal luugid lahti.



Joonis 3.3.5. Veetaseme muutused Käina lahes ja lahest väljas 13. aprillist 19. maini 2008.

Veetase Käina lahes hakkas samuti langema, kuid mitte nii intensiivselt ning jõudis tasemele -30 cm alles 13. mail, lahe tühjendamiseks läks 30 päeva.

27. augustist 13. septembrini 2010 (joonis 3.3.6), langes meretase 35 cm võrra, samal ajal lahe sees läks veetase madalamaks ainult 10 cm võrra, Orjaku kanali ja silma



Joonis 3.3.6. Veetaseme muutused Käina lahes ja lahest väljas 8. augustist 27. novembrini 2010.

luugid keerati alla 13. augustil ning Laisna luugid olid üleval. 27. septembrist 06. oktoobrini toimus meretaseme järsk langus 5 sentimeetrilt -30 cm peale, vastav Käina lahe veetaseme langus oli samal ajavahemikul ainult 5 cm. Nagu ka eelmisel korral pandi Orjaku kanali ja silma luugid kinni (6. oktoobril) ning Laisna luugid olid üleval. Jooniselt 3.3.6 on selgelt näha, et vee väljavoolu lahest peatati kunstlikult. Järgneval perioodil (06.10-15.11) toimus ka järsk veetaseme tõus, jooniselt 3.3.6 on näha, et lahe veega täitumine toimus meretaseme tõusuga umbes samal kiirusel, vahe on 3-5 päeva. Seejuures 6-15. oktoobril olid Orjaku kanali ja silma luugid all ning 29. oktoobril keerati mõlemas kanalis luugid ülesse. Laisnas olid luugid sel perioodil lahti.

#### 4. DISKUSSIOON JA JÄRELDUSED

Antud töös analüüsitakse Käina lahe veerežiimi ning selle sõltuvust avamere veetasemest. Väinamere ja sellest tulenevalt ka Käina lahe veetaseme sesoonse muutlikkuse allikaks on peamiselt tuul (vt. Joonist 3.1.3). Veetaseme suuremad muutused, nagu ka varasemates uuringutes on mainitud (Leito, 1995, 1996, 2012), leiavad aset septembrist kuni märtsini, kui esinevad tugevamad tuuled. Suvel on veetase suhteliselt stabiilsem. Käina lahe veetase jääb kõige sagedamini vahemikku - 30...30 cm (92%). Käina lahele ohtlik madalveeseisu periood kestab aprillist juunini (vt. Joonist 3.1.2), mis vastab ka varasemates uuringutes tehtud järeldustele. Põhjuseks on see, et Väinamere veetase on antud perioodil madal ning sademeid on vähe (Leito, 1995, 2012). Käina laht reageerib avamere veetaseme muutusele teatud ajalise inertsiga (joonised 3.3.1, 3.3.2). Maksimaalne veetase (68 cm Kroonlinna nulli suhtes) registreeriti Käina lahes (Orjaku silmas) 26. jaanuaril 2002. Antud maksimum järgnes Heltermaa ööpäevakeskmise veetaseme maksimumile, milleks oli 64 cm ja mis fikseeriti 25. jaanuaril. Seega laht reageeris avamere veetaseme muutusele suhteliselt kiiresti. Veetasemete maksimumide tekkimine Väinamere piirkonnas on tugevalt seotud edelatuulte esinemisega (vt. Joonist 3.1.6).

Veevahetus Käina lahes toimub läbi kolme kanali ning varasemate uuringute järgi (Leito, 1995) sõltub voolu suund kanalites veetaseme kõrgusest Väinameres.

Orjaku kanal ja Orjaku silm toimivad peaaegu ühtmoodi, kanalite voolusuunad korreleeruvad oma vahel väga hästi ( $r > 0,99$ ).

Tabel 4.1 kirjeldab, kuidas käitub veevool Laisna kanalis, kui läbi läänepoolsetes ühendustes (Orjaku kanal ja silm) toimub sisse- või väljavool. On näha, et nii sisse-

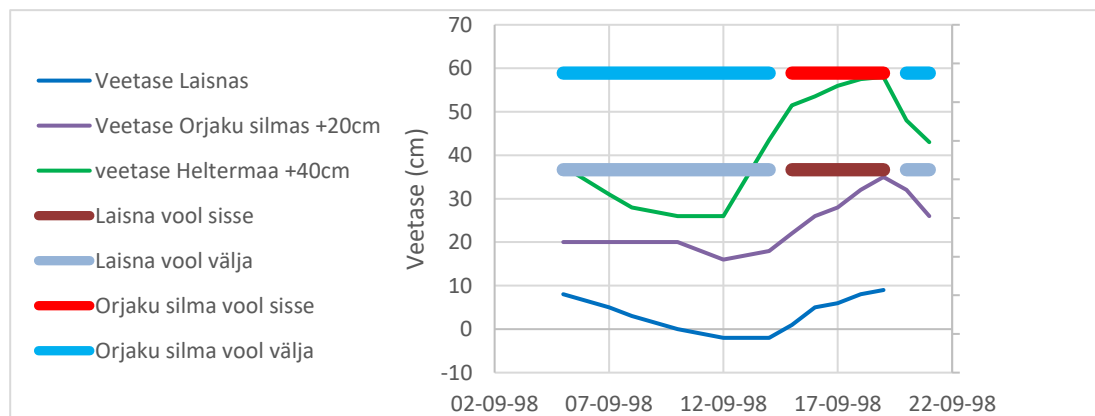


kui ka väljavoolu korral esineb Orjakus rohkem neid juhtumeid, kui Laisna kanalisse voolab vett Käina lahte.

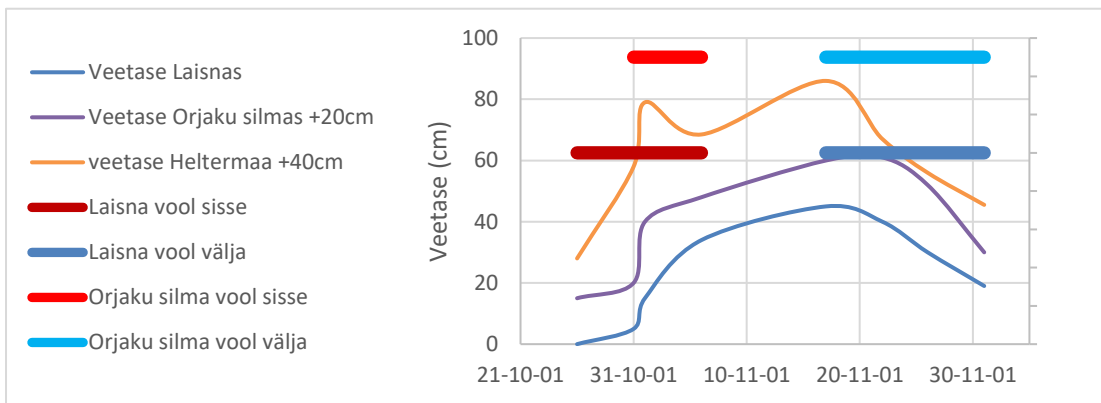
Tabel 4.1. Registreeritud Laisna kanali sisse- ja väljavoolu vaatluste arv sõltuvalt Orjaku kanali ja Orjaku silma voolusuunast.

<u>Voolusuund</u>	<u>Voolusuund</u>	<b>Orjaku kanal</b>		<b>Orjaku silm</b>	
		<u>Sisse</u>	<u>Välja</u>	<u>Sisse</u>	<u>Välja</u>
<b>Laisna kanal</b>	<u>Sisse</u>	191	217	196	212
	<u>Välja</u>	107	151	104	154

Kõikide kanalite voolusuundadel on järgmine sõltuvus meretasemest: kui veetase meres tõuseb, siis laht täitub veega läbi kõigi kolme kanali, ehk vool kanalites on suunatud lahe sisse ning kui meretase hakkab langema, vesi voolab läbi kolme kanali välja, nagu on toodud näidetel joonistel 4.1.1 ja 4.1.2. See viitab sellele, et piisavalt kõrge veetaseme juures täitub ja tühjeneb Vaemla laht läbi Õunaku silma kiiremini võrreldes Käina lahega.

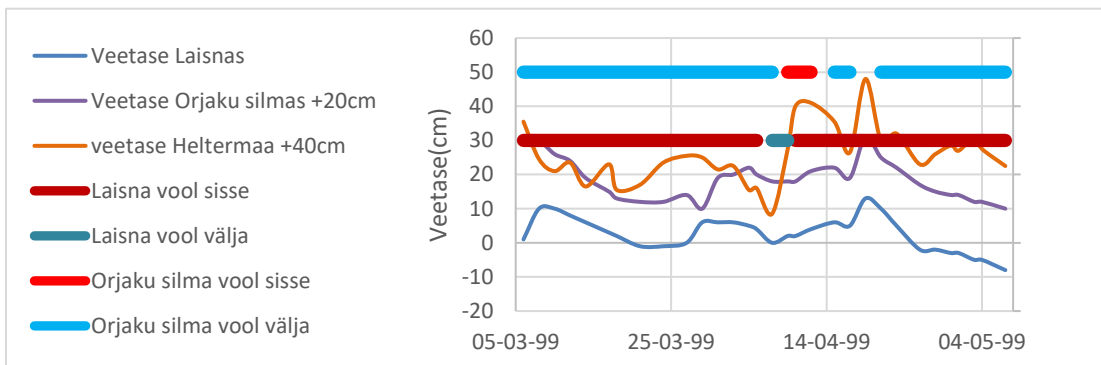


Joonis 4.1.1. Voolu suund Laisna kanalisse ja Orjaku silmas vastavalt veetaseme muutusele (5.-21. september 1998). Veetasemed Laisnas, Orjaku silmas ja Heltermaal on selguse mõttes nihutatud üksteise suhtes. Orjaku kanali luugid olid kuni 10. septembrini lahti, 12. – 15. septembril pandi need kinni, 16. septembril tehti jälle lahti. Orjaku silmas 4. – 14. septembril olid luugid all, alates 15. septembril tehti luugid lahti, Laisna kanali luugid olid lahti terve perioodi vältel.



Joonis 4.1.2. Voolu suund Laisna kanalis ja Orjaku silmas vastavalt veetaseme muutusele; veetasemed Laisnas, Orjaku silmas ja Heltermaal on selguse mõttes nihutatud üksteise suhtes (26. oktoober- 1. detsember 2001). Orjaku kanali luugid olid kuni 31. oktoobrini kinni, 1. – 26. novembril olid luugid lahti ning pärast jälle kinni. Orjaku silma ja Laisna kanali luugid olid lahti terve perioodi vältel.

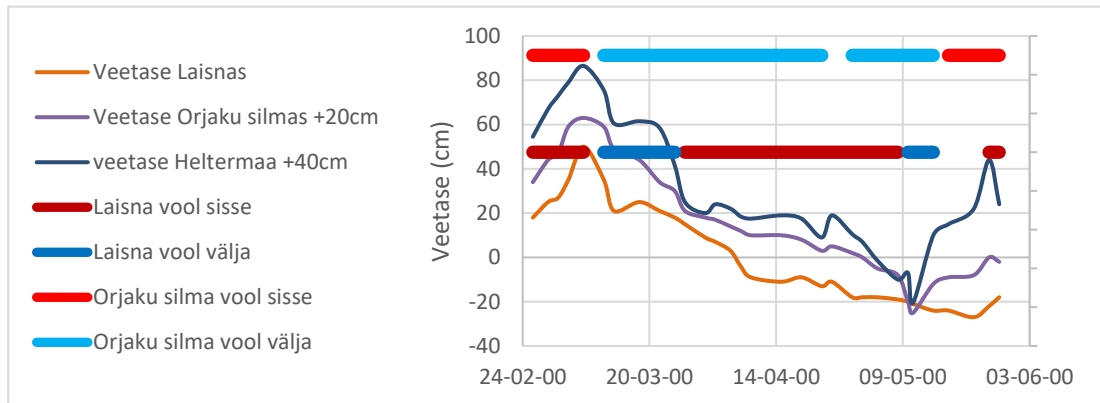
Kevadel ning enamasti ka suvel (v.a. august), kui veetase on madal, toimub kanalites üldiselt järgmine vee liikumine (joonised 4.1.3, 4.1.4): vesi voolab Laisna kanalist



Joonis 4.1.3. Voolu suund Laisna kanalis ja Orjaku silmas kevadisel perioodil; veetasemed Laisnas, Orjaku silmas ja Heltermaal on selguse mõttes nihutatud üksteise suhtes (6. märts- 7. mai 1999). Orjaku kanali luugid olid kinni terve perioodi jooksul. Orjaku silma luugid olid kuni 31. märtsini kinni, pärast tehti need lahti. Laisna kanali luugid olid kuni 2. aprillini kinni, pärast tehti need samuti lahti.

Käina lahte sisse ning Orjaku kanalist välja, kuigi suvel võib esineda aeg-ajalt ka vastupidine voolusuund. Selline olukord on arvatavasti seotud Vaemla lahte saabuva mageveega, mis voolab avamerre läbi Käina lahe. Seda kinnitab ka varasem uuring

(Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava, 2015; Leito, 2012), kus jõuti järeldusele, et Vaemla jõest pärit magevesi voolab merre läbi Käina lahe.

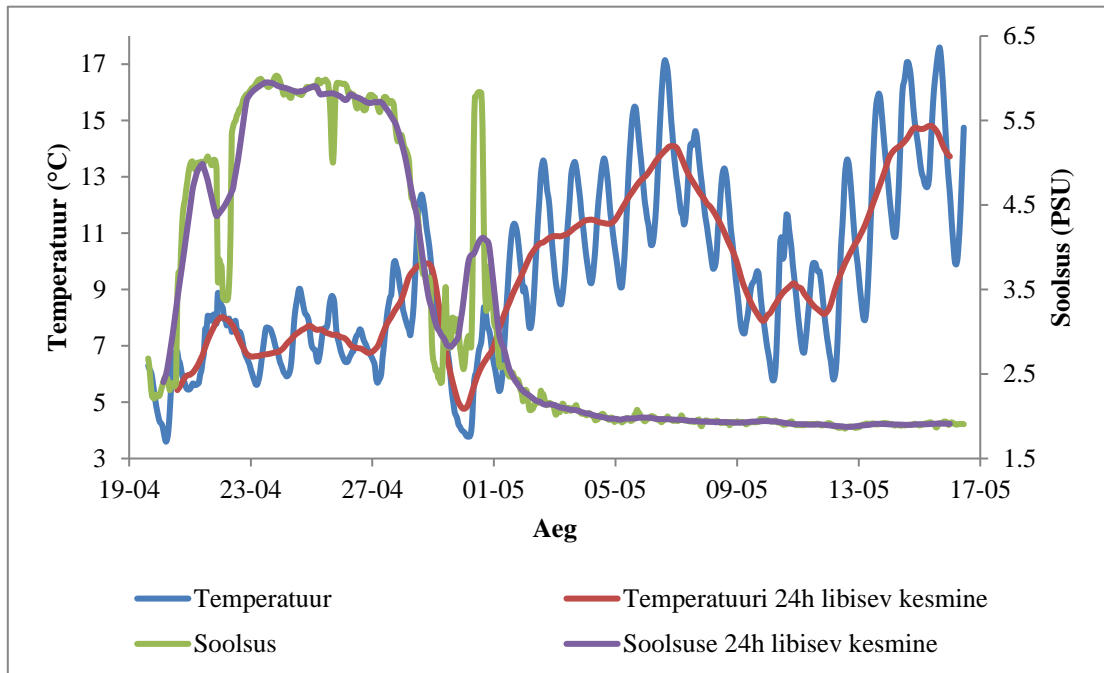


Joonis 4.1.4. Voolu suund Laisna kanalis ja Orjaku silmas kevadisel perioodil; veetasemed Laisnas, Orjaku silmas ja Heltermaal on selguse mõttes nihutatud üksteise suhtes (26. veebruar-28. mai 2000). Orjaku kanali luugid olid kinni kuni 26. maini, pärast tehti lahti. Orjaku silmas olid luugid kinni kuni 25. märtsini, kuni 23. maini luugid olid lahti, siis jälle lahti. Laisna kanali luugid olid lahti terve perioodi jooksul.

Samuti toetavad seda seisukohta hiljutised soolsuse hetkmõõtmised: 19. aprillil, 2017 oli Laisna kanalis soolsus 0,4 PSU; Orjaku kanalis 2,7 PSU ning 16. mail 2017 oli Laisna kanalis soolsus 1,4; Orjaku kanalis 1,9 PSU.

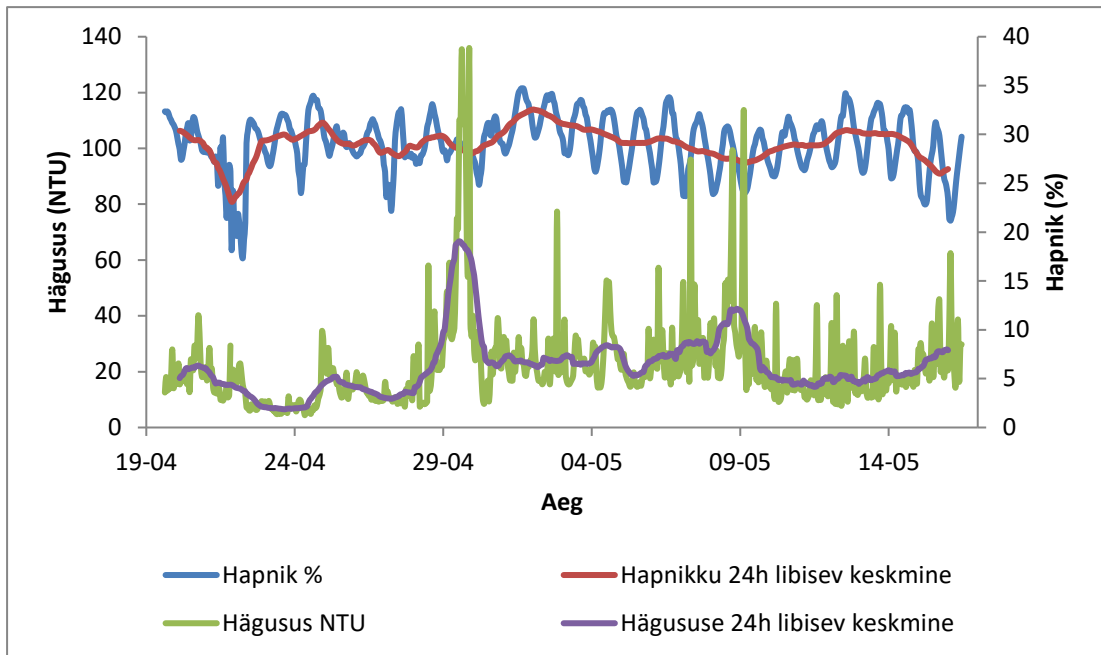
Seega kokkuvõttes viitavad tulemused sellele, et Käina ja Vaemla lahes esineb kahte tüüpi veevahetust: (1) sügise ja talviti kui veetase on kõrgem, tõuseb Vaemla lahe veetase tänu läbi Õunaku silma toimuvale transpordile kiiremini kui Käina lahe veetase ning seetõttu saabub avamere vett Käina lahte ka läbi Laisna kanali (läbi Vaemla lahe); (2) kevadeti ja suviti on Õunaku silm valdavalt kuival ning soolase vee juurdevool Vaemla lahte aga ka sealt magedama vee äravool toimub läbi Käina lahe. 2017. aastal läbiviidavad hoovuste pidevmõõtmised ning vaatlused kolmes kanalis ja Õunaku silmas peavad eelpool toodud veevahetusrežiimide olemasolu kinnitama ja täpsustama.

Kevadel 2017. teostati Orjaku kanalis mõõtmised, mille tulemused on toodud joonistel 4.1.5 ja 4.1.6. Mõõdeti vee temperatuuri, soolsust (elektrijuhtivust), hädusust ning hapniku sisaldust.



Joonis 4.1.5. Temperatuur ja soolsus koos libisevate keskmistega, mõõdetud Orjaku kanalis 19. aprill - 16. mai 2017.

Soolsuse kasv viitab sellele, et voolamine toimub Väinamerest Käina lahte, kuna vesi on Väinameres soolasem kui lahes. Jooniselt 4.1.5 saab näha, et 20. – 27. aprillil toimus järsk soolsuse kasv, mis tähendab, et vool Orjaku kanalis oli suunatud lahte. Sissevooluga kaasnes ka veetemperatuuri langus. Vähemal määral mõjutas merevee sissevool hapniku sisaldust lahes (külma veega tuli hapnikurikkam vesi sisse) ja hädusust (joonis 4.1.6). 30. aprillil oli tõenäoliselt vool jälle suunatud merest lahte, kuna on näha järsku soolsuse kasvu ja temperatuuri langust (joonis 4.1.5), samas tõusis hädususe näitaja drastiliselt. See võib olla seotud lainetuse poolt tekitatud rannikulähedase setete resuspensiooniga ja vastava vee transpordiga Käina lahte.



Joonis 4.1.6. Hapnikku sisaldus ja vee hägusus koos libisevate keskmistega, mõõdetud Orjaku kanalis 19. aprill - 16. mai 2017.

Kuna vesi lahes on väga madal, siis veetemperatuuri ööpäevased fluktuatsioonid on suure amplituudiga (kohati üle 5 °C), mis on suveperioodil eriti ohtlik kaladele, sest kõrge veetemperatuuri tingimustes (mis on iseenesest kahjulik kalade jaoks) tekib hapnikupuudus ja kalad hukuvad (Vetemaa, 2010). Varasemad mõõtmised on näidanud, et vee temperatuur Käina lahes võib tõusta kuni 28 °C (Vetemaa, 2010).

Kalastiku uuringud (Kikas, 1995; Vetemaa, 2005, 2010) on näidanud, et üldiselt on Käina lahe kunagine Väinamere peamise kalade kudemiskoha roll vähenenud. Kui 1995. aastal oli registreeritud 4 domineerivat kalaliiki (kiisk, särg, ahven, säinas), siis 2005. aastal oli põhimõtteliselt ainult 1 arvukas liik (kiisk). Aastaks 2010 kiisa arvukus vähenes, samas ahvena arvukus oli tõusnud. Muutunud on ka püütud kalade suurusjaotuste läbilõige, kui varem olid püütud isendid normaalse kudekarja tüüpilise läbilõikega, siis viimases uuringus tegu oli peamiselt mittesuguküpsete isenditega, mis viitab sellele, et kala tuleb Käina lahte mitte sigima, vaid toitumiseks (Vetemaa, 2010). Üheks kalade arvukuse vähenemise põhjuseks on tõenäoliselt Käina lahe piirkonda tekkinud suur kormorani (*Phalacrocorax carbo*) asurkond (suuruselt teine

Eestis) (*Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava*, 2015; Vetemaa, 2005, 2010).

## 5. KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös keskenduti Käina lahe veetaseme muutlikkuse uurimisele. Töö lähtematerjalina kasutati Käina lahe veeregulaatorite päeviku andmeid (vt. Lisa 2). Antud töö käigus digitaliseeriti päevikusse kogutud veetaseme ja voolusuundade aegread. Samuti kasutati Heltermaal mõõdetud veetaseme ja Vilsandi ilmajaama tuule aegridasid ning kevadel 2017. Käina lahes mõõdetud veeparameetrite andmeid.

Töö eesmärgiks oli kirjeldada ja uurida, kuidas Käina lahe veetaseme muutlikkus on seotud avamere veetaseme muutustega.

Veetasemete ja tuule aegridade analüüs näitas, et Väinamere vee kõrgseis kestab keskmiselt oktoobrist jaanuarini, Käina lahes on see novembrist märtsini. Veetasemete maksimumide tekkimine Väinamere piirkonnas on tugevalt seotud edelatuulte esinemisega. Käina lahele ohtlik madalveeseisu periood kestab aprillist juunini. Veetaseme suuremad muutused leiavad aset septembrist kuni märtsini, kui esinevad tugevamad tuuled. Kuna Väinamere ja Käina lahe vahel asuvad kanalid on piiratud läbilaskevõimega, siis summutavad need veetaseme suuremad kõikumised ning Käina lahes on veetase võrreldes ülejäänud Väinamerega vähem varieeruvam.

Veevahetuse analüüsi tulemused viitavad, et kõrgema veetaseme perioodil (sügis – talv) saabub avamere vett Käina lahte nii läbi Orjaku kanali ja silma, kui ka läbi Laisna kanali (läbi Vaemla lahe), kuna Vaemla lahe veetase tõuseb tänu läbi Õunaku silma toimuvale transpordile kiiremini kui Käina lahe veetase. Madalama veeseisu perioodil (kevad – suvi) on Õunaku silm valdavalt kuival ning soolase vee juurdevool Vaemla lahte aga ka sealt magedama vee äravool toimub valdavalt läbi

Käina lahe. 2017. aastal läbiviidavad vaatlused kolmes kanalis ning Õunaku silmas peavad eelpool toodud veevahetusrežiimide olemasolu kinnitama ja täpsustama.



## KASUTATUD KIRJANDUS

- Aleksejeva, K. (2016). Põhjalähdase veekihi muutlikkus Soome lahes : magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.
- Ekman, M. (1996). A common pattern for interannual and periodical sea level variations in the Baltic Sea and adjacent waters. *Geophysica*. 32 (3), 261-272.
- Fofonoff N. P., Millard Jr. R. C. (1983). Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco Technical Papers in Marine Science 44: 1-58.
- IPCC, (2013): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Häkanson, L., Gyllenhammar, A., & Brolin, A. (2004). A dynamic compartment model to predict sedimentation and suspended particulate matter in coastal areas. *Ecol. Modell.*, 175(4), 353–384.
- Johansson, M. M., Kahma, K. K., Boman, H., & Launiainen, J. (2004). Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environment Research*, 9(2), 153–166.
- Käina lahe - Kassari maastikukaitseala kaitsekorralduskava. (2015) : Keskkonnaamet.

- Karabil, S., Zorita, E., & Hünicke, B. (2017). Mechanisms of variability of decadal sea-level trends in the Baltic Sea over the 20th century, *Earth Syst. Dynam. Discuss.*, [Online] doi:10.5194/esd-2017-30, in review. (24.05.17)
- Kikas, L. (1995). Käina lahe kalastik. Tartu.
- Leito, T. (1995). Käina lahe kaitsekorralduskava. Salinõmme.
- Leito, T. (1996). Käina Laht - rahvusvaheliselt tunnustatud loodusala. – *Kaitseala Teataja* (15). [WWW] <http://www.virtsu.ee/bka/kt/leitoart.html> (24.05.17)
- Leito, T. (2012). Veel Käina lahe veest. – *Hiiu Leht*, 29. mai, 3.
- Leppäranta, M., & Myrberg, K. (2009). *Physical Oceanography of the Baltic Sea*. (B. Philippe, Ed.). Chichester: Springer Science & Business Media.
- Looduskaitseseadus (2007). RT I, 38, 268.
- Õmblus, A. (2005). Läänemere veetaseme aastase muutlikkuse käik ja hinnang amplituudile : magistritöö. Tartu Ülikool, Tartu.
- Siirde-, poolsiirde- ja mageveeliste kalaliikide koelmualade taastamise programm. (2015) : Tartu Ülikool. Tartu.
- Suursaar, Ü., Jaagus, J., & Kullas, T. (2006). Past and future changes in sea level near the Estonian coast in relation to changes in wind climate. *Boreal Environment Research*, 11(2), 123–142.
- Suursaar, Ü., & Kullas, T. (2009). Decadal changes in wave climate and sea level regime: The main causes of the recent intensification of coastal geomorphic processes along the coasts of Western Estonia? *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 126, 105-116.
- Suursaar, Ü., Kullas, T., & Otsmann, M. (2001). The influence of currents and waves on ecological conditions of the Väinameri. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*

50(4), 231–247.

The Baltic Sea Basin. (2011). *Central and Eastern European Development Studies*, /.  
ed. Harff, J., Björck, S., Hoth, P. Heidelberg, Dordrecht, London, New York:  
Springer. 101–104.

Vallner, L., Sildvee, H., & Torim, A. (1988). Recent crustal movements in Estonia.  
*Journal of Geodynamics*, 9(2–4), 215–223.

Vetemaa, M. (2005). Käina lahe kalastiku uuring. Tallinn.

Vetemaa, M. (2010). Käina lahe kalastiku uuring. Tallinn.

Žukova, V. (2009). Eesti rannikujaamade võimalused meretuule hindamisel :  
magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.

## LISAD

### Lisa 1



Joonis 1.1. Laisna kanali regulaatorid seisuga kevad 2017. (Autor: Fred Buschmann)

Lisa 2



Joonis 2.1. Käina lahe veeregulaatorite päevik.

Kõrghüde	Tase	Käina				Orjaku kanal				Orjaku silm			
		Võimsus	Lõngad	Kõnnu	Võrd	Võimsus	Lõngad	Kõnnu	Võrd	Võimsus	Lõngad	Kõnnu	Võrd
01. K. 10.0.1.1.1.1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
02. K. 10.0.1.1.1.2	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
03. K. 10.0.1.1.1.3	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
04. K. 10.0.1.1.1.4	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
05. K. 10.0.1.1.1.5	5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
06. K. 10.0.1.1.1.6	6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
07. K. 10.0.1.1.1.7	7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
08. K. 10.0.1.1.1.8	8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
09. K. 10.0.1.1.1.9	9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10. K. 10.0.1.1.1.10	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11. K. 10.0.1.1.1.11	11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12. K. 10.0.1.1.1.12	12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13. K. 10.0.1.1.1.13	13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14. K. 10.0.1.1.1.14	14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15. K. 10.0.1.1.1.15	15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16. K. 10.0.1.1.1.16	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17. K. 10.0.1.1.1.17	17	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18. K. 10.0.1.1.1.18	18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
19. K. 10.0.1.1.1.19	19	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
20. K. 10.0.1.1.1.20	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Joonis 2.2. Käina lahe veeregulaatorite päevik (vaade seest).

**Lisa 3**

Päev	Kuu	Aasta	Veetase sadamas	Veetase Laisnas, sees	Veetase Laisnas, väljas	Laisna luugid all	Laisna luugid üleval	Laisna kala luugid all	Laisna kala luugid üleval	Laisna vool sisse	Laisna vool välja	Laisna märkused	Veetase Orjaku kanalis, sees	Veetase Orjaku kanalis, väljas	Orjaku kanali luugid all	Orjaku kanali luugid üleval	Orjaku kanali kala luugid all	Orjaku kanali kala luugid üleval	Orjaku kanali vool sisse	Orjaku kanali vool välja	Orjaku kanalli märkused	Veetase Orjaku silmas, sees	Veetase Orjaku silmas, väljas	Orjaku silma luugid all	Orjaku silma luugid üleval
1	9	1998	17	30			1		1							1									1
3	9	1998	10	20			1		1							1									1
4	9	1998	1	10			1		1							1									1
5	9	1998	-3	8			1		1							1									1
7	9	1998	-10	5			1		1							1									1
8	9	1998	-10	3			1		1							1									1
10	9	1998	-10	0			1		1							1									1
12	9	1998	-16	-2			1		1							1									1
14	9	1998	-8	-2			1		1							1									1
15	9	1998	1	1			1		1							1									1
16	9	1998	12	5			1		1							1									1
17	9	1998	10	6			1		1							1									1
18	9	1998	15	8			1		1							1									1
19	9	1998	16	9			1		1							1									1
20	9	1998	6				1		1							1									1
21	9	1998	2				1		1							1									1
22	9	1998	-4	6			1		1							1									1
23	9	1998	-6	4			1		1							1									1
24	9	1998	-4	3			1		1							1									1
25	9	1998	-12	1			1		1							1									1
26	9	1998	-18	-5			1		1							1									1
27	9	1998	-19	-5			1		1							1									1
28	9	1998	-18	-6			1		1							1									1

Joonis 3.1.1. Digitaaliseeritud Käina lahe päeviku MS Exceli tabeli näide.