

## **OÜ Lainemudel**

Registrikood: 14075763

e-post: lainemudel@gmail.com

Töö nr **1901**

Töö tellija: OÜ Skepast&Puhkim

Registrikood: 11255795

e-post: marju.kaiwapalu@skpk.ee

# **HAAPSALU LAHE RANNIKUVEEKOGUMI ANALÜÜSID**

## **I köide**

### **Veetaseme ja maakerke tõusu mõju Haapsalu lahele**

Töö autorid:

KATRI PINDSOO

RAIN MÄNNIKUS

Tallinn

Jabruar 2019

**SISUKORD**

1. LÄHTEÜLESANNE.....	3
1.1. Eesmärk.....	3
1.2. Sisu.....	3
1.3. Lähtematerjalid.....	3
2. ALUSINFO .....	4
2.1. Haapsalu lahe üldiseloomustus .....	4
2.2. Maakerke ja maailmamere taseme tõusu mõju Haapsalu lahele.....	4
2.3. Kõrgete veetasemete kujunemine Eesti rannikul .....	7
2.4. Rekordilised veetasemed Haapsalu rannikul.....	7
3. VEETASEMETE ANALÜÜS .....	8
3.1. Veetasemete esinemissagedused ja sesoonne muutlikkus .....	10
3.2. Veetasemete esinemissageduse kvantiilid.....	11
3.3. Ekstreemsete veetasemete korduvusperioodid.....	12
3.4. Kvantiile ületavate veetasemete ajaline kestvus .....	14
4. KOKKUVÕTE .....	17
VIIDATUD KIRJANDUS.....	19

# **1. LÄHTEÜLESANNE**

## **1.1. Eesmärk**

Anda numbrilised lähteandmed veetaseme ja maakerke tõusu mõju hindamiseks Haapsalu lahes

## **1.2. Sisu**

- Kasutades olemasolevaid mõõtmisi ja modelleerimisi vaadeldakse nii pikaajalisi trende kui ka lühiajalisi kõrgemaid/madalamaid veetasemeid.
- Antakse veetasemete kvantiile ületavate väärtuste hinnangulised ajalised pikkused

## **1.3. Lähtematerjalid**

- Veetasemete aegread Rohukülas

## **2. ALUSINFO**

### **2.1. Haapsalu lahe üldiseloostus**

Haapsalu laht on liigendatud ning jaotub mitmeks siselaheks ja neid ühendavateks väinadeks, tuntumad lahed on Eeslaht, Suur viik ja Tagalaht. Haapsalu lahe pindala on tuginedes keskkonnaregistri informatsioonile 42,18 km<sup>2</sup>. Lahe maksimaalne sügavus jääb alla 5 meetri ning keskmine sügavus ulatub vaid 1,5–2 meetrini (Lutt ja Kask, 1980). Jääajajärgse maakerke ning ka jõsetete kuhjumise tagajärjel on ajapikku vähenenud nii lahe pindala kui ka sügavus.

Haapsalu Eeslahe näol on tegemist suhteliselt avatud ning hea veevahetusega veekoguga. Kuid Tagalaht, mis on poolsuletud vähese veevahetusega madalaveeline ala, kannatab maismaalt tulevate toitainete kuhjumise all (Martin, 2007). Toitainete akumulatsioon tagajärjel tekivad probleemid eutrofeerumisega.

Madalaveelises lahes puudub vertikaalne temperatuurigradient ning seetõttu ka kihistumine. Kuid kuna lahte voolavad mitmed siseveekogud esineb Väinamere ning Haapsalu lahe idaosa vahel järsk soolsusgradient (~7 psu-lt ~2 psu-le; Martin, 2007).

### **2.2. Maakerke ja maailmamere taseme tõusu mõju Haapsalu lahele**

Eesti paikneb Fennoskandia mandriliustiku taandumisjärgse maakerke piirkonna kaguosas. Maakoore tõusu hinnatakse erinevate meetoditega ning üle erinevate ajaperioodide, seetõttu ei ühti erinevates allikates esitatud maakerke määrade hinnangud alati. Maapinna tõusule antakse hinnanguid nii geoidi, ellipsoidi kui ka keskmise merepinna suhes. Rakendatakse näiteks geodeetilist meetodi, mis põhineb kordusnivelleerimiste andmetel hinnatuna üle 20 aasta. Kasutatakse ka okeanograafilist meetodi, kus hinnatakse pikaajalist muutust ranniku üksikutest punktides saadud mõõdetud merepinna kõrguste andmete põhjal. Lisaks on kasutusel GPS püsijaamadel tuginev meetod (Torim, 2008).

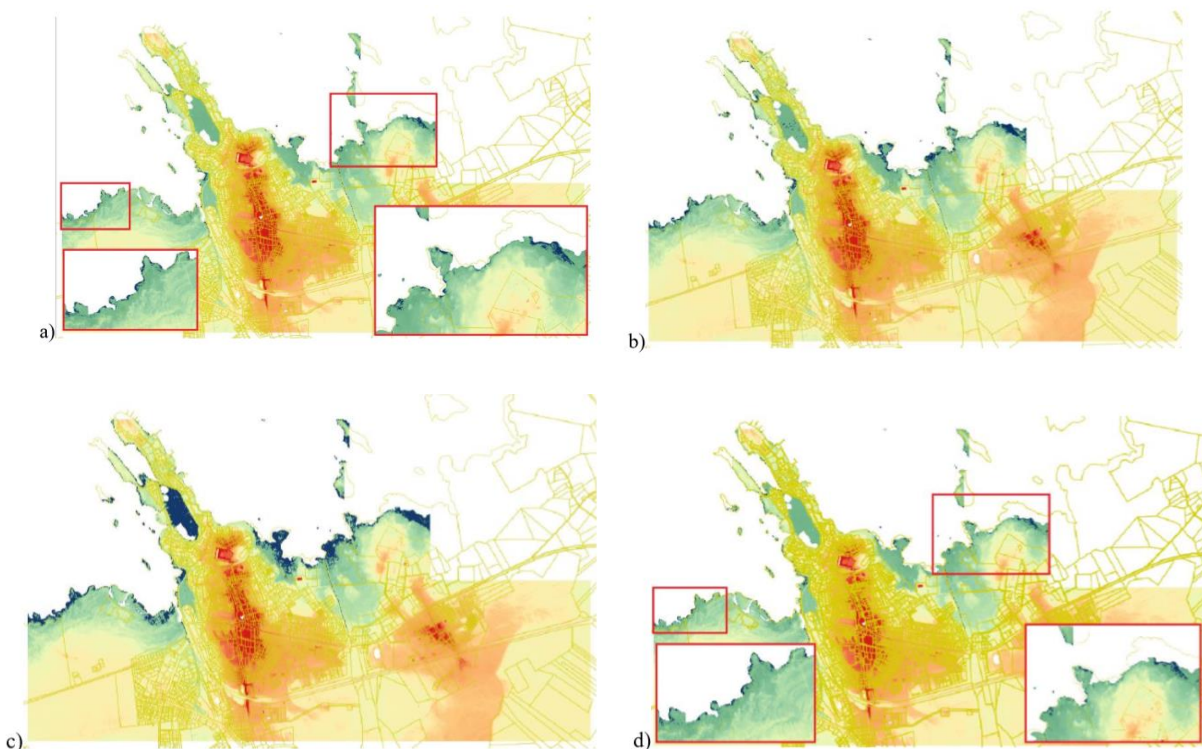
Kõige kiirem maapinna tõus esineb Loode-Eestis ja Hiiumaal, kus selle kiiruseks on hinnatud umbes 3,5 mm/aastas, samal ajal kui Kagu-Eestis tõuseb maapind vaid 1 mm/aastas (Rosentau jt., 2016). Kuid näiteks Eesti maatõusu mudeli Est2016LU, mis tugineb Eesti kõrgusvõrgu kordusnivelleerimise andmetel on maapinna tõusu kiirus Eesti territooriumil alates - 0,8 mm/aastas kuni 2,8 mm/aastas (Krall, 2016). Siiani on Loode-Eestis absoluutne maakerge meretaseme tõusu ületanud ning Edela- ja Kirde-Eestis on veetaseme tõusu ning maakerke määrad olnud enam-vähem tasakaalus (Jaagus ja Suursaar, 2013). Kuid viimaste aastate jooksul on maapinna tõusu kiirus taandunud ning jääb mõnes Eesti piirkonnas alla pikaajalisele meretaseme tõusule (Krall, 2016).

Satelliitandmete abil leitakse absoluutne maatõusu väärtus Maa raskuskeskme suhtes. Maatõusu dünaamika analüüsimise eest vastutab Põhjamaade geodeesia komisjoni (NKG) vastav tööriühm. Vastavalt semi-empüüsiliselt väljatöötatud maakerke mudelile NKG2005LU (Ågren and Svensson, 2007) on suhtelised maakerke määrad veetaseme suhtes Eestis vahemikus - 0,5 mm/aastas kuni +2 mm/aastas (Rosentau jt., 2016). Haapsalus on absoluutne maapinna tõus

I köide - Veetaseme ja maakerke tõusu mõju Haapsalu lahele mudeli NKG2016LU põhjal 3,1 mm/aastas ning mudeli Est2016LU põhjal on suhteline maapinna tõus 1,2 mm/aastas (Leontjev, 2018).

Pikaajaline ehk eustaatiline muutus veetasemes on polaarjää ning liustike sulamise ja veetemperatuuri tõusu tagajärjel aset leidnud soojuspaisumisest tekkinud veetaseme tõus. Maailmamere veetaseme tõusu kiirusele on samuti erinevates allikates väga erinevad hinnangud antud. Liustike sulamine Antarktika ja Gröönimaa lähistel on kiirenenud ning vastavalt Andew jt., (2012) on ajavahemikul 1992–2011 maailmamere taseme tõusu kiiruseks olnud 0,6 mm/aastas. Realistlikud hinnangud veetaseme kasvule eelmiste sajandite jooksul jäävad ligikaudu 30 cm lähedale, sealjuures 19. sajandil tõusis maailmamere tase umbes 10 cm ning 20. sajandil 20 cm. (Summerhayes, 2015). Seega on möödunud sajandi jooksul veetase keskmiselt kerkinud keskmiselt 2 mm/aastas. Tänapäeval räägitakse ka veetõusu kiirusest vahemikus 3,0–3,4 mm/aastas (Leontjev, 2018).

Veemõõdujaamade andmeridade põhjal on Läänemere ääres pikaajalise veetõusu kiiruseks hinnatud ligikaudu 1,5 mm/aastas (Hünicke jt., 2015). Veemõõdujaamade andmetest saadud kiirused näitavad veetaseme suhtelist tõusu maapinna suhtes. Mudelite Est2016LU põhjal on suhteline merevee taseme tõus Haapsalus 2,0 mm/aastas ning mudeli NKG2016LU\_abs põhjal on see 0,1 mm/aastas (Leontjev, 2018). Leontjev (2018) esitas enda magistritöös veetõusu ning maakerke mudelite andmetel baseeruvad stsenaariumid Haapsalu piirkonna jaoks (Joonis 2.1).



**Joonis 2.1.** Pikaajalise veetaseme tõusu mõju Haapsalus a) 10, b) 50, c) 100 aasta pärast mudeli Est2016LU andmetel ja d) 100 aasta pärast mudeli NKG2016LU\_abs andmetel. Joonised ja

kirjeldus on väljavõte Leontjev (2018) magistritööst.

Meretaseme tulevikuprojektsioone on konstrueeritud erinevate stsenaariumite põhjal, milline stsenaarium realiseerub sõltub inimkonna edasisest käitumisest, olulisemad projektsioonid on loodud ÜRO valitsuste vahelise kliimamuutuste nõukogu (*Intergovernmental Panel on Climate Change* edaspidi IPCC) poolt. Kui inimkond suudaks kasvuhoonegaaside õhku paiskamist piirata, siis IPCC kliimaraporti stsenaarium RCP4.5 kohaselt võib käesoleva sajandi lõpuks veetaseme Eesti rannikul võrreldes 2000. aasta veetasemega tõusta vahemikus 20–40 cm (Rosentau jt., 2016). Halvema stsenaariumi täitumisel on merevee tase 21. sajandi lõpuks Eesti looderannikul võrreldes sajandi algusega tõusnud ligikaudu 40 cm ja Pärnu kandis 55 cm. Maa gravitatsioonivälja tõttu ei jaotu sulavesi kõikjale ühtlaselt ning Läänemere mudelite alusel võiks veetõus Eesti rannikul olla ligikaudu 85% globaalsest keskmisest (Rosentau jt., 2016), mis teeks Haapsalu lahes 100 aasta vältel mereveetaseme tõusuks 34 cm. Kui eeldada, et veetaseme tõus on sajandi vältel ajas lineaarne, siis 50 aasta jooksul võiks see kõige halvema kliimastenaariumi kohaselt olla 17 cm. Leontjev (2018) tuginedes erinevatele mudelitele esitas oma magistritöös oluliselt leebemad stsenaariumid (Tabel 1).

**Tabel 1. Suhteline merevee taseme tõus Haapsalus 10, 50 ja 100 aasta pärast (Leontjev, 2018)**

Haapsalu	Est2016LU (cm)	NKG2016LU_abs (cm)
Suhteline merevee taseme tõus 10 aasta pärast	2,0	0,1
Suhteline merevee taseme tõus 50 aasta pärast	10,0	0,5
Suhteline merevee taseme tõus 100 aasta pärast	20,0	1,0

Seega pole täpsed numbrid teada, kuid kõikide kliimastenaariumite järgi on siiski tõenäoline, et käesoleval sajandil ületab meretaseme tõusu kiirus maakerke kiiruse kogu Eesti rannikupiirkonna lõikes (Rosentau jt., 2016).

Mõne sentimeetrine veetaseme tõus ei paista väga märkimisväärne ning ei kujuta endast ohtu rannikuäärsele infrastruktuurile. Sellegipoolest 100 aasta jooksul tõusnud veetaseme tagajärjel võib rannajoon oma kuju muuta, sest madalad piirkonnad ujutatakse üle, mille tagajärjel jääb osa maismaast vee alla (Leontjev, 2018). Eelkõige on kõrgem veetaseme alus tormiaegsele täiendavale veetaseme tõusule. Kriitiliste veetasemete esinemisel mängivad ka sentimeetrid olulist rolli ning sõltuvalt asukohast võib kõrgem baasveetaseme tormiveel ning -lainetele tekitada ligipääsu märksa kaugemale sisemaale. Selle tõenäolised tagajärjed on üleujutused, infrasüsteemi ajutiselt või püsivalt kasutuskõlbmatuks muutumine, rannikuerosioon jt.

Tõenäoline on, et pikaajaline veetaseme tõus on tagasihoidlik, et Haapsalu lahe seisundit läbi sügavuste suurendamise ning veevahetuse intensiivistumise paremaks muuta. Sealjuures võib juhtuda, et kui veetaseme tõusu tagajärjel tekivad üleujutatud rannikupiirkonnad, siis sealt

uhutakse veekeskonda täiendavaid toitaineid ning laht saab läbi selle suurema toitainete koormuse.

### **2.3. Kõrgete veetasemete kujunemine Eesti rannikul**

Keskne merelt saabuv ohutegur on kõrge veetase, omajagu probleeme võib tekitada ka liiga madal veetase. Kõrgete veetasemete prognoosimiseks on Eestis käivitatud operatiivsüsteem, mis võimaldab adekvaatselt määratleda muutusi avamere veetasemetes ning olusituatsioonid tuvastada paari päevase ennetusperioodiga (<http://emis.msi.ttu.ee/?lang=et>). Eesti tingimustes on mõistlik leevendada kõrge veetaseme võimalikku mõju ja tagajärgi ennetavalt vastavate planeerimis- ning ehitustingimuste kaudu. Selliste tingimuste rakendamise alus on kõrgete veetasemete dünaamika tundmine.

Suuremastaabiline veetaseme varieerumine rannikul on peamiselt tingitud muutustest Läänemere keskmisest veetasemes, tormiaegsest baromeetrilisest tõusust, kogu Läänemere ja lokaalses mastaabis mõjuva tuule pinge tagajärjel tekkiv veepinna kõrguse muutumine (tuuleaju) ning Läänemere avaosast levivate pikkade lainete poolt tekitatud muutused. Märkimisväärseid lokaalseid muutusi võivad põhjustada kohalik tuuleaju (sh. Coriolisi jõu mõju sellele), veekogu omavõnkumised ehk seišid, suhteliselt madalas vees levivate lainete tekitatud veetaseme alanemine (*wave set-down*) ning murdlainetuse poolt tekitatud lokaalne veetõus ehk laineaju (*wave set-up*; Soomere 2012).

Lokaalsed veetaseme muutused on üldjoones sõltumatud avamere veetasemest ning lõplik veetase rannaosas kujuneb avamere veetaseme ning lokaalsete muutuste summana. Seetõttu on oluline saada ülevaade avamere veetaseme muutlikkuse iseloomust ning suhteliselt kõrgete veetasemete esinemise seaduspärasustest. Järsumad muutused - kõrgeimaid kui ka madalaimad veeseisud - esinevad eelkõige suhteliselt suurte tuulte kiiruse korral septembrist jaanuarini, mil tsüklonaalne tegevus on aktiivne. Suuremad kõrvalekalded pikaajalisest keskmisest veetasemest esinevad üldjuhul lühikeste ajavahemike vältel. Nii kõrgeimaid kui ka madalaimad veeseisud esinevad eelkõige suhteliselt suurte tuulte kiiruse korral septembrist jaanuarini.

Haapsalu laht on kõrgete veetaseme seisukohalt kõige tundlikum tugevatele edelatuultele, mille tagajärjel pressitakse lahte vett sisse ning rannikupiirkondades võib moodustuda pikaajalisest keskmisest oluliselt kõrgem veetase. Lisaks on see suund avatud kõrgetele tormilainetele, mille tagajärjel võib tormiaegsele veetasemele lisanduda laineaju panus. Tugevate ja/või püsivate kirdetuulte tagajärjel esineb Haapsalus olukordi, kus veemassid rannikult ära voolavad ning rannikuäärne veetase on pikaajalisest keskmisest oluliselt madalam. Märkimismäärne veetaseme alanemine võib aset leida tuulte toimetel 3–5 päeva jooksul (Suursaar jt., 2003).

### **2.4. Rekordilised veetasemed Haapsalu rannikul**

Rohukülas on rekordmadal mõõdetud veetase olnud 1959. aasta detsembris -1,01 m. Samal ajal oli samas mastaabis veetaseme alanemine ka Haapsalus, kuid kuna ametlikke veetaseme mõõtmisi ei toimunud, siis pole seda registreeritud. Haapsalus registreeritud rekordiline miinimum esines 1976. a, mil meretase oli 0,91 m allpool pikaajalisest keskmisest (Soopan,

2016). Ajaloolised rekordveetasemed on esitatud BK77 süsteemis, EH2000 süsteemi teisendamiseks tuleb neile lisada 22 cm.

Kriitiliseks veetasemeks loetakse Haapsalus 1,40 m üle pikaajalise keskmise BK77 süsteemi järgi (Suursaar ja Sooäär, 2006; 1,62 m EH2000 süsteemis). Haapsalu lahe rannikuala ning linn said tugevasti kannatada 1967. aastal 18. oktoobril toimunud tormis, milles tekkinud veetaseme tõusu loetakse üheks 20. sajandi ohtlikumaks Eesti rannikul (Eesti ilma riskid, 2012). Pole teada kui kõrgele veetase Haapsalus tõusis, kuid samas tormis esines Pärnus rekordiline veetase 2,53 m üle pikaajalise keskmise, mida on hiljem vaid 2005. aasta jaanuaritormis ületatud. 2001. aastal 15–16. novembril esinenud tormis uputas tõusuvesi Haapsalu mereäärsed piirkonnad. 2005. aasta 9. jaanuari tormi tagajärjel tekkinud üleujutus kestis Haapsalus umbes 12 tundi (Suursaar ja Sooäär, 2006). Haapsalus tol ajal veetaseme mõõtmisi ei teostatud, kuid modelleeritud andmete põhjal hinnatakse, et veetaseme kõrgus võis olla 1,97 m (Suursaar ja Sooäär, 2006) üle pikaajalise keskmise. Kõikide nende sündmuste puhul oli veetase ekstreemne terves Haapsalu lahes.

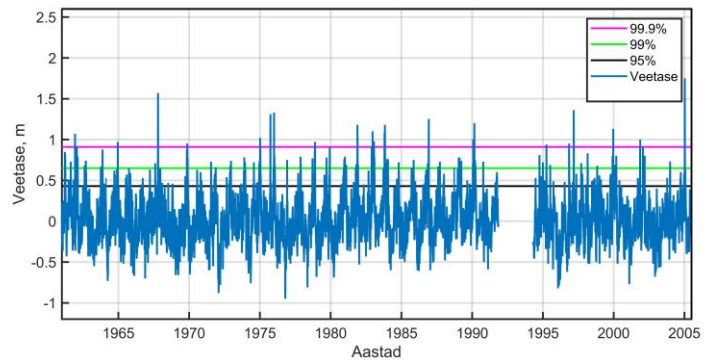
### 3. VEETASEMETE ANALÜÜS

Haapsalus on meretasemeid mõõdetud aastatel 1945; 1947–1957; 1971–1987 ning automaatjaamaga alates 2010. aastast tänaseni. Mõõtepunkti koordinaadid on 58° 57' 29" 6 23° 31' 39" 6 (Kapp, 2017). Pikaajaliseks analüüsiks, näiteks lineaarsete trendide leidmiseks, on oluline, et andmerida oleks ajas võimalikult järjepidev. Haapsalus sadamas mõõdetud andmeridade lünklikkuse tõttu rakendati käesolevas analüüsis sisendandmetena Rohuküla sadamas teostatud mõõdistusi, mis katavad järjest pikemat ajaperioodi. Rohuküla sadamas teostati veetasemete mõõdistusi aastatel 1922; 1937–1940; 1950–1991; 1994–2013, automaatjaamaga toimusid mõõtmised aastatel 2007–2013. Rohuküla mõõtejaama koordinaadid on 58° 54' 16" 4 N 23° 25' 31" 4 E (Joonis 3.1; Kapp, 2017). Vaatamata lühiajalistele erinevustele lokaalsetes veetasemetes korreleeruvad veetasemed omavahel ruumis Eesti rannikudel ligikaudu 200–400 km-i ulatuses (Raudsepp jt., 1999). Enamjaolt on Rohuküla ning Haapsalu lahe piirkonnas veetasemed üsna sarnased. Mõningatel juhtudel võivad erinevused Rohuküla ning Haapsalu sadamates mõõdetud veetasemete vahel ulatuda ligikaudu 5–15 cm-ni, lühiajaliselt võivad need ka suuremad olla (Lehte, 2010). Tõenäoliselt esinevad nimetatud erinevused eelkõige kõrgemate veeseisude ajal. Seetõttu on Rohuküla sadamas mõõdetud andmed sobivad iseloomustamiseks Haapsalu lahe veetaseme sesoonset käiku, pikaajalisi trende, veetasemete kestvuse ajalisi pikkusi ja teisi näitajaid. Rohuküla sadamas teostatud analüüsi tulemused on esitatud BK77 süsteemis kui ei ole mainitud teisiti (EH2000 süsteemi teisendamiseks tuleb neile lisada 22 cm).

Analüüsiks kasutatud Rohukülas mõõdetud veetasemete aegrida katab aastaid 1950–2006, andmed on registreeritud kord 6 tunni jooksul. Aastate 1992–1993 kohta mõõtmisandmed puuduvad. Mõõdetud andmetest nähtub, et veetase uuringualas varieerub aasta lõikes oluliselt ning ilmneb tugev sesoonne käik (Joonis 3.2), kuid puudub silmnähtav pikaajaline trend. Ka



kvantiile (95%, 99% ja 99,9%) ületavate veetasemete esinemissageduses ei paista vaadeldaval ajaperioodil selgeid pikaajalisi trende (Joonis 3.2).



**Joonis 3.1.** Veetasemete mõõtepunkti paiknemine Rohuküla sadamas.

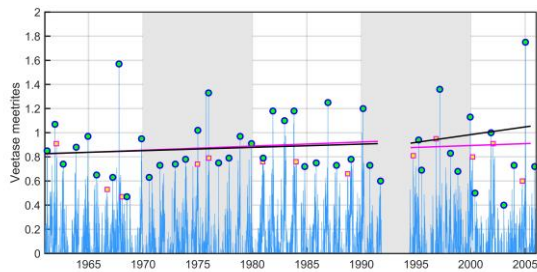
**Joonis 3.2.** Veetasemete käik aastatel 1950–2006 Rohuküla sadama mõõtejaamas ning selle 95%, 99% ja 99.9% kvantiilid (BK77 süsteemis).

Kõrgete veetasemete trende täpsemalt on käesolevas töös analüüsitud aastaste maksimaalsete veetasemete väärtuste põhjal. Trendide leidmisel on oluline, et väärtused oleks teineteisest sõltumatud ning aeg üle mille neid leitakse oleks piisav. Läänemere tingimustes ei pruugi kalendrikuu maksimumid omavahel sõltumatud olla (Johansson jt., 2014, Soomere jt., 2015). Läänemeres ei pruugi isegi järjestike kalendriaasta maksimumid omavahel sõltumatud olla, sest maksimumide kujunemisel on oluline roll vee hulgal Läänemeres (mere taustveetasemel), see mõjutab veetaset mitme nädala vältel. Kui kogu mere veetase on kõrge ühe aasta detsembris võib see põhjustada ka maksimumi kujunemist sellele järgneva aasta jaanuaris, sealjuures pole tegemist iseseisva sündmusega (Soomere jt., 2015). Tagamaks maksimumide sõltumatus on trendide leidmisel rakendatud nii kalendriaasta (jaanuarist detsembrini, klassikaline meetod) kui ka tormiperioodi (maist aprillini) maksimume.

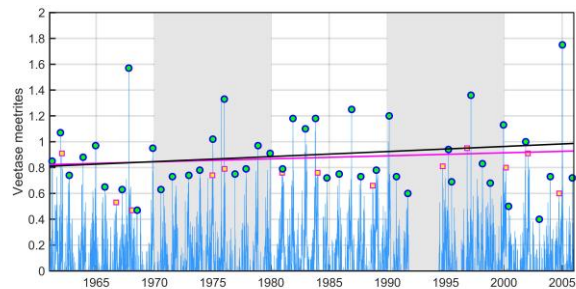
Kalendriaasta maksimaalsed veetaseme väärtused kasvasid ajavahemikul 1950–1991 kiirusega 2,7 mm/aastas (mus joon Joonis 3.3). Tormiaasta maksimumide põhjal kasvasid mõõdetud väärtused kiirusega 3,4 mm/aastas (roosa joon Joonis 3.3). Perioodil 1994–2006 suurenesid kalendriaasta maksimumid kiirusega 3,1 mm/aastas ning tormiaasta maksimumide kasvu kiirus oli 12,8 mm/aastas (Joonis 3.3). Perioodi 1994–2006 jaoks leitud trend katab väga lühikest ajaperioodi ning tormiaasta maksimumid on tugevalt mõjutatud 2005. aasta 9.jaanuari tormist, seetõttu ei ole nende kasv usaldusväärne.

Trendijoon, mis on leitud üle kalendriaasta maksimumide aastate 1950–2006 jaoks (ignoreeritud on lünki aastatel 1992–1993) kasvab kiirusega 3,9 mm/aastas ning tormiaasta maksimumid kasvavad kiirusega 2,3 mm/aastas (Joonis 3.4). Need väärtused erinevad mõnevõrra ajaperioodi 1950–1991 väärtusest, kuid on nendega siiski võrdlemisi hästi kooskõlas. Seega, lähtudes Rohuküla sadamas teostatud mõõtmistest on selles piirkonnas aastased veetaseme maksimumid ajavahemikul 1950–2006 lineaarselt kasvanud. Selline aastaste maksimumide kasv võib olla tingitud tormide tugevnemisest, tormiperioodi pikenemisest või sellest, et mõned tugevad tormid

on saanud suundadest, kust neid varem pole esinenud (Soomere ja Pindsoo, 2016). Lineaarsete kasvutrendide põhjal ei saa usaldusväärseid pikaajalisi veetasemete tulevikuprojektsioone koostada. Ekstreemsete veetasemete tulevikuprojektsioonide täpsem kirjeldus on esitatud peatükis 3.3.



**Joonis 3.3.** Veetasemete trendid üle kalendriaasta (must joon) ning tormiaasta (roosa joon). Trendijooned on leitud eraldi ajavahemiku 1950–1991 ning 1994–2006 jaoks.

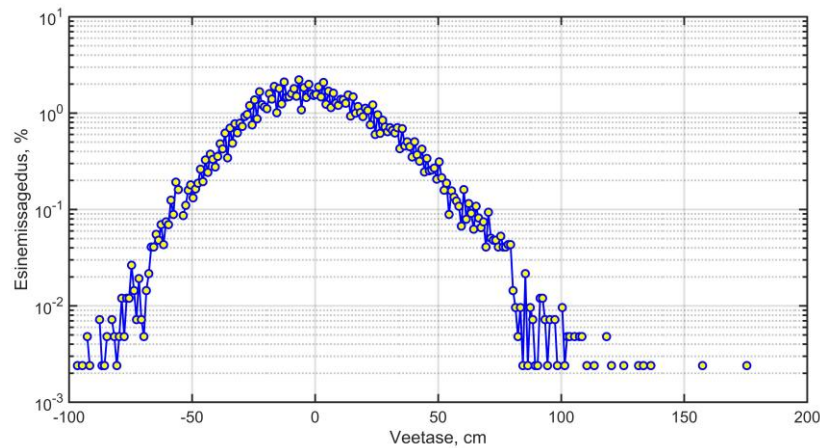


**Joonis 3.4.** Veetasemete trendid üle kalendriaasta (must joon) ning tormiaasta (roosa joon). Trendijoon on leitud aastate jaoks 1950–2006, sealjuures on ignoreeritud andmete puudumist aastatel 1992–1993.

### 3.1. Veetasemete esinemissagedused ja sesoonne muutlikkus

Eesti rannikuvetes on erinevate veetasemete esinemissagedus asümmeetriline (Eelsalu jt., 2014). Soome lahes ja Eesti rannavetes on kõrge veetase tavaliselt lühiajaline nähtus, madalad veetasemed esinevad sageli pikemate ajavahemike vältel. Seevastu võivad kõrged veetasemed meie randades ulatuda enam kui kaks korda kõrgemale võrreldes merepinna alanemisega madalate veetasemete esinemisel. Veetasemete sagedusjaotuse kuju (Joonis 3.5) annab edasi kõrgete ning madalate veetasemete asümmeetriat Eesti rannavetes (Johansson jt., 2001). Jooniselt nähtub, et sagedamini esineb keskmisest mõnevõrra madalamat veetaset (Joonis 3.5 jaotuse tipp jääb negatiivsele poolele).

Veetaseme absoluutne kõikumine Haapsalu lahe piirkonnas ulatub Rohukülas mõõdetud veetasemete andmestikul 2,76 meetrini, mis langeb üldjoones kokku Eesti rannikumere avamere veetaseme kõikumise mastaabiga. Minimaalne mõõdetud veetaseme väärtus on -1,01 m ning maksimaalne väärtus on 1,75 m (09.01.2005 aasta tormis ulatus maksimum hinnanguliselt peaaegu 2 meetrini). Ajaloolistelt mõõdetud ja modelleeritud andmete põhjal hinnatud ekstreemumite alusel võib absoluutne veetaseme kõikumine Haapsalu lahes ulatuda ligi 3 meetrini.

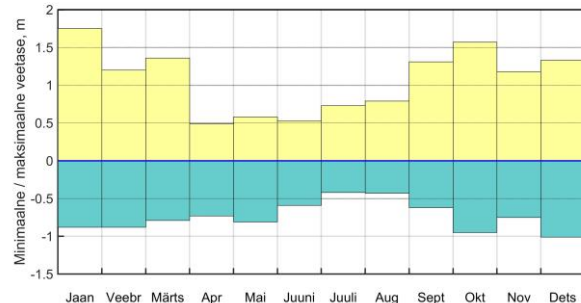


**Joonis 3.5.** Rohuküla sadama veetasemete esinemise sagedusjaotus (lahutusvõime 1 cm).

Veetaseme kuu keskmised väärtused on enamasti pikaajalisest keskmisest veetasemest madalamad kevadkuudel ja suve algul ning kõrgemad sügis- ja talvekuudel. Rohuküla veetaseme andmete põhjal on aasta lõikes veetase pikaajalisele keskmisele kõige lähemal veebruaris, juulis ning augustis (Joonis 3.6). Keskmise on pikaajalisest veetasemest märkimisväärselt madalam märtsist maini ning kõrgem septembrist detsembrini (Joonis 3.6). Kuu keskmiste veetasemete maksimaalse ning minimaalse väärtuse vahe on 0,29 m (-0,17 m mais ning 0.12 m detsembris).



**Joonis 3.6.** Kuu keskmised veetasemed (sinised tulbad), kolme päeva keskmine veetase (sinine joon).



**Joonis 3.7.** Kuu maksimaalsed veetasemed (kollased tulbad) ja minimaalsed (rohelised tulbad).

Ka kalendrikuude maksimaalsed ning minimaalsed veetaseme väärtused väljendavad kõrgete ning madalate veetasemete asümmeetriat (Joonis 3.7). Kuude lõikes muutub maksimaalne veetase 1,26 m võrra, 0.49 m aprillis ning 1.75 m jaanuaris ning madalaim veetase muutub 0,59 m võrra, -0.42 juulis ja -1.01 detsembris. Kõikidel kalendrikuudel esineb pikaajalisest keskmisest kõrgemaid ning madalamaid veetaseme väärtusi, kuu ekstreemumite vaheline amplituud on suurem sügis- ja talvekuudel ning tagasihoidlikum aprillist augustini (Joonis 3.7).

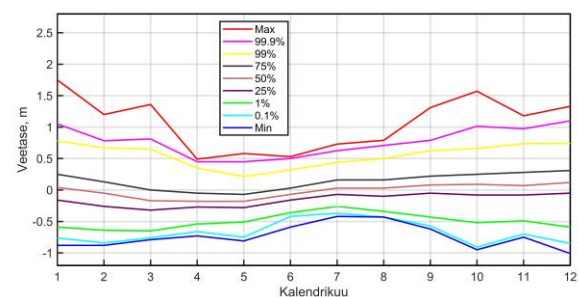
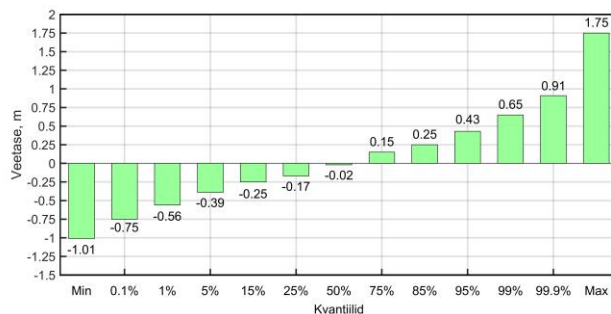
### 3.2. Veetasemete esinemissageduse kvantiilid

Väga kõrged veetasemed esinevad üsna harva, vaid 0,1% kõikidest väärtustest on kõrgemad kui 0,91 m, 1% on kõrgemad kui 0,65 m, 5% veetasemetest olid kõrgemad kui 0,43 m ning 25%

## I köide - Veetaseme ja maakerke tõusu mõju Haapsalu lahele

veetasemetest olid kõrgemad kui 0,15 m. Veetasemetest 50% olid 0,02 m allpool pikaajalist keskmist veetaset, 25% olid madalamad kui -0,17 m, 5% madalamad kui -0,39 m, 1% madalamad kui -0,56 m ja 0,01% madalamad kui -0,75 m (Joonis 3.8).

Kvantiilide jaotus kuude lõikes (Joonis 3.9) varieerub tagasihoidlikult, üldiselt on talvised kvantiilid ekstreemumitele (seda nii kõrgete kui ka madalate veetasemete puhul) lähemal kui suvised, kuid suure mastaabis on väärtused võrreldavad üle aastate 1950–2006 leitud kvantiilide väärtustega (Joonis 3.8). Veetasemetest 0,1% on jaanuarikuus kõrgemad kui 1,05 m ning aprillikuus kõrgemad kui 0,45 m (vahe 0,64 m). Erinevus kuude lõikes väheneb keskmiste kvantiilide jaoks, näiteks keskmine veetase (50% kvantiil) on detsembris 0,12 m ning aprillis ja mais -0,18 m (erinevus 0,30 m).



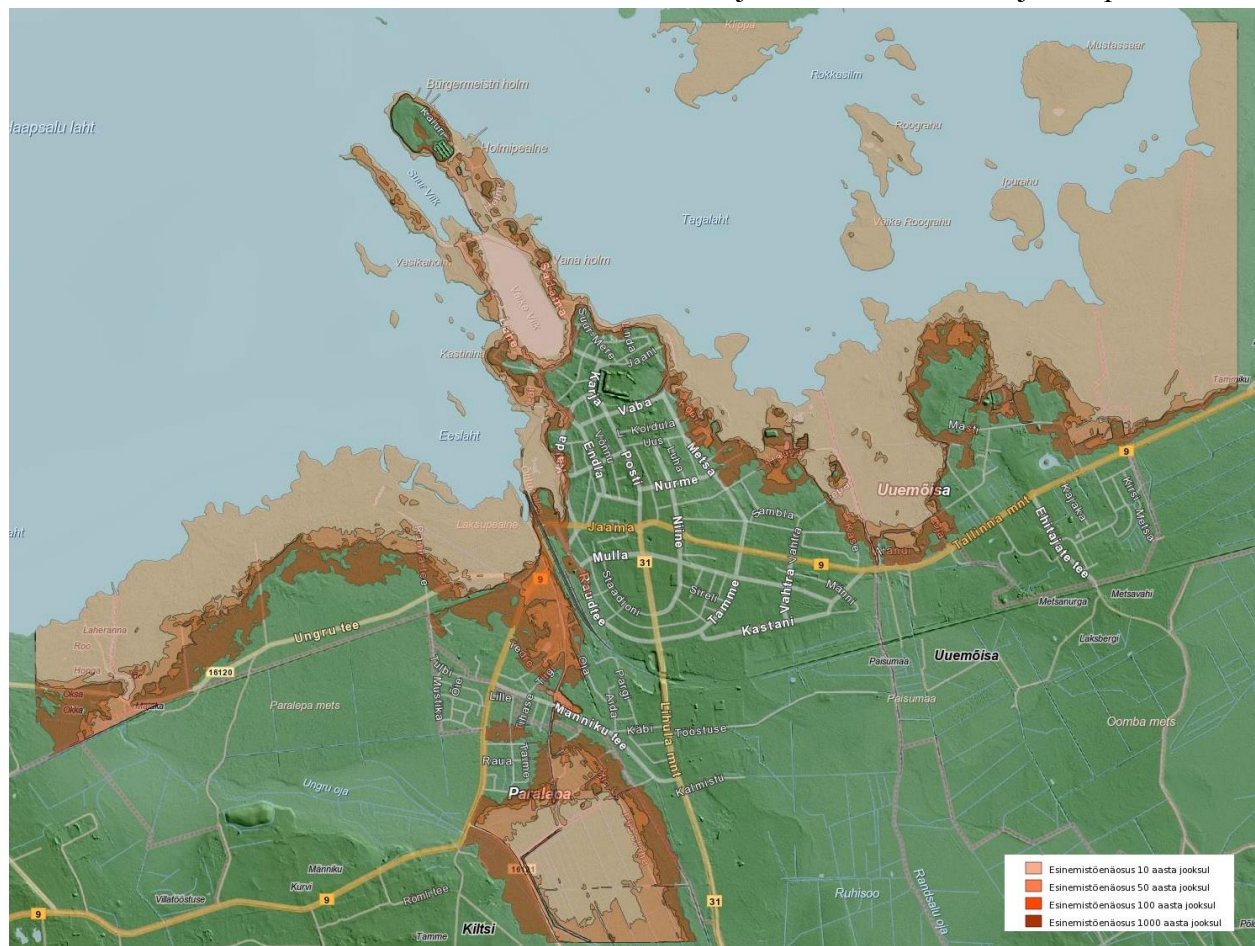
**Joonis 3.8.** Veetaseme kvantiilidele vastavad nivood Rohuküla sadamas mõõdetud andmete põhjal aastatel 1950–2006.

**Joonis 3.9.** Veetasemete käik kalendrikuude lõikes üle aastate 1950–2006 Rohuküla sadama mõõtejaamas.

Madalate kvantiilide puhul erinevus kuude lõikes suureneb uuesti, 0,1%, millest esines madalamaid veetasemeid on oktoobris -0,91 m ning juulis -0,37 m (erinevus 0,54 m). Kuude lõikes esinevad kõrgete kvantiilidele (99,9%, 99%) vastavad väiksemad veetaseme väärtused kevad- ja suvekuudel (aprillist augustini). Madalamate kvantiilide (0,1% ja 1%) puhul on aastane käik vastupidine, madalamad väärtused esinevad talvel ning kõrgemad veetaseme väärtused suvekuudel (maist septembrini). Seega esineb sügis- ja talvekuudel suurem varieerumine veetasemete väärtustes, esineb nii väga madalaid kui ka kõrgeid väärtusi ning hilistel kevad- ja suvekuudel on veetasemete üleüldine varieerumine mõnevõrra tagasihoidlikum.

### 3.3. Ekstreemsete veetasemete korduvusperioodid

Veetaseme korduvusperioodidele vastavaid läviväärtusi arvutatakse lähendades veetasemete esinemissageduste jaotust analüütiliste tõenäosusjaotustega. Haapsalu piirkonnas on veetasemete korduvusperioodidele vastavaid läviväärtusi hinnatud 2014. aastal Keskkonnaministeeriumi aruandes „Üleujutusohupiirkonna ja üleujutusohuga seotud riskipiirkonna kaardid“ (Tabel 2), andmestik on 2018. aastal ajakohastatud. Nende andmete alusel on Maa-ameti XGIS-süsteemis (<https://xgis.maaamet.ee>) konstrueeritud kaardid, kus on esitatud vee alla jäävad maa-alad Haapsalu linna lähistel kord 10, 50, 100 ning 1000 aasta jooksul esineva veetaseme puhul (Joonis 3.10).



**Joonis 3.10.** Väljavõte Maa-ameti üleujutusohupiirkonna ja üleujutuse ohuga seotud riskipiirkondade kaardist (<https://xgis.maaamet.ee>). Erinevate värvidega on esitatud Keskkonnaministeeriumi uuringu andmetel (Keskkonnaministeerium, 2014) põhinevad korduvusperioodidele 10, 50, 100 ja 1000 aastat vastavate veetasemete ulatused EH2000 kõrgussüsteemis.

Keskkonnaministeeriumi teostatud uuringus kasutati Haapsalu veetasemetele hinnangute andmiseks vastavalt WMO juhendile (Guide to Hydrological Practices. Vol II. Management of Water Resources and Applications of Hydrological Practices) Gumbel I tüüpi (*Gumbel I type (EVI)*) jaotusfunktsiooni. Algandmetena kasutati Haapsalus mõõdistatud andmeid, mis katsid aastaid 1947–1956, 1971–1978, 2005 (Keskkonnaministeerium, 2014). Tulemusena saadi, et kord 10 aasta jooksul võib tormiaegne veetase Haapsalu lahes EH2000 kõrgussüsteemi järgi tõusta 1,78 meetrini, kord 50 aasta jooksul võib see ulatuda 2,18 meetrini, kord 100 aasta jooksul võib esineda veetaset 2,35 meetrit ning korra 1000 aasta jooksul võib ekstreemne veetase ulatuda 2,91 meetrini üle pikaajalise keskmise veetaseme (Tabel 2).

**Tabel 2. Veetaseme tõenäosustsenaariumid (Keskkonnaministeerium, 2014, Lisa 2)**

Riskipiirkond	Aastas ühekordse sündmuse esinemise tõenäosuse %, (sulgudes korduvusperiood)
---------------	--

	0,1 (1000 a.)	1 (100 a.)	2 (50 a.)	10 (10 a.)
Haapsalu (BK77 süsteemis)	2,69	2,13	1,96	1,56
Haapsalu (EH2000 süsteemis)	2,91	2,35	2,18	1,78

Haapsalu lahes lisanduvad läänetormides ekstreemsele veetasemele ka kohalikud efektid nagu lainearu. Keskkonnaministeeriumi (2014) veetaseme tõenäosustsenaariumites sisaldub kohalike efektide mõju. Sealjuures on leitud tõenäosustsenaariumite andmed (Tabel 2) heas kooskõlas alternatiivse sama uuringuala katva Soomere jt., (2016) poolt teostatud rakendusuuringu raames leitud ekstreemsete veetasemete korduvusperioodide läviväärtustega. Soomere jt., (2006) kasutasid oma töös veetasemete hindamiseks modelleeritud avamere veetaseme väärtusi, millele lisati kohalike efektide panus rannajoonel, mille ulatus on uuritavas piirkonnas kord 50 aasta jooksul ligikaudu 0,4 m (Soomere jt., 2016). Kokku on avamere veetasemest ning lainearust kombineeritud tulemused väga sarnased Tabel 2 esitatud väärtustega. Seega on kahe hiljuti koostatud sõltumatu erineval meetodikal ning alusandmetel tuginevate uuringute (Keskkonnaministeerium 2014 ja Soomere jt., 2016) tulemusena leitud ekstreemsete veetasemete korduvusperioodide läviväärtused omavahel väga heas kooskõlas. Seetõttu võib eeldada, et Tabel 2 esitatud väärtused on realistlikud.

Ekstreemselt kõrged veetasemed esinevad enamjaolt koos tugeva tormilainetusega. Selle kombinatsiooni tagajärjel seguneb veemass madalaveelistel aladel kuhu lainetus levib täielikult. Kõrgete veetasemed põhjustavad üleujutusi. Lisaks üleujutuste tagajärjel tekkivatele purustustele uhutakse üleujutusala jäävatest piirkondadest merre täiendavalt toitaineid ja reovett. Üleujutustest tingitud reostuskoormus võib olla eriti suur kui nende võimalike määradega pole linna sademevee süsteemi rajamisel arvestatud.

### 3.4. Kvantiile ületavate veetasemete ajaline kestvus

Kordade arv, mil veetase on teatud kvantiili ületanud ei pruugi tingimata erinevate tormide numbrit tähistada, veetase võib ka ühe tormi või teineteisele järgnevat tormide lõikes kvantiiliga määratud veetaseme piirist korduvalt üles ning alla kõikuda. Edaspidi on kvantiilide ületamisi nimetatud eraldi sündmusteks (võib esineda samas tormis). Sündmuste pikkusi väljendatakse mõõtmisandmete ajalise lahutusvõime tõttu 6 tunnise sammuga. Tabel 3 Tabel 3. Kvantiilide ületavate veetasemete ajaline kestvus Rohuküla mõõtmisandmete põhjal. on Rohuküla sadamas mõõdetud andmete põhjal esitatud veetaseme lävi ja mitu korda vaadeldud 55 aasta (1950–1992, 1994–2006) jooksul seda läve on ületatud. Seejärel on esitatud maksimaalne ühe sündmuse kestvus vaadeldava ajavahemiku vältel ning ka keskmine ühe sündmuse pikkus. Mõnel juhul, eriti keskmistele väärtustele lähedal olevate kvantiilide puhul võib maksimaalse sündmuse pikkus oluliselt olla mõjutatud sellest kui pikalt Läänemere taustveetase on üleval olnud. Kõikide kvantiilide puhul oli minimaalne sündmuse pikkus 12 tundi (ei ole Tabelis 3 esitatud). Esile on

toodud ka kogu veetaseme kestvus tundides uuritud 55 aasta vältel ning selle alusel leitud keskmine kvantiili ületava veetaseme kestvus ühe kalendriaasta vältel.

**Tabel 3. Kvantiilide ületavate veetasemete ajaline kestvus Rohuküla mõõtmisandmete põhjal.**

Veetaseme lävi, m	Mitu korda ületatud	Maksimaalne kõrge veetaseme kestvus (tundides)	Keskmine veetaseme kestvus (tundides)	Kogu veetaseme kestvus (tundides)	Veetaseme kestvus aastas (tundides)
>1,74 (reg. maksimum)	1	12	12	12	0,22
>1,4 (Haapsalus ohtlikuks loetud veetase)	2	12	12	24	0,44
>0,91 (üle 99,9% kvantiili)	32	24	14	444	8
>0.65 (üle 99% kvantiili)	197	180	18	3588	65
>0.43 (üle 95% kvantiili)	662	366	24	15708	286
>0.15 (üle 75% kvantiili)	1542	864	46	70512	1282
>-0.02 (üle 50% kvantiili)	1887	1602	71	134112	2438
<-0.02 (alla 50% kvantiili)	1835	1518	73	134040	2437
<-0.17 (alla 25% kvantiili)	1490	1068	48	70860	1288
<-0.39 (alla 5% kvantiili)	401	318	51	13878	252
<-0.56 (alla 1% kvantiili)	97	210	32	3036	55

<-0.75 (alla 0,1% kvantiili)	15	48	21	306	6
------------------------------	----	----	----	-----	---

Rohukülas teostatud veetaseme mõõtmised on Haapsalus ohtlikuks nimetatud veetaset 1,40 m ületanud vaid 2 korda, mõlemad korrad oli veetase üle määratud piiri 12 tunni vältel, keskmiselt esineb sellist veetaset 0,44 tunni vältel aastas (Tabel 3). See on tõenäoliselt alahinnatud. 99.9% kvantiili ületusi esines vaadeldava 55 aasta jooksul 32 korda, maksimaalselt oli veetase üleval 24 h vältel. Keskmise 99.9% kvantiili ületava veetase kestvus oli 14 h. Keskmiselt ületab veetase 99.9% kvantiili ühe sündmuse jooksul 8 tunni vältel aastas. 99% kvantiili ületas veetase 197 korda, maksimaalne ületus kestis 180 tundi, keskmiselt oli veetase kvantiiliga sätestatud piirist ühe sündmuse jooksul kõrgemal 18 tunni vältel ning kalendriaasta jooksul ületab veetase seda kvantiili ligikaudu 65 tunni vältel. Keskmiste kvantiilide (95%–25%) puhul toimub rohkem ning pikemaajaliselt nende ületamisi.

50% kvantiilides madalamate puhul on vaadeldud väärtusi, mis jäävad minimaalse veetaseme ning vastava kvantiili vahele. Näiteks 1% kvantiilist madalamaid veetasemeid esines 97 korral, maksimaalne kestvus oli 210 tundi, keskmine kvantiilist madalamate veetasemete kestvus oli 32 tundi ning aastas esines -0.56 m madalamaid veetasemeid 55 tunni vältel. 0.1% kvantiilist madalamaid väärtusi esines vaadeldava ajaperioodi vältel 15 korral ning maksimaalne sellise veetaseme kestvus ulatus 48 tunnini, keskmiselt 21 tunnini. Aasta lõikes esines selliseid veetasemeid 6 tunni vältel (Tabel 3).

Tabel 3 peegeldab varasemalt kirjeldatud seaduspära, et madalamaid veetasemeid esineb sagedamini ning nende ajaline kestvus on pikem. Keskmiselt on veetase lahes paari sentimeetri võrra madalama pikaajalisest keskmisest (BK77 süsteemis, EH2000 süsteemis on see väärtus positiivne). Kuude lõikes kõigub keskmine väärtus 0 ümber (Joonis 3.6, Joonis 3.9), sõltuvalt vastaval perioodil domineerivatest tuulesuundadest ja muud veetaset mõjutavatest teguritest. Vaatama sellele, et käesolevas analüüsis on esitatud Rohuküla sadamas teostatud mõõtmised, annavad sealseid trendid, kvantiilid ning veetasemete üldine käik hea ülevaate ka veetaseme dünaamikast Haapsalu lahes. Erinevused (varem nimetatud 5–15 cm ja lühiajaliselt rohkem) tulevad eelkõige esile kõrgete kvantiilide puhul. On võimalik, et Rohukülas aset leidnud kvantiilide ületamiste arv erineb mõnevõrra Haapsalus omast.



## 4. KOKKUVÕTE

Haapsalu laht on madalaveeline ala, mis osaliselt kannatab toitainete akumulatsioonide ning selle tagajärjel eutrofeerumise all. Laht paikneb piirkonnas, kus siiani on jääajajärgne maakerge pikaajalist veetaseme tõusu ületanud. Kuid maakerke tõusu kiiruse taandumisega ning veetaseme tõusu kiirenemisega on olukord muutumas. Leontjev (2018) andmetel tõuseb suhteline veetase 10 aasta jooksul 2 cm-i, 50 aasta jooksul 10 cm-i ning 100 aasta pärast on veetase tõusnud 20 cm-i. Selline veetaseme tõus ei muuda Haapsalu lahe sügavusi olulisel määral ning seetõttu tõenäoliselt ei avalda ka märkimisväärset positiivset mõju lahe seisundile. Pigem võib madalaveeliste alade üle ujutamine tuua süsteemi täiendavaid toitaineid.

Sellel põhjal on kõrgemal baas-veetasemel oluline roll tormide ajal, mil see võimaldab kõrgel tormiaegsel veetasemel ning tormilainetusel tungida sügavamale sisemaale. Haapsalu lahes loetakse kriitiliseks veetasemeks 1,40 meetrit üle pikajalise keskmise BK77 süsteemi järgi. Kõigi aegade maksimum on seal modelleeritud andmete põhjal 1,97 m ning rekordiline registreeritud veetasemete miinimum on -0,91 m. Haapsalu lahes on kalendriaasta maksimaalsed on ajavahemikul 1950-2006 kasvanud ligikaudu 2-3 mm/aastas. Selline kasv viitab muutustele tormiaegsetes tuulestruktuurides, tormide tugevnemisele või tormiperioodi pikenedamisele. Siiski ei saa eeldada, et veetasemete maksimumide kasv jätkub samamoodi.

Haapsalu lahes esineb sagedamini keskmisest veetasemest mõnevõrra madalamat veetaset, sealjuures püsivad madalad veetasemed pikema ajaperioodi vältel. Maksimaalseid veetasemeid esineb harvemini, kuid nende absoluutväärtus on võrreldes madalate veetasemete omaga märksa suurem. Haapsalu lahe veetasemetes ilmneb tugev sisse- ja väljavee käik. Kuu keskmised veetasemed on pikaajalisest keskmisest madalamad kevadel ja kõrgemad sügisel ning talvel. Sarnane dünaamika esineb ka kalendrikuude maksimaalsete ning minimaalsete veetasemete puhul. Ka kõrgete ning madalate kvantiilide puhul esineb sügis- ning talvekuudel võrreldes suvekuudega suurem varieerumine veetasemete väärtustes.

Haapsalu lahes võivad veetasemed tõusta kord 10 aasta jooksul 1,56 m kõrgusele, kord 50 aasta jooksul 1,96 m kõrgusele, kord 100 aasta jooksul 2,13 m kõrgusele ning kord 1000 aasta jooksul 2,69 m kõrgusele BK77 kõrgussüsteemi järgi. Ekstreemsed veetasemed esinevad üldjuhul koos tugeva tormilainetusega, piirkondades kuhu tormilained levivad seguneb madalaveelistel aladel veemass täielikult. Lisaks tekitavad kõrged veetasemed üleujutusi, mille tagajärjel uhitakse merre täiendavaid toitaineid.

Haapsalu lahes on ohtlikku 1,40 m ületavat veetaset esinenud aastas keskmiselt 0,44 tunni vältel, maksimaalselt on veetase olnud ühe sündmuse jooksul üleval 12 tundi. 99.9% kvantiili ületavat veetaset 0,91 m on esinenud aastas 8 tunni vältel, mil ühe sündmuse kestvus oli maksimaalselt 24 tundi. Keskmisi kvantiile (keskmine veetase on -0.02 m) ületab veetase sagedamini ning ühe sündmuse kestvus on pikaajalisem. 1% kvantiilist madalamaid veetasemeid, väiksemaid kui -

0,56 m, on aastas esinenud 55 tunni vältel, mil piki ajaline kestvus oli 32 tundi. 0,1% kvantiilist väiksemaid väärtusi on esinenud aastas 6 tunni vältel ning pikim sündmus kestis 21 tundi.

Käesolevas analüüsis on suures osas toetud Rohuküla sadamas teostatud veetaseme mõõdistustele. Kuigi aegajalt võib Rohuküla piirkonna ning Haapsalu lahe veetasemetes esineda mõningaid 10-15 sentimeetriseid erinevusi ning lühiajaliselt ka suuremaid annavad Rohukülas mõõdetud andmed hästi edasi Haapsalu lahe veetasemete üldist dünaamikat ning pikemaajalisi trende.

**VIIDATUD KIRJANDUS**

- Coles, S. 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer.
- Eelsalu, M., Soomere, T., Pindsoo, K., Lagemaa, P. 2014. Ensemble approach for projections of return periods of extreme water levels in Estonian waters. *Continental Shelf Research*, 91, 201–210.
- Hünicke, B., Zorita, E., Soomere, T., Madsen, K. S., Johansson, M. & Suursaar, Ü. 2015. Recent change – Sea level and wind waves. In *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin* (The BACC II Author Team, ed.), pp. 155–185. Springer; [http://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1\\_9](http://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_9) [viewed 9 April 2015].
- Jaagus, J, Suursaar, Ülo. 2013. Long-term storminess and sea level variations on the Estonian coast of the Baltic Sea in relation to large-scale atmospheric circulation. – *Estonian Journal of Earth Sciences* 62 (2): 73–92.
- Johansson, M., Boman, H., Kahma, K.K., Launiainen, J. 2001. Trends in sea level variability in the Baltic Sea. *Boreal Environment Research*, 6, 159–179.
- Johansson, M.M., Pellikka, H., Kahma, K.K., Ruosteenoja, K. 2014. Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *Journal of Marine Systems*, 129, 35–46
- Kapp, K. 2017. Ülevaade mere veemõõdujaamade ajaloolistest arhiivandmetest ja nende aeGRIDade analüüs. *Bakalaurusetöö, geodeesia, maakorralduse ja kinnisvara planeerimise õppekava*. Tartu, 70 lk.
- Keskonnaministeerium. 2014. Üleujutusohupiirkonna ja üleujutusohuga seotud riskipiirkonna kaardid. Tallinn, 31 lk.
- Krall, T. 2016. Vertical crustal movements based on precise levellings in Estonia. Väitekirj filosoofiadoktorikraadi taotlemiseks geodeesia erialal. Tartu, 236 lk.
- Lehte, I. 2010. Tuul puhus Tagalahe kuivaks. *Lääne Elu*, 30.09.2010, nr 111.
- Leontjev, H. 2018. Eesti rannikuäärsete linnade üleujutusosalade kaardistamine kõrgusmudeli andmete abil. *Bakalaurusetöö geodeesia ja maakorraldusõppekaval*, Tartu, 42 lk.
- Lutt, J. ja J. Kask, 1980. Matsalu lahe põhjasetted. Mägi, E (toim.) *Loodusvaatlusi 1978*, 1. kd. Valgus, Tallinn, lk. 166–178.
- Martin, G. 2007. Matsalu ja Haapsalu lahe seisundi täpsustamine ning seisundi vastavuse hindamine aastaks 2015 kehtestatud keskkonnaeesmärkidele. TÜ Eesti Mereinstituudi aruanne, 39 lk.
- Raudsepp, U., Toompuu, A., Kõuts, T. 1999. A stochastic model for the sea level in the Estonian coastal area. *Journal of Marine Systems*. Vol 22, 1. pp 69–87.
- Rosentau, A., Muru, M., Karro, E., Sepp, M. 2016. Kliimamuutused. Meie tulevik: maatõus või uputus? *Eesti Loodus*, juuni-juuli, lk 28–35.

Shepherd, A., Ivins, E.R., Geruo, A., Barletta, V.R., Bentley, M.J., Bettadpur, S., Briggs, K.H., Bromwich, D.H., Forsberg, R., Galin, N., Horwath, M., Jacobs, S., Joughin, I., King, M.A., Lenaerts, J.T.M., Li, J., Ligtenberg, S.R.M., Luckman, A., Luthcke, S.B., McMillan, M., Meister, R., Milne, G., Mouginot, J., Muir, A., Nicolas, J.P., Paden, J., Payne, A.J., Pritchard, H., Rignot, E., Rott, H., Sørensen, L.S., Scambos, T.A., Scheuchl, B., Schrama, E.J.O., Smith, B., Sundal, A.V., van Angelen, J.H., van de Berg, W.J., van den Broeke, M.R., Vaughan, D.G., Velicogna, I., Wahr, J., Whitehouse, P.L., Wingham, D.J., Yi, D., Young, D., Zwally, H.J. 2012. A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance. – *Science* 338: 1183–1189.

Soomere, T. 2012. Murdlainete vööndis esineva lokaalse veetõusu poolt ohustatud piirkondade määratlemine Tallinna linna haldusvööndis. Käsikiri. Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituut, 90 lk.

Soomere, T., Eelsalu, M., Kurkin, A., Rybin, A. 2015. Separation of the Baltic Sea water level into daily and multi-weekly components. *Continental Shelf Research*, 103, 23–32.

Soomere, T., Pindsoo, K. 2016. Spatial variability in the trends in extreme storm surges and weekly-scale high water levels in the eastern Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 115.

Soomere, T., Pindsoo, K., Eelsalu, M. 2016. Veetasemete ekstreemumid ja korduvusperioodid Eesti rannikul. Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituut.

Soopan, I. 2016. Ekspert: Haapsalus ja Rohukülas on lähiajaloo olnud veelgi madalamat merevee taset. *Maaleht*, 24.10.2016. <http://maaleht.delfi.ee/news/maaleht/uudised/ekspert-haapsalus-ja-rohukulas-on-lahiajaloo-olnud-veelgi-madalamat-merevee-taset?id=76018459> (05.02.2019)

Summerhayes, C. P. 2015. *Earth's Climate Evolution*. Wiley-Blackwell, pp410.

Suursaar, Ü., Kullas, T., Otsmann, M., Kõuts, T. 2003. Extreme sea level events in the coastal waters of western Estonia. *Journal of Sea Research*, 49, 295–303.

Suursaar, Ü., Sooäär, J. 2006. Storm surge induced by extratropical cyclone Gudrun: hydrodynamic reconstruction of the event, assessment of mitigation actions and analysis of future flood risks in Pärnu, Estonia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 91.

Suursaar, Ü., Sooäär, J. 2007. Decadal variations in mean and extreme sea level values along the Estonian coast of the Baltic Sea. *Tellus Series A-Dynamic Meteorology and Oceanography*, 59 (2), 249–260.

Tammets, T. 2012. Eesti ilma riskid. Eesti Meteoroloogia ja hüdroloogia instituut. [https://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2013/01/eesti\\_ilma\\_riskid\\_2012\\_essona.pdf](https://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2013/01/eesti_ilma_riskid_2012_essona.pdf) (05.02.2019)

Torim, A. 2008. Ettekanne „Maakoore liikumiste uurimine Eestis“. Maa-amet Geodeesia osakond. Tartu, 2008. [https://www.maaamet.ee/docs/geod/Maakoore\\_liikumised\\_Ants.pdf](https://www.maaamet.ee/docs/geod/Maakoore_liikumised_Ants.pdf) (05.02.2019)