

Tellija: Keskkonnaministeerium

Töövõtuleping nr 4-1.1/13/48



**KESKKONNAINVESTEERINGUTE
KESKUS**

**Tallinna linna Haabersti, Põhja-Tallinna ja Kakumäe linnaosade
meretasemete stsenaariumite modelleerimine**

Lõpparuanne

Töö täitjad: Priidik Lagemaa, Urmas Raudsepp, Tarmo Kõuts, Ardo Allik, Jüri Elken
Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut
Akadeemia 15a, 12618 Tallinn
Tel: +372 6204302
www.msi.ttu.ee

Töö finantseeriti SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse “Veemajandus” programmist

Tallinn 2013

Muudatuste tabel

Versioon	Kuupäev	Muudatuse kirjeldus	Autor
1.0	02.09.2013	Aruande esimene versioon	Kõik täitjad
1.1	13.09.2013	Lisa 1 lisatud, p.2 ja p.7 täiendatud	P. Lagemaa

Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Metoodika	5
3. Vaatlusandmed.....	10
4. Meretasemete modelleerimine	12
4.1. Lühiajaline ruumiline modelleerimine.....	12
4.2. Regressioonimudeli kalibreerimine ja valideerimine	14
4.3. Pikaajaline meretasemete modelleerimine.....	17
5. Veetasemete stsenaariumite analüüs.....	18
6. Pikaajalised ja muud meretaset mõjutavad tegurid.....	20
7. Kokkuvõte.....	21
8. Viited.....	23
Lisa 1. Tabelid	27

1. Sissejuhatus

Üleujutus on üks levinumaid looduslikke ohte, tekitades nii majanduslikku kahju, ohtu inimeste tervisele kui ka kahju kultuuripärandile ja keskkonnale. Ujutusi ei ole tihti peale võimalik täielikult ära hoida, kuid kahjude minimeerimiseks on võimalik määratleda üleujutuse riskipiirkonnad ja kasutusele võtta kahjusid minimeerivad meetmed. Seoses 2007 aastal vastuvõetud Euroopa liidu üleujutusohude hindamise ja maandamise direktiiviga (2007/60/EC) alustati Euroopa liidu liikmesriikides riskide hindamise ja maandamise kava väljatöötamist ja elluviimist. Vastavalt direktiivile on töö planeeritud kolmes etapis: üleujutusrisi esialgne hindamine, üleujutusohu ja üleujutusrisi kaartide koostamine ja üleujutusrisi maandamise kavade väljatöötamine ja rakendamine. Peale riskide maandamiskava valmimist 2015. aastal on ette nähtud üleujutusohude riskide, kaartide ja maandamiskavade ajakohastamine iga kuue aasta tagant samaaegselt veemajanduskava ajakohastamisega.

Peale üleujutuste direktiivi ülevõtmist Eesti õigusruumi 2009. aastal valmis 2011. aastal üleujutusega seotud riskide esialgse hinnangu aruanne (Keskkonnaministeerium, 2011a) ja üleujutusega seotud riskide esialgne hinnang (Keskkonnaministeerium, 2011b), kaardistades potentsiaalsed üleujutusohuga alad Eestis. Hinnangus on välja toodud 20 olulise üleujutusohuga seotud tiheasustusalal asuvat riskipiirkonda. Tallinna piirkond on omakorda jaotatud järgnevalt: Tallinna linn, Haabersti, Põhja-Tallinn, Kesklinn ja Pirita linnaosa. Enamusel nendest piirkondadest puuduvad ajaloolised mereveetaseme mõõtmisandmed, mistõttu on üleujutusohude ulatuse hindamiseks vajalik need veetasemed modelleerida.

Käesoleva töö eesmärgiks on modelleerida Keskkonnaministri 17. jaanuaril 2012.a. käskkirjas nr 75 määratud 20-st riskipiirkonnast Tallinna linna Haabersti ja Põhja-Tallinna linnaosade (Tallinna Kopli laht) (Joonis 1) veetasemete tõenäosus stsenaariumid: 0,1 % (võimalik veetase 1000 aasta jooksul); 1% (võimalik veetase 100 aasta jooksul); 2% (võimalik veetase 50 aasta jooksul); 10% (võimalik veetase 10 aasta jooksul). Aruande alguses on antud üldine ülevaade kasutatud meetodikast, misjärel on kirjeldatud kasutatud andmeid, mereveetasemete ja nende tõenäosustsenaariumite

modelleerimist. Aruande lõpus on ülevaade võimalikest pikaajalistest ja muudest mõjudest meretasemele ja töö tulemused kokku võetud.



Joonis 1. Veetasemete tõenäosusstsenaariumite modelleerimise piirkonnad.

2. Metoodika

Peale Euroopa liidu üleujutuste direktiivi kinnitamist tekkis vajadus üleujutuste tõenäosusstsenaariumite hindamise metoodikate ühtseks uurimiseks ja võimalusel Euroopa liidu siseseks ühtlustamiseks. Erinevate metoodikate uurimiseks ja kaardistamiseks käivitati Euroopa liidu projekt FloodFreq (European Procedures for Flood Frequency Estimation) COST (European Cooperation in Science and Technology) Action ES0901 mille põhieesmärgiks oli võrrelda ja hinnata üle-euroopaliselt kasutatavaid meetodeid üleujutuste sageduste hindamiseks erinevates kliimatilistes ja geograafilistes tingimustes. Projektis osales 25 Euroopa riiki (Austria, Belgia, Bulgaaria, Küpros, Tsehhi, Taani, Soome, Prantsusmaa, Saksamaa, Kreeka, Ungari, Island, Iirima, Itaalia, Läti, Leedu, Holland, Norra, Poola, Serbia, Slovakkia, Sloveenia, Hispaania, Türgi, Inglismaa) kui ka riigid ja organisatsioonid väljastpoolt Euroopat (Lõuna Aafrika Vabariik, Lõuna Korea ja WMO (World Meteorological Organisation)). Aastal 2012 lõppenud projekti kokkuvõttes (FloodFreq, 2012) tuuakse välja, et erinevad Euroopa riigid kasutavad üleujutuste riskide hindamiseks erinevaid metoodikaid, mis valitakse tihti traditsioonide ja kohalike kogemuste põhjal. Metoodikad erinevus seisneb peamiselt kasutatavas jaotusfunktsioonis. Üheks enim kasutatavaks jaotuseks on GEV (Generalized

Extreme Value) jaotus (nt Hosking and Wallis, 1997), kuid kasutatakse ka EV1 ehk Gumbeli (Gumbel, 1954), GPA (Generalized Pareto) (Willems jt, 2007), 3-parameetriline LogNormal LN3, jne jaotusi. Aruandes jõutakse järeldusele et sõltuvalt geograafilistest ja kliimaatilistest tingimustest on mõistlik sobivaim jaotus alati eraldi valida.

Olemasolevad ekstreemumanalüüside meetodikad eeldavad peamiselt pikaajaliste (üle 30 a) mõõtmiste olemasolu. Kuna käesolevas töös uuritavate piirkondade jaoks meretaseme mõõtmised puuduvad, töötati välja erinevatel varem kasutatud leidnud meetodikatel ja uurimistöodel (nt Bernier jt, 2007; Lagemaa jt, 2011; Raudsepp jt, 1999; Sudong ja Wenrui, 2008; Suursaar ja Sooäär, 2007; WRC, 1981; Гидрометеоиздат, 1973; Герман, 1971; jpt) põhinev veetasemete tõenäosusstsenaariumite hindamise meetod. Piirkondlikult mugandatud meetod koosneb järgnevatest etappidest:

1. Lühiajaline (kuni 10 a) veetaseme ruumiline modelleerimine hüdrodünaamilise mudeliga uuritavas piirkonnas
2. Regressioonimudeli kalibreerimine mõõtmisandmete ja lühiajaliste modelleerimistulemustega
3. Ekstreemsete meretasemete pikaajaline modelleerimine regressioonimudeliga
4. Veetasemete tõenäosus stsenaariumite arvutamine
 - a. Ekstreemsete veetasemete statsionaarsele kujule viimine
 - b. Aegriidade representatiivsuse puudumisega arvestamine
 - c. Ekstreemsete veetasemete teoreetilise jaotusfunktsiooni arvutamine
 - d. Ekstreemsete veetasemete stsenaariumite määramine ja nende täpsuse hindamine
5. Pikaajaliste ja muude protsesside mõju analüüs meretasemele

Lühiajaliseks meretaseme modelleerimiseks kasutati Eestis operatiivselt veetaseme prognoosideks kasutatavat (Lagemaa jt, 2013) ja HIROMB konsortsiumi poolt tunnustatud HIROMB (High Resolution Operational Model for the Baltic Sea) mudelit (Funquist ja Kleine 2007). HIROMB on hüdrodünaamiline tsirkulatsioonimudel, mis

võtub arvesse meres ajalis-ruumiliselt toimuvaid füüsikalisi protsesse ja nähtuseid (nt meretase, soolsus, temperatuur, jää paksus ja kontsentratsioon, turbulentsi parameetrid, hoovused). Antud mudel on korduvalt tõestanud ekstreemsete meretasemete prognoosimise osavust nii reaalajaliste prognooside kui ka ajaloo reproduktioonidega (Elken jt, 2007; Lagemaa jt, 2013; TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2008).

Modelleerimiseks kasutati ühe meremiilise horisontaalse resolutsiooniga kogu Läänemerd hõlmavat arvutusvõrku mille atmosfääritingimused võeti 22 km horisontaalse ruumilise ja ühe tunnilise ajalise resolutsiooniga HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) mudelist. Jõgede sissevoolu hulkade määramiseks kasutati hüdroloogia mudelit HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning model) ja mere avatud raja meretaseme kõrgused võeti NAOMOD (North Atlantic Ocean Model) veetaseme mudelist, mis sisaldab ka tõusu-mõõna komponente. Soolsuse ja temperatuuri andmed avatud rajal defineeriti klimatoloogiliste keskmistena.

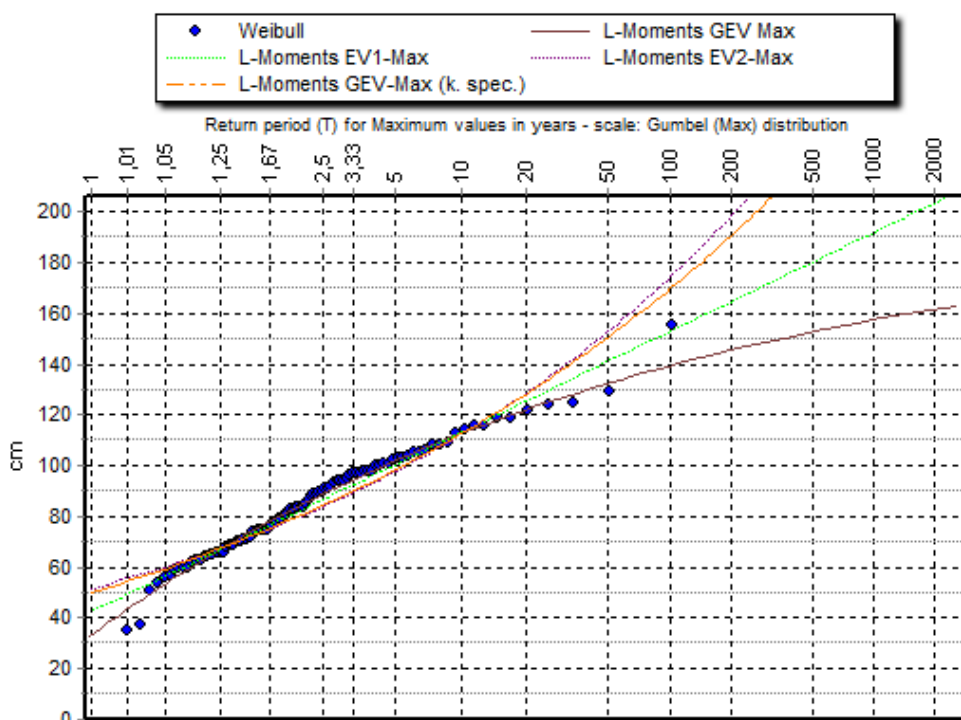
Merepinna tuulepinge arvutatakse HIROMB mudelis üldlevinud kvadraatvalemiga kasutades 10 m kõrguseid modelleeritud tuule komponente W_λ ja W_φ , millest arvutatakse tuulepinge komponendid $\tau_\lambda = \rho_a c_D W_\lambda \sqrt{W_\lambda^2 + W_\varphi^2}$, $\tau_\varphi = \rho_a c_D W_\varphi \sqrt{W_\lambda^2 + W_\varphi^2}$, kus λ ja φ on vastavalt laius ja pikkuskraad, τ_λ ja τ_φ on tuulepinge komponendid, ρ_a on õhu tihedus ja c_D neutraalne merepinna hõõrdetegur. Viimase leidmiseks kasutatakse empiirilist formulatsiooni, mis defineerib hõõrdeteguri $c_D = 1.3 \cdot 10^{-3}$ kui $W_{10} < 8$ m/s ja $c_D = (0.84 + 0.058 \cdot W_{10}) \cdot 10^{-3}$ juhul kui W_{10} on suurem ($W_{10} = \sqrt{W_\lambda^2 + W_\varphi^2}$ on tuule kiirus 10 m kõrgusel merepinnast). Mere põhja hõõrde koefitsiendile r määrati konstantne väärtus 0.0028.

Uuritavate piirkondade geograafilise läheduse ja topograafilise sarnasuse tõttu kasutati aastaste maksimaalsete veetasemete pikaajaliseks modelleerimiseks lihtsat regressioonimudelit. Regressioonimudel on statistiline mudel mis põhineb tunnuste vahelistel matemaatilistel seostel ja otseselt ei arvesta füüsikaliste protsessidega. Varasemad uurimustööd on näidanud, et Eesti ranniku meretasemed korreleeruvad piki

rannikut keskmiselt küllaltki hästi (Lagemaa jt, 2011; Raudsepp jt, 1999). Samas peab arvestama, et aastane maksimaalne veetase moodustab keskmisest veetasemest alla 0,2% mis tähendab et keskmiselt leitud statistika ei pruugi olla otseselt kasutatav ekstreemsetes oludes. Aasta maksimaalsete veetasemete korrelatsiooni valideerimine Paldiski meretasemetega näitas, et kuigi naaberpiirkondade maksimaalsed meretasemed on omavahel ajalises nihkes on ruumiline korrelatsioon siiski küllaltki hea (vt regressioonimudeli valideerimine). Kuna uuritavad piirkonnad asuvad Tallinna lahele tunduvalt lähedamal kui Paldiski laht on alust arvata et maksimaalsed veetasemed on regressioonimudeliga hästi modelleeritavad. Kasutades lühiajalise ruumilise modelleerimise tulemusi leiti uuritavate piirkondade ja Tallinna lahe meretasemete vahelised regressioonikordajad ja kalibreeriti regressioonimudel. Kalibreeritud regressioonimudeliga modelleeriti uuritavate piirkondade pikaajalised maksimaalsed veetasemed kasutades sisendandemetena Tallinna lahe pikaajalisi meretaseme vaatlusandmeid.

Parima piirkondliku jaotusfunktsiooni leidmiseks analüüsiti erinevaid jaotusfunktsioone. Kiire ülevaate saamiseks erinevate jaotusfunktsioonide sobivusest kasutati spetsiaalset tarkvarapaketti Hydrognomon (<http://hydrognomon.org/>). Jaotusfunktsioonide erinevused on esitatud joonisel 2. Võrdlus näitab et Tallinna piirkonna ekstreemsed meretasemed on kõige paremini kirjeldatavad EV1 ehk Gumbeli jaotusega (Gumbel, 1954). Peab silmas pidama et parima jaotusfunktsiooni leidmine ei pruugi tähendada tulemuste õigsust. On ilmne, et loodusnähtuste statistiline ekstrapoleerimine ei saa viia absoluutselt õigete tulemusteni kuna statistika ei suuda arvestada muutuva kliima ja veel esinemata sündmustega, mida on meie aegruumis teoreetiliselt lõpmata palju. Selliste hinnangutega kaasneb paratamatult määramatus, mis suureneb statistilise ekstrapolatsiooni ulatuse suurenedes. Siiski, ekstreemsete veetasemete hindamine statistilisi meetodeid rakendades on olnud valdavaks ajalooliselt (Гидрометеоиздат, 1973). Kombinatsioon dünaamilise modelleerimisega muudab meetodit kindlasti täpsemaks kuna lisaks statistikale on hõlmab analüüs ka mereprotsesside füüsikat. Seepärast peame kombinatsiooni meretaseme mõõtmiste statistikast ja dünaamilisest modellerimisest, tänapäeval parimaks võimalikuks meetodiks

vajaliku ekstreemsete meretasemete hinnangu saamiseks. Meetodi hoolikas rakendamine vähendab olulisel määral prognoositud ekstreemsete meretaseme sündmuse määramatust.



Joonis 2. Näide ekstreemsete meretasemete kordusintervallide kõveratest arvatatuna erinevate jaotustega. Joonis on tabeli kujul esitatud Lisas 1, Tabel 1.1.

Weibulli jaotusest (joonis 2) on näha, et meretaseme mõõteandmetes esineb ansamblist olulisel määral kõrvalekalduv ekstreemum (155 cm), mida suudab järgida ainult Gumbeli jaotus. Mainitud ekstreemum leidis aset 2005 aastal 8-9. jaanuaril aset leidnud tormi ajal mis põhjustas kogu Läänemere põhjaosas ja Eesti rannajoonel ajalooliselt kõrgemaid meretasemeid ja muutis edaspidise ekstreemumanalüüsi küllaltki keerukaks. Jooniselt 2 on selgelt näha, et enamus ekstreemumteooriaid ei suuda nimetatud tormiolukorda edukalt reprodutseerida. Joonise 2 numbrilised väärtused tabelina on esitatud Lisas 1, Tabelis 1.1. Siiski, Gumbeli jaotus on ka varasemalt kasutatud meetodikates Eesti piirkonna jaoks tunnustust leidnud (nt Suursaar ja Sooäär, 2007) ja ajalooliselt olnud ka

standardiks eelmise sajandi teises pooles teostatud üleujutusstsenaariumite hindamisel (Гидрометеоиздат, 1973).

Gumbeli jaotuse (Gumbel, 1954) tihedusfunktsioon avaldub kujul:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left[\frac{x-\mu}{\beta} - \exp\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)\right] \quad (1)$$

kus α on ulatuse parameeter (näitab jaotuse dispersiooni x -teljel) ning β on asukoha parameeter (näitab jaotuse asukohta x -teljel). Parameetrite α ja β väärtused leitakse nii et mõõtmistulemuste ja saadud jaotuse vahel oleks maksimaalne statistiline seos. Selleks on võimalik kasutada erinevaid meetodeid (nt maksimaalse tõepära meetod, vähimruutude meetod), mis annavad vähesel määral varieeruvaid parameetrite α ja β hinnanguid. Antud uurimuses on parameetrite leidmiseks kasutatud vähimruutude meetodit, mille korral statistiline seos osutus parimaks.

3. Vaatlusandmed

Vanimad säilinud meretaseme mõõtmised Tallinnas pärinevad aastast 1809 kuid regulaarselt alustati meretasemete mõõtmist 1842. a, kusjuures tänaseni on need säilinud kuukesmistena arhiveeritult. Käesolevas töös vajalikke kuu maksimaalseid meretasemeid hakati arhiveerima alates aastast 1899 (Suursaar jt, 2011), mistõttu on käesolevas töös pikajaliste vaatlusandmetena kasutatud Tallinna meretaseme mõõtmiste kuu maksimume ajavahemikul 1899-2012 a. Mõõtmised on teostatud Tallinna sadamas aastani 1996 EMHI poolt, peale mida EMHI meretaseme mõõtmised viidi arendustööde tõttu üle Muuga sadamasse. Alates aastast 1996 on kasutatud Tallinna Sadama ja TTÜ Meresüsteemide Instituudi poolt teostatud meretaseme vaatlusandmeid. Meretasemed on esitatud Eesti Vabariigis ametlikuks kehtestatud Balti Kõrgussüsteemis BK77 (Keskkonnaministri määrus nr 64). Kõrgussüsteemide järjepidevus, millised on kasutusel olnud ajalooliste meretasemete puhul, tagatakse Maa-ameti poolt ja selle algseks

nullpunktiks on Kroonlinna null, mis on defineeritud Kroonlinna keskmise meretasemena ajaperioodil 1825-1840 (Lazarenko, 1986).

Lisaks pikaajalistele Tallinna meretaseme vaatlusandmetele on käesolevas töös regressioonimudeli valideerimiseks ja täpsuse hindamiseks lühiajaliste mõõtmisandmetena kasutatud Tallinna ja Paldiski sadamas TTÜ Meresüsteemide Instituudi poolt teostatud meretaseme vaatlusandmeid ajavahemikul 24.10.2006-20.02.2013. Mõõtmised on teostatud rõhuanduritel baseeruvate mõõtejaamadega, millised registreerivad anduri kohale jääva veesamba kõrgust, meretaset, rõhu kaudu. Lainetuse mõju elimineeritakse rõhumõõtmiste keskmistamisega ja mõõtejaamadest saadud instrumentaalselt mõõdetud meretasemeid on regulaarselt valideeritud mõõtelati visuaalsete vaatlustega. Meretaseme mõõteandmeid arhiveeritakse sõltuvalt jaamast 5 või 10 minutile intervalliga. Antud meetodil saadud meretasemed võivad kõrgusmõõtmise vallas saavutada isegi geodeetilise täpsusklassi, vajades selleks siiski andmete spetsiaaltöötlust (Liibusk jt, 2013). TTÜ Meresüsteemide Instituudi meretaseme jaamad on reaaliajaj liidestatud Meretaseme Infosüsteemiga <http://on-line.msi.ttu.ee/kaart.php> ja selle vahendusel HIROMB prognoosimudeliga, kus meretaseme andmed arhiveeritakse ühetunnise sammuga (Lagemaa jt, 2011).

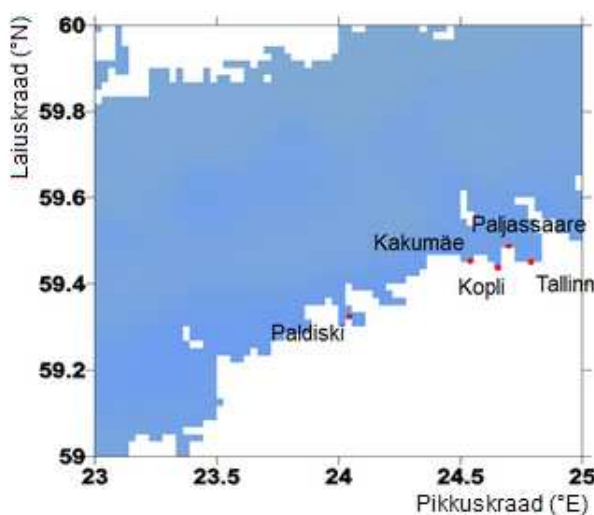
Kuna käesoleva töö eesmärk on uurida maksimaalseid veetasemeid ja pikaajalised vaatlusandmed koosnevad kuu maksimaalsetest väärtustest siis taandati ka lühiajalised mõõtmised ühekuulisele ajalise lahutusega skaalale saavutades kuu maksimaalse veetaseme aegread, mis on võrreldavad pikajaliste mõõtmistega. Lisaks, arvestades et lühiajalisi vaatluseid on vaja võrrelda hüdrodunaamilise mudeli HIROMB tulemustega, mille ajaliseks ekstreemumi reprodutseerimise määramatuseks on hinnatud ± 3 tundi (TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2008), elimineerib kuu maksimaalne taandamine ekstreemumi kõrglahutusliku määramatuse. Kolmandaks, on sellise käsitlemise ja välja filtreeritud muud veetaseme ajalisi nihet mõjutavad nähtused (Kelvini lained, tõus-mõõn, jne). Vaatlusandmete katkestuste mõju minimeerimiseks kasutati kuu maksimumide leidmisel ainult neid kuid, millel mõõtmisi oli vähemalt 25 päeva jagu. Sellisel juhul ei

mõjuta analüüsi kuud, kus on tõenäolisem, et tegelik kuu maksimum ei kajastu mõõtetulemustes.

4. Meretasemete modelleerimine

4.1. Lühiajaline ruumiline modelleerimine

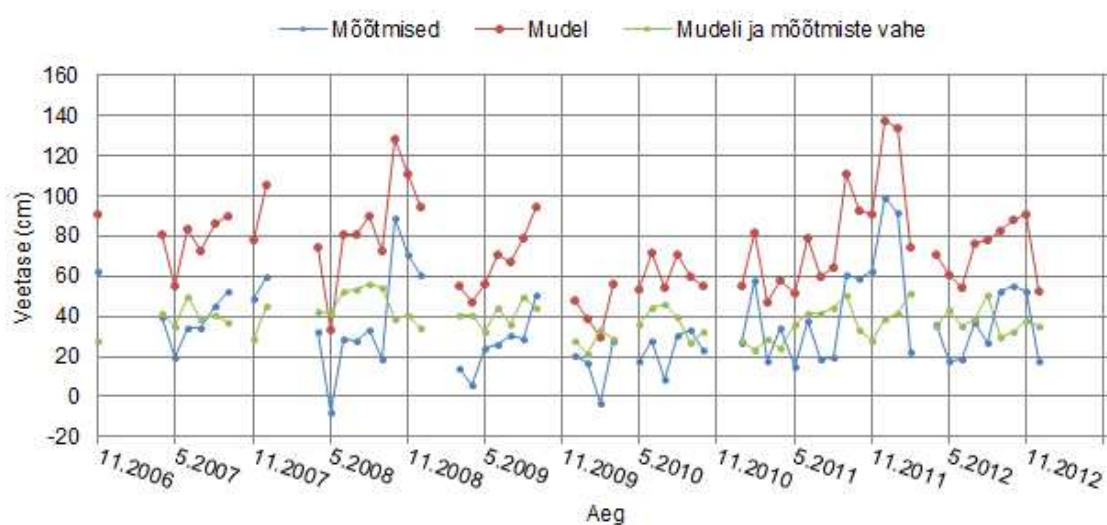
Meretasemete ruumiliseks modelleerimiseks kasutati hüdrodünaamilist tsirkulatsioonimudelit HIROMB, millega modelleeriti veetasemed kogu Läänemere ulatuses ajaperioodil 2006-2012 a. Ruumilise mudeli tulemustest ekstraheeriti meretasemed Tallinna, Paldiski, Kopli, Kakumäe ning Paljassaare piirkonna jaoks joonisel 3 näidatud asukohtadest. Sarnaselt lühiajaliste vaatlusandmetega taandati ruumilise modelleerimise tulemusel saadud ühetunnise lahutusega aegread kuu maksimaalseteks aegriadeks. Võrreldavate andmeridade saamiseks eemaldati modelleeritud lühiajalistest aegriadest need tulemused, millele ei leidunud vastavat vaatlustulemust.



Joonis 4. Väljavõte ruumilise mudeli rannajoonest ja ekstraheeritud punktide asukohad.

Lühiajalise meretaseme modelleerimise kuu maksimaalsed tulemused koos vastavate vaatlusandmetega on näidatud joonisel 5. Hüdrodünaamilise tsirkulatsioonimudeliga

modelleeritud veetase sisaldab alati madal- ja kõrgsageduslikku vea komponente (Lagemaa jt, 2011) mida näha ka jooniselt 5. Käesoleva töö eesmärkide saavutamiseks pole vajalik eraldi leida madal- ja kõrgsageduslikku vea komponenti kuid on hästi teada, et Läänemere idaosas on madalsageduslik komponent HIROMB mudelis suurusjärgus +40 cm ja kõrgsageduslik komponent ulatub ± 25 cm-ini (TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2008). Jooniselt 5 on näha et kõrgsageduslik vea komponent on antud valimi ulatuses alati väiksem kui ± 20 cm.

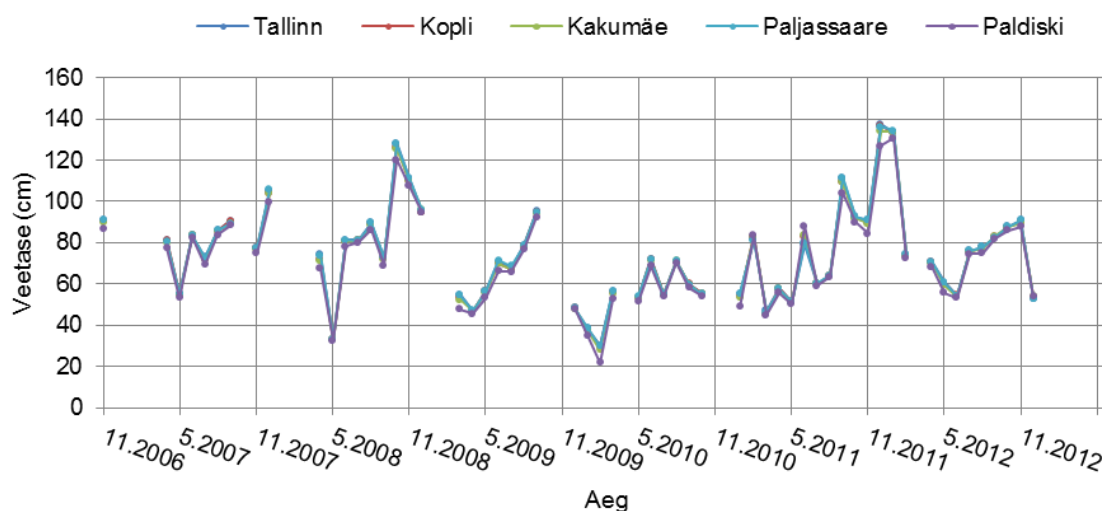


Joonis 5. Lühiajaliselt modelleeritud ja mõõdetud meretasemed Tallinnas ja nende erinevus.

Kuna lühiajalise meretaseme ruumilise modelleerimise tulemusi on käesolevas töös vaja ainult ruumilise korrelatsiooni leidmiseks ei ole modelleeritud meretaseme kalibreerimine mõõdetud veetasemetele praktiliselt vajalik kuna on alust arvata et vea osakaal on kõikides uuritavates piirkondades väga sarnane. On ilmne, et madalsageduslik vea komponendi (seotud suuremastaapsete, üle Läänemerele, mere- ja atmosfäärinähtustega) muutus Tallinna rannajoone piires on tühiselt väike. Kõrgsageduslik vea komponendi horisontaalne gradient ei saa samuti olla olulise tähtsusega horisontaalse korrelatsiooni leidmisel uuritavate piirkondade vahel (distsants kuni 15 km) mistõttu selle vea komponendi leidmine pole käesolevas töös otstarbekas.

Seega on kogu määramatuse hindamine on teostatud ühtselt regressioonimudeli kalibreerimise käigus (vt joonis 8).

Joonisel 6 on näidatud lühiajalise modelleerimisega leitud meretasemete aegread uuritavates piirkondades. Joonisel kasutatud numbrilised väärtused on esitatud Lisas 1, Tabelis 1.2. Vastavalt ootustele on kuu maksimaalsed kõrvutiasuvate piirkondade meretasemed väga sarnased. Tallinna piirkonna aegread praktiliselt kattuvad ja Paldiski meretase erineb viimastest vähesel määral ulatudes kuni 15 cm erinevusteni. Võttes arvesse Kakumäe, Kopli, Paljassaare ja Tallinna lahe geograafilist lähedust ja topograafilist sarnasust (vt joonis 1) pole sellised tulemused üllatavad.

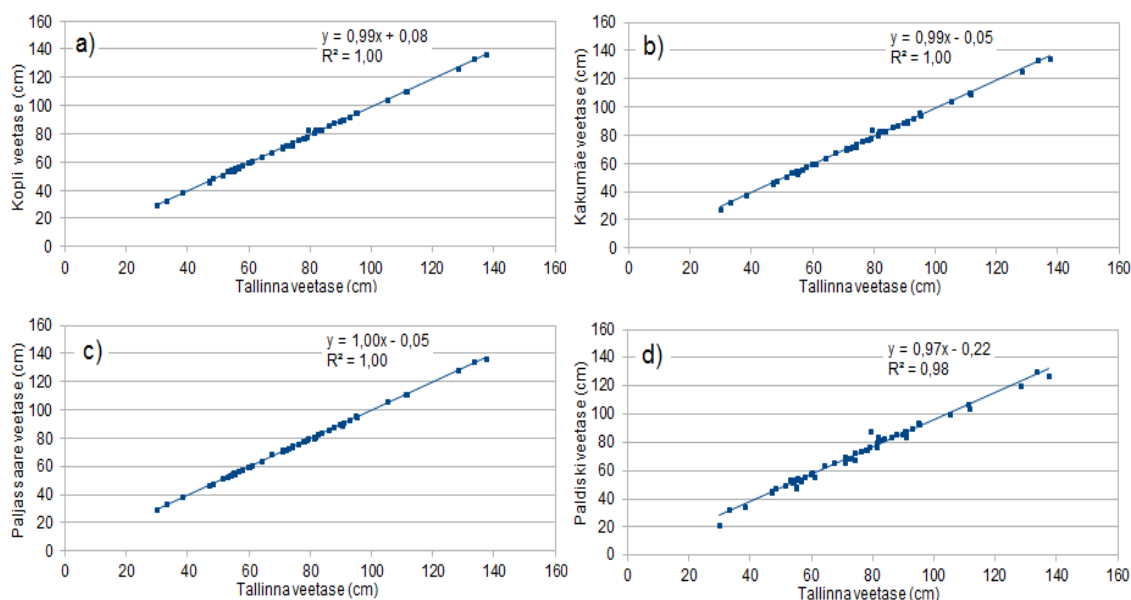


Joonis 6. Uuritavate piirkondade lühiajaliselt modelleeritud kuu maksimaalsed meretasemed koos madalsagedusliku vea komponendiga. Joonis on tabeli kujul esitatud Lisas 1, Tabel 1.2.

4.2. Regressioonimudeli kalibreerimine ja valideerimine

Lühiajalised modelleerimise tulemused näitavad, et kuu maksimaalsed meretasemed on uuritavates piirkondades väga heas korrelatsioonis. Seega saab iga piirkonna jaoks leida regressioonikordajad Tallinna ja modelleeritava piirkonna vahel ja leitud seosega

modelleerida pikaajalised kuu maksimaalsed meretasemed kasutades Tallinnas teostatud pikaajalisi vaatlusandmeid.



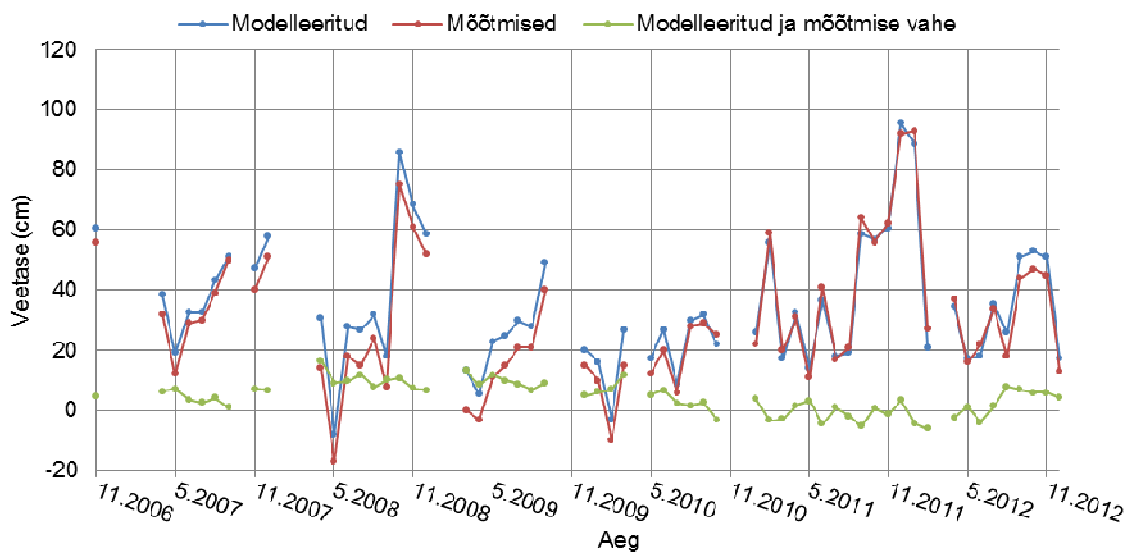
Joonis 7. Regressioonimudeli kalibreerimine lühiajalise ruumilise modelleerimise andmetega. Uuritavad piirkonnad Kopli (a), Kakumäe (b) ja Paljassaare (c) ja kontrollpiirkond Paldiski (d) on heas korrelatsioonis Tallinnaga.

Regressioonimudeli kalibreerimise (so parimate regressioonikordajate leidmise) tulemused on esitatud joonisel 7. Väga kõrged Pearsoni korrelatsioonikordajate väärtused ($R > 0,99$) Kopli, Kakumäe, Paljassaare ja Tallinna meretaseme kuu maksimumide vahel näitavad tugevat lineaarset seost. Kontrollpiirkonna Paldiski ja Tallinna kuu maksimaalsete meretasemete vahel on korrelatsioon mõnevõrra väiksem kuid siiski väga kõrge. Nagu eelpool arutletud on selline tulemus uuritavate piirkondade geograafilise läheduse ja kõrge topograafilise sarnasuse tõttu oodatav.

Regressioonimudeli valideerimiseks ja täpsuse hindamiseks on lisaks uuritavatele piirkondadele modelleerimisse kaasatud ka kontrollpiirkond Paldiski kuna seal on lisaks mudeli andmetele olemas ka reaalsed meretaseme mõõtmistulemused. Siiski, peab arvesse võtma, et Paldiski ja Tallinna lahe vaheline topograafiline sarnasus on väiksem ja

nende vaheline kaugus ligikaudu kolm korda suurem kui uuritavatel Kopli, Kakumäe ja Paljassaare piirkondadel. Seetõttu on ilmne, et uuritavate piirkondade modelleerimise määramatus ei saa olla suurem kui Paldiski modelleerimistulemuste valideerimise tulemusel leitud määramatuse hinnang.

Joonisel 7(d) on näha, et madalatel ja kõrgetel väärtustel on veetase Tallinnas pigem kõrgem kui Paldiskis kuid samal ajal keskmiste veetasemete korral kehtib pigem vastupidine tendents. Viimane asjaolu viitab sellele, et Paldiski ja Tallinna veetasemete kuu maksimumide vahel võib olla võimalik leida täpsem, kõrgemat järku seos. Siiski, käesoleva töö raames seda tehtud ei ole kuna Paldiski piirkonna kaasamise eesmärgiks on hinnata just lineaarse regressioonimudeli täpsust uuritavates piirkondades ja seega on kontrollpiirkonnas kasutatud samat järku seost kui uuritavate piirkondadel.



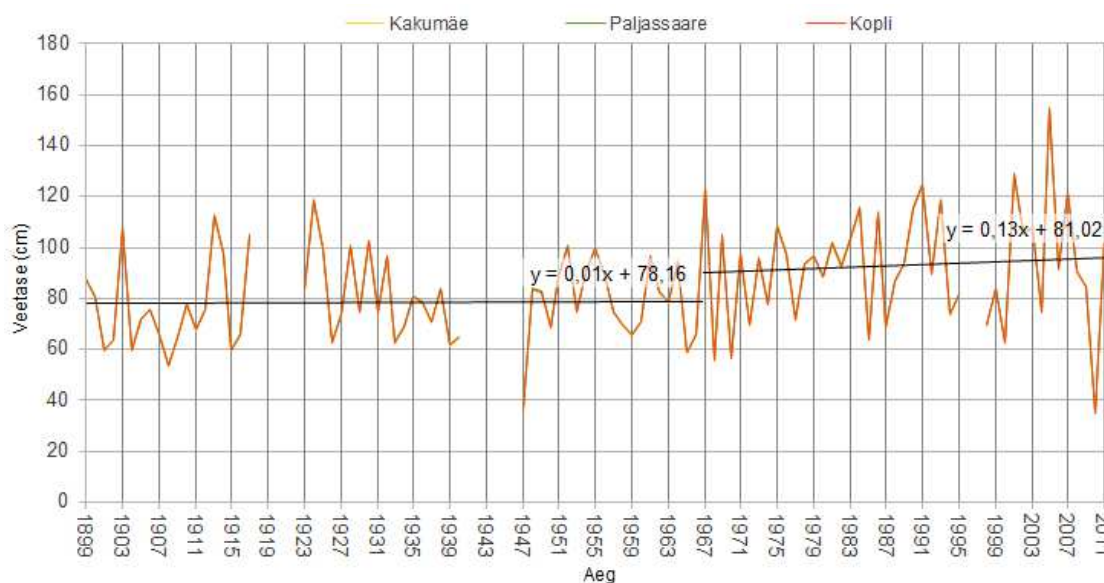
Joonis 8. Kalibreeritud regressioonimudeliga modelleeritud ja mõõdetud Paldiski kuu maksimaalsed meretasemed ja nende vahe.

Joonisel 8 on toodud eelnevalt kalibreeritud regressioonikordajatega (vt joonis 7(d)) regressioonimudeliga lühiajaliselt modelleeritud ja mõõdetud Paldiski kuu maksimaalsed meretasemed ja nende erinevus. Modelleeritud ja mõõdetud veetasemete vahe on alati väiksem kui 20 cm. Seda täpsushinnagut võib lugeda regressioonimudeli vea piiriks ja

seega järeldada, et regressioonimudeliga modelleeritud veetaseme viga on alati väiksem kui ± 20 cm, mis on käesoleva uurimistöö eesmärkide saavutamiseks piisav.

4.3. Pikaajaline meretasemete modelleerimine

Eespool kirjeldatud regressioonimudeli valideerimine tõestas meetodi piisavat täpsust, mistõttu on samat mudelit rakendatud meretasemete pikaajaliseks modelleerimiseks. Kasutades mudeli sisendiks Tallinna pikaajalisi kuu maksimaalseid vaatlusandmeid ja kalibreerimisel leitud regressioonikordajaid on modelleeritud pikaajalised meretasemed Kopli, Kakumäe ja Paljassaare piirkondade jaoks. Kuna antud töö eesmärk on anda meretaseme stsenaarium aastase täpsusega taandati modelleeritud meretasemed aasta maksimaalseteks meretasemeteks. Tulemused on näidatud joonisel 9 ja numbriliselt esitatud Lisas 1, Tabelis 1.3.



Joonis 9. Pikaajalised modelleeritud aasta maksimaalsed meretasemed uuritavates piirkondades (jooned kattuvad) koos trendijoontega ajaperioodide 1899-1966 ja 1967-2012 jaoks. Joonis on tabeli kujul esitatud Lisas 1, Tabelis 1.3.

Modelleeritud tulemuste erinevus on tühiselt väike kuna eelnevalt leitud lineaarse regressioonikordajad erinevad teineteisest väga vähesel määral. Seetõttu joonisel 9

näidatud modelleeritud kuu maksimaalsed veetasemed kattuvad ja edasises analüüsis võib kasutada ühist aegrida kõikide uuritavate piirkondade, Kopli, Kakumäe ja Paljassaare, jaoks, mida käesolevas uurimustöös on ka rakendatud. Seega edasised esitatud tulemused on esitatud ühiselt ja kehtivad kõikide uuritavate piirkondade jaoks.

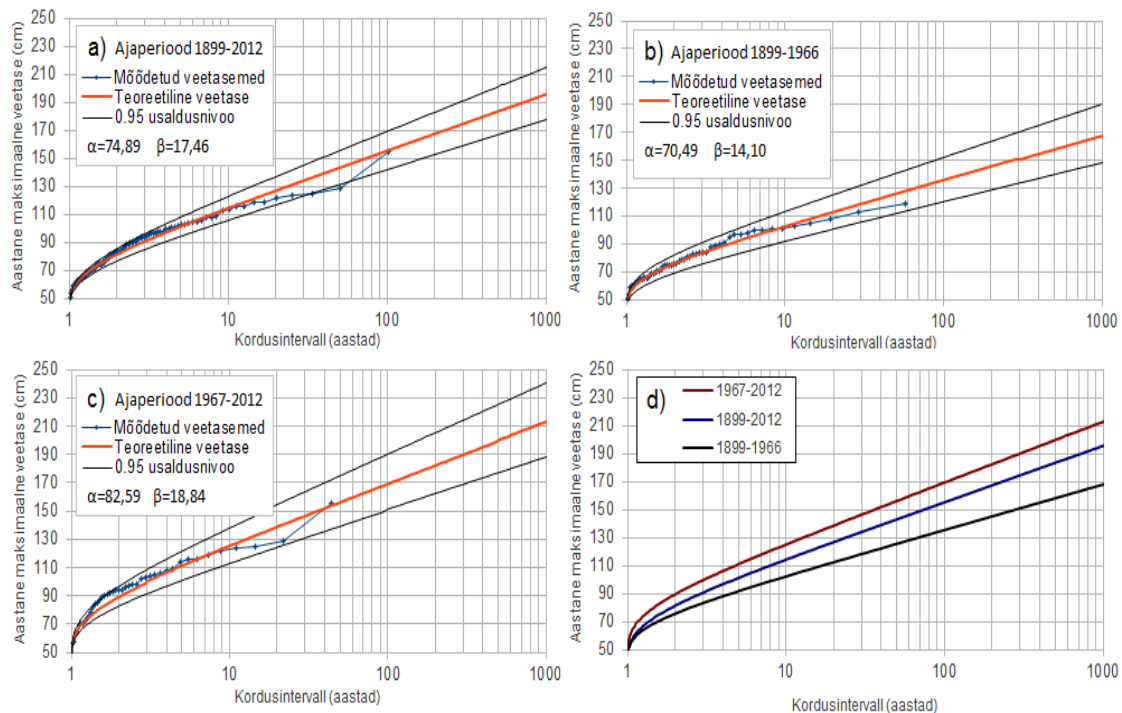
Jooniselt 9 on näha, et aastast 1967 toimub graafikus režiiminihe – lokaalsete ekstreemumite dispersioon on alates aastast 1967 suurem ning maksimumid üldjuhul kõrgemad kui varasemal, kuni 1967 aastani, perioodil. Kuna ei saa välistada kliimaatilise režiimimuutuse toimumist 60-ndatel aastatel on mõistlik edaspidises analüüsis uuritav ajavahemik jaotada kaheks perioodiks: vanem (1899-1966) ja uuem (1967-2012) ning neid koos koguperioodiga (1899-2012) eraldi analüüsida. Selline režiimi muutus on suure tõenäosusega seotud edelatuulte osakaalu suurenemisega (tõstes Läänemere põhja- ja idaosa keskmist veetaset tormiolukorras) alates 1960-ndate aastate lõpust, mida on täheldatud pikaajaliste tuulemustrite analüüsimisel eriti talveperioodi jaoks (nt Jaagus jt, 2011; Jaagus jt, 2013). Peab märkima et hiljutised lainekliima uuringud on välja toonud lainekliima režiimimuutuse alates 1970-ndatest aastatest (Soomere jt, 2013a).

5. Veetasemete stsenaariumite analüüs

Kuigi pikaajalised meretaseme mõõtmised ja modelleerimistulemused on kuu maksimumidega jaoks, siis tõenäosusstsenaariumite statistilisel analüüsil on kasutatud aasta maksimume. Analüüs näitas, et niimoodi ajaliselt filtreeritud andmed on statistilise jaotusega paremini kirjeldatud ja annavad veetasemete stsenaariumide leidmisel täpsemad tulemused, kuna meretase on üldjuhul suvekuudel madalam, kui sama aasta ekstreemalseim väärtus. Käesoleva uurimustöö eesmärk on leida teoreetilised meretasemed aastase ajalise resolutsiooniga, mistõttu on aastaste maksimumide kasutamine lähtandmetena mõistlik.

Nagu meetoodika kirjelduses arutletud on veetasemete stsenaariumite hindamiseks kasutatud Gumbeli jaotust, mille parameetrid on määratud vähimruutude meetodiga. Peale jaotusfunktsiooni lähendamist modelleeritud pikaajalistele meretasemetele koostati

kordusintervallide graafikud (joonis 10) millelt on võimalik leida käesoleva uurimustöö eesmärgiks olevad võimalikud veetasemed 10, 50, 100 ja 1000 aasta jooksul. Vastavad numbrilised väärtused on välja toodud Tabelis 1. Kordusintervallide esinemise tõenäosuseks valiti klassikaliselt kasutatav 95% usalduspiirkond, mis on näidatud joonisel 10 koos kordusintervalli teoreetilise kõveraga.



Joonis 10. Meretaseme statistilised kordusintervallid ajaperioodil 1899-2012 (a), 1899-1966 (b), 1967-2012 (c) ja nende võrdlus (d).

Ekstreemväärtuste statistilised teooriad ei suuda arvesse võtta kliimatilisi faasinihkeid mistõttu on alust arvata, et hilisema perioodi andmetel põhinev statistika on suurema tekkimistõenäosusega. Arvestades töö väljundiks olevate andmete iseloomu ja nende praktilise interpretatsioonivõimalustega on mõistlik arvestada pigem halvimate väärtustega (kuid siiski reaalselt). Seetõttu on käesoleva töö kokkuvõttes välja toodud just hilisema, 1967-2012, perioodi põhjal leitud stsenaariumid. Lisaks, on arvestatud ülemise 95% määramatuse piiriga, mille tulemusel on saadud maksimaalsed statistiliselt võimalikud veetasemed erinevate kordusintervallide jaoks. Tabelist 1 saab seega

järeldada, et meretase Tallinna piirkonnades (Kakumäe, Kopli ja Paljassaare) 10 aasta jooksul ei tõuse üle 138 cm, 50 aasta jooksul on väiksem kui 175 cm, 100 aasta jooksul on alla 190 cm ja 1000 aasta jooksul alla 241 cm.

Tabel 1. Erinevate ajaperioodide maksimaalsete meretasemete stsenaariumid sentimeetrites

Võimalikud veetasemed	Ajaperiood 1899-2012			Ajaperiood 1899-1966			Ajaperiood 1967-2012		
	Teoreetiline	Alumine usaldus-nivoo	Ülemine usaldus-nivoo	Teoreetiline	Alumine usaldus-nivoo	Ülemine usaldus-nivoo	Teoreetiline	Alumine usaldus-nivoo	Ülemine usaldus-nivoo
10 aasta jooksul	114	106	123	102	92	113	125	113	138
50 aasta jooksul	143	131	156	126	112	140	156	139	175
100 aasta jooksul	155	142	169	135	120	152	169	151	190
1000 aasta jooksul	196	178	215	168	148	190	213	188	241

6. Pikaajalised ja muud meretaset mõjutavad tegurid

Ookeanivete soojuspaisumise ja osaliselt ka liustike sulamise tõttu tekkinud globaalseks meretaseme tõusuks eelmisel sajandil on hinnatud 1,5-2 mm/a (nt Ekman, 1999; Johansson jt, 2004; Gornitz jt, 1982). Seega praeguse tõusu jätkudes tõuseks keskmine veetase 100 aasta jooksul 15-20 cm. Kliimamudelid prognoosivad pigem keskmise veetaseme tõusu kiirenemist IPCC, 2007) kuid peab arvestama, et kliima prognoosimise määramatus on endiselt küllaltki suur.

Fennoskandia piirkonnas kompenseerib globaalse meretaseme tõusu peale mandrijää sulamist alanud maakerge, mille kiiruseks Tallinnas hetkel on hinnatud 2,5 mm/a (Vallner jt, 1988). Seega on maakerge ja globaalne keskmise meretaseme tõus umbes võrdsed ja kompenseerivad teineteist Tallinna piirkonnas. Tallinna meretaseme mõõtmistega teostatud keskmise meretaseme analüüsid on siiski näidanud pigem vähesel määral tõusvat trendi (Suursaar jt, 2007).

Kõrge meretaseme esinemiseks vajalik eelnev üle Läänemerele kõrge veetase on reguleeritud merevee transpordiga Taani väinades, mis on omakorda seotud tsüklonite liikumisega nii Läänemerele kui ka Põhja Atlandil (Lehmann jt, 2002). Võttes arvesse, et atmosfäärinähtuste muutused (nt Jaagus jt, 2011) on Tallinna jaoks ekstreemseid

veetasemeid pigem tõstnud võib Läänemere vee mahu dispersiooni tõus olla üheks olulisemaks ja ohtlikumaks pikaajaliseks teguriks kõrgete meretasemete tihenemisel.

Hiljutised uuringud on rõhutanud lainetusest põhjustatud veetaseme tõusu olulisust Tallinna piirkonnades (Soomere jt, 2013b). Sarnased uuringud on teostatud ka Pärnu piirkonna jaoks (Alari ja Kõuts, 2012). Lainetusest põhjustatud veetaseme tõus tekib rannaala murdumistsoonis ei saa teoreetiliselt olla kajastatud sadama piirkonnas teostatud mõõtmistes, mistõttu ei sisaldu seda ka käesoleva tööga leitud maksimaalsete veetasemete hinnangus. Soomere jt (2013b) hinnangul võib veetase lainetuse tõttu tõusta Kakumäe lahes 68 cm ja Kopli lahes 38 cm. Siiski, viimane hinnang toetub modelleerimistulemustele, milles ei ole arvestatud jäätingimusi ja lokaalseid ranna iseärasusi (rannataimestik, põhjakaredus, jms), mis võivad lainetusest põhjustatud veetaseme tõusu oluliselt vähendada või ka suurendada. Ekstremaalsete veetasemete realiseerumiseks on vajalik mitmete keskkonnatingimuste (vastav tuule suund ja tugevus, kõrge Läänemere ja kohalik veetase) kokkulangemine. Kas need tingimused on kunagi üheaegselt ajalooliselt esinenud ei ole tänase seisuga teada ja vajab edasist uurimist.

7. Kokkuvõte

Käesolevas uurimustöös on modelleeritud ekstremaalsete meretasemete esinemine Kakumäe, Kopli ja Paljassaare lahe jaoks ja saadud tulemustele tuginedes hinnatud veetasemete stsenaariumeid 0,1%, 1%, 2% ja 10% esinemise tõenäosusega (võimalik veetase vastavalt 1000, 100, 50 ja 10 aasta jooksul). Piirkondlikult kohandatud meetodika kohaselt kasutati lähiajaliseks modelleerimiseks ruumilist hüdrodünaamilist mudelit, millele järgnes veetasemete pikaajaline modelleerimine ja tõenäosusstsenaariumite statistiline hindamine Gumbeli jaotuse põhjal.

Regressioonimudeli kalibreerimiseks leiti meretaseme hüdrodünaamilise modelleerimise teel ruumilised korrelatsioonid uuritavate piirkondade ja Tallinna sadama, kus on teostatud pikkaajalisi meretaseme vaatluseid ajaperioodil 1899-2012, vahel. Regressioonimudeli valideerimisel Paldiski lahe andmetega selgus, et kasutatud

modelleerimismeetodi viga on alati väiksem kui ± 20 cm. Meretaseme pikaajaline modelleerimine näitas, et uuritavates piirkondades erinevad veetasemed teineteisest tühisel määral ja kuu maksimaalsetes meretaseme väärtuses on näha režiimimuutust 1960-ndate aastate lõpus.

Veetasemete tõenäosusstsenaariumite hindamisel kasutati hiljutise ajaperioodi 1967-2012 andmeid kuna nii saavutati parim statistiline seos teoreetilise ja praktilise jaotuse vahel. Statistilise hindamise tulemusel leiti, et 95%-lise tõenäosusega ei ületa maksimaalne meretase Tallinna linna Haabersti ja Põhja-Tallinna linnaosades 138 cm 10 aasta jooksul, 175 cm 50 aasta jooksul, 190 cm 100 aasta jooksul ning 241 cm 1000 aasta jooksul.

Siiski, peab silmas pidama, et kuigi käesolev meretasemete stsenaariumite hindamine on teostatud hoolikalt, minimeerides võimalikult palju tulemuste määramatust, tuleb antud tulemustesse suhtuda kui hetke parima võimaliku hinnanguna. Nagu eelnevalt arutletud, ei saa loodusnähtuste statistiline ekstrapoleerimine kunagi viia täielikult usaldusväärsete tulemusteni. Seetõttu on vajalik läbiviidud arvutust pidevalt uuendada, arvesse võtta lisandunud vaatlusandmed ja võimalusel ka parendatud meetodika ja täienenud teadmised. Hetkel on Eesti Vabariigis arvutuste ajakohastamise perioodiks määratud 6 aastat, mis regulaarse toiminguna tundub mõistlik. Siiski, kui ilmneb uut informatsiooni (nt ajalooliliselt maksimaalse lähedase meretaseme esinemine, lainetuse mõjude täpsem teaduslik uuring, oluliselt parenenud arvutusmudel, jms) oleks soovitatav arvutust korrata kohe peale uue olulise informatsiooni tekkimist.

8. Viited

- Alari, V. ja Kõuts, T. 2012. Simulating wave-surge interaction in a non-tidal bay during cyclone Gudrun in January 2005. *In: IEEE/OES Baltic 2012 International Symposium: May 8-11, 2012, Klaipeda, Lithuania, Proceedings.* IEEE, 1 - 12.
- Bernier, N.B., Thompson, K.R., Ou, J., Ritchie, H. 2007. Mapping the return periods of extreme sea levels: Allowing for short sea level records, seasonality, and climate change, *Global and Planetary Change*, 57, 139–150.
- Ekman, M. 1999. Climate changes detected through the world's longest sea level series. *Global Planet. Change* 21, 215–224.
- Elken, J., Kõuts, T., Lips, U., Raudsepp, U., Lagemaa, P. and Liblik, T. 2007. Performance of the operational HIROMB model in relation to the oceanographic extreme events and seasonal fluxes in the Gulfs of Finland and Riga. In *Fifth Study Conference on BALTEX, Kuressaare, Saaremaa, Estonia, 4–8 June 2007* (Isemer, H.-J., ed.). Geesthacht: International BALTEX Secretariat, 77–78.
- FloodFreq, 2012. Review of applied-statistical methods for flood-frequency analysis in Europe. Centre for Ecology & Hydrology on behalf of COST.
- Funkquist, L and Kleine, E. 2007. HIROMB, an operational eddy-resolving model for the Baltic Sea. *SMHI Report oceanography*, 37, 1–39.
- Герман В. Х. 1971. Исследование и расчет вероятностных характеристик экстремальных уровней моря. *Труды ГОИИ*, вып. 107.
- Гидрометеиздат. 1973. Руководство по расчету элементов гидрологического режима и прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях / ред.: д-р геогр. наук С. С. Байдин и др.
- Gornitz, V., Lebedeff, S., Hansen, J. 1982. Global sea level trend in the past century. *Science*, 215, 1611–1614.

- Gumbel, E.J. 1954. Statistical theory of extreme values and some practical applications. *U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. Applied Mathematics Series*, 33.
- Hosking, J.R.M. ja Wallis, J.R. 1997. Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments. Cambridge (UK). Cambridge University Press.
- IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.), *Cambridge Univ. Press*, New York, 996 pp.
- Jaagus, J., Kull, A. 2011. Changes in surface wind directions in Estonia during 1966-2008 and their relationships with large-scale atmospheric circulation. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 60(4), 220 - 231.
- Jaagus, J., Suursaar, Ü. 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., Kahma, K.K., Boman, H. 2004. Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environment Research*, 9, 153–166.
- Keskkonnaministeerium. 2011a. Üleujutusohuga seotud riskide esialgse hinnangu aruanne.
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1180240/%DCleujutusohuga+seotud+riskide+aruanne.pdf> (22.08.2013)
- Keskkonnaministeerium. 2011b. Üleujutusohuga seotud riskide esialgne hinnang.
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1180733/%DCleujutusohuga+seotud+riskide+esialgne+hinnang.pdf> (22.08.2013)
- Automated quality control for the sea level observations. *HIROMB-BOOS Scientific Workshop*, 11 May 2011, BSH, Hamburg.
- Lagemaa, P., Elken, J., Kõuts, T. 2011. Automated quality control for the sea level observations. *HIROMB-BOOS Scientific Workshop*, 11 May 2011, BSH, Hamburg.

- Lagemaa, P., Elken, J. and Kõuts, T. 2011. Operational sea level forecasting in Estonia. *Estonian Journal of Engineering*, 17(4), 301–331.
- Lazarenko N.N. 1986. Variations of mean level and water volume of the Baltic Sea. *In: Water Balance of the Baltic Sea. Baltic Sea Environm. Proc.*, 16, 64–80.
- Liibusk, A., Ellmann, A., Kõuts, T., Jürgenson, H. 2013. Precise Hydrodynamic Levelling by Using Pressure Gauges. *Marine Geodesy* Vol 36, Issue 2 p. 138-163.
- Lehmann, A., Krauss, W. and Hinrichsen, H.-H. 2002. Effects of remote and local atmospheric forcing on circulation and upwelling in the Baltic Sea. *Tellus* 54A, 299–316.
- Raudsepp, U., Toompuu, A. and Kõuts, T. 1999. A stochastic model for the sea level in the Estonian coastal area. *Journal of Marine Systems*, 22, 69–87.
- Soomere, T., Eelsalu, M., Pindsoo, K., Zujev, M. 2013a. Lessons from the almost seven decades of visual wave observations from the eastern Baltic Sea coast. *In: 7th Study Conference on BALTEX : 10-14 June 2013, Borgholm, Island of land, Sweden, Conference Proceedings: International BALTEX Secretariat Publication*, 53, 91 - 92.
- Soomere, T., Pindsoo, K., Bishop, S.R., Käär, A., Valdmann, A. 2013b. Mapping wave set-up near a complex geometric urban coastline. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1(2), 1651 - 1688.
- Suursaar, Ü. and Sooäär, J. 2007. Decadal variations in mean and extreme sea level values along the Estonian coast of the Baltic Sea. *Tellus*, 59A, 249–260.
- Suursaar, Ü., Jaagus, J., Kullas, T., Tõnisson, H. 2011. Estimation of sea level rise and storm surge risks along the coast of Estonia, Baltic Sea – a tool for coastal management. *Littoral 2010*, 12005
- Sudong X. and Wenrui H., 2008, Integrated Hydrodynamic Modeling and Frequency Analysis for Predicting 1% Storm Surge, *Journal of Coastal Research*, 10052, 253-260
- TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2008. Mereproгноoside süsteemi HIROMB arendamine, SA KIK Veekaitseprogrammi projekt nr 36 lõpparuanne.

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

Willems, P., Guillou, A., Beirlant, J. 2007. Bias correction in hydrologic GPD based extreme value analysis by means of a slowly varying function. *Journal of Hydrology*, 338, 221–236.

WRC, 1981, Guidelines for determining flood frequency. *US Water Resources Council*. Washington, DC.

Lisa 1. Tabelid

Tabel 1.1. Näide Tallinna piirkonna ekstreemsete meretasemete kordusintervallide väärtustest arvutatatuna erinevate jaotustega.

Kordusintervall	Lähedane mõõtmistulemus	L-Moments GEV Max	L-Moments EV1-Max (Gumbel)	L-Moments EV2-Max	L-Moments GEV-Max (k. spec.)
1	35	43	49	56	54
5	102	102	100	98	98
10	114	113	113	112	113
50	129	132	141	153	151
100	155	139	153	174	170
1000	-	157	192	268	249

Tabel 1.2. Uuritavate piirkondade lühiajaliselt modelleeritud kuu maksimaalsed meretasemed koos madalsagedusliku vea komponendiga.

Aeg	Tallinn	Kopli	Kakumäe	Paljas- saare	Paldiski	Aeg	Tallinn	Kopli	Kaku- mäe	Paljas- saare	Paldiski
11.2006	91	90	90	91	86	12.2009	48	48	48	48	48
12.2006	-	-	-	-	-	1.2010	38	38	38	39	35
1.2007	-	-	-	-	-	2.2010	30	30	28	30	22
2.2007	-	-	-	-	-	3.2010	57	56	55	57	53
3.2007	-	-	-	-	-	4.2010	-	-	-	-	-
4.2007	81	81	80	80	77	5.2010	54	53	53	54	51
5.2007	56	55	54	55	53	6.2010	72	72	71	72	69
6.2007	84	83	83	84	83	7.2010	55	55	55	55	54
7.2007	73	72	72	73	69	8.2010	71	71	71	71	70
8.2007	86	86	86	86	84	9.2010	60	60	60	60	58
9.2007	90	90	89	89	88	10.2010	56	56	55	55	54
10.2007	-	-	-	-	-	11.2010	-	-	-	-	-
11.2007	78	77	77	77	75	12.2010	-	-	-	-	-
12.2007	105	104	104	106	100	1.2011	55	54	54	55	49
1.2008	-	-	-	-	-	2.2011	82	83	83	81	84
2.2008	-	-	-	-	-	3.2011	47	46	46	46	45
3.2008	-	-	-	-	-	4.2011	58	58	57	58	56
4.2008	74	72	72	74	67	5.2011	51	51	51	51	50
5.2008	33	33	33	33	33	6.2011	79	83	84	80	88
6.2008	81	81	81	81	78	7.2011	60	60	60	60	59
7.2008	81	81	81	81	80	8.2011	64	64	64	64	63
8.2008	90	89	89	90	86	9.2011	111	110	110	112	104
9.2008	73	72	72	73	69	10.2011	93	92	92	93	90
10.2008	128	126	126	128	120	11.2011	91	90	89	91	84
11.2008	111	110	110	111	108	12.2011	137	136	134	136	127
12.2008	95	95	96	96	95	1.2012	133	134	134	134	131
1.2009	-	-	-	-	-	2.2012	74	74	74	74	73
2.2009	-	-	-	-	-	3.2012	-	-	-	-	-
3.2009	55	53	52	54	48	4.2012	71	71	70	71	68
4.2009	47	47	47	47	46	5.2012	61	60	59	61	56
5.2009	57	56	56	56	53	6.2012	54	54	54	54	53
6.2009	71	70	70	71	66	7.2012	76	76	76	76	74
7.2009	68	67	68	69	66	8.2012	78	77	77	78	75
8.2009	79	78	78	79	77	9.2012	83	83	83	83	82
9.2009	95	95	94	95	93	10.2012	88	88	87	88	86
10.2009	-	-	-	-	-	11.2012	91	90	90	91	88
11.2009	-	-	-	-	-	12.2012	53	53	54	53	54

Tabel 3.1. Pikaajalised modelleeritud aasta maksimaalsed veetasemed uuritavates piirkondades ajaperioodi 1899-2012 jaoks.

Aasta	Kopli	Kakumäe	Paljassaare	Aasta	Kopli	Kakumäe	Paljassaare	Aasta	Kopli	Kakumäe	Paljassaare
1899	87,6	87,2	88,0	1937	70,7	70,4	71,0	1975	108,4	108,1	109,0
1900	80,6	80,3	81,0	1938	83,6	83,3	84,0	1976	97,5	97,2	98,0
1901	59,7	59,5	60,0	1939	61,7	61,5	62,0	1977	71,6	71,4	72,0
1902	63,7	63,4	64,0	1940	64,7	64,4	65,0	1978	93,5	93,2	94,0
1903	107,4	107,1	108,0	1941	-	-	-	1979	96,5	96,2	97,0
1904	59,7	59,5	60,0	1942	-	-	-	1980	88,5	88,2	89,0
1905	71,6	71,4	72,0	1943	-	-	-	1981	101,5	101,1	102,0
1906	75,6	75,3	76,0	1944	-	-	-	1982	92,5	92,2	93,0
1907	65,7	65,4	66,0	1945	50,8	50,5	51,0	1983	103,5	103,1	104,0
1908	53,8	53,5	54,0	1946	-	-	-	1984	115,4	115,0	116,0
1909	64,7	64,4	65,0	1947	36,9	36,7	37,0	1985	63,7	63,4	64,0
1910	77,6	77,3	78,0	1948	83,6	83,3	84,0	1986	113,4	113,0	114,0
1911	67,7	67,4	68,0	1949	82,6	82,3	83,0	1987	68,7	68,4	69,0
1912	75,6	75,3	76,0	1950	68,7	68,4	69,0	1988	86,6	86,3	87,0
1913	112,4	112,0	113,0	1951	88,5	88,2	89,0	1989	93,5	93,2	94,0
1914	97,5	97,2	98,0	1952	100,5	100,1	101,0	1990	115,4	115,0	116,0
1915	59,7	59,5	60,0	1953	74,6	74,3	75,0	1991	124,3	123,9	125,0
1916	65,7	65,4	66,0	1954	90,5	90,2	91,0	1992	89,5	89,2	90,0
1917	104,4	104,1	105,0	1955	99,5	99,1	100,0	1993	118,4	118,0	119,0
1918	-	-	-	1956	89,5	89,2	90,0	1994	73,6	73,4	74,0
1919	-	-	-	1957	74,6	74,3	75,0	1995	81,6	81,3	82,0
1920	-	-	-	1958	69,7	69,4	70,0	1996	-	-	-
1921	-	-	-	1959	65,7	65,4	66,0	1997	-	-	-
1922	-	-	-	1960	70,7	70,4	71,0	1998	69,7	69,4	70,0
1923	83,6	83,3	84,0	1961	96,5	96,2	97,0	1999	83,6	83,3	84,0
1924	118,4	118,0	119,0	1962	82,6	82,3	83,0	2000	62,7	62,4	63,0
1925	99,5	99,1	100,0	1963	78,6	78,3	79,0	2001	128,3	127,9	129,0
1926	62,7	62,4	63,0	1964	94,5	94,2	95,0	2002	105,4	105,1	106,0
1927	73,6	73,4	74,0	1965	58,7	58,5	59,0	2003	107,4	107,1	108,0
1928	100,5	100,1	101,0	1966	65,7	65,4	66,0	2004	74,6	74,3	75,0
1929	74,6	74,3	75,0	1967	123,3	123,0	124,0	2005	154,1	153,7	155,0
1930	102,5	102,1	103,0	1968	55,7	55,5	56,0	2006	91,5	91,2	92,0
1931	74,6	74,3	75,0	1969	104,4	104,1	105,0	2007	121,3	121,0	122,0
1932	96,5	96,2	97,0	1970	56,7	56,5	57,0	2008	90,5	90,2	91,0
1933	62,7	62,4	63,0	1971	97,5	97,2	98,0	2009	84,6	84,3	85,0
1934	68,7	68,4	69,0	1972	69,7	69,4	70,0	2010	34,9	34,7	35,0
1935	80,6	80,3	81,0	1973	95,5	95,2	96,0	2011	102,5	102,1	103,0
1936	78,6	78,3	79,0	1974	77,6	77,3	78,0	2012	93,5	93,2	94,0