

TARTU ÜLIKOOL
Füüsika-keemiateaduskond
Keskkonnanfüüsika instituut

ANU ÕMBLUS, B.Sc.

**LÄÄNEMERE VEETASEME AASTASE MUUTLIKKUSE KÄIK
JA HINNANG AMPLITUUDILE**

Keskkonnanfüüsika magistritöö

TARTU 2005

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. ÜLEVAADE MERETASEME MUUTLIKKUST KÄSITLEVATEST TEADUSTÖÖDEST	7
2. ANDMED. MERETASEME MÕÕTMISMEETODID	9
2.1. Meretaseme mõõtejaamad	9
2.2. Mõõtesüsteem	14
2.3. Mõõtmismeetodid	15
2.3.1. Mõõdulatt	15
2.3.2. Mareograaf	17
3. MERETASEME AASTASE MUUTLIKKUSE AMPLITUUD	18
3.1. Meetodi kirjeldus	18
3.2. Tulemuste kokkuvõte	21
3.3. Diskussioon ja järeldused	39
4. MERETASEME AASTASE MUUTLIKKUSE KÄIK	41
4.1. Meretaseme kõikumist mõjutavate faktorite jaotus	41
4.2. Diskussioon ja järeldused	44
KOKKUVÕTE	52
KASUTATUD KIRJANDUS	53
SUMMARY	56
LISAD	57
Lisa 1. Meretaseme aastane muutlikkus Narva-Jõesuu jaamas	57
Lisa 2. Meretaseme aastane muutlikkus Toila jaamas	57
Lisa 3. Meretaseme aastane muutlikkus Kunda jaamas	58
Lisa 4. Meretaseme aastane muutlikkus Vaindloo jaamas	58
Lisa 5. Meretaseme aastane muutlikkus Suurpea jaamas	59
Lisa 6. Meretaseme aastane muutlikkus Prangli jaamas	59
Lisa 7. Meretaseme aastane muutlikkus Tallinna sadama jaamas	60
Lisa 8. Meretaseme aastane muutlikkus Naissaare jaamas	60
Lisa 9. Meretaseme aastane muutlikkus Pakri jaamas	61
Lisa 10. Meretaseme aastane muutlikkus Dirhami jaamas	61
Lisa 11. Meretaseme aastane muutlikkus Vormsi jaamas	62

Lisa 12. Meretaseme aastane muutlikkus Tahkuna jaamas	62
Lisa 13. Meretaseme aastane muutlikkus Ristna jaamas	63
Lisa 14. Meretaseme aastane muutlikkus Sõru jaamas	63
Lisa 15. Meretaseme aastane muutlikkus Heltermaa jaamas	
64	
Lisa 16. Meretaseme aastane muutlikkus Rohuküla jaamas	64
Lisa 17. Meretaseme aastane muutlikkus Haapsalu jaamas	65
Lisa 18. Meretaseme aastane muutlikkus Keemu jaamas	65
Lisa 19. Meretaseme aastane muutlikkus Raugi jaamas	66
Lisa 20. Meretaseme aastane muutlikkus Merise jaamas	66
Lisa 21. Meretaseme aastane muutlikkus Vilsandi jaamas	67
Lisa 22. Meretaseme aastane muutlikkus Sõrve jaamas	67
Lisa 23. Meretaseme aastane muutlikkus Roomassaare jaamas	68
Lisa 24. Meretaseme aastane muutlikkus Abruca jaamas	68
Lisa 25. Meretaseme aastane muutlikkus Virtsu jaamas	69
Lisa 26. Meretaseme aastane muutlikkus Pärnu jaamas	69
Lisa 27. Meretaseme aastane muutlikkus Kihnu jaamas	70
Lisa 28. Meretaseme aastane muutlikkus Ruhnu jaamas	70

SISSEJUHATUS

Nüüdisaegse okeanograafia sünniks loetakse Suurbritannia sõjalaevastiku aurukorveti "Challenger" teaduslikku retke, mis kestis 07.12.1872 - 26.05.1876. Siiski eksisteerib veel üks oluline ja huvitav uurimisala, mis küll piirneb kaasaegse okeanograafiaga, kuid omab tunduvalt pikemat ajalugu. Nimetatud uurimisalaks on meretaseme ja selle muutlikkusega seotud uuringud. Esmajärjekorras said alguse merevee tõusu ja mõõnaga seotud uurimistööd, kusjuures kõige enam tegeleti tõusu ja mõõna uurimisel nende nähtuste teoreetiliste aspektidega. Veelgi enam, olulist kohta omab teinegi meretaseme muutumise uurimisega seotud, väga tuntud ja sajandeid uuritud nähtus. Siinkohal peaks piisama kahest näitest: ajaloolistes ürikutes, tihtipeale küll mitte teaduslikul viisil, on kirjeldatud ulatuslikud veeuputused ning suure ulatusega maapinna tõusmine põhjapoolkeral. Vähemalt Fennoskandia maades on viimane fenomen olnud uurimise all alates 18. sajandi algusest. See andis teadaolevalt ka esimese tõuke mõõdulattide püstitamiseks, mis omakorda lõi aluse puhtteaduslikeks meretaseme uuringuteks (Lisitzin, 1974).

Tänu sellistele arengutele on Läänemerele kõige vanem ja enam arenenud alaliste veetaseme mõõtejaamade võrk. Veetaseme muutuste jälgimine on siin piirkonnas kestnud seega üle kahe ja poole sajandi. Meretaseme määramiseks kasutati esmalt mõõdulati vaatlusi, mida teostati regulaarselt sagedusega mõned korrad nädalas kuni mõned korrad päevas. Taolisi vaatlusi hakati mitmel pool läbi viima juba 19. sajandil, sealhulgas Kroonlinnas, Tallinnas, Stockholmis, Baltiiskis ja Klaipedas. Aastatel 1805 - 1810 mõõdeti veeseisu Tallinna sadamas (Ojaveer *et. al.*, 2000). Mõõdulatile järgnes mareograaf, mis võimaldasmerepinna kõikumiste ajas pidevat registreerimist. Neist esimene paigaldati Svineiões 1869. aastal. Enamasti saadakse tänapäeval mareograafi väljund digitaalkujul. Ajavahemiku 1840 - 1950 jooksul suurenes meretaseme mõõtejaamade hulk ligikaudu kolm korda (Lazarenko, 1961a). Viimase paarikümne aasta vältel ei ole mõõtejaamade võrgu tiheduses olulisi muutusi toimunud.

Merevee kõrguse määramisel ja sellega seonduvates uuringutes on terminoloogiliselt kõige enam kasutusel mõiste meretase, mis märgib veetaseme mere teatud punktis kindlal ajahetkel. Käesolevas töös järgitakse väljakujunenud terminoloogilisi traditsioone ja lähtutakse mõiste "meretase" kasutamisel eeltoodud

definiitsioonist. Paralleelselt ja samatähenduslikena kasutatakse eesti keeles ka termineid merevee kõrgus, veeseis ja veetaseme.

Meretaseme muutlikkuse põhjustajaks olevad tegurid jagatakse enamjaolt kolme gruppi (Lisitzin, 1974). Esimesse kuulub kosmilise päritoluga tõusu tekitav dünaamiline mõju ookeani veele. Selleks on süsteemi Maa-Kuu-Päike vastastikusest asendist sõltuv perioodiliselt muutuva suurusega külgetõmbejõud, mis kutsub esile meretaseme perioodilise kõikumise. Teisena arvestatakse Maa atmosfääris toimuvate protsesside koosmõju Maailmamere pinnale. Kolmandasse gruppi kuuluvad maakooses aset leidvad geodünaamilised ja geotermilised protsessid. Maakooses toimuvad protsessid põhjustavad veetaseme pikaajalisi kõikumisi.

Läänemere veetaseme muutlikkuse uuringud üldiselt on vajalikud lahendamaks mitmeid põhiküsimusi, sealhulgas keskmiste merevee tasemete leidmine ilma tuule, õhurõhu, vee tiheduse muutumise ja perioodilise lainetuse mõjuta, merekaartide nullsügavuse, keskmise muutlikkuse fooni taustal areneva kõikumise ning sajandi lõikes Läänemere kaldajoone muutumise absoluutse ulatuse kindlaksmääramine. Samaväärselt olulised on nii Läänemere või selle eri osade veetaseme kõikumiste peamiste eripärade leidmine ühtsete lähteandmete alusel kui ka sõltuvuse otsimine tuuleaju, mõõna ja üleujutuste ajal tekkivate veetaseme muutumiste ning tähtsamate hüdrometeoroloogiliste faktorite vahel, meetodite leidmine meretaseme kõikumiste prognoosimiseks. Merevee kõrguse muutused omavad suurt tähtsust rannapiirkonna hüdrotehniliste rajatiste projekteerimisel ja ehitamisel ning meresõiduohutuse tagamisel. Rannikupiirkond on teatavasti suure sotsiaalse ja majandusliku tähtsusega dünaamiline keskkond. Rannaala kommunikatsioonide üleujutamise on üks peamisi looduskatastroofide põhjuseid üle maailma. Suur hulk rannikuprotsesse on omakorda juhitud ja kontrollitud nii regulaarsete kui ka ekstreemsete meretaseme kõikumiste poolt. Eelnimetatud probleemide lahendamiseks vajatakse eelkõige ühtsetele alustele viidud lähteandmeid - homogeniseeritud aegridasid. Meretaseme andmete ühtlustamiseks on eri aegadel loodud Läänemere äärsetes maades suur hulk geodeetilisi kõrgusvõrgustikke. Siia lisanduvad veel väiksema ulatusega ametkondlikud kõrgusvõrgustikud, kusjuures igaühel neist on tegemist oma nullkõrgusega. Eri süsteemide kõrguste võrdlemiseks ja andmete ühetaolisuse saavutamiseks on jõupingutusi tehtud 1918. aastast alates, kuid probleemi täieliku lahenduseni ei ole jõutud tänase päevani. Kõik praegu mõõdetavad ja ka ajalooliselt

varem endise Nõukogude Liidu piirkonnas ja totalitarismi mõjusfääris mõõdetud meretaseme aegread on esitatud Balti Süsteemis Kroonlinna mõõdulati nullpunkti suhtes. Viimane kujutab endast pikaajalist keskmist meretaset Kroonlinnas.

Käesolev magistritöö on jätkuks bakalaureusetööle “Läänemere veetaseme statistilisi seaduspärasusi” (Õmblus, 1997). Kuna käesoleva magistritöö aluseks on bakalaureusetöös analüüsitud vaatlusriidade kogum Eesti rannikul teostatud regulaarsetest meretaseme mõõtmistest, siis on töö planeerimisel lähtunud varem leitud meretaseme aegriidade statistilistest karakteristikutest. Lähemalt analüüsitakse algandmetest arvutatud kuu keskmisi veeseise. Dissertatsioonis on viidud läbi analoogsed arvutused ja analüüs Jensen’i (1998) ja Vermeer *et. al.* (1988) töödele, mis annab võimaluse tulemuste võrdlemiseks vastavalt Saksamaal ja Soomes saaduga. Töö esimeseks eesmärgiks on leida ja anda hinnang kõigi erinevate mõõtejaamade meretaseme kõikumise aastase perioodilisuse amplituudile. Seni on Eesti meretaseme mõõtejaamadest kogutud vaatlusriidade aastase perioodiga amplituudi suurust käsitletud oma töödes Kõuts *et. al.* (1995) ja Raudsepp *et. al.* (1999), aga seda mõlemal juhul valitud aegriidade viieaastasel ajavahemikul 1978 - 1982. Käesolevas töös vaadeldakse kõikide Eesti ranniku piirkonnas asuvate mõõtejaamade meretaseme aegridu täies ulatuses. Töö teiseks ülesandeks on leida kõikides meretaseme mõõtejaamades lisaks aastase perioodiga muutlikkusele esineda võivad pikema või lühema perioodiga muutlikkuse komponendid. Nimetatud kahele püstitatud probleemile lahenduse leidmiseks kasutatakse spektraalanalüüsi meetodit. Töö kolmandaks eesmärgiks on leida erinevused kõigi jaamade vahel veetaseme sesoonse muutlikkuse käigus, välja selgitada, kui võrd on veetaseme tõusu esinemine kindlal aastaajal seotud ja sõltuv mõõtejaama asukohast, ning kontrollida, kas sesoonse muutlikkuse käigu analüüsil saadavate tulemuste juures võib osutada määravaks algse valitud aegrea pikkus. Nimetatud küsimuste lahendamine võimaldab tulevikus läbi viia muutlikkuse võrdlust teiste Läänemere äärsete riikide meretaseme andmetega.

1. ÜLEVAADE MERETASEME MUUTLIKKUST KÄSITLEVATEST TEADUSTÖÖDEST

Merevee kõrguse muutusi on Läänemeres Stockholmis vaadeldud alates 1774. aastast, mis ühtlasi konstitueerib pikima katkematu meretaseme aegrea maailmas. Esimese viiekümne aasta jooksul, arvates alates 1774. aastast, esineb Stockholmi aegreas küll mõningaid lünki, kuid alates 1825. aastast on aegrida terviklik. Ekman on esitanud nimetatud Stockholmi aegrea ajaloolise ja informatsioonilise ülevaate ning kõigi aastate keskmiste veeseisude väärtused (Ekman, 1988). Ekman leidis üle aasta keskmistatud veeseise uurides olulise sekulaarse muutuse postglatsiaalse maa kerkemurrangu kiiruses perioodide 1774 - 1884 ja 1885 - 1984 vahel, mis kajastab vastavat meretaseme eustaatilist muutust.

Ekman ja Stigebrandt analüüsisid eelpool nimetatud komplekse Stockholmi aegrea kuu keskmisi meretasemeid, formeerides pikima pideva kuu keskmiste meretaseme andmete aegrea maailmas. Nad leidsid meretaseme sesoonse varieerumise pikaajalise suurenemise (Ekman, Stigebrandt, 1990). Ekman ja Stigebrandt leidsid ka 14 kuu perioodiga meretaseme muutlikkuse sekulaarse suurenemise, seniajani on 14 kuu pikkuse perioodiga muutlikkus tuntud kui Chandleri efekt. Sesoonsel meretaseme muutlikkust on jagatud aastaseks muutlikkuseks ja pooleaastaseks muutlikkuseks. Mõlemad neist, nagu ka muutlikkus perioodiga 14 kuud ja pikaajaline irregulaarne muutlikkus, kirjeldavad üldist geograafilist mudelit Läänemere piirkonnas ja osutavad meretaseme kõikumise tekkepõhjusele - kõige tõenäolisemalt tuule rõhule (Ekman, 1996; Tsimplis, Woodworth, 1994; Tsimplis *et al.*, 1994).

Samuelsson ja Stigebrandt (1996) ning Carlsson (1998) on uurinud meretaseme muutlikkust Läänemeres üldiselt. Nad leidsid, et variatsioonid ajalise ulatusega vähem kui üks kuu on peamiselt internse liikumise variatsioonid maksimumiga Läänemere lõuna- ja põhjaosas ning miinimumiga Läänemere keskosas Stockholmi lähistel. Nad rõhutavad, et variatsioonid, mis ületavad ajaskaalas ühe kuu, on peamiselt välispidise liikumise variatsioonid maksimumiga Läänemere põhjaosas ja miinimumiga Taani väinades. Need pikaajalised kõikumised tekivad Põhjameres ja on predomineerivalt juhitud valitsevatest tuultest üle Põhjamere ja Läänemere vahelise üleminekuala (Matthäus, Schinke, 1994; Ekman, 1997). Perioodidel umbes

üks kuu võivad substantsiaalselt mõjuda ka õhurõhu muutused Taani väinade kohal (Stigebrandt, 1990). Ekman ja Stigebrandt (1990) näitasid selgelt, et meretaseme kõikumised on peamiselt põhjustatud üle Läänemerd ja Põhjamerd ühendava piirkonna puhuvate tuulte muutuste poolt. Kusjuures tuulte muutus eelneb ligikaudu ühe kuu võrra vastavatele meretaseme muutustele. Ühe kuu pikkune ajaline nihe tuleneb Läänemere napist ühendusest Põhjameriga. Kõuts *et. al.* (1995) on vaadelnud meretaseme aegridade statistilisi iseloomustajaid muutlikkuse modelleerimise seisukohalt. Selles töös on analüüsitud viieaastaseid meretaseme aegridu ajavahemikust 1978 - 1982, saades meretaseme ajalise muutlikkuse sesoonse komponendi kõige selgemalt väljendunud perioodiks ühe aasta ja amplituudi hinnanguks 20 cm. Liebsch (1997) analüüsis meretaseme andmete aegridu Wismaris ja Warnemündes Saksamaa rannikul Läänemeres, alustades aastast 1855. Ta leidis merevee kõrguse sesoonselt muutuva käigu maksimumiga detsembris ja miinimumiga märtsis. Schmidt (1998) analüüsis Liebsch'le sarnaselt 1890. aastal algavat Esbjergi meretaseme aegrida Põhjameres Taanis. Schmidt tõi välja sarnase sesoonse muutlikkuse efekti, mille maksimum on novembris ja miinimum veebruaris. Tuleb märkida, et ühekuuline meretaseme maksimumi ja miinimumi saavutamise erinevus Põhjameres asuva Esbjergi ning Läänemeres asuvate Wismari ja Warnemünde vahel on heas kooskõlas eelnevalt Ekman'i ja Stigebrandt'i poolt kirjeldatud ajalise nihkega.

Jensen'i (1998) töö eesmärgiks oli korrastada täpsete veeseisude aegread regulaarsete vaatluste algusest saadik piki Läänemere edelarannikut. Need veetaseme andmete aegread hõlmavad meretaseme eustaatilist tõusu ja suhtelist liikumist maa ja merevee kõrguse vahel, vastavalt suhtelisele merevee tõusule (Jensen, 1998). Sekulaarne meretaseme tõus ei ole statsionaarne või ajaliselt fikseeritud suurus, see varieerub nii geograafilise kui ka ajalise jaotuse poolest (Jensen, 1984). Raudsepp *et. al.* (1999) on analüüsinud kahekümnes Eesti ja Läti ranniku piirkonnas asuvas mõõtejaamas saadud viieaastaseid (1978 - 1982) meretaseme andmete vaatlusridu. Töös on leitud, et kõige tugevamat signaali meretaseme aegridades annab aastase perioodiga sesoonse muutlikkuse komponent amplituudiga 20 cm. Tulemus langeb kokku Kõuts *et. al.* (1995) poolt saaduga. Tulemuste erinevus oleks üllatav, kuna mõlemas nimetatud töös analüüsitud aegridade kokkulangevus nii jaamade kui ka ajavahemiku valiku osas on 100 %.

2. ANDMED. MERETASEME MÕÕTMISMEETODID

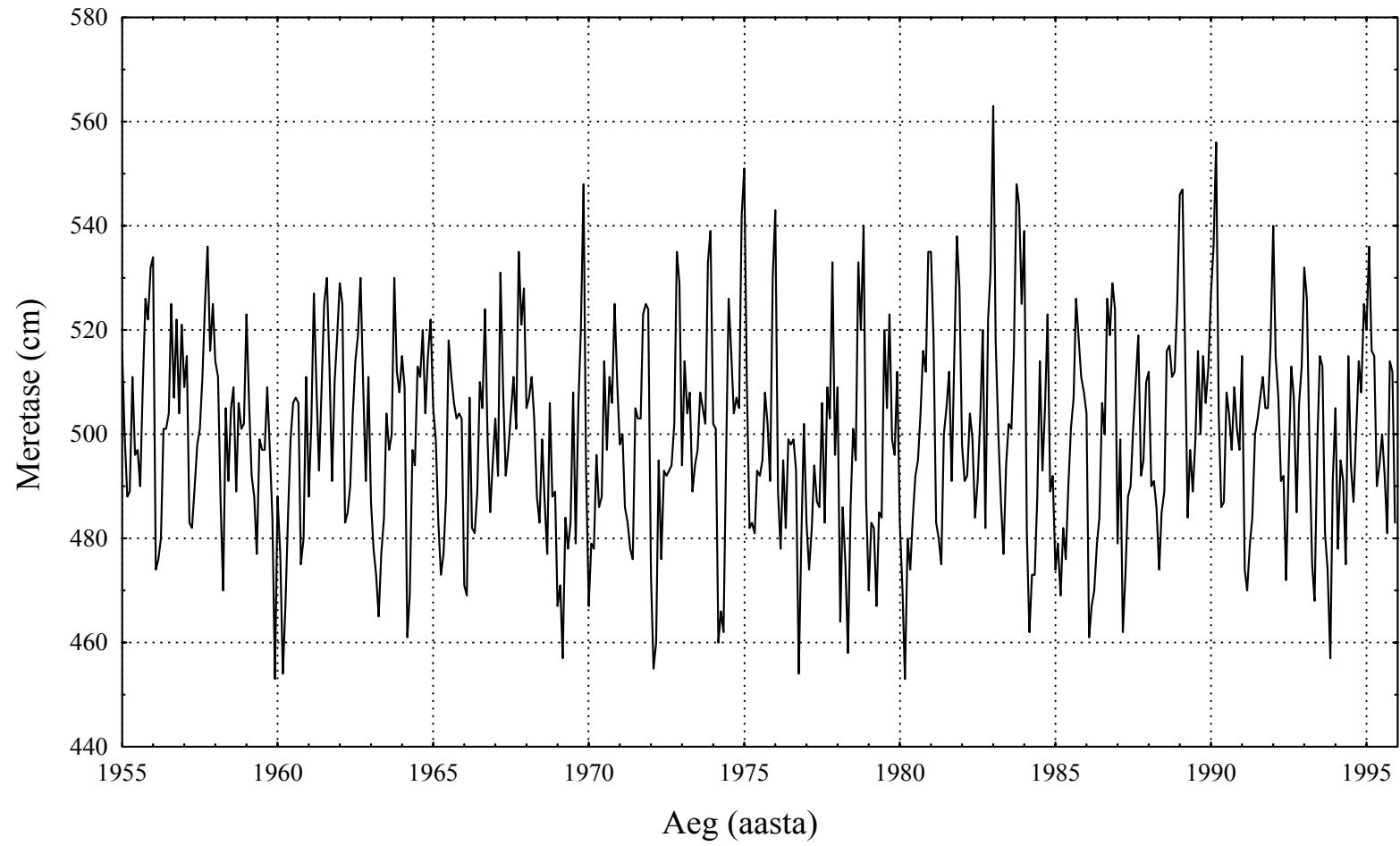
Aegrida üldises tähenduses on mõne konkreetse näitaja arvuliste väärtuste jada ning iseloomustab näitaja taset vastavatel ajamomentidel või perioodidel. Antud töös on võetud analüüsimiseks meretaseme aegread, mis on saadud Eesti ranniku ja saarte piirkonnas asunud kahekümne kaheksas mõõtejaamas läbiviidud pikaajaliste regulaarsete mõõtmiste tulemusel. Vaadeldavad aegread koosnevad algandmetest leitud kuu keskmistest meretasemetest. Keskmiste veeseisude arvutamisel on puudevate originaalväärtuste asemele leitud arvandmed interpoleerimise teel. Sel puhul on lähtutud olemasolevatest naaberjaamade mõõtetulemustest. Kõik vaatlusriidade andmed on mõõdetud Balti Süsteemis, kus baastasemeks on veetaseme kõrgus 500 cm, pikaajaline keskmine meretase Kroonlinna jaamas. Kõik meretaseme uuringud peaksid baseeruma usaldusväärsetel mõõtmisandmetel üle nii pika perioodi kui võimalik. Käesoleva töö aluseks olev andmekogum on samaselt võrdne Õmblus' e (1997) uurimistöö aluseks olnud meretaseme aegridadega. Sellest tulenevalt on käesoleva töö planeerimisel arvestatud ka eelnevalt saadud tulemusi. Eelkõige on võetud arvesse läbiviidud meretaseme andmete usaldusväärseuse kontrolli ja kõigi aegridade puhul leitud statistilisi karakteristikuid, sealhulgas standardhälvet. Kuna andmekogumi usaldusväärsus on seega eelnevalt täielikult kontrollitud, siis käesolevas töös ei ole nimetatud valdkonna käsitlemist eraldi eesmärgiks võetud. Meretaseme kuu keskmistest andmetest koosnevat vaatlusrida kirjeldava näitena on joonisel 2.1 esitatud meretaseme aegrida Dirhami jaamas. Töös on analüüsitud kõiki meretaseme aegridasid täielikus ulatuses, kusjuures suurim olemasolev andmekogum pärineb Tallinna sadama jaamast. Seal algasid mõõtmised 1842. aastal. Järgnevalt antakse ülevaade mõõtejaamade paiknemisest, kasutatavast mõõtesüsteemist ja mõõtmismeetoditest.

2.1. Meretaseme mõõtejaamad

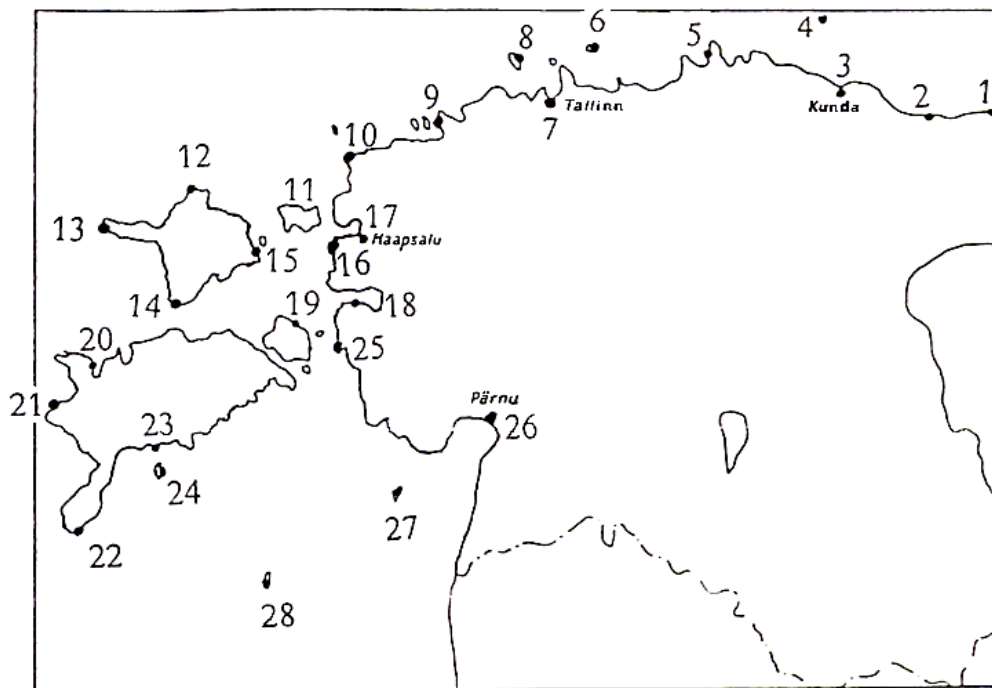
Meretaseme mõõtejaamade asukohad on valitud printsiibil, et moodustuv mõõtevõrk kataks Eesti ranniku ja saared ühtlase tihedusega. Joonisel 2.2 on esitatud ülevaade meretaseme mõõtejaamade paiknemisest. Kahekümne kaheksast jaamast kuueteistkümne asukoht on saartel. Kümme mõõtejaama ääristavad Soome lahte.

Nendes jaamades mõõdetud andmestiku analüüsi tulemused on eriti huvipakkuvad Soome mõõtejaamade suhtelise läheduse tõttu. Soome lahe põhjakaldal asuvate meretaseme mõõtejaamade andmestikuga läbiviidud analoogsed uuringud pakuvad võimalusi väga heaks võrdlusmaterjaliks. Tabelis 2.1 on toodud iga jaama jaoks aegriade pikkused, see on aastate hulk, mil konkreetses jaamas mõõtmisi teostati. Analüüsitud meretaseme aegread võib ajaliselt ulatuselt tinglikult jagada kolme jaamade arvult täiesti võrdsesse ossa, kusjuures igas grupis on 32 % mõõtejaamu nende koguhulgast. Toila, Prangli, Naissaare, Sõru, Keemu, Raugi, Merise, Roomassaare ja Abruca jaamas on aegrea pikkus vahemikus 1 kuni 20 aastat. Kunda, Vaindloo, Dirhami, Vormsi, Ristna, Heltermaa, Rohuküla, Haapsalu ja Kihnu jaamas jääb aegrea pikkus 21 ja 50 aasta vahele. Narva-Jõesuu, Suurpea, Pakri, Tahkuna, Vilsandi, Sõrve, Virtsu, Pärnu ja Ruhnu jaamas on aegrea pikkus 51 kuni 90 aastat. Erandiks ja ühtlasi kõige pikemaks aegreaks on Tallinnas mõõdetud meretaseme andmed, olles antud töös kasutusel 141 aasta ulatuses. Tabelis 2.1 on esitatud ka jaamade geograafilised koordinaadid, põhjalaius ja idapikkus.

Kõikides jaamades, mis on töötanud juba sajandi vältel, esineb aegrea katkevus I Maailmasõja tõttu ja suures osas jaamased II Maailmasõja tõttu. Narva-Jõesuu, Vaindloo, Tallinna, Tahkuna, Vilsandi, Sõrve, Virtsu ja Ruhnu jaamas on aegrida katkenud I Maailmasõja aastatel. Ainukesed kogu II Maailmasõja perioodist pärinevad mõõteandmed on Vormsi ja Pärnu jaamadest. Kõige enam mõõtmisaastaid hõlmavaks ja seega kõige tähelepanuväärsemaks osutub andmerida Tallinnast, seal alustati veeseisude ülesmäärimist enam kui poolteistsada aastat tagasi, 1842. aastal. Veel alustasid 19. sajandil tööd Narva-Jõesuu, Sõrve, Tahkuna, Vaindloo, Vilsandi ja Virtsu mõõtejaamad. Ilma katkevuseta, pidevad aegread on Toila (5 aastat), Kunda (38 aastat), Prangli (9 aastat), Naissaare (13 aastat), Dirhami (42 aastat), Vormsi (36 aastat), Ristna (49 aastat), Sõru (18 aastat), Heltermaa (46 aastat), Keemu (14 aastat), Raugi (12 aastat), Merise (8 aastat), Roomassaare (10 aastat), Abruca (18 aastat), Pärnu (73 aastat) ja Kihnu (44 aastat) jaamas. Praeguseni töötavatest jaamadest pärit aegriade puhul on käesolevas töös arvesse võetud andmed kuni 1995. aastani, kaasa arvatud.



Joonis 2.1. Meretaseme aegrida Dirhami jaamas.



Joonis 2.2. Meretaseme mõõtejaamade asukohad. Jaamade tähistused on järgmised:

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1 - Narva-Jõesuu; | 15 - Heltermaa; |
| 2 - Toila; | 16 - Rohuküla; |
| 3 - Kunda; | 17 - Haapsalu; |
| 4 - Vaindloo; | 18 - Keemu; |
| 5 - Suurpea; | 19 - Raugi; |
| 6 - Prangli; | 20 - Merise; |
| 7 - Tallinn sadam; | 21 - Vilsandi; |
| 8 - Naissaare; | 22 - Sõrve; |
| 9 - Pakri; | 23 - Roomassaare; |
| 10 - Dirhami; | 24 - Abruca; |
| 11 - Vormsi; | 25 - Virtsu; |
| 12 - Tahkuna; | 26 - Pärnu; |
| 13 - Ristna; | 27 - Kihnu; |
| 14 - Sõru; | 28 - Ruhnu. |

nr.	Jaam	Mõõtmisi aastates	Geograafilised	koordinaadid
			Põhjalaius	Idapikkus
1	Narva-Jõesuu	89	59°28'	28°02'
2	Toila	5	59°26'	27°24'
3	Kunda	38	59°31'	26°33'
4	Vaindloo	42	59°49'	26°22'
5	Suurpea	67	59°38'	25°41'
6	Prangli	9	59°38'	25°01'
7	Tallinna sadam	141	59°27'	24°46'
8	Naissaare	13	59°36'	24°31'
9	Pakri	53	59°23'	24°02'
10	Dirhami	42	59°13'	23°31'
11	Vormsi	36	59°02'	23°07'
12	Tahkuna	60	59°05'	22°35'
13	Ristna	49	58°55'	22°04'
14	Sõru	18	58°42'	22°32'
15	Heltermaa	46	58°52'	23°03'
16	Rohuküla	43	58°54'	23°25'
17	Haapsalu	31	58°57'	23°32'
18	Keemu	14	58°44'	23°41'
19	Raugi	12	58°39'	23°18'
20	Merise	8	58°30'	22°08'
21	Vilsandi	83	58°23'	21°49'
22	Sõrve	78	57°55'	22°03'
23	Roomassaare	10	58°13'	22°30'
24	Abruka	18	59°09'	22°32'
25	Virtsu	68	58°34'	23°31'
26	Pärnu	73	58°22'	24°30'
27	Kihnu	44	58°06'	23°58'
28	Ruhnu	54	57°47'	23°16'

Tabel 2.1. Meretaseme mõõtejaamade asukohad ja aegridade pikkused.

2.2. Mõõtesüsteem

Aegridade homogeniseerimise olulisuse tõttu püüdis Witting saavutada meretaseme andmete ühtlust kogu Läänemere ulatuses juba oma 1918. aastal avaldatud töös (Witting, 1918). See katse ei lahendanud ülesannet vajalikul määral, töö puuduseks oli ebapiisav täpsus geodeetilise kõrgusvõrgustiku ühtlustamisel ja nende taandamisel ühte ajajärku. Eri mõõtejaamades ei saadud samalaadseid andmeid. Küll aga esitas Witting oma töös Läänemere keskmise meretaseme okeanograafilise mudeli. 1961. aastal avaldas Lazarenko töö, milles on analüüsitud aastatel 1901 - 1940 mõõdetud meretasemeid ligi kuuekümnest mõõtejaamast pea kogu Läänemere ulatuses (Lazarenko, 1961a). Nimetatud töö pani aluse Balti Süsteemi meretaseme mõõtevõrgustikule. Lazarenko leidis oma töös eri kohtades ja eri aegadel mõõdetud aegridade ühtlustamiseks vajalikud kõrguste ja aja parandid. Balti Süsteemis mõõdetavad aegread esitatakse Kroonlinna mõõdulati nullpunkti suhtes.

Simonsen pani aluse Ühtsele Euroopa Kõrgussüsteemile (Simonsen, 1960), mida kasutas 1974. aastal oma suuremahulises töös ka Lisitzin, avaldades erinevates mõõtekohtades ja erinevatel aegadel mõõdetud meretaseme andmete võrdluse (Lisitzin, 1974). Eesti juurtega teadlane Ussisoo leidis keskmise Läänemere pinna, kasutades selleks Rootsi teise täpsusklassi kõrgussüsteeme koos meretaseme andmeridade regressioonanalüüsiga (Ussisoo, 1977). Kasutatud andmed olid saadud kaheteistkümnest Rootsi rannikul paiknevast mõõtejaamast.

Endise Nõukogude Liidu piirkonnas ja mõjusfääris mõõdetud meretasemete aegread on esitatud Balti Süsteemis Kroonlinna mõõdulati suhtes, mis, nagu ka eelpool mainitud, kujutab endast pikaajalist keskmist meretaset Kroonlinnas. Tuleb rõhutada, et käesolevas töös on baastasemeks 500 cm, pikaajaline keskmine meretase Kroonlinna mõõdulati järgi. Endise Nõukogude Liidu mõjusfääris on veel eristatavad niinimetatud Poola Kroonlinna süsteem ja Saksa Kroonlinna süsteem, mille nullpunktide kõrgused erinevad Kroonlinnas asuvast vastavalt 3 ja 4 cm (Ekman, 1998a). Saadud tulemus on kooskõlas keskmise merepinna topograafiaga (Ekman, Mäkinen, 1994). Ihde on leidnud Kroonlinna peeli ja Amsterdami mõõdulati nullpunkti erinevuseks 15 cm (Ihde 1993). 1985., 1994. ja 2001. aastal UNESCO Valitsustevahelise Okeanograafia Komisjoni poolt koostatud ja avaldatud juhised annavad soovitusi meretaseme mõõtesüsteemi valikuks ja opereerimiseks. Süsteemi

valikul tuleb esmalt määratleda mõõtmiste otstarbest, sellest lähtuvalt tekivad valikud mõõtmiste kestvuse, täpsuse, hinna ja asukoha osas. Laevanduses võidakse kasutada ka andmeid täpsusega 0,1 m, kuid teaduslikel uuringutel eeldatakse üksikutel lugemitel täpsust 0,01 m peale lainetuse eemaldamist. Kui väikesed vead esinevad juhuslikult, siis keskmistamine üle mitme lugemi aitab tõsta tulemuste täpsust, mis on vajalik pikaajaliste keskmise meretaseme trendide uurimiseks.

2.3. Mõõtmismeetodid

Meretaseme mõõtmiseks on nii ajalooliselt kasutatud kui ka kasutatakse veel praegu regulaarseid mõõdulati vaatlusi ning mareograafe. Viimasest on võimalik meretaseme mõõtetulemuste väljund digitaalkujul. See võimaldab suurema mõõtetäpsuse ja operatiivse andmeside, saamaks hetkeliselt meretaseme andmeid kogu mõõtevõrgu ulatuses. Lisaks kogutakse tänapäeval andmeid satelliitide abil. Kuna käesolevas töös kasutatud andmed on saadud suuremas osas mõõdulati ja mareograafi vaatluste teel, siis järgnevalt kirjeldatakse lühidalt mõlemat eelnimetatud mõõtmismeetodit. Põhjalikuma kirjeldusliku ülevaate mõõdulati ja mareograafi kasutusest meretaseme vaatluste läbiviimisel on esitanud Õmblus (1997). Satelliidilt mõõdetud meretaseme väärtusi nimetatakse tihtipeale perepinna kõrguseks (*sea level heights*). Kõige tähtsamad satelliidid meretaseme mõõtmistel on TOPEX/Poseidon ja järgnevad JASON seeria missioonid. Need satelliidid mõõdavad radariga kaugust merepinnani iga sekundi tagant, läbides ise orbiidi 112 minutiga 1336 km kõrgusel ja lennates seega üle maapinna kiirusega 5,8 km/s. Üksiku mõõtetulemuse täpsuseks on 0,02 - 0,04 m, kuid seda saab tõsta keskmistamisega üle mitme mõõtmise.

2.3.1. Mõõdulatt

Mõõdulati abil teostatakse veetaseme vaatlusi harilikult sagedusega mõned korrad päevas. Näidu fikseerimine on oluline läbi viia igal päeval samadel kellaaegadel. Mõõdulati skaala on harilikult jaotatud sentimeetriteks, andmeid mõõdetakse ühe sentimeetri täpsusega. Sõltuvalt mõõdulatti kasutava riigi kultuuriruumist võib lati jaotise väärtuseks olla ka toll või jalg. Lugem saadakse lati jaotise järgi, mille tasemel vaatluse momendil seisab vesi. Mõõdulatte võidakse

kinnitada nii kaldaehitiste kui ka merepõhja rammitud vaiade külge. Latt asetatakse vertikaalasendisse näiteks loodi abil ja kinnitatakse nii, et lati alumine ots ulatuks kindlaksmääratud sügavuseni. Nullpunkt võib latil asetseda alumises osas, keskosas või ülaosas. Ühe riigi territooriumil on enamjaolt kasutusel olnud üht tüüpi latid. Enim on mõõtmistel kasutatud latte, millel null asetseb allotsas. Sel juhul suurenevad mõõtarvud latil alt üles ja seda suurem lugem saadakse skaalalt, mida kõrgemal asub merepind. 19. sajandi alguses olid kasutusel latid, mille nullpunkt paiknes skaala keskosas ja näit suurenes nullist nii üles kui ka allapoole liikumisel. Andmed skaalal ülalpool nulli loeti siis positiivseteks ja allpool nulli negatiivseteks. Rootsisis on põhiliselt kasutatud latte, millel nullpunkt asub skaala ülemises otsas ja mõõtarvud suurenevad ülalt alla. Seega mida kõrgemal oli merepind, seda väiksem skaala näit saadi. Meretaseme andmete töötlemisel, mis on saadud mõõdulatiga läbiviidud mõõtmiste teel, tuleb arvestada tuulest tingitud lainete ja virvenduste mõju. Sellises situatsioonis mõõdetakse enamikel juhtudel kaks kõrgust, nii laineharja kui ka -põhja kohta. Veeseis leitakse laineharja ja -põhja andmete keskmistamisel. Võimaldamaks mõõtmiste teostamist lainevabas piirkonnas tuleb vältida tuule mõjul tekkinud lainete ja virvenduste segavat toimet. Sel eesmärgil paigaldatakse mõõdulatid kaldal spetsiaalsetesse kaevudesse, mis ühendatakse merega horisontaalse toru abil. Sellised kaevud kaitsevad üldjuhul mõõdulatte ka jää liikumisel tekkivate kahjustuste eest. Lugemi võtmise lihtsustamiseks paigaldatakse kaevu ülemisse otsa veel teinegi latt, millelt saadakse loend kaevus asuva ujuki, ülemise lati juures asuva osuti ja neid ühendava liikuva trossi abil. Osuti on kinnitatud trossi külge arvestusega, et ülemise lati näit on võrdne veetaseme kõrgusega kaevus ehk siis alumise lati näiduga.

Ülemöödunud sajandi kolmekümnendatel aastatel kinnitati M. F. Reineké (1801 - 1859) soovitusel mõõdulati külge metalltoru pikkusega 90 cm ja läbimõõduga 6,3 cm. Toru kaanes oli pilu ja topeltpõhjas paiknesid väikesed avaused. Torust ulatus läbi kaanes oleva pilu kaudu välja ujuki külge kinnitatud ja vabalt torus ujuv jaotistega latt. Läbi toru võretatud põhja sisenenud vesi tõstis koos ujukiga latti kaane sisselõikes. Ka sellises torus esineb veepinna kõikumisi, kuid siiski on need võnkumised oluliselt väiksemad kui mittekäetud lati puhul.

Torumõõdulatina kasutatakse 18 - 25 cm diameetriga metalltoru, mille sisse on asetatud sentimeeterskaalaga metallist lint. Sarnaselt eelmisele mudelile ühtlustub veetase toru sees ja meres toru põhjas olevate väikeste avauste kaudu. Mõõdulindi

funktsiooni täitva metallist lindi ühte otsa on kinnitatud ujuk, teise tasakaaluraskus ja lint ise liigub üle toru otsas asuva bloki. Läbi toru ülaosas asuva vaateava saab jälgida veetaseme kõrguse muutustest põhjustatud lindi asendi muutusi. Sel moel toimub meretaseme näidu fikseerimine (Lazarenko, 1961b).

2.3.2. Mareograaf

Mareograaf kui mõõteriist võimaldab merede, järvede ja jõgede veeseisu automaatset registreerimist, nende hulgas eristatakse kaldal asetsevaid mareograafe ja avameremareograafe. Esimesed on kasutusel eelkõige pikaajalisteks pidevateks vaatlusteks. Avameremareograafe kasutatakse aga enamjaolt lühiajalistel uurimistel tänu nende kiirele ümberpaigutamise võimalusele. Avameremareograaf asetseb veekogu põhjas ja selle töö põhineb hüdrostaatilise rõhu muutuste mõõtmisel. Kõige sagedamini teostatakse merepinna kõikumise pidevaid vaatlusi kaldal asetsevate ujuk-mareograafide abil. Mareograaf püstitatakse kaevu kohale. Merepinna kõikumine antakse edasi ujuki abil, mis lastakse ahela otsas kaevu. Koos merepinnaga tõustes või langedes paneb ujuk liikuma sulega mehhanismi. Sulg kirjutab veepinna kõikumised lindile, mis asetseb kellamehhanismi abil liikaval trumlil. Sõltuvalt kasutatavast süsteemist teeb trummel ühe pöörde mõne ööpäeva või nädala jooksul. Lugemid saadakse lindilt ühe sentimeetri täpsusega. Mareograafiga läbiviidavad vaatlused koosnevad neljast etapist: lugemi võtmisest kontrollpeelilt, kontrollmärkide tegemisest lindile vatluse kellaegadel, vajadusel lindi vahetamisest ja kellamehhanismi üleskeeramisest. Mareograafi kontrollpeeli lugem märgitakse lindile vahetult enne kontrollmärgi tegemist. Kontrollpeeli ja põhipeeli lugem fikseeritakse ühesuguse täpsusega ja samu menetlusnorme järgides. Kontrollmärk tehakse lindile 2 - 3 mm pikkuse püstkriipsuna ja samas kirjutatakse üles ka märgi tegemise aeg ühe minuti täpsusega. Mareograafi üleskirjutuse esialgne töötlemine tähendab esmajärjekorras lindi üleskirjutuse kontrolli ja parandamist. Üleskirjutus tuleb tähistada - leida täistundidele vastavad punktid - ja võtta üleskirjutuselt ordinaadid ehk mareograafi näidud, samuti täistundidel. Viimase ülesandena tuleb mareograafi näidud taandada posti nullile. Kui kaevus pole lainetust suudetud täielikult välistada, siis võib üleskirjutus lindil sarnaneda laiale triibule. Sel juhul kujutatakse vajalik kõver mööda üleskirjutuse ehk tekkinud laia triibu keskjoont pidi (Lazarenko, 1961b).

3. MERETASEME AASTASE MUUTLIKKUSE AMPLITUUD

3.1. Meetodi kirjeldus

Käesolevas töös on meretaseme aegridades esineva aastase muutlikkuse komponendi ja selle amplituudi leidmiseks kasutatud spektraalanalüüsi meetodit. Spektraalanalüüs tegeleb tsüklilisust sisaldavate andmeridade uurimisega. Analüüsi eesmärk on tsüklilisi komponente sisaldava keeruka aegrea esitamine erinevate amplituudide ja sagedustega harmoonikute summana. Harmooniku amplituudi sõltuvust sagedusest nimetatakse funktsiooni spektriiks. Eduka analüüsi tulemusel võib vaatlusaluses aegreas paljastuda erineva pikkusega perioodilisi tsükleid, mis esmapilgul paistsid vähem või rohkem juhusliku mürana. Spektraalanalüüsi eesmärk on identifitseerida erinevate pikkustega sesoonsed fluktuatsioonid. Samas näiteks ARIMA ja eksponentsiaalse silumise analüüsimeetodid eeldavad sesoonse komponendi perioodi eelnevat teadmist ja selle lisamist mõnele libiseva keskmise või autokorrelatsiooni meetodile. Antud töös on eesmärgiks leida lisaks aastase perioodilisusega kõikumise amplituudile ka teised seni teadmata perioodiga ilmned võivate muutlikkuste komponendid ja amplituudid. Spektraalanalüüsi meetodit kasutatakse just seetõttu, et kõikide aegridades leiduvate muutlikkuse komponentide perioodid ei ole eelnevalt teada.

Spektraalanalüüsi läbiviimiseks on andmerida esitatav Fourier' reana kujul (Chatfield 1990; Box, Jenkins 1976):

$$x_t = a_0 + \left\{ \sum_{k=1}^{\frac{N}{2}-1} \left[a_k \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot t}{N}\right) + b_k \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot t}{N}\right) \right] \right\} + a_{\frac{N}{2}} \cdot \cos(\pi \cdot t), \quad (3.1)$$

kus $t = 1, 2, \dots, N$ ja N on aegrea pikkus ehk siis antud juhul kuude arv.

Sagedus on defineeritud kui tsüklite arv ajaühikus. Kuna iga üksik vaatlus tähendab üht ajaühikut, siis on sagedus arvutatud kui vaatluste tsüklitel.

Suktsessiivseteks sagedusteks on väärtused $\frac{k}{N}$ ($k = 0, \dots, \frac{N}{2}$), kus N on andmete arv aegreas. Seega näiteks sagedus 0.0833 tähendab, et 12 andmega aegreast täidetakse üks tsüklitel. Kui aegrida koosneb kuu andmetest, mis on kogutud üle paljude aastate, siis vastav sagedus näitab aastast tsüklit.

Period T on defineeritud kui andmete arv, mis on vajalik ühe terve tsükli sooritamiseks vastaval sagedusel. Periood on sageduse pöördväärtus $T = \frac{1}{\nu}$.

Koefitsiendid a_k ja b_k on defineeritud järgmiselt:

$$a_0 = \bar{x}, \quad (3.2)$$

$$a_{\frac{N}{2}} = \sum_t (-1)^t \cdot \frac{x_t}{N}, \quad (3.3)$$

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_t x_t \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot t}{N}\right), \quad (3.4)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_t x_t \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot t}{N}\right), \quad (3.5)$$

kus $k = 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$.

Nagu eespool mainitud, on spektraalanalüüsi eesmärgiks originaalandmerida lahutada erineva sagedusega varjatud sinusoidaalseteks funktsioonideks ja determineerida need, mis ilmnevad eriti tugevalt. Üks võimalus seda teha, on vaadata küsimust mitmese regressiooniprobleemina, kus sõltuv muutuja on mõõdetud aegrida ja sõltumatu muutuja on siinusfunktsioon üle kõikide võimalike diskreetsete sageduste. Koosinuse kordajat a_k ja siinuse kordajat b_k võib interpreteerida kui regressioonikordajaid, mis näitavad, millise järguni on respektiivne funktsioon korreleeritud andmetega. Intuiivselt on selge, et ei saa olla rohkem siinus- ja koosinusfunktsioone, kui on andmeid aegreas. Kui N on aegrea pikkuseks, siis on $\frac{N}{2} + 1$ koosinusfunktsiooni ja $\frac{N}{2} - 1$ siinusfunktsiooni. Ehk teisisõnu saab olema samapalju erinevaid sinusoidaalseid funktsioone kui võrd on andmeid aegreas. Ja seetõttu saab aegrea täielikult uuesti esitada varjatud funktsioonide kaudu. Paaritu arvu andmete korral aegreas jääb viimane antud väärtus tavaliselt kasutamata, sest sinusoidaalse funktsiooni esitamiseks vajatakse kahte punkti: kõrget ja madalat piiki.

Spektraalanalüüs leiab siinus- ja koosinusfunktsiooni korrelatsiooni andmetega erinevatel sagedustel. Kui on tuvastatud tuntav korrelatsioon, siis võib järeldada, et andmerekas esineb vastaval sagedusel tugev perioodilisus. Siinus- ja koosinusfunktsioonid on vastastikuselt sõltumatud (või ortogonaalsed), summeerides

nende funktsioonide kordajate ruudud iga sageduse juures ($\frac{N}{2}$ korda), saame periodogrammi. Seega periodogrammi väärtused P_k leitakse vastavalt eeskirjale:

$$P_k = (b_k)^2 \cdot (a_k)^2 \cdot \frac{N}{2} . \quad (3.8)$$

Praktikas võib tihti esineda olukordi, kus otsitav sagedus “imbub” külgnevatesse sagedustesse. Näiteks, leitakse suur periodogrammi väärtus kahel kõrvuti asetseval sagedusel, siis tegelikult eksisteerib ainult ühel sagedusel tugev varjatud sinusoidaalne funktsioon. Selle probleemi üheks lahendamise meetodiks on periodogrammi silumine, mis aitab identifitseerida põhilisi sagedusi, mille juures esinevad tähelepanuväärsed tsüklilise käitumise ilmingud.

Spektraaltiheduse hinnang arvutatakse periodogrammi väärtuste silumisel libiseva kaalutud keskmisega. Silumisel kasutatud kaalud on standardiseeritud nii, et nende summa võrduks ühega. Aegrea alguses ja lõpus viiakse silumine läbi peegeldamise teel.

Silumisel on kasutatud Hammingu (R. W. Hammingu järgi) akent, kus kaalud arvutatakse järgmiselt:

$$w_j = 0,54 + 0,46 \cdot \cos\left(\frac{p \cdot j}{p}\right) , \text{ kus } j = 0, \dots, p \quad (3.6)$$

ja $w_{-j} = w_j$, kui $j = 0$.

Libiseva akna laius on $m = 3$ ning

$$p = \frac{m-1}{2} . \quad (3.7)$$

Antud töös tehtud arvutustes on Hamming’u kaalud väärtustega 0,06897, 0,86207 ja 0,06897.

Olgu siinkohal juhitud tähelepanu veel ühele väga olulisele aspektile spektraalanalüüsi teostamisel. Enne analüüsi rakendamist eemaldatakse aegreast nii keskmine väärtus kui ka esinev pikaajaline lineaarne trend. Vastasel juhul võib koosinuse esimene kordaja olla üle võimendatud ja see peidaks rohkem huvipakkuvaid perioodilisusi andmerekas, teiste piikide jälgimine spektraaltiheduse graafikutel muutuks raskendatuks. Aegrea keskmine väärtus on konstant. Varjatud sageduste otsimisel ei ole ka aegrea lineaarne trend huvipakkuv ja see on samuti üheks põhjuseks trendi eemaldamisel analüüsieelselt.

3.2. Tulemuste kokkuvõte

Spektraalanalüüsi tulemusel saadi kõigi analüüsitud meretaseme aegridade sagedusesitus ja leiti domineerivate muutlikkuse perioodiliste komponentide amplituudid. Spektraalanalüüsi arvutuslikud tulemused on kokkuvõtlikult esitatud tabelis 3.2. Selles tabelis on toodud iga vaadeldud aegrea suurima piigi karakteristikud. Graafiliselt on joonistel 3.1 - 3.28 esitatud kõigi vaadeldud aegridade analüüsimisel saadud sagedusesitus täies ulatuses. Tabelis 3.1 on toodud kõigi meretaseme mõõtejaamade aastase muutlikkuse amplituudid.

Kõikides jaamades peale Toila tõuseb väga jõuliselt esile aastast perioodilisust iseloomustav piik. Erandiks olevas Toila jaamas eristuvad piigid sagedusega 0,16 1/kuu ja 0,05 1/kuu. Esimesel juhul neist kahest on perioodiks kuus kuud ja amplituudiks 7 cm ning teisel juhul üle üheksateistkümne kuu, seega ületades poolteist aastat, ja amplituudiks 8 cm. Aastane perioodilisus Toilas ei väljendu, mis on seletatav mõõtmiste vähese kestvusega - kõigest viis aastat. Sellistel puhkudel võivad domineerida lühiajalised ilmastikunähtused. Üheksas jaamas, kus aegrea pikkus on kuni 20 aastat, ilmnevad lisaks aastase tsükli piigile ka pikemale perioodile vastavad (madalamatel sagedustel asuvad) piigid. Aegrea pikkus kõigis nendes jaamades on vahemikus 5 - 18 aastat ja madalatel sagedustel esinevad piigid ei pruugiks pikema mõõtmisperioodi jooksul enam väljenduda. Prangli jaamas on selgelt väljenduv aastane muutlikkus amplituudiga 9 cm ning vähemdomineerivam 7 cm amplituudiga muutlikkus perioodiga 3 aastat. Naissaarel ilmneb aastane muutlikkus amplituudiga 11 cm, kolmeaastane muutlikkus amplituudiga 8 cm ning nelja- ja kuuekuuline muutlikkus amplituudiga 7 cm. Sõru ja Abruksa jaamas võib esile tuua ainult aastast muutlikkust amplituudiga 10 cm. Keemu jaamas on aastase muutlikkuse amplituudiks 8 cm, Raugi ja Merise jaamas aga 9 cm. Roomassaare jaamas domineerib lisaks aastasele muutlikkusele amplituudiga 7 cm ka 37-kuuline periood.

Aegridade ulatusega 21 - 50 aastat puhul eristub aastase muutlikkuse periood eelnevast grupist tunduvalt selgemalt. Ristna ja Kihnu jaamas on aastase muutlikkuse amplituudiks 15 cm, Haapsalu jaamas 14 cm, Kunda, Rohuküla ja Dirhami jaamas 13 cm, Heltermaa jaamas 12 cm ning Vaindloo ja Vormsi jaamas 11 cm. Lisaks aastasele muutlikkusele on nende aegridade puhul valdavalt enamikel juhtudel selgemini

eristatavad kuuekuulise ja peaaegu kolmeaastase perioodiga piigid. Üksikutele erandjuhtumitele pööratakse põhjalikumat tähelepanu järgnevas diskussioonis.

Ajaliselt ulatuselt 50 aastat ületavate aegridade analüüsi tulemustes eristuvad kõige puhtamalt muutlikkust tähistavad piigid perioodiga üks aasta ja perioodiga kuus kuud. Aastase muutlikkuse amplituud on Tallinna jaamas 17 cm, Pärnu jaamas 16 cm, Narva-Jõesuu ja Ruhnu jaamas 15 cm, Suurpea jaamas 14 cm, Vilsandi, Sõrve ja Virtsu jaamas 13 cm, Pakri jaamas 12 cm ning Tahkuna jaamas 11 cm.

Narva-Jõesuu, Vaindloo, Tallinna, Dirhami, Tahkuna, Ristna, Heltermaa, Vilsandi ja Sõrve jaamas on selgelt eristatav pooleaastast perioodilisust näitav piik. Kõigi vähemalt kahtekümment aastat mõõteperioodina hõlmavate aegridade puhul eristub kõige selgemalt aastase perioodilisuse piik. Aastase muutlikkuse amplituud jääb kõigis jaamades vahemikku 6 - 17 cm.

Puuduvad meretaseme kuu keskmised andmed asendati analüüsi käigus nullväärtusega, kuna liialt suure hulga puuduvate andmete tõttu ei osutunud nende deriveerimine aegreast endast võimalikuks. On ilmne, et asendatud nullväärtused ei lange täpselt kokku reaalse meretaseme seisuga ja seetõttu on täheldatav mõnedes mõõtejaamades liigse energia esinemine spektri madala sagedusega osas. Nimetatud mõjud avalduvad näiteks Tahkuna ja Vaindloo jaamas.

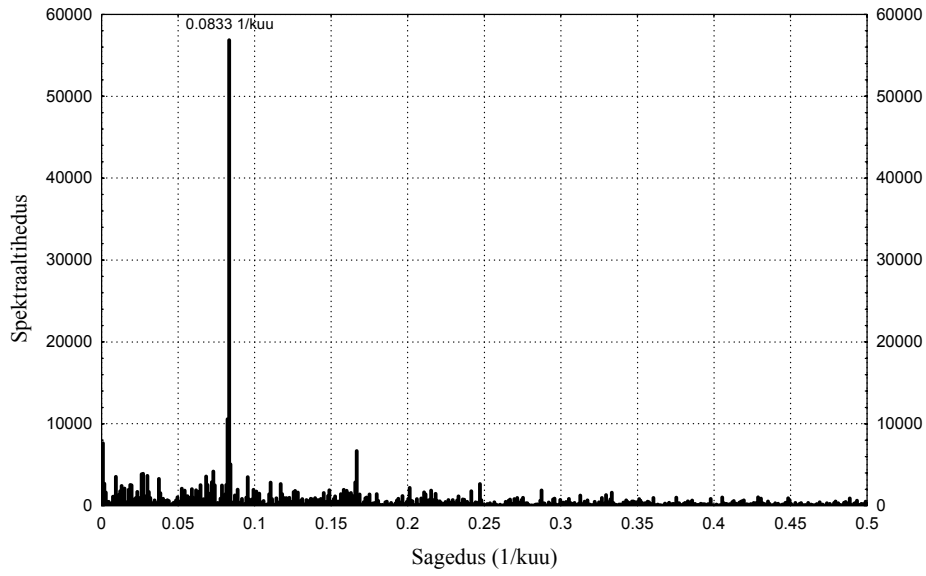
Nr.	Jaam	Amplituud (cm)	Nr.	Jaam	Amplituud (cm)
1	Narva-Jõesuu	15	15	Heltermaa	13
2	Toila	9	16	Rohuküla	13
3	Kunda	13	17	Haapsalu	14
4	Vaindloo	11	18	Keemu	8
5	Suurpea	14	19	Raugi	9
6	Prangli	9	20	Merise	9
7	Tallinn sadam	17	21	Vilsandi	13
8	Naissaare	11	22	Sõrve	13
9	Pakri	12	23	Roomassaare	7
10	Dirhami	13	24	Abruka	10
11	Vormsi	11	25	Virtsu	13
12	Tahkuna	11	26	Pärnu	16
13	Ristna	15	27	Kihnu	15
14	Sõru	10	28	Ruhnu	15

Tabel 3.1. Aastase muutlikkuse amplituud.

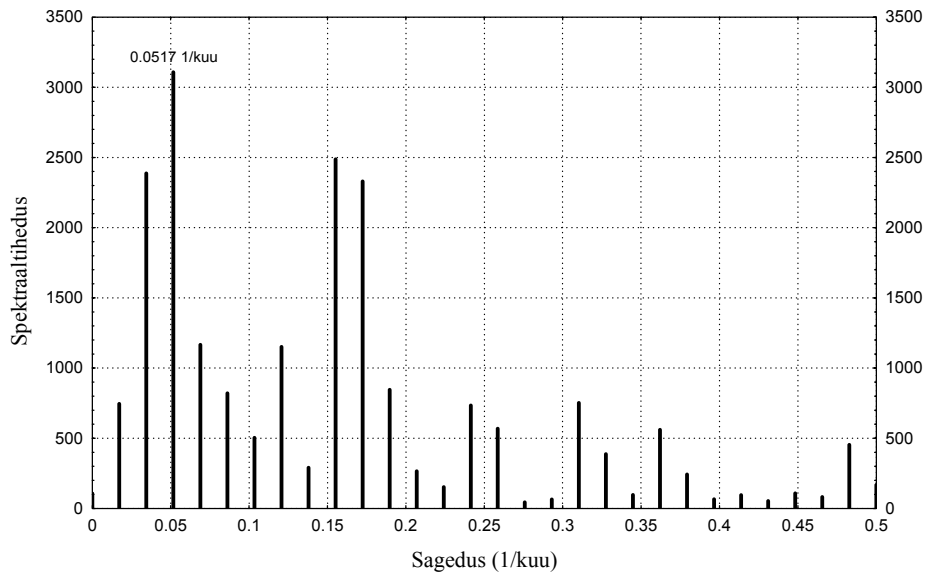
Nr.	Jaam	Sagedus (1/kuu)	Periood (kuu)	a_k (cm)	b_k (cm)	P_k (cm⁴)	Spektraal- tihedus (cm⁴)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Narva-Jõesuu	0,0833	12,0	0,21	-11,1	65300	56800
2	Toila	0,0517	19,3	-8,64	6,32	3330	3110
3	Kunda	0,0826	12,1	12,4	-0,66	34300	29900
4	Vaindloo	0,0827	12,1	0,53	-7,60	14400	12800
5	Suurpea	0,0838	11,9	11,0	-1,02	44600	38900
6	Prangli	0,0833	12,0	-0,77	-12,2	8080	7100
7	Tallinn sadam	0,0834	12,0	1,63	-10,2	90400	78200
8	Naissaare	0,0822	12,7	10,8	-8,53	13800	12100
9	Pakri	0,0839	11,9	-6,22	-5,91	23700	22100
10	Dirhami	0,0823	12,2	8,84	7,49	33500	29900
11	Vormsi	0,0817	12,2	5,97	-6,94	17400	15800
12	Tahkuna	0,0836	12,0	-0,92	-6,57	15300	14300
13	Ristna	0,0833	12,0	3,88	-14,3	60300	52300
14	Sõru	0,0857	11,7	-8,06	-5,28	9750	8710
15	Heltermaa	0,0821	12,2	4,19	8,70	25000	23400

1	2	3	4	5	6	7	8
16	Rohuküla	0,0840	11,9	-10,2	-0,26	26700	24700
17	Haapsalu	0,0834	12,1	14,0	-6,37	41800	36400
18	Keemu	0,0802	12,5	6,25	4,75	4990	4700
19	Raugi	0,0809	12,4	10,6	0,01	7620	7190
20	Merise	0,0833	12,0	-1,53	-11,9	6900	6150
21	Vilsandi	0,0838	11,9	1,80	-7,83	32000	29500
22	Sõrve	0,0824	12,1	-6,96	-4,62	30100	27100
23	Roomassaare	0,0804	12,4	-6,08	-2,79	2510	2330
24	Abruka	0,0817	12,2	7,98	-5,62	9920	8860
25	Virtsu	0,0823	12,2	-8,07	-3,11	29600	27000
26	Pärnu	0,0829	12,1	11,5	6,09	73600	64400
27	Kihnu	0,0830	12,1	12,6	-7,81	57000	49400
28	Ruhnu	0,0833	12,0	0,03	-13,3	57500	49800

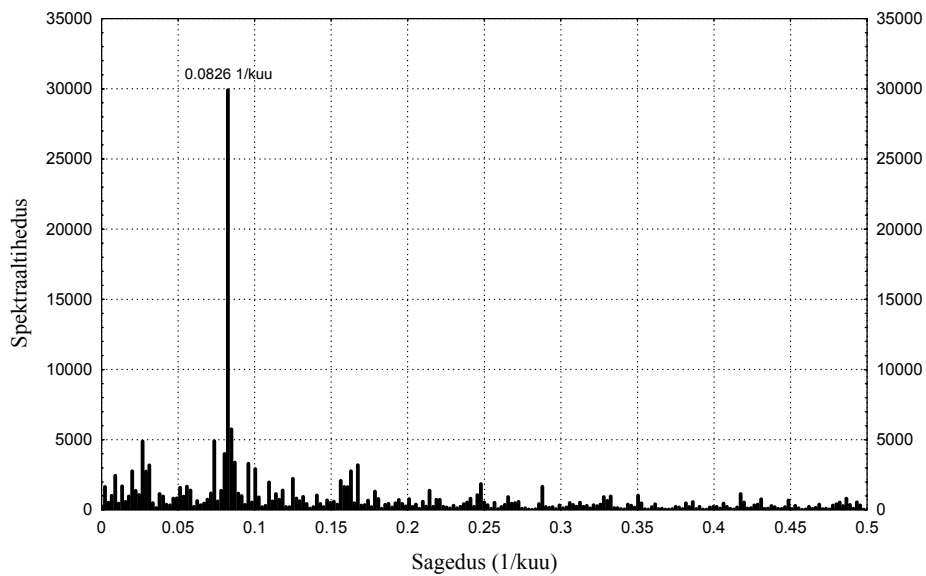
Tabel 3.1. Meretaseme aegriidade spektraalanalüüsi tulemused. Esitatud on iga aegrea suurima piigi karakteristikud.



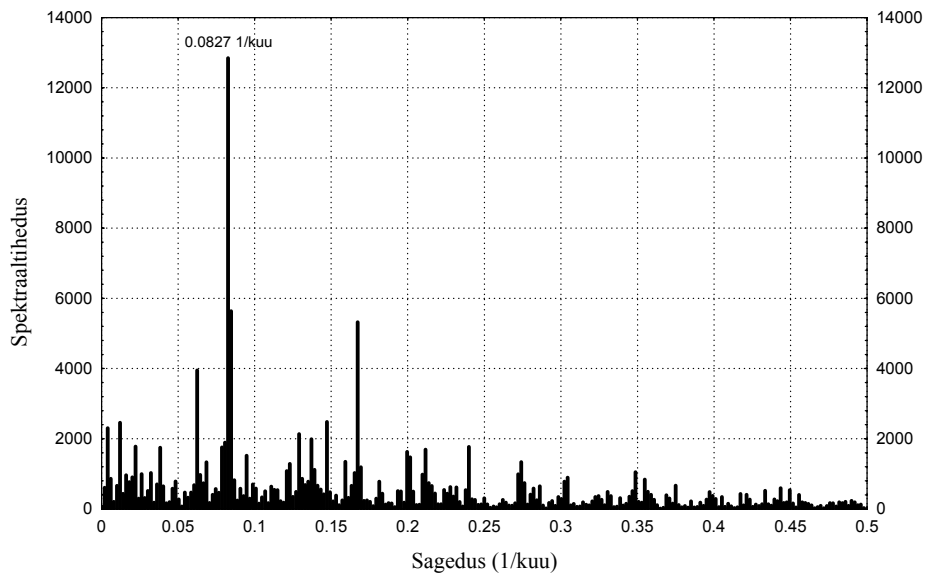
Joonis 3.1. Spektraalanalüüsi tulemused Narva-Jõesuu jaamas.



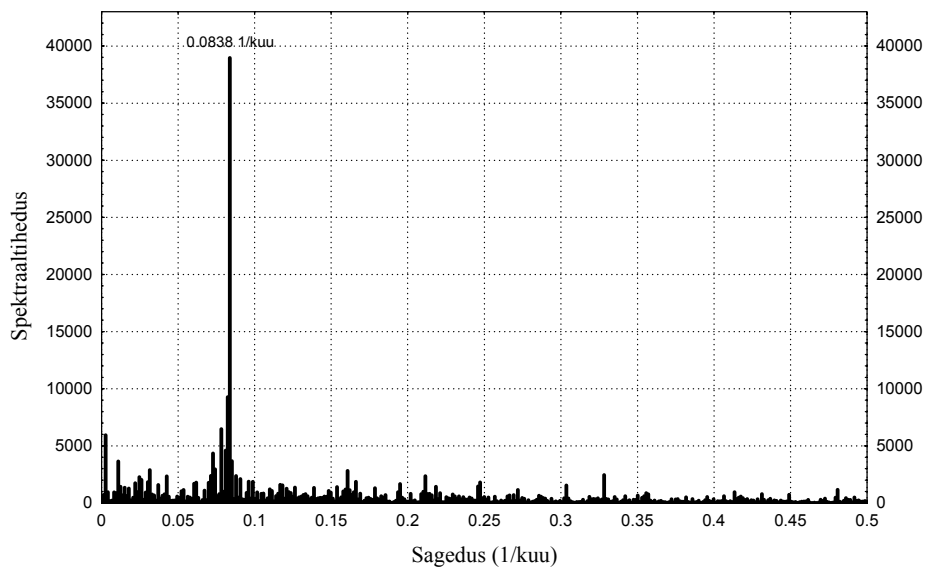
Joonis 3.2. Spektraalanalüüsi tulemused Toila jaamas.



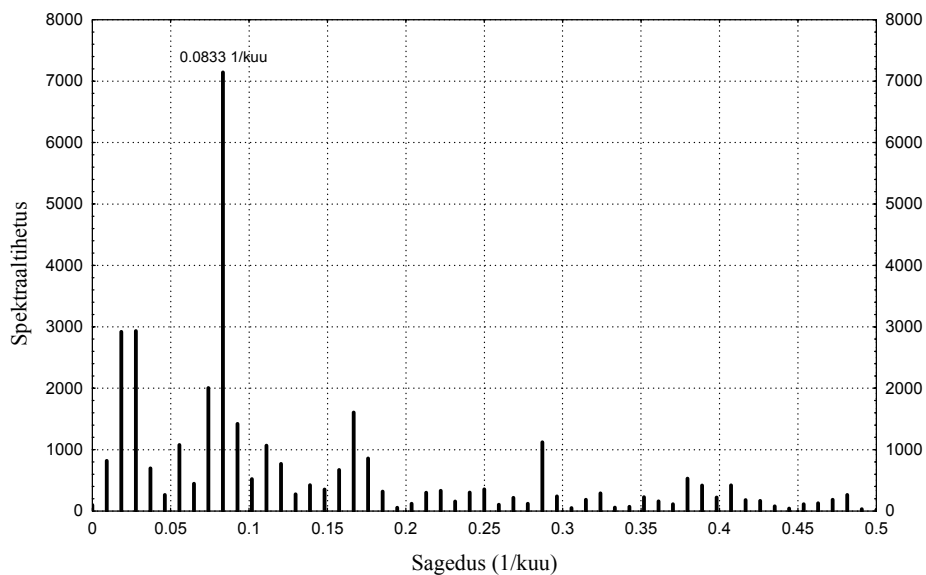
Joonis 3.3. Spektraalanalüüsi tulemused Kunda jaamas.



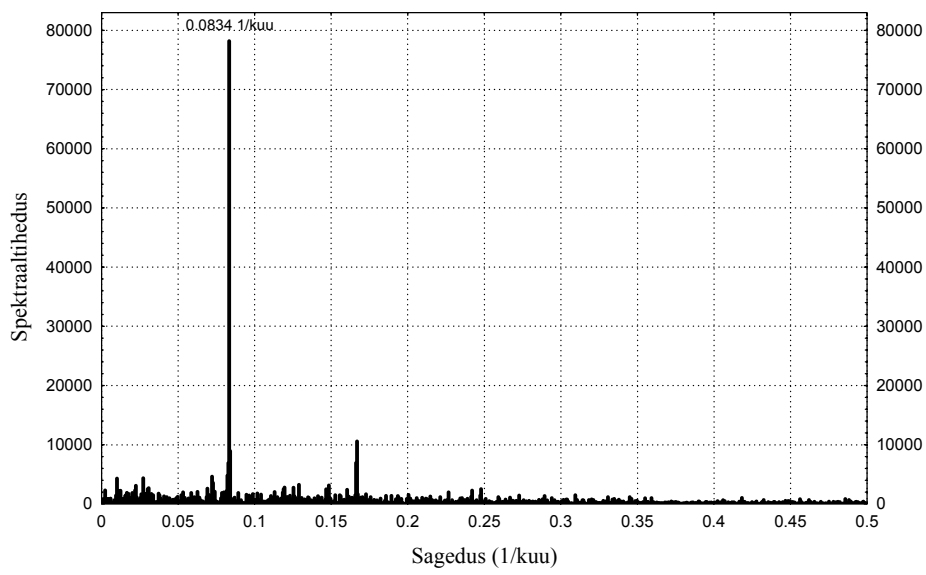
Joonis 3.4. Spektraalanalüüsi tulemused Vaindloo jaamas.



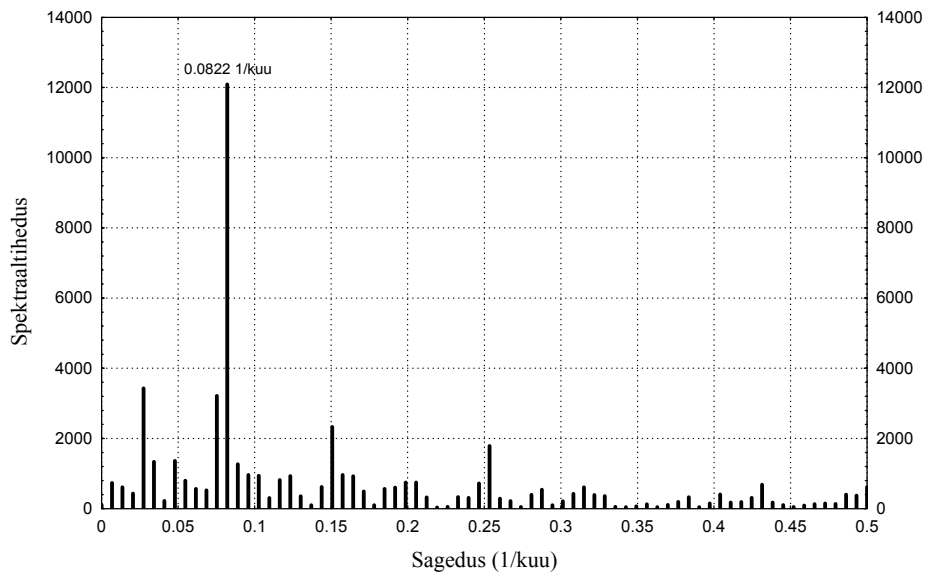
Joonis 3.5. Spektraalanalüüsi tulemused Suurpea jaamas.



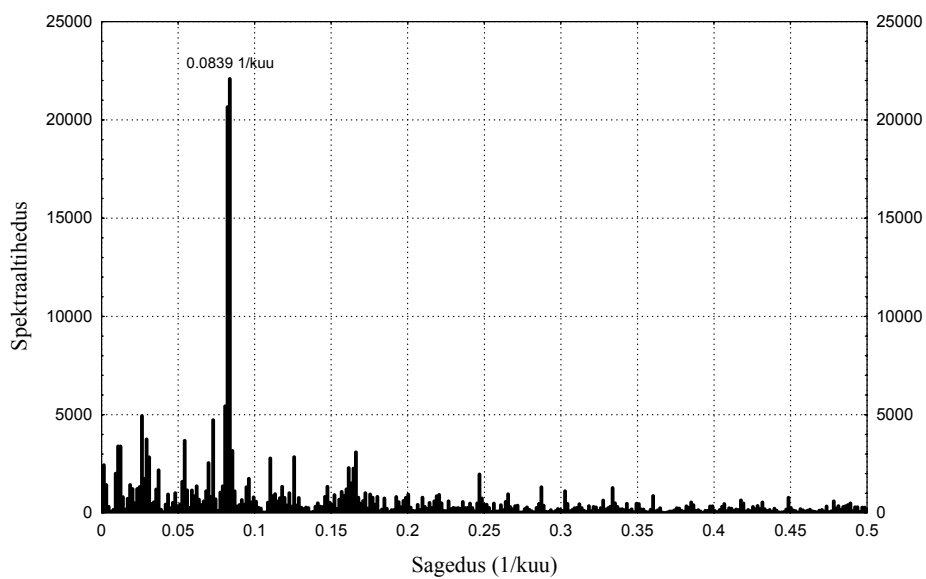
Joonis 3.6. Spektraalanalüüsi tulemused Prangli jaamas.



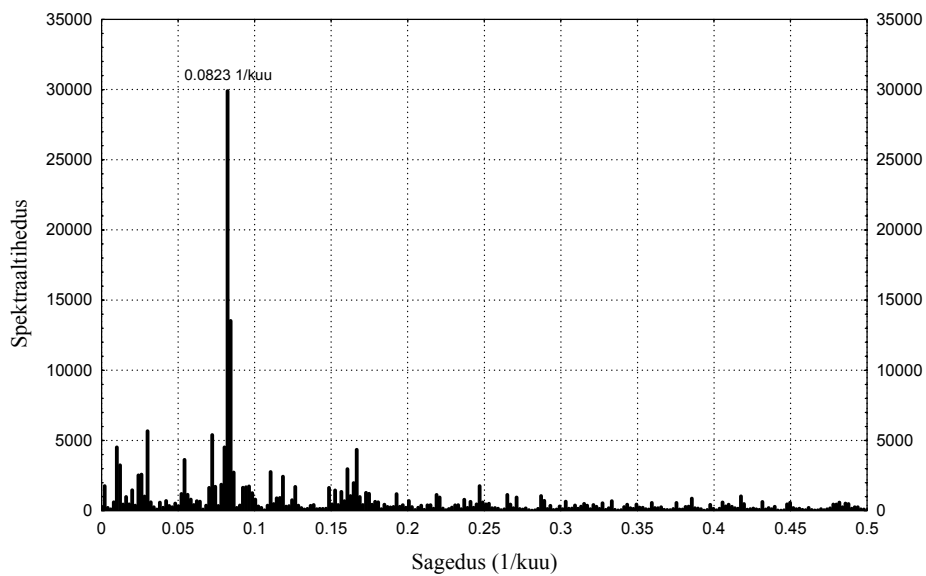
Joonis 3.7. Spektraalanalüüsi tulemused Tallinna sadama jaamas.



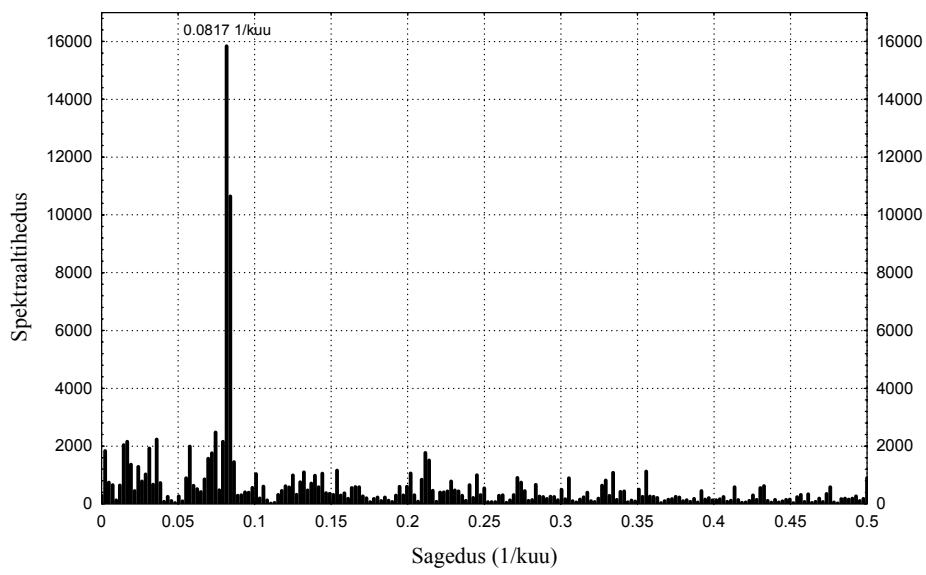
Joonis 3.8. Spektraalanalüüsi tulemused Naissaare jaamas.



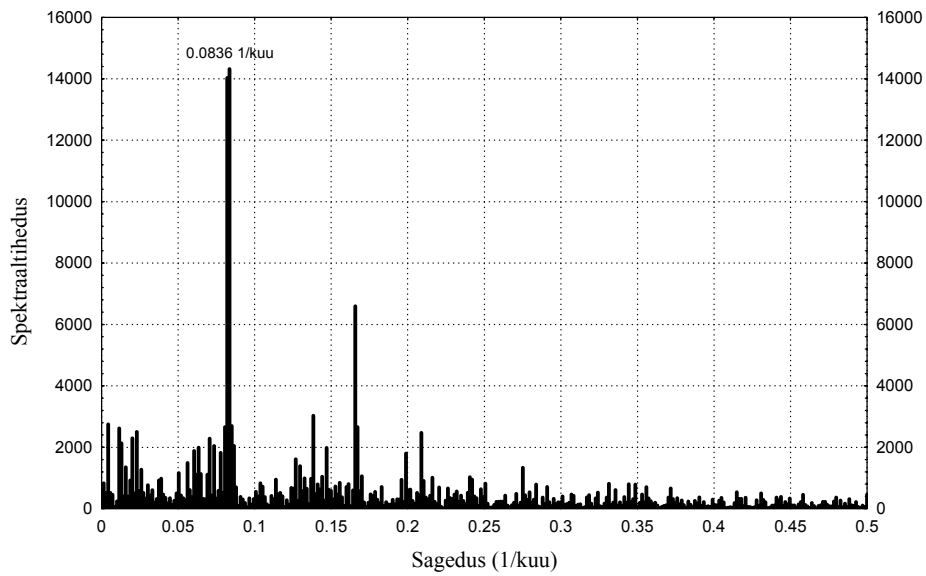
Joonis 3.9. Spektraalanalüüsi tulemused Pakri jaamas.



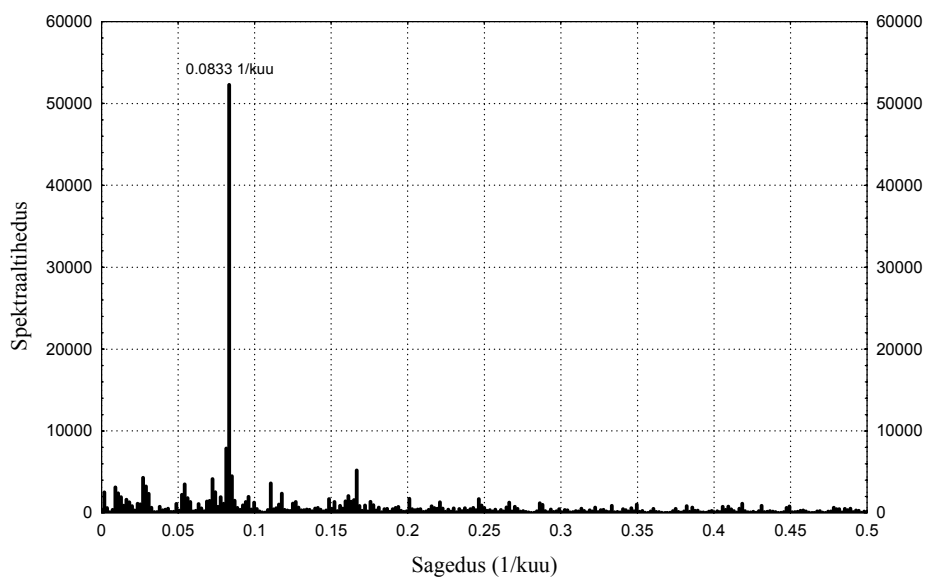
Joonis 3.10. Spektraalanalüüsi tulemused Dirhami jaamas.



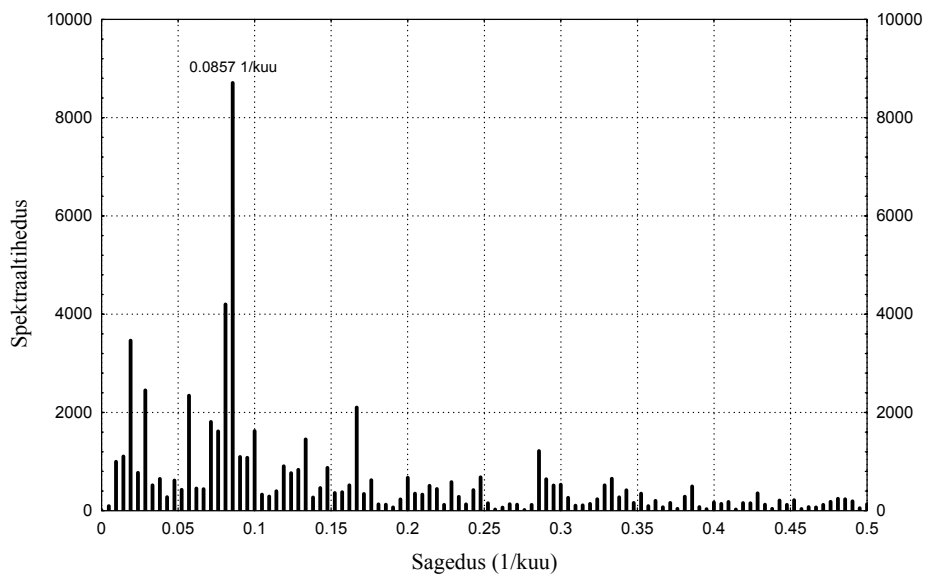
Joonis 3.11. Spektraalanalüüsi tulemused Vormsi jaamas.



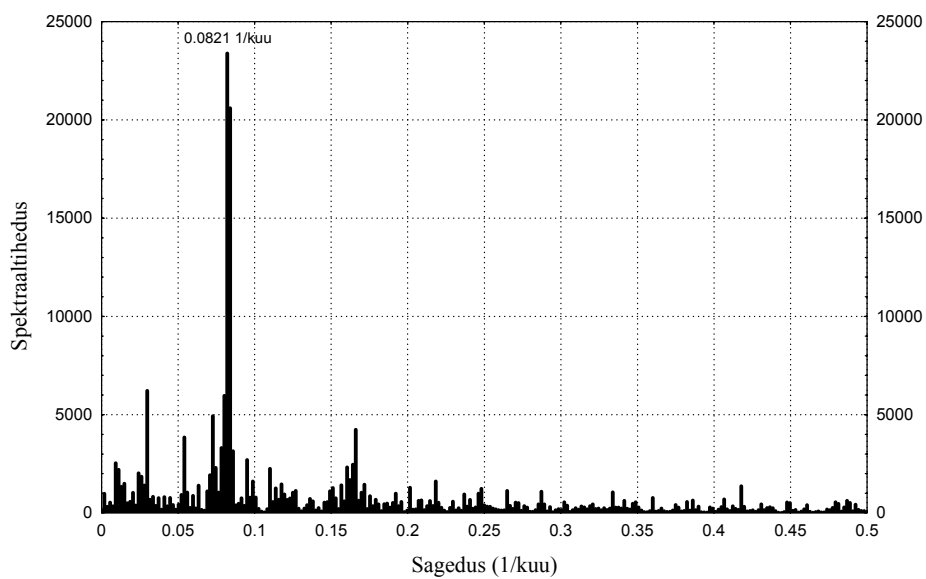
Joonis 3.12. Spektraalanalüüsi tulemused Tahkuna jaamas.



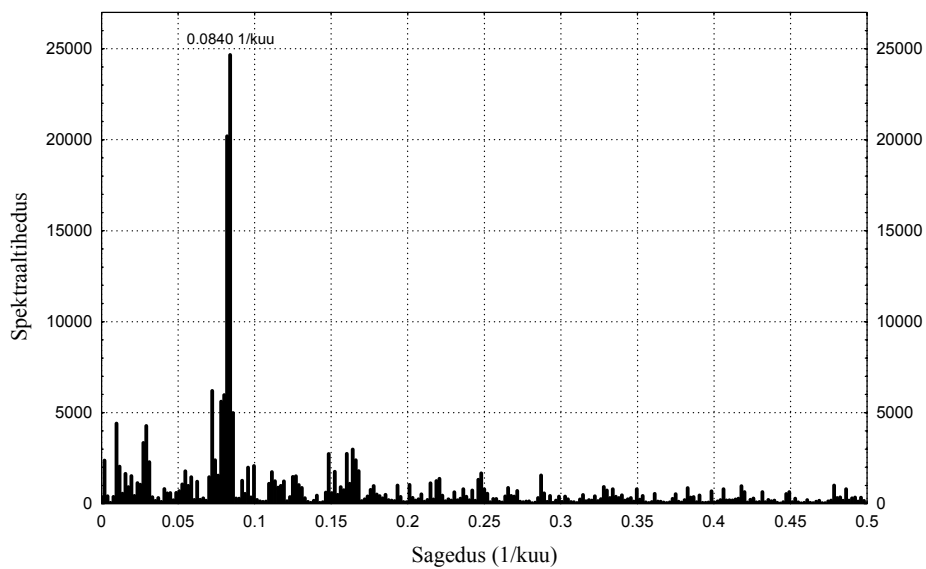
Joonis 3.13. Spektraalanalüüsi tulemused Ristna jaamas.



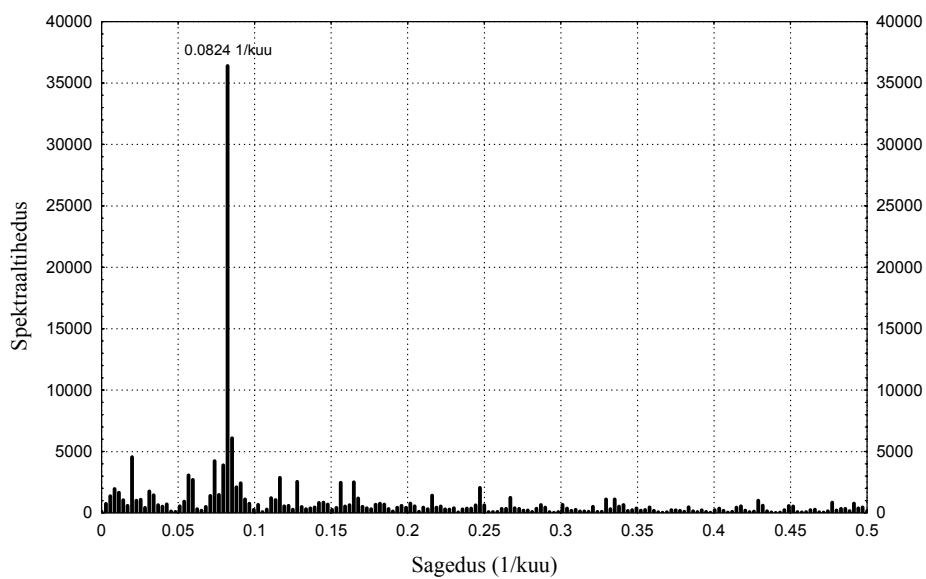
Joonis 3.14. Spektraalanalüüsi tulemused Sõru jaamas.



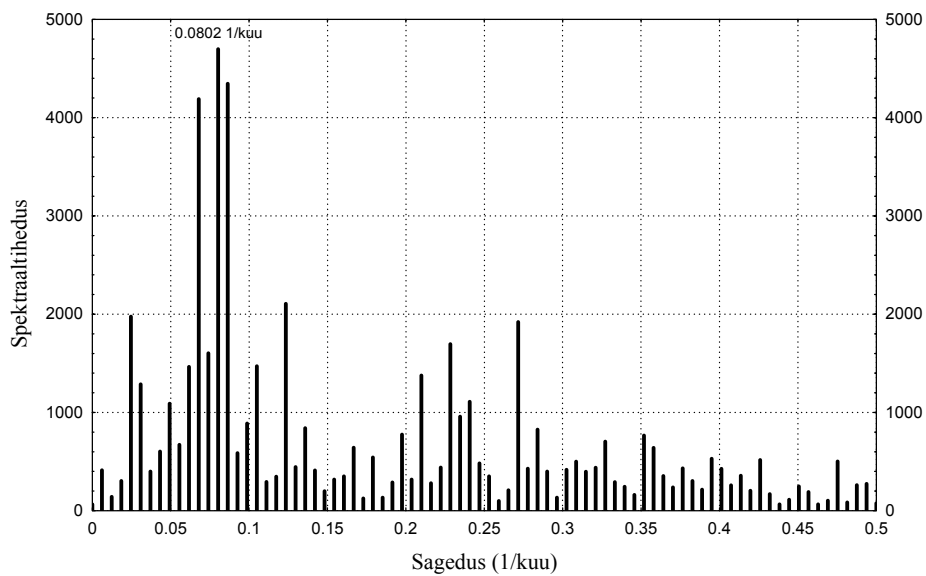
Joonis 3.15. Spektraalanalüüsi tulemused Heltermaa jaamas.



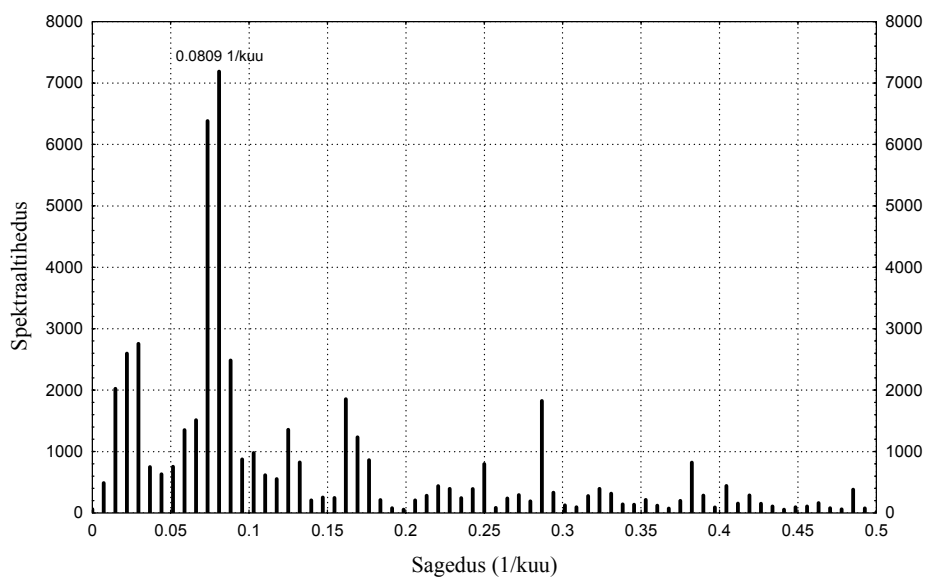
Joonis 3.16. Spektraalanalüüsi tulemused Rohuküla jaamas.



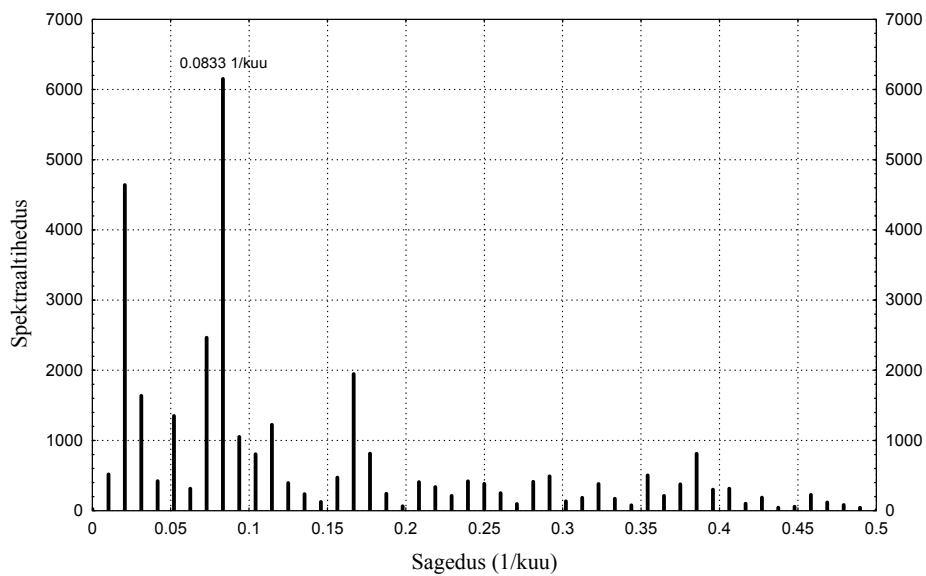
Joonis 3.17. Spektraalanalüüsi tulemused Haapsalu jaamas.



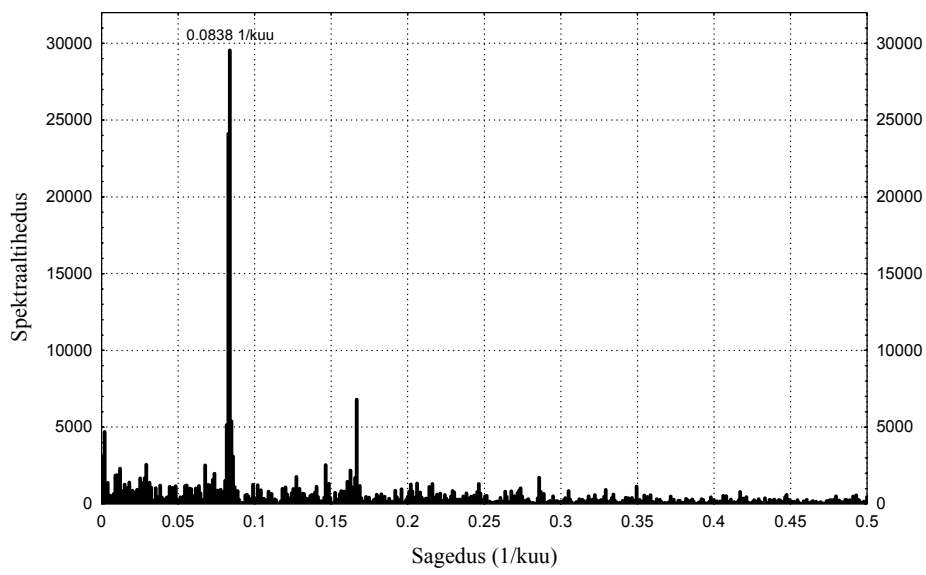
Joonis 3.18. Spektraalanalüüsi tulemused Keemu jaamas.



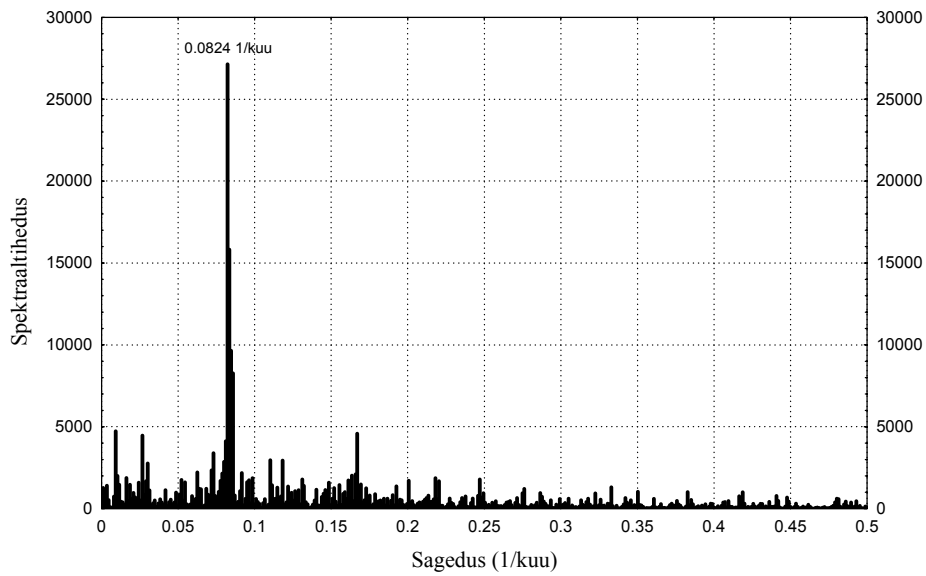
Joonis 3.19. Spektraalanalüüsi tulemused Raugi jaamas.



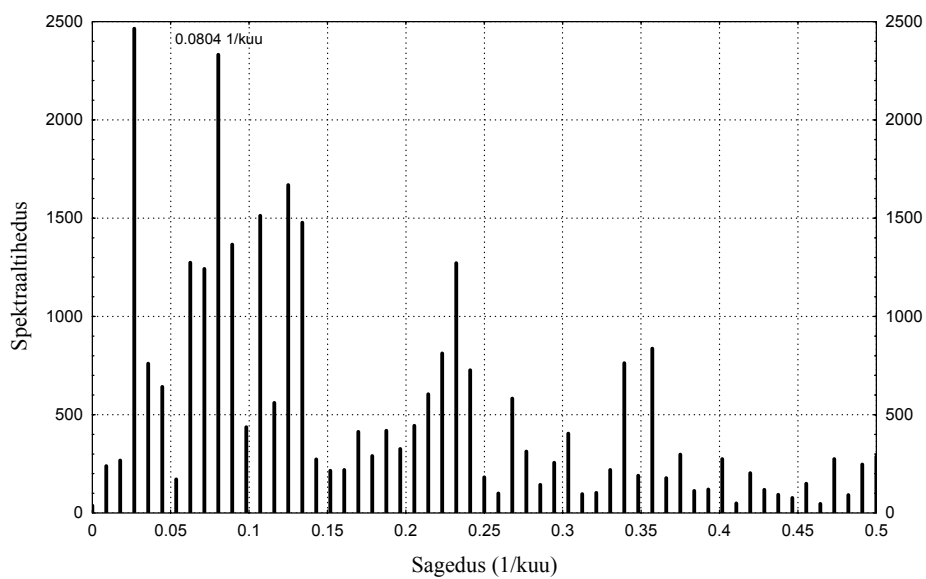
Joonis 3.20. Spektraalanalüüsi tulemused Merise jaamas.



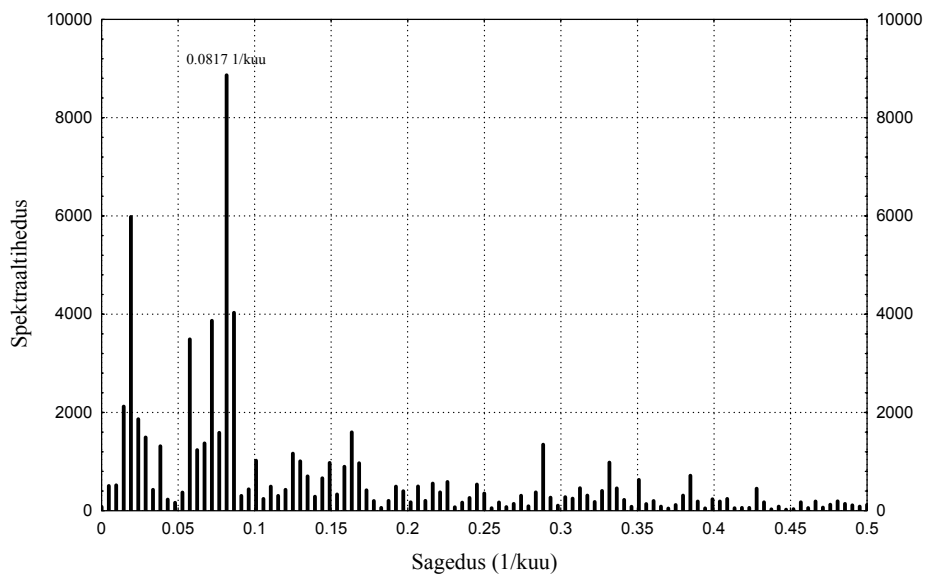
Joonis 3.21. Spektraalanalüüsi tulemused Vilsandi jaamas.



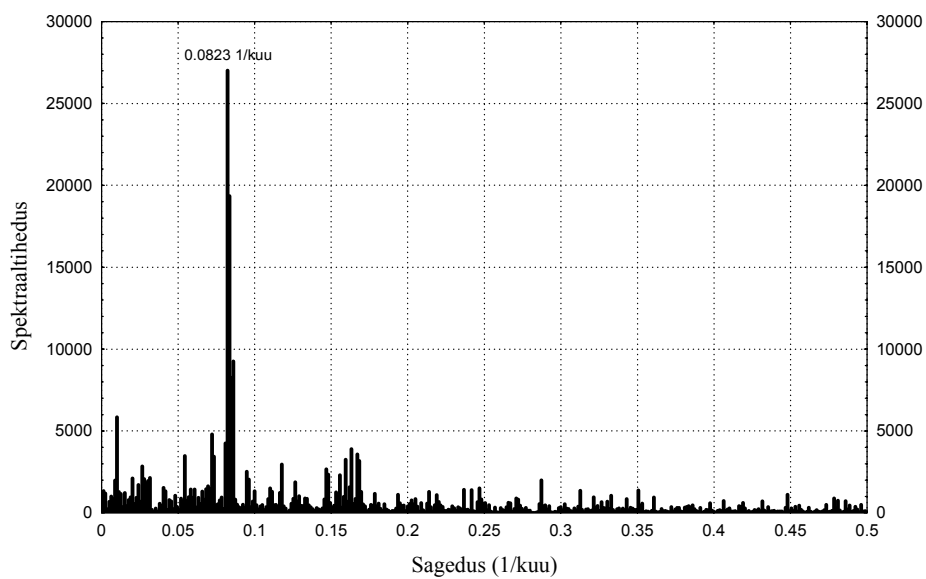
Joonis 3.22. Spektraalanalüüsi tulemused Sõrve jaamas.



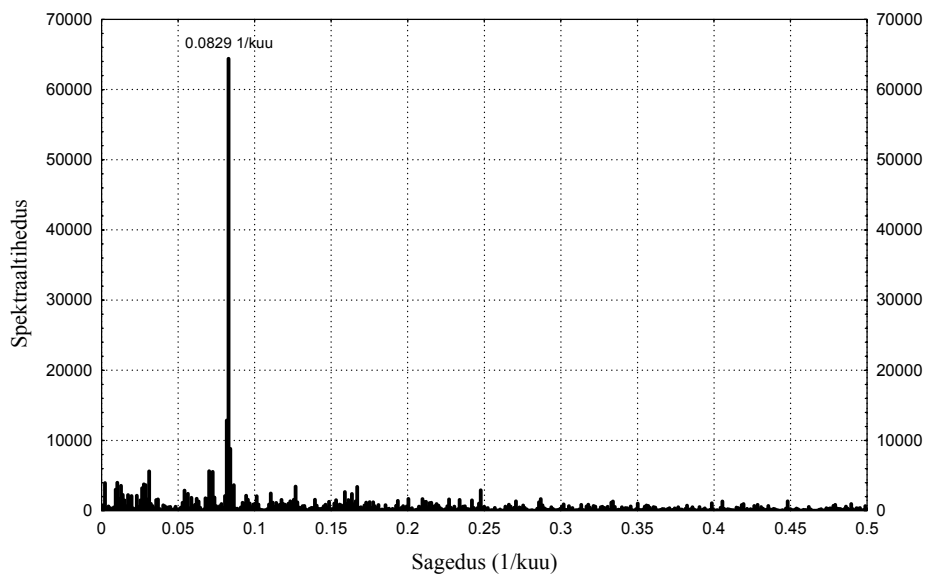
Joonis 3.23. Spektraalanalüüsi tulemused Roomassaare jaamas



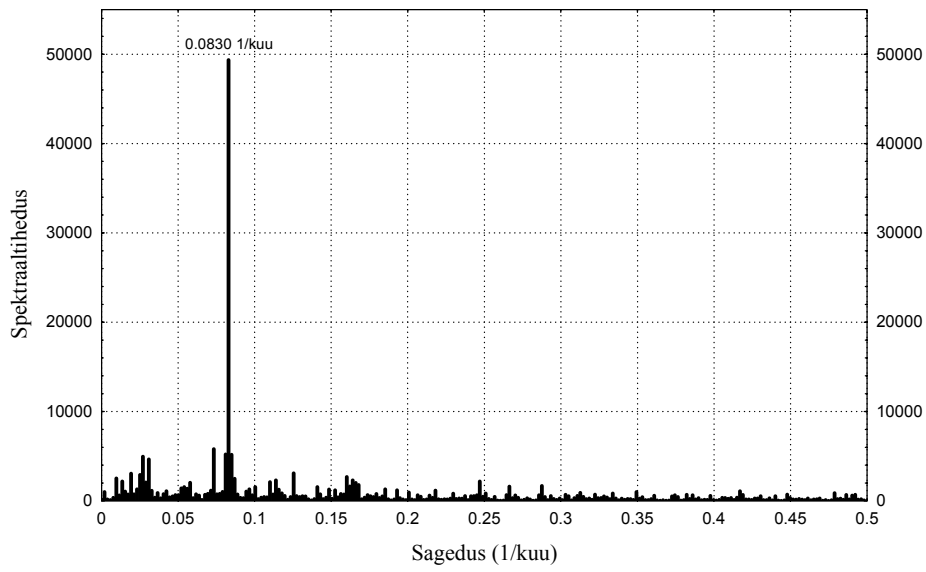
Joonis 3.24. Spektraalanalüüsi tulemused Abruka jaamas.



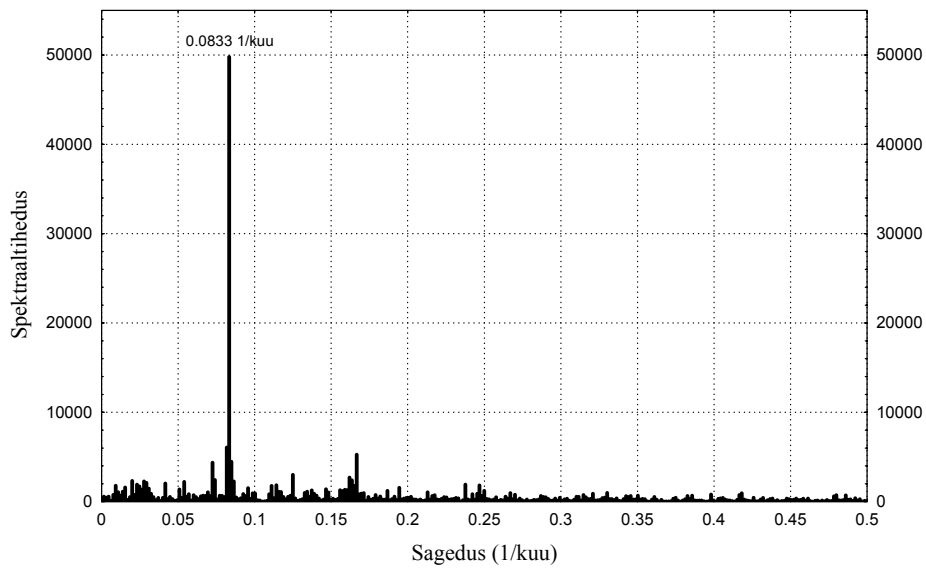
Joonis 3.25. Spektraalanalüüsi tulemused Virtsu jaamas.



Joonis 3.26. Spektraalanalüüsi tulemused Pärnu jaamas.



Joonis 3.27. Spektraalanalüüsi tulemused Kihnu jaamas.



Joonis 3.28. Spektraalanalüüsi tulemused Ruhnu jaamas.

3.3. Diskussioon ja järeldused

Eesti ranniku ja saarte piirkonnas mõõdetud meretaseme aegride analüüsimisel aastase muutlikkuse amplituudi leidmiseks ilmnisid ka mitmed teistsuguse perioodilisusega muutlikkuse komponendid. Peale erandiks oleva Toila jaama aegria on kõikides jaamades siiski domineerivaks just aastase perioodiga muutlikkus. Kõige ebaühtlasemad on tulemused alla 20 aasta pikkuste aegride puhul. Kuigi selgelt on leitav aastane muutlikkus, on sellele lähedase amplituudiga mitmeid erineva perioodiga muutlikkuse piike. Aastase muutlikkuse amplituud jääb nende jaamade puhul 8 - 11 cm piiresse. Roomassaare, Prangli ja Naissaare jaamas on leitud muutlikkus perioodiga kolm aastat. Soome andmete analüüsil leiti muutlikkus perioodiga 2,7 aastat (Vermeer *et. al.*, 1988). Siinkohal on erinevuste põhjuseks Eesti aegride vähenenud ajaline ulatus, pikemate aegride puhul on ka muutlikkuse periood täpsustunud ja kokkulangevus Soome andmete põhjal saaduga peaaegu ühene, näiteks Dirhami, Heltermaa, Pärnu ja Kihnu jaamas.

Mõningatel sagedustel piikide esinemiseks on kindlad füüsikalised põhjused. Üheks selliseks on enamasti pikemate aegride puhul selgelt eristuv muutlikkus perioodiga kuus kuud. See on aastase muutlikkuse piigi esimene harmoonik ja seetõttu ka kindlasti realselt olemasolev. Soome ranniku piirkonnas on nimetatud harmoonik jäänud leidmata Kaskineni, Raahe ja Oulu jaamas. Käesolevas töös on sellisteks jaamadeks, kus kuue kuu perioodilisusega muutlikkuse piik piisavalt ei avaldu, Suurpea ja Haapsalu.

Kõuts *et. al.* (1995) on oma töös saanud meretaseme ajalise muutlikkuse sesoonse komponendi hinnanguks kuuteistkümmes Eesti ja kolmes Läti jaamas 20 cm. Erinevuseks eri aastate vahel on leitud 8 cm. Samuti on saanud domineeriva aastase harmooniku amplituudiks 20 cm ka Raudsepp *et. al.* (1999) kahekümmes Eesti meretaseme mõõtejaamas. Siin tuleb aga tähelepanu pöörata asjaolule, et mõlemas nimetatud töös vaadeldi aegridadest perioodi viie aasta ulatuses. Käesolevas töös on aga vaatluse all aegria täies ulatuses, sisaldades ka puuduvaid andmeid. Analüüsi käigus puuduvate andmete asendamine nullväärtustega avaldab vähendavat mõju ka leitava amplituudväärtuse lõplikule ulatusele. Arvestades pikemate aegride puhul saadud tulemusi ning aastase muutlikkuse esimese harmooniku selget avaldumist, on käesolevas töös saadud aastase muutlikkuse amplituudi hinnanguks kuni 18 cm.

Soome andmete analüüsil leitud 6,4 aastase perioodiga piigile käesolevas töös sarnast ilmingut ei leitud (Vermeer *et. al.*, 1988), kuid ka eelnevalt nimetatud töös tunnistatakse selle piigi füüsikalised põhjused selgusetuteks. Soome meretaseme aegridadest leiti ka arvatav Chandleri piik perioodiga 14,3 kuud. Eesti andmete puhul võib Chandleri piigi avaldumist kahtlustada Ristna, Dirhami ja Ruhnu jaamas, kindel on see aga Pärnu jaamas.

Liigne energia esineb spektri madalama sagedusega osas kõige enam Vaindloo, Vormsi, Tahkuna, Rohuküla, Sõru ja Abruca jaamas. See on tingitud analüüsi eel puuduvate andmete asendamisest nullväärtusega. Kuna enne analüüsi teostamist on andmetest eemaldatud lineaarne pikaajaline trend ja keskmine väärtus, siis on eeldatud, et nullväärtus on puuduvatele andmetele kõige lähedasem. Siiski on mõistetav, et nullväärtus ei lange täpselt kokku reaalse meretaseme seisuga. Erinevus arväärtustes tingib analüüsi tulemustes liigselt suure spektraaltihedusega piikide esinemise spektri madalama sagedusega osas.

Peamise aastase muutlikkuse põhjusena on välja pakutud ida-lääne suunalist tuult üle Taani väinade. See tekitab võnkumise, mis suurendab või vähendab vee koguhulka Läänemeres. Samuti mõjutavad veetaseme aastast varieerumist õhurõhu muutused ning vihm ja lumesulavesi jõgede sissevoolu kaudu (Vermeer *et. al.*, 1988). Umbes 50 - 80 % meretaseme aastase kõikumise ulatusest on põhjustatud veevahetusest Põhjamerega (Samuelsson, Stigebrandt, 1996). Läänemerre suubuvate jõgede üle kuu keskmistatud sissevoolu aegread näitavad samuti selget aastast perioodilisust (Bergström, Carlsson, 1994).

Lühemaajaliste meretaseme muutuste suhtes, nagu tõus-mõõn, tsunami, ilmastiku mõjud ja sesoonsed tsüklid, vaadeldakse keskmist meretaset konstandina, kuigi ka see suurus muutub aastast aastasse ja eriti oluliselt pikamate perioodide lõikes. Soojeneva mere termilise paisumise ning jääliustike ja jääkilbi sulamise tõttu on keskmine meretase viimase sajandi jooksul tõusnud 0,15 m. Kuid ka siin võib vaadelda lokaalseid variatsioone, kuna polaarpiirkondades meretase võrreldes maapinnaga langeb, sest maapind ise alles kerkib taastudes jääliustike poolt põhjustatud survest tuhandeid aastaid tagasi.

4. MERETASEME AASTASE MUUTLIKKUSE KÄIK

4.1. Meretaseme kõikumist mõjutavate faktorite jaotus

Võrdlemisi põhjaliku ülevaate meretaseme muutlikkust mõjutavate tegurite klassifikatsiooni väljatöötamisest ja klassifikatsioonist endast annab oma töös Lisitzin (1974). Just Lisitzini poolt kirjeldatud mõjurite jaotus on saanud aluseks edasiarendustele ja uuringute planeerimisele paljude teadlaste hilisemates töödes. Samaväärselt on ka järgnevalt esitatud jaotus arenenud välja Lisitzini käsitlusest.

Samas esitasid ühe varasema meretaseme kõrgust mõjutavate faktorite üksikasjalikuma kokkuvõtte 1927. aastal Nomitsu ja Okamoto oma artiklis, mis käsitles meretaseme sesoonsete fluktuatsioonide põhjuseid Jaapanit ümbritsevas vetes (Nomitsu, Okamoto, 1927). Nad tõid välja kaks peamist mõjuvate faktorite gruppi. Esimene grupp esitab internseid, teine aga eksternseid põhjuseid. Peamine internseid põhjuseid iseloomustav tunnus on, vastavalt Nomitsu ja Okamotole, seotus merevee omaduste muutumisega. Peale merevee soolsuse ja temperatuuri lisasid Nomitsu ja Okamoto siia gruppi ka sademed, aurustumise ja jõgede vooluhulga. Eksternsete faktoride hulka kuuluvad atmosfääri rõhk ja tuule poolt põhjustatud efektid. Siinkohal tuleb rõhutada, et eeltoodud klassifikatsioonis ei ole võetud arvesse astronoomilisi mõjureid meretaseme kõikumistele.

Seitseteist aastat hiljem käsitles Hela (1944) oma publikatsioonis Läänemere veetaseme muutusi. Hela esitas samuti kaks tähtsamat, internsete ja eksternsete mõjurite gruppi, kirjeldamaks meretaseme kõikumist põhjustavaid tegureid. Esimesse gruppi kuuluvad merevee temperatuuri ja soolsuse jaotus. Väliste, teise gruppi kuuluvate tegurite hulgas nimetas Hela peale loodete ka meteoroloogiliselt määratud loodusjõud, täpsemalt õhurõhu, tuuled, seiðid, sademed, aurustumise, jõgede vooluhulga ja vee liikumise läbi siirdealade. Nimetatud klassifikatsioon on olnud paljude aastate jooksul kasutusel originaal- või tühiselt muudetud kujul.

Sellegipoolest, pingutused uue klassifikatsiooni koostamiseks jätkusid ning Dietrich (1954) paigutas oma Taanis, Esbjergis meretaseme kõikumisi käsitlevas artiklis olulisemad mõjutajad kolme süsteemi. Esimene süsteem hõlmab astronoomiliste kehade mõju ookeanidele ja meredele, teine süsteem käsitleb ookeani ja maakoore ning kolmas süsteem ookeani ja atmosfääri omavahelist mõju. Selles

klassifikatsioonis on teise süsteemi lisandunud maakoore vertikaalsed liikumised ja muutused merepõhja topograafias.

1960. aastal esitas Galerkin oma teadustöös, mis jällegi vaatles Jaapani mere veetaseme sesoonset tsüklit, kolm alajaotust mõjutavatest faktoritest (Galerkin, 1960). Esimene neist tegeleb merevee füüsikaliste omaduste muutustega, mis vastavalt Galerkinile on praktiliselt identsed vee tiheduse muutustega. Teine jaotus katab vee kvantiteedi fluktuatsioonid ja on seetõttu vaadeldav kui “vee balanss”. See osa sisaldab selliseid faktoreid nagu jõgede vooluhulk, sademed, aurustumine ja vee transport läbi siirdeala. Kolmas osa tegeleb peamiselt merevee ebaühtlase kõrguse jaotusega basseini sees, mis on põhjustatud õhurõhust, tuule mõjust ja Coriolise jõust.

Jenseni (1998) järgi põhjustavad merevee kõrguse muutusi astronoomilised looded (perioodilised muutused), meteoroloogilised, geoloogilised ja okeanograafilised tingimused, maakoore vertikaalsed liikumised ja eustaatilised efektid. Meretaseme sekulaarsed trendid sõltuvad essentsiaalselt pikaajalistest geoloogilistest ja okeanograafilistest tingimustest. Ookeani ja atmosfääri süsteemi tõusev temperatuur mõjutab meretaseme tõusu ookeani termilise paisumise ja igijää sulamise läbi. Progressiivne meretaseme tõus võib olla põhjustatud antropogeense kasvuhooneefekti poolt (Wiggley, Raper, 1992).

Kokkuvõtteks võib kaasajal tähtsamate ja kergemini vaadeldavate meretaseme muutlikkust mõjutavate faktorite käsitlemisel kasutada järgnevat klassifikatsiooni:

- meteoroloogilised faktorid - õhurõhk, tuul, sademed, aurustumine;
- okeanograafilised faktorid - vee tihedus ja hoovused;
- hüdrooloogilised faktorid - jõgede vooluhulk;
- eustaatilised faktorid - jää sulamine polaaraladel;
- astronoomilised faktorid - looded;
- tehnilised faktorid - vead mõõteaparatuuriga või mõõtetulemustega opereerimisel, vertikaalsed liikumised mõõtejaama vundamendis.

Meretaseme käigu mõjutamisel Läänemeres mängib olulist rolli talvine ilm. Nii meretaseme aastase muutlikkuse amplituudi ajaline muutumine kui ka aastase talvise õhutemperatuuri muutlikkuse ulatuse muutumine toimuvad ühtelangevas rütmis. Nimetatud andmestikes on muutuste käik kokkulangev statistiliselt 94-98 % tasemel. Selliste muutuste põhjustajaks on üle Läänemere suudmeala ja Skandinaavia lõunaosa puhuvate talviste tuulte käik. Üksiku aasta keskmistatud meretase võib

Läänemeres olla hälbes oodatavast, regressioonsirge abil pikaajalisest meretaseme aegreast leitavast tavapärasest vee kõrgusest enam kui 10 cm. Siinkohal on oluline märkida, et ekstreemsemad, pikaajalisest keskmisest kõige enam erinevad aastased keskmised meretasemed Läänemeres tekivad tänu ekstreemsetele meretasemetele talvisel ajal. Selle põhjuseks on üldisest trendist kõrvale kalduv talvine ilmastik. Ekstreemsete veeseisudega aastateks nimetatakse juhte, kus aastase keskmise meretaseme hälve pikaajalisest keskmisest, ületab tavapärase, standardse, kõikumise enam kui kaks korda. Kõrgete ekstreemsete veeseisudega aastatel puhuvad pidevad talvetuuled edelast ja temperatuur on 3 - 4 °C üle keskmise. Talvekuudeks on siin ja järgnevalt loetud jaanuar, veebruar ja märts. Sellega kaasneb Läänemere vähene, umbes 20 % ulatusse jääv kaetus jääga. Seevastu madalate ekstreemsete veeseisudega aastatel puhuvad pidevad talvetuuled idakirdest ja talvised temperatuurid on 3 - 4 °C alla keskmise. Sellistel aastatel võib osutada Läänemeri jääga kaetuks kuni 85 % ulatuses. Paraku selline seos ei kehti jäigalt ümberpöörduvalt. Vaadeldes kõiki aastaid, mil keskmine talvine temperatuur ületab tavapärase vähemalt 3 °C, jõuti järeldusele, et ainuüksi sellest informatsioonist lähtuvalt ei ole võimalik piisava täpsusega ennustada vastava aasta keskmist veeseisu. Sellele vaatamata näitavad enam kui ¾ eeltoodud tingimustele vastavatest ja võrreldud aastatest meretaseme ja temperatuuri keskmised sarnast hálbesuunda. Seega võib järeldada mõningast seotust talviste temperatuuride ja aastaste keskmiste meretasemete vahel.

Veneetsia Markuse väljak oli 1966. aasta novembris kaetud natuke enam kui ühe meetri paksuse veekihiga. Vaatlused näitavad, et 20. sajandi esimesel dekaadil tungis vesi Markuse väljakule keskmiselt seitsmel korral aastas. Mõödunud sajandi viimasel dekaadil aga esines üleujutust keskmiselt üle neljakümne korra aastas. Kui meretase tõuseb tulevikus 30 cm võrra ja kui Markuse väljaku kaitseks ei ehitata kaitsevalle, saab Markuse väljak olema üle ujutatud keskmiselt 360 korral aastas. Kahjuks ei ole alati analoogsetes olukorras pikaajaliste kaitserajatiste ehitamine võimalik või ei osutu need majanduslikult põhjendatuks.

Mere ääres elamine annab palju eeliseid - pakub võimalusi lisaks traditsiooniliste kalandus- ja merendusharude arendamisele ka meelelahutustööstuse kasvuks. Loomulike geoloogiliste protsesside tulemusel on praeguse merepinna kõrgusele tekkinud lauge ja viljakandev maa, kuhu inimesed on neile sobivates

tingimustes massiliselt elama asunud. Aga seal peitub ka riske. Sellega, et tõusuvesi kombineerituna tormiga aegajalt madalamaid rannaalaid maailmas üle ujutab ja lokaalseid kahjustusi põhjustab, on inimkond kohastunud. Paraku muututakse koos rannäärsete linnade kasvamise ja rahvaarvu suurenemisega järjest haavatavamaks kõigi katastroofide poolt. Põllumajanduse taastamine peale üleujutust on tunduvalt lihtsam kui urbaniseerunud keskkonnas transpordisüsteemi ja kanalisatsiooni korrastamine. Keerukamatel juhtudel võib linnastunud rannaalade infrastruktuuri täielik hävimine põhjustada pikaajalisi tagajärgi.

Esseisvate muutuste ennustamiseks ja inimtegevusele osaks saavate mõjude hindamiseks tuleb omada ülevaadet kõigist factoritest, mis mõjutavad meretaseme muutusi rannikul. Esimene samm selle juures on alati pikaajaliste meretaseme mõõtmiste läbiviimine, andmaks aluse teaduslikule diskussioonile.

4.2. Diskussioon ja järeldused

Esitatud aegread on igati sobivad veetaseme muutuste jälgimiseks kuude kaupa. Töö üheks eesmärgiks oli leida erinevused kõikide jaamade meretaseme sesoonse muutlikkuse käigus ja ühtlasi välja selgitada, kuivõrd on muutlikkuse käik - veetaseme tõusu ja languse esinemine teatud konkreetsetel ajal - sõltuv mõõtejaama asukohast. Selleks leiti esimese etapina kõigis mõõtejaamades igale kuule iseloomulik meretase, saaduna keskmistamise teel üle kõigi mõõtmisaastate.

Meretaseme muutlikkuse uuringutega seoses tuleb rõhutada, et Läänemeri on väga huvitav uurimispiirkond. Loodete ulatus Läänemeres on tühine, suurusjärgus üks sentimeeter ja seega mittearvestatav. Seetõttu on teiste veetasemele mõjuvate tegurite toimet võimalik jälgida ilma astronoomiliselt põhjustatud muutumiste häireta. Sellest tulenevalt võib Läänemerd vähemalt mõnes küsimuses käsitleda kui looduslikku laboratooriumi. Võrdluses loodetest mõjutatud Põhjamere rannikuga on Läänemere keskmine veetase käitumiselt sarnane Põhjamere keskmise veetaseme varieerumisega. Seega võib peaaegu loodetevaba Läänemerd vaadelda ka kui Põhjamere summutatud veetaseme mõõtejaama.

Suuremad meretaseme kõikumised, mis on enamasti suurusjärgus mõnikümmend sentimeetrit, on põhjustatud meteoroloogiliste jõudude poolt. Kõige enam omavad rolli tingimused Taani väinades. Vee Läänemerre sisenemine ja

väljumine läbi Taani väinade tekitab madala sagedusega kõikumisi ja kvaasi-perioodilisust suurusjärgus nädalad või kuud. Teise olulise aspektina tuleb rõhutada tuulte mõju, mis pikaajaliselt Põhjamere poolt puhudes põhjustavad, iseäranis basseini lõpus, veepinna kalde ja koos sellega märkimisväärse veetaseme kõikumise.

Käesoleva töö lisades 1. - 28. on esitatud kuude kaupa üle kõigi mõõtmis-aastate keskmiste veeseisude arvutamisel saadud tulemused graafiliselt. Kõikides aegridades on nähtav muutlikkuse aastane käik, madalseis on enamasti märtsist maini, miinimum harilikult mai kuus. Seejärel toimub tõus oktoobri-detsembrini ning uuesti laskumine madalseisu. Prangli, Raugi ja Merise jaamas algab veetaseme tõus jõulisemalt mai kuus, olles aprilliga võrreldes 8 - 9 cm kõrgemal. Abruka ja Sõru jaamas tõuseb meretase juba aprillis sentimeetri võrra ning jätkab seejärel Abrukal kiiremat tõusu oktoobrini, Sõru jaamas septembrini. Kuueteistkümnes jaamas kahekümne kaheksast leiab sügise kõrgema veeseisu ajal oktoobri või novembri kuus aset lühiajaline veetaseme langus. See suhteline mõnesentimeetriline miinimum möödub aga alati detsembri kuuks. Prangli jaamas püsib meretase madalamal ka veel detsembri kuu jooksul.

Kui aastane Läänemerre lisanduva mageda vee kogus jaotada korraga samal ajahetkel basseini pindalale, siis saame 1,3 meetri paksuse kihi. Kuna aga Läänemeri on põhja-lõuna suunaliselt suure ulatusega, asudes geograafiliselt vahemikus 54°-64° põhjalaiust, siis on lume sulamisest põhjustatud kevadise kõrgvee periood hajutatud kolme kuu peale. Sellest tulenevalt väljendub kevadise suurvee efekt aastases tsüklis tagasihoidlikult või ei ole sugugi märgatav. Veetaseme ajutine tõus aprillis on tuvastatav üheksas jaamas kahekümnekaheksast. Need on Narva-Jõesuu, Kunda, Suurpea, Naissaare, Vormsi, Haapsalu, Roomassaare, Pärnu ja Kihnu.

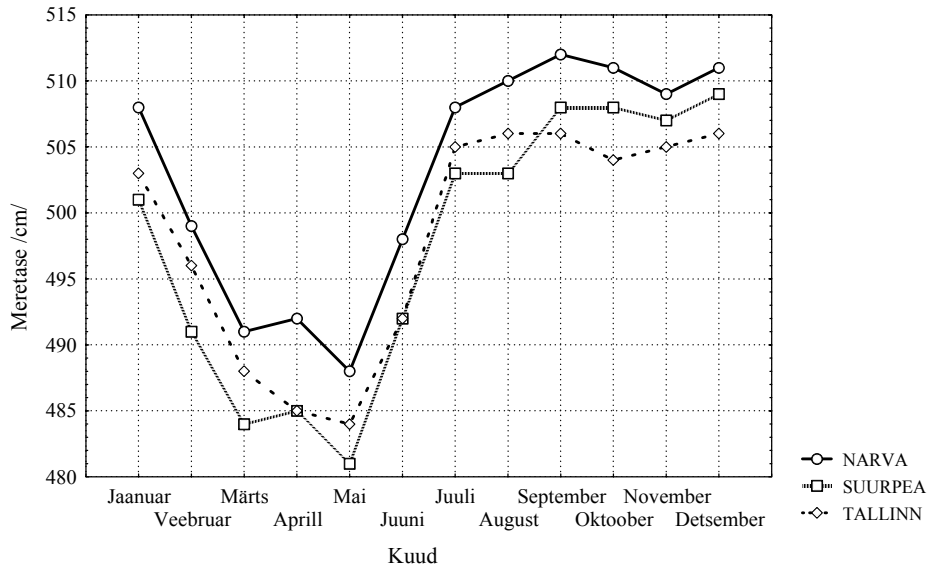
Kolmeteistkümnes Soome meretaseme mõõtejaamas läbiviidud mõõtmiste põhjal on leitud, et kõigis Soome mõõtejaamades leiab veetaseme madalseis aset märtsist maini ja kõrgseis on detsembris (Vermeer *et. al.*, 1988). Viies jaamas on täheldatud novembri kuus suhtelist miinimumi. Lähemat võrdlusmaterjali pakuvad Soome lahe põhjakaldal asuvad Hanko, Helsinki ja Hamina. Hanko jaamas ja sellele lähimas Eesti jaamas Dirhamis on aastase muutlikkuse käik identne ainukese erinevusega aprilli kuus. Kui kevadine veetaseme langus aprillis Hanko jaamas peatub, siis Dirhamis leiab langus aset ühtlasena mai kuuni. Helsingi jaamale sarnane käik leiab aset nii Suurpea kui ka Tallinna jaamas. Siin on ainsaks märgatavaks

erinevuseks Tallinna jaamas esinev jätkuv langus Suurpea ja Helsingi suhtelise tõusu vastu aprillis. Hamina ja Narva-Jõesuu jaama aastase muutlikkuse käik langeb täielikult kokku, erinevusi ei ole.

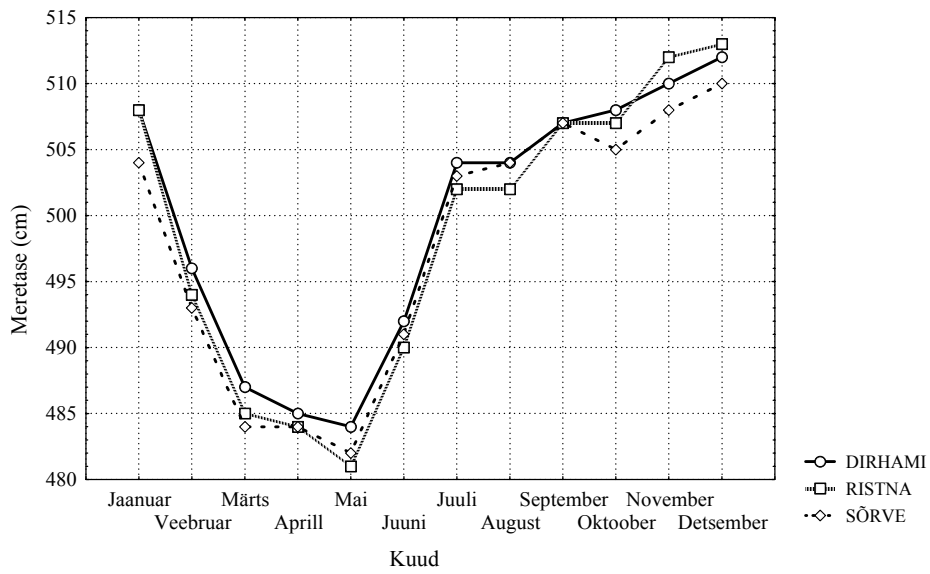
Jensen (1998) analüüsib Saksamaa kaheksas mõõtejaamas aastatel 1979-1987 salvestatud andmed. Esitatud aegread on sobivad merevee taseme muutlikkuse uurimiseks kuude kaupa ja näitavad merevee kõrguse ühetaolist käiku kogu aasta vältel. Meretaseme käik aprillist oktoobrini on erinevates jaamades peaaegu identne. Jensen on leidnud merevee kõrguse maksimaalsena veebruaris-märtsis. Käesolevas töös on meretaseme muutlikkuse käik veebruaris ja märtsis juba languses, kaheksateistkümnnes jaamas on maksimum möödunud detsembri kuus, Toila jaamas jaanuari kuus, kõikides ülejäänutes aga augustis või septembris. Jenseni töös järgneb maksimumseisule kiire langus madalseisuni mai kuus, uus tõus septembrini ja 2 - 3 cm langus detsembris. Sarnaselt Jensenile on Eesti meretaseme mõõtejaamades mai kuus madalseis Narva-Jõesuu, Toila, Vaindloo, Suurpea, Prangli, Tallinna, Naissaare, Pakri, Dirhami, Vormsi, Tahkuna, Ristna, Heltermaa, Rohuküla, Keemu, Vilsandi, Sõrve, Virtsu ja Pärnu jaamas. Sügisese tõusu osas on aastase muutlikkuse käik Eesti jaamades Jenseni poolt saaduga hästi kokku langev, erinevus ilmneb eelkõige kevadise languse kiiruses (Saksamaa jaamades kiirem) ja absoluutse maksimumi ajalises asukohas. Jenseni töös saavutab veetase peale relatiivset miinimumi detsembris uuesti oma kõrgepunkti veebruaris-märtsis. Jenseni töös hõlmavad aegread meretaseme suhtelist tõusu.

Suurem Eesti veetaseme aastase muutlikkuse käigu kokkulangemine Soome jaamades leituga on igati ootuspärane, arvestades kahe nimetatud piirkonna geograafilist lähedust. Saadud tulemus kinnitab veelkord ka kolmandas peatükis leitud. Eesti ja Soome jaamade aastase muutlikkuse käigus on üksikud erinevused ja seda peamiselt aprilli kuus, mõningate teineteisele lähedal asuvate jaamade meretaseme muutlikkuse käik langeb kokku aga täielikult.

Joonistel 4.1 ja 4.2 on esitatud veetaseme aastane käik kuue jaama näitel graafiliselt. Kõikides esitatud jaamades on meretaseme aegrea ajaline ulatus enam kui 40 aastat, mis oli ühtlasi ka jaamade valikukriteeriumiks. Madalam meretase Ristnas ja Sõrves ning kõrgem Soome lahes järgib üldist tendentsi, kus pikaajaline keskmine meretase tõuseb Taani väinadest Soome lahe suunas (Raudsepp *et. al.*, 1999; Ekman, Mäkinen, 1996; Lisitzin, 1974).



Joonis 4.1. Veetaseme aastane käik Soome lahes.



Joonis 4.2. Veetaseme aastane käik avamere piirkonnas.

Eelnevalt on käesolevas töös vaadeldud erinevusi kõikide jaamade meretaseme sesoonse muutlikkuse käigus ja selgitatud, kuivõrd on muutlikkuse käik - veetaseme tõusu ja languse esinemine teatud konkreetsel ajal - sõltuv mõõtejaama asukohast. Selles töö osas teostatud arvutuste tulemused, mis on lisades 1. - 28. esitatud graafiliselt, annavad lisaks võimaluse uurida mõõtmistulemuste analüüsil leitud aastase muutlikkuse käigu sõltuvust või sõltumatust algandmeteks olevate meretaseme aegride pikkusest. Selline sõltuvuse kontroll tähendab sisuliselt leitud aastase muutlikkuse käigu asetamist sõltuva muutuja rolli ja erinevate jaamade aegride pikkuse vaatamist sõltumatu muutujana. Sõltuvuse määraks saab olla kevadise lühiajalise veetõusu ning sügise lühiajalise madalseisu esinemine või puudumine, esinemise korral veel nende kestus kuudes ja nende maksimaalne ulatus sentimeetrites.

Selle analüüsi tulemusel on võimalik anda vähim soovituslik aegria pikkus aastates, millega töötades ei avaldaks liigset mõju üksikute aastate ilmastiku erinevusest tulenevad fluktuatsioonid sesoonse muutlikkuse käigus. Lühiajalist ja meretaseme üldist sesoonset käiku eiravat kõrgseisu, mis enamasti esineb kevadise madalseisu keskel, ja madalseisu, mis esineb sügise kõrgvee ajal, nimetatakse käesolevas töös edaspidi relatiivseks ekstreemumiks.

Tabelis 4.1 on maatrikstabelina esitatud erinevate mõõtejaamade jagunemine vastavalt nendes läbiviidud mõõtmiste ulatusele aastates ja relatiivsete ekstreemumite hulga sesoonse muutlikkuse käigus. Enamikes jaamades, sõltumata aegria pikkusest, esineb üks või kaks relatiivset ekstreemumit. Ainsana omab kolme fluktuatsiooni üldtunnustatud käigust Roomassaare jaam oma kümne mõõtmisaastaga, aga see üksikjuhtum ei anna veel alust üldistuste tegemiseks ja lõpliku seisukoha võtmiseks.

Tabelis 4.2 on samuti maatrikstabelina toodud mõõtejaamade jagunemine aegride pikkusest ja relatiivsete ekstreemumite poolt hõlmatud kuude hulgast lähtuvalt. Kui lühemate, kuni 20 aasta pikkuste aegride puhul on relatiivse ekstreemumi poolt haaratud üks kuni kolm kuud, siis enam kui 50 aasta pikkuste aegride puhul hõlmab relatiivse ekstreemumi mõju valdavalt kahte kuud. Sellele vaatamata ei saa relatiivsete ekstreemumite hulga ja nende poolt mõjutatud kuude arvu jälgimisel ilmnenu erinevusi lugeda piisavaks lühemate ja pikemate aegride käsitlemisel soovitude andmiseks.

Aegrea pikkus	Relatiivsete ekstreemumite hulk			
	0	1	2	3
1 - 10 aastat		Merise Prangli	Toila	Roomassaare
11 - 20 aastat		Raugi Keemu Sõru Abruca	Naissaare	
21 - 50 aastat	Dirhami Ristna	Vaindloo Rohuküla Kihnu Heltermaa	Haapsalu Vormsi Kunda	
51 - 141 aastat		Pakri Ruhnu Tahkuna Virtsu Sõrve Vilsandi Tallinn sadam	Suurpea Pärnu Narva-Jõesuu	

Tabel 4.1. Relatiivsete ekstreemumite esinemine erineva pikkusega aegridade puhul.

Aegrea pikkus	Relatiivsete ekstreemumite poolt mõjutatud kuude hulk			
	0	1	2	3
1 - 10 aastat		Merise Prangli		Toila Roomassaare
11 - 20 aastat		Raugi Keemu Abruca	Sõru	Naissaare
21 - 50 aastat	Dirhami Ristna	Rohuküla Kihnu Heltermaa	Haapsalu Vormsi Kunda Vaindloo	
51 - 141 aastat		Pakri Sõrve	Ruhnu Tahkuna Suurpea Virtsu Pärnu Vilsandi Narva-Jõesuu Tallinn sadam	

Tabel 4.2. Relatiivsete ekstreemumite ajaline ulatus sõltuvalt aegrea pikkusest.

Aegrea pikkus	Sügisese relatiivse miinimumi suurus /cm/			
	0	1 - 2	3 - 4	5 - 9
1 - 10 aastat		Roomassaare		Toila Merise Prangli
11 - 20 aastat		Keemu		Raugi Naissaare Sõru Abruka
21 - 50 aastat	Dirhami Kihnu Ristna	Haapsalu Kunda Rohuküla Heltermaa	Vormsi Vaindloo	
51 - 141 aastat		Pakri Suurpea Sõrve Vilsandi Narva-Jõesuu Tallinn sadam	Ruhnu Tahkuna Virtsu Pärnu	

Tabel 4.3. Sügisese relatiivse miinimumi suuruse sõltuvus aegrea pikkusest.

Aegrea pikkus	Kevadise relatiivse maksimumi suurus /cm/			
	0	1 - 2	3 - 4	5 - 8
1 - 10 aastat	Toila Merise Prangli		Roomassaare	
11 - 20 aastat	Raugi Keemu Sõru Abruka	Naissaare		
21 - 50 aastat	Vaindloo Dirhami Rohuküla Heltermaa Ristna	Kihnu	Vormsi Kunda	Haapsalu
51 - 141 aastat	Pakri Ruhnu Tahkuna Virtsu Sõrve Vilsandi Tallinn sadam	Suurpea Pärnu Narva-Jõesuu		

Tabel 4.4. Kevadise relatiivse maksimumi suuruse sõltuvus aegrea pikkusest.

Tabelites 4.3 ja 4.4 on toodud mõõtejaamade jagunemine lähtuvalt aegride pikkusest ja vastavalt sügise relatiivse miinimumi suurusest või kevadise relatiivse maksimumi suurusest. Sügise relatiivse miinimumi suurus on pikaajalise kuu keskmise erinevus sellisest kuu keskmisest väärtusest, mille puhul meretaseme aastases käigus relatiivset miinimumi sügisesel ajal ei oleks tekkinud. Analoogiliselt on leitud ka kevadise relatiivse maksimumi suurus.

Tabelist 4.3 ilmneb, et kõigil kuni kümne aasta pikkustel aegridadel tõuseb esile sügisene relatiivne miinimum suurusega 5 - 9 cm, erandiks jääb vaid Roomassaare jaam, kus on näha sügisene miinimum 2 cm ulatuses. Täpselt samuti on kõikides jaamades, kus mõõtmisi oli tehtud 11 - 20 aasta jooksul, nähtav sügisene relatiivne miinimum suuruses 5 - 9 cm, ainsa erandiga Keemu jaamas. Seevastu eranditult kõik üle kahekümne aasta pikkused aegread väljendavad sügist relatiivset miinimumi kuni 4 cm ulatuses, jäädes enamikus kuni 2 cm piiresse. Siinkohal tuleb rõhutada, et mõõtejaamad, kus aegrea pikkus on kuni 20 aastat, ei asu geograafiliselt sarnastes tingimustes ja samuti on nendes jaamades teostatud mõõtmisi ajalooliselt erinevatel perioodidel, mis välistab ilmastiku lühiajalise mõju esilekerkimise. Seega ainus parameeter, millest sõltub sügise relatiivse miinimumi võimendunud esinemine, on mõõtmiste kestvus.

Lähtuvalt tabelist 4.4 avaldub kevadine relatiivne maksimum ainult kolmandikus kõigist jaamadest ning erineva pikkusega aegride vahel on tegemist võrdlemisi hajusa jaotusega.

Sügise relatiivse miinimumi jõuline eristumine kuni 20 aasta pikkuste aegride puhul näitab, et soovitatavalt tuleks valida aegread pikkusega vähemalt 20 aastat, kui soovitakse analüüsida protsesse, kus ühe komponendina avaldab mõju sesoonne käik. Tuleb tähele panna, et näiteks viie või kümne või viieteistkümne aasta pikkused read ei pruugi osutada piisavaks, kuna sellise pikkusega andmejadade analüüsimisel annab tulemus moonutatult vale rõhuasetuse, mis tuleneb lühemate aegride puhul sügise relatiivse miinimumi kahekordsest võimendumisest võrreldes pikemate aegridadega.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös lähtutakse Eesti ranniku ja saarte piirkonnas teostatud regulaarsete meretaseme mõõtmiste tulemusel saadud kuu keskmiste veeseisude aegridadest. Magistritöö eesmärgiks oli leida kõigis mõõtejaamades meretaseme kõikumise aastase perioodilisuse amplituudi hinnang ning lisaks aastase perioodiga muutlikkusele esineda võivad pikema või lühema perioodiga muutlikkuse komponendid. Seejärel võeti eesmärgiks leida erinevused ja selle põhjused kõigi jaamade vahel veetaseme sesoonse muutlikkuse käigus. Leidmaks meretaseme kõikumise aastase perioodilisuse amplituude, on töös teostatud Läänemere veetaseme andmete spektraalanalüüs. Olulisemad tulemused on esitatud nii tabelis kui ka graafiliselt.

Magistritöö tulemusel on leitud ajaliselt ulatuselt pikemate, enam kui 20 aastat pikkade aegridade puhul meretaseme aastase muutlikkuse amplituudi hinnanguks kuni 18 cm. Lisaks aastasele muutlikkusele leiti enamikes jaamades esinev muutlikkus perioodiga kuus kuud, mis osutus aastase muutlikkusega piigi esimeseks harmoonikuks. Dirhami, Heltermaa, Pärnu ja Kihnu jaamas leiti lisaks selgelt esinev muutlikkus perioodiga 2,7 aastat ja Pärnu jaamas Chandleri piik. Meretaseme aastase muutlikkuse käigus leiti sarnasused ja erinevused Läänemere äärsete Saksamaa ja Soome meretaseme mõõtejaamades saadud tulemustes. Töös leiti, et talvise õhutemperatuuri muutlikkuse ulatus ja meretaseme aastase muutlikkuse amplituudi ajaline muutumine toimuvad ühtelangevas rütmis. Ekstreemsete veeseisudega aastatel on meretaseme muutlikkus ja selle amplituud tingitud pidevatest talvetuultest - kõrgete veeseisude puhul domineerivad edelast puhuvad tuuled, madalate veeseisude puhul seevastu domineerivad idakirdest puhuvad tuuled. Jaamadevahelise analüüsi tulemuste väiksemad erinevused leiti olevat tingitud andmete ajalisest ebaühtlusest, mis tuleneb mõõteperioodide erinevast kestvusest, ja need osutusid statistiliselt ebaoluliseks.

Töö olulisima tulemusena leiti, et vähem kui 20 aasta pikkuste aegridade puhul võimendub sügisene relatiivne miinimum kahekordselt, mistõttu selliste protsesside analüüsimiseks, kus ühe komponendina avaldab mõju sesoonne käik, tuleks moonutatult vale rõhuasetusega tulemuse vältimiseks valida lähteandmeteks aegread ulatusega vähemalt 20 aastat.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Box, G. E., Jenkins G. M., 1976. *Time Series Analysis Forecasting and Control*, Revised Edition, Holden-Day, 575.
- Bergström, S., Carlsson, B., 1994. River runoff to the Baltic Sea: 1950-1990. *Ambio*, 23, 280-287.
- Carlsson, M., 1998. A coupled three-basin sea level model for the Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 18, 1015-1038.
- Chatfield, C., 1990. *The Analysis of Time Series, An Introduction*, Fourth Edition, Chapman & Hall, 241.
- Dietrich, G., 1954. Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg. *Die Küste*, 2: 130-156.
- Ekman, M., 1988. The world's longest continued series of sea level observations. *Pure and Applied Geophysics*, 127, 73-77.
- Ekman, M., 1996. A common pattern for interannual and periodical sea level variations in the Baltic Sea and adjacent waters. *Geophysica*, 32, 261-272.
- Ekman, M., 1997. Anomalous winter climate coupled to extreme annual means in the Baltic Sea level during the last 200 years. *Small Publications in Historical Geophysics*, 3, 14pp.
- Ekman, M., 1998. Secular Change of the Seasonal Sea Level Variation in the Baltic Sea and Secular Change of the Winter Climate. *Geophysica*, 34(3), 131-140.
- Ekman, M., 1998a. Using mean sea surface topography for determination of height system differences across the Baltic Sea. *Nordic Geodetic Commission, 13th General Meeting*.
- Ekman, M., Mäkinen, J., 1994. Mean Sea Surface Topography in a Unified Height System for the Baltic Sea Area. *Nordic Geodetic Commission 12th General Meeting*, 244-258.
- Ekman, M., Mäkinen, J., 1996. Mean sea surface topography in the Baltic Sea and its transition area to the North Sea: A geodetic solution and comparisons with oceanographic models. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, No. C5, 11,993-11,999.
- Ekman, M., Mäkinen, J., 1991. The Deviation of Mean Sea Level from the Mean

- Geoid in the Baltic Sea. *Bulletin Geodesique*, 65, 83-91.
- Ekman, M., Stigebrandt, A., 1990. Secular change of the seasonal variation in sea level and of the pole tide in the Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research*, **95** C, 5379-5383.
- Galerkin, L.I., 1960. On the physical basis of the forecast of the seasonal variations of sea level in the Sea of Japan. *Tr. Inst. Okeanol. SSSR*, 37: 73-91 (vene keeles).
- Hela, I., 1944. Über die Schwankungen des Wasserstandes in der Ostsee mit besonderer Berücksichtigung des Wasseraustausches durch die dänischen Gewässer. *Merentutkimuslaitoksen Julkaisu-Havsforskningsinstitutets Skrift*, 134: 108 pp.
- Ihde, J., 1993. Some remarks on geodetic reference systems in Eastern Europe in preparation of a uniform European geoid. *Bulletin Geodesique*, 67:81-85.
- Jensen, J., 1984. Änderungen der mittleren Tidewasserstände an der Nordseeküste, Mitt. Leichtweiss-Instituts f. Wasserbau der TU Braunschweig, H. 86.
- Jensen, J., 1998. Recent changes of the water levels in the Baltic sea. *Proceedings of The Second International Conference on Climate and Water*, Vol. 2, 873-883.
- Kõuts, T., Toompuu, A., Raudsepp, U., Hindov, R., 1995. *Meretaseme statistiline modelleerimine*. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Tallinn, 62.
- Lazarenko, N. N., 1961a. Kolebanija urovnja Baltiskovo morja. *Izvestija Gosudarstvennovo Okeanograficeskovo Instituta*, 65, 39-127.
- Lazarenko, N. N., 1961b. *Kolebanija urovnja morja*, Leningrad, Hidrometeorologiceskoe Izdatel'stvo, 59.
- Liebsch, G., 1997. Aufbereitung und Nutzung von Pegelmessungen für geodätische und geodynamische Zielstellungen, Deutsche Geodätische Kommission, Dissertationen, C 485, 107 pp.
- Lisitzin, E., 1974. *Sea Level Changes*, Elsevier Oceanography series, 8, 273.
- Matthäus, W., Schinke, H., 1994. Major atmospheric circulation patterns associated with major Baltic inflows. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, **46**, 321-339.
- Nomitsu, T., Okamoto, M., 1927. The causes of the annual variation of the mean sea level along the Japanese coast. *Mem. Coll. Sci. Kyoto Univ.*, A, 10:125-161.
- Ojaveer, E., Rannak, L. and Laevastu, T., 2000. *One and a Half Centuries of Sea and Fisheries Investigations in Estonia*, Estonian Academy Publishers, 125.

- Raudsepp, U., Toompuu, A., Kõuts, T., 1999. A stochastic model for the sea level in the Estonian coastal area, *Journal of Marine Systems* (22)1, pp.69-87.
- Samuelsson, M., Stigebrandt, A., 1996. Main characteristics of the long-term sea level variability in the Baltic Sea. *Tellus*, **48 A**, 672-683.
- Schmidt, K., 1998. Vertical secular movements in Denmark from repeated levellings and sea-level observations during the last 100 years. University of Copenhagen, doctoral dissertation.
- Simonsen, O., 1960. Short Report on the History and Establishment of the United European Levelling Net and on the Results Obtained up to December 1960. *Travaux de l'Association Internationale de Géodésie*, **21**, 115-158.
- Stigebrandt, A., 1990. On the adjustment of the sea level to a varying atmospheric pressure with application to the Kattegat. In Lundberg (ed): Nordic perspectives on oceanography. Acta Regiae Societas Scientiarum et Litteraria Gothoburgensis, *Geophysica*, **3**, 118-132.
- Tsimplis, M.N., Flather, R.A., Vassie, J.M., 1994. The North Sea pole tide described through a tide-surge numerical model. *Geophysical Research Letters*, **21**, 449- 452.
- Tsimplis, M.N., Woodworth, P.L., 1994. The global distribution of the seasonal sea level cycle calculated from coastal tide gauge data. *Journal of Geophysical Research*, **99 C**, 16031-16039.
- Ussisoo, I., 1977. Computations of Land Uplift and Mean Sea Level in Sweden. *Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar*, **99**, 42-48.
- Vermeer, M., Kakkuri, J., Mälkki, P., Boman, H., Kahma, K.K., Leppäranta, M., 1988. Land uplift and sea levelvariability spectrum using fully measured monthly means of tide gauge readings. *Finnish Marine Research*, **256**: 3-75.
- Wigley, T.M.L., Raper, S.C.B., 1992. Implications for climate and sea level of revised IPCC emissions scenarios. *Nature*, Vol. 357.
- Witting, R., 1918. Die Meeresoberfläche, die Geoidfläche und die Landhebung dem Baltischen Meere entlang und an der Nordsee. *Fennia*, **39/5**, 1-346.
- Õmbus, A., 1997. *Läänemere veetaseme kõikumiste statistilisi seaduspärasusi*, Bakalaureusetöö, Tartu, 110.

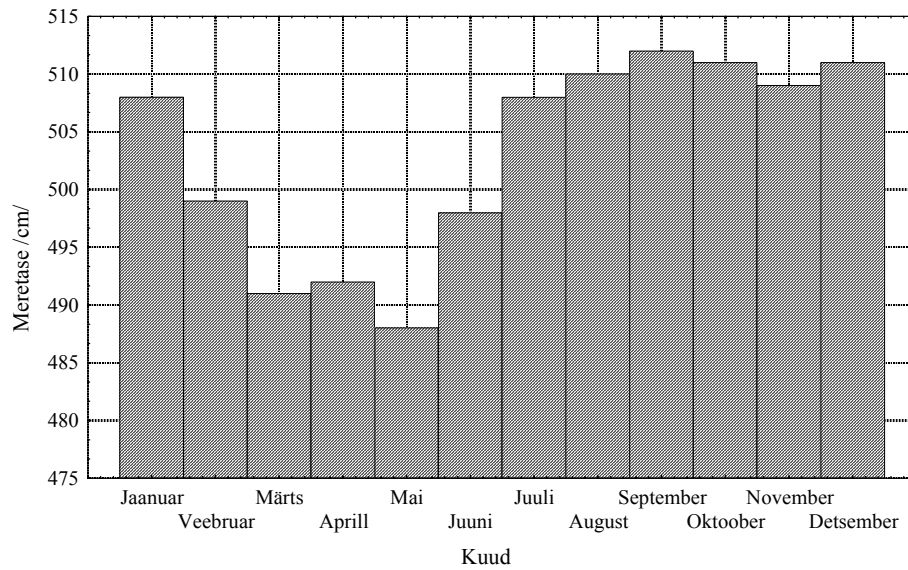
ANNUAL CYCLE AND SEASONAL AMPLITUDES IN THE BALTIC SEA LEVELS

SUMMARY

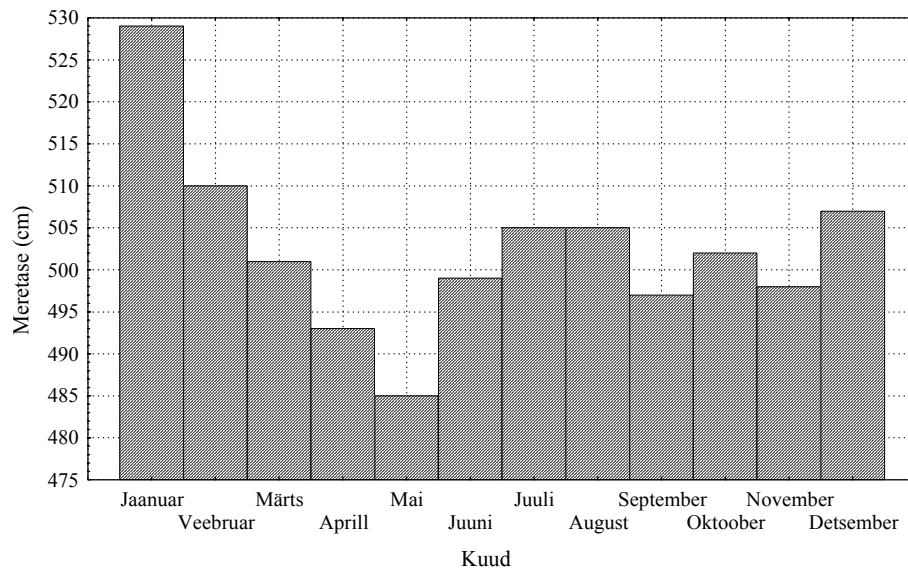
The time series used in this study include water-level data from Estonian coastal and islands' region, averaged over months. The purpose of this work was to find the dominating annual peak amplitude for each station and other peaks presented in the spectra. The purpose of this work was also to investigate the monthly water variations. A spectral analysis of the sea level series is done in this work to find value of the annual peak amplitude. The main results are presented in table and in figures.

The annual peak is prominently present in the spectra, the amplitude for time series longer than 20 years are nearly 18 cm, amplitude for time series less than 20 years are nearly 11 cm. In most spectra the semiannual peak is present which is harmonics of a yearly periodicity in the tide gauge readings. Besides the prominent annual and semiannual peak there are also peak of 2,7 years at Dirhami, Heltermaa, Pärnu and Kihnu station and Chandler peak at Pärnu station. The yearly cycle has been estimated from the data for every tide gauge and there are made comparative study with German and Finnish data. For that the monthly values were averaged for each tide gauge over all years of measurement. The time series show quite uniform development. After having a relative minimum in October or in November the water level will reach a high value in December until having its lowest level in the months of March until May. There are same rhythm in the variation of the air temperature at winter and in the amplitude of water level year cycle. At years with extreme water level the sea level changes and the amplitude are influenced by continuous winds at winter time - the winds from south-west are dominating at high water level and the winds from east-north-east are dominating at low water level.

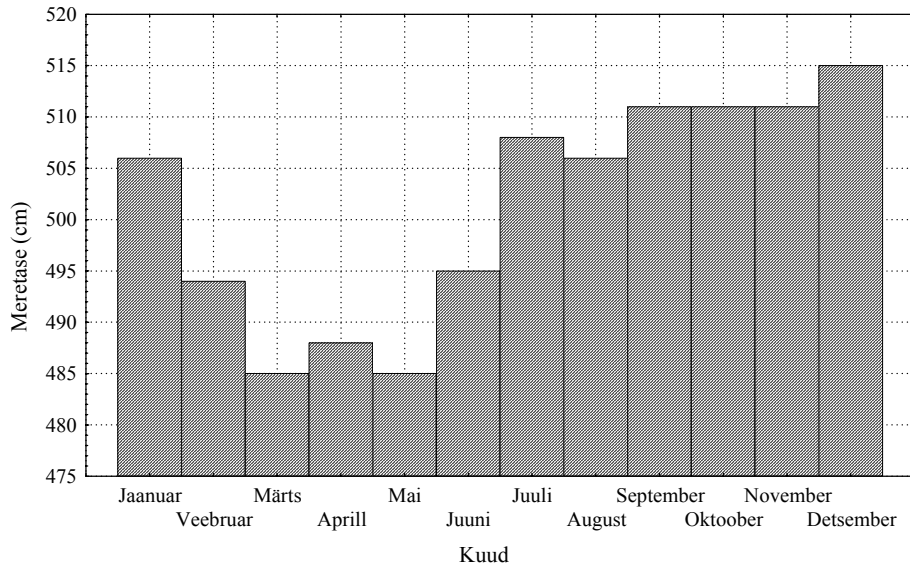
The most important result of this work is a suggestion that time series with length more than 20 years should be preferred for seasonal analysis if possible because of the risk to get influence by the rise to the fore of the relative seasonal minimum.



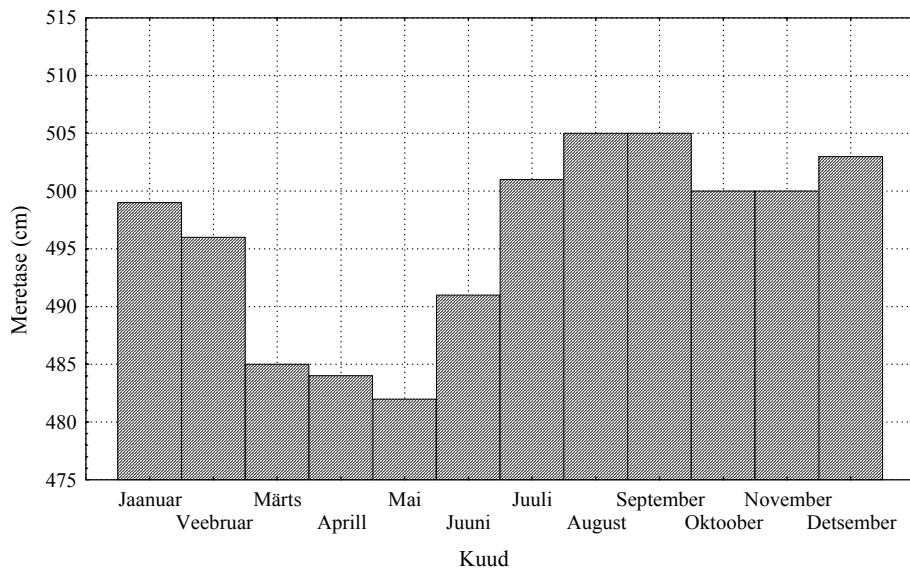
Lisa 1. Meretaseme aastane muutlikkus Narva-Jõesuu jaamas.



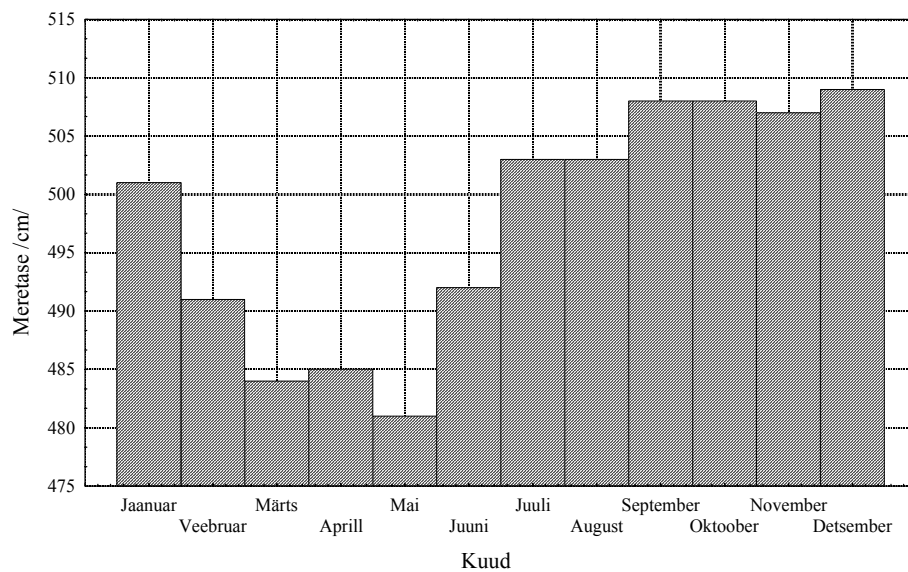
Lisa 2. Meretaseme aastane muutlikkus Toila jaamas.



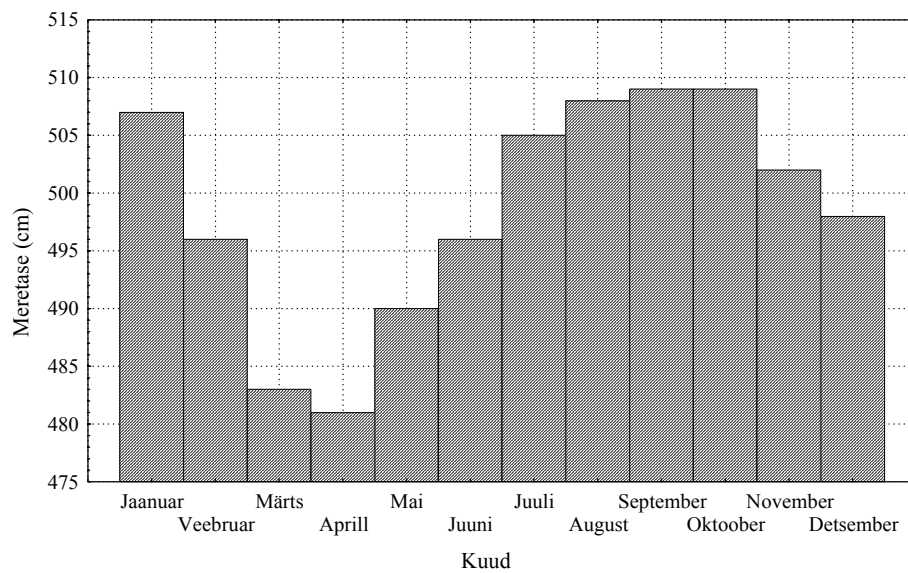
Lisa 3. Meretaseme aastane muutlikkus Kunda jaamas.



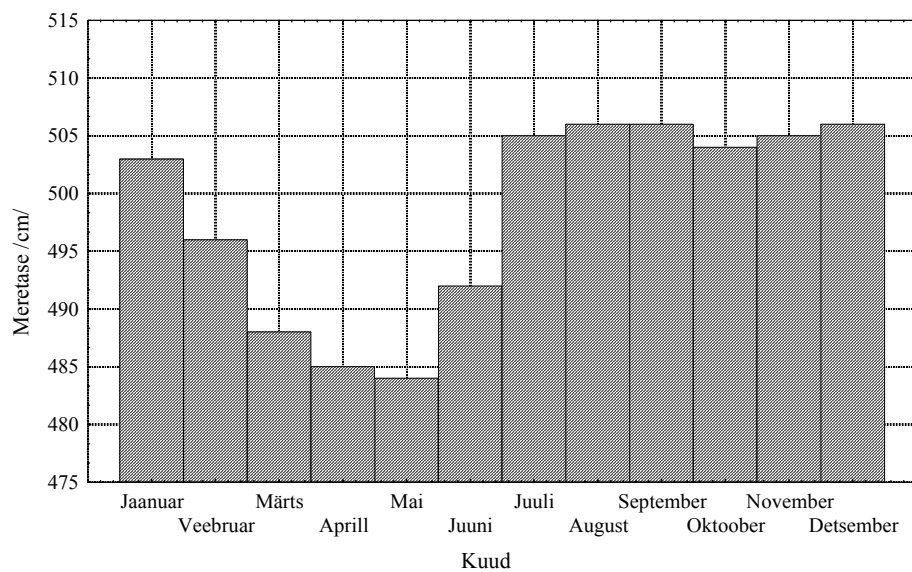
Lisa 4. Meretaseme aastane muutlikkus Vaindloo jaamas.



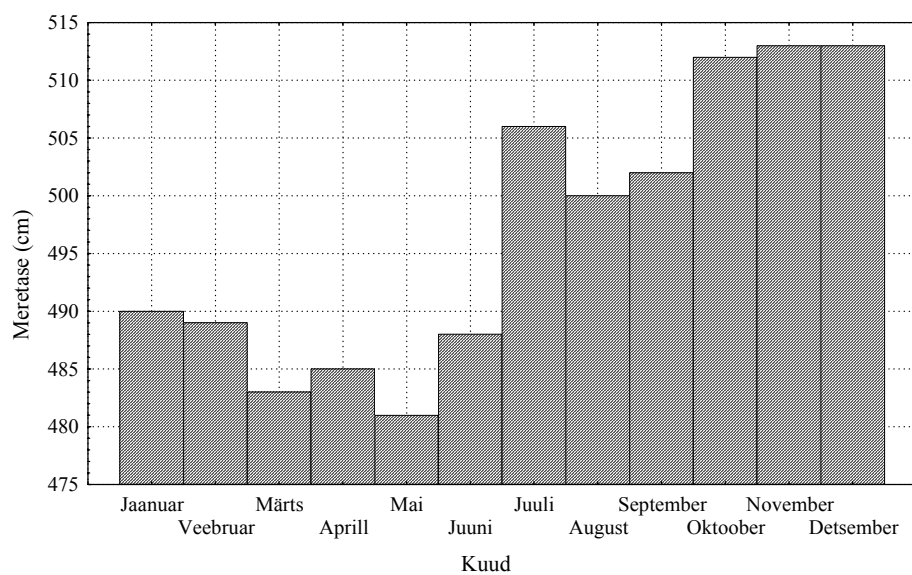
Lisa 5. Meretaseme aastane muutlikkus Suurpea jaamas.



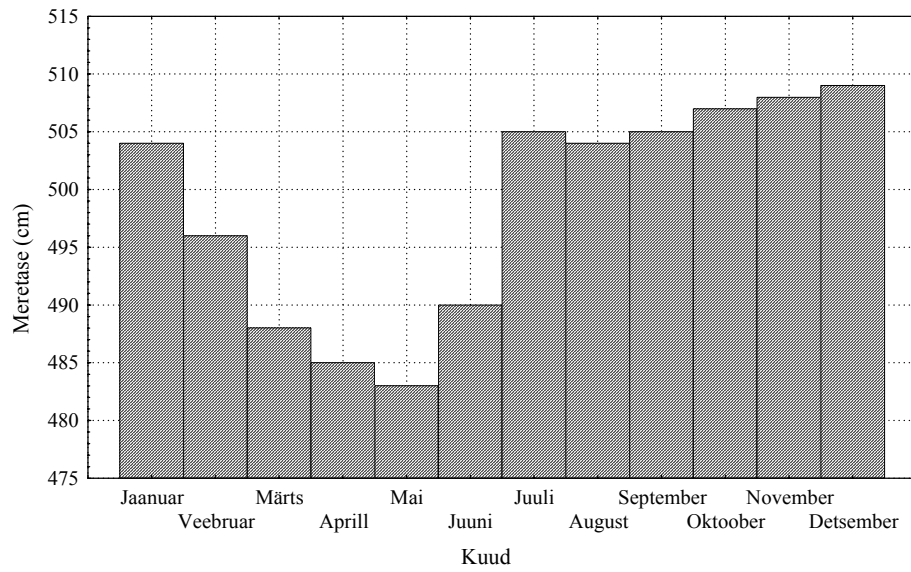
Lisa 6. Meretaseme aastane muutlikkus Prangli jaamas.



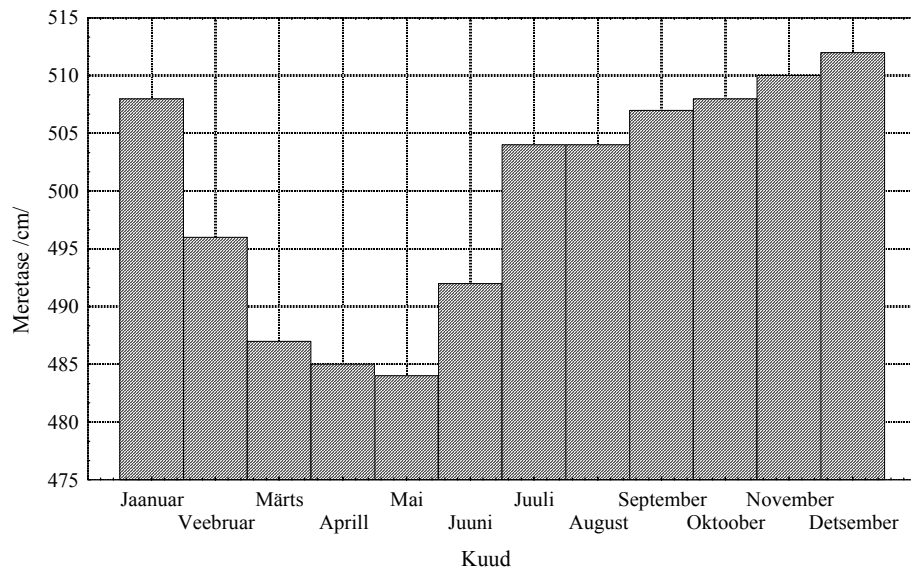
Lisa 7. Meretaseme aastane muutlikkus Tallinna jaamas.



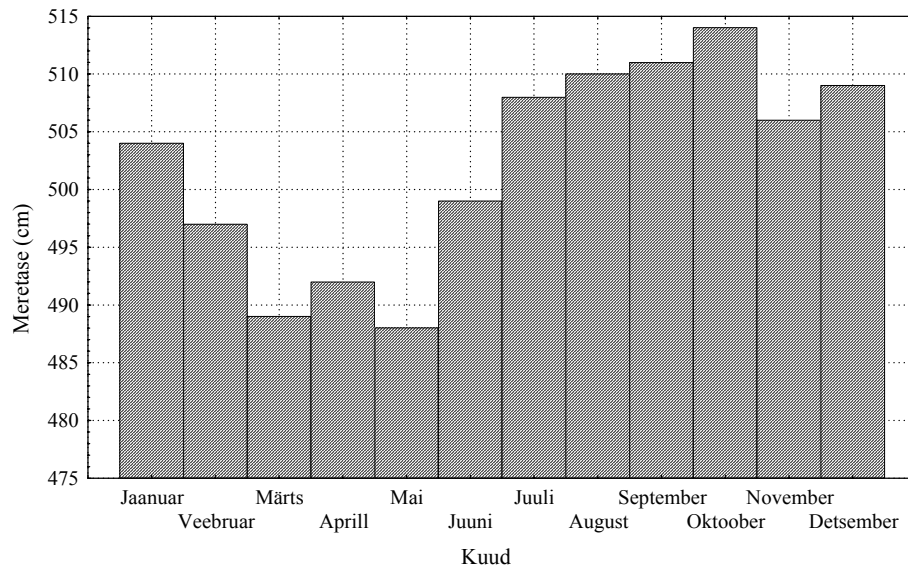
Lisa 8. Meretaseme aastane muutlikkus Naissaare jaamas.



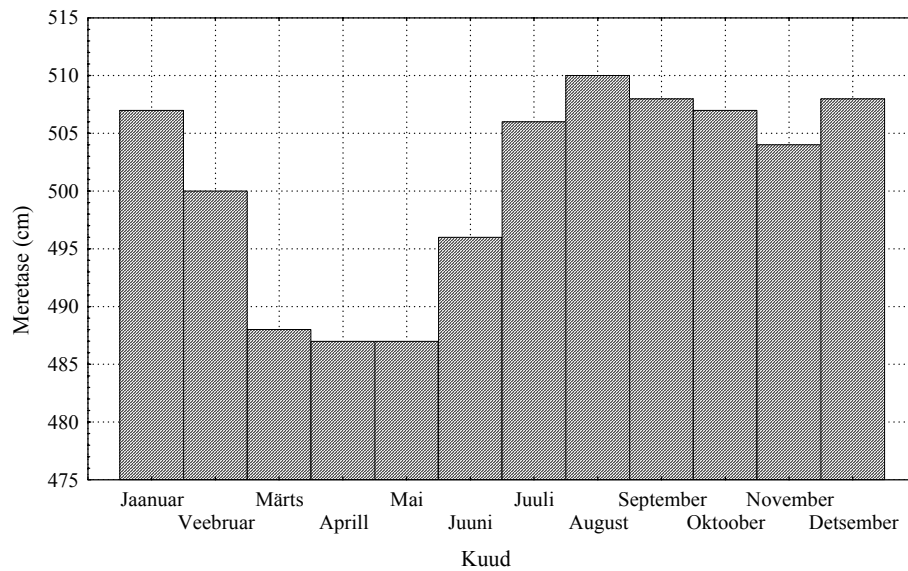
Lisa 9. Meretaseme aastane muutlikkus Pakri jaamas.



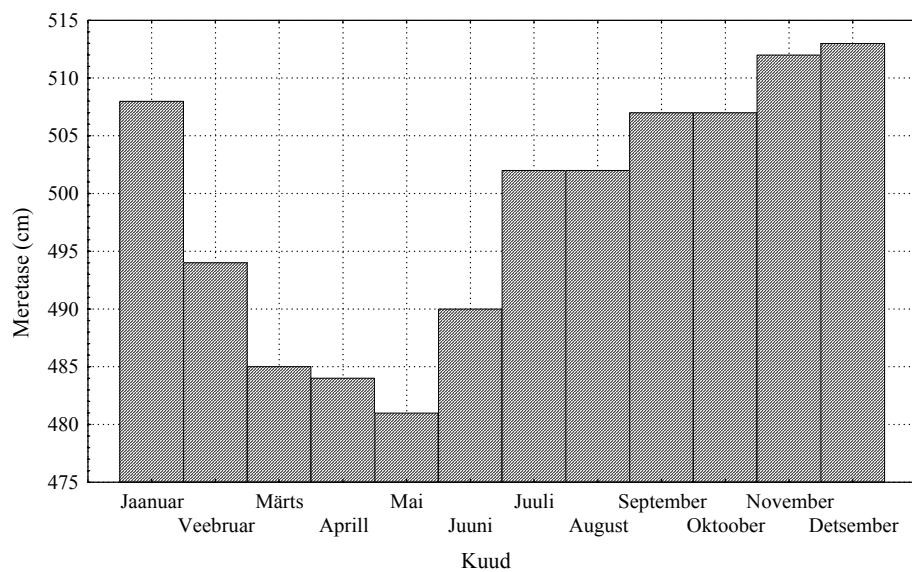
Lisa 10. Meretaseme aastane muutlikkus Dirhami jaamas.



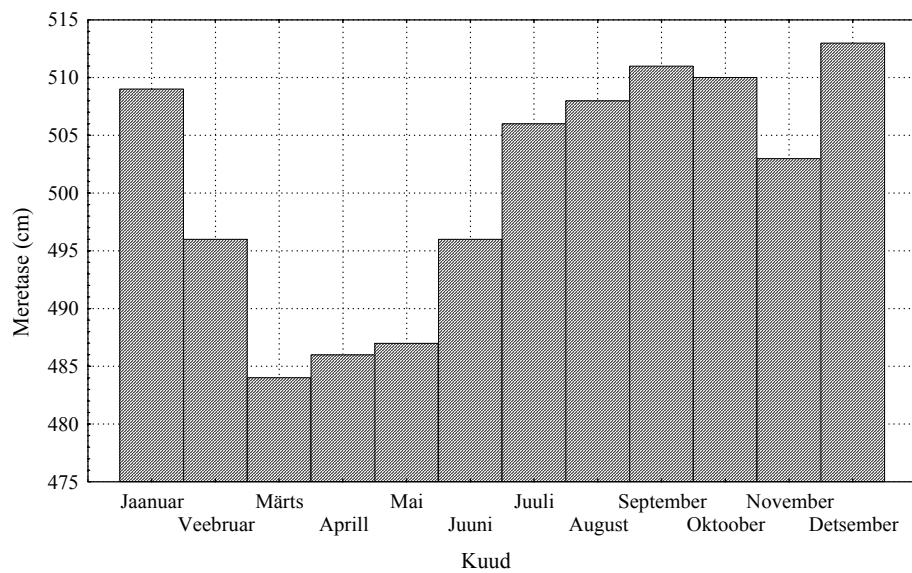
Lisa 11. Meretaseme aastane muutlikkus Vormsi jaamas.



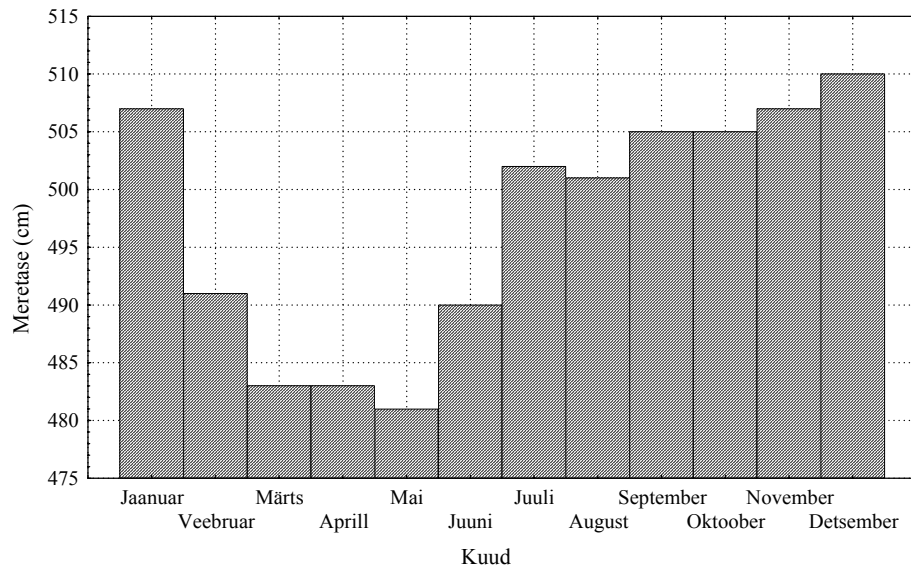
Lisa 12. Meretaseme aastane muutlikkus Tahkuna jaamas.



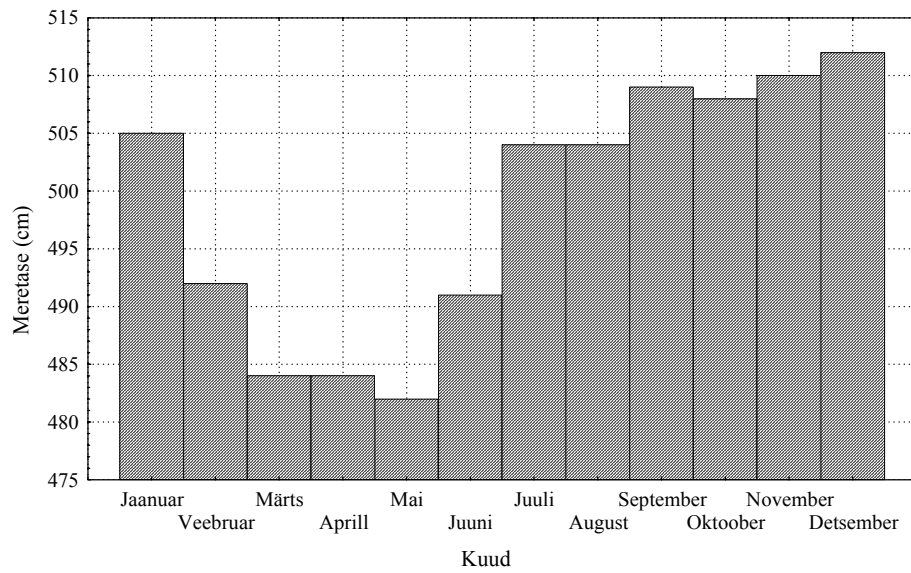
Lisa 13. Meretaseme aastane muutlikkus Ristna jaamas.



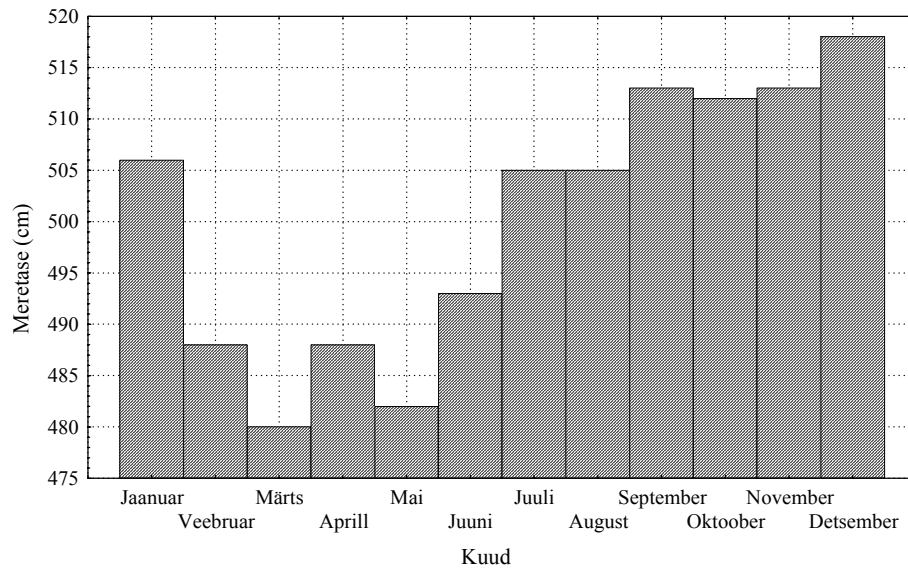
Lisa 14. Meretaseme aastane muutlikkus Sõru jaamas.



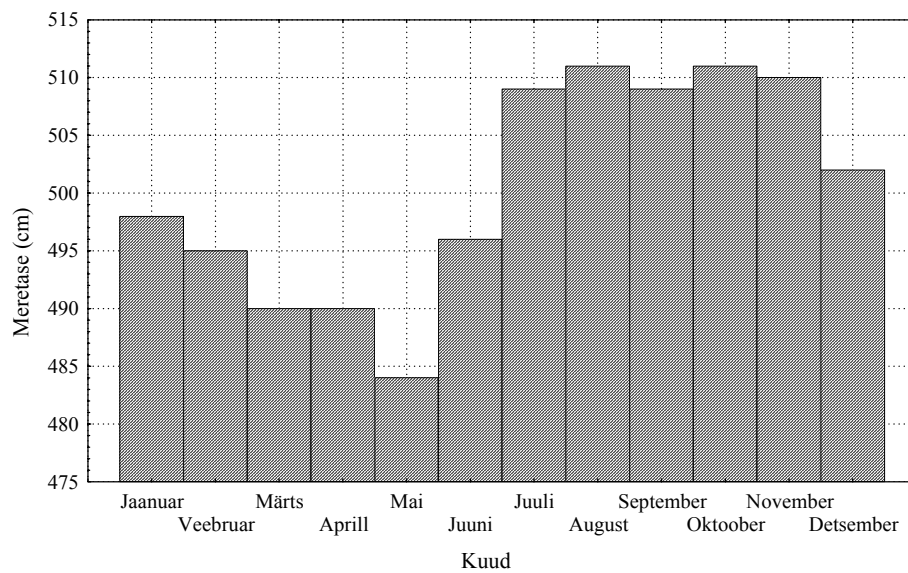
Lisa 15. Meretaseme aastane muutlikkus Heltermaa jaamas.



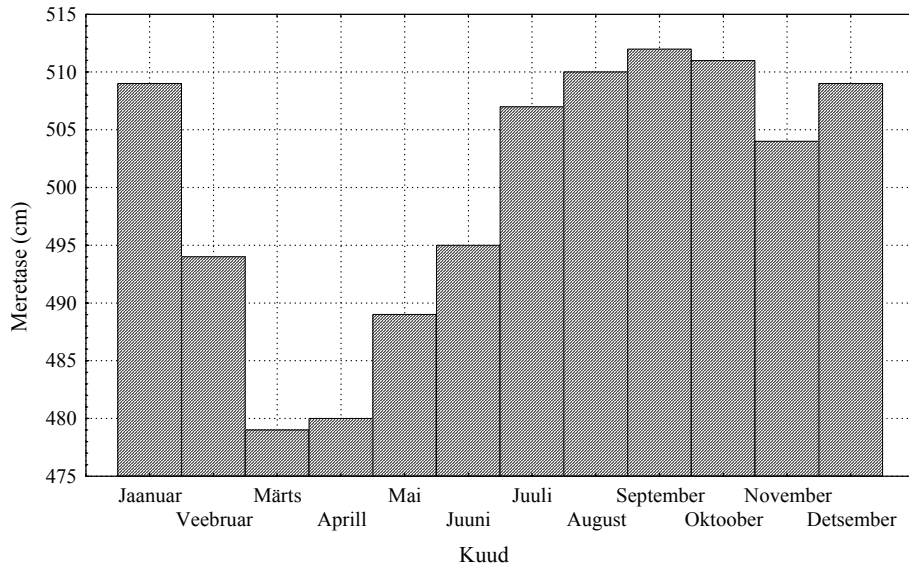
Lisa 16. Meretaseme aastane muutlikkus Rohuküla jaamas.



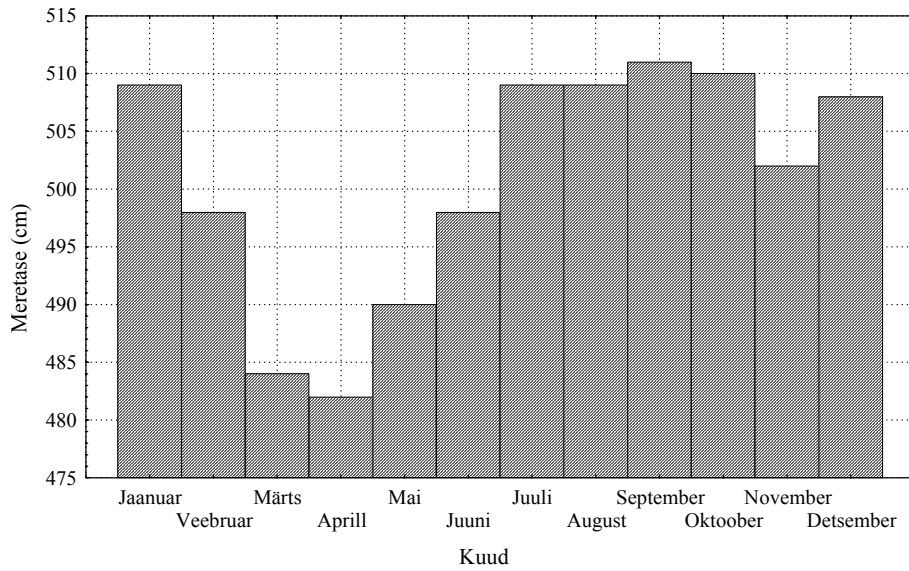
Lisa 17. Meretaseme aastane muutlikkus Haapsalu jaamas.



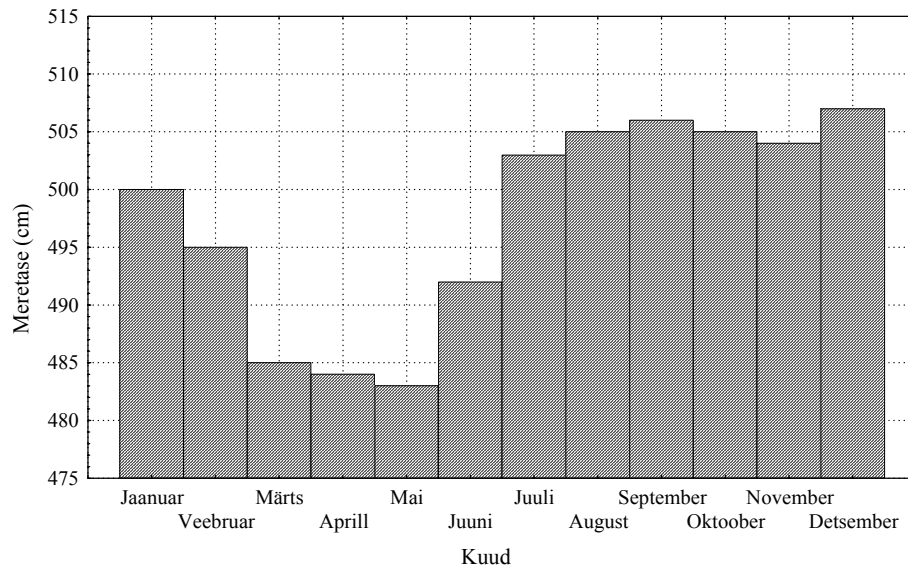
Lisa 18. Meretaseme aastane muutlikkus Keemu jaamas.



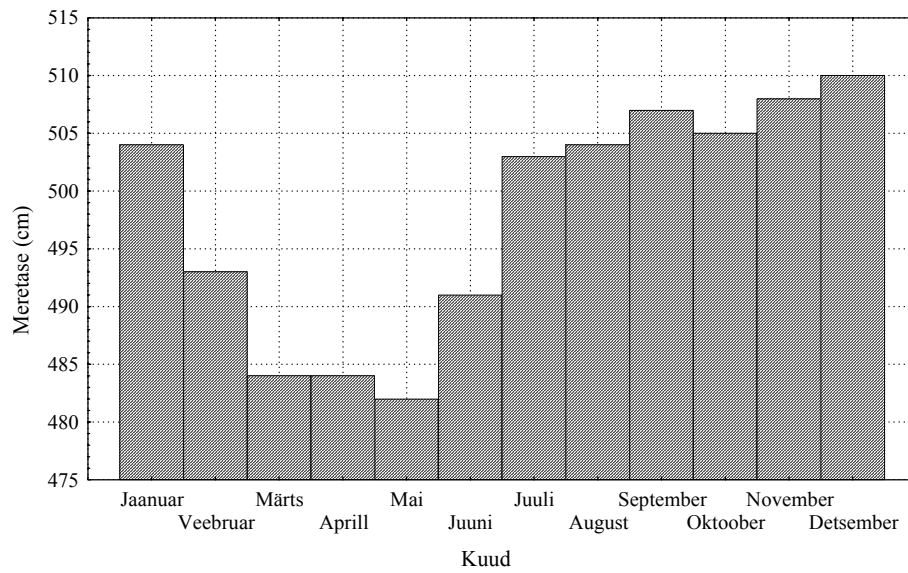
Lisa 19. Meretaseme aastane muutlikkus Raugi jaamas.



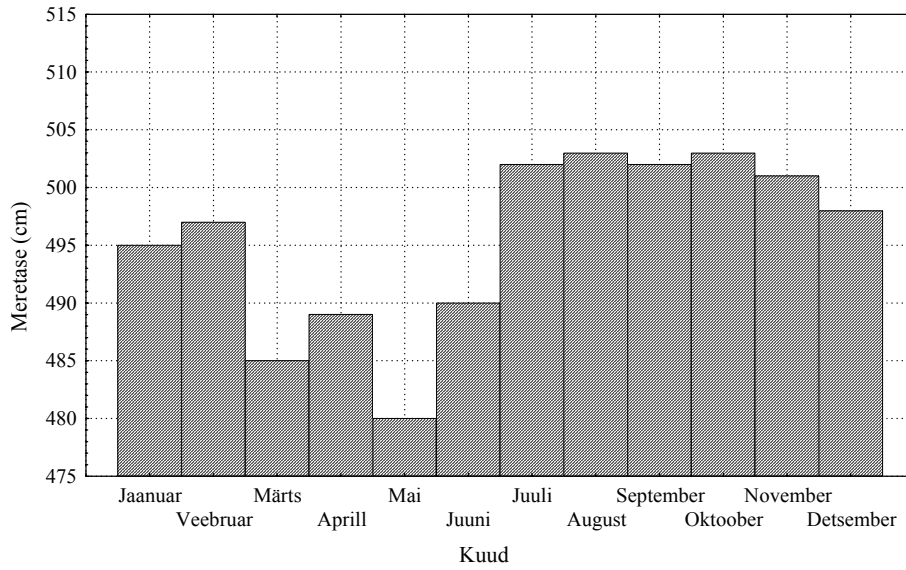
Lisa 20. Meretaseme aastane muutlikkus Merise jaamas.



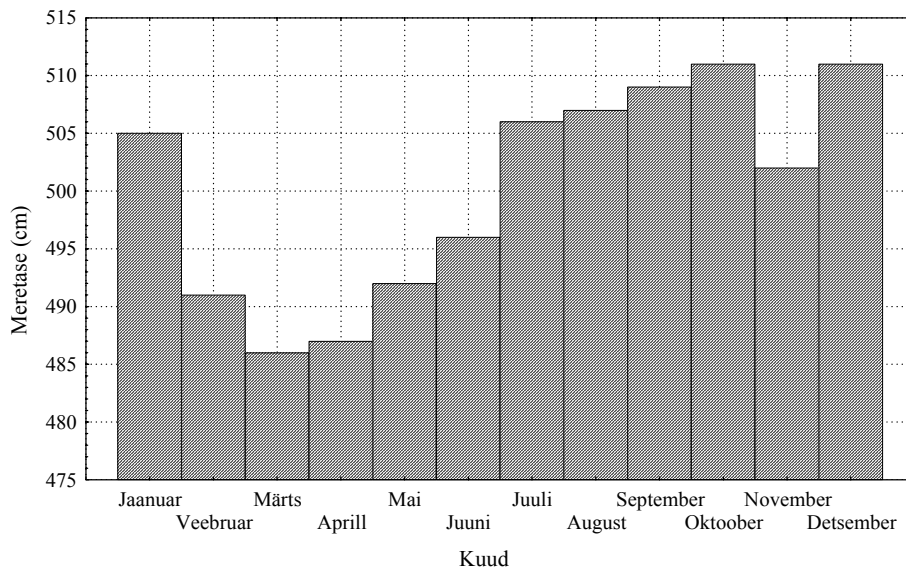
Lisa 21. Meretaseme aastane muutlikkus Vilsandi jaamas.



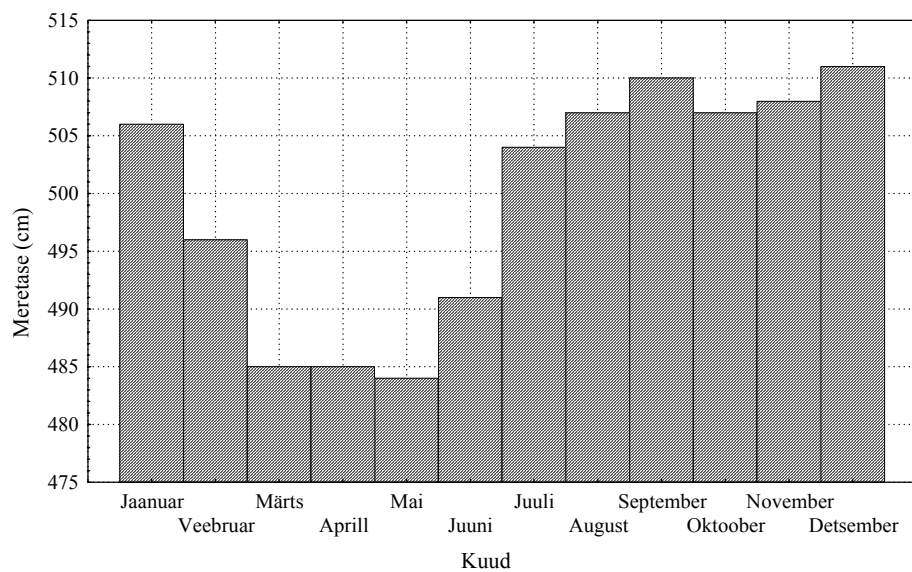
Lisa 22. Meretaseme aastane muutlikkus Sõrve jaamas.



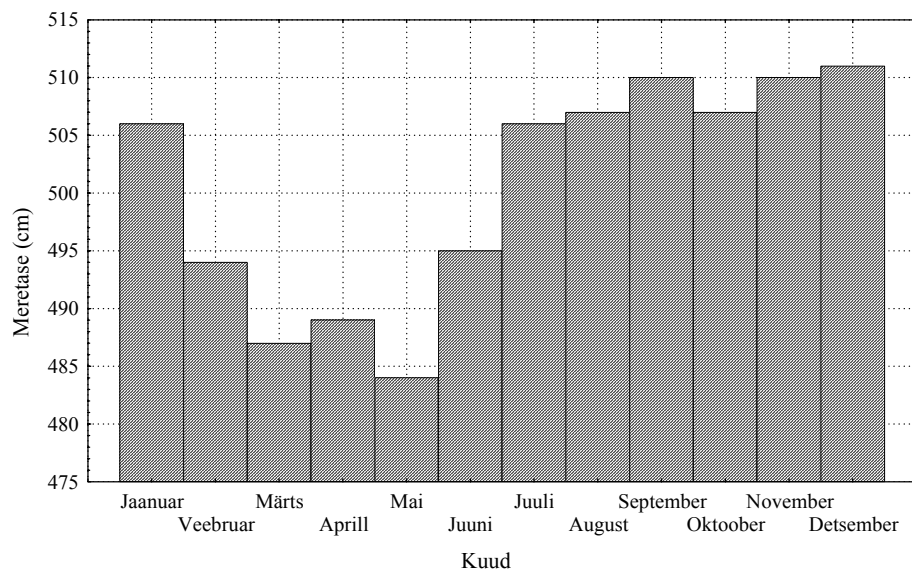
Lisa 23. Meretaseme aastane muutlikkus Roomassaare jaamas.



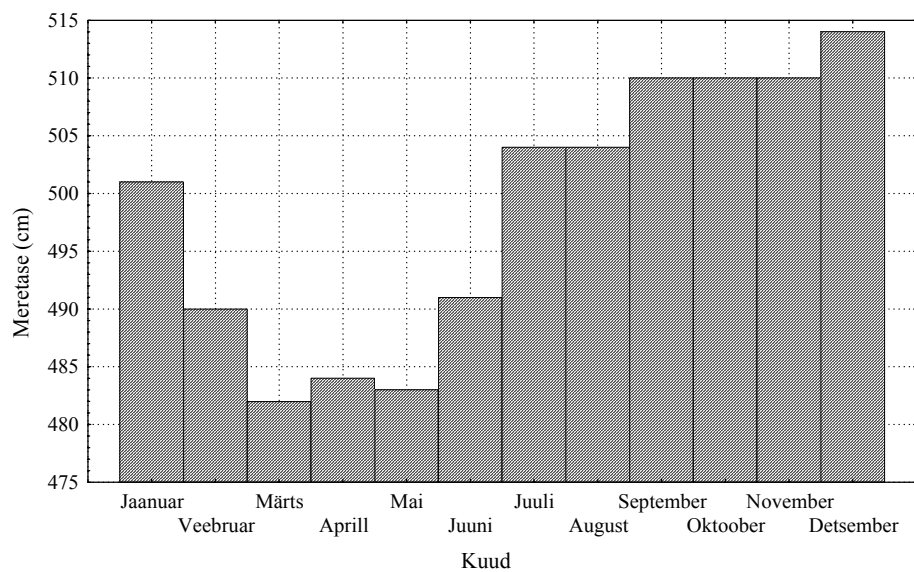
Lisa 24. Meretaseme aastane muutlikkus Abruca jaamas.



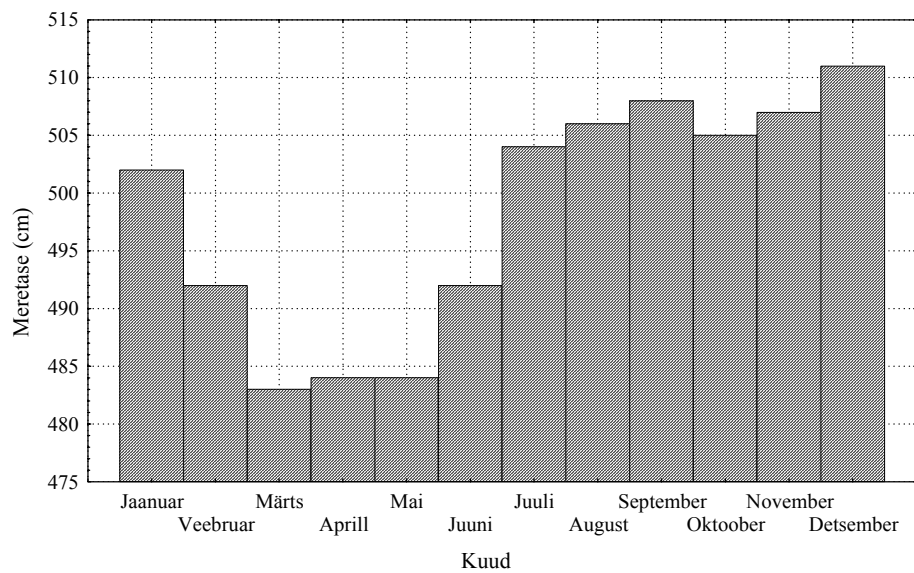
Lisa 25. Meretaseme aastane muutlikkus Virtsu jaamas.



Lisa 26. Meretaseme aastane muutlikkus Pärnu jaamas.



Lisa 27. Meretaseme aastane muutlikkus Kihnu jaamas.



Lisa 28. Meretaseme aastane muutlikkus Ruhnu jaamas.