

RANNAD JA RANNIKUD

ACTA UNIVERSITATIS TALLINNENSIS

Realia et Naturalia

SARJA KOLLEGIUM

Mihkel Kangur (Tallinna Ülikool)

Mihkel Koel (Tallinna Tehnikaülikool)

Tiit Land (Tallinna Ülikool)

Romi Mankin (Tallinna Ülikool)

Hannes Palang (Tallinna Ülikool)

Margus Pensa (Tallinna Ülikool)

Ruth Shimmo (Tallinna Ülikool)

Jüri Siigur (Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut)

Raivo Stern (Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut)

Tallinna Ülikool

Kaarel Orviku

RANNAD JA RANNIKUD

ÕPIK KÕRGKOOULIDELE

TLÜ Kirjastus

Tallinn 2018



ACTA Universitatis Tallinnensis

Acta Universitatis Tallinnensis. Realia et Naturalia

Kaarel Orviku

Rannad ja rannikud

Väljaandmist toetasid programmi „Eestikeelsed kõrgkooliõpikud 2013–2017“ raames:



HARIDUS- JA
TEADUSMINISTEERIUM

Erialatoimetaja ja sõnastiku koostaja Hannes Tõnisson

Keeletoimetaja Siiri Soidro

Joonised autori visandite järgi kujundanud Reimo Rivis ja Karl Markus Wahlberg

Autori fotod, kui pole märgitud teisiti

Autoriõigus: Kaarel Orviku, 2018

Autoriõigus: Tallinna Ülikooli Kirjastus, 2018

ISSN 2461-1875

ISBN 978-9985-58-852-9

ISBN 978-9985-58-853-6 (epub)

TLÜ Kirjastus

Narva mnt 25

10120 Tallinn

www.tlupress.com

Trükk: Pakett

SISUKORD

| | |
|---|-----|
| 1. Sissejuhatus..... | 7 |
| 2. Terminoloogia | 11 |
| 3. Uurimismetoodika | 15 |
| 4. Randade arengu eeldused..... | 31 |
| 4.1. Reljeef..... | 31 |
| 4.2. Kivimite ja setete iseloom | 31 |
| 4.3. Maakoore liikumised | 32 |
| 4.4. Kliima ja meretase | 33 |
| 4.5. Rannalõikude orienteeritus tuultele ja tormilainetele..... | 37 |
| 5. Rannikute arengut mõjutavad põhilised loodusjõud ja tegurid..... | 39 |
| 5.1. Tuul..... | 39 |
| 5.2. Lainetus | 49 |
| 5.3. Hoovused..... | 61 |
| 5.4. Merejää..... | 62 |
| 5.5. Taimed | 71 |
| 5.6. Inimtegevus | 77 |
| 6. Randlatüüpide klassifikatsioon | 79 |
| 7. Eesti rannikute morfogeneetiline klassifikatsioon ja randlatüüpide levik eri rannikutüüpide piires..... | 90 |
| 8. Rannaprotsessid. Kulutus, kuhje, setete transport. Litomorfodünaamilised süsteemid | 112 |
| 8.1. Randla arenguetapid | 114 |
| 8.2. Järve-Mändjala-Nasva ranniku kui ühtse litomorfodünaamilise kulutus-kuhjesüsteemi iseloomustus | 120 |
| 9. Rannasetete ränne..... | 137 |
| 9.1. Rannasete piki randa ränne | 137 |
| 9.2. Settevool..... | 144 |
| 9.3. Rannasetete ristiränne..... | 145 |

| | |
|--|-----|
| 10. Randla pinnavormid | 153 |
| 10.1. Kulutuselised rannamoodustised – pankrandla pinnavormid | 153 |
| 10.2. Astangrandla pinnavormid | 170 |
| 10.3. Kuhjelised rannamoodustised ja nende klassifikatsioon | 177 |
| 11. Randade tänapäevane looduslik seisund | 201 |
| 11.1. Harilaiu randlate areng | 206 |
| 11.2. Rannaprotsesside elavnemise põhjused | 219 |
| 12. Inimtegevuse mõju randadele | 223 |
| 13. Randade purustuste peamised põhjused | 239 |
| 13.1. Pirita supelrand | 242 |
| 14. Randade kaitse ja kaitsmisel tehtud tüüpvead | 255 |
| 14.1. Narva-Jõesuu supelrand | 270 |
| 14.2. Näiteid mujalt maailmast | 277 |
| 15. Sadamakoha valikuks vajalike otsustuse ja eeltööde kava, rannaprotsesside arvestamine | 293 |
| 15.1. Ruhnu saare sadama kavandamine | 297 |
| 15.2. Kunda sadama kavandamine | 309 |
| | |
| Sõnastik (<i>Hannes Tõnisson</i>) | 319 |
| Soovitatav kirjandus | 345 |

I. SISSEJUHATUS

Mererand on üks tähtsaimaid looduslikke piire. See on üleminek kahe võimsa looduskeskkonna, maismaa ja mere vahel – loodusjõudude igavese võitluse tallermaa. Nii meri kui ka maismaa ei püsi muutumatuna. Mitmesuguste looduslike protsesside koosmõjul areneb maismaa reljeef ja muutub mere sügavus. Muutuvad ka ranna piirjooned ja rannajoone asend. Kohati tungib meri ähvardavalt maismaale peale, teisel maismaa kas tõuseb merest või meri ise kasvatab randa juurde, kuhjates sinna setteid. Mererand areneb pidevalt. Mererannik oma mitmekesiste looduslike kooslustega on paljude taime- ja loomariigi esindajate püsiv elu- ja toitumispaik.

Mererannal on väga suur majanduslik väärtus. Mereranda ehitatakse sadamaid, piki randa rajatakse raud- ja maanteid. Rannikualad on aastasadu olnud inimeste lemmikpuhkealad ja liivarannad armastatud supluskohad.

Selleks et laevad saaksid ohutult sadamasse tormivarju siseneda ja kaupa laadida-lossida, peab sadam olema kaitstud lainerünnakute eest. Rannaäärsete liiklusteede ehitamisel kindlustatakse rand nende püsivuse tagamiseks. Selleks et hästi kaitsta sadamat ja kindlalt tugevdada randa, on vaja teada, millised looduslikud protsessid toimuvad mererannal, milline on randade areng ning kuidas ja millise kiirusega rannajoon muutub. Eriti oluline on ette näha randade pikaajalist evolutsiooni, mis toimub siis, kui rannikule ehitada sadam või võtta ehituse otstarbeks mere- või rannasetendeid. Muidu võib hakata sadam aja jooksul madalduma, teisel aga hävitab meri rannale peale tungides kõik sellele püstitatud ehitised. Nende ja paljude teiste praktiliste ülesannete lahendamine ei ole võimalik mereranna arengut ja evolutsiooni reguleerivate üldiste loodusseaduste tundmiseta.

Mereranda kui maismaa ja mere kokkupuutepiirkonda on uuritud süsteemselt ainult sadakond aastat. Randade teaduslik uurimine ongi tegelikult välja kasvanud praktilisest vajadusest. Seetõttu pole tänapäeva teadusuuringud veel kuigi palju eemaldunud praktika vajadustest. Rannageoloogia kui teaduse alguseks võib lugeda 1919. aastal

ilmunud esimest sellele erialale tervikuna pühendatud D. Johnsoni monograafiat. Pärast seda teoreetilist kokkuvõtet hakkasid eri riikides kasvama uued uurijate põlvkonnad ja kujunema omad koolkonnad (Venemaal V. Zenkovitz 1967, Inglismaal C. King 1984, Austraalias E. Bird 1985, Eestis Kaarel Orviku 1974, 1992 jpt).

Aastakümnetega arenes teoreetiliste teadmiste tase ja kogunes üha enam faktilist materjali, mis on suures osas saadud tänu mitmesuguste rakenduslike küsimuste lahendamisele. Praeguseks on publitseeritud hulgaliselt kokkuvõtlikke monograafiaid (John Norrman (Rootsi), Yaacov Nir (Iisrael), Olavi Granö (Soome), Guntis Eberhards (Läti), Norbert Psuty (USA), Vitautas Gudelis (Leedu) jt). Laiemale üldsusele on kättesaadavad mitu teadusharu entsüklopeediat (M. Schwartz 1982, 2005; E. Bird 2010; E. Panzini, A. Williams 2013 jt).

Mererannik on aastatuhandeid olnud inimestele elupaigaks, elatusallikaks ning transpordi- ja ühendusteeiks. Teada olevad vanimad asulad paiknesid üldjuhul veekogude ääres, kas jõgede ja järvede kallastel või mererannikul (Eestis näiteks Pulli asula Pärnu jõe suudmes *ca* 8500 a e.m.a, Kunda VIII–IV saj e.m.a, Iru linnus *ca* 2000 a e.m.a). See oli loomulik, kuna veekogust sai eluks vajalikku vett ja toitu ning veekogu oli hea looduslik ühendustee.

Tol kaugel ajal olid inimkättega tehtud rajatised valdavalt kerged ja hõlpsasti teisaldatavad. Kui tormine meri peale tungis ja need lõhkus, püstitati jälle uued ja elu läks edasi. Kui maakoore kerkimise või vajumise tagajärjel meri rannajoonest kaugenes ehk taganes või hoopis vajuvale rannikule peale tungis, liikusid ja kolisid ka toleaeagsed inimesed vastavalt rannajoone muutustele uude piirkonda. Inimene oli kohanenud looduskeskkonna muutustega ega üritanud neid oma kasuks pöörata. Elati harmoonilises kooselus rannikukeskkonnaga.

Tänapäeval toimitakse rannikul tihti peale vaid oma kitsastest huvidest lähtudes. Suvilaid ja elamuid ehitatakse rannajoonele võimalikult lähedale. Vaatamata ranniku iseärasustele ja seadustele rajatakse kapitaalseid hooneid ohtlikule alale – mere võimupiirkonda. Pole harvad juhused, kui mõne aasta möödudes jõuavad teadlaste töölaule abipalved, kuidas kaitsta mereäärset krunti, sest selle pindala väheneb lainepurustuste tõttu. Teisalt kipub hooneid või rajatisi mõjutama kõrge merevee tase – ajuvesi või isegi tormilainetus.

Viimastel aastakümnetel on kogu maailmamere rannikul täheldatud nüüdisrandade loodusliku seisukorra olulist halvenemist. Näib, et randade arengu üldtunnustatud teoreetilised seisukohad ei pea enam paika. Peaaegu kõikides kuhjerandades täheldatakse murrutuse aktiveerumist.

Randade arengu teooria alusel loetakse kerkivaid rannikuid, mille hulka kuulub valdav osa Eesti rannikust ja Lääne-Eesti saarestik, üldiselt stabiilsemateks kui vajuvaid. Viimastel aastakümnetel täheldatakse aga ka meie kerkival rannikul olukorda, kus üldtunnustatud teoreetilised seisukohad ei pea enam paika. Liivarandadel leidub korduvaid tormikahjustusi, supelrandadelt kantakse liiva minema, saagenenud on murrutusest tingitud rannaastangute ja paepankade varisemised.

Olukorda analüüsid on teadlaste ette kerkinud hulk lahendamist vajavaid probleeme ja küsimusi. Mis on selle nähtuse, rannakeskkonna globaalse loodusliku seisundi halvenemise põhjus? Millega on seotud viimaste aastakümnete randade intensiivistuv areng. On selles süüdi aktiivne inimtegevus rannikul, meie vähesed teadmised randade arengu seaduspärasustest või on see tingitud looduslike tingimuste ja protsesside globaalsetest muutustest?

Sageli püütakse meie randade järsult halvenenud looduslikku olukorda siduda ainult viimaste aastate inimtegevuse aktiivsuse kasvuga. Autori arvates on niisugune vaatenurk ühekülgne ega tugine faktidele ega teooria põhitõdedele. Selline lihtsustatud lähenemisiis pidurdab rannikualade majanduslikku arengut tervikuna. Eesti Vabariigi uuestisünni järel on ka meil hakatud aktiivselt taastama endisi meretraditsioone. Ehitatakse uusi sadamaid, rekonstrueeritakse ja laiendatakse vanu, rannikule kavandatakse puhkealaseid ning arendatakse mereturismi. Just need kaks tegurit: mererandade purustuste ulatuse ja intensiivsuse mitmekordistumine ning inimtegevuse tunduv aktiveerumine ongi põhilised, mis on tõstnud üldsuse huvi randade ehituse ja arengu probleemide vastu. Sageli on laiema üldsuse, ranniku uusasukate, aga ka paljude erialade spetsialistide arvates mererandade ehituses ja arengus, setete dünaamikas ja kogu rannikukeskkonnas tervikuna toimuvad muutused palja silmaga selgelt nähtavad ega vaja tõsisemat teaduslikku lähenemist.

Kuid näiline lihtsus ja arusaadavus rannikul toimuvast ja randade arengust ei peegelda kaugeltki rannavööndis toimuvate protsesside tegelikku iseloomu. Kahjuks on ka mõned ametnikud seisukohal, et lausa nähtavalt areneva süsteemi ehk randade uurimine pole tõsine teadus. Sellise väärarusaama tulemust on praktilises elus üha enam tunda. Pole harvad juhtumid, kus mitmeid randade arenguga seotud praktilisi ülesandeid lahendatakse kas pealiskaudselt või teevad seda mõne teise eriala spetsialistid, kes ei valda randade ehituse ja arengu üldtunnustatud teoreetilisi seisukohti.

Tegelikult on mererand kiiresti arenev ja muutuv keskkond, mille evolutsiooni prognoosimine ning rannikulooduse ja inimtegevuse suhete ning seal valitsevate protsesside õige hindamine (eriti kvantitatiivne) on väga keeruline.

Erakordselt keerulistes looduslikes tingimustes, näiteks tugeva tormi ajal on ääretult raske saada *in situ* faktilisi andmeid setete dünaamika või ranna ja rannalähedase merepõhja muutuste kohta. Klassikalise varustusega uurijale on see võimatu ülesanne. Tavaliselt näeme ja fikseerimegi vaid tulemust ega tea põhjusi. Kuid see, et meie randadel on viimastel aastakümnetel toimunud nähtavaid muutusi, on väljaspool kahtlust.

Selle õpiku eesmärk on anda lugejale põhjalik ülevaade randade ehituse ja arengu seaduspärasustest, toetada edasisi uuringuid ning aidata neid teadmisi kasutada õigel ajal ja ratsionaalselt selleks, et lahendada rannikualade majandamisega seotud mitmekülgseid probleeme. Näidetena on kasutatud valdavalt Eesti mererannikult pärit materjali.

2. TERMINOLOOGIA

Rannik, mererand, randla ja rannavöönd on rahvusvaheliselt tunnustatud mõisted, mis tuleb selgeks teha kohe õpiku alguses, siis saame ühemõtteliselt aru sellest, mida on edaspidi tahetud öelda. Loomulikult pole kõigi mere- ja rannikuuurijate käsitluses samad mõisted täpipealt ühtsed, kuid ühes ollakse kindlalt samal meelel: randa formeeriv põhijõud on merelainetus – tormilainetus. Selle põhijõu mõju ulatusest ja tegevusest sõltuvalt jagavadki rannauurijad vaatlusaluse piirkonna osadeks. Mõiste *rannik* on küll veidi laialivalguvam ja selle piirid pole ühemõtteliselt selged, kuna sinna kuuluvad nii rannikumaa, kus käib randlaste elu, ja rannikumeri, kus toimub rannasõit ja rannapüük.

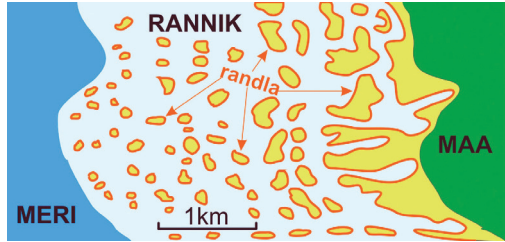
Mida käsitavad rannauurijad terminite *rannik, rand ja selle osad* all? Nii Eestis kui ka teistes maades laialdast kasutamist leidnud mõisted on muidugi kokkuleppelised, nagu kõik terminid. Meil ja ka paljudes teistes maades on allpool esitatud terminid kasutajate poolt heaks kiidetud ja kajastatud ka teatmeteostes (ENE, EE, Mereleksikon), õpikutes ning teaduslikes ja populaarteaduslikes artiklites. Analoogilist terminoloogiat kasutatakse ka enamikus Läänemerega piirnevates maades, näiteks Soomes, Venemaal, Lätis, Leedus ja Poolas.

Rannik (ingl *coast, coastal zone*; vn *побережье*) on randla koos seda piirneva maismaa ja merega. Eestis loetakse ranniku hulka maismaariba ja see osa merepõhjast, kus on jälgitavad vanad rannamoodustised. Rannikuid liigitatakse enamasti tekke, pinnamoe ja rannajoone liigestatuse põhjal (nt skäär-, fjord-, laguun-, laheline rannik). Ranniku maapoolseks piiriks võib lugeda ka lahepärsid, merepoolseks aga poolsaarte tippu või rannikusaarestiku välissaari ühendavat joont. Sellisena käsitavad Soome kolleegid oma ranniku saarestikku (joonis 2.1).

HELCOM-i soovitude kohaselt, mille alusel lahendatakse Läänemere regioonis näiteks ranniku majandamisega seotud probleeme (ingl *integrated coastal zone management – ICZM*), loetakse rannikuks ca 3 km maismaa ja 300 m laiust rannikumere vöödet. Samalaadselt käsitletakse ka Euroopa Liidus ICZM-i rannikuala mõistet, kuid see pole veel leidnud ametlikku kinnitust direktiivina.

Joonis 2.1. Olavi Granö

koostatud kaardiskeem, millele on kantud rannikuala levik nii, nagu see on Soome uurijate nägemuses. Rannik levib Soome teadlaste skeemi kohaselt maismaa poolt vaadates lahe päradest kuni avamere välissaarestiku kaugemate saarte vööndini (helesinine ala). Randla asub kõigi väikesaarte ümber, mis on tähistatud punase joonega kollaste saarekeste ja käärulise rannajoone ümber.



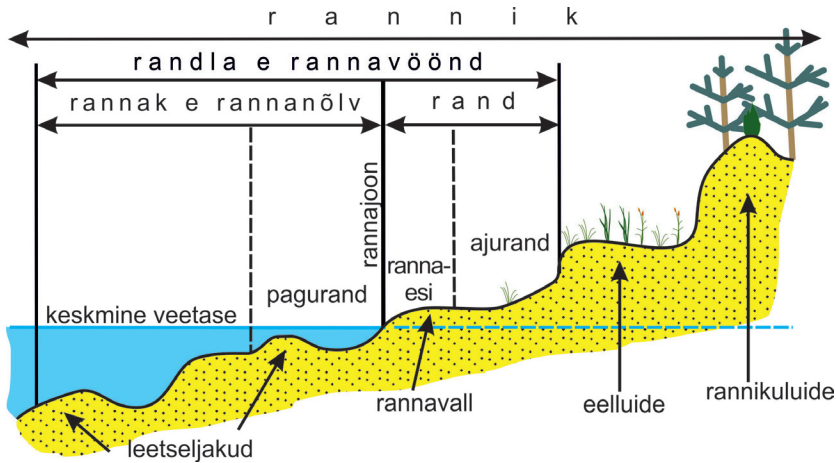
Randla (ka rannavöönd; ingl *shore, shore zone*; vn *береговая зона*) on mere või suurjärve madalaveeline osa koos seda palistava maismaaribaga, mida mõjutab aktiivselt lainetuse tegevus (joonis 2.2).

Randla on võrreldes rannikuga üsna selge ja kindel mõiste. See on ala, mis jaguneb kaheks omavahel arenguliselt seotuks ja teineteiselt sõltuvaks osaks: maismaaliseks rannaks ja madalmereliseks rannakuks.

Rand (ingl *beach*; vn *берег, пляж*) on randla maismaaline osa keskmise rannajoone (veepiiri) ja aju- ehk ründevaega kaasneva tugevaima tormilaine mõjupiiri vahel. Selle kõige maapoolsemat osa, mida tugevaim lainetus mõjutab vaid episooditi kõrge ajuvee tingimustes, nimetatakse **ajurannaks** (ingl *backshore*; vn *тыльная часть берега*). Kõige rannajoonelähedasemat maismaavöödet, mida keskmise mere- tasemega lainetus pidevalt mõjutab ja kus puudub rannataimestik, on hakatud nimetama **rannaesiks** (ingl *shore face*).

Rannak (ka veedalune rannavöönd; ingl *nearshore*; vn *подводный береговой склон*) on randla veedalune osa, mis ulatub keskmisest veepiirist sügavuseni, kus lainete mõju merepõhjale lakkab. Eri uurijate hinnangul mõjutab lainetus merepõhja 1/2–1/3 lainepikkusega võrdse sügavuseni. Kuna Läänemeres on täheldatud kuni 100 m pikkusi laineid, võib nende mõju avamerele avatud rannikul ulatuda umbes 50 m sügavuseni. Selle ala kõige maismaapoolsemat, rannajoonelähedast osa, mis jääb ajuti paguveetasemega kuivaks, nimetatakse **pagurannaks** (ingl *foreshore*; vn *осушка*).

Need alajaotused on suhteliselt tinglikud. Praktikas näeme, et laine lõplik murdumistsoon – murdlaine tsoon ja murdluse mõju – ei piirdu



Joonis 2.2. Ranniku ristiprofiilil on kujutatud kuhjerandla ja selle alajaotusi ning selle piires leiduvate peamiste pinnavormide nimetusi ja nende paiknemist. Mere poolt vaadates paiknevad madalmeres rannaku piires veelused vallid, mida nimetatakse leetseljakuteks, et eristada neid maismaal asuvatest rannavallidest. Rannajoonest maa pool ranna piires leiame kuhjekehasid, mida nimetatakse rannavallideks. Ajuranna maapoolsel piiril ja mõnevõrra aktiivse lainetuse tsoonist enam maa pool levivad valdavalt tuule kuhjava tegevuse tulemusel eelluited. Randla tagamaal liivarannikutel asuvad üsna sageli vanad rannikuluited.

mitte ainult rannaku ülemise osaga, vaid olenevalt meretasemest ja tormide tugevusest mõjutab ka randa, vähemalt selle rannajoone lähieümbrust. Ehk teiste sõnadega, randlat mõjutavate protsesside ulatus sõltub olulisel määral valitsevast meretasemest ja tormilaine tugevusest. Selle ilmikas näide on rannajoone asend, mis võib sõltuvalt meretasemest liikuda suurtes piirides.

Rannajoon (ingl *shoreline*; vn *береговая линия*) on maismaa ja veekogu piir, mille asend sõltub veetasemest. Eestis saab eristada aju- ehk ründeväe (kõrgeim asend), paguvee (madalaim asend) ja keskmist paljuaastast rannajoont. Seega pole rannajoon (ka veepiir) püsiv joon maismaa ja veekogu vahel. Teaduses on see kokkuleppeline joon looduses, nagu paljud muudki piirid rannikul, näiteks eri ranniku ja randlatüüpide levikualade vahel. Rannajoone pikkuse määramisel saadakse seda suurem pikkus, mida detailsemalt seda kaardil mõõdetakse.

Kui rannajoon pole ühemõtteliselt mõistetav, siis on näiteks rannikul igasuguste rakenduslike tegevuste täpsemaks orientatsiooniks veepiir, milleks on maa-ameti põhikaardi rannajoon, mis on määratud skaalal 1 : 10 000. Sageli ei lange see joon aga kokku näiteks katastriüksuste piiridega. Siin võib olla tegemist juhuslike vigadega (näiteks katastri piiri märkimine madala meretasemega) või isegi tahtlike vigadega, et laiendada maaomaniku valdusi merealale. Näiteks Tallinna linna piiresse jääva rannajoone pikkus on ametlike andmete kohaselt 46 km. Kuna rannajoone pikkuse mõõtmine on üsna subjektiivne tegevus, siis ei ole selge, kui suures ulatuses on selle 46 km hulka arvatud kunstrandu ja kaitserajatisi, nagu Pirita uus tee, ning sadamakaid ja muulid. See teeks Tallinnas rannajoone täpse pikkuse määramise võimatuks, kuna sadamasildu, kaisid, lainemurdjaid ja kaldakindlustusi ehitatakse üha juurde või rekonstrueeritakse. Seega muutub rannajoone pikkus pidevalt. Näiteks ainuüksi Vanasadamas on 21 ametlikku kaid kogupikkusega 3 km 386 m (Eesti lootsiraamat 2003). Ka on näiteks Kopli lahe päras tiheda roostikuga alal rannajoone asukoha määramine subjektiivne, pealegi rajati sinna promenaad koos kaldakindlustusega, mis muutis omakorda rannajoone asendit. Kokkuvõttes on rannajoone pikkuse mõõtmine klassikaline näide fraktaalgeomeetriast ehk mida täpsemalt me mingit joont mõõdame, seda pikema joone me saame.

3. UURIMISMETOODIKA

Randla uurimine on võrreldes mitme teise loodusliku objektiga suhteliselt ebamugav ja keerukas, kuigi esmasel lähenemisel näib randlal toimuv iseenesestki mõistetav ja selle uurimine üsna hõlbus. Nagu eelmisest peatükist nägime, koosneb randla kahest suurest ja teineteisega arenguliselt tihedalt seotud piirkonnast: maismaaline rand ja merealune rannanõlv. Samal ajal on see maismaa ja mere piiril paiknev uurimisala väga dünaamiline ja muutuv. Õeldut arvestades ei piisa konkreetse randlalõigu kirjeldamisel ühekordsest vaatlus- ja mõõtmistsüklist, mis võib uuritava ala arengust anda väärast ettekujutust. Tegelikku pildi vaatlusalala dünaamikast ja evolutsioonist pakuvad vaid ala selle lähiümbruse kordusuuringud (joonis 3.1).

Selliste looduslike tingimuste poolest väga erinevate alade – maismaa ja madala mereala – uurimine nõuab lisaks teoreetilistele teadmistele praktilisi oskusi. Randla uurimine ongi tihti peale osutunud ühekülgseks.



Joonis 3.1. Aastate jooksul randadel toimunud morfoloogilistest muutustest annavad hea ettekujutuse samast asukohast ja samas suunas tehtud kordusfotod. Eesti põhjarannikul paiknev üldkasutatav kuhjeline ja eelluidetega Aa liivane supelrand on kohalike meelispuhkepaik, nagu näeme vasakpoolsel, 1996. aasta fotol. Mõne aastaga, nagu on näha parempoolsel, 1999. aasta fotol, on supelrannast tormilainetega ärakantud suurem osa liiva, nüüd asuvad seal rohked rahnud, mis on omased kulutusrannale.

Klassikalised geograafid-geoloogid üldjuhul uurimistöde käigus vette ei lähe ja uurivad vaid randla maismaalist osa. Teiselt poolt ei saa meregeoloogide uurimislavade suure süvise tõttu madalmerre sõita. Seega on randla kui terviku uurimine jäänud paljuski eikellegi maaks. Esmasel lähenemisel uuritaksegi vaid randla maismaaosa, mis aga ei anna alati täit ettekujutust ühe või teise rannikupiirkonna kui terviku arengust.

Rannauurijate töömaa on seega oluliselt laiem kui esmapilgul võiks arvata ja haarab lisaks lainetuse poolt mõjutatavale maismaale ka tormilainete poolt mõjutatavat rannalähedast merepõhja, mis on randla ehituse ja eriti rannaprotsesside seisukohalt sageli määrava tähtsusega.

Randla maismaaosa uurimisel erilisi tehnilisi raskusi ei ole ja selleks kasutatakse üldlevinud geomorfoloogilisi meetodeid, nagu ranna pinnavormide morfoloogia ja siseehituse selgitamine, rannajoone, järsaku jalami ja perve kordusmöödistamine ning skeemide ja fotode tegemine.

Viimastel aastatel on suureks abiks maa-ameti koduleheküljel olevad eri aastakäikude ortofotod, digitaliseeritud eri aegade (alates eelmise sajandi algusaastatest, nn verstased) topokaardid ja viimastel aastatel tehtud reljeefikaardid. Selle kaardimaterjali võrdlus tänapäeva arvutustehnika ja tarkvaraga (GIS jt) aitab analüüsida randla piires toimivate dünaamiliste muutuste iseloomu ajas ja ruumis.

Tänapäeval kasutatakse välimöödistamisel moodsat elektroonset mõõtmisaparatuuri, nagu satelliitnavigatsioonisüsteemid koos maa-pealsete baasjaamadel tuginevate positsioneerivate mõteseadmetega (RTK-GPS), mis võimaldavad vähese ajakuluga ja mõnesentimeetrise täpsusega fikseerida ka väheldasi muutusi nii horisontaal- kui ka vertikaalskaalal. Sellise seadmega saab hakkama ka uurija üksinda, fikseerides näiteks muutusi rannaprofilidel rannaastangu jalami ja perve ning rannavallide ja rannajoone asendis. Selle seadmega on vaikse ilmaga võimalik uurida ka rannalähedase merepõhja ehk rannaku madalveelisel, kuni 1,5-meetrisel osal paiknevate veealuste liivaseljandike asukohta ja kirjeldada nende morfoloogiat (joonis 3.2).

Suure täpsusega korduvalt mõõdetud rannaastangu jalami ja perve asendeid on hiljem võimalik laboris töödelda ning kanda maa-ameti möõdistatud eriaegsetele ortofotodele või alusplaanidele. Nii saab võrrelda toimunud looduslikke muutusi: määrata pinnavormide kulutuse



Joonis 3.2. Sillamäe linna puhkepargi rand. Mõõdistusteks kasutatakse tänapäevast elektroonset mõõtmisaparatuuri, mis tugineb sateliitnavigatsioonisüsteemile koos maa-pälssete baasjaamadega (RTK-GPS). Kasutatakse positsioneerivat seadet Leica GS09, mille abil saab mõnesentimeetrise täpsusega mõõta looduses pinnavormide asendit nii horisontaal- kui ka vertikaalsuunas. Randla pinnavormide mõõdistamisel on see piisav täpsus.

või kuhje intensiivsust. Lisaks tänapäevasele mõõtmisaparatuurile on abi ka klassikalistest optilistest ja laseroptilistest seadmetest, niveliiridest ja teodoliitidest. Loodusprotsessidest tõepärase ettekujutuse saamiseks on vajalik vaatlusi teha samas kohas mitu korda ehk seirata rannaprotsesside kulgu ja randla pinnavormide arengut. Sel eesmärgil tuleb testalade või tugialade piiresse rajada püsiprofilide võrk, mis võiks olla seotud kas looduslike püsireeperitega, nagu hoonete vundamendid, suured rändrahnud, või olemasoleva geodeetilise võrgu ametlike reeperitega.

Tänapäevast RTK-GPS-seadet kasutades on kordusmõõdistamise käigus võimalik püsiprofilide asukohad ning nende algus- ja mõõdistuspunktid leida mõnesentimeetrise täpsusega, mis on randadel looduslike muutuste fikseerimiseks piisav. Seetõttu ei ole enam otseselt vajalik profiilvõrgustiku sidumine püsireeperitega. Ometi hõlbustab püsireeperite olemasolu profiilide asukohtade hõlpsamat taasleidmist.



Joonis 3.3. Liivaranna piirese rannajoonega risti rajatakse madal kaevis, mille seintes saab jälgida setendite kihilisust ja litoloogilisi iseärasusi. Foto on tehtud rannaurijate rahvusvahelisel ühisekspeditsioonil Bulgaaria Musta mere rannikul Kamtšija rannauuringute polügoonil 1978. aastal.



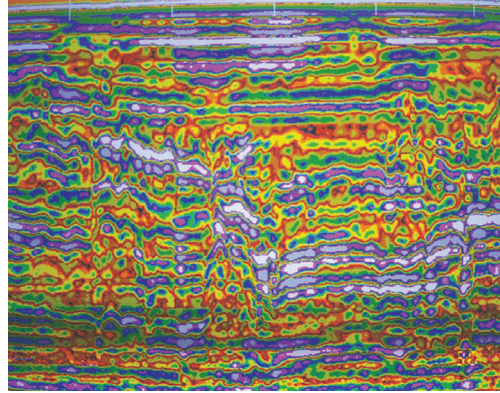
Joonis 3.4. Liivarandlal aktiivsele tormitegevusele alluva kobeda liivakihi paksuse määramisel ja proovide võtmisel on heaks abiliseks mootoriga kerge puurseade.

Kui kordusvaatluste ehk seire käigus ilmnevad vaatluspiirkonnas silmaga nähtavad muutused, tuleb seiretoid ja ristiprofiilide võrku sellesse ja võimaluse korral isegi naaberpiirkonda laiendada. Siinkohal on vajalik märkida, et rannikul toimuvad rannaprotsessid: kulutus, setete ränne ja kuhje moodustavad üksteisest sõltuva süsteemi – lito-morfodünaamilise süsteemi. Uurimise käigus tuleb neid eriilmelisi piirkondi vaadelda koos kui arenguliselt ja dünaamikalt terviklikku looduslikku randlapiirkonda.

Randla piires toimuvate dünaamiliste protsesside ja geoloogilise ehituse paremaks iseloomustamiseks tuleb selgitada pinnavormide, kaasa arvatud liivaranna setete litoloogilist iseloomu. Selleks saab teha madalaid kaeviseid näiteks risti rannajoonega (joonis 3.3) või šurfe,



Joonis 3.5. Liikudes Harilaiu poolsaare kaelal eelluidete piires maaradriga Sir 3000 ja kasutades 100 MHz antenni, on võimalik eristada eri geneesiga setendeid kuni 15–20 m sügavuseni.



Joonis 3.6. Pinnase ülemiste kihtide maaradriga sondeerimisel on saadud erinevate setendite levikupilt. Radariekraani keskosas eristub selgesti valge pinnana paekivινόlv ja selle jätkuna madal järsak, mille peal lasuvad eri paksusega kobedad setendid. Foto on tehtud mõõteseadme ekraanilt.

milles on võimalik määrata pinnavormide setete litoloogilisi iseärasusi ja kihilisust ning koguda eri kihtidest setteproove, mis annavad lisa-infot rannasetendite dünaamika kohta nii ajas kui ka ruumis. Võimaluse korral tuleb kobeda ja aktiivselt liikuva settekihi paksuse määramiseks kasutada kergeid mehhaniseeritud puurseadmeid (joonis 3.4).

Kogutud setteproovide hilisema laboratoorse litoloogilise analüüsi tulemuste ja morfoloogiliste mõõdistuste andmete analüüsi alusel saab teha järeldusi pinnavormide dünaamika, rannaprotsesside iseärasuste, kivimilise materjali (liivad-kruusad) päritolu ja kuhjumise-kulutuse iseloomu kohta.

Viimastel aastakümnetel on tehnika arenedes ka randade ehituse ja dünaamika uurimisel üha enam kasutust leidnud maaradar ehk geolokaator (joonis 3.5). See on seade, millega saadetakse pinnasesse elektromagnetlainet, mis eri tihedusega kihtidelt tagasi peegeldudes joonistavad vahetult värvikuvarile pinnase siseehitusest nähtava pildi (joonis 3.6). Pinnasekihtide pidev vertikaalläbilõige joonistub välja vastavalt radariantenniga liikumisele.

Praktikas on enim kasutatavad saate-vastuvõtuantennid, mis lähetavad elektromagnetlaineid sagedustega 500 ja 100 Mhz ning mis annavad hea pildi vastavalt kuni 5 ja 20 m sügavuseni. Aparatuuri eraldusvõime on mõnest sentimeetrist mõne meetrini. Kõrgem sagedus tähendab väiksemat töösügavust ja suuremat detailsust, madalam sagedus tähendab vastupidist. Georadari abil tuvastatakse piirkonnad, kus muutub pinnasekihtide tihedus, kihisus, koostis ja veesisaldus ning kus asuvad settesse mattunud objektid, nagu puutüved, rahnud, aga ka tehisoobjektid, näiteks paadivrakid. See geofüüsikaline meetod võimaldab saada uuritavast rannaalast, näiteks kuhjerannast, katkematu läbilõike ühel joonel (profiilpildi) ilma pinnast rikkumata. Meetod on kiire, mugav, täpne ja keskkonnasõbralik. Radari piltide abil saab suunata puurtõid või kaevamisi geoloogiliselt olulistes piirkondades.

Testaladel tehtavatest kordusuuringutest on tähtsal kohal lito-dünaamilised uuringud märgistatud setenditega, milleks on mitu võimalust. Soovitav on märgistatud setendite uuringutega samal ajal teha ka hüdrodünaamilisi vaatlusi aparatuuriga, mis salvestab merelises keskkonnas tormise mere tingimustes toimuvaid muutusi (merevee tase, lainetuse ja hoovuste parameetrid).

Kruusa-veeristiku dünaamika jälgimiseks kasutatakse valdavalt eri toonidega värvitud kivikesi (joonis 3.7), mis paigutatakse eri sügavusele rannalähedasele merepõhjale või rannale veepiiri ümbrusesse, tormilaine aktiivse mõju piirkonda (joonised 3.8 ja 3.9).

Reeglipäraselt märgistatud kruusa-veeristiku kogused paigaldatakse merepõhjale, kust on lahtine materjal juba varasemate tormidega minema kantud ja seetõttu on nende hilisem jälgimine hõlbus, kuna looduslikud ja värvitud setted ei segune. Pärast tormiperioode saab kontrollvaatluste ja -mõõdistuste käigus määrata, millises sügavuses on murdlaine merepõhja mõjutanud, kivikesi liigutanud või millisest sügavusest on neid rannale või ka sügavamale paisanud ning milline on kivikeste liikumiskiirus ja suund rannajoone piirkonnas rannal (joonised 3.10 ja 3.11). Saadud andmed kantakse varem koostatud detailsetele randlapolügoonide plaanidele, mis peegeldavad ilmekalt selles piirkonnas rannavallide piires toimunud muutusi (joonis 3.12). Oluline on seejuures nende litodünaamiliste vaatlusandmete sidumine merekeskkonna hüdrodünaamiliste parameetritega.