

Rannikuprotsesside kursuse aine

ehk sissejuhatus ranniku ja rannikumere funktsioneerimisse

Oleme vist kõik kunagi käinud mererannal. Paljud on puhanud rannikul või isegi elavad ranniku lähistel. Kes on aga viibinud pikemat aega mere lähistel, on kindlasti märganud, et meri justkui hingaks. Rand on erinevatel päevadel üsna erinev. Osa muutusi on vähemärgatavad ja kaovad ruttu – näiteks ajutistest kõrgetest või madalatest veeseisudest tingitud maismaa ja vee kujuteldava piirjoone nihkumine. Vahel vaid tundub, et rannal on vähem või rohkem linde kui eelmisel korral, või et liivariba kinnikasvanud luidete ja veepiiri vahel on kitsam. Linnud võivad sel hetkel olla lihtsalt oma asju ajamas ning osa liiva vihma poolt märjaks tehtud. Teine osa muutustest on üsna dramaatilised, näiteks liiva- ja moreenrandade äkilised muutumised tugevate tormide mõjul. Nõnda hammustavad tormid vahel suuri tükke randadest.

Rannikul toimuvad muutused on mureks väga erinevatele inimestele üsna erinevatel põhjustel. Lausa mere ääres elavatel või seal maad kasutavatel peredel on meri osa nende elust. Majandusmehi huvitab, et rannikupiirkond ei oleks ületamatuks tõkkeks majandustegevusele. Looduskaitsetele on tähtis, et rannalähedased ökosüsteemid funktsioneeriks segamatult. Riigimeeste jaoks on suur osa rannikust samaaegselt ka piiritsoon, mis siis, et praegu vaid sõbralike riikidega.

Mis on rannik

Rannik on piirkond, kus saavad kokku kolm ürgjõudu neljast: maa, vesi ja õhk. Teisi sõnu, see on eriline ala, mida otseselt mõjutavad nii maismaal, merel kui ka atmosfääris toimuvad protsessid. Selline kolmikmõju on seda keerukam, et elu maismaal baseerub mageda vee kättesaadavusel, kuid mere ökosüsteem funktsioneerib soolases vees. Läänemeres on see barjäär natuke madalam ning mitmed liigid on kohastunud eluks nii magedas kui ka mere riimvees, kuid avaookeani puhul on kontrast magevee- ja mere-elustiku vahel üldiselt väga tugev. Niisiis on rannikuala ennekõike mitme keskkonna ühiste mõjude vallas olev piirkond.

R.W.G. Carter (2002) määratleb rannikupiirkonna järgnevalt:

Rannikupiirkond on ala, kus meri mõjutab oluliselt maismaa elukeskkonda ning maismaa mõjutab oluliselt mere elukeskkonda.

Rannikuala laius erinevates tingimustes võib olla väga erinev ning aja jooksul muutuv. Sellel pole rangelt määratletud piire. Tavaliselt eksisteerivad rannikuala servadel koos nii rannikuspetsiifilised ökosüsteemid kui ka maismaa elustik ühel pool ning mereökosüsteemid teisel pool. Rannikupiirkonna määratlused füüsikaliste, bioloogiliste, geoloogiliste või kultuuriliste tunnuste alusel võivad olla erinevad.

Kuna rannikuala mõjutab suurem hulk mitmesuguseid tegureid nii mere kui ka maismaa suunast, on rannikuala määratlusse teatavas mõttes sisse programmeeritud *muutlikkus*, nii selles mõttes, et tingimused rannikuala erinevates kohtades võivad olla suuresti erinevad, kui ka selles mõttes, et rannikuala ise on aldis muutuma.

Rannikupiirkonnale mõjuvate tegurite hulk tingib selle, et nende mõju enamasti avaldub *mitmesuguste tegurite kombinatsioonina*. Seetõttu on üsna haruldane, et rannikupiirkonna funktsioneerimises miski oleks väga lihtne või kergesti arusaadav. Rannikuga tegeledes ja sealseid protsesse analüüsid peaks põhilise meetodilise võttena olema *kasutusel süsteemne lähenemine*.

Rannikul ilmnevad probleemid

Inimkonna suhted rannikuga on ilmselt sama vanad kui inimkond ise ning sama keerukad kui inimesed ise. Võib arvata, et kauges minevikus hankisid inimesed rannikult toitu ning, eriti meresõitjate jaoks, oli rannik turvaline koht. Tööstuse arenedes tekkisid enamasti just rannikule majanduse ja kaubanduse raskuskeskmed. Viimastel aastakümnetel on rannikud muutunud aga hoopis puhkemajanduse keskmeiks ja prestiižikaks elukohaks. See tähendab, et rannapiirkonna kasutamine järjest intensiivistub ning ühe vähem randasid areneb vaid looduslike tegurite mõjul.

Rannapiirkond on inimkonna ühine varandus. Et see on samas ka üks tundlikumaid alasid, tuleb ranna suhtes toimida erilise ettevaatusega, säilitamaks selle majanduslikku potentsiaali ja atraktiivsust puhkealana. See on võimalik vaid mitmekülsetele teadmistele ja hoolikale planeerimisele rajatud tegevuse kaudu. Randade jätkusuutliku arengu aluseks on rannapiirkonna ja rannas funktsioneerivate (öko)süsteemide laitmatu tundmine, mis võimaldab tasakaalustada neile mõjuvaid uusi tegureid, minimeerida inimtegevuse riske ning paljudel juhtudel isegi oluliselt vähendada looduslike protsesside destruktiivset mõju.

Rannikupiirkonna spetsialistide – rannikuinseneride või rannikutehnikute – ees on suur hulk erinevaid ülesandeid. Absoluutne enamus neist eeldab heal tasemel teaduslikku lähenemist leidmaks majanduslikult õigustatud ning minimaalsete kahjulike tagajärgedega lahendusi. Praktiliselt kõik need vajavad erinevate huvigruppide – arendajad versus rohelise mõtteviisiga kodanikud, insenerid versus geoloogid, maaomanikud versus puhkajad jne. – vahel hõõguvate konfliktide teadvustamist ja silumist. Mõningaid probleeme aitaks juba eos vältida parema (põhi)koolihariduse, eelkõige merehariduse, kinnistumine. Mitmeid vastuolusid on võimalik reguleerida vaid seadusandluse või kohtulahendite kaudu. Mõned mured on teada varasematest kogemustest, olgu siis kohalikest või muudes maailma osades läbi elatud, ja nende vastu on võimalik end ette valmistada. Osa on jälle sellised, mis on väga kohaspetsiifilised ja mida on võimalik lahendada vaid suurte jõupingutustega.

Paljudes riikides, eelkõige juhtivates mereriikides, ehk veidi ka Eestis, on rannikuprobleemide valdkonnas teadlikult võetud kurss probleemide otseselt lahendamisele nende vältimisele. See on tarkade poliitika, mille kinnistamisele suunatud ka rannikuprobleemidele orienteeritud õppeained.

Maailmas on kaasajal saanud olulisteks mitmed rannikupiirkonna mured, aga ka rannikualade võimalused globaalprobleemide lahendamiseks. Carter (2002) esitab neist järgmise nimistu:

Ookeani veetaseme tõus. Maailmaookeani veetase on tasapisi tõusmas. See ähvardab otseselt kümneid miljoneid inimesi, kes elavad aladel, mis jäävad veel alla juba väikese veetaseme tõusu korral. Veetaseme tõusu stsenaariumid on üsna erinevad, kuid realistlikuks peetakse 50 cm kuni 1 meetri suurust tõusu XXI sajandi lõpuks. Veetaseme tõusu algpõhjused ei ole päriselt selged, kuid suure tõenäosusega on selles oluline roll CO₂ ja kasvuhoonegaaside suurenenu emissioonist tingitud kliima võimalik soojenemine. Paljude ekspertide arvates on veetaseme tõusuga seotud meetmete adekvaatsus tõsisem väljakutse rannikutehnikale tervikuna.

Tormikahjustuste leevendamine. Ennekõike puudutab see problemaatika randu, mida sageli tabavad troopilised tsüklonid. Viimastel aastakümnetel on need mured aga järjest suurenemas ka parasvöötmes ning ka seni võrdlemisi rahulikuks peetud Skandinaaviamaades ja Baltikumis. Tormid tabavad kõige rängemalt just rannikualasid ning sisemaal üldiselt nõrgenevad kiiresti. Järjest tihenev asustus rannikul tähendab, et ühe rohkem inimesi on ohus. Kuigi tormiennustuste täpsus ja usaldusväärsus järjest paranevad, on rannikualade planeerimisel ja rannikutehnikal tervikuna oluline roll riskide maandamisel.

Ranniku erosiooni ohjamine. Viimastel aastakümnetel on mitmed traditsioonilised rannajoone kindlustamise võtted saanud tõsise kriitika osaliseks. Need tagavad küll teatava kaitse kindlustuste taga, kuid sageli ei arvesta ranna kui terviku muutumisega ning põhjustavad rannapurustuste intensiivistumise hoopis lähinaabruses. Paljudel juhtudel on võimalik erosiooni ohjata alternatiivsete võtetega, mis põhinevad suurema rannaosa kui terviku dünaamikal.

Kaitse üleujutuste eest. Ranniku lähistel paiknevate suhteliselt madalaid piirkondi kaitstakse kõrgete tõusude ja tulvavee eest enamasti klassikaliste võtetega ehk kõrgete tammidega. Nende ehitamine on astronoomiliselt kallis ning rikub pikaks ajaks loodusliku tasakaalu. Paljudel juhtudel on võimalik ja vajalik rakendada teistsuguseid meetodeid, mille puhul kaitseehitiste maksumuses on arvestatud ka keskkonnakaitselisi argumente ja mis on optimeeritud koos võimalike kahjude maksumusega.

Puhkemajanduse destruktivne mõju. Järjest intensiivsem randade kasutamine rekreatsiooniks on tekitanud hulgaliselt keskkonnakaitselisi, majanduslikke ja kultuurilisi muresid. Puhkealade laienemine on destabiliseerinud mitmeid varem tasakaalustatud kogukondi. Euroopas on see kõige märgatavam Vahemeremaades, kus paljud rannaalad ja väikesaared on üleüllastatud turismitööstusest, mis on sisuliselt lõhkunud traditsioonilise elustiili ja varem eksisteerinud kohaliku majanduse. Sellega kaasneb sageli tundlike ökosüsteemide ja füüsikaliste koosluste kahjustamine. See aga õõnestab puhkemajandust ennast, kuna paljudel puhkekohtade atraktiivsus baseerub nimelt nendel tundlikel kooslustel.

Poldrite kuivendamine ja deltade ning estuaaride majandamine. Tohutud alad rannajoone läheduses, mida meri kõrgete veeseisude ajal varem üle ujutas, on nüüd kuivendatud. Suur osa Hollandist paikneb allpool tõusu maksimumi. Enamasti on need alad varem olnud kõrge bioproduktiivsusega, kuid tekkinud uus rannikuala ehk kaitsetammi nõlv ei pruugi seda olla. Kuna mere bioloogiline produktiivsus on suuresti sõltuv nn hällialadest (kalakoelmud, veelindude pesitsusalad jne.), mis rannikualade aktiivsel majandamisel vähenevad, on tekkinud akuutne oht, et mere kui terviku bioproduktioon võib väheneda. Sellega kaasneb jõesängide ja deltade ümberkujundamine, mille tõttu muutub drastiliselt deltade hüdraulika ning varem eksisteerinud setete transpordi ja veevahetuse tasakaal.

Rannikuprotsessid energiaallikana. Nii elektriyaamade ehitamine rannavööndisse kui ka rannale saabuva tuulelaineri ja loodete energia rakendamine toob endaga kaasa tõsiseid probleeme. Loodelektriyaamade keskkonnamõju üle on palju spekulatsioonid, kuid suurejoonelisi projekte on seni vähe teoks tehtud. Euroopas on tuntuim Rance'i jõe suudmes paiknev elektriyaam. Laineenergial kasutavad elektriyaamad on seni pilootprojektide staadiumis. Mõlemal juhul on tegemist ulatuslike ehitistega rannapiirkonnas, mille mõju eeldatavasti laieneb ulatuslikule merealale ning väga tõenäoliselt on piiriülene.

Heitvesi. Merd on vist iidsestest aegadest peale peetud universaalseks prügikastiks, kuhu võib visata mistahes asju ja aineid, millest inimesed tahavad lahti saada. Nii rannavööndisse kui ka sügavamatele merealadele on uputatud kõikvõimalikke asju ja aineid, alates praktiliselt kahjutust liivast ja lõpetades kõrgtoksiliste keemiarelvadega. Vastutustundetud heitvetete merre laskmine ja potentsiaalselt ohtliku materjali kaadamine põhjustab sageli ulatuslikke füüsikalisi ja ökoloogilisi häireid merekeskkonnas. Need võivad tipneda saasteainete eluohtlike kontsentratsioonidega mere üksikutes piirkondades, haigetest hüljestest või ohtlikult saastunud kaladest rääkimata. Enamasti ei põhjusta taoline toimimisviis küll kohest ja otsest ohtu inimestele, kuid peidab endast pea alati viitsütikuga pommina keskkonnatingimuste ja ökosüsteemi järkjärgulist degradeerumist, mis avaldub ökoloogilise mitmekesisuse taandumises ning rannikupiirkonna elustiku kahjustustes.

Rannikuökosüsteemide jätkusuutlik majandamine ja nende ökoloogilise mitmekesisuse tagamine. Ranniku ökosüsteemide üksikute osade mõõdutundetu eksploateerimine ja oskamatu ümberkujundamine päevapoliitikast lähtudes või kiire kasu saamiseks viib enamasti üsna kiiresti nukrate tagajärgedeni. Sageli rikutakse ranna ökosüsteemi struktuur, millega kaasneb produktiivsuse vähenemine ja liigilise mitmekesisuse allakäik. Suur enamus ranniku ökosüsteemidest on delikaatses tasakaalus, mille aluseks on paljudel juhtudel toitainete vähesus ning nende efektiivne tarbimine. Toitainete voo järsud muutused, olgu siis vähenemise või rikastumise suunas, võivad põhjalikult rikkuda olemasoleva tasakaalu. Mõõdutundetu rannavööndi eksploateerimine on rannale kui dünaamilisele kooslusele väga ohtlik ning võib põhjustada nii ökosüsteemi hävitamise kui ka sellele sageli järgnevaid tõsiseid morfoloogilisi muutusi.

Soolase vee tungimine põhjavette. Rannapiirkonna aktiivne majandamisega kaasneb tavaliselt mageda vee tarbimise järsk suurenemine. Põhjavee intensiivne väljapumpamine, kui see pole tasakaalustatud maismaa poolt juurde tuleva veega, põhjustab sageli merevee tungimist põhjavette. Põhjavee ülemäärane kasutamine võib ka põhjustada rannalähedase maismaa teatavat vajumist ning üleujutuste ohu suurenemist.

(Aluseks: W.G. Carter, Coastal Environments, An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines, 8th printing, Academic Press, Amsterdam 2002, I peatükk, lk. 1-4)

Ranniku muutumine

Paradoksaalselt on ranniku muutumine kui selline alatine, seega muutumatu nähtus. Kuna rannikualasid mõjutab suurim hulk tegureid üheaegselt, on rannikud kõige kiiremini muutuvate piirkondade seas. Muutumisest kõneledes peab muidugi silmas pidama, et sel mõistel on palju tähendusi. Rannikul seisneb muutumine ka konkreetsete klibutükkide asendumises teistega, kuigi rannavööndi parameetrid sellest ei muutu. Lisaks on mitmed muutused tingitud perioodiliselt muutuvatest välisjõududest ning ka ise kvaasiperioodilised (so algne situatsiooni taastub teataval määral mingi aja möödudes). Mitmetes randades toimub sügistalvisel tormisel ajal tugev erosioon, mis asendub aeglase juurdekasvuga kevadsuvisel ajal; seejuures aasta lõikes ei pruugi muutused kuigi suured olla.

Suurimad muutused rannaprotsesse põhjustavates tegurites on vähemalt aastase perioodiga. Seetõttu on perioodiliste kõikumiste ja pikaajaliste muutuste eristamiseks vajalik randa jälgida üsna pika aja vältel. Kalasaakide suur ebahütlus üksteisele järgnevatel aastatel ei pruugi olla katastroofi tunnus, kuid trendid paari aastakümne väljapiükides peegeldavad kindlasti kalavarude pikaajalist muutumist. Samuti on üldiselt vaja mitmeid aastaid kestvat rannaprotsesside seiret otsustamaks, kas mingis rannaosas toimub liiva kuhjumine või ärakandumine. Lisaprobleemi tekitavad siin üksikud ekstreemsed tormid, mis löövad segamine rannaprotsesside tavalise käigu ning mille mõjul võivad tegelikud trendid moonutada mitmeteks aastateks.

Ajamastaap on rannaprotsesside analüüsil, klassifitseerimisel ja võimalike trendide prognoosil seega ääretult oluline. Vaatleme näitena ranniku erosiooni probleemi, oletades, et mingil põhjusel alustati ranniku monitooringut (seiret ehk jälgimist), et teha kindlaks muutuste iseloom. Esimene küsimus on siin: mida tuleb üldse mõõta? Sellel küsimusel on vähemalt kaks aspekti. Mõõdetavad suurused peavad olema piisavalt tundlikud kirjeldamiseks muutuste üldist iseloomu ning samas piisavalt usaldusväärsed, et nende põhjal teha kaugeleulatuvaid järeldusi. Teiseks, vaatluste ulatus nii ajas kui ruumis peab olema põhjendatud ning vaatlusala või –punktid ning ka vaatlusaeg hoolikalt valitud. Liiga suure ala jälgimine on kulukas ning ei pruugi anda teavet vajalike protsesside osas. Liiga väikese ala jälgimine võib viia täiesti ebaadekvaatsete järeldusteni. Vaid siis, kui jälgimissüsteemi ruumiline ulatus, ajaline kestus

ning parameetrite valik on hoolikalt tasakaalustatud, on võimalik saada adekvaatne pilt ranna muutustest.

Vaatleme näiteks rannanõlva kalde jälgimist avaookeani rannas. Sellisel juhul tuleb mõtetehekede valikul arvestada tõusu-mõõna perioodilisusega ning oleks rumal teha mõõtmisi kindlal kellaajal. Muidugi oleks võimalik hea tahtmise juures ka neist andmetest midagi välja lugeda, aga asjatute materiaalsete kulutuste ja ajakao hinnaga. Loogiline on valida mõõtmisteks üks ja sama tõusu-mõõna faasi hetk, olgu siis mõõna miinimum, tõusu maksimum või hetk, mil veetase ühtib paljuaastase keskmisega. Mõõtekohaks tuleks valida koht, mis piisavalt hästi esindaks rannas toimuvaid protsesse, nii et luidete taga kulgeval maanteel ei tasuks mõõtma hakata.

Mõõtmisi ei maksa teha liiga tihti, vaid ikka sellise ajavahemiku tagant, mil midagi üldse toimuda võib. Rannaprotsesside puhul on loogiliseks mõõtmisintervalliks suurimate väliste mõjurite perioodiga võrreldav või sellest pikem ajavahemik. Iga laine järel kindlasti ei tasu mõõta enamust parameetreid, ja suure tõusu-mõõna kõrgusega aladel oleks loogiline teha rannanõlva kalde mitte sagedamini kui üks kord loodete perioodi kohta ehk maksimaalselt kaks korda päevas. Samas selgus 2008.a. laevalainete ja nende mõju uuringute raames Aegna rannas, et juba ühe kiirlaeva järellainetus võib rannast ära uhtuda sadu liitreid setteid. Taoline asjade käik on küll võrdlemisi ebatavaline, kuid mitte välistatud.

Mõõtmise tulemuste alusel saab hinnata konkreetse rannaosa (morfoloogilise elemendi) tundlikkust erinevatele välismõjudele ning selle alusel omakorda informatsiooni hulka, mida konkreetse rannaosa jälgimine etteantud intervalliga üldse anda võib. Lühikeste ajavahemike vältel rand palju ei muutu, sest ranna reageerimisaeg on ikkagi vähemalt minutites. Mõõtmisintervalli suurendamisel teatava piirini on võimalik märgata järjest suuremaid muutusi ranna iseloomus. Kui aga intervall ületab perioodiliste või kvaasiperioodiliste muutuste perioodi, võib mõõtmine anda hoopis väiksema summaarse muutumise. Kui mõõtmine toimub pikaajaliste (kvaasi)perioodiliste muutuste konstantse faasi hetkel, on ranna muutus eelmise mõtetehekega võrreldes tõenäoliselt palju väiksem kui erinevatel faasi väärtustel. Samuti tuleb ette olukordi, mil pikaajalised tugevad trendid võivad olla maskeeritud lühiajalise muutlikkusega.

Kokkuvõttes võib öelda, et rannas toimuvate nähtuste täpne mõõtmine on sügavalt mittetriviaalne ülesanne, mis korraliku mõõtetehnika kõrval nõuab ka head teoreetilist ettevalmistust ning protsesside olemuse mõistmist. Tegelikult on see õige pea kõigi looduslike süsteemide puhul. Rannikutehnikas on olukord lihtsalt keerulisem mitmest valdkonnast lähtuvate mõjutuste tõttu.

Ranna muutumise kontseptsioon ei ole tegelikult uus. Juba keskajal jälgiti rannaprotsesside kulgu, eelkõige seoses sadamate kinnikandumise ja merest toidu hankimisel. Huelva sadam praeguse Hispaania territooriumil Portugali piiri lähistel, kust Kolumbus startis Indiasse viivat veeteed avastama, on praegu lihtsalt heinamaa. Ristisõitjate üks olulisi baase ja sadamalinnu Aigue Mort on tänapäeval kilomeetreid rannast eemal. Brugge, kunagi tähtis sadamalinn Belgias, on samuti lausa keset maad. On päris kindel, et selliseid muutusi panid tähele ka spetsialistid, kes tol ajal sadamate ja meresõiduga tegelesid. Kaasaegne arusaam on võib-olla teinud sammu edasi vaid selles suunas, et püüab muutusi rannas kirjeldada dünaamilistena ning seostatuna neid põhjustavate jõududega. Vastavate seoste ekstraheerimine olemasolevast andmete massist on tõsine väljakutse teadlastele ja inseneridele.

Rannikutehnika ja rannikuprotsesside valdkonnas pärinevad mitme parimad vihjed geoloogidelt, meteoroloogidelt, merefüüsikutelt ja viimasel ajal ka bioloogidelt. Viimastel aastakümnetel on nende valdkondade lähenemisnurk, nagu ka enamusel teistel tänapäevastel teadussuundadel, revolutsiooniliselt muutunud. Põhirõhk on nihkunud olukorra staatiliselt

kirjeldamiselt ja klassifitseerimiselt dünaamiliste protsesside analüüsile ja nendevaheliste seoste mõistmisele. Sellega on kaasnenud edusammud vastavate teaduste metodoloogias ja järjest keerukamate tehniliste vahendite kasutuselevõtmine. Päril viimastel aastatel on lisandunud mõõtmismeetodite kiire täiustumine ja tohutult laienenud andmevahetus- ja töötlussüsteemid. Nendes valdkondades toimunud edusammud on alles hakanud mõjuma välitöödega otseselt seotud teadusvaldkondadele, nende seas ka ranniku-uuringutele.

Ajafaktor rannikuprotsessides

Rannikupiirkonnas toimuvate muutuste otseselt või kaudselt tehtavad mõõtmised moodustavad nii praegu kui ka tulevikus efektiivse ja jätkusuutliku ranniku haldamise nurgakivi. Siiski pole piisav piirduda vaid mõõtmisega või lihtsalt rannikuprotsesside seirega, pööramata tähelepanu neid põhjustavatele protsessidele. Põhjuslike seoste leidmise ja kasutamise poolt on palju argumente:

- (i) Tegelike põhjuste ja mehhanismide väljaselgitamine võimaldab palju paremini protsesside käiku mõista ning adekvaatselt prognoosida.
- (ii) Vastavad uuringud ja järeldused on universaalsed ning rakendatavad kõigis analoogilistes kohtades.
- (iii) Toetumine vaid ranna reaktsiooni indikaatoritele võib jätta kahe silma vahele tegelikud ohud, mis ei pruugi ilmnedagi kohe.
- (iv) Keskkonna negatiivne reaktsioon ei pruugi ilmnedagi kohe (vähemalt mitte seni, kuni ökosüsteemi iseorganiseerumisvõime säilib); samuti võivad juhuslikku laadi välismõju puhverdada negatiivseid tegureid.
- (v) Rannaprotsesside reaktsioon on paljudel juhtudel läveline, st ilmneb alles siis, kui välised mõjud on saavutanud teatavat läve ületava intensiivsuse. Klassikaline näide on pangajärsaku evolutsioon. Panga ülemise serva vaatlus või panga taganemine annab väga vähe informatsiooni panga kulutust tegelikult kontrollivatest teguritest.

Loomulikult on rannaprotsesside põhjuslike seoste teadmine määrav nende tagajärgede leevendamisel või protsesside stabiliseerimisel.

Olukorra teeb veel keerukamaks asjaolu, et paljud mõjutused on kumulatiivse või ajas summeeruva iseloomuga. Teisi sõnu, muutused rannas on tingitud mitte lihtsalt mingi mõjuri hetkelisest intensiivsusest, vaid ka selle teguri ajaloost. Nii näiteks areneb kõrge ja pika perioodiga tuulelainetus vaid siis, kui tuul puhub püsivalt enam-vähem sama kiirusega ja peamiselt samast suunast. Vahel öeldakse, et rannaprotsessidel on mälu. Selle mälu pikkus varieerub eri rannalõikudes märgatavalt.

Viimase paarikümne aasta uuringud on näidanud, et ranna evolutsioon toimub paljudes kohtades kiirete hüpetena ekstreemsete ilmastikutingimuste korral, mille vahel on kohati mitmete aastate pikkused väga aeglase evolutsiooni perioodid. Enamus Eesti randadest esindavad just seda tüüpi.

Antropogeensed mõjutused

Inimtegevuse mõju rannapiirkonnale on üldiselt suurem kui julgetakse uskuda. Inimmõju avaldub ääretult erinevates mastaapides ja vormides (järjepidev või ühekordne, ettekatsetud või juhuslik jne.). Kriitiline tegur on rannikualade võime inimtegevust puhverdada või neutraliseerida.

Väga raske on juhuslikule vaatlejale või rannaprotsessides halvasti orienteeruvale spetsialistile selgitada tõsiasi, et suhteliselt mastaapsed muutused võivad alguse saada inimeste pealtnäha üsna tagasihoidlikust sekkumisest ranna funktsioneerimisse. Klassikaliseks näiteks on poldrite ja kaitsetammide ehitamise ning rannajoone kaitse meetmete kaugmõju. Näiteks paljudes Iirimaa randades on praeguseks selgunud, et tänapäeval toimuv ranna erosioon on tegelikult põhjustatud 100 aastat tagasi naaberpiirkonda ehitatud kaitsetammidest. Kuigi seos on ekspertidele ilmne, on seda mittespetsialistidele võrdlemisi keerukas selgitada teha. Probleem pole siin ekspertide tasemes, vaid asjaolus, et rannapiirkonnas ja meres valitsevad teised reeglid ja kehtivad teised seadused maismaaga võrreldes. Nende seaduspärasuste selgitamine ja adekvaatse retseptiooni saavutamine on rannapiirkonna jätkusuutliku haldamise üks võtmetingimustest.

Kuigi seaduseandjad ja täideviiva võimu esindajad enamasti ei ole kursis rannikuala spetsiifikaga, hindavad nad sageli kõrgelt rannikupiirkonna väärtusi, ent teevad seda teadvustamata sealsete probleemide keerukust. Sellist suhteliselt asjatundmatut kõrget hinnangut tavaliselt ei võeta arvesse näiteks aatomielektriijaama asukoha valikul, kus kaasatakse praktiliselt alati vastava ala tippspetsialistid. Kahjuks ilmneb taoline ebakompetentsus sageli rannapiirkonna küsimuste otsustamisel, kus asjad kulgevad pealtnäha rahulikult, plahvatusi või katastroofe lähitulevikus ei paista ning kus valede otsuste tagajärjed ilmnevad parimal juhul mitme aasta pärast ning halvemal juhul jäävad järgmisi põlvkondi koormama.

(Aluseks: W.G. Carter, Coastal Environments, An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines, 8th printing, Academic Press, Amsterdam 2002, I peatükk, lk. 8-11)

Füüsikalised protsessid rannikualas

Vesi, õhk ja nende raamid

Rannikupiirkonna spetsiifika seisneb tahke aine (maismaa), vee ja õhu pidevas vastasmõjus. Aero- ja hüdrodünaamiliste protsesside tüüpilised ajamastaabid ulatuvad sekundikümnedikest (tuulepöörised, liivaterade edasikanne) ookeani vanusega võrreldavatesse ajavahemikesse (suurusjärgus 10^{10} sekundit), ning nende ruumiline ulatus mõnest millimeetrist mitme tuhande kilomeetriteni. Paljude füüsikaliselt erinevate nähtuste aja- ja ruumimastaabid kattuvad, mis teeb nende (mõju) eristamise üsna keerukaks.

Praktiliselt kogu Maa pinnal pulbitsev dünaamika saab alguse Päikeselt saabuvast energiast. See jaotub ümber erimastaapsete liikumiste kaudu väga erinevates vormides. Päikesekiirguse intensiivsus Maa orbiidil on 1372 W/m^2 (Wikipedia: 1367 W/m^2). Maa pind on osaliselt otsese päikesekiirguse eest varjatud ning sageli langeb kiirgus Maa pinna suhtes suure nurga all. Keskmise Maa pinnale langev päikeseenergia on seetõttu palju väiksem, ligikaudu 340 W/m^2 . Regionaalsed ja kohalikud erinevused kiirguse neeldumises ja tagasipeegeldumises (ehk albeedo) tekitavad olukorra, kus erinevad Maa piirkonnad saavad erineva hulga energiat; teisi sõnu, osa kohti on soojemad ja teine osa külmemad. Suurima hulga kiirgusenergiat saab ekvaatori ümbrus, seetõttu tekib paratamatult soojuse transport madalamatelt laiuskraadidelt kõrgematele ehk ekvaatorilt poolust suunas. Põhiosa sellest transpordist toimub atmosfääri liikumiste ehk tuulte ja vee voolamiste ehk väiksemal määral jõgede ja järvede ning suurelt jaolt hoovuste kaudu. Rõhu ja temperatuuri erinevused Maa pinnal põhjustavad liikumisi, mis on algselt suunatud piki erinevuste gradiente ning mis püüavad erinevusi kompenseerida. Neid liikumisi (tuult ja hoovuseid) mõjutab omakorda Maa pöörlemine, mis Maa pinnal olevale vaatlejale avaldub Coriolise jõu näol ning mis sunnib tuuli ja hoovuseid kalduma põhjapoolkeral paremale ja lõunapoolkeral vasakule.

Õhk ja vesi liiguvad Maa atmosfääris ja ookeanis võrdlemisi intensiivselt. Konkreetsete õhu- ja veemasside füüsikalised ja keemilised omadused (rõhk, soolsus, hapnikusisaldus, temperatuur) on sageli üsna püsivad ning võimaldavad teatavatel juhtudel isegi määratleda, konkreetse õhu- või veemassi päritolu. Taolisi masse liigitatakse sageli *troopilisteks, polaarseteks, kontinentaalseteks, merelisteks* jne. Õhu- ja veemassidel on tendents liikuda Maa pinnal ning meres mööda võrdlemisi kindlaid marsruute. Nende vastasmõju Maa pinnaga või merepõhjaga modifitseerib nende liikumist, mis võib vahel kaotada organiseeritud iseloomu. Sellistel juhtudel võivad liikumised muutuda ebastabiilseiks ning tulemusena tekib erinevate vee- ja õhumasside segunemine.

Rannikupiirkond mõjutab väga tugevasti õhu ja veemasside liikumist, eriti juhul, kui on tegemist kõrge rannaga (Eestis – klindiga). Paljudel juhtudel on veepinna ja maismaa reljeef kardinaalselt erinevad ning rannajoon kujutab endast piiri suhteliselt sileda pinna ja keeruka reljeefiga (pinnavormid, mets, hooned) piirkonna vahel. Sellistes situatsioonides on päris tavaline, et õhumassid ei suuda tungida maismaale ning neil on tendents liikuda piki rannajoont. Lisaks sellele on maismaa ja atmosfääri vaheline energiavahetus väga erinev ookeani ja atmosfääri vaheliselt energiavahetusest. Seetõttu on merelised ja kontinentaalsed õhumassid sageli üsna erinevate omadustega. Selline erinevus omakorda tähendab, et atmosfääri frontidel (s.o. erinevate õhumasside kokkupuutepiirkondadel) on üldiselt tendents orienteeruda rannajoone järgi. Nimelt kirjeldatud asjaolu on sageli põhjuseks, miks atmosfääri frontidega seotud tormipiirkondadel ja –vöönditel on tendents vältida maismaad ning kontsentreeruda suhteliselt kitsastele merealadele nagu La Manche'i väin (Inglise kanal) või St. Lawrence'i laht.

Veemasside liikumist mõjutab kõige enam merepõhja batümeetria ja rannapiirkonna topograafia. Külmemad ja soolasemad, seega ka tihedamad, veemassid enamasti liiguvad sügavamale ning paiknevad üldjoontes ookeani süvakihtides. Need liiguvad enamasti piki süvikuid. Soojad troopilised veemassid on üldiselt veidi väiksema tihedusega ning liiguvad ookeani pinnakihi, sh. sooja vett ekvaatorilt kõrgematele laiustele kandvate hoovustena

(Aluseks: W.G. Carter, Coastal Environments, An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines, 8th printing, Academic Press, Amsterdam 2002, I peatükk, lk. 11-13)

Rannikuprotsesside mõistmisest

Maailma rannajooned, mis lahutavad maismaad merest, kujutavad endast *unikaalseid geoloogilisi keskkondi*, mida mõjutavad mitte vähem *unikaalsed füüsikalised protsessid*. Suure osa rannajoone lähistel paiknevatest piirkondadest moodustavad alad, mille taimkate peaaegu puudub ning mille pinnakate koosneb kas liivast, väiksematest kividest, klibust või mudast. Selliseid piirkondi kujundavad katkematult lained, hoovused ja tuuled. Hoolimata sellest, et nii lainetuse ja tuulte omadused erinevates maailma paigus kui ka veepiiri ümbruse pinnakatte koostis võib suurtes piirides varieeruda, on *randade iseloom ja funktsioneerimine sageli imekspandavalt universaalne*¹.

Laineid tekitavad avamere tohutute avaruste kohal puhuvad tuuled. Merel võivad lained koguda endasse tuule mõju väga suurtel merealadel. Lainetesse akumuleerunud energia ja impulss vabanevad aga üsna kitsas rannaäärses vööndis – murdlainete tsoonis. Lainete

¹ Eesti keeles kasutatakse nii ranna jaoks üldiselt kui ka klibu- ja liivarandade jaoks ühte ja sama sõna. Inglise keeles tehakse neil vahet, kasutades ‚coast‘ ranna jaoks üldiselt ning ‚beach‘ liiva-, klibu- ja mudarandade jaoks. Enamasti on sõna ‚rand‘ tähendus kontekstist üheselt mõistetav. Kui aga on vaja teha selget vahet, siis kasutame allpool sõna ‚liivarand‘ teatava domineerava terasuuruse vahemikuga (mudast või peenliivast klibuni) randade jaoks. Samuti kasutame sõna „setteosake“ samasse terasuuruse vahemikku kuuluvate pinnakatete tähistamiseks.

murdmise kaudu selles piirkonnas muutub organiseeritud laineline liikumine pealtnäha kaootiliseks turbulentsiks segunemiseks (turbulentsiks). Lainete murdmisel tekkiv turbulentsil on kandev roll randa moodustavate setteosakeste liikumapanemisel ja veesambasse tõstmisel. Murduvad lained tekitavad rannajoone lähistel nii piki randa liikuva hoovuse kui ka rannaga risti suunatud vee voolamise. Need hoovused võivad kanda tohutuid koguseid rannas paikevat settematerjali nii piki randa kui ka risti randa. Avaookeani randades kannavad need sageli sadu tuhandeid kuupmeetreid liiva aastas ühest kohast teise.

Sellele maismaad ja merd lahutava ning dünaamiliselt erakordselt aktiivsele ribakesele on inimesed kogu inimkonna ajaloo vältel püüdnud jätta oma jälge, ehitades sinna oma vajadust ja äranägemist mööda kõikvõimalikke struktuure. Sadamad ja randumiskohad² on antiikajast peale olnud sõjaväe ja majandusnimiste erilise huvi objektiks. Neid on kasutatud nii mereväe baasideks kui ka väravateks mere- ja maismaateede vahel. Sageli on neist kujunenud tähtsad metropolid ja tsivilisatsiooni keskmed. Suhteliselt hiljuti on rand kujunenud majanduslikus mõttes oluliseks ja turismi- ja puhkepiirkonnaks. Rannapiirkondade arendamine on praeguses jõudnud sinnamaani, et üle 50% USA elanikkonnast elab praegu vähem kui 50 miili (80 km) kauguselt rannajoonest. 1995. aasta hindades oli ainuüksi USA Atlandi ookeani ja Mehhiko lahe ranniku vahetus naabruses üle kolme triljoni dollari eest kindlustatud vara. Selline kitsale maaribale rakenduv koormus põhjustab ühe suurenevaid vastuolusid loomulike rannaprotsessidega.

Rannikutehnika ajaloost on teada palju ettevõtmisi, mis on mõjutanud loomulikke setete transpordi protsesse sellisel määral, et rand ehitiste lähistel on kiiresti ära kandunud ja selle tõttu kas protsesse mõjutanud ehitised või hoopis muud struktuurid lähistel on purunenud. On ka juhtunud, et on alanud setete kiire kogunemine mõnedesse kohtadesse, mille tõttu on ehitised muutunud kasutuks. Päril sageli on taolised mured olnud seotud sadamatega. Ent ka väga paljud teised inimtegevuse muud vormid võivad päris kergesti viia tõsiste negatiivsete tagajärgedeni. Selliste tegevuste nimistu on üsna pikk; olgu toodud vaid selle algus: laevasõidukanalite ja – teede süvendamine, sildumiskohtade rajamine, buunide ja nende süsteemide ehitamine, rannakaitsetammide paigaldamine, jõgedele tammide ehitamine, mille tõttu väheneb deltasse transporditava liiva hulk, rannalt või rannalähedasest vööndist liiva kaevandamine, maagaasi või põhjavee tarbimine, aga ka kirjeldatud töödega seotud maapinna vajumine ja/või rannaprotsesside kiirenemine.

Viimastel aastakümnetel on hakatud terasemat tähelepanu pöörama rannavööndi arengu spetsiifikale. On ka mõistetud, et selle vööndi kiire arenguga potentsiaalselt kaasnevad mõjud võivad olla väga ohtlikud ning et nii lühi- kui ka pikaajaliste rannaprotsesside tasakaalu taastamine võib olla väga kallid lõbu. Nii üksikud katastroofid kui ka regulaarselt korduvad sündmused nagu orkaanid USA Atlandi ookeani rannikul, El Niño USA Vaikse ookeani rannikul, monsuunid Bengali lahel või erakordsed tormid Põhjamerel on tapnud inimesi ja tekitanud ulatuslikke materiaalseid kahjusi. Nende kaudu on nii valitsevad ringkonnad kui ka maksumaksjad hakanud muretsema selle üle, milliseid kahjusi võivad otseselt või kaudselt põhjustada ebaprofessionaalselt projekteeritud või teostatud ehitised rannavööndis.

Tulemusena on mitmed riigid, kes seni on investeerinud kolossaalseid summasid rannikute kaitseks, hakanud vastavat poliitikat revideerima. Ameerika Ühendriikides on enamuse rannikuga piirnevaid osariike (sh. Suure Järvistu naabruses paiknevad osariigid) kas juba käivitunud või alustamas spetsiifilist järelevalvet rannikul paiknevate struktuuride tüüpide ja asukoha üle. Osa ehitusnorme nõuab või hakkab nõudma lähitulevikus, et struktuurid peavad

² Inglise keeles kasutatakse sõnu ‚port‘ ja ‚harbour‘ erinevates tähendustes. ‚Port‘ tähendab toimiva infrastruktuuriga sadamat, ‚harbour‘ aga (ka looduslikult) varjatud lahte või randumiskohta. Eestikeelsetes tõlkematerjalides on mõlemad sageli tõlgitud kui ‚sadam‘.

vatu pidama väga haruldastele tugevatele tormidele, näiteks orkaanile, mis esineb üks kord 100 aasta jooksul, ning et ehitis peab paiknema nii kaugel rannast, et rannajoone oodatav taganemine lähema 30 aasta jooksul ehitist ei mõjutaks. Lisaks tugevate tormide purustavale mõjule tuntakse veel muret pikaajalise ookeani veetaseme tõusu osas, eriti selles osas, mis puudutab veetaseme tõusu väidetavat kiirenemist kasvuhoooneefekti tugevnemise tõttu.

Viimase 50 aasta jooksul on rannikutehnika muutunud täiesti iseseisvaks erialaks, mille peamiseks objektiks on rannikuvööndis toimuvate protsesside (lühemalt – rannikuprotsesside) mõistmine ja ranniku erosiooni vältimise või kontrollimise efektiivsete meetodite arendamine. Rannikuprotsesside mehaanika ja füüsika järjest laienev tundmine võimaldab rannikuinseneridel kujundada efektiivsemaid võtteid rannikuvööndi kaitseks, leevendada looduslike ja inimtekkeliste kahjulike protsesside mõju ning – last but not least – vältida minevikus tehtud vigade kordamist. Rannikul toimuvate setete edasikande mehhanismide täpsem tundmine ja sügavam mõistmine võimaldab ka rakendada ranniku erosiooni vältimiseks innovatiivseid meetodeid. Järjest tugevnev antropogeenne surve rannavööndile kombineerituna ookeani veetaseme eeldatava tõusuga tähendab, et vajadus nii rannikutehnika spetsialistide järgi kui ka rannikuvööndis toimuvate protsesside teadusliku uurimise tähtsus suureneb kiiresti.

Rannikuprotsesside (dünaamika) mõistmiseks, sh. ranniku lähistel aset leidva vee liikumise omaduste ja nende poolt setetele avaldatava mõju analüüsiks, ning vastavate teadmiste realiseerimiseks efektiivsete insener-tehniliste võtetena, on vajalikud järgmised eeltingimused:

- Analüütilise mõtlemise võime,
- Huvi looduses toimuvate protsesside vastu,
- Võime interpreteerida suurt hulke keerukaid ning vahel pealtnäha üksteisele vasturääkivaid fakte,
- Kogemus erinevat tüüpi randades toimuvate protsesside analüüsist ning osalemine paljudes rannikutehnika projektides.

Kaks viimast komponenti on rannikutehnika praeguses seisus ääretult olulised, kuna nii setete kui ka vee liikumist kirjeldavad võrrandid – nii matemaatilised (dünaamilised) kui ka statistilised – on, ausalt öeldes, võrdlemisi kehvasti tuntud. Tulemusena ei ole kaasajal realselt võimalik puhtmatemaatiliste meetoditega täpselt prognoosida rannikuvööndis toimuvaid protsesse. Rannikuprotsesside valdkond on seetõttu midagi kunsti ja teaduse vahepealset, või nende kahe kombinatsioon. Nende analüüs ja prognoos vajab head intuitsiooni, mis omakorda tuleb kogemuse baasil.

Tegelikult on parimad modelleerijad, olgu siis füüsikaliste või numbriliste mudelite kasutajad, just need, kes on alati skeptilised saadud tulemuste osas ning igal võimalikul juhul võrdlevad oma mudelite tulemusi korralikult dokumenteeritud uuringute välimõõtmiste tulemustega. Täiesti selge on, et meie võimalused rannikuprotsesside ja rannikupiirkonna käitumise prognoosiks vajaksid kardinaalset parandamist, sealhulgas vastavaid teadusuuringuid. Eriti karjuv on selline vajadus rannikupiirkonnas toimuva arendus- ja ehitustegevuse jaoks. Siiski, hoolimata suhteliselt kriitilisest hoiakust olemasolevate teadmiste suhtes, on rannikul toimuvate protsesside ilu ja dünaamika selgelt väärt pingutusi, mida nõuab emakese Looduse hästi varjatud saladuste lahtimõtestamine.

Tulenevalt ühtse ja ammendava meetodika puudumisest, on rannikutehnikas ja rannikuprotsesside kursuses paljudel juhtudel vajalik mikro- ja makromastaabis toimuvate nähtuste vaatlemine erinevate meetodikatele tuginedes. Makromastaabis rakendatakse

tavaliselt üldisi printsiipe nagu näiteks energia või massi jäävuse seadus, või hoopis teatavaid heuristilisi argumente. Selline lähenemine annab tavaliselt, vähemalt konkreetsete olude jaoks, enam-vähem rahuldava lahenduse. Paralleelselt kasutatakse mikromastaabis toimivate protsesside süvaanalüüsi, mis enamasti baseerub protsesside füüsikaliste, keemiliste või dünaamiliste joonte analüüsil vastavatest teoreetilistest printsiipidest lähtudes. Praegusel ajal on rannikutehnikas eelistatud ja prevaleerib protsesside kirjeldamine makromastaapide tasemel. Põhjuseks asjaolu, et paljude rannikul toimivate protsesside detailne füüsikaline kirjeldus lihtsalt puudub. Siiski püsib lootus, et kunagi tuleb aeg, mil makromastaabi tasemel kirjeldamine asendub mikromastaabis toimivate sündmuste füüsikal baseeruva kirjelduse, või vähemalt kaob kuristik kahe kirjeldamise taseme vahel.

TTÜ-s loetava rannikuprotsesside kursus järgib suures osas Robert Deani ja Robert Dalrymple'i õpiku „Coastal Processes with Engineering Applications” (Dean ja Dalrymple 2002) loogikat. Raamatu esimeses osas on antud rannikuprotsesside üldine kirjeldus rõhuasetusega pikaajalistele rannikul toimuvatele jõududele ja ranniku reaktsiooniga neile. See osa ei vaja matemaatilist ettevalmistust ja kirjeldab, kuidas efektiivselt igavesti toimivad jõud kujundavad välja teatava tasakaalu nii ranna ristlõikes kui ka geometrias. Kui looduslikes jõududes toimuvad muutused või kui mängu tuleb inimtegevus, lisanduvad „igavestele” jõududele uued mõjurid ja olemasolev tasakaal muutub. Kui uued jõud on pikaajalise iseloomuga, siis tasakaal mingi aja pärast taastub. Rannikutehnika ülesanne on võimaluste piires prognoosida, milline on see tasakaal.

Selle materjaliga tutvumine on abiks suhteliselt pikas ajamastaabis toimivate sündmuste mõistmiseks, kui mitte dünaamilisel, siis vähemalt intuiitiivsel tasemel. Selles osas vaadeldakse ka ranniku geomeetria eripärasid ning püütakse selgitada üksikute ranniku elementide tekkimist põhjustanud tegureid. Paljudel juhtudel on ranniku elementide geomeetria võimaliki välja lugeda olulist informatsiooni neid tekitanud – seega konkreetse piirkonnas domineerivate – lainetuse, hoovuste, tuulte jm. oluliste tegurite omaduste kohta.

Raamatu teises osas esitatakse mõnevõrra enam teoreetilisel kujul ülevaade rannikuvööndis toimivatest põhilistest mõjuritest, fookuseerudes piki randa ja risti rannaga mõjuvatele hüdrodünaamilistele protsessidele. See osa nõuab märksa enam matemaatilisi eelteadmisi. Muidugi võib lugemisel teatava osa võrranditest vahele jätta, kuid vastavate protsesside mõistmisel võivad siis tekkida teatava lüngad.

Õpiku kolmas osa on suunatud ennekõike nendele, kelle tegevusalaks on kas hüdrotehniliste rajatiste projekteerimine või ehitamine rannajoonele, või siis neile, kelle tööks on ranna erosiooni probleematika. Selle materjaliga tutvumine on soovitatav, kuid mitte obligatoorne neljanda peatüki lugemiseks.

Neljas peatükk kirjeldab konkreetseid insener-tehnilisi lahendusi. Selle eesmärk on kahetine: (i) kirjeldada meetodikaid, mis võimaldavad prognoosida konkreetse projekti mõju ja (ii) analüüsida ranna erosiooni ja rannapurustuste leevendamise erinevaid võimalusi.

Dean ja Dalrymple rõhutavad et oma raamatu on nad kirjutanud eelkõige selleks, et abistada mitmesugustele rannikuga seotud aspektidele spetsialiseeruvaid üliõpilasi rannikul toimivate nähtuste interpreteerimisel. Nende adekvaatne mõistmine on kindlasti vajalik, kui on tarvis prognoosida konkreetse projekti võimalikke mõjusid ning lülitada vastav kompetents projekti arendusse. Sama oluline on esitada õppematerjalis kaasaegse rannikuteaduse viimased saavutused õppuritele mõistetavas vormis. Nende aspektide ühendamise on tõsine väljakutse. Eesti üliõpilaste puhul lisandub sellele veel vajadus mõista Läänemere randades valitsevaid suhteliselt haruldasi tingimusi ning oskus rakendada just siin sobivaid mudeleid ja kontseptsioone.

(Aluseks: R.G Dean, R.A, Dalrymple: Coastal processes, with engineering applications, Cambridge University Press 2002, Chapter 1: Overview; 1.1: Introduction, lk. 3-6)

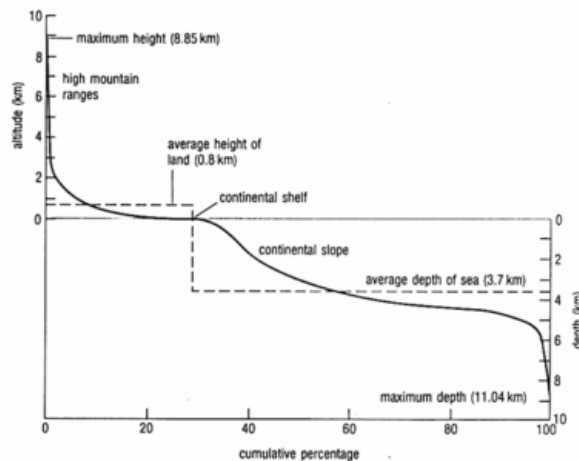
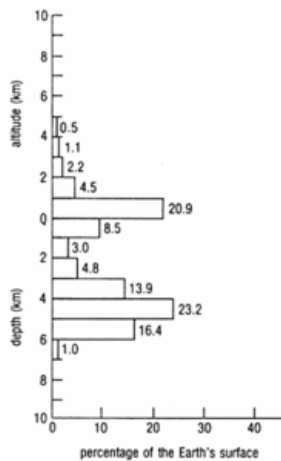
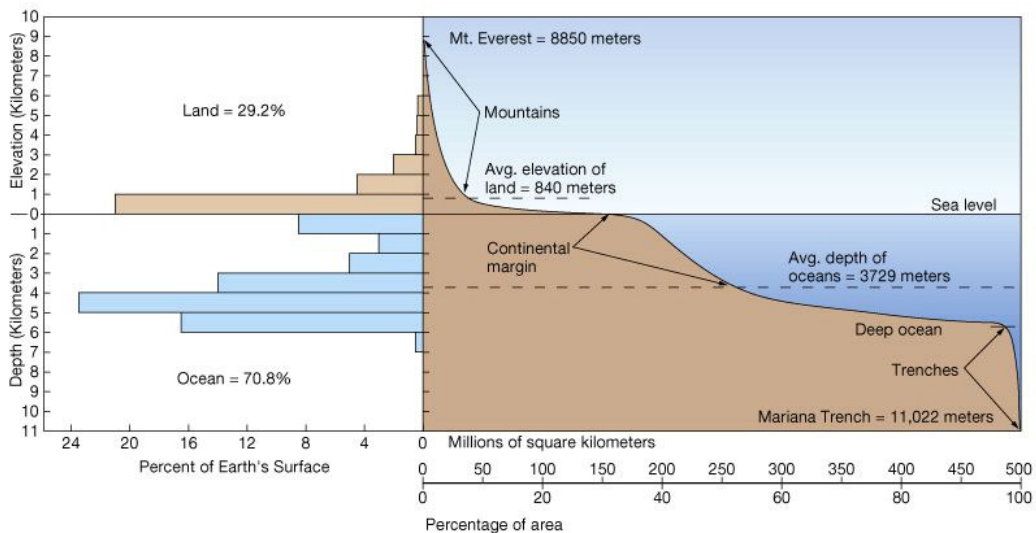
Carter, R.W.G. 2002. Coastal Environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines- 8th printing, Academic Press, Amsterdam.

Dean, R.G., Dalrymple R.A. 2002. Coastal processes with engineering applications, Cambridge University Press.

Rannik Maa nüüdisreljeefis

Maa pindala on ligikaudu 510 miljonit km². Sellest hõlmab maailmameri 361 miljonit km² ehk ligikaudu 71%. Maismaa osakaal on 149 miljonit km² ehk ligikaudu 29%. Maa mõõtmetega (raadius 6373 km) võrreldes on ookeanide veekiht võrdlemisi õhuke, keskmise paksusega 3795 meetrit. Maismaast jääb suurem osa põhjapoolkerale, kus 39% on kaetud kuiva maaga. Lõunapoolkeral on maismaad märksa vähem, ligikaudu 19%.

Hüpsograafiliselt³ kõveralt (joonis 1) nähtub, et maakoore keskmine kõrgus on -2440 m, seega märksa madalamal ookeani veetasemest. See on ka loomulik, sest vesi katab suhteliselt suure osa Maa pinnast.



³ Hüpsograafia analüüsib, milline osakaal on Maa pinnast erinevatel kõrgustel paiknevatel aladel. Nimetus tuleneb kreeka keelsest sõnast υψος (hypsos), mis tähendab kõrgust.

Joonis 1. Hüpsograafiline kõver ja erinevatel kõrgustel paiknevate alade osakaalu jaotus.

Maakera reljeef – maakoore pealispinna kuju – kirjeldatakse pinnavormide kaudu, mis kujutavad endast korduvate omadustega struktuure, kõrgendikke ja nõgusid. Need erinevad üksteisest paljude tunnuste poolest ning üldiselt on neil erinev suurus, hüpsomeetria (ehk tüüpiline kõrgus merepinnast), morfoloogia (ehk vorm), struktuur ja/või teke.

Suuruse järgi jagatakse pinnavormid mega-, makro-, meso- ja mikroreljeefiks (Arold, Raukas, Viiding, 1987). Megareljeefi moodustavad Maa mõõtmetega võrreldavad struktuurid mandrid ja ookeaninõod. Makroreljeefi hulka liigitatakse näiteks mäestikud, mäeahelikud, platood, ulatuslikud tasandikud ja ookeanisüvikud. Mesoreljeefi esindavad mitmesugused kõrgendikud, künkad, seljakud, vallid ja nõod, mille suhteline kõrgus või sügavus on vahemikus 10–200 meetrit. Eestis loetakse sageli sellesse klassi juba pinnavormid, mille kõrgus ületab 2 meetrit. Maismaal kuuluvad meil sageli esinevate mesovormide hulka voored, oosid ja mõhnastikud, rannikul luited ja harva rannavallid; vee all leetseljakud ja väiksemad madalikud; samuti võib mesovormide hulka lugeda mitmeid meie saarestiku väiksemaid saari ja laidusid. Mikroreljeefiks peetakse mesovormidel paiknevaid väikesi kõrgendikke ja nõgusid, mille suhtelised kõrgused on 1–10 meetrit. Eestis on mastaabid väiksemad ja mikroreljeefi ja mesovormide piiriks loetaks, nagu märgitud, sageli 2 meetrit. Sellesse kategooriasse kuuluvad enamus meie randade väiksemaid leetseljakuid ja rannavalle.

Tuleb rõhutada, et taoline reljeefi üksikosade jaotamine suuruse järgi on tinglik ja sõltub suurel määral uuritava piirkonna iseloomust. Looduses pole selgeid piire erinevate kategooriate vahel ning näiteks taimestumata luidete kõrgused võivad lühikese aja jooksul suuresti muutuda. Küll aga on ilmne, et erinevad tegurid Maa ajaloos on tekitanud selgelt erineva suurusega pinnavorme. Mega- ja makrovormid pärinevad põhiosas Maa sisemuses toimivate jõudude tegevusest. Meso- ja mikrovorme kujundavad seevastu mitmesugused välisjõud nagu vooluvesi, lainetus, tuul, jää(liustikud), elusloodus või inimtegevus.

Ivar Arold, Anto Raukas, Herbert Viiding. 1987. Geoloogia alused. Tallinn, Valgus 1987, 198 lk.