

LATVIJAS UNIVERSITĀTES
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTES
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

JŪRAS KRASTA EROZIJA ŠĶĒDES APKAIMĒ

BAKALaura DARBS

Autors: **Miks Papirtis**

Stud.apl.nr. mp14041

Darba vadītājs:

Dr. geol., profesors Jānis Lapinskis

Zinātniskā konsultante:

Dr. sc. Ing. Maija Viška

Rīga 2017

Anotācija

Bakalaura darbā “Jūras krasta erozija Šķēdes apkaimē” ir veikta zinātniskās literatūras analīze par Baltijas jūras krasta attīstību, to ietekmējošiem faktoriem un jūras krastu klasifikāciju Latvijā. Darbā tiek sīkāk apskatīts deviņus km garais krasta posms no Karostas, agrākās dzelzceļa stacijas “Gvardejskaja” līdz armijas mācību poligonam Šķēde. Krasta posmā tiek pētīta Liepājas ostas hidrotehnisko būvju izraisīta pastiprināta pamatkrasta erozija, kas apdraud Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtu kompleksu. Pētījumā ir veikta dažādu vecuma kartogrāfiskā materiāla salīdzināšana un analīze no pētāmās teritorijas, kā arī veikta krasta nogāzes šķērsprofilu nivelēšana un nivelēšanas profilos iegūto datu interpretācija.

Darbs sastāv no 5 nodaļām, tā kopējais apjoms ir 41 lpp. Tekstu papildina 19 attēli (kartes, shēmas, fotogrāfijas) un 4 tabulas. Darba izstrādē izmantoti 40 avoti.

Atslēgas vārdi: Šķēdes piekraste, jūras krasta erozija, jūras krastu nivelēšana, sanešu transports.

Abstract

In the bachelor's thesis "Coastal erosion in Šķēde area" carries out analysis of scientific literature on shoreline development, its influencing factors and coastal classification of Latvia. In detail paper investigates nine kilometers long coastal section from former Karosta railway station "Gvardejskaja" to Šķēde army training ground. Conducted studies investigates enhanced coastal erosion of hydrotechnical structures of Liepāja port that threatens Liepājas wastewater treatment plant. Study consists of cartographic material comparison and analysis from different time periods of study area, as well as coastal slope cross-profile leveling and profile data interpretation.

The thesis consists of 5 sections, total amount is 41 pages. The text has been supplemented with 19 images (maps, schematic diagrams, photos) and 4 tables. In thesis development has been cited 40 literature sources .

Key words: Šķēde coast, coastal erosion, coastal leveling, sediment transport.

Saturs

| | |
|---|----|
| IEVADS | 5 |
| 1 LITERATŪRAS APRAKSTS | 6 |
| 1.1 Jūras krasta joslas tipoloģija un terminoloģija..... | 6 |
| 1.2 Jūras krasta pētījumi Latvijā | 7 |
| 1.2.1 Jūras krasti Latvijā..... | 7 |
| 1.2.2 Jūras krastu izpētes vēsture Latvijā | 8 |
| 1.3 Jūras krastu ģeoloģiskie procesi | 10 |
| 1.3.1 Sanešu materiāla transports | 10 |
| 1.4 Eroziņas cēloņi..... | 14 |
| 1.4.1 Klimata izmaiņas | 14 |
| 1.4.2 Antropogēnā slodze | 16 |
| 1.4.3 Preterozijas risinājumi un to ietekme uz krasta attīstību | 17 |
| 1.5 Baltijas jūra | 20 |
| 1.5.1 Baltijas jūras ģeoloģiskā vēsture | 21 |
| 2 PĒTĀMĀ TERITORIJA..... | 24 |
| 2.1 Krasta attīstību ietekmējošie antropogēnie objekti | 25 |
| 2.1.1 Liepājas osta | 25 |
| 2.1.2 Liepājas jūras cietoksnis..... | 26 |
| 2.1.3 Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtas..... | 26 |
| 3 MATERIĀLI UN METODEDES | 30 |
| 3.1 Kartogrāfisko materiālu izveide izmantojot ĢIS | 30 |
| 3.2 Krasta nogāzes šķēršprofilu nivelēšana | 30 |
| 3.2.1 Krasta nivelēšanas 1. etaps | 30 |
| 3.2.2 Krasta nivelēšanas 2. etaps | 32 |
| 4 REZULTĀTI..... | 33 |
| 4.1 Krasta līnijas pārvietošanās erozijas un akumulācijas rezultātā | 33 |
| 4.2 Krasta nogāzes šķēršprofilu nivelēšanas rezultāti..... | 36 |
| 5 DISKUSIJA..... | 39 |
| SECINĀJUMI | 41 |
| Pateicība | 42 |
| Izmantotā literatūra..... | 43 |
| PIELIKUMS | 46 |

IEVADS

Mūsdienās visā pasaulē novērojama tendence – iedzīvotāju pakāpeniska pārcelšanās uz teritorijām, kas ir salīdzinoši tuvu jūrām un okeāniem (Eberhards, 2003; Ernšteins, 2003). Piekraste ir ļoti jutīga vide, pieaugot iedzīvotāju skaitam, palielinās arī antropogēnās slodzes ietekme. Arvien plašākas jūras krastu teritorijas tiek apbūvētas, labiekārtotas un arī piesārņotas, kā rezultātā tiek pārveidota un degradēta jūras krasta dabiskā vide. Arī Latvijā šī problēma ir aktuāla, jo vairāk nekā 1 miljons iedzīvotāju dzīvo tiešā jūras ietekmes zonā, bet piekrastes zonā līdz 60 km apmetusies puse no Latvijas iedzīvotājiem (Ernšteins, 2008). Protams, lielu iespaidu atstāj globālās un reģionālās klimata izmaiņas, kuras izpaužas kā ūdenslīmeņa celšanās, vētru atkārtotam biežuma pieaugums un pastiprināšanās, kā arī jūras ledus perioda ilgums un veidošanās (Lapinskis, 2010; Eberhards, 2003). Šie ir galvenie apstākļi, kas veicina krasta izmaiņas un tā pielāgošanos jaunizveidotajiem apstākļiem. 65% no Latvijas 496 km garā jūras krasta tiek pakļauti dažādu intensitāšu erozijas ietekmēm (Eberhards, 2003). Krasta rajonos, kur erozija ir ļoti izteikta vai apdraud svarīgus objektus, tiek meklēti erozijas ierobežojoši risinājumi. Lai mazinātu nelabvēlīgo ietekmi, ko var radīt krasta erozija un atkāpšanās, ir nepieciešams veikt daudz pētījumus, pēc kuriem būtu iespējams noskaidrot notiekošo procesu dinamiku un specifiskās īpatnības.

Darba mērķis ir novērtēt jūras krastu attīstības tendenci hidrotehnisko būvju iespaidā un mēģināt atrast sakarību starp krasta sistēmā ietilpstošā sanešu apmaiņu (sanešu erozijas un akumulācijas intensitāte) krasta nogāzes virsūdens un seklūdens daļā.

Darba uzdevumi:

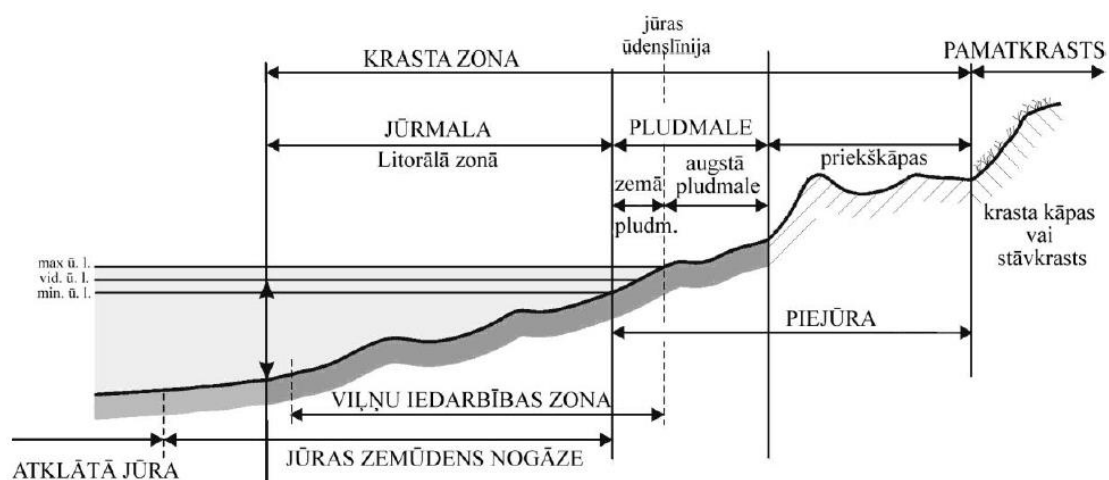
- apkopot pieejamo informāciju par krasta procesiem un pētāmo teritoriju;
- izvērtēt krasta līnijas novietojuma izmaiņas dažāda vecuma kartogrāfiskajos materiālos, kā arī apkopot informāciju par ūdens līmeņa izmaiņām ortofotogrāfēšanas laikā;
- apstrādāt apkopotos datus par ūdens līmeņa un krasta līnijas novietojuma izmaiņām un veikt to analīzi;
- veikt atkārtotus jūras krastu šķērsprofilu nivelēšanu jūras seklūdens un krasta nogāzes virsūdens daļā;
- apstrādāt iegūtos nivelēšanas datus un veikt to analīzi;
- novērtēt eksodinamisko procesu intensitāti pētāmajā teritorijā.

1 LITERATŪRAS APRAKSTS

1.1 Jūras krasta joslas tipoloģija un terminoloģija

Lai darbs būtu korekti izprotams un izvairītos no nepareizas terminu pielietošanas vai uztveres, atbilstoši darba specifikai, vispirms tiek precizēta darbā pielietotā terminoloģija. Terminoloģija un terminu skaidrojumi, kas darbā tiek pielietoti ir balstīti uz P.D. Komara ieviestās terminoloģijas, kuru vēlāk adaptēja un papildināja G. Eberhards (Eberhards, 2003).

Jūras piekraste (1.1. attēls) ir šaurāka vai platāka josla, kurā norisinās nepārtraukta saskarsme starp sauszemi un jūru. Katru vidi raksturo tai specifiski procesi, nogulumi un ekosistēma. Tā ir ļoti dinamiska zona, kurā noris nepārtraukta jaunveidošanās un reizē pat esošo veidojumu un nogulumu noārdīšanās process, kas atkarīgs no laika gaitā mainīgajiem vietējiem, reģionālajiem vai globālajiem hidrometeoroloģiskajiem, ģeoloģiskajiem, tektoniskajiem un bioloģiskajiem procesiem, kā arī antropogēnajai darbībai. Piekraste tālāk tiek sadalīta divās galvenās daļās: piejūra un jūrmala (Eberhards, 2003).



1.1. attēls. **Piekrastes veidojošie elementi** (Andersons, 2011)

Par **piejūru** (1.1. attēls) tiek uzskatīta virsūdens daļa no minimālā jūras ūdens līmeņa līdz iekšējā virsūdens terases malai vai priekškāpas pamatnei, kur notiek reljefa un nogulumu veidošanās mūsdienu krasta procesu ietekmē. Piekrastes daļu ko veido seno jūru krasta reljefa veidojumi un kas ilgu laiku nav pakļauti tiešai viļņu iedarbībai sauc par **pamatkrastu** (1.1. attēls). Piejūru iespējams sīkāk izdalīt divās daļās – pludmale un priekškāpa.

Pludmalī veido **zemā pludmale** (pludmales zemā daļa līdz vietai, kuru iezīmē ilggadējais vidējais ūdenslīmenis) un **augstā pludmale** (pludmales daļa, kas aplūst tikai vētru laikā un kurām raksturīgas sausas smiltis, kuras tiek transportētas vēja ietekmē). **Priekškāpas** robežojas ar pludmalī un pamatkrastu, šai daļai atšķirībā no pludmales ir novērojamas

izmaiņas grunts sastāvā, morfoloģijā un veģetācijā (Eberhards, 2003; Masselink 2003; Torklere, 2008).

Savukārt **jūrmala** (1.1. attēls) piekļaujas un apskalo sauszemi virs minimālā ūdens līmeņa un robežojas ar jūras zemūdens nogāzi. Tā ir pati dinamiskākā jūras daļa, kas pakļauta viļņu un jūras straumju darbībai (Glossary of coastal terminology, 1998; Ulsts, 1998; Eberhards, 2003; Torklere, 2008).

1.2 Jūras krasta pētījumi Latvijā

1.2.1 Jūras krasti Latvijā

Piekraste ir šaurāka vai platāka josla, kur norisinās nepārtraukta mijiedarbība starp atmosfēru, hidrosfēru, litosfēru, biosfēru un antroposfēru. Piekrastē ir novērojama saskare starp ūdens un sauszemes vidi, kuras rezultātā notiek vienas no dinamiskākajām izmaiņām dabas ainavā (Eberhards, 2004; Bird, 2008, Lapinskis, 2010).

Pēc ģeomorfoloģiskās rajonēšanas, jūras piekraste pieder pie piejūras zemienes ģeomorfoloģiskā rajona, ko Latvijā iespējams izdalīt četros apvidos: Baltijas piekraste, Ziemeļkursas piekraste, Rīgas smiltāja līdzenums un Vidzemes piekraste. Kā piejūras zemienes robeža tiek definēta pēcledus laikmetā izveidojušās Baltijas ledus ezera augstākās stadijas krasta līnija (Strautnieks, 1997). Balstoties uz G. Eberharda izveidotās Baltijas jūras krasta līnijas klasifikācijas, Latvijas krastus iespējams sadalīt četrās lielās grupās, no kurām tās tiek sīkāk izdalītas vairākās apakšgrupās. Klasifikācija izveidota pēc krastu ģeoloģiskās uzbūves un to augstuma, kas tiek sagrupētas šādos krastu tipos (Eberhards, 2003):

- **VIDĒJI AUGSTIE UN AUGSTIE JŪRAS EROZIJAS STĀVKRASTI**

- **Pamatiežu (klinšu iežu) stāvkrausti**

- Pamatiežos izveidotie stāvkrausti

- Pamatiežos izveidotie stāvkrausti ar kvartāra nogulumu segu

- **Kvartāra nogulumiežos izveidotie stāvkrausti**

- Vienkāršas ģeoloģiskas uzbūves stāvkrausti

- Saliktas ģeoloģiskas uzbūves stāvkrausti

- **ZEMIE UN VIDĒJI AUGSTIE PIEAUGUMA KRASTI**

- Smilšainie krasti

- Grantainie oļainie krasti

- **ZEMIE UN VIDĒJI AUGSTIE MĀKSLĪGI NOSTIPRINĀTIE KRASTI**

- **SAVDABĪGIE, NEPARASTIE KRASTI**

Jūras stāvkrasti

Stāvkrasti veidojas krastu teritorijās, kur ilgstošu dabisku vai antropogēno faktoru ietekmē jūra uzvirzās uz augstāk paceltām piejūras teritorijām, laika gaitā noskalojot pamatkrastu un pārējās reljefa formas, kas tiek pakļautas ūdens ietekmei. Latvijas stāvkrasti ir 6 – 15 m augsti, tos veido devona smilšakmeņi, māli, aleirolīti un kopā veido 123 km no krasta kopgaruma (Jūras krastu nostiprināšana, 2007). Jūras stāvkrasti tiek sīkāk izdalīti pamatiežu (klinšu iežu) un kvartāra nogulumiežos izveidotajos stāvkrastos. Savukārt, kvartāra nogulumiežos izveidotie stāvkrasti tiek iedalīti vienkāršas ģeoloģiskās uzbūves un saliktas ģeoloģiskās uzbūves stāvkrastos (Eberhards, 2003).

Zemie un vidēji augstie pieauguma krasti

Zemie un vidēji augstie pieauguma krasti aizņem pusi no Latvijas kopējās krasta līnijas un ir pārsvarā izplatīti Rīgas, kā arī rietumu un austrumu Kurzemes piekrastēs. Šo grupu veido zemie (1-3 m) un vidēji augstie (4-8 m) krasti, kas veidojušies litorīnas un pēcliorīnas laikā. Latvijā vairāk ir izplatīti smilšainie, bet vietām arī smilts-grants-oļu krasti ar viendabīgu ģeoloģisko uzbūvi. Grupā sīkāk tiek izdalīti smilšainie, grantaini oļainie un seno lagūnu krasti (Eberhards, 2003).

Zemie un vidēji augstie mākslīgi nostiprinātie krasti

Mākslīgi nostiprinātie krasti parasti atrodas pie apdzīvotām vietām, krasta iecirkņos, kur raksturīga krasta erozija. Erozijai mazināšanai tiek būvētas dažāda veida hidrotehniskās būves, kā piemēram: atbangošanās sienas, gabonu krāvumi, rip-rap banketes un laukakmeņu krāvumi. Šāda tipa krasti pārsvarā ir izplatīti nelielos iecirkņos Rīgas līcī un atklātās Baltijas jūras piekrastē. Krasta nostiprināšanas metodes ir ļoti daudz un dažādas, tāpēc šajā klasifikācijā tās netiek iedalītas sīkāk (Eberhards, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014).

1.2.2 Jūras krastu izpētes vēsture Latvijā

Mūsdienu krasta procesu izpētes pirmsākumi aizsākušies vairāk kā pirms simts gadiem. Kā pirmie Latvijas krastu pētniecības pionieri bija ostu inženieri, kas Krievijas komercostu aprakstā aprakstījuši Ventspils ostas piesērējumu. Piesērējums tika skaidrots ar valdošo vēju virzienu, kas izraisīja stipras jūras straumes un sanešu kustību ziemeļu virzienā. Pirmie zinātniskie apsvērumi par garkrastu sanešu plūsmas nozīmīgumu Zemlandijā (Sambijas pussalā) izteica O. Prātje, kas veica detālus krasta un seklūdens zonas nogulumu pētījumus 1932. gadā (Torklere, 2008).

Kā viena no biežāk pielietojamajām krastu izmaiņu izpētes metodēm ir kartogrāfisko materiālu salīdzināšana. Šāda metode Latvijā pirmo reizi tika pielietota 30-ajos gados, kur tika salīdzināti dažāda vecuma pieejamie kartogrāfiskie materiāli (kartes, plāni, shēmas) un rekonstruēta krasta situācija.

Sākot ar 1945. gadu, jūras krastu pētījumus Padomju savienībā veica Okeanoloģijas laboratorijā, kas vēlāk tiek pārdēvēta par Zinātņu Akadēmijas Okeanoloģijas Institutu. Galvenais izpētes objekts jūras krastu dinamikas un morfoloģijas darba grupām PSR ZA Ģeogrāfijas nodaļās bija krastu zonas dinamika un litodinamika (Torklere, 2008).

Lielu iespaidu uz jūras krastu izpēti atstāja V. Ulsts 60-ajos gados. Viņš savos darbos analizē krasta reljefa formu attīstību likumsakarības, eolo un jūras nogulumu litoloģiskās īpatnības, kā arī krastu aizsardzības inženierģeoloģiskās problēmas. Šajos darbos pirmo reizi tika pielietotas aerofoto uzņēmumu materiālu analīzes, kas aizsāka tālīzpētes metožu pielietojamību jūras krastu procesu izpētē (Torklere, 2008; Ulsts, 1998).

Pirmo reizi par nepieciešamību sākt veikt nepārtrauktos stacionāros jūras krasta pētījumus ieteica starptautiskās Ģeogrāfijas savienības Krasta vides komisijas 1976. – 1984. gadā publicētajā zinātniskajā informācijā, kas izteica globālus draudus par intensīvu krastu noskalošanos. No 1981. – 82. g zinātniskās pētniecības institūta “VNIIMORGEO” kolēģes B. Saltupe un I. Federe uzsāk brīvprātīgus, instrumentālus mērījumus pavasara un rudens mēnešos, izveidojot pirmos stacionāros profilus Jūrmalas pilsētas krasta joslā (Eberhards, Saltupe, 1999). Daži no šiem profiliem ir vēl saglabājušies un arī mūsdienās tiek veikti regulāri mērījumi.

Sākot ar divdesmitā gadsimta 80-ajiem gadiem, šajā nozarē aktīvi sāk strādāt G. Eberhards, sniedzot apjomīgus un kvalitatīvus pētījumus jūras krastu izpētē. Sadarbībā ar B. Saltupi 1987. gadā tiek veikts pirmais jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings Rīgas jūras līcī un 1992. gadā arī Kurzemes rietumu krastā (Lapinskis, 2010). Krasta monitoringa metodika netika aizgūta no ārzemēm, bet gan pašu izveidota eksperimentālā ceļā. Laika periodā no 1987. – 1990. gadam darba mērķi bija iegūt ticamu, skaitlisku informāciju par jūras krastu procesu intensitāti, izmaiņām laikā, kā arī noskaidrot hidrometeoroloģisko un antropogēno faktoru ietekmi uz krastu attīstību. 2003. gadā G. Eberhards publicē monogrāfiju “Latvijas jūras krasti”, kurā viņš iekļauj savus iepriekšējos pētījumus par Litorīnas lagūnu veidošanās likumsakarībām, piekrastes eolo veidojumu morfoloģiju un ģenēzi, kā arī krasta eroziju. Vēl joprojām mūsdienās šis tiek uzskatīts par plašāko, apkopojošā rakstura darbu (Eberhards, 2003).

Mūsdienās aktīvi šajā jomā strādā J. Lapinskis, kas savos pētījumos uzsvaru liek uz krastu morfoloģiju, krastu procesu izmaiņām un erozijas risku izpēti. Sadarbībā ar G.

Eberhardu 2008. gadā izdod karšu atlantu “Baltijas jūras krasta procesu atlants” (Lapinskis un Eberhards, 2008). Darbā tiek detāli attēlota Latvijas jūras krastu ģeoloģiskā uzbūve, krastu attīstība pēdējos 50 gados un prognozes krastu attīstībā, izmantojot grafiskus kartogrāfiskos materiālus. Kopš 2011. gada M. Viška publicējusi vairākus darbus par viļņu ietekmi uz krasta attīstību, garkrasta sanešu plūsmu un tās simulāciju izveidi (Viška, 2014).

Kā redzams krasta procesu pētījumu tēma paliek arvien aktuālāka, tajā novērojama strauja attīstība, jaunu metožu ieviešana un jaunu pētnieku piesaiste. Vēl aizvien tiek veikta jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa datu ieguve un to apkopošana LJKĢMP (Latvijas jūras krastu ģeoloģisko monitoringa programma) datubāzē, kuru papildināšanā iesaistās arī Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes studenti, kas veic noslēgumu darbu izstrādi. Mūsdienās krasta monitoringa darba mērķi ir pārsvarā saglabājušies kopš to pirmsākumiem Latvijā, bet tie regulāri tiek papildināti ar jauniem uzdevumiem (Eberhards 2003):

- kontrolēt galvenos jūras krasta joslas rekreācijas objektus;
- novērtēt vētru radīto postījumu apmērus krasta joslā (noskalotā pamatkrasta platumu, aprēķināt noskalotās platības, mežu zaudējumus, sagraudās ēkas u.c.);
- izpētīt ostu radīto procesu īpatnības;
- izdalīt paaugstinātas erozijas krasta posmus un veikt prognožu izstrādi.

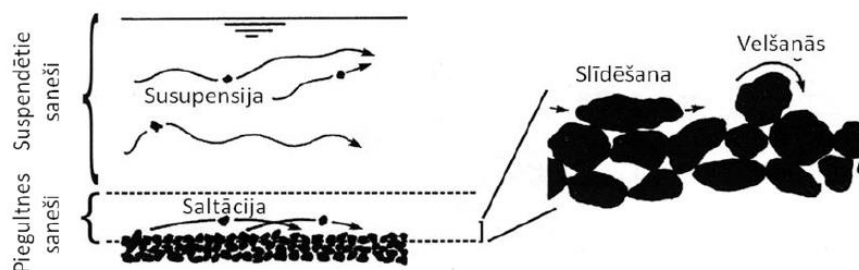
1.3 Jūras krastu ģeoloģiskie procesi

1.3.1 Sanešu materiāla transports

Sanešu pārvietošanās krasta zemūdens nogāzē noris viļņu un to saistīto straumju iespaidā. Pārvietošanās izpaužas kā sarežģīts gareniskās un šķērsvirziena pārvietošanās rezultāts attiecībā pret krasta līniju. Kopumā tiek izdalīti divi sanešu pārvietošanās veidi – piegultnes un suspendēto daļiņu transports (1.2. attēls) (Ulsts, 1998).

Piegultnes transports - sanešu pārvietošanās noris straumes un viļņu ietekmē pa gultnes virsējo slāni un izpaužas saltācijas un daļiņu ripošanas veidā. Procesā pārvietoto daļiņu izmēri ir atkarīgi no straumes un viļņu enerģijas lieluma. Lielā straumes un viļņu enerģijas ietekmē tiks pārvietotas smagākas daļiņas (grants, oļi), bet mazākas enerģijas ietekmē tiks transportētas smalkās frakcijas daļiņas (smilts). Mazākos dziļumos ar stipru viļņu deformāciju, krasta virzienā plūst īslaicīgas un spēcīgas ūdens plūsmas, bet atpakaļ - vājas un ilgstošas. Tas izskaidro tendenci smagākajām sanešu daļiņām pārvietoties krasta virzienā, bet vieglākām – jūras pusē (Ulsts, 1998; Masselink, 2003).

Suspendētais transports – sanešu pārvietošanās noris viļņu, vētru un cita tipa straumju ietekmē. Transporta laikā daļiņas var veikt saskari ar gultni, bet pārsvarā lielāko daļu no laika tās pavada suspensijā. Procesā pārvietotās daļiņas izmēri ir atkarīgi no straumes un viļņu enerģijas lieluma. Lielā straumes un viļņu enerģijas ietekmē tiks pārvietotas smilts frakcijas, bet mazas enerģijas ietekmē – māls un aleirīts (Masselink, 2003).



1.2. attēls. Shematisks sanešu transporta veidu attēlojums (Masselink, 2003)

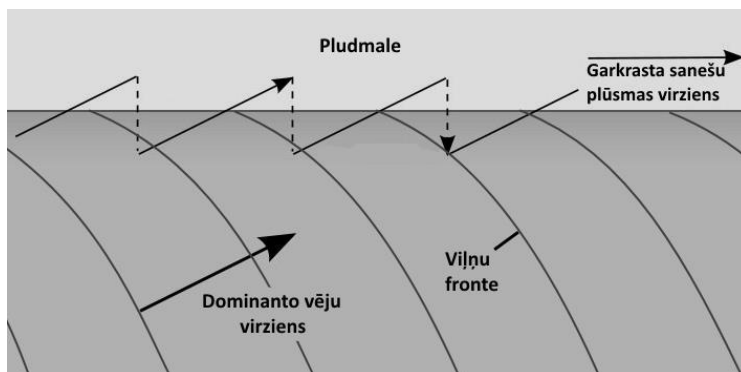
Analizējot ostu piesērēšanas gaitu Baltijas jūras dienvidaustrumu daļā, tika noskaidroti nozīmīgi secinājumi par viļņu darbību un suspendēto sanešu pārvietošanos lēzenu krastu apstākļos (Knaps, 1966):

- vētras laikā lielākās izmaiņas jūras gultnē novērojamas viļņu gāzumu joslas ārējā daļā, savukārt, vietās, kur dziļums ir lielāks par trīskārtīgu viļņu augstumu, izmaiņas ir niecīgas;
- intensīvākā sanešu pārvietošanās pie lēzeniem, smilšainiem krastiem novērojama zemūdens nogāzēs, bet stāvos, oļainos krastos tā ir novērojama pludmalēs.

1.3.1.1 Garkrastu sanešu plūsma

Ilgstošu hidrodinamisko procesu (vēju, viļņu un straumju) mijiedarbības rezultātā piekrastes seklūdens joslā, viļņu gāzumu zonā novērojams izteikts sanešu pārvietošanās virziens. Virzienu nosaka dominējošie vēju virzieni un viļņu frontes veidotais pienākšanas leņķis attiecībā pret jūras krastu. Viļņu gāzuma zonā uzduļķotais materiāls kopā ar ūdens plūsmu tiek izvirzīts pludmalē (vēja un viļņu noteiktajā leņķī), bet ūdens masai atkāpjoties jūras virzienā, kustība notiek perpendikulāri jūras krastam (Eberhards, 2003; Ritter, 2002). Mēģinot izsekot materiāla ilgstošu pārvietošanos procesa ietekmē, novērojama “zig-zagveida” trajektorija (1.3. attēls).

Ilgstoši pakļautā viļņošanās ietekmē suspendētais materiāls var tikt transportēts vairāku kilometru attālumā. Plūsmas virzienu nosaka viļņošanās izraisītā straumju sanešu pārvietošana gar krastu un šķērsām pret krastu. Šādu procesu sauc par garkrasta sanešu transportu. Pēc daudziem jūrās veiktiem eksperimentiem un novērojumiem ir pierādīts, ka vētras laikā radītie viļņi noskaloto materiālu ieskalo jūrā, bet mierīgos viļņošanās apstākļos tas tiek pārvietots atpakaļ krasta virzienā.



1.3. attēls. **Garkrasta sanešu plūsmas materiāla pārvietošanās trajektorija** (autora veidots, izmantojot Plummer, et al., 1985)

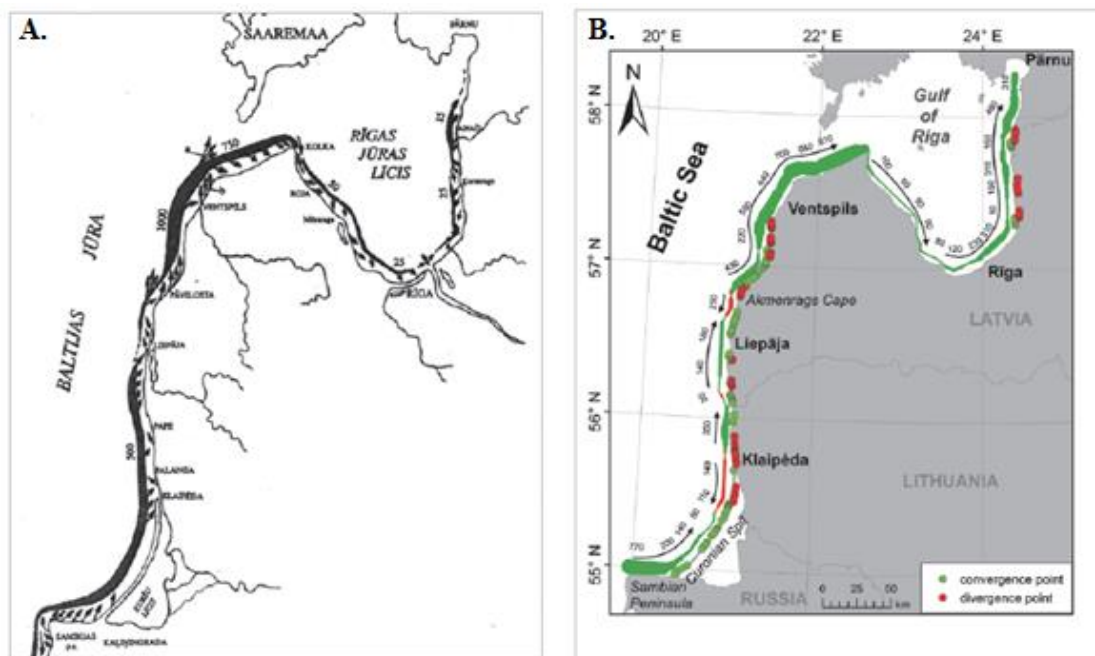
Mierīgos apstākļos vilnim uzrītot pludmalē, liela daļa no ūdens masas iesūcas pludmales nogulumos, kas samazina atplūstošā ūdens daudzumu. Tāpēc uzskalotajam materiālam ir tendence uzkrāties pludmalē, kas gar ūdenslīniju veido krasta valni.

Vētras laikā ar augstu viļņu enerģiju un paaugstinātu ūdens līmeni, krastā pienākošie viļņi parasti noskalo pludmali. Augstā ūdenslīmeņa dēļ, pludmales smilšainie nogulumi jau ir piesātināti ar ūdeni, tāpēc krastā atplūstošās ūdens masas ir gandrīz vienādas ar uzplūstošajām ūdens masām. Tāpēc uzduļķotais materiāls velšanās vai suspensijas veidā tiek ieskalots atpakaļ jūrā, pakāpeniski pazeminot pludmali un samazinot smilšu apjomu (Eberhards, 2003).

Austrumbaltijas sanešu plūsma

Baltijas jūras dienvidaustrumu krastu attīstību nosaka Austrumbaltijas garkrasta sanešu plūsma, kuras virzība ir mantota no Litorīnas jūras laika (Ulsts, 1998). Tā sākas Sambijas pussalas ziemeļos no Kaļiņingradas apgabala līdz Kolkas ragam, kuras virzienu nosaka dominējošais DR vējš, krasta orientācija un viļņu radītā straumju intensitāte. Latvijas teritorijā garkrasta sanešu plūsmas raksturojošos parametrus (virziens, apjoms, sadalījums pa krasta posmiem) nosaka veicot hidrometeoroloģisko staciju novērojumus, aerofoto un kosmisko uzņēmumu izpēti un dešifrēšanu, matemātisko modeļu izveidi, granulometriskos un morfoloģiskos pētījumus, kā arī dzintara izplatības novērojumus (Eberhards, 2003).

Pēc modelētajiem datiem atklātās Baltijas jūras Kurzemes piekrastē sanešu plūsmas jauda atsevišķos krasta posmos var sasniegt pat $810\,000\text{ m}^3/\text{g}$ (Viška, 2014). Modelēšanas rezultāti iegūti izmantojot detālu informāciju par viļņošanās apstākļiem Baltijas jūrā un raksturo sanešu plūsmu bez antropogēnās slodzes ietekmes (1.4. B attēls).



1.4. attēls. Sanešu plūsmas virziens (bultas) un jauda (cipari pie bultām 1000 m^3) (A.) (Ulsts, 1998) Simulācijas rezultējošais sanešu plūsmas virziens un jauda (B.) (Viška, 2014).

Lielākā plūsmas jauda novērojama krasta iecirkņos pie Papes un no Pāvilostas līdz Kolkas ragam, kur transportētais materiāls veicina Kolkas raga pozitīvu attīstību (akumulāciju). Izmaiņas plūsmas jaudā un piesātinājuma pakāpē izraisa dažādi zemesragi, kā piemēram Akmenrags, Ovīšrags un Kolkasrags, kas kalpo kā dabiskās barjeras (Eberhards, 2003; Viška, 2014).

R. Knapa veiktajos pētījumos, kas tiek sīkāk aprakstīti V. Ulsta darbā (Ulsts, 1998) uzrādās garkrasta sanešu plūsmas jaudas aprēķini, kā arī pirmās liecības par pretēji (uz dienvidiem) vērstu garkrasta sanešu plūsmas virzienu Latvijā, Kurzemes piekrastē (1.4. A attēls). Garkrasta sanešu plūsmas virziens atsevišķos krasta nogabalos var būt mainīgs gadu laikā, liecina M. Viškas veiktie pētījumi (Viška, 2014). Šādi krasta posmi izveidojušies krasta posmos no Akmensrags līdz Liepājas Z robežai, kā arī Lietuvas Kuršu kāpas piekrastē, kur sanešu plūsmas jauda variē no $140 - 250\text{ m}^3/\text{g}$ un vērsta DDR virzienā.

1.4 Erozijas cēloņi

Skatoties globāla mērogā uz jūras krasta erozijas cēloņiem, tiek uzskatīts, ka būtisku nelabvēlīgu ietekmi rada cilvēku mēģinājumi kontrolēt krastā notiekošos procesus (krasta preterozijas pasākumu pārmērīgi plaša pielietošana). Par nozīmīgu izmaiņu cēloni tiek uzskatīti arī ar klimata mainību saistītie faktori, galvenokārt - ūdens līmeņa paaugstināšanās pasaules okeānā. Pludmales, kuras ir atstātas tās dabīgajos apstākļos pie tās mainīgajiem ietekmējošajiem faktoriem (ūdens līmeņa izmaiņas, vētru biežums un stiprums), gandrīz vienmēr, laika gaitā atgriežas pie stabiliem apstākļiem (Davis et al., 2004; Eberhards, 2003; Lapinskis, 2010).

1.4.1 Klimata izmaiņas

Balstoties uz svešvārdu vārdnīcā piedāvātās definīcijas: "Klimats ir ilggadējs laikapstākļu režīms, kas raksturīgs kādai ģeogrāfiskai vietai vai apvidum (Lauzis, 1999). Klimatu raksturo gaisa temperatūra, atmosfēras spiediens, vēja ātrums un virziens, nokrišņi un gaisa mitrums. Mainoties kādam no šiem faktoriem, notiek "ķēdes reakcija", kas izraisa citu procesu attīstību un vides pielāgošanos jaunajiem apstākļiem. Mūsdienās notiekošās globālās klimata izmaiņas tiek saistītas ar temperatūras pieaugumu, par kuras cēloni uzskata paaugstināta oglekļa dioksīda (CO₂) un citu siltumnīcefekta gāzu emisijas daudzumu atmosfērā. Temperatūras pieaugums tiešā, vai netiešā veidā var izraisīt nokrišņu daudzuma, jūras līmeņa un vētru biežuma izmaiņas, kas nosaka nozīmīgas izmaiņas dabas un cilvēku vidē (LVĢMC, Bez dat.).

Ūdens līmeņa celšanās

Ūdens līmeņa izmaiņas tiek uzskatītas par galveno jūras krastu izmaiņu ietekmējošo faktoru, kas pēdējā gadsimta laikā turpina krasi augt. Ūdens līmeņa izmaiņas var izraisīt vairāki mehānismi, kas saistīti ar globālām un vietējam izmaiņām. Pārsvārā tos iespējams izdalīt trīs visaptverošos tipos – pasaules okeāna ūdens daudzuma izmaiņas (ledāju kušanas ūdeņu ieplūšanu pasaules okeānā), okeāna baseina tilpuma izmaiņas (tektonisko plātņu spredings vidusokeāniskajās grēdās) un ģeoīda izmaiņas (glacioizostāzijas radītās izmaiņas) (Anderson et al., 2011; Davis et al., 2004; Summerfield, 1991).

Ūdens līmeņa paaugstināšanās laikā, krasta reljefs pakāpeniski pārkārtojas iekšzemes virzienā un lielākie viļņi ir spējīgi aktivizēt (izskalot) krasta nogāzi veidojošo materiālu un to pārnesi uz jūras gultni. Šo sakarību skaidro 1962. gadā publicētā Bruuna formula (Bruun, 1962) ar kuras palīdzību iespējams aprēķināt iespējamo materiāla noskalošanās daudzumu pie noteikta ūdens līmeņa paaugstinājuma (Davis et al., 2004; Lapinskis, 2010).

Uz klimata mainības balstītiem modeļiem tiek prognozēta ūdens līmeņa celšanās par 0,4-0,6 m laika periodā no 2000. līdz 2100 gadam, gadījumā, ja cilvēki veic agresīvus siltumnīcas gāzes ierobežošanas pasākumus (IPCC, 2013).

Vēja iedarbība

Vēja radītā smilšainā materiāla transports var norisināties gan vētras, gan mierīgos apstākļos. Transportētais materiāls no pludmalēm tiek transportēts iekšzemes virzienā, vai tiek apturēts pie veģetācijas vai kāda cita fiziska šķēršļa kas veicina kāpu attīstību. Vietās, kur šie šķēršļi nav, var rasties kāpu izpūšana, vai kāpu migrācija. Vēja enerģija varbūt nerada tiešu krasta eroziju, bet vairāk degradē dabīgo krasta aizsargstēmu. Kāpas kalpo kā dabīgs krasta nostiprinājums, kas pasargā pamatkrastu no ūdenslīmeņa un viļņu iedarbības vētras laikā kā fizisks šķērslis (Davis et al., 2004).

Lai arī globālā līmenī pēc atmosfēras cirkulācijas multimodeļiem tiek prognozēta vētrainības biežuma un vēja stipruma pastiprināšanās, zinātnieki atzīst, ka pašlaik nav iespējams pietiekami precīzi veikt šādas prognozes. Latvijas teritorijā novērojumu staciju dati nenorāda uz vēja ātruma palielināšanos, bet kopš 19. gadsimta tika novērotas atsevišķas spēcīgas vētras (LVGMC, bez dat.).

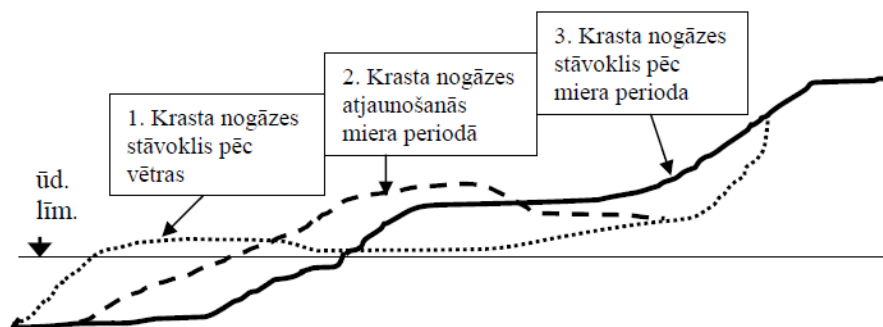
Viļņu iedarbība

Pastiprinātu viļņu veidošanos izraisa vēja brāzmas, kuras iekustina ūdens virsmu, tāpēc viļņu iedarbība ir ļoti saistīta ar vēja iedarbību. Viļņu iedarbība atstāj iespaidu uz jūras gultni no viļņu iedarbības zonas (dziļums kas ir vienāds ar trīskāršīgu viļņu augstumu) līdz pamatkrastam (vētras apstākļos). Spēcīgu vētru laikā iespējama arī ūdens līmeņa paaugstināšanās, jeb krasta līnijas uzvirzīšanās līdz augstajai pludmalei, kur pludmales veidojošais materiāls tiek suspendēts un ieskalots seklūdē daļā. Krasta nogāzes šķēršļos pēc morfoloģiskajām pazīmēm iespējams noteikt kādos apstākļos veidojusies krasta nogāze (1.5. attēls) (Anderson et al., 2011; Davis et al., 2004; Eberhards, 2003; Ulsts, 1994).

Straumju iedarbība

Garkrasta strauņu iedarbība seklūdē zonā ir viena no svarīgākajām krasta erozijas izraisošajiem faktoriem, ko nosaka pienākošo viļņu vērsums pret krasta līniju. Tā atbild par ieskalotā materiāla garkrasta transportu ūdens vidē un mēdz būt ļoti izteikta vētras laikā. Materiāla transporta intensitāte nosaka krasta vides sanešu bilances līdzsvaru, tāpēc tā ir saistīta arī ar virsūdens daļā notiekošo krasta eroziju. Situācijā, kur stipra garkrasta straume ir izraisījusi negatīvu sanešu bilanci, materiāla deficīts tiks kompensēts ar piejūras teritorijas

veidojošo materiālu, izraisot jūras krasta eroziju (Davis et al., 2004; Eberhards, 2003; Ulsts, 1994).



1.5. attēls. Krasta nogāzes šķēršprofila izmaiņas vētras-miera perioda cikla laikā (Lapinskis, 2010)

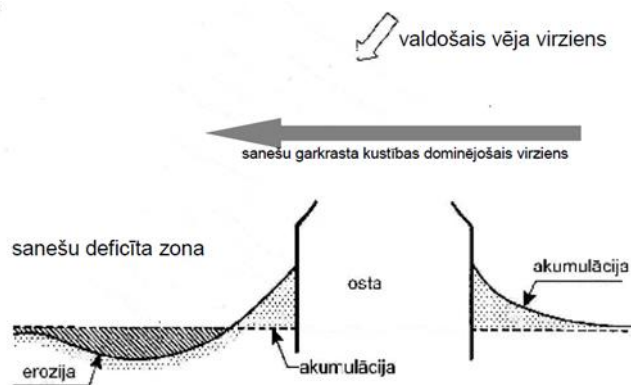
1.4.2 Antropogēnā slodze

Iepriekš darbā tika uzsvērti vairāki jūras krasta vides veidojošie apstākļi. Līdz šim tika apskatīti dabīgi faktori, kas veicina jūras krastu eroziju un parāda dabīgas jūras krasta vides reakciju uz šāda mēroga izmaiņām. Jūtīgas vides apvienošana ar blīvu apdzīvotību jūras krasta zonā ir izraisījusi daudzas problēmas, laika gaitā to daudzums un intensitāte turpina zīmīgi pieaugt (Eberhards, 2003; Davis et al., 2004; Schwartz, 2005).

Jūras krastu teritorijās antropogēno slodzi izraisa ostas, moli, viļņlauži, kuģu ceļu kanāli, krastu nostiprinājumi, saimnieciskā apbūve kā arī rekreācijas slodze. Lielāko iespaidu uz krasta attīstību atstāj hidrotehniskās būves, kas izraisa dabīgo sistēmu pilnīgu sagraušanu, vai būtisku izmaiņu radīšanu (Eberhards, 2003; Lapinskis, 2010). Antropogēnā slodze izpaužas kā garkrastu sanešu plūsmas ceļā radītie šķēršļi, kas izraisa materiāla daļēju izņemšanu no aprites un ierobežo jauna materiāla nonākšanu tajā. Līdzīgu rezultātu var arī izraisīt seklūdens daļā iegūstot smiltis un granti, kā arī bloķējot jūrā ieplūstošo materiālu no upēm, ko mēdz izraisīt uz upēm izvietotas hidroelektrostacijas un mākslīgās ūdenskrātuves.

Pārtraucot vai būtiski ierobežojot normālu sanešu plūsmu ar hidrotehniskajām būvēm, notiek materiāla uzkrāšanās būves “pretstraumes” pusē, bet aiz tās - krasta noskalošanās radītu deficītu (1.6. attēls) (Eberhards, 2003; Lapinskis, 2010).

Šāda veida situācijas ir izveidojušās neskaitāmās vietās visā pasaulē un radīto problēmu seku mazināšanai tiek būvētas dažādas aizsargbūves un veikti krasta piebarošanas pasākumi. Līdzīga situācija novērojama Latvijas Kurzemes piekrastes lielajās ostās – Liepājā un Ventspilī, kā arī citās Baltijas jūras piekrastes valstīs. (Davis et al., 2004; Eberhards, 2003; Lapinskis, 2010; Jūras krastu nostiprināšana, 2007; Schwartz, 2005; Žaromskis, 2007).



1.6. attēls. Ostas ārējo hidrotehnisko konstrukciju ietekme uz krasta attīstību (Lapinskis, 2010)

1.4.3 Preterozijas risinājumi un to ietekme uz krasta attīstību

Piekrastes hidrotehnisko būvju projektēšana un ierīkošana ir viena no civilo inženierzinātņu jomām, kas specializējas krasta attīstībā un specifisku būvju būvniecībā, piekrastes apstākļos. Tās uzdevumi iekļauj krasta erozijas pārvaldību, kanālu un ostu uzlabošanu, aizsardzību pret plūdu, vētru un cunami radītiem viļņiem, kā arī rekreācijas slodzes un piesārņošanas pārvaldību (Hoffman, 2013).

Piekrastes problēmu risināšanā iespējams izdalīt trīs galvenās krasta stabilizācijas metožu grupas – cietā krasta stabilizācija, mīkstā krasta stabilizācija un neiejaukšanās (Eberhards, 2003; French, 2001; Davis et al., 2004; Vadlīnijas jūras... 2014).

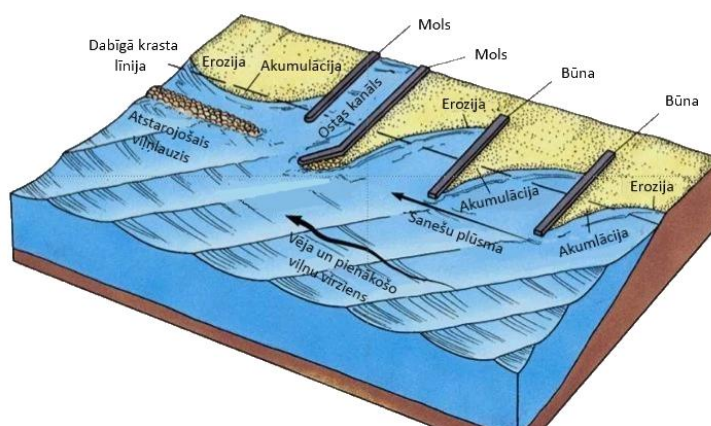
1) Smagā krasta stabilizācija

Šo metožu pamatā ir paliekošu būvju izvietošana krasta zonā, lai mazinātu viļņu iedarbību uz krasta nogāzi veidojošajiem iežiem, pasargātu krastu no ūdenslīmeņa celšanās un aizturētu sanešu transportu. Metodes tiek pielietotas tādos krasta iecirkņos, kur erozija nopietni apdraud svarīgus infrastruktūras elementus vai svarīgus dabas objektus. Tā ir ļoti efektīva tās prognozētajā kalpošanas laikā, bet pēc tam lielā daļā gadījumu būves tiek bojātas vai pilnībā iznīcinātas jūras ietekmē. No negatīvas puses metodes ir salīdzinoši dārgas, bieži izraisa krasta eroziju blakus iecirkņos un negatīvi ietekmē ainavu (Davis et al., 2004; Masselink, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014).

Atbangošanas sienas. Vertikālas vai nogāžu veida sienas, kas vērstas paralēli jūras krastam (1.7. attēls). Sienas var tikt veidotas kā krāvumi vai kā stabilas struktūras konstrukcijas no dažādiem materiāliem – koka, metāla, betona, akmens un pat smilšu maisiem. Metode ir plaši pielietota visā pasaulē un mūsdienās uzskatāma par “pēdējās iespējas metodi”. Atbangošanās sienas var tikt izbūvētas augstajā pludmalē, lai vētru laikā pasargātu no pamatkrasta erozijas, vai zemajā pludmalē, tiešas viļņošanās apstākļos (Davis et al., 2004; Masselink, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014).

Negatīvie aspekti:

- Izraisa krasta eroziju būves galos un izskalo materiālu aiz konstrukcijas.



1.7. attēls. Preterozijas būvju shēma un to ietekme uz krasta attīstību (<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/3a/4c/08/3a4c0819ed84519d98bde2caf72fb351.jpg>, bez dat., autora rediģēts)

Viļņlauži. Līdzīgas atbangošanās sienām, tikai sastāv no vairākiem posmiem vai savienotas ar krastu nepārtrauktā līnijā (1.7. attēls). Parasti izvietotas zemūdens nogāzē, daļēji (atstarojošie viļņlauži) vai pilnībā zem ūdens (zemūdens viļņlauži). Konfigurācija un izvietojums tiek piemērots nepieciešamajiem apstākļiem. Būvju galvenais mērķis ir mazināt krastā pienākošo viļņu enerģiju un veicināt sanešu uzkrāšanos krasta izvirzījumu veidā. Bieži tiek pielietotas ostu būvniecībā, lai radītu mierīgākus apstākļus ostās vētru laikā. Negatīvie aspekti (Davis et al., 2004; Masselink, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014):

- negatīvi ietekmē garkrasta sanešu plūsmu;
- izraisa neregulāru krasta līniju, viļņu laušanas rezultātā var izskaloties dziļas bedres būves starposmos.

Rip-rap, banketes. Parasti izpaužas kā laukakmeņu, būvgružu, betona prizmu vai tetrapodu krāvumi. Krāvumi izvietoti piejūras teritorijā un funkcionē kā atbangošanās sienas analogs, bieži vien kalpo kā papildinājums citām aizsargbūvēm, lai mazinātu pienākošo viļņu enerģiju, vai kā lēts pagaidu risinājums krasta aizsardzībā. Negatīvie aspekti (Davis et al., 2004; Masselink, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014):

- lētākie risinājumi negatīvi ietekmē ainavu;
- būvju materiāls var tik ieskalots jūrā, vai izretināts pa krastu.

Būnas. Pasaulē pielietotākā metode krasta stabilizēšanai. Uzbūve līdzīga atbangošanās sienām, kas ir vērstas perpendikulāri krasta līnijai un sniedzas visā viļņu iedarbības zonas garumā (1.7. attēls). Bieži tiek veidotas būnu grupas gar krastu, lai veicinātu sanešu materiālu uzkrāšanos garākā krasta posmā. Ideālajā gadījumā pēc laika iesprostotais materiāls aprot

būnas un nav saskatāms būvju ķermenis Negatīvie aspekti (Davis et al., 2004; Masselink, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014):

- izraisa pārrāvumu garkrasta sanešu plūsmā un izraisa krasta eroziju būvju pretstraumes pusē, izskalošanās rezultātā būna var atdalīties no krasta un reaktivēt sanešu plūsmu;
- grūti prognozēt nepieciešamos būvju parametrus. (Davis et al., 2004).

Moli. Uzbūve līdzīga būnai, bet atšķiras ar lielo garumu. Garums mēdz sasniegt pat vairākus kilometrus (1.7. attēls). Plaši tiek izmantotas ostu būvniecībā, lai mazinātu ostu kanālu aizsērēšanu un sanešu uzkrāšanos būves pretstraumes pusē. Negatīvie aspekti (Davis et al., 2004; Masselink, 2003; Vadlīnijas jūras... 2014):

- var izraisīt pilnīgu garkrasta sanešu plūsmas pārrāvumu;
- būves lielā garuma dēļ spēj aizturēt lielāku sanešu daudzumu.

2) Mīkstā krasta stabilizācija

Pēdējās desmitgadēs biežāk tiek pielietotas krasta stabilizācijas metodes, kas sevī neietver cieto konstrukciju būvniecību, vai sveša materiāla ienešanu krasta vidē. Metode vairāk ir balstīta uz vietējā pludmales materiālu pielietošanu, pludmales un kāpu veģetācijas stādījumu ierīkošanu un rekreācijas slodzes ierobežošanu. Šīs metodes pārsvarā tiek uzskatītas par dabai draudzīgu un salīdzinoši lētu risinājumu smilšainajās pludmalēs. Metode varbūt nav piemērotākais risinājums svarīgu objektu aizsargāšanai iecirkņos ar intensīvu krasta eroziju, bet sekmīgi pilda savas funkcijas vājas un vidējas erozijas krastu posmos (ir izņēmumi) (Eberhards, 2003; French, 2001; Davis et al., 2004; Vadlīnijas jūras... 2014).

Pludmales barošana. Pludmales barošana viennozīmīgi ir pati dārgākā no mīkstajām krasta stabilizācijas metodēm. Tā izpaužas kā smilšu materiāla izvietošana erodētas pludmales apstākļos, lai kompensētu pludmales materiāla deficītu. Metodes pielietošanā liela uzmanībā ir jāpievērš barojamā materiāla granulometriskajam un organiskajam sastāvam, ka arī noapaļotībai un materiāla daudzumam. Sekmīgi pielietotas metodes gadījumā, vidējais kalpošanas laiks sākas no 10 gadiem (atkarīgs no erozijas intensitātes un citiem faktoriem). Negatīvie aspekti:

- barošanas materiāls bieži tiek iegūts no blakus esošajām teritorijām (virsūdens un zemūdens apstākļiem), tādējādi izraisot vides aizsardzības draudus.
- Augstas izmaksas.

Kāpu uzturēšana un izveide. Kāpas ir kā dabīga barjera, kas kalpo vēja transportētā materiāla aizturēšanai jūras krastā un pasargā iekšzemi no jūras iedarbības vētru laikā. Veicot veģetācijas stādīšanu un žogu izvietošana pludmales vai kāpu teritorijās, veicina vēja nesto smilšu akumulāciju. Metode sevī ietver ilglaicīgu teritorijas apstādīšanu un žogu stratēģisku izvietošana tā, lai veicinātu žogu un veģetācijas aprakšanu, tādējādi izraisot kāpu ķermeņu attīstību. Metodi iespējams izmantot arī

pludmales pieaudzēšanai – plānot veģetāciju un žogu izvietojumu tā, lai aizturētais materiāls uzkrātos vienmērīgi visā pludmalē. Metode ir plaši pielietota visā pasaulē un tiek uzskatīta par "videi draudzīgāko" un vienu no lētākajām erozijas problēmu risinājumiem. Metodes efektivitātei vēlams ierobežot rekreācijas slodzi, izveidojot takas un laipas pludmales apmeklētājiem (Eberhards, 2003; French, 2001; Davis, 2004; Vadlīnijas jūras... 2014).



1.8. attēls. Pludmales barošana Majoru pludmalē (A.) Kārķu pinumu sētiņu izveide Kauguru pludmalē (B.) (Foto A. Soms)

3) Neiejaukšanās

Kā jau iepriekš darbā tika minēts, netraucētos krasta posmos krastam ir tendence pēc stiprām vētrām atjaunoties un atgriezties pie dabīgā līdzsvara. Krasta posmi, kuri ir pakļauti dabīgas vai antropogēnas erozijas ietekmei bez būtiskas lomas infrastruktūras attīstībā vai dabas vērtību saglabāšanā, vēlams neiejaukties ģeoloģisko procesu norisē. Veicinot krasta eroziju kādā no krasta posmiem, erodētais materiāls lielākoties nonāk sanešu apītē, tādējādi nodrošinot pozitīvu sanešu bilanci citās krasta teritorijās. Šāda metode nodrošina augstāko krasta stabilitāti un atvieglo tālāku krasta attīstības prognozēšanu (Eberhards, 2003; French, 2001; Davis et al., 2004; Vadlīnijas jūras... 2014).

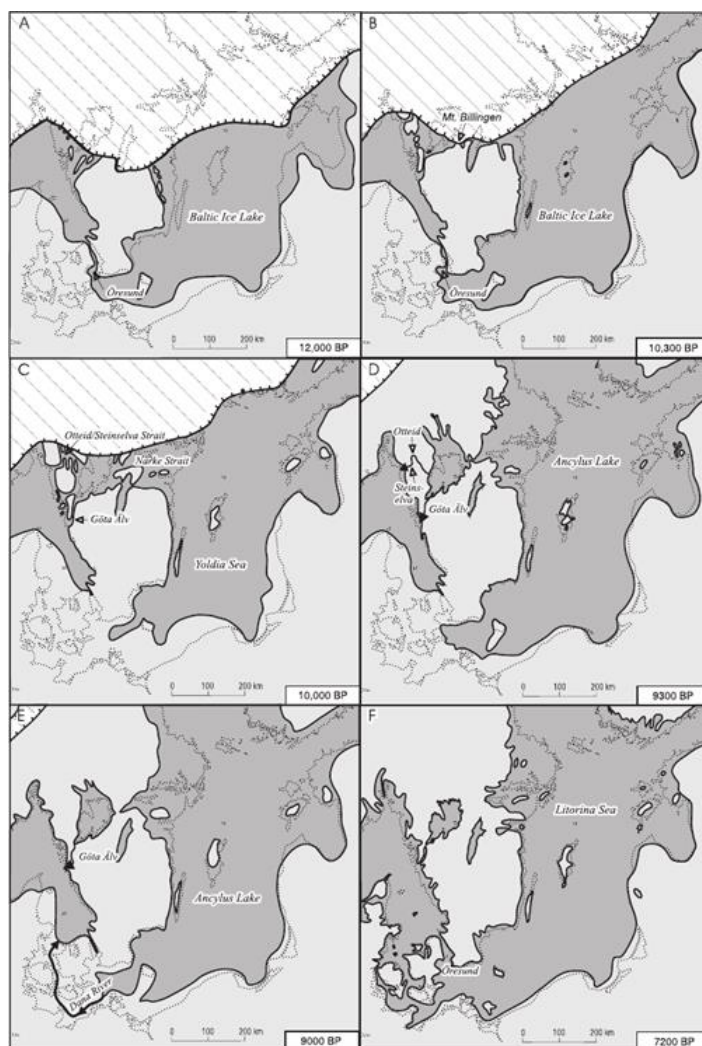
1.5 Baltijas jūra

Baltijas jūra ir Atlantijas okeāna iekškontinentālā jūra, kur savienojumu veido Ziemeļu jūra un Dānijas šaurums (Latvijas daba, 1994). Jūra sniedzas dziļi Eiropas ziemeļu daļā un robežojas ar Dāniju, Igauniju, Krieviju, Latviju, Lietuvu, Poliju, Somiju, Vāciju un Zviedriju. Baltijas jūra ir viena no lielākajām iesālūdens jūrām pasaulē. Jūras sāļums variē no 1‰ ziemeļu daļā līdz 6 - 8‰ centrālajā daļā, kas ir diezgan zems, salīdzinājumā ar Pasaules okeāna vidējo sāļumu (35‰). Baseina kopējā platība ir 415, 000 km², bet kopējais tilpums sasniedz 21, 700 km³. Baltijas jūras vidējais dziļums ir 55 m, bet maksimālais dziļums 459 m novērojams Landsortas ieplakā. Ledus tā maksimālās izplatības periodā (februāris—marts) klāj vidēji 45% Baltijas jūras platības.

1.5.1 Baltijas jūras ģeoloģiskā vēsture

Baltijas ledus ezers

Pēdējā apledojuma deglaciācijas laika posms tiek uzskatīts par Baltijas ledus ezera veidošanās pirmsākumu. Pirms 12, 600 ¹⁴C g.p.m. ledājam atkāpjoties, kūstošais ledus aizsevis atstāja milzīgus saldūdens resursus, kas aizpildīja Baltijas Jūras depersiju. Kūstošā ledus un glacio izostāzijas rezultātā izveidojas milzīgs saldūdens ezers, kas mūsdienās nosaukts par Baltijas ledus ezeru (1.9. A attēls).



1.9. attēls. Baltijas jūras attīstības stadijas 12, 000 – 7200 ¹⁴C g.p.m (Izstrādājis Tikkanen, et al., 2002 izmantojot Eronen 1990; Björck 1995)

Aptuveni pirms 12, 000 ¹⁴C g.p.m. ūdens tilpuma palielināšanās rezultātā tiek izskalota Ērzundas ieleja (skat. 1 A att.), pa kuru notiek Baltijas ledus ezera notece okeānā. Izostāzijas rezultātā Ērzundas ielejas pamatieži paceļas virs pasaules okeāna ūdens līmeņa, tādējādi izraisot noplūdes vietas aizdambēšanos. Šajā laika periodā pasaules okeāna ūdens līmenis bija par 100 m zemāks. Kā par Baltijas ledus ezera beigu posmu tiek uzskatīta stadija, kurā tas

atkal savienojas ar pasaules okeānu. Notece izveidojās aptuveni pirms 10, 300 ¹⁴C g.p.m. ledājam strauji atkāpjoties un izveidojot noteces kanālu uz ziemeļiem no Bilingenas kalna (1.9. B attēls). Īsi pirms galīgās noplūdes ūdens līmenis kritās par 25 m (Bird, 2008; Tikkanen, et al., 2002).

Joldijas jūra

Ar klimata pasiltināšanos noslēdzās pēdējā apledošanas laika posms, ar kuru sākās arī nākošā Baltijas jūras attīstības stadija – Joldijas jūra. Joldijas jūras sākotnējā fāze ir raksturīga ar saldūdens pasāļināšanos, ko izraisīja pasaules okeāna ūdens ieplūšana Joldijas jūras baseinā caur Norkes šaurumu (1.9. C attēls). Šī fāze saglabājās tikai 100 – 200 ¹⁴C gadus, kuru nomainīja atkal saldūdens fāze, ko izraisīja ledāja kušanas ūdeņu pietece. Šajā laika periodā pirms 10, 000 ¹⁴C g.p.m ūdens līmenis cēlās vairāk par 1m 100 gadu laikā, bet salīdzinājumā ar mūsdienām, tas vēl joprojām bija par 30 m zemāks. Laika periods ir raksturīgs ar strauju ledāja atkāpšanos, ūdenslīmeņu pazemināšanos, vēsu un salīdzinoši sausu klimatu (Bird, 2008; Tikkanen, et al., 2002)

Ancilusa ezers

Jūras transgresijas rezultātā Joldijas jūras un pasaules okeāna savienojosajā šaurumā izraisīja pasaules okeāna atdalīšanos no Baltijas baseina pirms 9500¹⁴C g.p.m. Tas nozīmēja, ka Baltijas baseins atkal kļuva atdalīts no pasaules okeāna, ar ko tiek nodalīta jauna attīstības stadija – Ancilusa ezers (1.9. D attēls). Šajā laika periodā ūdenslīmenis cēlās par 5 – 10 centimetriem gadā, kas apludināja lielas sauszemes platības, it īpaši dienvidu krastā, kur nenotika zemes celšanās. Ūdenslīmenim paaugstinoties, laika gaitā šis sliekšnis tika pārsniegts aptuveni pirms 9200 ¹⁴C g.p.m. un ūdens atkal ieplūda pasaules okeānā caur Danas upi (1.9. E. attēls). Diemžēl, straujās regresijas un zemes celšanās rezultātā šī upe izzuva. Sauszemes veidojošie ieži bija grūti erodējami, tāpēc tas aizņēma 200 gadus, lai Danas upe izgrauztu sev jaunu gultni un atkal ieplūstu pasaules okeānā, kas notika aptuveni pirms 9000 ¹⁴C g.p.m. Laika gaitā ūdens līmenis cēlās, tādejādi paplašinot upes ielejas un apludinot sauszemes teritorijas, kas noveda pie neregulāras krasta līnijas (Bird, 2008; Tikkanen, et al., 2002).

Litorīnas jūra

Pasaules okeāna ūdens līmenis turpināja celties vairāk par 1 centimetru gadā, tāpēc sālsūdens laika gaitā tomēr pārkāpa šo sliekšni un ieplūda Ancilusa ezerā aptuveni pirms 8400 g.p.m.. Ūdens apmaiņa notika lēni, bet līdz 7500 ¹⁴C g.p.m. ūdens palika sāļāks, kas Baltijas

jūras attīstībā iezīmējas kā Litorīnas jūras stadija (1.9. F attēls). Aptuveni ap 7000 g.p.m. ūdens sāļums centrālajā daļā sasniedza 1.3 procentus un Skandināvija ap šo laiku ir pilnībā brīva no patstāvīgā ledus. Ap 6000 un 5000 ¹⁴C g.p.m. nostabilizējas pasaules okeāna ūdens līmenis un jūras transgresijai pienāca gals. Kopš šī laika Litorīnas jūra turpināja attīstīties bez ievērojamām izmaiņām. Litorīnas jūras stadija beidzās pirms 4000 ¹⁴C g.p.m., kad ūdens sāļums sāk līdzināties mūsdienu Baltijas jūras parametriem (Bird, 2008; Tikkanen, et al., 2002).

2 PĒTĀMĀ TERITORIJA

Pētāmā teritorija atrodas Latvijas DR, Liepājas pilsētā, kā arī Medzes un Vērgales pagastos, Baltijas jūras krastā. Teritorija sniedzas no Karostas, agrākās dzelzceļa stacijas “Gvardejskaja” līdz Šķēdes poligonam (2.1. attēls), tā ir 9 km gara, 30-60 m plata un sevī ietver jūras seklūdenu un krasta nogāzes virsūdens daļu.



2.1. attēls. Pētījumā izmantoto krasta nogāzes nivelēšanas profilu novietojums pētījuma teritorijā (Izstrādājis autors, izmantojot satelīt karti 50K M 1:80 000)

Pēc dabas apvidus iedalījuma teritorija ietilpst Bārtavas līdzenumā, kur krastus veido Pēclitorīnas jūras nogulumu. Uz ziemeļiem no Liepājas pilsētas, pie sagraudajiem masīvbetona artilērijas fortiem, krasta nogāzi veido 3-5 m augsti krasti, kurus var definēt kā kvartāra nogulumos veidojous jūras erozijas stāvkrastus ar vienkāršu ģeoloģisko uzbūvi. Pludmales platums variē 15-30 m robežās, to veido vāji šķirota dažāda rupjuma smilts ar grants un oļu piejaukumu, vietām novērojami pagaidu rakstura oļu vaļņi. Pie Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtām krasti klasificējami kā mākslīgi nostiprinātie krasti, bet tālāk uz

ziemeļiem izplatīti jūras, pludmales un eolie nogulumi ar regresējošu priekškāpu (Eberhards, 2003; Lapinskis, 2008; Ulsts, 1998).

2.1 Krasta attīstību ietekmējošie antropogēnie objekti

2.1.1 Liepājas osta

Pateicoties saimnieciskās dzīves uzplaukumam Liepājā, 1997. gadā tika parakstīts līgums ar Kurzemes hercogu Frīdrihu Kazimiru par Liepājas ostas izbūves projektu, pēc kura sākās ostas padziļināšanas un krastu nostiprināšanas darbi. Pilsētai attīstoties, tiek pakāpeniski paplašināta un atjaunota Liepājas osta. No 1891. – 1901. gadam norisinās vislielākie darbi ostas izbūvē, kas sevī iekļāva Karostas kompleksa, molu un viļņlaužu izbūvi, kas turpina kalpot līdz mūsdienām (Eberhards, 2003; Gūtmanis, 2002; Liepājas spec..., bez dat.; Ulsts, 1998).

Liepājas osta celta Baltijas jūras izlīdzinātā, akumulatīva krasta posmā kā ārējā osta, norobežojot krasta seklūdens daļu ar diviem moliem un diviem viļņlaužiem 4 km garumā. Būvju komplekss izvirzīts 1,5-2,0 km jūrā ar ostas vidējo dziļumu – 9 m. Dienvidu mola garums ir 2050 m, tas ir būvēts no saliktiem betona masīviem. Jūras daļā mols veidots no caurplūstama masīva sabēruma, kas izveido līkumu un pavēršas gandrīz paralēli jūras krastam. Pēc speciālistu domām, šāda neregulārā konfigurācija samazina priekšostas piesērējumu. Ziemeļu mola garums ir 1800 m un tas ir būvēts no sanešiem necaurplūstošiem, kārtīgi sakrautiem betona masīviem. Viļņlauži ir vērsti paralēli jūras krastam, to garumi ir - 767 m un 1690 m un būvēti no caurplūstošiem, neregulāriem masīvu krāvumiem (Eberhards, 2003; Ulsts, 1998).

Aptuveni 60 gadu laikā kopš ostas izbūves, ostas dienvidu daļā 6 km garumā gar krastu turpinājās strauja sanešu akumulācija, izraisot krasta pieaugumu līdz 300 m. Jaunajos apstākļos izveidojās 2-3 priekškāpas un stabila, 50-70 m plata pludmale. Lielais sanešu daudzums laika gaitā nonāca līdz ostas kanāliem, kas izraisīja to piesērēšanu. Mola bloķētā garkrasta sanešu plūsma, kas pārvietojās no dienvidiem, izraisīja sanešu deficītu ostas ziemeļu daļā. Noskalojamā pamatkrasta josla sniedzās 6-12 km garumā, apdraudot fortu būves un pilsētas notekūdens attīrīšanas iekārtas.

Mūsdienās Liepājas osta tiek regulāri uzturēta, novēršot tās piesērēšanu, kā arī tiek padziļināti kuģu ceļu kanāli. Bagarēšanas darbi tiek veikti katru gadu, izsmelot aptuveni 250 000 m³ materiāla (Rekurzeme, 2014). Izsmeltais materiāls tiek izgāzts jūras izgāztuvē, 3,7 km uz ziemeļiem no Liepājas ostas, 11-12 m dziļumā (Eberhards, 2003).

2.1.2 Liepājas jūras cietoksnis

Līdz mūsdienām saglabājušies Liepājas forti ir tikai neliela daļa no 19. gadsimta būvētā Liepājas jūras cietokšņa un flotes bāzes kompleksa. Tie pārsvarā atrodas pie Liepājas pilsētas ziemeļu robežas uz ziemeļiem no ziemeļu mola. Būves veidotas no masīviem betona blokiem, laukakmeņiem un metāla sijām.

Līdz 1906. gadam tika izbūvēta karabāzes ārēja nostiprinājuma sistēmā un izveidotas vairākas krasta baterijas. 1908. gadā cars Nikolajs II apstiprina iesniegto Valsts aizsardzības padomes lēmumu par Liepājas jūras cietokšņa likvidāciju. Kā galvenie likvidācijas iemesli bija augstās uzturēšanas izmaksas un negatīvā ietekme uz kuģu pārvietošanos Liepājas ostā. Daļa cietokšņu būvju tika spridzinātas, bet tas nedeva gaidītos rezultātus (Eberhards, 2003; Gūtmanis, 2002).

Šobrīd būves pakļautas stiprai jūras krasta erozijai un to noārdīšanās rezultātā krasta zonā uzkrājas būvju veidojošā materiāla paliekas. No krasta aizsardzības viedokļa mūsdienās būves kalpo kā hidrotehniskā aizsargbūve pamatkrasta noskalošanai, kas funkcionē līdzīgi atbangošanas sienas un rip-rap kombinācijai. Tiek prognozēts, ka būves preterozijas funkcionalitāte saglabāsies aptuveni turpmākos 50 gadus (Eberhards, 2003; Lapinskis, 2010).

2.1.3 Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtas

Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtas (NAI) atrodas Liepājā, Baltijas jūras krastā, 1 km attālumā no pilsētas ziemeļu robežas. Savu darbību Liepājas NAI uzsāka 1972. gadā. Mūsdienās, pēc plašiem rekonstrukcijas darbiem un tehnoloģiskajiem uzlabojumiem teritorijā tiek veikta mehāniskā un daļēja bioloģiskā ūdens attīrīšana. Pēc attīrīšanas notekūdeņi tiek izvadīti Baltijas jūrā 12 m dziļumā 1,4 km attālumā no krasta (SIA Liepājas..., bez. dat.).

Pēc Liepājas ostas molu izbūves 19. g.s. beigās, traucētās garkrastu sanešu plūsmas negatīvā ietekme atspoguļojās arī Liepājas NAI teritorijā, veicinot intensīvu krastu izskalošanu. Laika posmā no 1970.-1984. gadam krasts atkāpies par 56 m, tāpēc tiek meklēts problēmas risinājums. 1988. gada decembrī "Liepājas ūdens" izveido 150 m garu krasta aizsargbūvi ar mērķi veicināt smilts materiāla uzkrāšanos pludmalē. Aizsargbūve veidota no krastā iedzītiem betona vai koku pāļiem, kas savienoti ar autoriepu krāvumiem. Aizsargbūve tiek gandrīz pilnībā nopostīta pēc 11 gadiem, 1999. gada decembra vētru laikā. Pēc 2005.gada vētras "Ervin" krasts atkāpies par 12 m pie NAI un sāk bojāt vecās hlorētavas ēkas pievadceļu kā arī pilnībā iznīcina veco krasta stiprinājuma būvi (Eberhards, 2003, Ulsts, 1998).

2005. gada maijā tiek uzsākta SIA "HT-KONSALTINGS" izstrādātā tehniskā projekta "Krasta aizsardzība Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtu teritorijā vētras radīto

seku likvidēšanai" būvniecības darbi. Krasta aizsargbūves veidotas no gabioniem (stieplu grozi pildīti ar akmeņiem), zem kuriem izklāts ģeotekstila slānis. Konstrukcijas būvniecībā izmantots 800 m³ akmeņu, veidojot 250 m garu, 8,3 m platu un 4 m augstu nogāzes profila krasta nostiprinājumu (Jūras krasta..., 2007).

Laika gaitā viļņošanas rezultātā krasta aizsargbūves tiek būtiski bojātas, tāpēc regulāri tiek veikti to atjaunošanas un papildināšanas darbi. SIA "Liepājas ūdens" regulāri iepērk laukakmeņus no vietējiem iedzīvotājiem un izvieto tos jūras krastā ar mērķi mazināt viļņu iedarbību (Bogovičs, 2016).

2.1.3.1 Risinājumu varianti Liepājas NAI nostiprināšanā

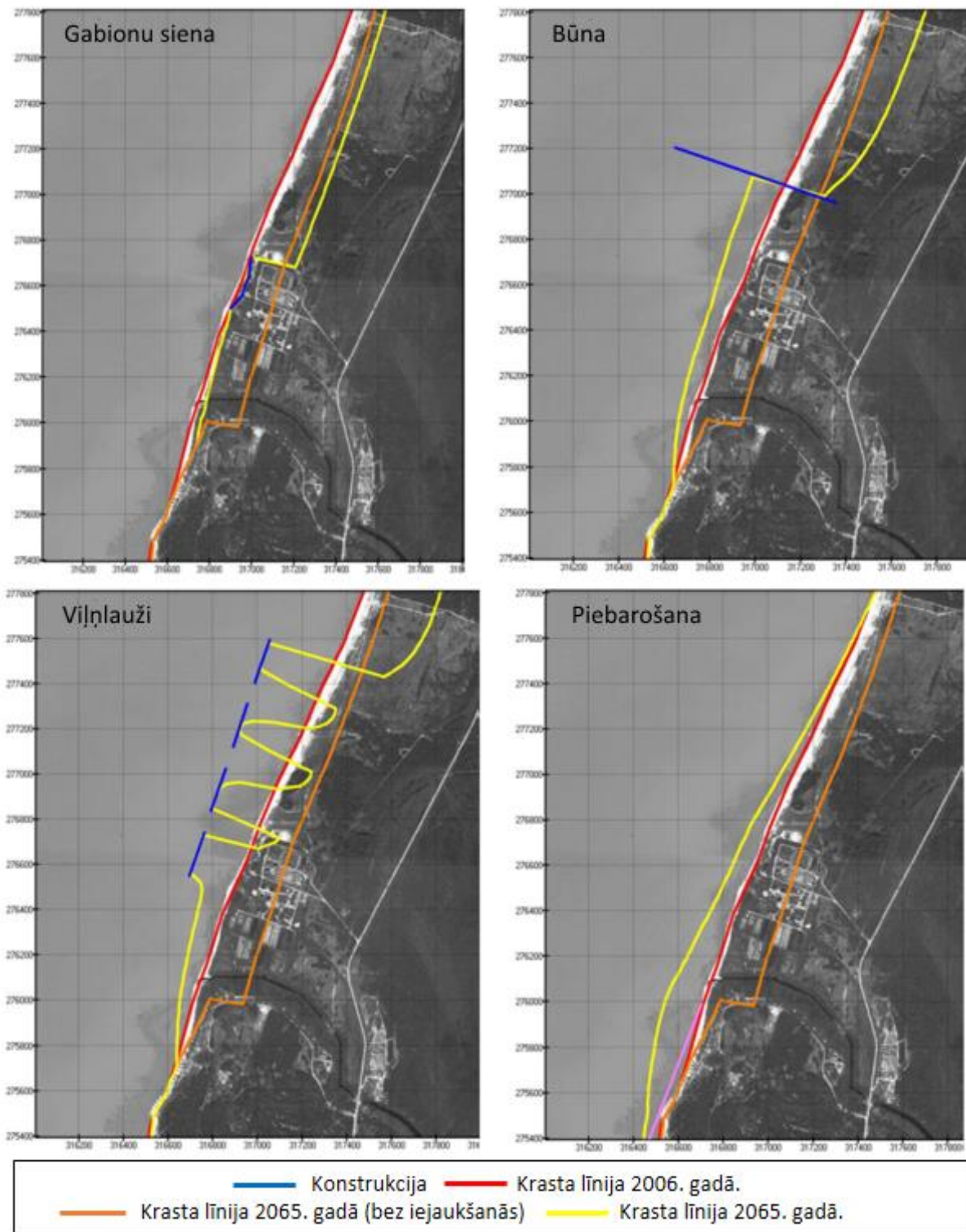
Sadarbībā ar SIA "PAIC" (procesu analīzes un izpētes centrs) veiktas izpētes, datu apkopošanas un apstrādes "SwEvolver" programmatūrā, tika izveidotas vairākas simulācijas dažādu krasta aizsargbūvju radītajām sekām uz krasta līniju. Simulācijas tika palaistas gabionu, būnu un viļņlaužu konstrukcijām, kā arī krasta barošanas metodei (PAIC, bez dat.).

Gabionu siena

Gabionu siena pašlaik ir vienīgais realizētais projekts, kas tika izveidots balstoties uz šiem modelēšanas datiem (2.2. attēls). Tā kalpo kā īslaicīgs risinājums līdz brīdim kad tiks piesaistīti lielāki līdzekļi problēmas risināšanai. Kā redzams attēlā, tika prognozēta krasta līnijas nostabilizēšana Liepājas NAI teritorijā līdz pat 2065. gadam, bet blakus iecirknī izraisītu 220 m lielu krasta atkāpšanos (Bogovičs, 2016; PAIC, bez dat.).

Būna

Pašlaik ir apstiprināts projekts par 500 m garu mola būvniecību (2.2. attēls). Mols tiks būvēts no būnām un sniegsies jūrā līdz 6m dziļumam. Projekta realizēšana prognozē krasta pieaugumu par 75 m (dienvidos) līdz 130 m (pie būnas), kas pilnībā atrisinās Liepājas NAI krasta aizsardzības problēmu (Bogovičs, 2016). Diemžēl blakus iecirknī konstrukcija izraisīs krasta atkāpšanos 260 m.



2.2. attēls. Simulāciju rezultāti no aizsargbūvju radītajām sekām uz krasta līniju (PAIC, bez dat.)

Viļņlauži

Simulācija tika palaista situācijai, kur jūrā tika izvietoti četri subparalēli viļņlauži, kuri sniedzas gar krastu 800 metru garumā (2.2. attēls). Kā redzams attēlā akumulācija nenotiktu

vienmērīgi, bet izveidotu robainu krasta līniju, kas, iespējams, var apdraudēt Liepājas NAI būves. Projekta realizēšanas gadījumā līdz 2065. gadam blakus iecirknī tiek prognozēta 330 m liela krasta atkāpšanās (Bogovičs, 2016; PAIC, bez dat.).

Piebarošana

Ka vienīgais bezkonstrukciju risinājums tika piedāvāts pludmales barošanas risinājums (2.2. attēls). Simulācija tika palaista pie apstākļiem, ka katru gadu tiktu izgāztas 100000 m³ smilšainā materiāla gada laikā. Simulācija uzrāda krasta pieaugumu līdz 170 m uz D no Liepājas NAI. Metode pilnība atrisinātu krasta erozijas problēmu, bet tā ir ļoti diskutabla un laika gaitā neatmaksātos (Bogovičs, 2016; PAIC, bez dat.).

3 MATERIĀLI UN METODEDES

3.1 Kartogrāfisko materiālu izveide izmantojot ĢIS

Izmantojot digitalizētos karšu materiālus, tika fiksētas jūras krasta līnijas novietojuma izmaiņas dažādos laika posmos. Iegūtie dati tika interpretēti, izveidojot jaunas digitālās kartes ar ĢIS programatūru *ESRI Arc Map10.3*. Darba veikšanai tiek izmantoti šādi kartogrāfiskie materiāli no LU ĢZZF WMS servera: Ortofoto 2, Metrum piekrastes ortofoto 2007, Ortofoto 4, Ortofoto 5. Precīzākai datu interpretācijai tiek pievienota informācija par ūdens līmeni aerofotogrāfēšanas laikā, kas tika iegūta no “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” pieejamajiem arhīva datiem. Datu uzskatāmības nolūkos pie karšu aprakstiem ir pievienotas tabulas ar skaitlisku informāciju par notiekošo procesu intensitāti katrā laika periodā, kā arī izveidots grafiks ar krasta novietojuma izmaiņām attiecībā pret 1977. gada krasta līniju.

3.2 Krasta nogāzes šķērsprofilu nivelēšana

Praktiskajā daļā tika veikta nivelēšanas jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa sistēmas stacionāros, veicot nivelēšanas darbus no pamatkrasta līdz seklūdens daļai aptuveni 1,0 m dziļumā. Lauka darbi tika sadalīti divos etapos – pirms un pēc 2016./2017. g. ziemas sezonas. Darbā tika izmantots *GeoStar Ak-32* (3.1. B. attēls) un *Geo Fennel FN24* (3.1. C. attēls) optiskie nivelieri. Mērījumi tika veikti četrās, iepriekš izvēlētās vietās (3.2. attēls) perpendikulāri jūras krastam ar sekojošu numerāciju – P-1, P-2, P-3 un P-4 (2.1. attēls). Profilu izvietojums tika pārsvarā izvēlēts balstoties uz iepriekš izveidotiem profilu stacionāriem. Atbalsta punktu atrašanai un fiksēšanai tika izmantots Garmin eTrex 20x rokas GPS (globālā pozicionēšanas sistēma). Paaugstinājums viendabīgās profila daļās noteikts aptuveni ik pēc 3-4 m, bet mainīgākās vietās ik pēc 1-2 m un papildus reģistrējot zīmīgākās izmaiņu robežas. Nivelēšana jūras seklūdens daļā tika veikta izmantojot ūdens necaurļaidīgu puskombinezonu ar zābakiem (3.1. A. attēls), kas noteica nivelēšanas dziļumu līdz 1 – 1,2 m pie mierīgiem apstākļiem, bet viļņu ietekmē 0,8-1,0 m.

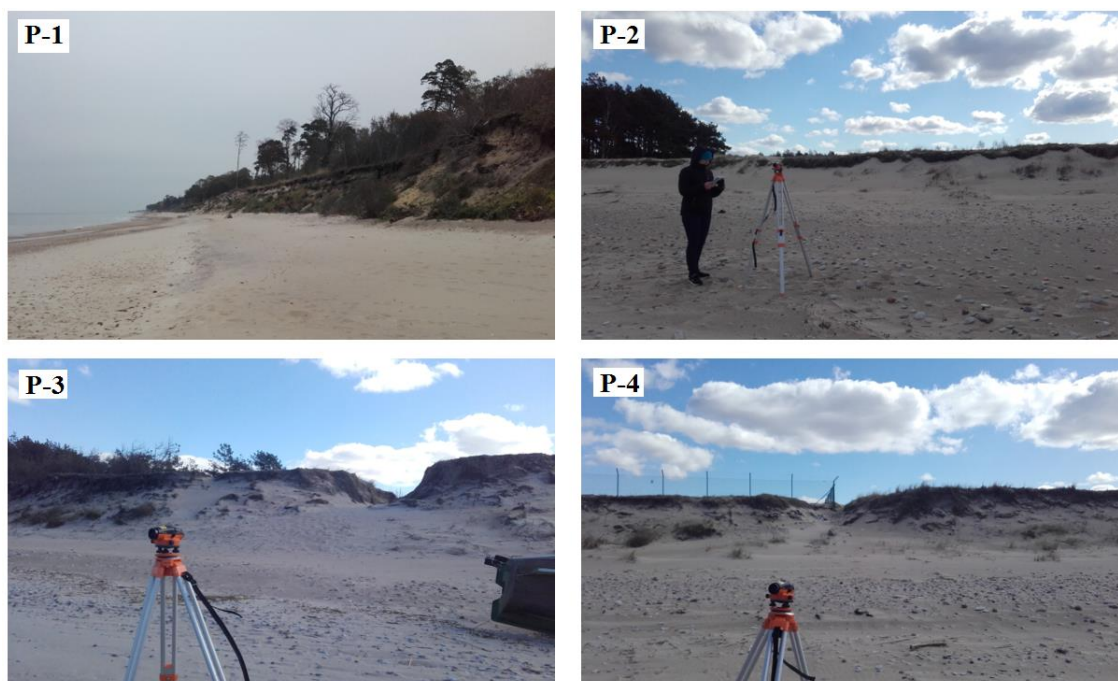
3.2.1 Krasta nivelēšanas 1. etaps

Pirmie mērījumi tika veikti 2016. gada 20. oktobrī ar mērķi fiksēt krasta profilu miera periodā. Darba gaitu aizkavēja profilu sākuma atzīmes lokācijas noteikšana pēc izsniegtiem aprakstiem un lokāliem objektiem. Darba gaitā tika konstatēts, ka daži no atbalsta punktiem ir slikti saglabājušies vai pilnībā iznīcināti, tāpēc lauka apstākļos tika izveidots jauns, stratēģiski pareizā vietā izvietots atbalsta punkts (P-3), lai saglabātu vienmērīgu datu pārklājumu.

Sakarā ar stiprajiem austrumu vējiem Baltijas jūras centrālajā daļā no 10. oktobra līdz mēneša beigām, Latvijas piekrastē bija novērojama iespaidīgs ūdens līmeņa kritums. Lauka darbu dienā novērojumu stacijā “Liepāja” fiksētais ūdens līmenis krities par 47 cm zem stacijas nulles vērtības (BAS-77) un vidējo viļņu augstumu – 0,2 m. (Hidroloģisko staciju dati, 2016) Zemais ūdens līmenis un salīdzinoši mierīgie viļņošanās apstākļi ļāva veikt seklūdens daļas mērījumus tālāk jūrā.



3.1. attēls. Mērnieks ar ūdens necaurlaidīgo puskombinezonu (A.) Nivelēšanas darbi ūdens seklūdens daļā ar GeoStar Ak-32 optisko nivelieri (B.) Nivelēšanas darbi virsūdens daļā ar Geo Fennel FN24 optisko nivelieri (C.) (Autora foto)



3.2. attēls. Krasta nogāzes virsūdens daļas nivelēšanas šķērsprofilu (P-1 – P-4) novietojuma vietās pētījuma teritorijā (2.1. attēls) (Autora foto)

3.2.2 Krasta nivelēšanas 2. etaps

Atkārtoti mērījumi tika veikti 2017. gada 19. aprīlī ar mērķi fiksēt krasta profilu pēc ziemas perioda. Lauka darbu dienā novērojumu stacijā “Liepāja” fiksētais ūdens līmenis paaugstinājies par 8 cm virs stacijas nulles vērtības (BAS-77) un vidējo viļņu augstumu – 0,5 m. (Hidroloģisko staciju dati, 2017) Sakarā ar salīdzinoši augsto ūdens līmeni un viļņošanās apstākļiem, nivelēšanas darbus seklūdens daļā bija iespējams veikt tikai dažu metru attālumā no krasta robežas.

4 REZULTĀTI

Šajā nodaļā tiks apskatīti kamerālo un lauka darbu rezultāti, pēc kuriem iespējams raksturot pētāmās teritorijas notiekošo procesu intensitāti dažādos pētāmās teritorijas nogabalos un laika periodos.

4.1 Krasta līnijas pārvietošanās erozijas un akumulācijas rezultātā

Veicot dažāda vecuma kartogrāfisko materiālu analīzi, tika noteikta krasta līnijas novietojuma izmaiņas laika periodā no 1977. līdz 2014. g. Rezultāti ir shematiski attēloti trīs attēlos.

Aplūkojot karti Nr. 1 (1. pielikums), laika periodā no 1977. līdz 2014. gadam iespējams saskatīt Liepājas ostas molu izraisītu intensīvu krasta atkāpšanos līdz pat 88 m pie profila P-1. Krasta atkāpšanās mazinās līdz 16 metriem tuvojoties ziemeļu fortiem, bet aiz tiem atkal pastiprinās. Laika periodā pēc 1980. gada ūdens līnija sasniegusi jau ziemeļu fortus, tāpēc novērojamas krāsas izmaiņas krasta attīstībā. Betona būves pasargā krastu no tālākas pamatkrasta erozijas, bet izraisa intensīvu krasta noskalošanos tālāk uz ziemeļiem. Pie Liepājas NAI notekūdens izvada caurules krasta kontūru sarežģīt neliels lokāls akumulācijas ķermenis, kas veidojies NAI aizsargbūvju un NAI notekcaurules ietekmē. Tālāk ZZA virzienā no izvada caurules krasta posmā turpinās sevišķi intensīva krasta erozija. Kopā 37 gadu laikā krasts pie Liepājas NAI ir atkāpies līdz 85 m un krasta atkāpšanās turpinās arī uz ZZA no NAI.

Analizējot jaunākos datus (2007. – 2014. g) par jūras krasta novietojumu, novērojama erozijas intensitātes samazināšanās. Lai gan 2007. g. dati norāda uz stipru krasta eroziju, jāņem vērā, ka 2007. gada janvārī norisinājās viena no pēdējām lielākajām vētrām, kas šajā gadījumā iespējams ietekmē datu kopu.

4.1. tabula

Krasta līnijas pārvietošanās atbilstoši vēsturiskā kartogrāfiskā materiāla analīzei pētījuma teritorijas dienvidu daļā (1. pielikums) (izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g; Topo 10K PSRS; Ortofoto 2; Metrum piekraste 2007; Ortofoto 4; Ortofoto 5)

| Attālums (km) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 1,8 | 2,3 | 2,8 | 2,8 | 3,3 | 3,8 |
|------------------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Objekts | (P-1) | | (Ziemeļu fortī) | | | (Liepājas NAI) | | (P-2) | | |
| Gads | | | | | | | | | | |
| 1977. - 1980. g | 16 | -6 | 3 | -15 | -20 | -39 | -25 | -2 | -22 | -8 |
| 1980. - 2005. g | -61 | -57 | -33 | -25 | 1 | -13 | -22 | -71 | -50 | -41 |
| 2005. - 2007. g | -20 | -17 | -4 | -8 | 8 | 4 | -10 | -13 | -15 | -5 |
| 2007. - 2010. g | 12 | 2 | 0 | -4 | -6 | 3 | 5 | 3 | 0 | 5 |
| 2010. - 2014. g | 7 | -10 | -6 | -1 | 1 | -11 | -1 | 5 | 2 | -21 |
| Kopā (1977.-2014. g): | -45 | -88 | -41 | -52 | -16 | -56 | -52 | -78 | -85 | -69 |

Aplūkojot karti Nr. 2 (2. pielikums), laika periodā no 1977. līdz 2014. gadam novērojama krasta atkāpšanās līdz pat 35 metriem krasta posmā pie Liepājas NAI. Tālāk ZZA virzienā krasta erozijas slodze mazinās, sasniedzot krasta novietojuma atšķirības tikai par dažiem metriem.

Analizējot jaunākos datus (2007.–2014. g), novērojams diezgan mainīgs krasta akumulācijas un erozijas režīms ar svārstību amplitūdu – 10 m. 500 m attālumā no Liepājas NAI 2014. gada ortofotokartē konstatēta jauna akumulatīva reljefa formas attīstība (4.1. attēls). Forma ir izliekta, vērsta 40 m jūras virzienā un sniedzas 250 m gar jūras krastu. Formas aptuvenā platība 2014. gadā – 3 900 m², bet 2016. gadā – 5 000 m², tātad formas platība divu gadu laika palielinājusies par 1 100 m². Tālāk ZZA virzienā novērojam krasta novietojuma stabilizācija ar nelielu krastu atkāpšanos un vietām pat akumulāciju.

4.2. tabula

Krasta līnijas pārvietošanās atbilstoši vēsturiskā kartogrāfiskā materiāla analīzei pētījuma teritorijas dienvidu daļā (2. pielikums) (izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g; Topo 10K PSRS; Ortofoto 2; Metrum piekraste 2007; Ortofoto 4; Ortofoto 5)

| Attālums (km) | 3,3 | 3,8 | 4,3 | 4,8 | 5,3 | 5,8 | 6,3 | 6,8 | 7,3 |
|------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|
| Gads | Objekts (P-2) | | | | | Objekts (P-3) | | | |
| | 1977. - 1980. g | -22 | -8 | 1 | 10 | 16 | 16 | 10 | 9 |
| 1980. - 2005. g | -50 | -41 | -45 | -45 | -17 | -12 | -10 | -8 | -6 |
| 2005. - 2007. g | -15 | -5 | 3 | 0 | -10 | -1 | -2 | -2 | 5 |
| 2007. - 2010. g | 0 | 5 | -8 | 2 | 9 | -11 | -1 | -2 | 8 |
| 2010. - 2014. g | 2 | -21 | 8 | -2 | 1 | 7 | -8 | -7 | 7 |
| Kopā (1977.-2014. g): | -85 | -69 | -41 | -35 | -1 | -2 | -11 | -9 | -4 |

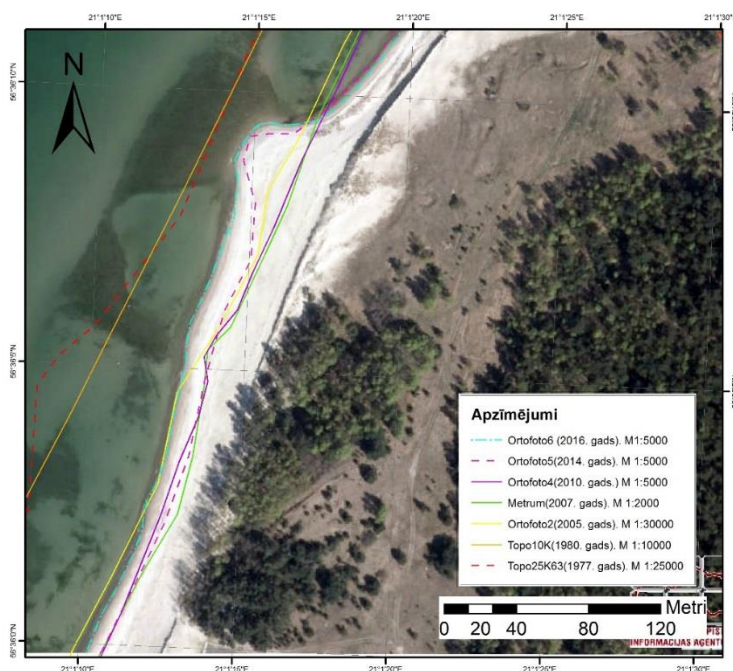
Aplūkojot karti Nr. 3 (3. pielikums), laika periodā no 1977. – 2014. gadam, novērojama salīdzinoši neliela (4 – 6 m) krasta atkāpšanās krasta posmā uz ZZA no profila P-3. Savukārt, pie profila P-4 novērojama krasta atkāpšanās par 20 m, pēc kuras tālāk ZZA virzienā krasta atkāpšanās samazinās līdz 5 m.

4.3. tabula

Krasta līnijas pārvietošanās atbilstoši vēsturiskā kartogrāfiskā materiāla analīzei pētījuma teritorijas dienvidu daļā (3. pielikums) (izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g; Topo 10K PSRS; Ortofoto 2; Metrum piekraste 2007; Ortofoto 4; Ortofoto 5)

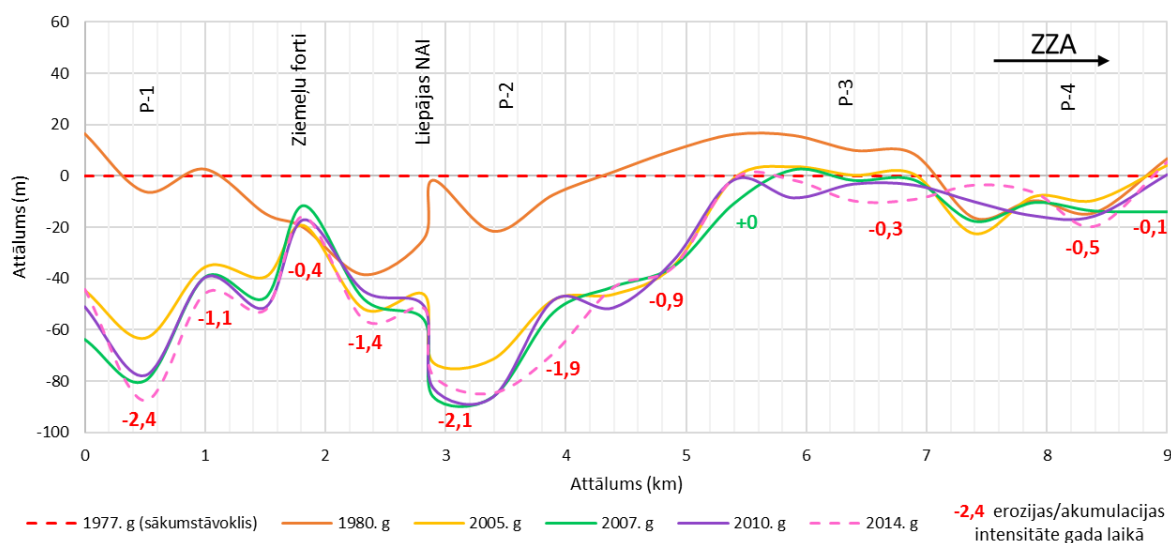
| Attālums (km) | 6,8 | 7,3 | 7,8 | 8,3 | 9 |
|------------------------------|-----------------|-----------|---------------|------------|-----------|
| Gads | Objekts (P-3) | | Objekts (P-4) | | |
| | 1977. - 1980. g | 9 | -17 | -10 | -15 |
| 1980. - 2005. g | -8 | -6 | 2 | 5 | -3 |
| 2005. - 2007. g | -2 | 5 | -2 | -4 | -18 |
| 2007. - 2010. g | -2 | 8 | -5 | -2 | 14 |
| 2010. - 2014. g | -7 | 7 | 9 | -4 | -5 |
| Kopā (1977.-2014. g): | -9 | -4 | -6 | -20 | -5 |

Analizējot jaunākos datus (2007. –2014. g), novērojama stabila krastu atkāpšanās pie profila P-3 un akumulācija blakus iecirknī. Nemainīgu krasta attīstību iespējams novērot arī pie profila P-4, bet pārējos krasta iecirkņos dati ir diezgan izkliedēti.



4.1. attēls. Akumulatīvās reljefa formas attīstība laika posmā no 1977. līdz 2014. gadam (Izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g, Topo 10K PSRS, Ortofoto 2, Metrum piekraste 2007, Ortofoto 4, Ortofoto 5, Ortofoto 6)

Apkopojot iegūtos datus no visiem karšu materiāliem, tika izveidots kopēja diagramma, kas sekmīgi attēlo pētāmās teritorijas krasta attīstības tendences un intensitāti, kurā par sākumstāvokli tika izvēlēts 1977.g krasta novietojums (4.2. attēls).



4.2. attēls. Pētāmās teritorijas krasta līnijas pārvietošanās vizualizācija laika posmā no 1977. līdz 2014. gadam (Izstrādājis autors)

Diagramma ir papildināta ar informāciju par erozijas/akumulācijas ātrumu gada laikā, kas tika aprēķināts izmantojot darba gaitā iegūtos datus. Veiktie aprēķini veikti balstoties tikai uz krasta līnijas novietojuma atšķirībām laika posmā no 1977. līdz 2014. gadam, tāpēc iegūtie rezultāti ir ļoti aptuveni un ilustrē situāciju noteiktā laika periodā.

Analizējot grafiku, iespējams izšķirt krasta posmus, kur laika gaitā ir mainījusies krasta attīstības tendence. Ievērojamākās izmaiņas radušās pie ziemeļu fortiem, kur krasta erozijas ietekme tiek gandrīz pārtraukta pie betona konstrukcijām un izraisa pastiprinātu eroziju pretstraumes pusē. Lielas izmaiņas novērojamas arī krasta posmā blakus Liepājas NAI izvada caurulēm, kā arī dažas neraksturīgas izlieces krasta līnijā starp profiliem P-3 un P-4.

Veicot teritorijas uzmērīšanu ar ĢIS programmu, tika noskaidrota zaudēto teritoriju platība katrā laika posmā un veikti aptuveni kopējās platības aprēķini (4.4. tabula) Analizējot aprēķinu datus, saskatāma lineāra tendence krasta līnijas atkāpšanās ātruma samazināšanā. Kopā no 1977. – 1980. gadam jūra pētāmajā teritorijā ir uzvirzījusies sauszemei, pārņemot platību līdz pat 428 000 m².

4.4. tabula

Pētāmās teritorijas zaudētās platības noteiktā laika periodā (Izstrādājis autors)

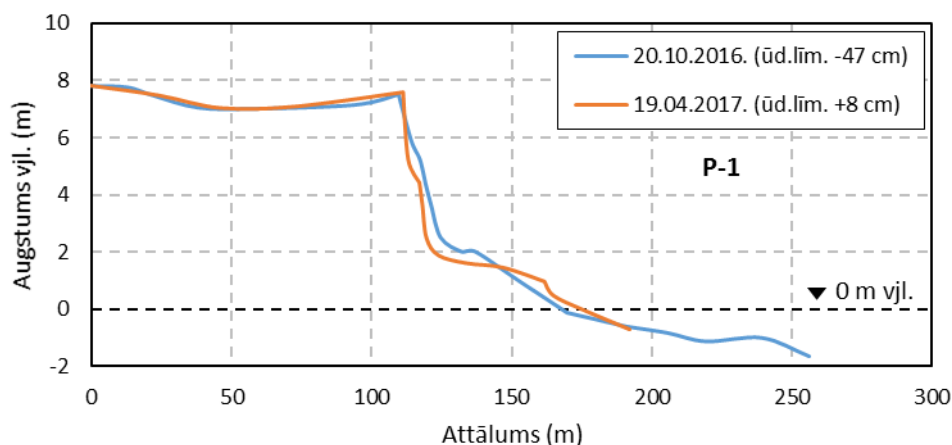
| Laika posms (gadi) | Platība (m ²) |
|------------------------------|---------------------------|
| 1977. – 1980. | - 58 000 |
| 1980. – 2005. | - 252 000 |
| 2005. – 2007. | - 64 000 |
| 2007. – 2010. | - 34 000 |
| 2010. – 2014. | - 20 000 |
| Kopā (1977. – 2014.): | -428 000 |

4.2 Krasta nogāzes šķersprofilu nivelēšanas rezultāti

Lauka darbos iegūtie krasta nivelēšanas dati tika apkopoti un apstrādāti *Microsoft Excel* programmā. Rezultātā tika izveidoti četri krastu profili, kuros attēlojas krasta seklūdens un virsūdens daļas izmaiņas 2016./2017. gada ziemas sezonā. Dati ir papildināti ar informāciju par ūdens līmeņa stāvokli uzmērīšanas dienā.

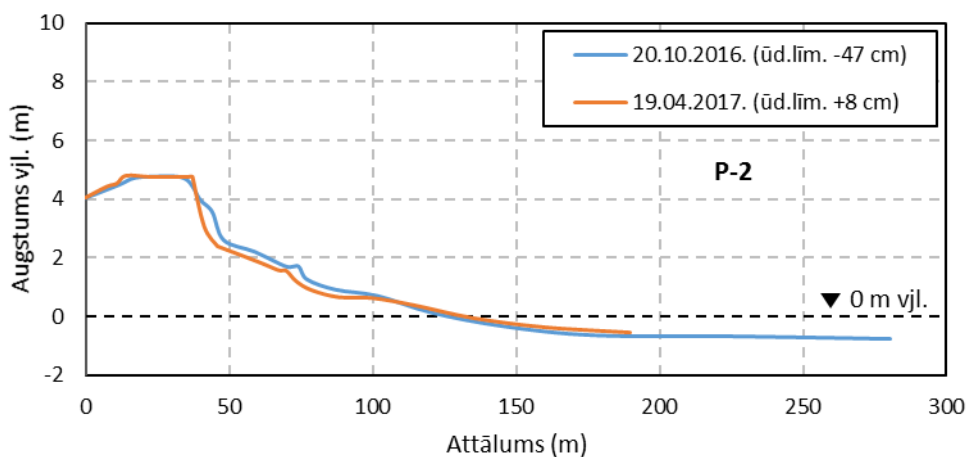
Analizējot profilu P-1 (4.3. attēls), redzamas būtiskas izmaiņas stāvkrasta nogāzē. Nivelēšanas rezultāti uzrāda materiāla zudumu nogāzes virsējā daļā, bet materiāla daudzuma palielināšanos zemajā un augstajā pludmalē. Veiktie mērījumi pirms ziemas sezonas uzrāda zemūdens bāra klātbūti aptuveni 240 m no profila sākuma, 1 m zem vidējā ūdens līmeņa. Profilā pēc ziemas sezonas novērojama iespējama krasta vaļņa reljefa forma 160 m attālumā no profila sākuma. Kopumā ziemas sezonas laikā, virsūdens daļā noskaloti aptuveni 22 m³/m

smilšainā materiāla. Profilā redzama samēra stāva zemūdens nogāze pirms un pēc ziemas sezonas. Profilu garumu atšķirība – 60 m.



4.3. attēls. **Profila P-1 izmaiņas pēc 2016./2017. gada ziemas sezonas** (Izstrādājis autors, izmantojot autora veiktos lauka mērījumus)

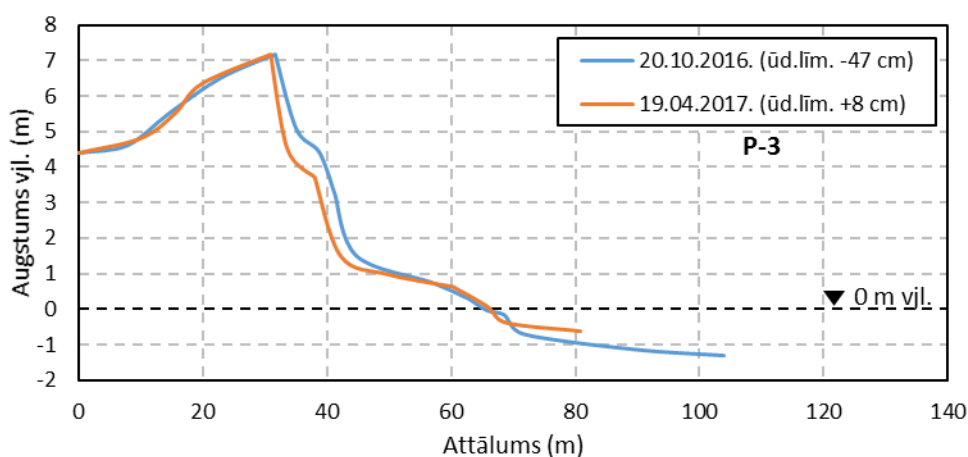
Analizējot profilu P-2 (4.4. attēls), redzamas samērā viendabīga pamatkrasta atkāpšanās bez būtiskām izmaiņām krasta morfoloģijā gan virsūdens, gan seklūdens zonā. Manāms nelielas materiāla daudzuma iztrūkums augstajā pludmalē, bet materiāla daudzuma palielināšanās seklūdens daļā. Kopumā ziemas sezonas laikā, virsūdens daļā noskaloti aptuveni 13 m³/m smilšainā materiāla. Profilā labi attēlojas krasta posmu raksturojoša lēzena zemūdens nogāze. Profilu garumu atšķirība – 91 m.



4.4. attēls. **Profila P-2 izmaiņas pēc 2016./2017. gada ziemas sezonas** (Izstrādājis autors, izmantojot autora veiktos lauka mērījumus)

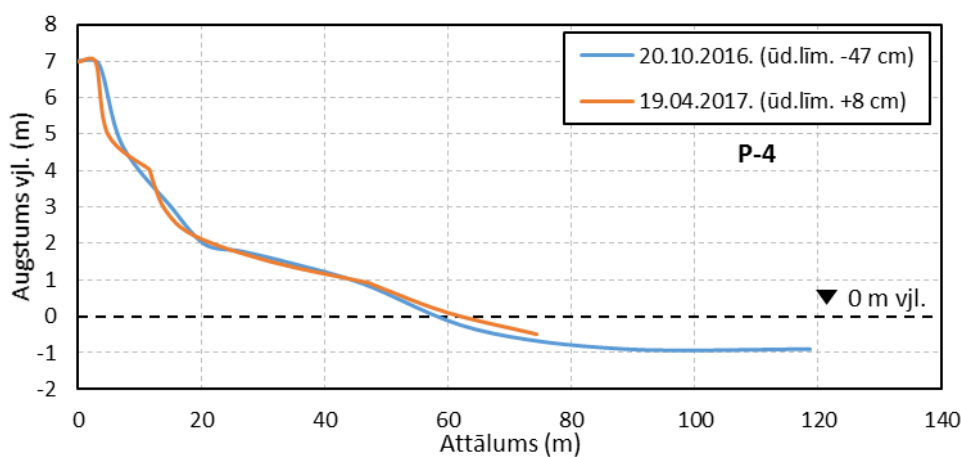
Analizējot profilu P-3 (4.4. attēls), redzama pastiprināta pamatkrasta erozija ar morfoloģiski neraksturīgu krasta profilu pēc ziemas sezonas. Profilā saskatāmas erozijas pazīmes stāvkrasta un pludmales teritorijā, bet ar minimālālu sanešu uzkrāšanos jūras seklūdens daļā. Krasta seklūdens daļā novērojama materiāla daudzuma palielināšanās un

zemūdens nogāzes atkāpšanās sauszemes virzienā. Kopumā ziemas sezonas laikā, virsūdens daļā noskaloti aptuveni 15 m³/m smilšainā materiāla. Profilā redzama krasta posmam raksturojoša stāva zemūdens nogāze. Profilu garumu atšķirība – 23 m.



4.5. attēls. Profila P-3 izmaiņas pēc 2016./2017. gada ziemas sezonas (veidots izmantojot autora veiktus mērījumus).

Analizējot profilu P-4 (4.5. attēls), novērojama samērā neliela pamatkrasta erozija, jeb materiāla pārvietošana uz pludmali un seklūdens daļu. Kopuma ziemas sezonas laikā, virsūdens daļā noskaloti aptuveni 8 m³/m smilšainā materiāla. Profilā redzama krasta posmu raksturojoša lēzena zemūdens nogāze. Profilu garumu atšķirība – 44 m.



4.6. attēls. Profila P-4 izmaiņas pēc 2016./2017. gada ziemas sezonas (veidots izmantojot autora veiktus mērījumus).

5 DISKUSIJA

Kartogrāfiskā materiāla analīze ir uzskatāma par piemērotu ilgtermiņa izmaiņu novērtēšanai samērā plašas piekrastes teritorijās, tomēr šai metodei ir raksturīgi vairāki trūkumi: ortofotogrāfēšanas darbi tiek veikti pārāk reti (ik pēc 3 gadiem); vāja izšķirtspēja; jūtīga uz mainīgiem klimatiskajiem apstākļiem. Veicot kartogrāfisko materiālu izpēti, nepieciešams sekot līdz ortofotogrāfēšanas laikam un hidrometeoroloģijas staciju datiem laika posmā kad veikti šie darbi. Krasta posmi ar piesātinātu sanešu bilanci seklūdēns daļā un lēzenu krasta nogāzi būs daudz jūtīgāki pret ūdens līmeņa izmaiņām. Savukārt krastos ar stāvu zemūdēns nogāzi ūdens līmeņa atšķirības par dažiem desmitiem centimetru ietekme būs nebūtiska. Veicot šāda veida datu apkopošanu, jāņem vērā izmantoto karšu slāņu mērogus un materiālu vecumu. Karšu materiāli, kas ir vecāki, sliktāku izšķirtspēju vai veidotas izmantojot neprecīzas metodes (vecākās topogrāfiskās kartes) var saturēt kļūdas, kuras šādā metodē nav pieļaujamas. Šo kļūdu iespējams novērot vecākās PSRS topogrāfiskajās kartēs, kur iespējams novērot stacionāru objektu nobīdi no patiesās atrašanās vietas. Šī faktora dēļ darbā tika izmantoti pēc iespējas jaunāki un uzticamāki karšu slāņi, saglabājot pietiekami lielu laika "logu" un optimālu datu daudzumu.

Mēģinot salīdzināt 4. un 5. cikla ortofotokartes un to ūdens līmeņus ortofotogrāfēšanas laikā, nav iespējams saskatīt manāmu korelāciju. Pētāmā teritorija ir ļoti dinamiska vide un šāda veida izmaiņas, manuprāt, nav iespējams konstatēt pie tik mainīgas krasta līnijas. Pētījumu iespējams varētu veikt teritorijā ar daudz mierīgākiem apstākļiem ar mērķi izslēgt neprognozējamo krasta līnijas novietojuma izmaiņu faktoru.

Darbā veiktie aprēķini par vidējo krasta eroziju un akumulāciju gada laikā tika iegūti izmantojot izveidoto kartogrāfisko materiālu (pielikums 1.; 2.; 3.) datus par krasta līnijas novietojuma izmaiņām. Iegūtie rezultāti ir ļoti aptuveni un orientējoši, ņemot vērā datu precizitāti, bet salīdzinot tos ar literatūrā pieejamo informāciju (Eberhards un Lapinskis, 2008), dati ir diezgan līdzīgi un sakrīt ar iepriekš iegūtajiem un publicētajiem.

Krasta virsūdēns daļas nivelēšana ir jau vairākus gadu desmitus pieņemta prakse un atzīta par ļoti precīzu metodi krastu izmaiņu fiksēšanai gan Latvijā, gan citās valstīs (Eberhards, 2003; Lapinskis, 2010; Schwartz, 2005). Darbā izvirzītajiem mērķiem šī metode bija pietiekami precīza un sniedza vēlamus rezultātus krasta virsūdēns daļā. Nivelēšanas darbi seklūdēns daļā ir ļoti ierobežoti un atkarīgi no hidrodinamiskajiem apstākļiem. Pirmajā nivelēšanas etapā apstākļi bija ļoti mierīgi un ar ļoti zemu ūdens līmeni, kas ļāva veikt nivelēšanas darbus dziļāk jūrā ar daudz precīzāk iegūtiem datiem. Nivelēšanas otrajā etapā ūdens līmenis bija cēlies virs nulles atzīmes un ar daudz intensīvāku viļņošanu nekā pirmajā

etapā. Šie ir galvenie ietekmējošie faktori, kas noteica profilu garumu un datu precizitāti. Lielas problēmas radīja skaitļu nolasīšana no lates veicot mērījumus viļņu gāzmes zonā, kur regulāri lats tika svārstīta un ļoti strauji grima nogulumos garkrasta straumes iedarbībā. Otrā etapa iegūtie nivelēšanas dati par jūras seklūdenu daļu ir ļoti aptuveni un vietām pat apšaubāmi. Kā labāku metodi seklūdenu pētījumiem varētu izmantot kādu no sonārās izpētes metodēm, piemēram, veikt eholotes mērījumus no katamarāna. Minētā metode ir pielietota Ā. Andersona veiktajos pētījumos par sanešu dinamiku Kolkas ragā un to atzina par sekmīgu (Andersons, 2011).

Nivelēšanas profilu izveidei būtu vēlams izmantot kādu no CAD (datorizētā projektēšana) programmām (*AutoCAD*, *MicroStation* u.c.), lai izvairītos no nepiemērotām interpolācijas metodēm. Darbā profili tika veidoti izmantojot Microsoft Excel piedāvāto interpolācijas metodi, kas tomēr radīja neprecīzu krasta profilu. Metode varbūt nav tik precīza, bet nodrošina ar viegli operējamu vidi, kas ļauj ātri un vienkārši strādāt ar lielu datu kūli.

SECINĀJUMI

1. Pēc ortofotokaršu analīzes var secināt, ka laika periodā no 1977.-2014. gadam pētāmās teritorijas dienvidu daļā novērojama stipra antropogēnās slodzes izraisīta krasta erozija, ko tālāk pie Liepājas NAI pastiprina notekūdens izvadcaurules nostiprinājumi, kas aiztur daļu sanešu plūsmas. Savukārt, pētāmās teritorijas ziemeļu galā, kur krastā neatrodas hidrotehniskās būves, pēdējo desmit gadu laikā ir novērojamas krasta stabilizācijas pazīmes ar viendabīgu krasta attīstību un krasta kāpas atjaunošanos.
2. Ortofotokartēs netika saskatīta saistība starp krasta līnijas novietojumu un ūdens līmeņa izmaiņām ortofotogrāfēšanas laikā. Pētāmā teritorija ir pārāk dinamiska vide ar pārāk stāvu zemūdens nogāzi, kā arī ortofoto slāņu skaits (datu blīvums) ir nepietiekams lai par to izdarītu pārliecinošus secinājumus, kā arī fiksētās ūdens līmeņa izmaiņas ir pārāk mazas lai pēc tām veiktu korelāciju ar tik sīka mēroga kartogrāfiskajiem materiāliem.
3. Neskatoties uz krasta šķērsprofilu nivelēšanas metodes priekšrocībām un tās pielietojšanas ērtumu, tai ir raksturīgi vairāki nozīmīgi trūkumi: laikietilpīgs process; pieprasa stabilus apstākļus; ierobežots izpētes dziļums, kas norāda uz nepieciešamību kombinēt šo pētījumu metodi ar citām lauka pētījumu metodēm, piemēram: seklūdens nogāzes eholokāciju, aerofotogrammetrisko izpēti ar bezpilota lidaparātiem, LIDAR, uc.

Pateicība

Autors vēlas izteikt lielu pateicību “Latvijas Hidroekoloģijas institūts” darbiniekiem. Direktorei Andai Ikaunieci par pretīmnākošo attieksmi un palīdzību lauka darbu īstenošanā. Liels paldies jāsaka Viktoram Pērkonam un Mārai Harjū par piedalīšanos lauka darbos, ka arī Maijai Viškai par noderīgajām konsultācijām, palīdzēšanu darba plānošanā un labošanā.

Izmantotā literatūra

- Anderson, R., Anderson, S. 2011. *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes*. Boulder, Cambridge university press.
- Bird, E. 2008. *Coastal geomorphology: An Introduction*. 2nd edn. Chichester, John Wiley and Sons.
- Bruun, P., 1962. *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. Journal of Waterways, Harbour Division, 88, pp.117-130.
- Davis, R., Fitzgerald, D. 2004. *Beaches and Coasts*. Oxford, Wiley - Blackwell.
- Eberhards, G., 2003. *Latvijas jūras krasti*. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Eberhards, G., Lapinskis, J., 2008. *Baltijas jūras Latvijas krasta procesi. Atlants*. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Erņšteins, R., Jūrmalietis, R., 2008. *Piekrastes ilgtspējīga attīstība: Sadarbības pārvaldība*. Rakstu krājums. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- French, P., 2001. *Coastal defences : processes, problems and solutions*. New York. Routledge.
- Gūtmanis, D., 2002. *Liepāja*. Rīga, Jumava apgāds.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lauzis, A. (red.) 1999. *Svešvārdu vārdnīca*. Rīga, Jumava apgāds.
- Masselink, G., Hughes, M.G. 2003. *Introduction to coastal processes & geomorphology*. London, Hodder Arnold.
- Ritter, D., Kochel, R., Miller, J., 2002. *Process Geomorphology, fourth edition*. New York, McGraw-Hill,
- Schwartz, M. (red.) 2005. *Encyclopedia of Coastal Science*. Dordrecht, Springer Science+Business Media B.V.
- Summerfield, M., 1997. *Global Geomorphology*. London, Longman Scientific & Technical.
- Strautnieks, I. 1997. *Piejūras zeme*. G. Kavacs (red.). *Latvijas daba: enciklopēdija*. 4. sēj. Rīga.
- Tikkanen, M., Oksanen, J., 2002. *Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland*. Helsinki, Fennia.
- Torklere, A., 2008. *Latvijas mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamika*. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga, Latvijas Universitāte.

- Ulsts, V. 1998. *Baltijas jūras Latvijas krasta zona*. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests.
- Viška, M., 2014. *Sediment Transport Patterns Along the Eastern Coasts of the Baltic Sea*. Tallinn, Tallinn University of technology.
- Žaromskis, R., 2007. *Impact of harbour moles and acces channels on the South-East Baltic shore zone*. *Geography*, 43(1), pp. 12-20.

Sīkspiedumi

- Jūras krasta nostiprināšana*. 2007. [Buklets] Liepājas notekūdens attīrīšanas iekārtas, SIA Liepājas ūdens.
- Vadlīnijas jūras krasta erozijas seku mazināšanai*. 2014. [Buklets] Projekta gala atskaite.

Kartogrāfiskie materiāli

- Metrum piekraste, 2007. Metrum piekrastes ortofotokaršu mozaīka M1:2000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.01.2017. <http://www.geo.lu.lv/kartes>
- ORTOFOTO 2. VZD Latvijas 2. etapa ortofotokaršu mozaīka M 1:30 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.01.2017. Pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>
- ORTOFOTO 4. VZD Latvijas 4. etapa ortofotokaršu mozaīka M 1:5 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.01.2017. Pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>
- ORTOFOTO 5. VZD Latvijas 5. etapa ortofotokaršu mozaīka M 1:5 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.01.2017. Pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>
- ORTOFOTO 6. VZD Latvijas 6. etapa ortofotokaršu mozaīka M 1:5 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.04.2017. Pieejams <https://kartes.lgia.gov.lv/karte/>
- TOPO 10K PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.01.2017. Pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>
- TOPO 25K63g PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63.gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:25 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 19.01.2017. Pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>

Elektroniskie resursi

- Godfrey Hoffman associates, LLC, 2013. What is coastal engineering? Sk 20.04.2017. Pieejams <http://www.godfreyhoffman.com/Civil-Engineering-Blog/bid/300995/What-is-Coastal-Engineering>

- Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs [Bez dat.] Globālās klimata izmaiņas un Latvija. Sk 10.01.2017. Pieejams <https://www.meteo.lv:8443/lapas/vide/klimata-parmainas/klimata-parmainas?id=1148&nid=369>
- Liepājas speciālā ekonomiskā zona [Bez dat.] Liepājas ostas vēsture. Sk. 10.02.2017. Pieejams <http://liepaja-sez.lv/lv/osta/attistiba/projekts-%E2%80%9Eliepajas-ostas-padzilinasana%E2%80%9D>
- Procesu analīzes un izpētes centrs [Bez dat.] SwEvolver īss apraksts. Sk. 14.04.2017. Pieejams http://www.paic.lv/lv/produkti_swevolver.php
- SIA Liepājas ūdens [Bez. dat.] Notekūdeņu attīrīšana. Sk. 19.02.2017. Pieejams <http://www.liepajas-udens.lv/index.php/notekudenu-attirisana>
- Rekurzeme 2014. Pabeigta Liepājas ostas akvatorijas padziļināšana. Sk. 10.02.2017. Pieejams <http://www.rekurzeme.lv/vietejas-zinas/liepaja/pabeigta-liepajas-ostas-akvatorijas-padzilinasana-79767>
- Washington state department of ecology [Bez dat.] Glossary of Coastal Terminology. Sk. 11.04.2017. Pieejams <http://www.ecy.wa.gov/programs/sea/swces/products/glossary.htm>

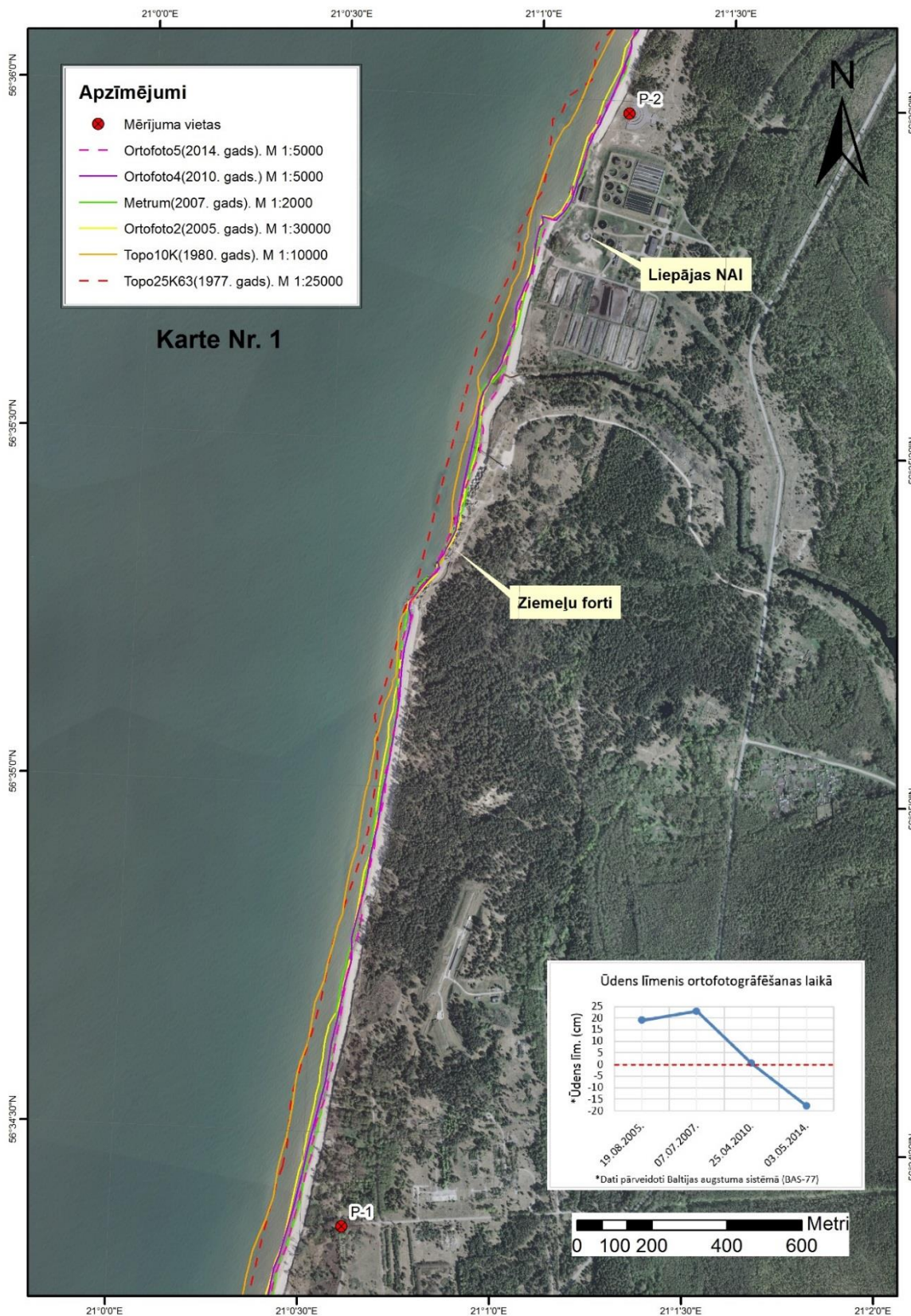
Arhīva materiāli

Hidroloģisko staciju dati 2005.-2017.g. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs.

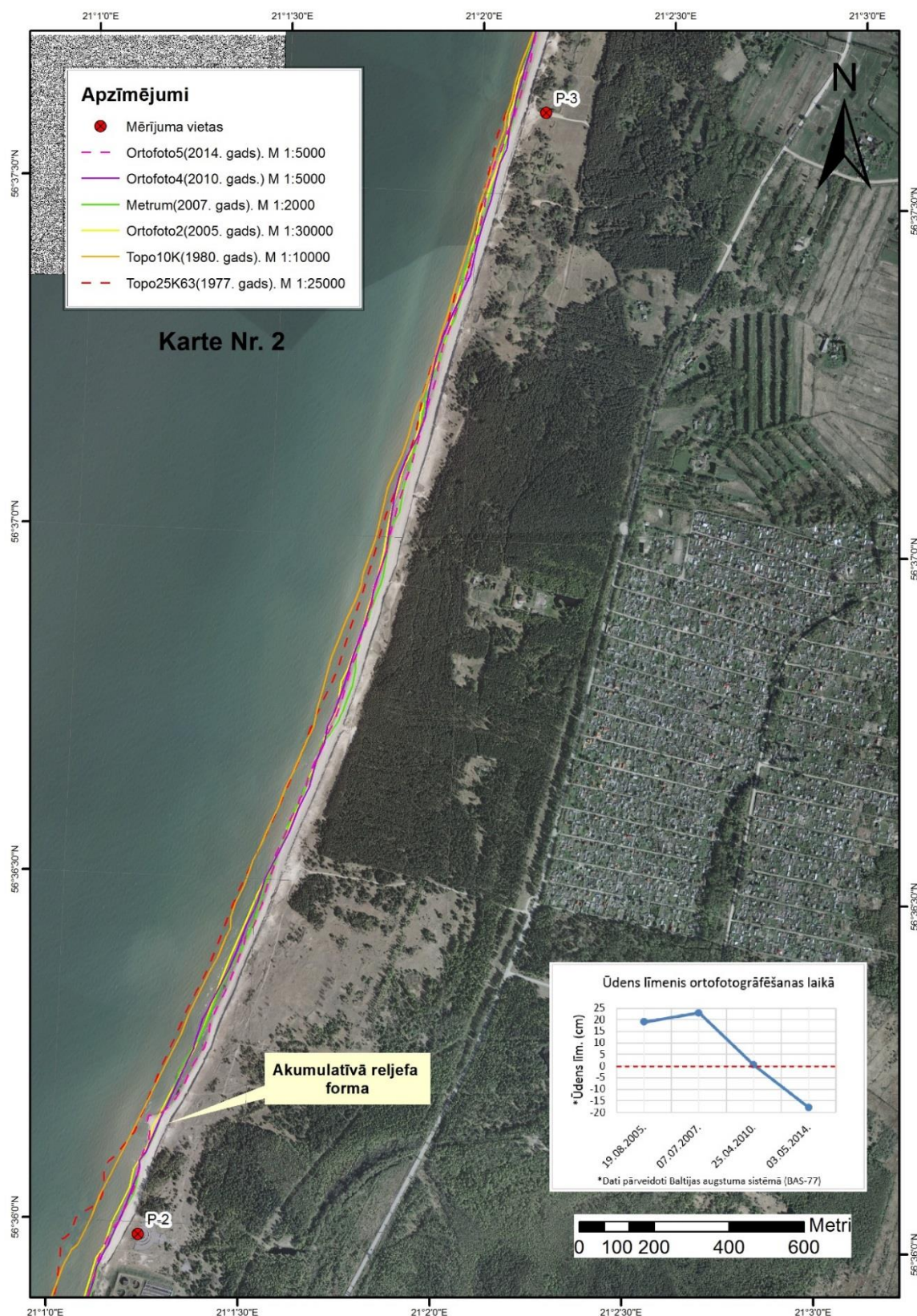
Nepublicētie materiāli

- Andersons, A. 2011. Sanešu dinamika Kolkas sēklī: maģistra darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Bogovičs, V. 2016. Intervija. Liepāja, 5. februārī.
- Lapinksis, J. 2010. Baltijas jūras kurzemes krasta dinamika: Promocijas darbs. Rīga, Latvijas Universitāte.

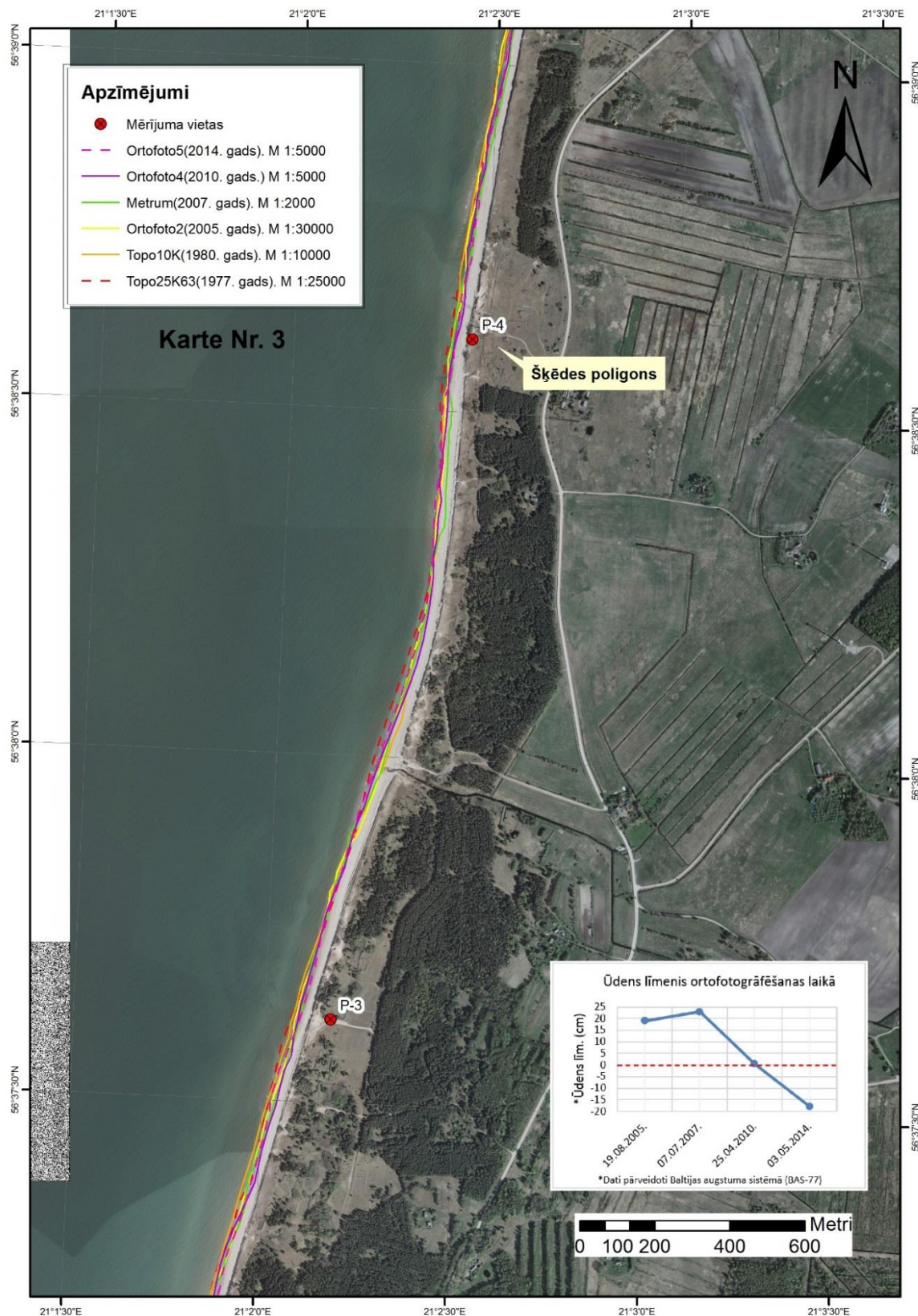
PIELIKUMS



Jūras krasta līnijas novietojuma izmaiņas pētījumu teritorijas dienvidu daļā (no nivelēšanas profila P-1 līdz profilam P-2) laika periodā no 1977. gada līdz 2014. gadam (izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g; Topo 10K PSRS; Ortofoto 2; Metrum piekraste 2007; Ortofoto 4; Ortofoto 5; LVĢMA, 2005-20014)



Jūras krasta līnijas novietojuma izmaiņas pētījuma teritorijas centrālajā daļā (no nivelēšanas profila P-2 līdz profilam P-3) laika periodā no 1977. gada līdz 2014. gadam (izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g; Topo 10K PSRS; Ortofoto 2; Metrum piekraste 2007; Ortofoto 4; Ortofoto 5 ;LVĢMA, 2005-2014)



Jūras krasta līnijas novietojuma izmaiņas pētījuma teritorijas ziemeļu daļā (no nivelēšanas profila P-3 līdz profilam P-4) laika periodā no 1977. gada līdz 2014. gadam (izstrādājis autors, izmantojot Topo 25K63g; Topo 10K PSRS; Ortofoto 2; Metrum piekraste 2007; Ortofoto 4; Ortofoto 5; LVĢMA, 2005-20014)