

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

AIJA TORKLERE

**LATVIJAS MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU
VIRSŪDENS DAĻAS DINAMIKA**

PROMOCIJAS DARBS

Promocijas darbs tiek izstrādāts doktora grāda iegūšanai

Ģeogrāfijas zinātņu nozarē

Dabas ģeogrāfijas apakšnozarē

Rīga 2008

SATURS

SATURS.....	2
IEVADS.....	4
1 MŪSDIENU JŪRAS KRASTU IZPĒTE LATVIJĀ.....	7
1.1 Jūras krastu izpētes vēsture	9
1.2 Jūras krastu izpētes virzieni.....	10
1.3 Jūras krastu izpētes metodes	11
2 IZPĒTES TERITORIJAS RAKSTUROJUMS.....	13
2.1 Telpiskās robežas	13
2.2 Laika un telpas nozīme krasta morfodinamikas aspektos.....	14
2.3 Faktori, kas nosaka mūsdienu jūras krastu mainību	15
2.4 Jūras krastu tipi.....	21
3 PĒTĪJUMU MATERIĀLI UN METODES	24
3.1 Pētījumu vietas	24
3.2 Pētījumu materiāli	25
3.3 Lauka mērījumu metode	25
3.4 Datu sagatavošana un apstrāde	27
3.5 Tematiskā datu bāze	28
3.6 Mūsdienu lēzeno jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēma.....	33
3.7 Telpiskās analīzes metodes.....	35
3.8 Statistiskā apstrāde	36
4 MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS FORMA UN MORFOMETRISKĀS IZMAIŅAS	39
4.1 Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas forma	39
4.2 Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas morfodinamiskās izmaiņas laikā no 1994. līdz 2003. gadam	52
4.3 Ilglaicīgā attīstība	69
5 MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS DINAMIKAS ILGLAICĪGĀS IZMAIŅAS	78
5.1 Kustībā bijušais sanešu materiāla slānis	78
5.2 Transporta intensitātes ilglaicīgās izmaiņas.....	79
5.3 Akumulācijas intensitātes ilglaicīgās izmaiņas.....	82
6 MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS IZMAIŅAS PA GADIEM	84

6.1	Gada laikā transportētais sanešu materiāla apjoms	84
6.2	Gada laikā akumulētais sanešu materiāla apjoms.....	88
6.3	Lielākās sanešu materiāla izmaiņas viena gada laikā	92
6.4	Paaugstinātas krasta dinamikas gadi	95
7	DISKUSIJA UN REZULTĀTU INTERPRETĀCIJA.....	106
	SECINĀJUMI.....	111
	LITERATŪRA	113

IEVADS

Darba aktualitāte

Pēc ģeoloģiskās uzbūves, jūras krastu veidojošā materiāla, izskata un augstuma, kā arī ņemot vērā mūsdienu krasta procesu raksturu un intensitāti pēdējo 10-30 gadu laikā, Latvijas piekrastē jūras tiešajai darbībai pakļautajā joslā tiek izdalītas divas galvenās jūras krastu tipu grupas: stāvkraستی un lēzenie, galvenokārt, akumulatīvie kraستی [Eberhards, 2003]. Mūsdienu jūras krasts ir pārejas zona starp jūru un sauszemi, kas mijiedarbojoties krasta procesiem atrodas nepārtrauktā mainībā. Jūras krasta morfoloģiskās stabilitātes pastāvēšanu kavē dažādu kauzālo faktoru izmaiņas telpā un laikā. Galvenie faktori ir vēja, viļņošanās, straumju, jūras ūdenslīmeņa izmaiņas, ilglaicīgas vidējā jūras līmeņa svārstības un reģionālas vai lokālas vertikālās zemes garozas kustības. Pēdējās desmitgadēs gan zinātnieku vidū, gan sabiedrībā ar pieaugošu aktivitāti tiek diskutēti jautājumi par globālajām klimata izmaiņām un to reālajām un iespējamajām sekām. Pēc *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pēdējā ziņojuma globāli jūras līmenis no 1961. līdz 2003. gadam pieaudzis vidēji par 1,8 (1,3 līdz 2,3) mm. Laikā no 1993. līdz 2003. gadam tas pieaudzis straujāk, vidēji par 3,1 (2,4 līdz 3,8) mm gadā [IPCC, 2007]. 20. gadsimta otrajā pusē būtiski pieaugusi ciklonu aktivitāte virs Ziemeļatlantijas [Gulev et al., 2002; Sepp et al., 2005], pieaugusi arī vētru aktivitāte Baltijas jūras reģionā [Pryor et al., 2003]. Kādas būs globālo klimata izmaiņu sekas attiecībā uz vidējā jūras līmeņa izmaiņām un vētru stipruma palielināšanos Baltijas jūras reģionā ir atklāts jautājums.

Latvijā pēdējo gadu publikācijās tiek norādīts uz tendencēm, kas liecina par būtiskām mūsdienu jūras krasta pārmaiņām tieši pēdējo desmitgažu laikā. Sākot ar 80. gadiem, visos Latvijas hidrometeoroloģiskajos posteņos novērota gada vidējā jūras līmeņa celšanās tendence [Ulsts, 1998]. Pēdējās desmitgadēs Latvijas krasta zonā krasi pieaugusi vētru izraisīto maksimālo ūdenslīmeņu atkārtojamība [Eberhards, Saltupe, 1993; Eberhards, 2003]. Pateicoties siltajām ziemām, pēdējās divās desmitgadēs zemes sasalums bijis īslaicīgs. Tādējādi, pie aktīvas vēju darbības un pastiprinātas viļņošanās, pieaugusi jūras krastu pārveidošanas ģeoloģisko procesu intensitāte. Arvien jaunos, agrāk stabilos krastu iecirkņos vētru laikā notikusi intensīva to noskalošana [Eberhards, Saltupe, 1993, 1996; Eberhards, 2003]. Īpaši erozijas tipa krasta posmos pieauguši krastu noskalošanas tempi [Eberhards, Saltupe, 1996]. Pēc G. Eberharda (2000) pētījumiem, piemēram, Jūrkalnē no 1936. līdz 1985. gadam stāvkraста ikgadējie vidējie atkāpšanās ātrumi bija 0,6 – 0,8 līdz 1,5 – 2 m gadā, turpretī laikā no 1985. līdz 1995. gadam vidējie stāvkraста atkāpšanās ātrumi pieauguši no 1 – 1,5 līdz 2,5 – 5,5 m gadā. Uz līdzīgām tendencēm tiek norādīts arī Igaunijā [Haapala, Lepparanta, 1997; Kont et al., 2007, Orviku et al., 2003] un Lietuvā [Olsauskas, 2002].

Pieaugošas stāvkraста erozijas apstākļos, kas iezīmējas Latvijas piekrastē, ir būtiski noskaidrot, kādas izmaiņas notiek mūsdienu lēzeno jūras krastu posmos. Šajā kontekstā pētījumi par Latvijas mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas smilšainajām pludmalēm un priekškāpu joslas stāvokli, to attīstību pēdējo desmitgažu laikā ģeogrāfiskā skatījumā ir zinātniski svarīgi un tiem ir liela praktiska nozīme.

Darba zinātniskā nozīmība

Raksturojot darba zinātnisko nozīmību, var izdalīt divus Latvijā specifiskus problēmu lokus:

Zināšanu problemātika. Šobrīd Latvijā tiek realizēts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings (Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte), kas ir vienīgā

jūras krastu dinamikas novērojumu programma valstī. Neskatoties uz lielo novērojumu apjomu, līdz šim nerealizēta ir datorizētas tematiskās datu bāzes un jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēmas izveide, kā arī atbilstošas datu apstrādes un analīzes metožu attīstība.

Rīcības problemātika. Krasta dinamikas izpēte ietver gan dabas resursu izmantošanas, gan aizsardzības un pārvaldes aspektus telpiski šaurā, bet cilvēkam emocionāli un saimnieciski nozīmīgā un pievilcīgā pārejas joslā starp jūru un sauszemi. Šodien arvien vairāk dalībnieki - piekrastes pašvaldības, iedzīvotāji, vides, ostu un reģionālās plānošanas speciālisti - ir ieinteresēti detalizētas, praktiski pielietojamas informācijas pieejamībā par mūsdienu jūras krasta situāciju un attīstības tendencēm. Informācijas nepietiekamība par jūras krasta izmaiņu apjomiem un likumsakarībām Latvijā ir šķērslis dažāda līmeņa rīcību sagatavošanai.

Dotais pētījums ir viens no soļiem uz precīzo novērojumu balstītas tematiskās informācijas apkopošanu, apstrādi, analīzi un grafisku attēlošanu.

Darba mērķis un uzdevumi

Dotā pētījuma mērķis ir izpētīt Latvijas mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas izmaiņas pēdējo divdesmit gadu laikā.

Balstoties uz krasta zonas virsūdens daļas atkārtotas uzmērīšanas rezultātiem, pārbaudīt šādas hipotēzes: vai Latvijas mūsdienu jūras lēzeno krastu posmos ar labi izveidotām, plašām pludmalēm un nereti vienu vai vairākām priekškapām

- notiek tagadējā jūras krasta sauszemes daļas pieaugums un uzvirzīšanās akumulācijas procesu rezultātā;
- izmainās sanešu materiāla kustības intensitāte;
- izmainās sanešu akumulācijas intensitāte;
- notiek krasta virsūdens daļas atjaunošanās pēcvētru periodā.

Darba mērķa sasniegšanai formulēti šādi uzdevumi:

- apzināt un izvērtēt jūras krastu dinamikas jautājumiem veltīto teorētisko un metodoloģisko pētījumu pieredzi Latvijā;
- pielietojot datorbalstītas metodes, attīstīt lauka mērījumu apstrādes un analīzes metodiku;
- pielietojot ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (GIS) rīkus, interpretēt lauka mērījumu rezultātus telpiski;
- balstoties uz lauka mērījumu empīriskiem datiem, veikt krasta dinamikas raksturlielumu novērtēšanu un klasifikāciju par laika periodu, kurā veikts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings Latvijā;
- novērtēt mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas morfodinamikas izmaiņas (aktuālā situācija, ilglaicīgā attīstība).

Darba novitāte, teorētiskā un lietišķā nozīme

- Pētījumā izstrādāta jauna jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu apstrādes un analīzes metodika, kas ļāva raksturot mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas izmaiņas vairākos līmeņos: krasta šķērsgriezumā, pa krasta iecirkņiem, krasta līnijas garumā.
- Pirmoreiz Latvijā krastu dinamikas pētījumos izmantotas ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (GIS) analīzes metodes, kas savieno monitoringa lauka mērījumu datus ar

ģeogrāfisko informāciju, tā paplašinot datu telpiskās analīzes un grafiskās attēlošanas iespējas.

- Pirmoreiz veikts lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamikas pētījums, kas balstās uz regulāru ilglaicīgu novērojumu (maksimāli 18 gadi) analīzi.
- Izmantojot atkārtoto lauka mērījumu datus par 366 stacionāro novērojumu profiliem, interpretēta un izpētīta mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas attīstība un izmaiņas 138,1 km, t.i. vairāk kā 25% no jūras krastu kopgaruma Latvijā.
- Izmantojot lauka mērījumu atkārtotos ilggadīgos novērojumus, izstrādāta krasta virsūdens daļas dinamikas raksturojošo pazīmju klasifikācija un noteiktas ilglaicīgās attīstības tendences, kas izmantojamas turpmāko krasta attīstības prognožu izstrādē.
- Praktiskie darba rezultāti ir jaunizveidota jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēma, kas ietver divas elektroniskas datu bāzes (tematisko un ģeogrāfisko) un "Jūras krastu ģeomorfoloģisko katalogu".

Pētījumu rezultātu aprobācija

Ar pētījuma rezultātu izklāstu autore uzstājusies 8 konferencēs, tajā skaitā 3 starptautiskās konferencēs:

Globālās klimata izmaiņas un to ietekme uz piekrastes morfodinamiskajiem procesiem Latvijā. Ģeogrāfu kongress. Rīga, 1996.

The changes of the climate and it's impact to the Latvian coastal morphodynamic processes. NorFA workshop. Modelling of the specific and sensitive coastal areas of the Baltic sea. Vassa (Finland), 1997.

Ģeoinformāciju sistēmu pielietojums jūras krasta procesu analīzē Latvijā. LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2000.

Jūras krastu monitorings Latvijā. LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2000. Autori: G. Eberhards, A. Paršāne, J. Lapinskis.

Mūsdienu krastu procesu analīzes metodes un rezultāti Latvijas piekrastes akumulatīvo krastu zonā. Baltijas reģiona valstu integrācijas problēmas ceļā uz Eiropas Savienību. Rēzekne, Latvija, 2000. Autori: A. Paršāne, F. Torkler.

Methoden zur Erfassung der aktuellen Küstenprozessdynamik an den Akkumulationsküsten Lettlands. Von der Nordseeküste bis Neuseeland. 19. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“. Bamberg, Vācija, 2001.

Latvijas akumulatīvo jūras krastu morfodinamika. LU 64. Zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcija. Rīga, Latvija, 2006.

Latvijas akumulatīvo jūras krastu ģeoinformāciju sistēma. LU 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Rīga, Latvija, 2006.

Pieauguma tipa jūras krastu morfodinamikas analīzes metode. LU 65. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Rīga, Latvija, 2007.

Pieauguma tipa jūras krastu attīstības tendences. LU 65. Zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcija. Rīga, Latvija, 2007.

Pieauguma tipa jūras krastu morfodinamikas un morfometriskās pazīmju kopas analīzes metode. LU 65. Zinātniskā konference. Vides zinātnes sekcija. Rīga, Latvija, 2007.

Jaunas iespējas jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringā, Nidas piemērs. LU 66. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Rīga, Latvija, 2008. Autori: A. Torklere, A. Markots.

Par disertācijas tēmu ir 13 publikācijas, tajā skaitā, 10 konferenču tēzes:

EBERHARDS, G., GRĪNE, I., LAPINSKIS, J., PURGALIS, I., SALTUPE, B., TORCLERE, A. 2008. Changes in Latvia's Baltic Seacoast during the 20th century and development tendencies at the beginning of the 21st century. Baltica, Vilnius (in print).

TORCLERE, A. 2001. Methoden zur Erfassung der aktuellen Küstenprozessdynamik an den Akkumulationsküsten Lettlands. Schellmann, G.: Von der Nordseeküste bis Neuseeland - Beiträge zur 19. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“. Bamberger geographischen Schriften. Bamberg. Vācija, S. 287.-299.

PARŠĀNE, A., TORCLER, F. 2000. Mūsdienu krastu procesu analīzes metodes un rezultāti Latvijas piekrastes akumulatīvo krastu zonā. Baltijas reģiona valstu integrācijas problēmas ceļā uz Eiropas Savienību. Konferenču materiāli. Rēzekne, Latvija, 81.-86.

TORCLERE, A., MARKOTS, A. 2008. Jaunas iespējas jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringā, Nidas piemērs. LU 66. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 161.-163.

TORCLERE, A. 2007. Pieauguma tipa jūras krastu morfodinamikas analīzes metode. LU 65. Zinātniskā konference. Ģeomātikas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 108. lpp.

TORCLERE, A. 2007. Pieauguma tipa jūras krastu attīstības tendences. LU 65. Zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 204. lpp.

TORCLERE, A. 2007. Pieauguma tipa jūras krastu morfodinamikas un morfometriskās pazīmju kopas analīzes metode. LU 65. Zinātniskā konference. Vides zinātnes sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 251. lpp.

TORCLERE, A. 2006. Latvijas akumulatīvo jūras krastu ģeoinformāciju sistēma. LU 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 131. lpp.

TORCLERE, A. 2006. Latvijas akumulatīvo jūras krastu morfodinamika. LU 64. Zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 213. lpp.

EBERHARDS, G., PARŠĀNE, A., LAPINSKIS, J. 2000. Jūras krastu monitorings Latvijā. LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 46.-47.

PARŠĀNE, A. 2000. Ģeoinformāciju sistēmu pielietojums jūras krasta procesu analīzē Latvijā. LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 129. lpp.

PARŠĀNE, A. 1997. The changes of the climate and its impact to the Latvian coastal morphodynamic processes. NorFA workshop. Modelling of the specific and sensitive coastal areas of the Baltic sea. Abstracts. Vassa, Finland. P.15.

PARŠĀNE, A. 1996. Globālās klimata izmaiņas un to ietekme uz piekrastes morfodinamiskajiem procesiem Latvijā. Ģeogrāfu kongress 1996. Tēzes un programmas. Rīga, Latvija, 46.lpp.

Darba saturs un tā izklāsta veids

Promocijas darbs satur 7 nodaļas:

1. nodaļā “MŪSDIENU JŪRAS KRASTU IZPĒTE LATVIJĀ” sniegts pārskats par jūras krastu izpētes vēsturi Latvijā, par galvenajām koncepcijām un izpētes virzieniem. Nodaļā uzskaitītas metodes, kādas pielietotas jūras krastu pētījumos Latvijā.

2. nodaļā “IZPĒTES TERITORIJAS RAKSTUROJUMS” raksturotas jūras krasta zonas telpiskās robežas, apskatīta laika un telpas nozīme krasta morfodinamikas aspektos un nosaukti galvenie faktori, kas nosaka mūsdienu jūras krastu mainību. Nodaļā raksturotas Latvijas piekrastes un mūsdienu jūras krasta īpatnības, kā arī principi, pēc kuriem ir veikta līdzšinējā jūras krastu klasifikācija Latvijā.

3. nodaļā „PĒTĪJUMU MATERIĀLI UN METODES “ aprakstīta mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas dinamikas analīzes metodika, kas ietver jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu metodi, lauka mērījumu sagatavošanas un apstrādes gaitu un integrāciju jaunizveidotā mūsdienu lēzeno jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēmā (MLJK-ĢIS). Raksturotas MLJK-ĢIS galvenās sastāvdaļas: tematiskā un ģeogrāfiskā datu bāzes, jūras krastu ģeomorfoloģiskais katalogs, kā arī galvenie analīzes instrumenti un telpiskās analīzes metodes: jūras krasta līnijas metrācija un jūras krasta augstuma modeļu analīze.

4. nodaļā “MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS FORMA UN MORFOMETRISKĀS IZMAIŅAS” veikta mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas morfometrisko parametru - krasta augstuma, virsūdens daļas platuma un sanešu materiāla apjoma - klasifikācija. Izpētītas mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas sanešu materiāla apjoma un krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas laikā. Noteiktas morfometrisko parametru ilglaicīgās attīstības tendences. Raksturota vairāku līmeņu analīzes pieeja (krasta šķēsgriezums, krasta iecirknis, krasta līnija).

5. nodaļā “MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS DINAMIKAS ILGLAICĪGĀS IZMAIŅAS” izpētītas mūsdienu jūras krastu dinamikas raksturlielumu - sanešu materiāla transporta, akumulācijas un noskalošanas – ilglaicīgās izmaiņas.

6. nodaļā “MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS IZMAIŅAS PA GADIEM” izpētītas mūsdienu jūras krastu dinamikas raksturlielumu - sanešu materiāla transporta, akumulācijas un noskalošanas - izmaiņas pa gadiem laikā kopš veikts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings. Veikta paaugstinātas krasta dinamikas gadu noteikšana.

7. nodaļā “DISKUSIJA UN REZULTĀTU INTERPRETĀCIJA” novērtēta izvirzīto darba uzdevumu izpilde. Raksturotas galvenās likumsakarības lēzeno krastu dinamikā pēdējo divu desmitgažu laikā, pārbaudot izvirzītās hipotēzes un novērtēts dotā pētījuma ieguldījums krasta morfodinamikas izpētē Latvijā.

Pateicības

Darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda finansiālu atbalstu.

Lielu pateicību esmu parādā darba zinātniskajam vadītājam profesoram Guntim Eberhardam un kolēģim Jānim Lapinskim par iespēju lietot jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu datus, bez kuriem šī darba izstrāde nebūtu iespējama. Kā arī vissirsnīgākais paldies par veltīto laiku, idejām un rosinošajām diskusijām.

Izsaku sirsnīgu pateicību visiem Ēbersvaldes tehniskās augstskolas pasniedzējiem un kolēģiem par atbalstu un iespēju lietot augstskolas tehniskos resursus.

Vissirsnīgāko pateicība izsaku manai ģimenei par pacietību un izturību.

1 MŪSDIENU JŪRAS KRASTU IZPĒTE LATVIJĀ

Latvijas mūsdienu jūras krastu izpēte lielā mērā ir bijusi saistīta ar Latvijas teritorijas vēsturisko, ekonomisko un politisko attīstību. Krasta procesu izpētes pamatā kā visur pasaulē arī Latvijas teritorijā bijuši praktiskas dabas jautājumi, kas saistīti ar optimālu vietas izvēli ostu izbūvei, navigācijas nolūkiem vai krasta aizsardzības un apsaimniekošanas jautājumiem. Mūsdienu jūras krasta dinamikas izpētes jautājumi aktualitāti ieguva 70 -tajos, 80 -tajos gados, kad zinātniskajos pētījumos aktīvi ienāca tēmas, kas saistītas ar jūras līmeņa izmaiņām un to ietekmi krasta zonā. 80 -tajos gados jūras krasta pētījumos pieauga starptautiskās sadarbības nozīme, uzsverot globālā skatījuma nepieciešamību. Viens no galvenajiem impulsiem nepārtrauktu stacionāro jūras krasta procesu pētījumu uzsākšanai Latvijā bija starptautiskās Ģeogrāfu savienības Krasta vides komisijas 1976. – 1985. gada ziņojumā apkopotā un publicētā informācija par globāla rakstura jūras krastu noskalošanu [Eberhards, 2003].

Šobrīd Latvija nepiedalās nevienā lielā starptautiskā krasta procesu dinamikas pētījumu programmā, un Jūras krastu laboratorijas (Latvijas Universitāte) veiktais jūras krasta ģeoloģisko procesu monitorings (JKĢPM) ir vienīgā pētījumu programma šajā jomā Latvijā.

1.1 Jūras krastu izpētes vēsture

Mūsdienu krasta dinamikas un krasta procesu izpētes pirmsākumi meklējami vairāk kā simts gadus atpakaļ. Latvijā krastu izpēti tās dinamikas aspektos pirmie veikuši ostu inženieri. Krievijas komercostu aprakstā, kura autors ir M. Šistovskis, aprakstīti ostas piesērējumi Ventspilī. Ostas piesērēšanu autors skaidroja ar valdošiem rietumu, dienvidrietumu vējiem, kas noteica stipras jūras straumes un sanešu kustību gar Ventspils jūrmaļu. Arī Liepājas ostas izbūves laikā, paralēli projektēšanas darbiem, notika inženieru diskusijas par krasta mainības iemesliem [Шистовски, 1899]. Pagājušā gadsimta sākumā veikti plaši jūra krasta ģeoloģiskās uzbūves un krastu procesu dinamikas pētījumi Baltijas jūras dienvidu krastos [Mortensen, 1921]. O. Pratje veica detalizētus Kuršu līča krasta pētījumus un seklūdēns zonas nogulumu izpēti Zemlandijas (Sambijas pussalā) krastu rajonā. Šajos pētījumos autors pirmoreiz izteica zinātniski pamatotus apsvērumus par sanešu garkrasta kustības būtisko nozīmi krastu attīstībā [Pratje, 1932].

Latvijas Pirmās Republikas laikā tika atzīts Baltijas jūras izpētes problēmu starptautiskais raksturs. Šajā laikā Latvija iesaistījās starptautiskās Baltijas jūras izpētes programmās, piemēram, vienotā Baltijas talasoloģiskā (hidroloģiskā) tīkla izveidē. Starptautisko sadarbību koordinēja ar Baltijas valstu hidrologu konferenču un Kopenhāģenas Jūras pētīšanas pastāvīgās starptautiskās padomes starpniecību [Hydrologische Konferenzen der Baltischen Staaten, 1936]. Latvijas Pirmās Republikas laikā ar jūras krasta zonas izpēti bija saistītas vairākas institūcijas. Galvenā no tām bija Finanšu ministrijas Jūrniecības departaments, kas nodrošināja hidrogrāfiskos pētījumus, ūdenslīmeņu un straumju novērojumus, kā arī ledus ziņu apkopošanu Latvijas piekrastē [Stakle, 1936].

Viens no Jūrniecības departamenta darbības virzieniem bija dažāda līmeņa uzmērīšanas darbu veikšana un karšu izdošana. Latvijas Pirmās Republikas laikā veiktie jūras dziļumu un piekrastes uzmērīšanas darbi iedalāmi vairākās grupās: 1. Ovīšu sēkļa rajona pārmērīšana, 2. Rīgas līča piekrastes jaunuzmērīšana, 3. Rīgas, Ventspils un Liepājas ostu jaunuzmērīšana. Visos ostu plānos uzmērīta arī krasta situācija un reljefs horizontālēs. Pirmoreiz 1927. gadā, otrreiz 1931. gadā iznāca Ovīšu sēkļa rajona plāns mērogā 1:100000. 1932. gadā tika izdota karte Ainažu - Salacgrīvas rajonam mērogā

1:25000 un Rojas - Mērsraga - Bērziema piekrastei mērogā 1:50000. Tika veikta virkne uzņēmēšanas darbu, kuru mērķis bija zvejnieku un patversmes ostu ierīkošanas, kā arī esošo ostiņu tālākās izbūves iespēju izpēte. Laikā no 1922. līdz 1934. gadam tika veikti jūras piekrastes pētīšanas darbi mērogos no 1:1000 līdz 1:6000: Ainažos, Salacgrīvā, Ķirbižos ar Vitrupes ieteku, Skultes jūrmalā ar Aģes ieteku, Silanču gravā, Saulkrastos ar Pēterupes ieteku, Lielupes grīvā, Ragaciemā, Mērsragā, Rojā, Mazirbē, Lielirbē, Užavā, Pāvilostā un Papē. 1926. - 1928. gados tika veikta Rīgas ostas jaunuzmērīšana mērogā 1:5000, 1930. gadā izdota karte mērogā 1:25000. Līdzīgi darbi veikti Liepājas ostā 1923. - 1926. gados mērogā 1:2000 līdz 1:8000. 1931. gadā izdotas divas kartes mērogā 1:10000 un 1:25000. Ventspils osta jaunuzmērīta 1923. - 1925. gados, 1928. - 1929. gados un 1931. - 1932. gados mērogā no 1:2000 līdz 1:6000 [Finansu Ministrija, 1936]. Hidrogrāfisko pētīšanas darbu materiāli glabājās jūrniecības departamenta jūras un ostu pētījumu arhīvā.

Šajā laikā veica pirmos jūras krastu izmaiņu analīzes darbus, izmantojot kartogrāfiskā materiāla salīdzināšanas metodes. P. Stakle 1936. gadā aprakstīja sanešu materiāla kustību un krasta izmaiņas Latvijas ostu rajonos [Stakle, 1936]. Plašā ostu izbūves iniciatīva bija saistīta ar vairākiem krasta dinamikas pētījumiem, kas galvenokārt apskatīja garkrasta sanešu kustības likumsakarības, jo īpaši ostu molu ietekmi uz sanešu garkrasta kustību. VI Baltijas hidroloģijas konferencē tika publicēti R. Knapa un P. Reveļa pētījumi par sanešu materiāla kustību Latvijas krasta zonā [Knaps, 1938; Revelis, 1938]. 1938. gadā iznāca A. Lendes pētījumi par vidējiem vēja apstākļiem Latvijas piekrastē un to saistību ar jūras straumēm un sanešu garkrasta kustību [Lende, 1938].

Sākot ar 1945. gadu, Padomju Savienībā jūras krastu pētījumus veica Okeanoloģijas laboratorijā, kas vēlāk tika pārveidota par Zinātņu Akadēmijas Okeanoloģijas Institutu. Šī institūta Krastu dinamikas un morfoloģijas nodaļa uzsāka plašas reģionālo pētījumu programmas. 1952. gadā izveidoja PSRS ZA Okeanogrāfiskās komisijas krasta sekciju, kas ietvēra pētniecisko grupu izveidi Latvijas un Lietuvas Zinātņu Akadēmijas institūtos. Viena no galvenajām tēmām, ko pētīja jūras krastu dinamikas un morfoloģijas darba grupās gan Latvijā, gan Lietuvas PSR ZA Ģeogrāfijas nodaļās, bija krasta zonas dinamika un litodinamika [Институт Геологии АН Эстонской ССР, 1966]. Kuršu nērijas un Nidas apkārtnē veica kompleksus stacionāros novērojumus, tai skaitā atkārtotus mērījumus un nivelēšanu zemūdens nogāzē un pludmalē, sanešu paraugu ņemšanu, mēģinājumus ar iezīmētām smiltīm, viļņu parametru, straumju ātruma noteikšanu, ūdenslīdēju mērījumus [Гуделис, Кирлис, Стаускайте, Янкявичюте-Мочякене, 1966]. Latvijas teritorijā padomju gados krastu pētījumus veica Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas Ģeoloģijas un derīgo izrakteņu institūts un Vissavienības Zinātniskās ražošanas apvienība „Jūras inženierģeoloģija“. Latvijā šajā laikā attīstījās zinātniskie pētījumu virzieni, kas galvenokārt bija saistīti ar sanešu materiāla transporta mehānismu izpēti.

1.2 Jūras krastu izpētes virzieni

Jūras krasta izpētē Latvijā var izdalīt četrus izpētes virzienus: (a) ģeoloģiskā izpēte, (b) litomorfodinamiskā izpēte, (c) inženierzinātniskā izpēte, (d) matemātiskā modelēšana.

(a) Viena no pamattēmām jūras krastu pētījumos Latvijā bija seno krasta līniju un nogulumu izpēte. Seno jūras un pieledāja baseinu krastu pētījumi pieder pie kvartāra pētniecības pamatvirzieniem. Izmantojot ģeoloģisko pieeju, interpretēta nogulumu attīstības gaita, saistot to ar seno krastu attīstību. Nozīmīgākos pētījumus par Latvijas teritoriju veikuši V. Ulsts (1957), E. Grīnbergs (1957), I. Veinbergs (1986, 1996) u.c.

(b) Litomorfodinamiskā jūras krasta izpēte bija saistīta ar mūsdienu jūras krasta zonas sanešu materiāla kustības izpēti un izmaiņu analīzi no atsevišķiem vētru notikumiem līdz izmaiņām vairāku desmitgažu ilgā laika posmā. Latvijā būtiskākie litomorfodinamiskās izpētes jautājumi bija saistīti ar garkrasta sanešu materiāla kustības izpēti [Кнапс, 1952, 1966, 1981; Ulsts, 1998, Eberhards, 2003].

(c) Inženierzinātniskā pieeja galvenokārt bija vērsta uz krasta aizsardzību un vētru notikumu ietekmes mazināšanu krasta zonā, kā arī uz procesu norises regulēšanu ilglaicīgā skatījumā. Inženierzinātniskā pieeja raksturīga ostu un piestātņu projektēšanā un ekspluatācijā. Tā ietvēra gan lauka eksperimentus, gan ģeomorfolģiskos un ģeoloģiskos pētījumus, kā piemēram, vētru iedarbības novērtēšanu [Кнапс, 1952, 1959].

(d) Matemātiskā modelēšana izmantota jūras krastu dinamikas procesu izpētē, balstoties uz krasta zonas fizikālo procesu simulēšanu, pielietojot skaitliskos modeļus. Matemātiskie modeļi praksē plaši pielietoti īslaicīgu līdz vidēji ilgu parādību un procesu izpētē. Latvijā pirmie matemātiskie modeļi pielietoti 80. gados [Белошапков, Белошапкова, 1983], bet jaunākajā laikā - ostu kuģu ceļu kanālu piesērēšanas prognozēšanai.

1.3 Jūras krastu izpētes metodes

Mūsdienu jūras krasta dinamikas izpētē Latvijā pielietotas ļoti atšķirīgas metodes. Praksē pētījumu metodes nereti ir kombinētas. Var izdalīt vairākas metožu grupas:

Teorētiskās metodes pielietotas hidrodinamikas un litodinamikas izpētē. Ar dedukcijas metodēm veidotas krasta attīstības shēmas, kas pārbaudītas ar citām metodēm, pielietojot reģionālus, stacionārus un eksperimentālus datus. Latvijā plašu pielietojumu bija guvušas hidrometeoroloģiskās jeb vēju enerģētiskās metodes sanešu materiāla kustības noteikšanai, kuru pamatā ir dāņu zinātnieka I. Muncha - Petersena metode [Munch-Petersen, 1933]. Dotā metode tika papildināta un pielāgota Latvijas apstākļiem [Кнапс, 1938]. Pielietotas arī vēju-viļņu enerģijas aprēķinu metodes, ko izstrādājis V. Longinovs [Руководство..., 1975]. Iepriekšminētās metodes izmantotas garkrasta sanešu materiāla kustības kvalitatīvo raksturlielumu izpētē [Кнапс, 1966]. Teorētisko pētījumu veikšanā Latvijā liela loma bija Vissavienības Zinātniskās Ražošanas Apvienības „Jūras inženierģeoloģija“ darbībai.

Vēsturiskās un kartogrāfiskās metodes. Jūras krastu izpētē par vēsturiskiem tiek uzskatīti dati, kas iegūti pirms diviem, trim gadu desmitiem [Kortum, 1995]. Viena no plaši pielietotām metodēm krasta virsūdens daļas izmaiņu izpētē ir dažāda vecuma kartogrāfiskā materiāla analīze. Salīdzinot kartogrāfiskā materiāla (karšu, plānu, shēmu) informāciju, tiek rekonstruēta krasta situācija līdz pat vairāku gadsimtu ilgā posmā (atkarībā no pieejamā kartogrāfiskā materiāla). Latvijā šī metode pirmoreiz pielietota 30 - tajos gados [Stakle, 1936]. Plašāki pētījumi par jūras krastu attīstību pēdējo 50-80 gadu laikā, pielietojot kartogrāfiskos vēsturiskos avotus, publicēti 1996. gadā [Eberhards, Saltupe, 1996].

Tālizpētes metodes. Krasta un jūras gultnes izpētē kombinācijā ar jūras - sauszemes uzmērījumiem pasaules praksē neaizvietošanas ir tālizpētes metodes. Arī Latvijas piekrastes izpētē ir pielietotas šādas metodes. No 1961. līdz 1963. gadam sadarbībā ar PSRS Airometožu laboratoriju veikta tipisku krasta posmu un pazīmju kompleksu izdalīšana Baltijas reģionā [Болдырев, 1966], taču trūkst ziņu par šo pētījumu tālāko likteni. Valsts ģeoloģijas dienestā atrodami vecāki uzlidojumu materiāli, kurus vizuālām analizēm pielietojis V. Ulsts [Ульст, 1957]. LR Valsts zemes dienests veica Latvijas piekrastes aerofotģeogrāfēšanu un ir pieejamas ortofotokartes par 1992. - 1994. gadiem. Jauna

uzlidošanas kampaņa notika 2002. gada rudenī un 2005. gadā. 2007. gadā SIA Metrum veica jaunu uzlidošanu, kuras laikā pirmoreiz izdarīta arī virsmas lāzerskenēšana ar LIDAR metodi [Torklere, Markots, 2008].

Matemātiskā modelēšana. Matemātiskie modeļi un eksperimenti laboratorijās ir viena no metodēm, kas ļauj izolēt atsevišķu faktoru iedarbību, tādējādi izvērtējot to nozīmi. Matemātiskie modeļi tiek pielietoti krasta procesu izpētē, jo īpaši gadījumos, kad lauka mērījumos iegūtie dati nav pietiekami precīzi [Kosyan et al., 2000]. Matemātiskā modelēšana garkrasta sanešu plūsmas intensitātes izpētē veikta arī Latvijā un aptver Latvijas krasta zonu no Lietuvas robežas līdz Kolkaš ragam [Белошапков, Фельдман, 1987].

Sanešu materiāla mehāniskā sastāva analīze. Latvijas krastu procesu analīzes praksē pielietota sanešu materiāla mehāniskā sastāva analīze. Metode balstās uz sanešu pārvietošanas likumsakarībām atkarībā no transportētā sanešu materiāla daļiņu lieluma [Булгакова, 1982]. Pēc sanešu mehāniskā sastāva izmaiņām un diferencācijas dažādos krasta iecirkņos interpretēta mūsdienu jūras krastu procesu attīstība.

Litomorfoloģiskās metodes. Mūsdienās izstrādātas vairākas nogulumu slāņu izpētes metodes, kuras tiek pielietotas ģeomorfoloģijā. Tās apvienojamas kā litomorfoloģiskās metodes un dod pārskatu par reljefu veidojošo iežu vielisko sastāvu un uzbūvi. Rupjo frakciju izpētē pielietotas petrogrāfiskās metodes, smilšu - aleirītu nogulumiem - mineraloģiskās metodes. Vissmalkākai frakcijai – māliem - bez mineraloģiskajām metodēm pielietotas arī ķīmiskās analīzes [Ульст, 1963; Щербаков, Павлидис, 1962].

Stacionārie pētījumi tiek plaši pielietoti mūsdienu krasta dinamikas izpētē. Stacionārie pētījumi Latvijas piekrastē izmantoti hidrodinamikas, sanešu materiāla kustības un reljefa izmaiņu izpētē lauka apstākļos, veicot atkārtotus, precīzus mērījumus. Latvijas piekrastē stacionārus epizodiskus monitoringa tipa jūras krasta procesu mērījumus veikuši R. Knaps, V. Ulsts, I. Veinbergs, V. Emss, M. Rozenblats, A. Veinberga [Кнапс, 1952; Ульст, 1957, 1970, 1989; Вейнбергс и др., 1982; Ulsts, 1998]. Līdz 1990 -tajiem gadiem vienots nepārtrauktu jūras krasta procesu novērojumu tīkls Latvijas teritorijā nebija izveidots [Eberhards, Saltupe, 1993]. Sākot no 1992. - 1993. gada Latvijā tiek veikts pastāvīgs jūras krasta ģeoloģisko procesu monitorings. Tā darbību nodrošina Jūras krastu laboratorija (Latvijas Universitātes, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte). Šajā laika posmā ir apkopots plašs datu materiāls par krasta izmaiņām Baltijas jūras un Rīgas līča krasta virsūdens daļā.

2 IZPĒTES TERITORIJAS RAKSTUROJUMS

2.1 Telpiskās robežas

Dabā jūras krasts ir robežjosla, kuras platums ir mainīgs un atkarīgs no viļņu darbības parametriem, ūdenslīmeņa svārstībām, no krasta un zemūdens nogāzes slīpuma un sanešu materiāla nodrošinājuma seklūdens daļā [Rheinheimer, 1995]. Dabas ģeogrāfijā tiek lietots termins “jūras krasta zona”, uzsverot abpusējās jūras un sauszemes mijiedarbības raksturu šajā pārejas joslā. Krasta zona sastāv no zemūdens nogāzes (jūras daļas) un no krasta (sauszemes daļas) [Зенкович, 1962; Ulsts, 1998].

Mūsdienu jūras krasts un zemūdens nogāze veido vienotu dinamisko sistēmu, kur krasta virsūdens daļas noskalošana vai pieaugums ir atkarīgi no sanešu materiāla apjoma un procesiem zemūdens nogāzes seklūdens daļā [Зенкович, 1962; Ulsts, 1998].

G. Eberhards, aprakstot krasta zonas jūras daļu, lieto terminu “jūrmala” (1. att.). Praksē krasta zonas robežu noteikšana ir sarežģīts jautājums. Jūrā krasta zonas (jūrmalas) robeža tiek noteikta dziļumā, kur sākas viļņu enerģijas dzēšana un gultnes deformācija, kuras rezultātā zemūdens nogāzē veidojas specifiskas reljefa formas [Ulsts, 1998; Eberhards, 2003]. Atkarībā no vēja stipruma, ilgstamības un iedarbības garuma un ilguma viļņu garums būtiski variē, atbilstoši arī krasta zonas platums ir mainīgs [Rheinheimer, 1995; Lampe, 1996]. Lauka apstākļos krasta zonas apakšējo robežu visbiežāk nosaka pēc viļņojuma smilšainā gultnē, gultnes virsmas deformācijām, raksturīgas zemūdens terases vai mālaino nogulumu augšējās robežas šelfā [Зенкович, 1962; King, 1972]. Šāda robežu noteikšana var būt neprecīza, jo gultnes viļņojums un deformācijas var būt saistītas arī ar citiem ārpuskrasta zonas procesiem, kā piemēram, zemūdens straumēm [Шуйский, 1981]. Baltijas jūras dienvidu daļā krasta zonas robeža tiek noteikta 10 - 12 metru dziļumā pie viļņu garuma, kas novērojami pie jūras vējiem ar vēja stiprumu 5 - 6 pēc Boforta skalas [Lampe, 1996]. Latvijā krasta zonas robeža (zemūdens nogāze) Baltijas jūras daļā izsekojama apmēram līdz 15 - 17 m dziļumam [Ulsts, 1998]. Praksē par krasta zonas ārējo (jūras) robežu bieži tiek pieņemta ērti pielietojamā 10 m dziļuma izobāta, kas pamatā atbilst ģeoloģisko krasta procesu un arī ekoloģiskajai robežai starp krasta seklūdens zonas un atklātās jūras ekosistēmām [Eberhards, 2003].

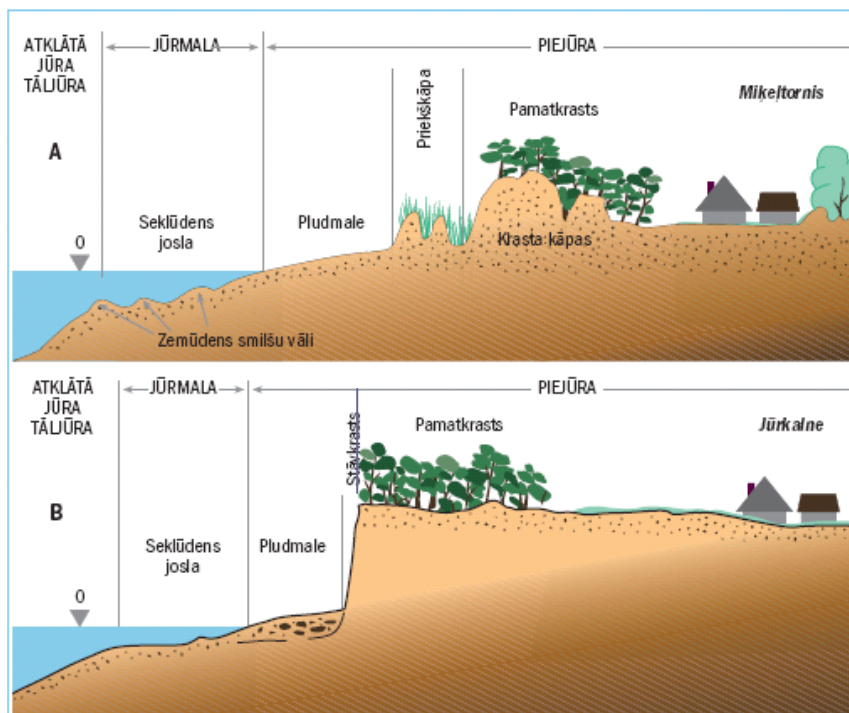
Jūras un sauszemes robežlīniju veido jūras ūdenslīnija, kas ir skaidri izteikta tikai pie mierīgiem laikapstākļiem. Jūras ūdens līnija var migrēt uz augšu un leju atkarībā no viļņojuma un uzplūdu un atplūdu līmeņiem [Зенкович, 1962; Eberhards, 2003].

Krasta zonas virsūdens daļu (piejūru pēc G. Eberharda (2003)) veido mūsdienu jūras krasts un pamatkrasts. Mūsdienu jūras krasta robežās reljefs un nogulumu turpina veidoties tagadējo krasta procesu, galvenokārt viļņošanās un vēja darbības rezultātā pie mūsdienu jūras ūdens līmeņa [Гуделис, Емелянова, 1976; Rheinheimer, 1995].

Pēc krasta formas mūsdienu jūras krastus iedala lēzenos (1.A att.) un stāvkrastos (1.B att.). Mūsdienu jūras krasta iekšzemes robeža stāvkrastos tiek noteikta pa stāvkrasta kraujas augšējo kranti. Lēzenajos krastos par robežu tiek pieņemta iekšējās virsūdens terases mala vai kāpu pēda [Rheinheimer, 1995; Kelletat, 1999; Ott, 1996; Ulsts, 1998]. Augstāk par mūsdienu jūras krastu atrodas pamatkrasts. Tā ir piejūras daļa (1. att.), kas ir seno jūras krastu reljefa veidojums un ilgu laiku (t.i. simtiem – tūkstošiem gadu) nav bijis pakļauts tiešai viļņu iedarbībai kā pludmale vai vēju darbībai kā jaunā priekškāpa [Eberhards, 2003].

Latvijas mūsdienu jūras krasta joslas lielāko daļu veido lēzenie krasti. Krasta šķērsprofils šādos posmos ir lēzens. Galvenokārt tie ir akumulācijas (pieauguma) tipa krasti, kurus veido 40 - 50 m, vietām pat 70 - 80 m plata smilšaina pludmale un gar tās

augšmalu - labi izveidota priekškāpa [Eberhards, 2003]. Specifisks akumulatīvā krasta tipu paveids ir randu krasts ar 100 - 250 m platu pļavu pludmali.



1. att. Latvijas jūras krasti: A – lēzenie jūras krasti (galvenokārt pieauguma jeb akumulatīvie krasti), B - stāvkrasti (pēc G. Eberharda, 2004).

Krasta posmos, kur notiek jūras uzvirzīšanās augstāk paceltajām teritorijām, tās vētru laikā atkārtoti noskalojot, izveidojušies jūras stāvkrasti. Latvijā raksturīgi dažādas ģenēzes kvartāra nogulumiežu (drupu iežu) stāvkrasti. Relatīvi cietākie, grūtāk erodējamie pamatiežu stāvkrasti sastopami tikai vietām Rīgas līča Vidzemes krastā no Tūjas uz ziemeļiem. Pēc stāvkrastus veidojošā materiāla izdala klintsiežos (visā augstumā sastāv no pamatiežiem), klintsiežu - nogulumiežos (sastāv no pamatiežiem, bet kraujas augšdaļu sedz kvartāra nogulumieži) un kvartāra nogulumiežos izveidotus stāvkrastus. Pēc ģeoloģiskās uzbūves izdala vienkāršas un saliktas ģeoloģiskās uzbūves stāvkrastus. [Eberhards, 2003]. V. Ulsts sāvkrastus iedala abraziņas un izskalošanas krastu tipos [Ulsts, 1998].

2.2 Laika un telpas nozīme krasta morfodinamikas aspektos

Krasta zona ir sistēma, kas sastāv no atsevišķām daļām, kurām ir izteikta hierarhija un noteikts telpiskais un laika mērogs. Augstāka līmeņa sastāvdaļas ietver zemākās, un tām ir atbilstoši mazāks gan telpas, gan laika mērogs. Telpas un laika attiecības ir tās, kas raksturo krasta zonas kā sistēmas stabilitāti. Dažāda ilguma un līmeņa procesu, hidroloģisko parametru, sanešu materiāla transporta un reljefa formu savstarpējā mijiedarbība, kā arī mijiedarbība ar apkārtējiem vides faktoriem raksturo krasta morfodinamiku [De Vriend, 1991]. Tikpat svarīgi, kā noteikt mūsdienu jūras krasta telpiskās robežas, ir paskaidrot, kāds laika posms tiek apskatīts, raksturojot krasta izmaiņas. Jūras krasta mainību var skatīt no smilšu graudiņa kustības sekundes laikā līdz krasta izmaiņām gadsimtu gaitā. Jūras krasta izmaiņas praksē iedala četros līmeņos: [a] īslaicīgas izmaiņas (no sekundēm līdz vairākām dienām), [b] izmaiņas, kas saistītas ar

atsevišķiem notikumiem, piem., vētru darbību, kuru iedarbība un sekas ilgst no vairākām dienām līdz vairākiem gadiem, [c] inženierzinātnes līmenis, kur krasta dinamikas izpausmes tiek vērtētas no sezonas līdz vairākiem gadu desmitiem un [d] ģeoloģijas līmenis, kas pēta krastu mainību līdz pat daudzu tūkstošu gadu laikā [Stive et al., 1991, De Vriend, 1991]. Atsevišķu krasta procesu telpisko un laika robežu noteikšana praksē ir ļoti sarežģīta. Galvenās dabiskās izmaiņas krasta zonā notiek vētru darbības rezultātā [Selivanov, 1996]. Vētru atkārtojamībai, stiprumam un ilgumam ir gadījuma raksturs. Mainoties hidroloģiskajiem parametriem, tiek izraisīta sanešu materiāla kustība, kas nosaka izmaiņas krasta morfoloģijā. Starp kustības iniciāciju un izmaiņām reljefā ir vērojama nobīde laika ziņā, tā sauktais reakcijas laiks [De Boer, 1992]. Procesu attīstība nereti ir saistīta ar dažādu ciklisku norišu pārklāšanos [Viles, 1995], piemēram, zonālās cirkulācijas cikli starp 3 un 7 gadiem [Bjerknes, 1962], aukstu ziemu atkārtojamības 8 gadu cikls [Stellmacher, Tiesel, 1989] utt.

2.3 Faktori, kas nosaka mūsdienu jūras krastu mainību

Mūsdienu jūras krastu ģeoloģisko procesu raksturu, intensitāti un slodzi uz krastu, tā stāvokli un izmaiņām nosaka dabiskie un cilvēka radītie (antropogēnie) faktori. Šo faktoru kopums un kompleksa mijiedarbība nosaka mūsdienu jūras krastu morfoloģiju un mainību [Bird, 2003; Carter, 1988; Davies, 1980].

Dabisko faktoru grupas, kas iedarbojas īslaicīgā un ilglaicīgā periodā ir:

- ģeoloģiskie un reljefa faktori (zemes garozas tektoniskās kustības, krasta ģeoloģiskā uzbūve un ieži, sanešu daudzums, krasta līnijas ekspozīcija un augstums);
- meteoroloģiskie (vēju režīms, nokrišņi, gaisa temperatūras);
- jūras hidrodinamiskie un litodinamiskie (viļņošānās, jūras ūdenslīmeņi, ledus apstākļi, garkrasta sanešu plūsmas).

Pēdējās desmitgadēs būtisks faktors, kas ietekmē jūras krastu stabilitāti ir pieaugošā antropogēnā faktora loma. Galvenie antropogēnie faktori ir ostas ar to hidrotehniskajām būvēm, krasta aizsargbūves, apdzīvotības un apbūves blīvums krasta zonā un derīgo izrakteņu ieguve [Ulsts, 1998; Eberhards, 2003; Eberhards, Purgalis, 2008].

Pamatkrasta reljefs un ģeoloģiskā uzbūve. Mūsdienu jūras krasta morfoloģiju un dinamiku lielā mērā noteikuši agrāko Baltijas jūras baseinu veidojumi, kas tieši pieguļ mūsdienu jūras krastam. Mūsdienu jūras krasta kontūras galvenie elementi, smilšaino sanešu sadalījums zemūdens nogāzē un sanešu plūsmas virzieni ir pārmantoti no Litorīnas jūras pastāvēšanas laika. Mūsdienu jūras krasts ir veidots galvenokārt Litorīnas akumulatīvo krasta formu ārējā malā, kura dažādos posmos ir vairāk vai mazāk pārveidota viļņu un straumju iespaidā [Ulsts, 1998]. Austrumbaltijas krasti, tai skaitā Latvijas krasti, ir veidojušies uz smilšaini grantaina morēnas materiāla ar grants un laukakmeņu piejaukumu, kas Baltijas jūras attīstības stadijās ir vairākkārtīgi pārskalots. Latvijas krasta raksturiezīme ir liela smalkgraudaina sanešu materiāla īpatsvars seklūdens un krasta virsūdens daļā, kas nosaka mūsdienu reljefa dinamiku, intensīvu noskalošanu, lielu sanešu plūsmu attīstību, kā arī ūdens ceļu un ostu aizsērēšanu. Smilts sanešu apjomi īpaši lieli ir Irbes šaurumā un Rīgas līča dienvidu daļā.

Viens no faktoriem, kas reģionāli nosaka mūsdienu krasta mainību, ir ilglaicīgās **izmaiņas**, kas saistītas ar relatīvām **zemes garozas kustībām** un **jūras līmeņa svārstībām**.

Baltijas jūras krastu attīstību un dinamiku pēcledus laikmetā un zināmā mērā arī šodien nosaka triju veidu (lēno) vertikālo kustību summa:

1. lēnām norimstošas izostatiskas kustības. Primārās ar plātņu tektoniku saistītās zemes garozas kustības Baltijas jūras teritorijā pārsedzas ar sekundārām, kuru pamatā ir izostatiskās kompensācijas kustība pēc segledāja izkušanas (pacelšanās Skandināvijā un iegrimšana Baltijas jūras dienvidu daļā). Šo vertikālo kustību maksimums ir novērojams Botnijas līča R, kur virsmas pacelšanās mūsdienās sasniedz gandrīz 1m/ 100 gadus. Virzienā no centra to amplitūda samazinās. Izostatiskās kompensācijas kustības tūkstošgadu laikā ir ievērojami samazinājušās, bet vēl joprojām turpinās. Latvijas krastu zona pēc vairāku autoru pētījumiem atrodas tiešā izostatiskās nulles līnijas tuvumā [Niedermeyer, 1996; Köster, 1995; Duphorn, 1995];

2. tiek izšķirtas diva veida ūdenslīmeņu svārstības - relatīvās un absolūtās jeb eistatiskās. Eistatiskās ūdens līmeņa svārstības ir atkarīgas no globālā klimata izmaiņām. Mēs dzīvojam eistatiskās oscilācijas fāzē. Tā ir sākusies pirms vairāk kā 100 gadiem un galvenokārt ir polāro un augstkalnu reģionu pastiprinātas sasīšanas un ledāju kušanas rezultātā izraisīta Pasaules okeāna līmeņa paaugstināšanās decimetra robežās [Köster, 1995]. Pēc Potsdamas Klimata pētījumu institūta datiem jaunākie satelītu mērījumi liecina par vidēju Pasaules jūras līmeņa paaugstināšanos par apmēram 3 mm gadā [Levermann et al., 2005].

3. Reģionālas vai lokālas neotektoniskās kustības. Trešais vertikālo kustību veids, kam ir nozīme krastu morfodinamiskajā attīstībā, ir neotektoniskās kustības. Neotektoniskajām kustībām var būt gan reģionāls, gan lokāls raksturs. V. Ulsts (1998) pēc daudzgadīgā vidējā jūras līmeņa izmaiņām dažādos novērojumu punktos Latvijas piekrastē konstatē negatīvas neotektoniskās kustības Daugavgrīvas apkārtnē un Nīdā (-1 līdz -1,8 mm/gadā) un pozitīvas Skultē un Salacgrīvā.

Reģionālā klimata noteikts enerģijas režīms

Latvijas jūras krasti pieder pie mēreniem globālā klimata, vidējo platumu krastiem, kuriem raksturīgi smalki līdz vidēji rupji smilšu nogulumu. Tie tiek pārvietoti ar zemiem līdz vidēji augstiem vēju radītiem viļņiem un raksturojas ar lielu pludmaļu tipu daudzveidību [Short, 1999]. Viļņu klimatu Baltijas jūrā, tai skaitā Latvijas piekrastē, nosaka rietumu vēju joslā dominējošo R vēju virziens un bieža cikloniskā darbība ar lielu vētru atkārtotāmību.

Vējš. Pāri Baltijai virzās lielākā daļa Atlantisko ciklonu, kam raksturīgas mainīga virziena un stipruma vētras. Dienvidaustrumu Baltijas rajonā vērojama liela vējainība un viļņu darbības intensitāte. Vējainu dienu atkārtotāmība gadā sasniedz 40 - 50 dienas (ar vēja ātrumu virs 15 m/s). Vēja ātrums var pārsniegt 20 m/s un lielākais reģistrētais viļņu augstums piekrastē pārsniedz 4 m. Stipras vētras periodos viesuļi sasniedz ātrumu 30 - 40 m/s [Кирлис, 1977]. Atklātās jūras krastā sākot no septembra - oktobra dominē dienvidrietumu vēji. Maijā - augustā ievērojami palielinās ziemeļrietumu rumbu vēju atkārtotāmās. Mēneša vidējie vēja ātrumi palielinās, tuvojoties ziemeļiem un ziemai. Maksimālie ātrumi piemīt dienvidu un dienvidrietumu vējiem. Jūras vēju rezultantes vektors pie Liepājas vērsts gandrīz stateniski krastam, bet Ventspils rajonā - asā leņķī pret krastu. Rīgas līcī dominē vāji (2 - 5 m/s) un mēreni (6 - 10 m/s) vēji. Stipru vēju maksimālais ilgums (līdz 40 stundām mēnesī) ir saistīts ar ziemeļu un rietumu ceturkšņa vējiem un novērojams oktobrī, novembrī un janvārī. Līcī visspēcīgākās vētras ir rudenī un ziemā un valdošās ir vētras no ZR līdz DA virzieniem [Ulsts, 1998]. Krasta līnijas orientācija nosaka dažāda virziena vēju izraisīto vētru iedarbību uz krastu. Dominējošo spēcīgo dienvidrietumu un rietumu vētru ietekmei pakļauti tikai atklātās Baltijas jūras krasti un Rīgas līča Vidzemes krasts; vienīgi spēcīgo ziemeļrietumu vētru ietekmei ir pakļauts viss Latvijas jūras krasts [Eberhards, 2003].

Viļņošanās. Jūrā dominē vējviļņi ar maksimāliem viļņu augstumiem atklātā jūrā 13 m (rudens-ziemas periodā), bet vasarā - 10,8 m, Rīgas līcī 8,5 m [Pastors, 1994]. Viļņi ir galvenais faktors, kas nosaka sanešu materiāla kustību, jūras krasta morfoloģiskās izmaiņas un dinamiku. Vēja radītu viļņu augstums krasta zonā ir atkarīgs no vēja stipruma un vēja iedarbības virsmas garuma (*Fetch*). Atklātā jūrā atkarībā no gadalaika vidējais viļņu augstums (ar 1 un 50 % režīma nodrošinājumu) atbilstoši mainās no 2,5 līdz 3 (periods 7,4 - 8,4 s) un no 0,5 līdz 1,0 m (periods 3,6 - 4,6 s) [Ulsts, 1998]. Atklātās jūras krastā visbiežāk atkārtojas dienvidrietumu un rietumu rumbu viļņošanās. Ar šiem virzieniem parasti saistītas arī 7 - 8 ballu un retākās 8 - 9 ballu vētras. Uzvirzoties krasta zonai, viļņi tiek izliekti (refrakcija), un notiek viļņu deformācijas - mainās viļņu forma un augstums. Sasniedzot dziļumu, kas ir mazāks kā to garums, notiek viļņu lūšana, un veidojas plata gāzuma (bangojuma) josla. Latvijā pēc novēroto viļņu parametriem tipiskas vētras laikā ar viļņu augstumu līdz 3 - 4 m viļņu gāzuma joslas ārējā mala Baltijas jūras krasta zonā atrodas aptuveni 6 m dziļumā. Spēcīgu vētru laikā pirmā viļņu uzbangojuma līnija pārvietojas 7 - 9 m dziļumā. Rīgas jūras līcī vidēji stipru vētru laikā viļņu gāzuma joslas ārējā mala atrodas 3 - 5 m dziļumā [Ulsts, 1998].

Jūras straumes. Straumes ir būtiskas noskalotā sanešu materiāla garkrasta transportā un viļņošanās procesā uzduļķotā materiāla pārvietošanā. Straumju attīstība ir saistīta ar trīs pamatmehānismiem: vēju, ūdenslīmeņa atšķirībām un horizontālām blīvuma atšķirībām. Seklūdens zemūdens nogāzes straumes ir vēja, viļņu, plūdmaiņu un citu apstākļu mijiedarbību rezultāts ar mainīgu virzienu un ātrumu. Straumju režīms krasta zonā ir ļoti sarežģīts un Latvijā nav pietiekoši pētīts. Vispārīgos vilcienos straumju režīmu Latvijas krasta zemūdens nogāzē atklātās jūras krastā raksturo valdošo ūdens masu pārvietošanās gareniski krastam no DR uz ZA, vētras straumju veidošanās līdz 10 m dziļumam un dreifa (vēja) straumes vairāk kā 10 m dziļumā [Ulsts, 1998]. Ar vēja iedarbību tieši vai pastarpināti saistītas visas jūras straumes. Lai gan vētru darbība Baltijas jūrā ir ar lielu atkārtojamību, ilgākā skatījumā viena virziena vēja darbība ir vāji izteikta. Pirms vēja noteiktas straumes virziens nostiprinās, nereti notiek jauna kustības iniciācija. Tādejādi Baltijas jūrā raksturīga ilgstoša straumju maiņa [Fennel, 1995]. Krasta zonas seklūdens daļā var izdalīt vairākas ūdens cirkulācijas formas, kas raksturojamas ar ūdens masu pieplūdi (vēja uzplūdi), to novirzīšanos krasta ietekmē (garkrasta straumes) un ūdens masu atplūdi (kompensācijas straumes). Pēc to ģenēzes un iedarbības krasta zemūdens nogāzē straumes var iedalīt vairākās grupās:

1. ģeostrofiskās straumes. Vēja iedarbība uz ūdens slāni izraisa ūdens slāņa kustību ieslīpi vēja virzienam (Z puslodē kustība novirzās pa labi, tā sauktais Ekmaņa transports). Krasts pārtrauc iesākto ūdens masu kustību, un notiek ūdens masu iegrimšana vai pacelšanās un spiediena gradienta izveide. Savukārt ūdens masu daļiņu kustība nenotiek atbilstoši spiediena atšķirībām, bet Koriolisa spēka rezultātā tiek novirzīta pa labi, veidojot spēcīgas garkrasta straumes. Šāds straumju veids tiek apzīmēts kā ģeostrofiskās straumes. Mainoties krasta līnijas konfigurācijai, veidojas tā sauktie Kalvina viļņi, kas Koriolisa spēka rezultātā turpina izplatīties tā, ka krasts atrodas labajā pusē [Fennel, 1995];

2. viļņošanās straumes. Viļņošanās straumes darbojas vienlaicīgi ar viļņošanās procesiem un veido vienotu mehānismu. Šīs straumes ir aktīvs faktors materiāla pārvietošanā gultnē; to ātrums pie gultnes zemūdens vālu tuvumā var sasniegt līdz 1m/s [Айбулатов и др., 1966]. Pie viļņošanās straumēm daļēji var pieskaitīt vētru straumes [Кнапс, 1981]. Vētras straumju cēlonis ir vējš, kas rada ne tikai viļņu un vēju straumes, bet arī nosaka uzplūdu radītās straumes. Tādejādi ūdens masu kustībām (straumēm) vētrā ir jaukts raksturs [Зенкович, 1962]. Vidēji stipras vētras laikā straumes ātrumi var sasniegt apmēram 0,5 - 1 m/s, stipru vētru laikā - pat 1 - 1,2 m/s, bet ekstremālu vētru gadījumos - 1,5 m/s vai nedaudz vairāk [Ulsts, 1998];

3. neviļņu straumes. Atsevišķi tiek izdalītas tā sauktās tālās iedarbības straumes. Tās ir jūras straumes, kas atrodas ārpus tās radījušo faktoru darbības lauka, vai straumes, kas nesakrīt ar cēloņprocesu darbības virzienu, kā arī pretstraumes un straumes, kuru darbības virziens transformējas. Šādas straumes nepieder ne pie viļņošanās, ne pie vēju straumēm. Tās veido atsevišķu neviļņu straumju grupu un var būtiski mazināt viļņošanās straumju ietekmi [Кнапс, 1981]. Pie neviļņu straumēm pieder garkrasta un kompensāciju (pārrāvuma un pretstraumes) [Лонгинов, 1963]. Pētījumi dabā liecina, ka garkrasta straumēm viļņošanās attīstības stadijā ir periodiski pulsējošs raksturs. Viļņošanās stabilizācijas un norimšanas fāzē, pateicoties ūdens masu inercei, garkrasta starumes sasniedz savu maksimumu un atkarībā no zemūdens nogāzes reljefa formām var veidot vienvirziena plūsmas, kas pastāv zināmu laiku arī pēc viļņošanās izbeigšanās. Tāds, piemēram, ir spēcīgu pretkompensācijas (pretstraumju) un pārrāvuma straumju raksturs Baltijas jūras austrumdaļas krastos [Айбулатов и др., 1966; Шадрин, 1972]. Krasta zonā atplūdu straumes gravitācijas ietekmē pārvietojas atbilstoši profila slīpumam, bet pēc pirmā - otrā zemūdens vāla šī ūdens masu kustība maina virzienu un iekļaujas kopējā garkrasta straumē, to būtiski izmainot. Pretstraumju spēks var pārsniegt vietējo faktoru jaudu. Šādā situācijā litodinamiskiem procesiem ir pretējs raksturs, kā to paredz aprēķini, kas veikti pēc vietējiem vēju un viļņu parametriem. Pretstraumju ietekme ir vērojama gan zemūdens nogāzes reljefā, gan sanešu kustības bilancē krasta zonā. Ilggadēji instrumentālie novērojumi Rīgas jūras līcī apstiprina, ka jūras straumes, virzoties no dziļuma uz krastu seklūdens zonā 5 - 6 m dziļumā, maina kustības virzienu un iekļaujas garkrasta ūdens kustībā, to pastiprinot [Кнапс, 1981]. Par pretstraumju darbību liecina zemūdens vālu izliektā forma. Tur, kur pretstraumju nav vai to darbība ir neefektīva (oļainos krastos), zemūdens vāliem ir ieliekta forma [Кнапс, 1959]. Pretstraumju ietekme un stiprums izteikti izpaužas zemūdens nogāžu pārveidošanā dažādu vētras fāžu laikā, kā arī pa sezonām. Vētras attīstības fāzē vēja ātruma paaugstināšanās pārsniedz viļņu attīstību un izsauc smalko sanešu iznešanu jūrā. Vētras norimšanas fāzē vispirms samazinās vēja stiprums. Viļņu darbība, kas pārvieto sanešus uz krastu šajā laikā dominē, un krasts pieaug. Tas pats vērojams mierīgā vasaras sezonā. Savukārt rudens - ziemas periodā, kad ir aktīvāka vētru darbība, krasts atkal tiek izskalots [Кнапс, 1981].

Relatīvās jūras līmeņa svārstības

Baltijas jūra pieder pie bezplūdmaiņu jūrām. Ūdens līmeņa svārstības paisuma bēguma laikā izteiktas ļoti vāji un nepārsniedz 10 - 15 cm [Ulsts, 1998]. Būtiska ietekme uz ūdens cirkulāciju un atbilstoši arī uz litodinamisko procesu norisi ir relatīvajām ūdens līmeņa svārstībām, kas Baltijas jūrā pārsniedz 1 m [Кнапс, 1974] un ekstremālos vētras apstākļos var pārsniegt 2 m [Кирлис, 1977]. Starp faktoriem, kuri nosaka jūras līmeņa svārstības (bariskās situācijas, upju notece, ūdens apmaiņa ar Ziemeļjūru u.c.), ietekmes ziņā pārsvars (70 %) ir vētras uzplūdiem un atplūdiem. Jūras līmeņa svārstībām var būt īslaicīgs, meteoroloģiski noteikts raksturs. Spēcīgs ilglaicīgs jūras vējš var paaugstināt ūdens līmeni, savukārt iekšzemes vējš - pazemināt. Latvijas Baltijas jūras krastā ūdens līmeņa svārstības ir vēja noteiktas. Pie stipriem R līdz Z vējiem vai arī DR līdz R vējiem ūdenslīmenis paaugstinās. Ūdenslīmenis krītas pie D līdz A vējiem. Novirzes no vidējā ūdenslīmeņa parasti svārstās $\pm 0,3$ m robežās. Ūdenslīmeņu atšķirības, kas pārsniedz $\pm 0,6$ m, ir retas. Rīgas jūras līcī parasti R vēji nosaka ūdenslīmeņa paaugstināšanos un A vēji - līmeņa pazemināšanos.

1969. gada 2. novembrī novērotais ūdens līmeņa absolūtais maksimums Rīgas jūras līcī bija 2,14 m virs vidējā līmeņa, Skultē tas sasniedzis pat 2,47 m [Pastors, 1994].

Sanešu materiāla avoti un garkrasta sanešu plūsma

Viens no priekšnoteikumiem pozitīvai krasta virsūdens daļas attīstībai mūsdienās ir pietiekams sanešu materiāla nodrošinājums krasta nogāzes seklūdē daļā [Lampe, 1996]. Mūsdienu jūras krasti saņem sanešu materiālu no dažādiem avotiem. Daļa no tiem tiek papildināti ar sanešu materiālu, ko transportē upes. Citur tiek uzkrāts materiāls, kas erodēts no tuvumā esošiem stāvkrastiem vai paaugstinājumiem zemūdens nogāzes seklūdē daļā, viļņu un vētru darbības rezultātā vai tiek piegādāts ar vējiem no iekšzemes. Sanešu materiāla pārvietošanās krasta seklūdē daļā noris viļņu un ar tiem saistīto straumju iespaidā. Tā vienmēr izpaužas kā sarežģīts gareniskās un šķērsvirziena pārvietošanās rezultāts [Ulsts, 1989].

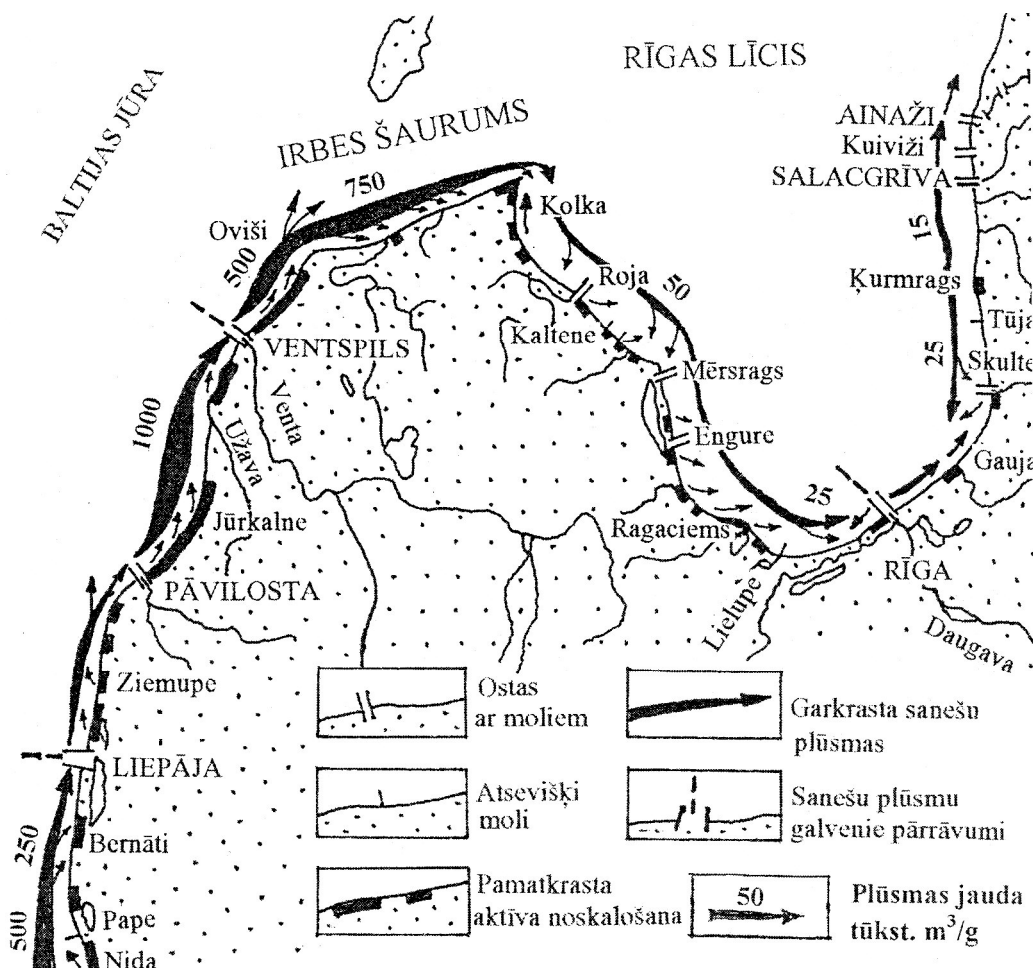
Fluviālie saneši, kas krasta zonā nokļūst ar upju cietvielu noteci. Upju transportētais materiāls tiek iznests jūrā suspendētā veidā, kur tas var nogulsnēties kā upju delta. Viļņu un straumju darbības rezultātā sanešu materiāls var tikt pārnesti vairākus kilometrus garkrasta virzienā. Rupjāks sanešu materiāls kā grants vai rupja smilts tiek izgulsnēti tuvāk pie sanešu avota, kamēr smalkāks materiāls tiek pārvietots tālāk. Fluviālo nogulumu piegādes īpatnības nosaka vairāki faktori: iežu sastāvs upes baseinā, to dēdēšanas pakāpe, gultnes kritums, nokrišņu daudzums un intensitāte, noslīdeņu veidošanās, kā arī veģetācijas segas īpatnības. Liela daļa sanešu materiāla ieplūst jūrā pēc spēcīgām lietusgāzēm vai ledus kušanas izraisītiem plūdiem. Plūdu atnestie saneši var nogulsnēties upju deltas rajonā vai arī tiek ienesti lielākos dziļumos un pārvietoti tālāk viļņu un straumju darbības rezultātā; daļa no tiem var nonākt pludmalē. Latvijas lielākās upes: Daugava, Lielupe, Gauja, Venta veido 88% no kopējās upju noteces [Latvijas vides pārskats, 1996]. Upju cietvielu nogulumu tiek transportēti uzduļķotā veidā un pa gultni (atkarībā no daļiņu izmēriem). Pēc mehāniskā sastāva upju cietvielu notecē dominē smalkās (māla, aleirītu) frakcijas (90 - 98%), kam nav lielas nozīmes jūras krasta procesos [Поляков, 1946]. Pēc teorētiskajiem aprēķiniem tikai 5% no Daugavas atnestajiem gultnes nogulumiem pēc mehāniskā sastāva varētu būt nozīme krastu morfodinamikas procesos (atbilst 7 000 m³ gadā (pie vidējā daļiņu izmēra 1,5 mm)) [Проропов, 1948; Ульст, 1957]. Par Lielupi un Gauju šādu datu nav, bet, ņemot vērā mazo upes kritumu un noteci, V. Ulsts vērtē, ka šo upju transportētā materiāla apjomi ir nelieli - 130 m³ gadā Lielupē (pie vidējā daļiņu izmēra 1,5 mm) un Gaujā pēc analogiem aprēķiniem tiek vērtēta ar 4 600 m³ gadā (pie vidējā daļiņu izmēra 1,8 mm). Ņemot vērā aprēķinu metodiku, V. Ulsts pieļauj, ka reālie cietvielas noteces rupjāko frakciju apjomi var 2 - 3 reizes atšķirties no aprēķinātajiem. Daugavas, Lielupes un Gaujas notecē krastu dinamikā svarīgo sanešu apjoms svārstās no 3 000 līdz 40 000 m³ gadā [Ульст, 1957]. Ventas upes mazais kritums un samērā nelielā cietvielu notece pēc P. Stakles novērojumiem uz jūras krasta dinamiku atstāj mazu iespaidu [Stakle, 1936]. Kopumā tikai lielākās Latvijas upes veido vāji izteiktus iznesu konus un tādejādi ietekmē krasta kontūras. Mazāko upju ietekme uz jūras krasta morfoloģiju ir nenozīmīga. Kopumā Latvijas upēm kā nogulumu avotiem ir pakārtota nozīme [Ульст, 1957].

Materiāla piegādi no stāvkrastiem un gultnes paaugstinājumiem seklūdē zonā nosaka galvenokārt divi faktori: izskalojamo veidojumu litoloģiskais sastāvs un viļņu un straumju raksturs, kuru rezultātā nogulumu tiek pārvietoti [Orviku et al., 1995]. Svarīgs sanešu materiāla avots, kas papildina garkrasta sanešu plūsmu ir stāvkrasti, kur krasta kāplē zem neliela biezuma smilts kārtas atsedzas leduslaikmeta morēna, smilšmāli, starpleduslaikmeta baseinu nogulumu - smilts, aleirīts, māls, Litorīnas smiltis, bet atsevišķās vietās pamatieži. Veicot smago minerālu analīzi dažādos krasta iecirkņos, V. Ulsts norāda, ka galvenais smilšainā materiāla avots ir morēna, pamatiežu nozīme kopējā krasta materiāla bilancē ir neliela [Ульст, 1957]. Kopumā no 496 km garās krasta līnijas

30% Baltijas jūras krastā un 22% Rīgas jūras līcī aizņem abrāzijas un izskalošanas krasta tipi (aktīvie un aprimstošie apakštipi) [Ulsts, 1998]. Arī no jūras gultnes pacēlumiem vai nekonsolidētiem gultnes nogulumiem erozijas rezultātā smilts un grants materiāls var nonākt pludmalē [Moller, 1985]. Latvijā sanešu materiāla kustība šādos aspektos nav pētīta.

Materiāla piegāde ar vēju. Krasta posmos, kur akumulācijas reljefa formu attīstību nosaka dominējoši jūras vēji, vēja virziena izmaiņu gadījumā notiek smilšu materiāla daļēja pārvietošanās no kāpām atpakaļ pludmalē vai nogulumi tiek iepūsti jūrā. Piemērs ir Slowinski nacionālā parka pludmales Polijā, kur smiltis tiek daļēji pārpūstas atpakaļ ar dienvid-, dienvidrietumu vējiem no kāpām, kuras klāj reta veģetācija [Borowca, Rotnicki, 1994].

Garkrasta sanešu plūsma. Pie liela sanešu materiāla apjomiem krasta zemūdens nogāzē attīstās ievērojamas jaudas un tālejamības sanešu plūsmas. Baltijas jūras dienvidaustrumu daļā vērojama tā sauktā Austrumbaltijas smilts sanešu plūsma [Кнапс, 1966]. Sanešu plūsma sākas Sambijas pussalā stāvo abrāzijas krastu rajonā Kaļiņingradas tuvumā un beidzas Irbes šaurumā pie ieejas Rīgas līcī. Gar Latvijas jūras krastiem saneši virzās no dienvidiem uz ziemeļiem līdz Kolkasragam, kur lielākā daļa no transportētā smilšainā materiāla nogulsņēja zemūdens sēklī iepretim ragam (2. att.).



2. att. Garkrasta sanešu plūsma gar Latvijas piekrasti pēc R. Knapa ar G. Eberharda papildinājumiem [Eberhards, 2003].

Garkrasta sanešu materiāla plūsmas aprēķinos Latvijā pielietota Munha-Petersena vēju enerģētisko aprēķinu metode (1933), ko papildinājis R. Knaps, D. Šišovs un I. Propotorovs (1948). Sanešu plūsmas jauda atklātās Baltijas jūras krastā sastāda 300 - 500 000 m³ līdz 1 000 000 m³ gadā. Gados ar lielu vētru aktivitāti sanešu plūsmas jauda var divkārtoties. Neliels sanešu plūsmas atzars virzās gar Kolkas ragu iekšā Rīgas līcī līdz Rīgai. Rīgas līča austrumu krastā ir novērojamas vairākas lokālas pretēja virziena sanešu plūsmas. Sanešu plūsmas jauda Rīgas līcī ir 20 - 50 000 m³ gadā [Кнанс, 1966]. Rīgas līča piekrastē saglabājas no Litorīnas jūras pastāvēšanas laika raksturīgais garkrasta sanešu pārvietošanās dominējošais virziens: gar līča Kurzemes krastu no Kolkas raga un gar meridionālā virzienā orientēto Vidzemes krastu no Ķurmraga virzienā uz līča dienvidgalu. Abu plūsmu sadures zona ir iecirknī starp Inčupi un Pēterupi Saulkrastos [Eberhards, 2003]. Pēc R. Knapa (1938, 1966) mazjaudīga sanešu plūsma virzās no Ķurmraga uz ziemeļiem. Pēc G. Eberharda (2003) pētījumiem šeit iezīmējas izteikta sanešu plūsmas virzība pretējā virzienā uz dienvidiem.

Antropogēnā darbība krasta zonā

Cilvēka darbību Latvijas krasta zonā lielā mērā noteikuši vēsturiskie, politiskie un sociālie aspekti. Aptuveni 300 km garumā gar Latvijas krasta līniju padomju gados bija izvietotas Padomju armijas daļas, tādejādi saimnieciskā darbība bija ierobežota [Latvijas vides pārskats, 1996]. Problēmas kā intensīva apbūve, kam sekoja nepieciešamība pēc aizsargbūvju celtniecības, kā daudzviet Eiropā, Latvijā nesaasinājās. Latvijas krastu zonā ar tiešu pieeju jūrai izvietotajās 7 pilsētas un vairāk kā 20 apdzīvotas vietas [Eberhards, Saltupe, 1993].

Latvijā galvenie antropogēnās iedarbības veidi uz krasta procesu dinamiku ir ostu hidrotehniskās būves un pieejas kanāli, bagarēšanas grunšu izgāztuvju ierīkošana ārpus sanešu plūsmas joslas, smilts refulēšana uz sauszemi un abradējamo krauju nostiprināšana [Ulsts, 1998]. Kā nozīmīgs faktors, kas sekmē Latvijas krastu erozijas pastiprināšanos un rada aizvien pieaugošu sanešu materiāla deficītu jūras seklūdens daļā, ir ostu saimnieciskās darbības nodrošināšana: moli un to atjaunošana un pagarināšana, kas aiztur garkrasta sanešu pārvietošanos. Jūras sanešu dabisko pārvietošanos gar krastu jūras straumju un viļņošanās rezultātā būtiski ierobežo vai pārtrauc 10 ostas u.c. objekti ar izbūvētiem 12 moliem [Eberhards, Saltupe, 1993; Eberhards, 2003]. Liepājas, Ventspils, Rīgas ostās regulāra kuģu ceļu kanālu tīrīšana un padziļināšana pilnīgi pārtrauc, bet mazās ostās - daļēji pārtrauc garkrasta sanešu plūsmu un izraisa lokālu noskalošanu ostas molu aizvēja pusē. No kuģu ceļu kanāliem un ostu akvatorijām izbagarēto sanešu materiāla apglabāšana tālajās jūras izgāztuvēs (dziļāk par 10-15 m) izslēdz šos nogulumus no aktīvās krasta procesu zonas. Pēc Jūras vides pārvaldes datiem Latvijas piekrastē laikā no 1990. līdz 2004. gadam jūras izgāztuvēs apglabāti vairāk kā 29 milj. m³ (gadā no 1 līdz 3,9 milj. m³) sanešu materiāla [Eberhards, Purgalis, 2008].

2.4 Jūras krastu tipi

R. Lampe (1996) uzsver, ka ar jūras krastu tipu tiek saprasts krasta veids (raksturīgas morfoloģiskas formas), kam ir plaša ainaviska nozīme, un, kas veidojušies ilgā laika posmā (vairāki simti līdz vairāki tūkstoši gadu). Savukārt krasta forma un procesi var ievērojami mainīties laikā un ne vienmēr atbilst morfoģenētiskajiem krasta tipiem un apakštipiem. Mūsdienu jūras krastu formu un dominējošos ģeoloģiskos krasta procesus lielā mērā ir noteikuši hidroloģiskie un morfoloģiskie procesi pagātnē. Baltijas jūrā (pēdējo tūkstoš gadu laikā) ir izveidojušās vairākas morfodinamiski vienotas apakšsistēmas ar

salīdzinoši noslēgtu materiālu bilanci, kas ietver sanešu piegādes, tranzīta un akumulācijas krasta posmus. Pēc R. Lampes Baltijas jūras krastu tipu klasifikācijas Latvijas krasti tiek raksturoti kā izlīdzinošies krasti, kuriem raksturīga krasta kontūru iztaisnošanās. Šāds krastu tips ir novērojams glaciālās akumulācijas rajonos krastu pacelšanās, iegrimšanas nulles līnijas tuvumā un novērojams no Klaipēdas līdz Pērnavas līcim [Lampe, 1996].

Līdzīgi Latvijas jūras krastus klasificē V. Gudelis - abraziņas izlīdzinātie un jūras akumulācijas izlīdzinātie krasti [Гуделис, Емелянова, 1976].

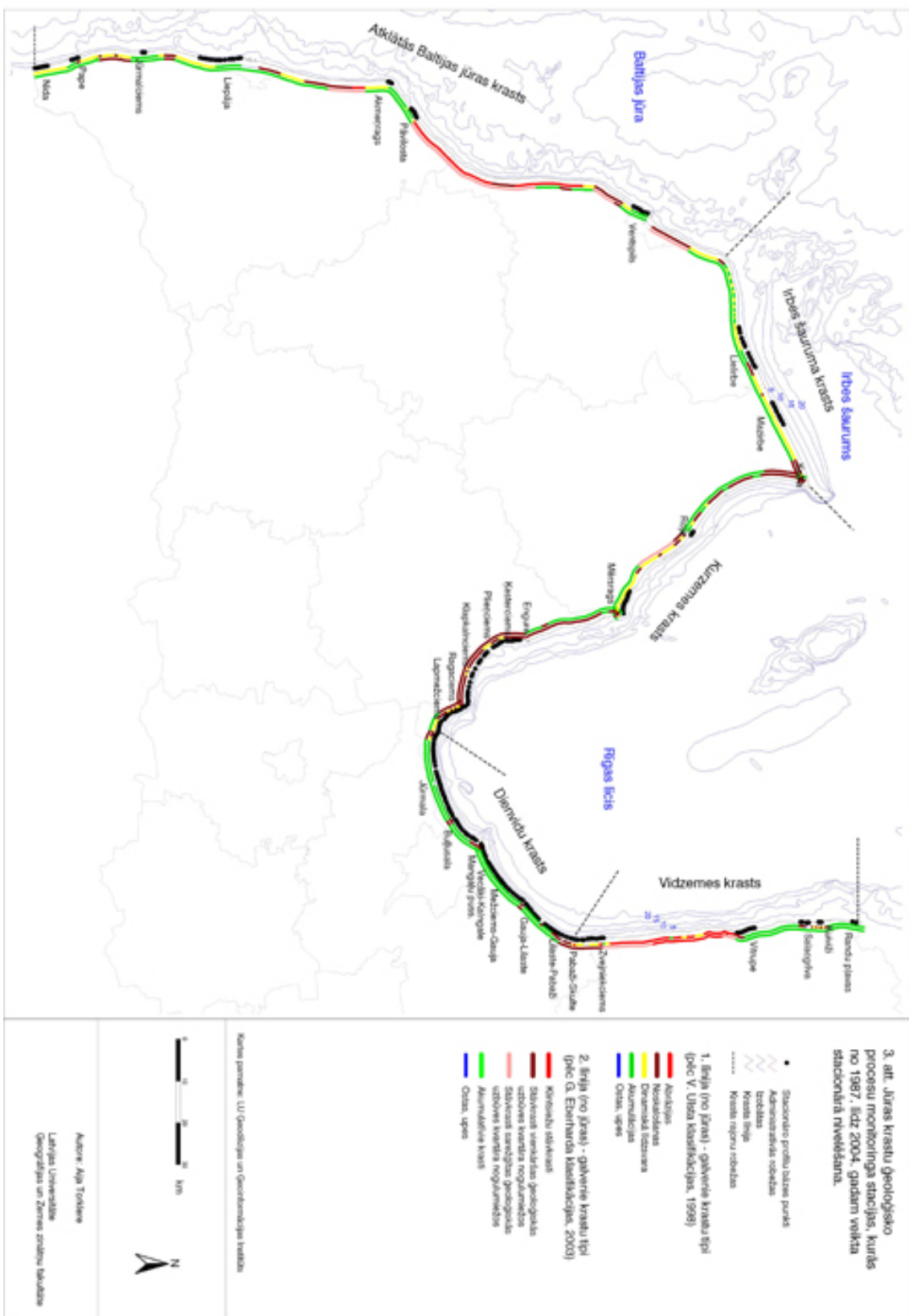
Latvijā ir izstrādātas divas jaunas jūras krastu tipu klasifikācijas, kas apvieno jūras krastu morfoģenēzi un mūsdienu jūras krastu ģeoloģisko procesu raksturu [Ulsts, 1998; Eberhards, 2003].

V. Ulsta klasifikācija balstīta uz ģeoloģiskās uzbūves un iežu vecuma, morfoloģijas un mūsdienu dinamikas īpatnībām, pēc kurām autors izdala: abraziņas (aktīvie, aprimstošie, aprimušie) krastus, izskalošanas (aktīvie, aprimstošie, aprimušie) krastus, dinamiskā līdzsvara krastus, akumulatīvos (aktīvie, aprimušie) krastus. Atklātās Baltijas jūras krastā visplašāk sastopami dinamiskā līdzsvara krasti (43,6%) un dažādu apakštipu noskalošanas krasti (33,6%). Akumulatīvie krasti veido tikai 13,5% un izveidojušies galvenokārt tehnogēno faktoru iespaidā (ostas molu pretvēja pusē). Rīgas līcī 33,4% veido dinamiskā līdzsvara, 33,4% akumulatīvie un 33,2% abraziņas un noskalošanas tipa krasti [Ulsts, 2003].

G. Eberhards, klasificējot krastus, kā galveno uzsver ģeoloģisko uzbūvi, krastu veidojošā materiāla sastāvu, izskatu, augstumu, mūsdienu procesu raksturu un intensitāti pēdējo 10 - 30 gadu laikā. Pēc šīs klasifikācijas Latvijā izdala divas krastu tipu grupas: stāvkrasti un lēzenie, galvenokārt pieauguma jeb akumulatīvie krasti [Eberhards, 2003]. Dinamiskā līdzsvara krasti, pēc G. Eberharda domām, neveido atsevišķu krasta tipu, bet raksturo mūsdienu krasta procesu raksturu [Eberhards, 2003].

Pēc ģeoloģiskās uzbūves un krasta augstuma G. Eberhards Latvijā izdala sekojošus jūras krastu tipus: vidēji augstie un augstie jūras erozijas stāvkrasti (tagadējie aktīvie un aprimušie jeb senkrasti), zemie un vidēji augstie pieauguma krasti, zemie un vidēji augstie mākslīgi nostiprinātie krasti un savdabīgie, neparastie krasti. Par jūras stāvkrastiem pēc G. Eberharda (2003) var uzskatīt visus viļņu erozijas un nogāžu procesu darbības rezultātā izveidojušos dažāda augstuma jūras krastus, kuru nogāžu slīpums pārsniedz 25-30°. Stāvkrastu raksturīga iezīme ir krasi izteikta augšmala jeb krants. Atsevišķi tiek izdalīti pamatiežu stāvkrasti un kvartāra nogulumiežos izveidotie stāvkrasti. Savukārt lēzenos jūras krastus galvenokārt veido zemie (1-3 m) un vidēji augstie (4-8 m), kopš Litorīnas jūras un pēclitorīnas laikā veidojušies pieauguma krasti. Atsevišķi tiek izdalīti tipiskie smilšainie krasti, oļaini-grantaini-smilšainie, smilšainie pļavu krasti un seno Litorīnas jūras lagūnu nogulumos izveidojušies jūras krasti.

Jūras krastu tipu izplatība Latvijas piekrastē pēc V. Ulsta un G. Eberharda klasifikācijām parādīta 3. attēlā.

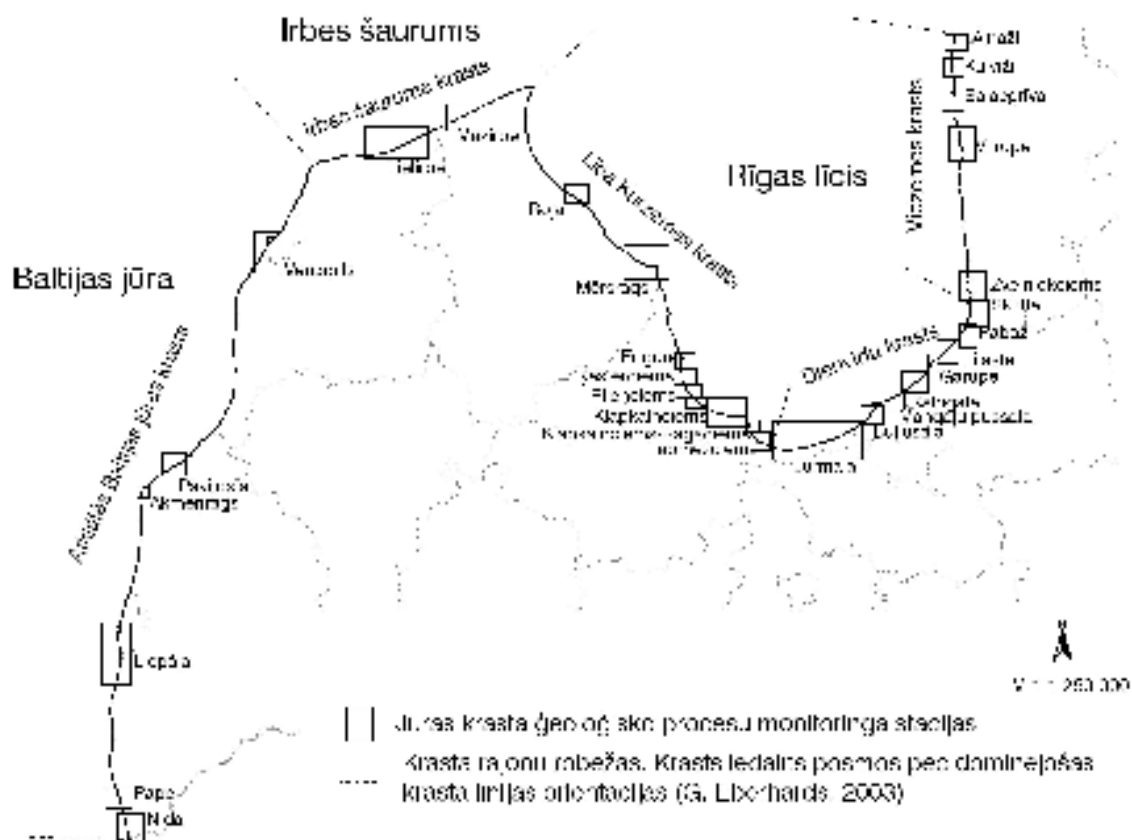


3 PĒTĪJUMU MATERIĀLI UN METODES

3.1 Pētījumu vietas

Latvijas krasta līnijas kopgarums ir 497 km [Eberhards, 2003]. Latvijas piekrastē plaši sastopami zemi, lēzeni krasti ar dažus desmitus metru platu smilšainu, vietām ar oļiem vai laukakmeņiem klātu, pludmali [Ulsts, 1998]. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamikas izpēte veikta 30 krasta iecirkņos, kas atrodas dažādos krasta rajonos (4. att.).

Latvijas krasta joslā pēc dominējošās krasta līnijas orientācijas tiek izdalīti 5 krasta rajoni: atklātās Baltijas jūras krasts no Nīdas līdz Ovīšragam, Irbes šauruma krasts no Ovīšraga līdz Kolkasragam, Rīgas līča Kurzemes krasts no Kolkasraga līdz Jūrmalai, līča Dienvidu krasts no Jūrmalas līdz Skultei un Vidzemes krasts no Skultes līdz Ainažiem. Krasta līnijas orientācija nosaka garkrasta sanešu pārvietošanos seklūdē zonā, kā arī dažāda virziena vēju izraisīto vētru iespējamo iedarbību uz krastu [Eberhards, 2003].



4. att. Jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa stacijas, kurās veikta stacionārā nivelēšana mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļu veido maksimāli nedaudz virs 200 metrus plata pludmales un priekškāpu josla starp jūras ūdenslīniju un pamatkrastu, kurā reljefs un nogulumu turpina veidoties mūsdienu krasta procesu darbības rezultātā.

Lēzenos jūras krastus, pretstatā stāvkrašiem, raksturo izstiepts, nolaidens krasta virsūdens daļas profils. Pēc morfoģenēzes lēzenos krastus galvenokārt veido kopš Litorīnas jūras un pēclitorīnas laikā veidojušies, pieauguma (akumulatīvā) tipa krasti ar plašu

pludmali un priekškāpu joslu, un samērā vienveidīgu ģeoloģisko uzbūvi. Dominē smilšainie, bet atsevišķos posmos arī smilts – grants – oļu krasti.

Atsevišķos krasta posmos, kuros notiek epizodiska krasta erozija, raksturīgas šauras pludmales un priekškāpas ir vāji izveidotas vai noskalotas. Specifisks lēzeno krastu paveids ir randu krasts ar 100-250 m platu virspludmales terasi.

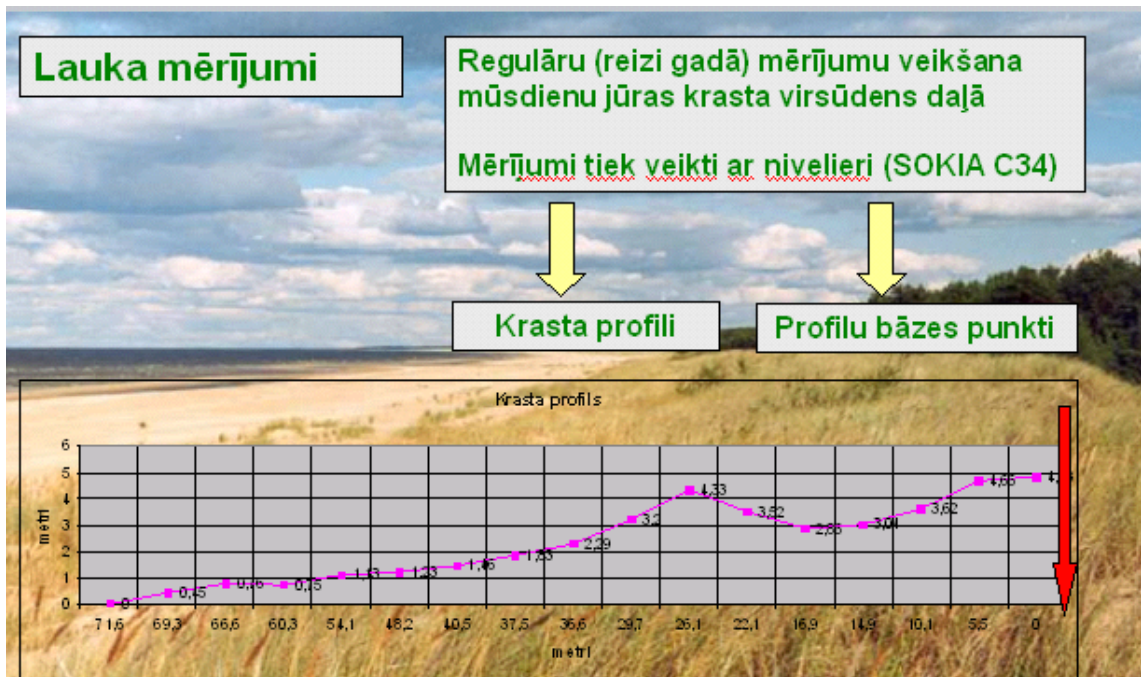
3.2 Pētījumu materiāli

Pētījumā izmantoti Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes Zinātņu fakultātes Jūras krastu laboratorijas jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa (JKĢPM) lauka mērījumu nepublicētie dati par krasta posmiem, kuros veikta atkārtota stacionārā nivelēšana. Lauka mērījumus veikusi Jūras krastu laboratorijas darba grupa profesora G. Eberharda vadībā pēc speciāli izstrādātas metodikas [Eberhards, Saltupe, 1993; Eberhards, Saltupe, 1999]. Laikā no JKĢPM uzsākšanas Jūras krastu laboratorijas darba grupā darbojušies fakultātes studenti, kuru skaits sniedzas vairākos desmitos [Eberhards, 2003]. Darba autore laikā no 1996. līdz 2000. gadam strādājusi minētajā darba grupā.

Monitoringa sistēmas izveide tika uzsākta pēc G. Eberharda un B. Saltupes iniciatīvas 1987. gadā. 1996. gadā Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē tika izveidota Jūras krastu laboratorija G. Eberharda vadībā, kuras uzdevumos ietilpa pastāvīga monitoringa darbības nodrošināšana. Latvijas jūras krasta procesu monitoringa metodika, stacionāru tīkla vietas izvēle un mērījumu režīma noteikšana, kā arī visas programmas izveide kopumā tika attīstīta pakāpeniski, eksperimentālā ceļā. 1987. gada vasaras - rudens periodā tika izraudzītas stacionāro nivelēšanas profilu vietas un veikti pirmie mērījumi Rīgas līča dienvidu krastā joslā no Engures līdz Zvejniekiem. Turpmākajos gados pakāpeniski tika izveidoti jauni stacionāri visā Rīgas līča piekrastē. Sākotnējie stacionārie pētījumi aptvēra tikai akumulatīvā tipa jūras krasta posmus, kuros dominēja procesu dinamiskā līdzsvara apstākļi vai sanešu akumulācija. Sākot ar 1990. gadu, tika izveidoti pirmie pamatkrasta noskalošanas pētīšanas stacionāri, kuros noteikts stāvkrasta kraujas atkāpšanās ātrums. Lauka mērījumu dati par izmaiņām stāvkrastos dotajā pētījumā netika analizēti. Līdz 1993. gadam bija izveidots visu Latvijas piekrasti aptverošs stacionāru tīkls, un uzsākts pastāvīgs jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa [Eberhards, Saltupe, 1999].

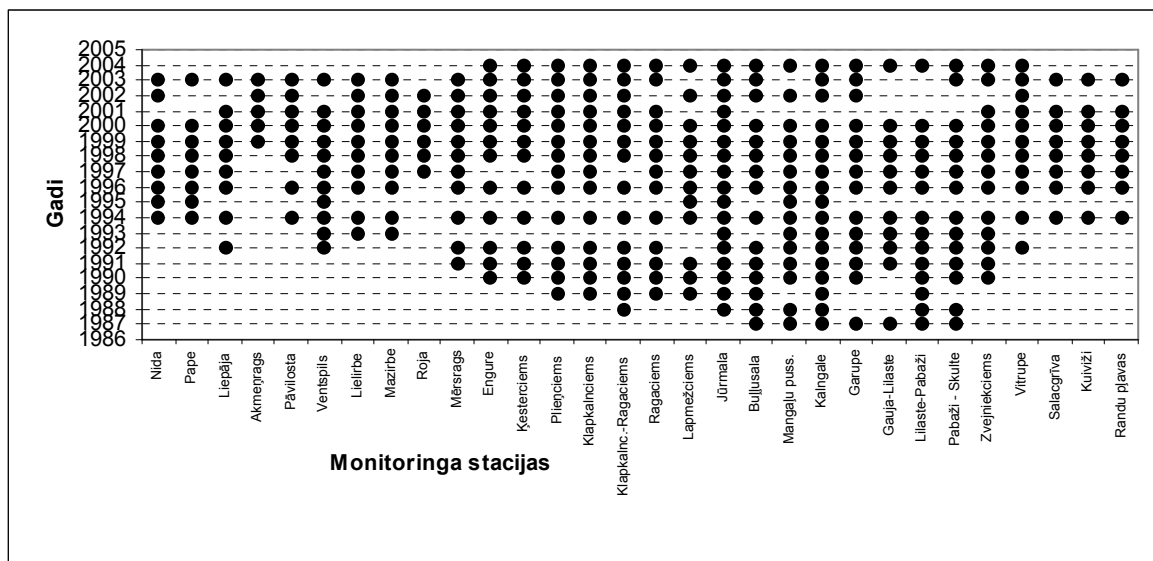
3.3 Lauka mērījumu metode

JKĢPM ietvaros lēzenajos jūras krasta posmos veikta atkārtota instrumentālā krasta zonas virsūdens daļas uzmērīšana pa stacionāru profilu līnijām (transektiem). Mērījumi veikti ar nivelieri (SOKIA C34). Nivelēšanas gājiens uzsākts no stacionāriem profilu bāzes punktiem un veikts līdz jūras ūdenslīnijai, ietverot pludmali, priekškāpu joslu un vietām daļēji krasta kāpu vai virspludmales terases daļu (5. att.). Lauka mērījumu precizitāte bija 4 cm robežās. Lai uzmērītu pludmales un priekškāpas šķērsprofilus, lātas nolasījumi izdarīti visos virsmas mikroreljefa liekuma punktos. Izlīdzinātās, slīpās pludmalēs nolasījumi izdarīti ne retāk kā pēc 8 - 10 m [Eberhards, Saltupe, 1993].



5. att. Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu shēma.

Lauka mērījumu rindu garums monitoringa stacijās bija atšķirīgs (6. att.). Pirmie mērījumi Rīgas līča krastā veikti jau 1987. gadā. Sākot ar 1992. gadu, mērījumi veikti arī atklātās Baltijas jūras krastos. Galvenās rekreācijas zonas posmos Jūrmalā, Buļļusalā, Daugavas - Gaujas posmā atkārtotie instrumentālie mērījumi sākotnēji tika veikti 4 - 8 reizes gadā [Eberhards, Saltupe, 1993]. No 1994. gada lauka mērījumi pa stacionāro profilu līnijām veikti vienu reizi gadā [Eberhards, Saltupe, 1999]. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamikas analizē izmantoti lauka mērījumi ar atkārtojamību reizi gadā. Pētījumā apstrādāti un analizēti lauka mērījumu dati par mūsdienu lēzeno krastu izmaiņām līdz 2004. gadam (ieskaitot). Analizētais novērojumu periods raksturo Latvijas lēzeno jūras krastu posmu attīstību līdz 2005. gada 8. – 9. janvāra viesuļvētrai *Ervin*. Šī viesuļvētra ar savu postošo darbību bija otra spēcīgākā (pēc 1969. gada) vētra pēdējos 100 gados [Eberhards et al., 2006].



6. att. Novērojumu rindu garums monitoringa stacijās.

3.4 Datu sagatavošana un apstrāde

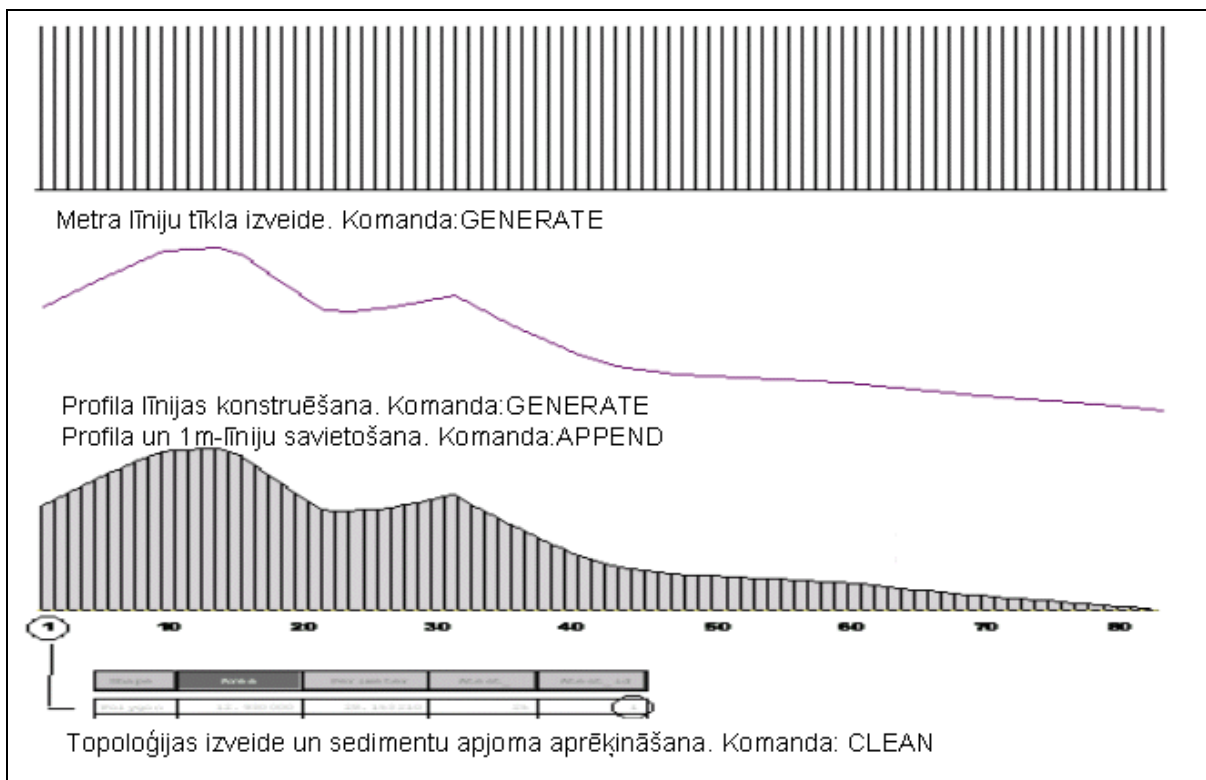
JKĢPM lauka mērījumi satur informāciju par krasta šķērsprofilu raksturu: reljefa lūzuma punktu augstumu virs jūras līmeņa un attālumu no profila bāzes punkta.

Līdzšinējie atkārtoto mērījumu rezultāti tika vizualizēti kā grafiski zīmējumi. Pieaugošais Jūras krastu laboratorijas mērījumu apjoms (vairāk kā 4000 mērījumu, 2002. gadā) noteica nepieciešamību pēc jaunas lauka mērījumu apstrādes un analīzes metodikas.

Risinājumi tika meklēti ar mūsdienīgu datorprogrammu tehniskajām iespējām. Lauka mērījumos iegūtie krasta šķērsprofili apstrādāti un analizēti, izmantojot ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (ĢIS).

Krasta virsūdens daļas šķērsprofilu apstrāde ietvēra četrus darba soļus (7. att.):

- palīglīniju tīkla konstruēšana (attālums pa horizontāli 1 m) (Komanda: *GENERATE*);
- profila (krasta šķērsriezuma) līnijas izveide (Komanda: *GENERATE*);
- tīkla un profila līniju savietošana (Komanda: *APPEND*);
- jaunu poligonu izveide, kas sadala profilu 1 m vienībās pa horizontāli. Topoloģijas izveide un laukuma aprēķināšana (Komanda: *CLEAN*).



7. att. Lauka mērījumu datu sagatavošanas un apstrādes gaita, izmantojot ĢIS (ArcInfo Workstation © ESRI).

Datu apstrādē noteikts krasta augstums katrā šķērsprofilu metrā un sanešu materiāla apjoms metru platā krasta šķērsgriezumā (ArcInfo Workstation © ESRI). Sanešu materiāla apjoms aprēķināts līdz Baltijas augstumu sistēmas “0” atzīmei.

Izveidotais metriskais tīkls piesaistīts pie stacionāra bāzes punkta (LKS-92 koordinātu sistēmā). Šāda lauka mērījumu apstrāde nodrošināja turpmāko visa krasta šķērsgriezuma vai brīvi izvēlētas šķērsprofilu daļas (piemēram, pludmale, priekškāpa)

analīzi [Paršāne, Torkler 2000; Torklere 2001]. Datu apstrādes rezultāti tika importēti *Microsoft Access* un veidoja tematiskās datu bāzes pamatdatus.

3.5 Tematiskā datu bāze

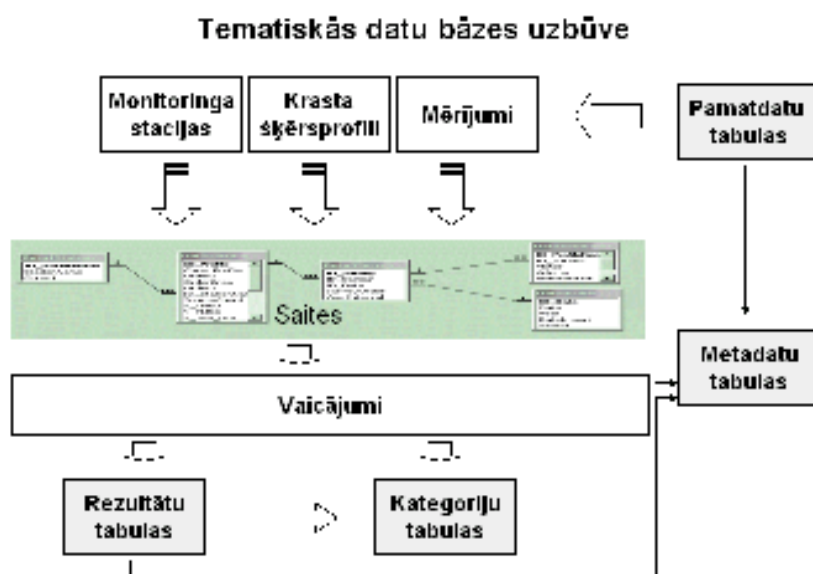
Viena no problēmām līdzšinējā JKĢPM darbībā bija datorizētas datu bāzes izveide. JKĢPM tematiskās datu bāzes izveide bija viens no šī darba uzdevumiem un praktiskiem rezultātiem.

Datu bāzes izveidošanai un uzturēšanai izmantota datu bāzu vadības sistēma *Microsoft Access*. Latvijas piekrastē JKĢPM ietvaros līdz 2004. gadam (ieskaitot) veikti novērojumi 30 monitoringa stacijās par 366 krasta profiliem (3., 4. att.)

Pirmie mērījumi, kas analizēti šajā pētījumā, bija par 1987. gadu, pēdējie par 2004. gadu (ieskaitot). Pavisam apstrādāti un analizēti 3144 lauka mērījumi, kopā 235 969 ieraksti par sanešu materiāla apjomu mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā.

Tematiskās datu bāzes uzbūve

Tematiskā datu bāzes struktūru (8. att.) veido vairāku tipu tabulas: pamatdati, rezultāti, kategorijas un metadati.



8. att. Shematizēta tematiskās datu bāzes struktūra.

Datu bāzes pamatdatus veido informācija par krasta augstumu un sanešu materiāla apjomu krasta šķērsprofilā, kas iegūta, apstrādājot lauka mērījumu datus. Papildus informācijai par sanešu materiāla apjomu un krasta augstumu, uzkrāta arī informācija par lauka mērījumu veikšanas laiku (datums), vietu (profila bāzes punkta ģeogrāfiskās koordinātes) un piederību JKĢPM struktūrai (profila identifikācijas kods un monitoringa stacija).

Ar tabulu veidošanas vaicājumiem informācija tika atlasīta, kombinēta, sakārtota un atbilstoši analīzes līmenim ierakstīta rezultātu tabulās. Rezultātu tabulās informācija sakārtota vairākos līmeņos: pirmais līmenis – mērījumi, otrais līmenis – krasta šķērsprofili

un trešais līmenis - monitoringa stacijas. Pētījumā izmantoti jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa staciju nosaukumi.

Atsevišķu tabulu grupu veidoja kategoriju tabulas. Kategoriju tabulās definētas krasta formu aprakstošo pazīmju (lielākais krasta augstums, platums, sanešu materiāla apjoms) un dinamikas raksturlielumu (sanešu materiāla transporta, akumulācijas un noskalošanas intensitātes) klašu robežas. Minēto pazīmju klasifikācija bija pirmais datu analīzes rezultāts.

Pazīmju klasifikācija veikta, pielietojot statistikas paņēmieni, kurā eksploratīvā datu analīzē pētīts pazīmes izkliedes intervāls un noteiktas pazīmes vērtības pie 10%, 25%, 75% un 90% procentilēm (izmantota SPSS 12 programma). Pazīmju klasifikācijas princips parādīts 1. tabulā.

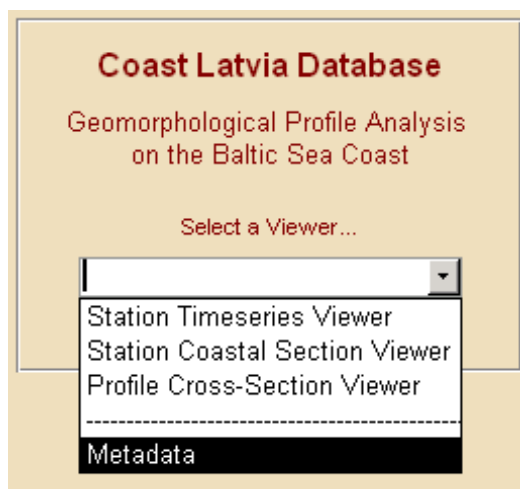
1. tabula

Krasta formas un dinamikas pazīmju klasifikācija, izmantojot procentiņu metodi

Klase	Procentile	Pazīmes vērtējums
1	līdz 10	ļoti mazs
2	10 - 25	mazs
3	25 - 75	vidējs
4	75 - 90	liels
5	virs 90	ļoti liels

“Krasta ģeomorfoloģiskais katalogs”

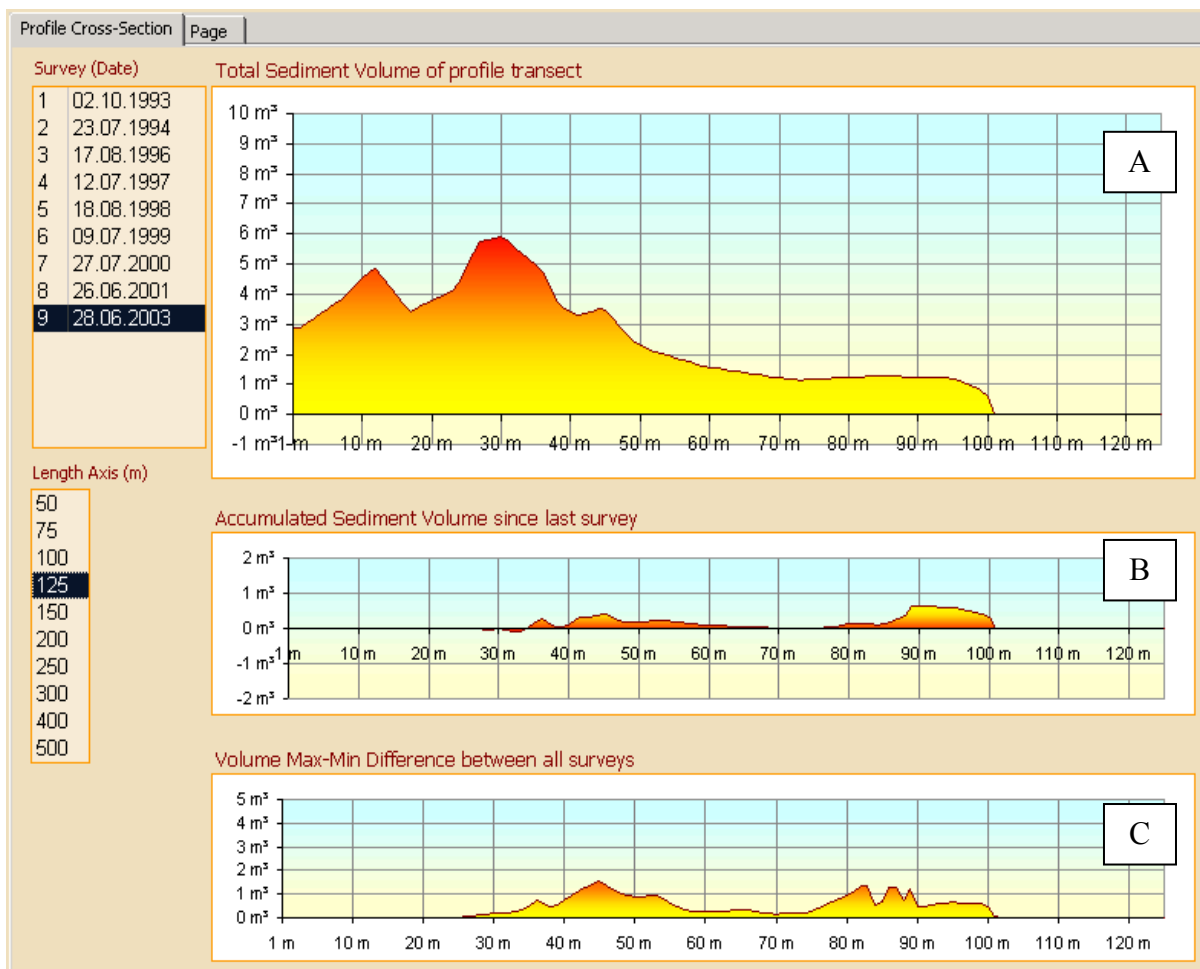
Rezultātu vizualizāciju tematiskajā datu bāzē nodrošināja “Krasta ģeomorfoloģiskais katalogs”. “Krasta ģeomorfoloģiskais katalogs” piedāvā trīs rezultātu pārskata līmeņus (9. att.): pirmais pārskata līmenis par izmaiņām krasta šķērsgrīzumā (mērījumu apskate) (*Profile Cross-Section Viewer*); otrais pārskata līmenis par izmaiņām šķērsgrīzumā pa gadiem (dinamika pa gadiem) (*Station Timeseries Viewer*); trešais pārskata līmenis par izmaiņām monitoringa stacijā (krasta iecirknī) (*Station Coastal Section Viewer*). “Krasta ģeomorfoloģiskais katalogs” izveidots angļu valodā.



9. att. JKGPM tematiskās datu bāzes “Krasta ģeomorfoloģiskā kataloga” izvēlnes logs, kurā iespējams izvēlēties trīs rezultātu pārskata līmeņus.

3.5.1 Izmaiņas krasta šķērsgrīzumā

Pirmā līmeņa pārskatā “Izmaiņas krasta šķērsgrīzumā” (*Profile Cross-Section Viewer*) grafiski parādīta informācija par krasta virsūdenu daļas šķērsgrīzumu un izmaiņām, salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu, un par visu novērojumu periodu (10. att.).



10. att. Tematiskās datu bāzes “Krasta ģeomorfoloģiskā kataloga” pirmais pārskata līmenis raksturo krasta virsūdenu daļas izmaiņas - krasta šķērsgrīzumā.

A – sanešu materiāla apjoms krasta šķērsgrīzumā, B – sanešu materiāla apjoma izmaiņas, salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu, C – sanešu materiāla apjoma izmaiņas visā novērojumu periodā.

Krasta virsūdenu daļas izmaiņas pirmajā analīzes līmenī raksturoja: sanešu materiāla apjoms m^3 (Total sediment Volume of profile transect); akumulētā/noskatotā sanešu materiāla apjoms (balance) m^3 , salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu (*Accumulated Sediment Volume since last survey*); kustībā bijušā slāņa jauda jeb aktīvais sanešu materiāla slānis m^3 visā novērojumu periodā (maksimālās sanešu materiāla apjoma atšķirības par visu novērojumu periodu) (*Volume Max-Min Difference between all surveys*).

Formas augšējā kreisajā stūrī izvēlņu logos *monitoringa stacija* un *profils* piedāvāta iespēja izvēlēties, kurš šķēršprofils tiek apskatīts. Kreisajā malā izvēlnē *mērījums* (*Survey* (*Date*)) norādīts, kad lauka mērījumi veikti.

Izvēloties kādu no mērījumiem, pirmajā grafikā (10.A att.) parādīts kopējais sanešu materiāla apjoms krasta šķērsgriezumā (*Total Sediment Volume of Profil transect*). Visu profilu apskatei izveidota vienota forma. Optimālai vizualizācijai formā papildus iespējams definēt šķērsprofila garuma ass mērogu (*Length Axis (m)*).

Formas otrais grafiks (10.B att.) sniedz pārskatu par sanešu materiāla apjoma izmaiņām profilā, salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu (*Accumulated Sediment Volume since last survey*). Raksturota izmaiņu intensitāte (noskalotā/ akumulētā sanešu materiāla apjomi) un grafiski parādīts, kurā profila daļā vērojamas izmaiņas. 10.B attēlā monitoringa stacijā Mazirbe profilā ar kodu Mab 66 2003. gadā, salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu, novērota vidēja akumulācija jaunā priekšējā un intensīva akumulācija pludmales zemākajā daļā.

Formas trešajā grafikā (10.C att.) raksturota aktīvā slāņa jauda jeb atšķirība starp lielāko mērīto un mazāko mērīto sanešu materiāla apjomu visā novērojumu periodā (*Volume Max-Min Difference between all surveys*). 10.C attēlā parādītas izmaiņas monitoringa stacijā Mazirbe profilā Mab 66. Laikā no 1993. gada līdz 2003. gadam lielākās izmaiņas šeit konstatētas jaunā priekšējā. Priekšējā maksimālās augstuma izmaiņas sasniedza 1,5 m, jeb 1 m platā krasta šķērsgriezumā sanešu materiāla apjoms izmaiņīgies maksimāli par $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

3.5.2 Krasta dinamika pa gadiem

Otrais pārskata līmenis “Krasta dinamika pa gadiem” (*Station Timeseries Viewer*) raksturoja izmaiņas 1 m platā krasta šķērsgriezumā pa gadiem (11. att.). Formas izvēlnes logos monitoringa stacija un profils iespējams definēt, kurš šķērsprofils raksturojams. Dotā forma sniedza pārskatu par lauka mērījumu rindas garumu katrā profilā.

Pirmais grafiks “Kopējais sanešu materiāla apjoms” (*Total Sediment Volume*) raksturoja sanešu materiāla apjoma summu m^3 pa gadiem (11.A att.).

Otrs grafiks “Profila garums” (*Profile Length*) sniedza pārskatu par mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platuma izmaiņām pa gadiem (11.B att.).

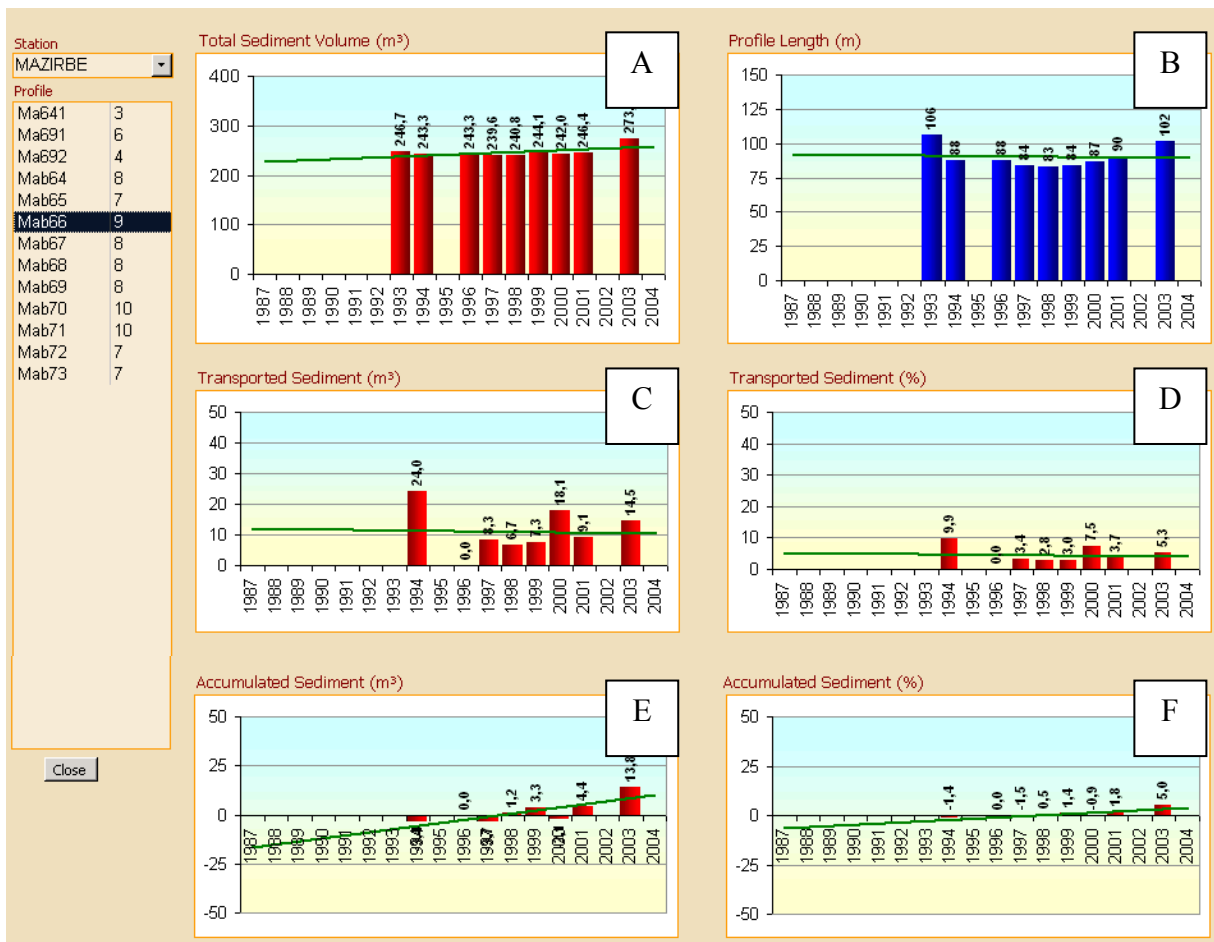
Trešais grafiks “Transportētie nogulumu” (*Transported Sediment m^3*) raksturoja transportētā sanešu materiāla apjoma izmaiņas m^3 , salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu (11.C att.).

Ceturtais grafiks “Transportētie nogulumu procentos” (*Transported Sediment%*) raksturoja transportētā sanešu materiāla apjoma izmaiņas procentos no sākotnējā sanešu materiāla apjoma (11.D att.).

Piektais un sestais grafiks raksturoja akumulētā/noskalotā sanešu materiāla apjoma izmaiņas (11.E, 11.F att.). Visos grafikos parādīts pazīmju ilggadīgās attīstības lineārais trends.

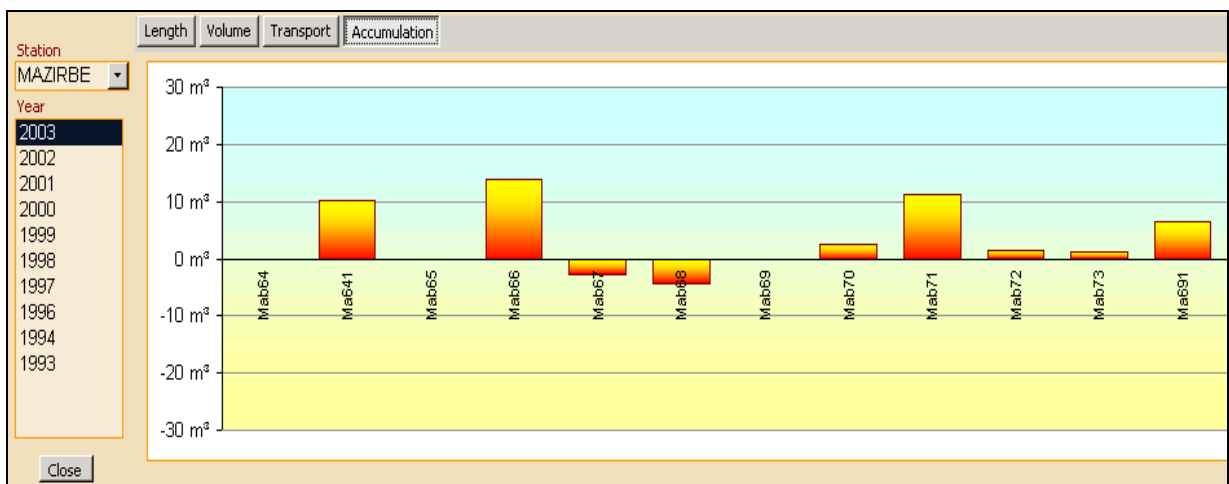
3.5.3 Dinamika krasta iecirknī

Trešais pārskata līmenis “Dinamika krasta iecirknī” (*Station Coastal Section Viewer*) raksturoja izmaiņas monitoringa stacijā (12. att.). Formas izvēlnes logā iespējams izvēlēties monitoringa staciju un gadu, kā arī četras krasta izmaiņas raksturojošas pazīmes: krasta virsūdens daļas platumu (m), sanešu materiāla apjoma summu (m^3), pārvietotā sanešu materiāla apjomu (m^3), akumulētā/noskalotā sanešu materiāla apjomu (m^3).



11. att. Tematiskās datu bāzes “Krusta ģeomorfoloģiskā kataloga” otrais pārskata līmenis par izmaiņām krasta šķērsgriezumā pa gadiem.

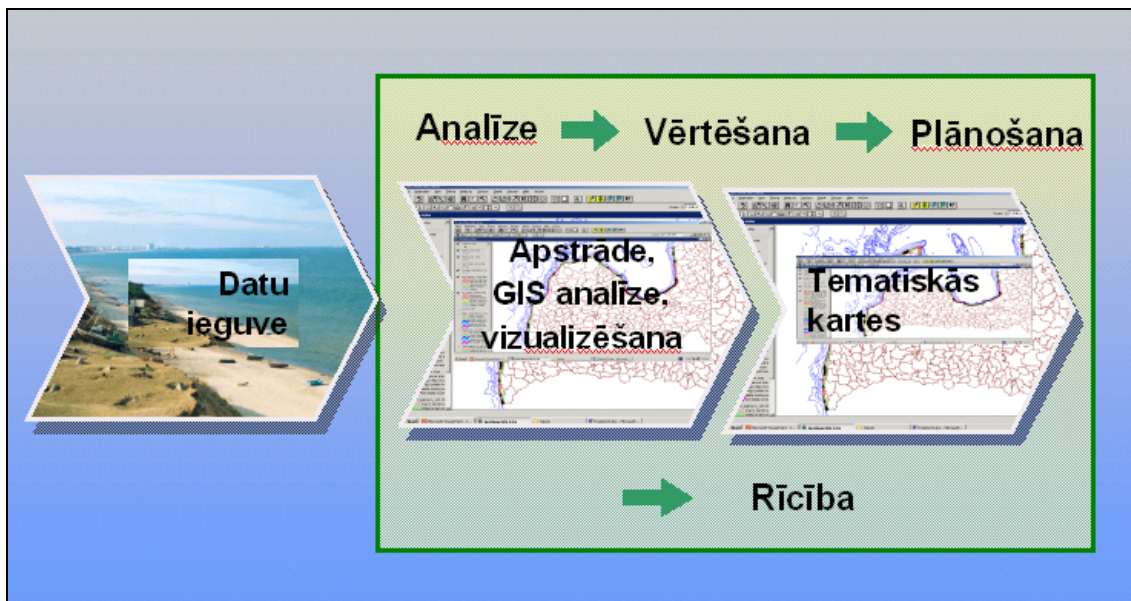
A – sanešu materiāla apjoma izmaiņas, B – krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas, C – transporta intensitātes izmaiņas, D – transporta intensitātes izmaiņas (procentos no sākotnējā apjoma), E – akumulācijas intensitātes izmaiņas, F – akumulācijas intensitātes izmaiņas (procentos no sākotnējā apjoma).



12. att. Tematiskās datu bāzes “Krusta ģeomorfoloģiskā kataloga” trešais pārskata līmenis par izmaiņām monitoringa stacijās.

3.6 Mūsdienu lēzenu jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēma

Ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (ĢIS) tiek plaši pielietotas mūsdienu jūras krastu dinamikas izpētē [Witez, 2002; Traub, Kohlus, 2006, 2007]. Latvijā ĢIS balstīta analīzes metodika mūsdienu lēzenu jūras krastu virsūdens daļas dinamikas izpētē izmantota pirmoreiz. Dotajā pētījumā tika izveidota mūsdienu lēzenu jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēma (turpmāk MLJK-ĢIS). Tā atbalsta dažādu JKĢPM uzdevumu realizēšanu, kā piemēram, tematiskās informācijas apstrādi, pārvaldi, analīzi un kartogrāfisko attēlošanu. Pētījumā tika attīstīts un pielietots ĢIS metožu kopums, sākot no lauka mērījumu apstrādes līdz regulāru kartogrāfisku pārskatu sagatavošanai par krasta stāvokli un izmaiņām noteiktā laika periodā (13. att.).



13. att. Mūsdienu lēzenu jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (MLJK-ĢIS) darbības shēma.

Attīstot MLJK-ĢIS, tika izvirzīti šādi specifiski uzdevumi:

- saistīt tematiski svarīgo informāciju (monitoringa mērījumus) ar ģeogrāfisko, tas ir, veikt empīrisko datu sasaisti ar ģeogrāfiska rakstura informācijas nesējiem (punktveida datu sasaiste ar krasta līniju, topogrāfiskām kartēm un ortofoto);
- izmantojot ĢIS, papildināt jūras krasta virsūdens daļas izmaiņu izpēti ar jaunām telpiskās analīzes iespējām.

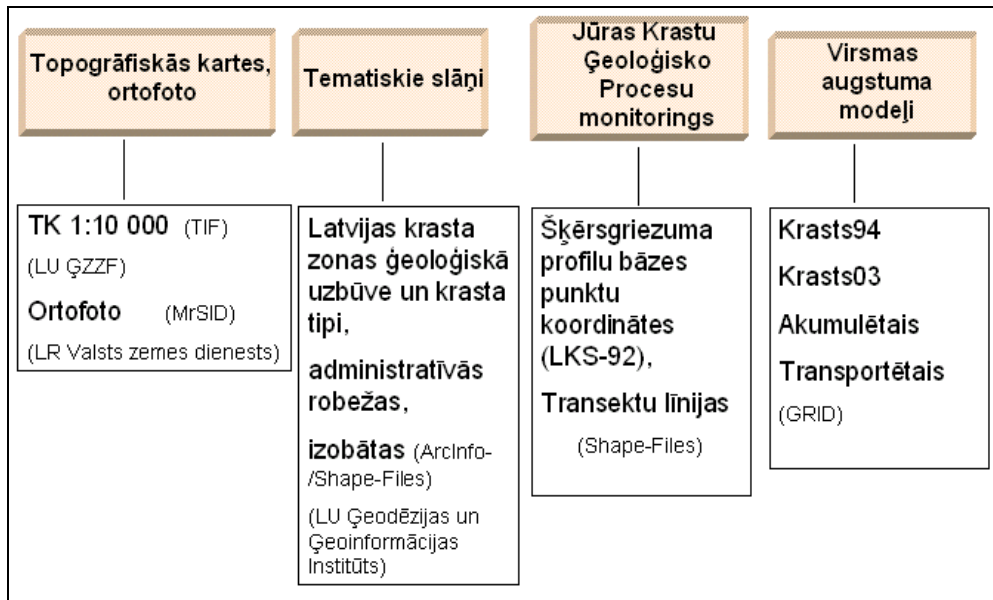
Jūras krasta ģeogrāfiskās datu bāzes izveide

Viens no pirmajiem MLJK-ĢIS attīstības posmiem bija dažāda formāta ģeogrāfiskās informācijas apkopošana jūras krasta ģeogrāfiskajā datu bāzē. Tika veikta informācijas atlase, ievadīšana, konvertēšana, transformēšana un izdošana. Otrs posms bija informācijas digitalizēšana un ģeoreferencēšana no dažādiem grafiskiem avotiem un aprakstiem, kam sekoja informācijas ģenerēšana no tematiskās datu bāzes un jau esošiem informācijas slāņiem.

Jūras krasta ģeogrāfiskās datu bāzes pamatu veido vairākas datu grupas (14. att.):

- topogrāfiskās kartes 1:10 000, ortofoto 1994. gads;

- tematiskie slāņi;
- JKĢPM tīkla telpiskā informācija par stacionāru bāzes punktiem un transektu līnijām;
- no lauka mērījumu apstrādes rezultātiem ģenerēti krasta augstuma modeļi par 1994. un 2003. gadiem un laikā no 1994. līdz 2003. gadam akumulētā un transportētā sanešu materiāla slāņi.



14. att. Ģeogrāfisko datu grupas, kas veido MLJK-ĢIS ģeogrāfisko datu bāzi.

ArcView projekts

MLJK-ĢIS darbība nodrošināta ar ArcView projektu. Izmantota ESRI ArcView 3.2a versija. Projekts darbojas Latvijas koordinātu sistēmā (LKS-92).

Pētījumā tika apskatīta mūsdienu jūras krasta dinamika šaurā (maksimāli nedaudz virs 200 m platā) krasta virsūdens daļā, kas ar pārtraukumiem garkrasta virzienā stiepjas 138,1 km kopgarumā. Lai efektīvi izmantotu datora resursus un nodrošinātu ērtu un ātru informācijas atlasīšanu, projekta vajadzībām tika attīstīti vairāki specifiski ArcView paplašinājumi. Tēma, kas saistīja visus analīzes līmeņus, bija Jūras krastu laboratorijas lauka mērījumu (profilu) bāzes punkti. Izvēloties kādu no profilu bāzes punktiem (koordināšu selekcija), ar atbilstošu darbarīku palīdzību (paplašinājumi “ģeogrāfisko datu atlase”, “ģeogrāfisko datu izvēle”) aktīvajā skatā bija iespējams pievienot informāciju par visām ģeogrāfisko datu grupām. Pievienota tikai tā informācija, kura pārsedzas ar profilu bāzes punktu koordinātēm. Shematizēti datu plūsma MLJK-ĢIS raksturota 15. attēlā.

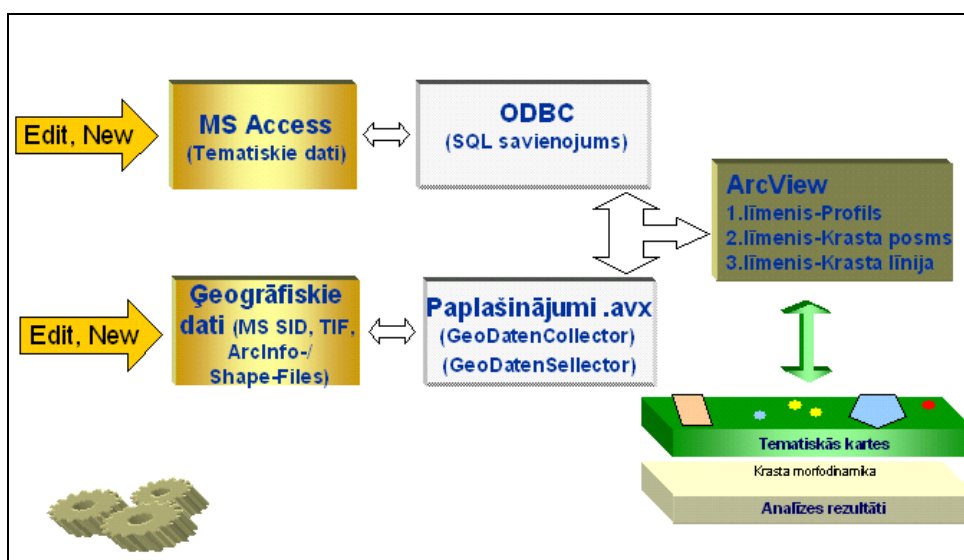
Ģeogrāfisko datu atlase

Paplašinājums “Ģeogrāfisko datu atlase” sniedza iespēju izvēlēties ģeogrāfisko datu grupas, kuras lietotas ArcView projektā, un definēja katras ģeogrāfisko datu grupas minimālo un maksimālo mērogu. Piemēram, gatavojot pārskata karti mērogā 1:200 000, nelietderīgi bija pievienot topogrāfiskās kartes, kuru mērogs bija 1:10 000.

Ģeogrāfisko datu pirmatlase nodrošināja taupīgāku datora resursu izmantošanu, un gala produkts netika pārblīvēts ar nevajadzīgi detālu vai vispārīgu informāciju.

Ģeogrāfisko datu izvēle

“Ģeogrāfisko datu izvēles” paplašinājums lietots izpētes teritorijas izvēlei. Ar selekcijas palīdzību izvēloties šķērsprofilu bāzes punktus, paplašinājums “ģeogrāfisko datu izvēle” nodrošināja datu pievienošanu skatā no visām ģeogrāfiskās datu bāzes datu grupām, kādi bija pieejami par izpētes teritoriju. Pievienota tika ģeogrāfiskā informācija, kuras koordinātes pārsedzas ar šķērsprofilu bāzes punktu koordinātēm un kuru mērogs atradās definēto mērogu logā.



15. att. Shematizēta datu plūsma mūsdienu lēzeno jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēmā (MLJK-ĢIS).

3.7 Telpiskās analīzes metodes

Jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu apstrādes rezultātu telpiskā analīze veikta ar divām metodēm. Tās bija augstuma rastru analīze un krasta līnijas metrācija.

3.7.1 Augstuma rastru analīze

No lauka mērījumu apstrādes rezultātā iegūtiem punktveida datiem, kas satur informāciju par krasta augstumu katrā šķērsprofilā metrā tika izveidoti digitāli krasta virsūdens daļas reljefa augstuma modeļi. Līdzīgi bija analizētas krasta morfoloģiskās ilglaicīgās izmaiņas Silt un Jordsand salās Vācijā [Dolch, 2007].

Sanešu materiāla apjoma izmaiņas katrā krasta metrā pētītas, izmantojot digitālo augstuma modeļu analīzi. Ar ArcView paplašinājumiem *3D-Analyst* un *Spatial Analyst*, no lauka mērījumu apstrādes rezultātu punktveida datiem par krasta augstumu katrā mūsdienu krasta virsūdens daļas šķērsprofilā metrā tika interpolēti *TIN (Triangulated Irregular Networks)* un izveidoti krasta virsūdens daļas reljefa modeļi 1994. un 2003. gadā.

Augstuma rastru izveide ietvēra vairākus darba soļus:

- poligona izveide, kas definē krasta robežas. Ar vaicājumu palīdzību tematiskajā datu bāzē tika noteikts krasta platums, piemēram, 1994. gadā. Pielietojot paplašinājumu *Xtools*, no punktiem tika izveidots poligons;

- rastra izveide. No datu bāzes (*SQL Connect*) tika izvēlēta punktveida informācija (*dBASE*-tabula ar informāciju par augstumu katrā profila metrā konkrētā gadā), kas pievienota kā *EventTheme*. Ar paplašinājumu *3D-Analyst* no punktiem aprēķināti TIN (Triangulated Irregular Networks), kas konvertēti rastra formā: (*Convert to Grid: Output Grid Extent: kā TIN, Cell Size: 1*);
- jaunizveidotais rastrs izgriezts ar robežpoligonu (izgriešana veikta ar paplašinājumu *Mila Grid Utilities*).

Punktu skaits bija atkarīgs no attālumiem starp profilu līnijām. Rekreācijā nozīmīgu smilšu pludmaļu iecirkņos ar pilsētu u.c. apdzīvoto vietu apbūvi un infrastruktūru krasta joslā, kā arī monitoringa stacijās abpus ostām attālums starp transektu līnijām bija 100 līdz 200 m. Pārējās stacijās attālumi bija ievērojami lielāki: no 200 m līdz 1000 m (Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings, 2005).

Ar paplašinājuma *Spatial Analyst* analīzes funkciju karšu aprēķins (*Map calculator*) veikta 1994. gada un 2003. gada krasta reljefa modeļu salīdzināšana. Analīzes rezultātā tika izveidots jauns informācijas slānis ar aprēķinātu akumulētā/noskalotā sanešu materiāla apjoma sadalījumu m^3/m^2 pa krasta iecirkņiem (monitoringa stacijām) (16. att.). Pielietojot ArcView standartklasifikācijas metodes [ESRI, 1997], sagatavota visiem Latvijas lēzenajiem krasta posmiem vienota leģenda par sanešu materiāla izmaiņām lēzeno jūras krastu virsūdens daļā. Pētījumā lietoti jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa staciju nosaukumi.

3.7.2 Krasta līnijas metrācijas metode

Otra telpiskās analīzes metode bija lauka mērījumu apstrādes rezultātu sasaiste ar krasta līniju. Krasta līnija tika sadalīta 100 m garos nogriežņos un nummurēta virzienā no Lietuvas līdz Igaunijas robežai. Izmantojot skriptu *Distance*, krasta līnijas nogriežņi tika savietoti ar tuvākiem stacionārās nivelēšanas profilu bāzes punktiem (maksimālais attālums 500 m) (ArcView © ESRI).

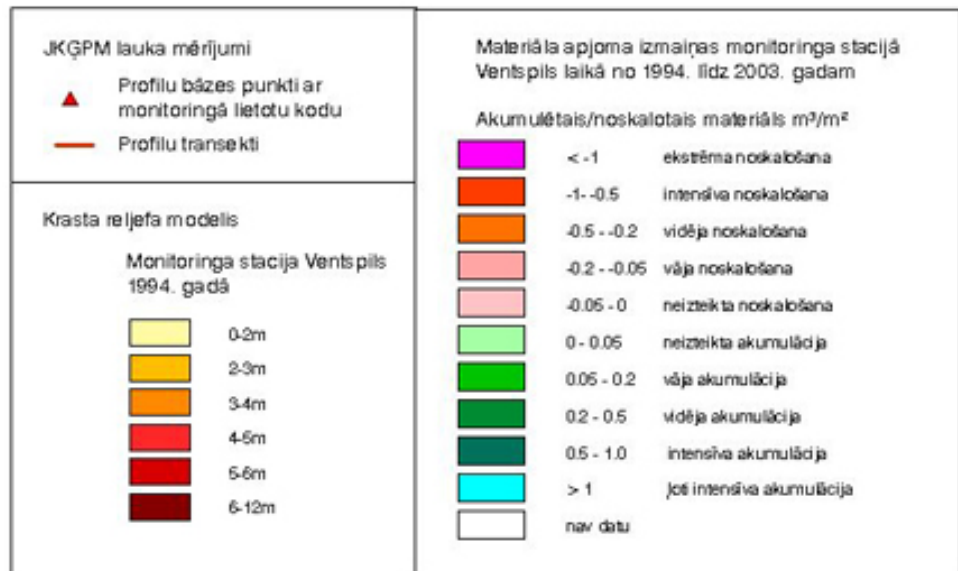
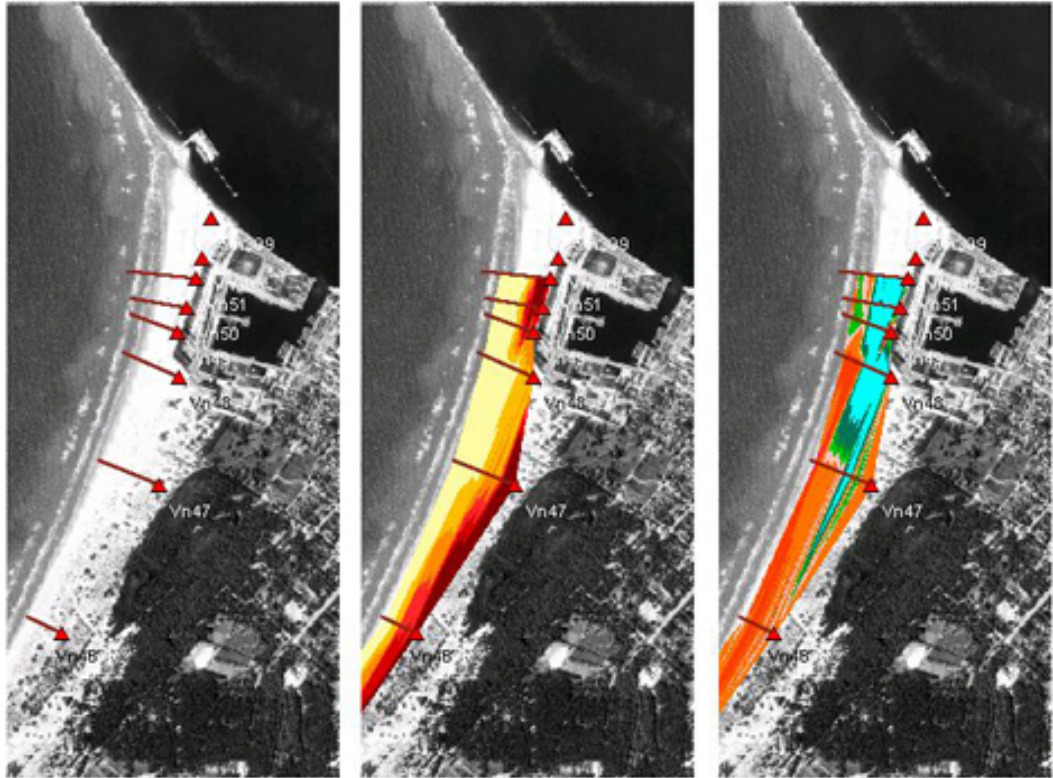
No 366 krasta šķērsprofiliem šādi tika interpretēta informācija par sanešu materiāla apjoma un krasta platuma izmaiņām ik pa 100 m garkrasta virzienā. Krasta līnija digitalizēta no V. Ulsta ģeoloģijas kartes mērogā 1: 200 000 un ģeoreferencēta LKS-92 koordinātu sistēmā. Krasta līnijas metrācijas metodes darbības princips parādīts 17. attēlā.

3.8 Statistiskā apstrāde

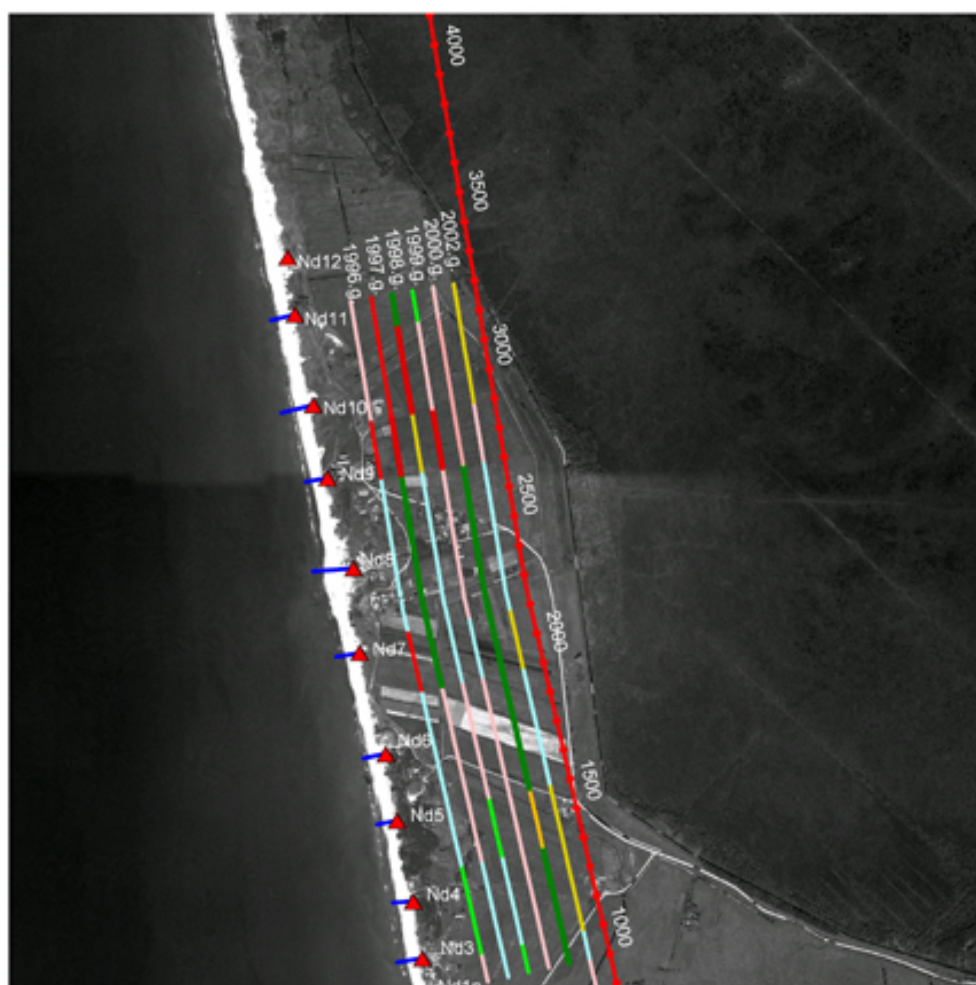
Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamikas analīzē izmantota SPSS 12 programma.

Krasta formas un izmaiņu klasifikācija veikta, pielietojot pazīmju eksploratīvo izkliedes intervāla analīzi un procentiņu metodi. Krasta morfometrisko un dinamikas pazīmju ilglaicīgās attīstības analīzē izmantota vienfaktora lineārās regresijas metode un parametra T tests.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas formas analīzē izmantota klasteranalīze. Pielietojot klasteru analīzi (*Quick Cluster* metode), morfometriskās pazīmes (krasta augstums, platums un materiāla apjoms) tika apvienotas iespējami homogēnās mūsdienu jūras krastu formas grupās.












16. att. Augstuma rastru analīzes metode.



-  Krasta līnija sadalīta 100 m nogriežņos
-  Profilu līnijas
-  Profilu bāzes punkti

Krasta izmaiņas pa gadiem

-  Ekstrēma noskalošana, ļoti intensīvs transports
-  Stipra noskalošana, intensīvs transports
-  Vidēja noskalošana, intensīvs transports
-  Vidēja noskalošana, vājš transports
-  Neizteikta akumulācija, neizteikts transports
-  Neizteikta akumulācija, vidējs transports
-  Vidēja akumulācija, vidējs transports
-  Vidēja akumulācija, intensīvs transports
-  Intensīva akumulācija, intensīvs transports

17. att. Krasta līnijas metrācijas metode.

4 MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS FORMA UN MORFOMETRISKĀS IZMAIŅAS

4.1 Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas forma

Pirmo zemāko joslu mūsdienu lēzeno jūras krasta virsūdens daļā veido pludmale. Pludmale epizodiski spēcīgu jūras vēju (vētru) laikā pie paaugstinātiem vētruzplūdu līmeņiem daļēji vai pilnībā ir pakļauta viļņu iedarbībai. Pludmales izmaiņas saistītas ar viļņošanās parametru izmaiņām, vētru cikliem un sanešu materiāla piegādes izmaiņām garkrasta un šķērskrasta virzienos [Davidson-Arnott, Law, 1990; Thom, Hall, 1991; Schwarz, 1982].

Pludmale un jūras seklūdens josla ir morfodinamiski savstarpēji cieši saistītas. Krasta reljefa formu attīstība un krasta virsūdens daļas izskats ir saistīts ar zemūdens nogāzes uzbūvi un īpatnībām viļņu iedarbības zonā [Komar, 1976; Hardisty, 1990]. Mijoties vētru un bezvētru periodiem, šeit notiek intensīva sanešu materiāla apmaiņa. Sanešu materiāls no krasta seklūdens daļas pludmalē nonāk viļņošanās procesa rezultātā. Viļņiem uzskalojoties pludmalē, notiek to pilnīga sabrukšana, un veidojas gāzmju plūsma, kurā ūdens uzplūdu plūsmas ātrums un transportspēja pārsniedz atplūdu plūsmas ātrumu. Pie nemainīga jūras līmeņa gāzmju plūsmas neizraisa ievērojamas pludmales deformācijas. Galvenās pludmales deformācijas saistītas ar vētru uzplūdu līmeņa izmaiņām [Ulsts, 1998; Pethick, 1984].

Pludmalei atrodies subaerālos apstākļos, dominē eolie procesi. Faktori, kas nosaka eolo materiāla transportu, ir sanešu materiāla apjoms, mitrums, blīvums, sasalums, pludmales virsmas slīpums, forma, saposmojums un nelīdzenumi [Scherman, Lyons, 1994; Hesp, 1988, 1999]. Pēc mitruma pakāpes un sanešu blīvuma platākās pludmalēs, īpaši smalkas smilts veidotajos akumulācijas krastos, var izšķirt trīs joslas. Pirmo joslu veido pludmales apakšējā daļa, smilts šeit ir vismitrākā un blīvākā. Tikai pie ilgstošākiem saulainiem laikapstākļiem dažus centimetrus biezs slānis izzūst un pie vēja ātruma 3-4 m/s tiek nopūsts, atsedzot mitru un blīvu smilts horizontu. Šādos apstākļos veidojas raksturīgs virsmas mikroreljefs ar šaurām, pāris cm augstām un vairākus dm garām strēlītēm, kas stiepjas vēja darbības virzienā. Otrā josla aizņem pēc platuma lielāko pludmales daļu ar sausas smilts slāni, kas vasaras sezonā var sasniegt vairāku dm biezumu. Šī josla ir galvenais sanešu materiāla avots eolās akumulācijas formām. Trešā josla pludmales augšējā daļā tieši piekļaujas priekškāpas vēja puses nogāzei. Šeit uzkrājas daļa no pludmales nopūstās smilts, un veidojas eolās smilts uzkalniņi un pauguriņi. Eolo kāpu embrionālās stadijas aizmetņi iezīmē pludmales robežu, un atsevišķos krasta posmos ir īslaicīgi veidojumi, kas tiek noskaloti vētru laikā. Embrionālo kāpu aizmetņu zonas platums Latvijā var sasniegt vairākus m [Ulsts, 1957, 1998; Eberhards, 2003].

Smilšainās pludmalēs ar regulāru smilšu masu pienesumu eolās akumulācijas rezultātā veidojas priekškāpas. Priekškāpas iedala divās grupās – iniciācijas jeb embrionālās un izveidotās priekškāpas [Hesp, 1999]. Iniciācijas priekškāpas ir jaunas, augošas priekškāpas, kas veidojas uz nelieliem šķēršļiem, bieži veģetācijas skupsnām. To morfoloģija ir atkarīga no veģetācijas noturības, blīvuma un augstuma, vēja ātruma un sanešu materiāla piegādes. Arī augu sugām ir būtiska nozīme [Hesp, 1988].

Priekškāpas to skaits, izmēri, augšanas ātrums un veids ir stabili pieauguma krastu attīstības indikatori [Eberhards, Salupe, 1993]. Krasta posmos, kur notiek pastāvīga vai epizodiska erozija, kā arī krasta posmos, kur sanešu materiāla apjoms pludmalē ir nepietiekams vai izplatītas grants-oļu pludmales, priekškāpas nav izveidotas. Smilšainos krasta posmos, kur ilgstoši (20-30 gadus) saglabājas krasta procesu dinamiskais līdzsvars,

un pludmalē tiek uzskalots neliels smilts daudzums, parasti izveidojas tikai 1-3 m augsta priekškāpa. Tas sevišķi raksturīgi Rīgas līča Kurzemes krastā un Vidzemes krastos. Savukārt krasta posmos, kur sanešu plūsma ir spēcīga un piesātināta ar sanešu materiālu, izveidojušās plašas, augstas smilšu pludmales. Te parasti sastopamas vairākas (divas līdz trīs) vai viena varena, līdz 5-6 m augsta priekškāpa (izveidojas, saplūstot kopā vecākai un jaunākai) [Eberhards, 2003].

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas izskats jeb forma raksturota, izmantojot trīs morfometriskās pazīmes: lēzeno jūras krastu augstums, platums un sanešu materiāla apjoms.

Krasta forma pēc šiem parametriem raksturota ik pēc 100 m garkrasta virzienā monitoringa stacijās, kurās jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa ietvaros ir veikta stacionārā nivelēšana (18. att.).

Mūsdienu lēzeno jūras krastu augstums

Mūsdienu jūras krasta augstums ir viena no pazīmēm, kas izmantota krastu raksturojumā. Tā piemēram, G. Eberharda izstrādātajā Latvijas jūras krasta tipu klasifikācijā krasta augstums bija viens no klasifikācijas kritērijiem [Eberhards, 2003].

Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa stacijās nivelēšanas mērījumu tīklā ietvertā mūsdienu krasta augstums bijis salīdzinoši neliels. Lielākais mūsdienu lēzeno jūras krastu augstums laikā no 1987. līdz 2004. gadam novērots monitoringa stacijā Ventspils, kur labi izveidotas priekškāpas maksimālais augstums bija 10,2 m. Viszemākie mūsdienu jūras krasti bijuši Kuivižos, kur krasta augstums bija ap vienu metru. Vidēji apsekoto krastu augstums bija tikai 5 m. Lēzenie krasti atklātās Baltijas jūras daļā bija augstāki (vidēji 6 m) un pēc to maksimālā augstuma viendabīgāki kā Rīgas līcī (šeit vidējais augstums bija 4 m).

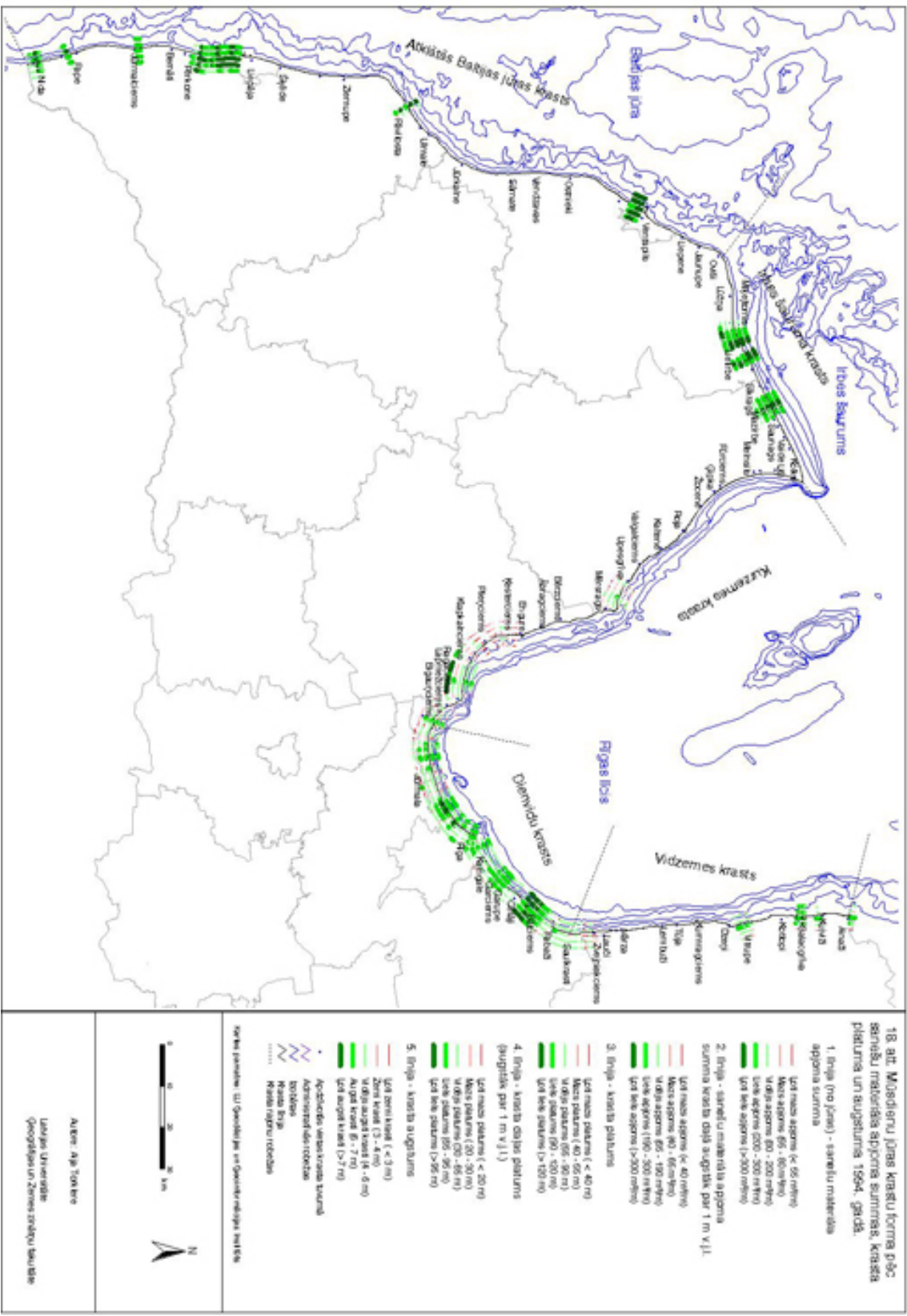
1994. gadā novērojumi veikti 121,8 km, tas ir 76% no kopējā monitoringā ietvertā krasta garuma. Mūsdienu lēzeno jūras krastu maksimālā augstuma pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām 1994. gadā parādīts 19. attēlā.

Mūsdienu lēzenie jūras krasti atklātās Baltijas jūras un Irbes šaurumā 1994. gadā bija vidēji 5 līdz 7 m augsti (18. att.). Nidas - Papes posmā krasta augstums bija viszemākais, proti, 4,7 līdz 5 m. Mūsdienu krastu šeit veidoja 20-30 m plata oļaini smilšaina pludmale un zema priekškāpa. Mūsdienu jūras krasta augstums visās atklātās Baltijas jūras monitoringa stacijās bija lielāks par 4 m. Ar izņēmumu stacijā Pāvilosta, kur uz ziemeļaustrumiem no Sakas ietekas krasts bija zemāks. Dienvidrietumos no ostas priekškāpa 1994. gadā bija 5-6 m, vietām līdz 7 m augsta. Ziemeļaustrumos no mola pludmalei piekļāvās tikai 2,7 m augsta priekškāpa. Tālāk uz ZA priekškāpa nebija izveidojusies un pludmali pavadīja krasta kāple.

Ar ievērojami lielāku augstumu izcēlās monitoringa stacija Ventspils, kur priekškāpu joslas maksimālais augstums pārsniedza 10 m. Arī Liepājā uz dienvidiem no ostas mola krasta augstums bija ievērojami lielāks - līdz 8 m.

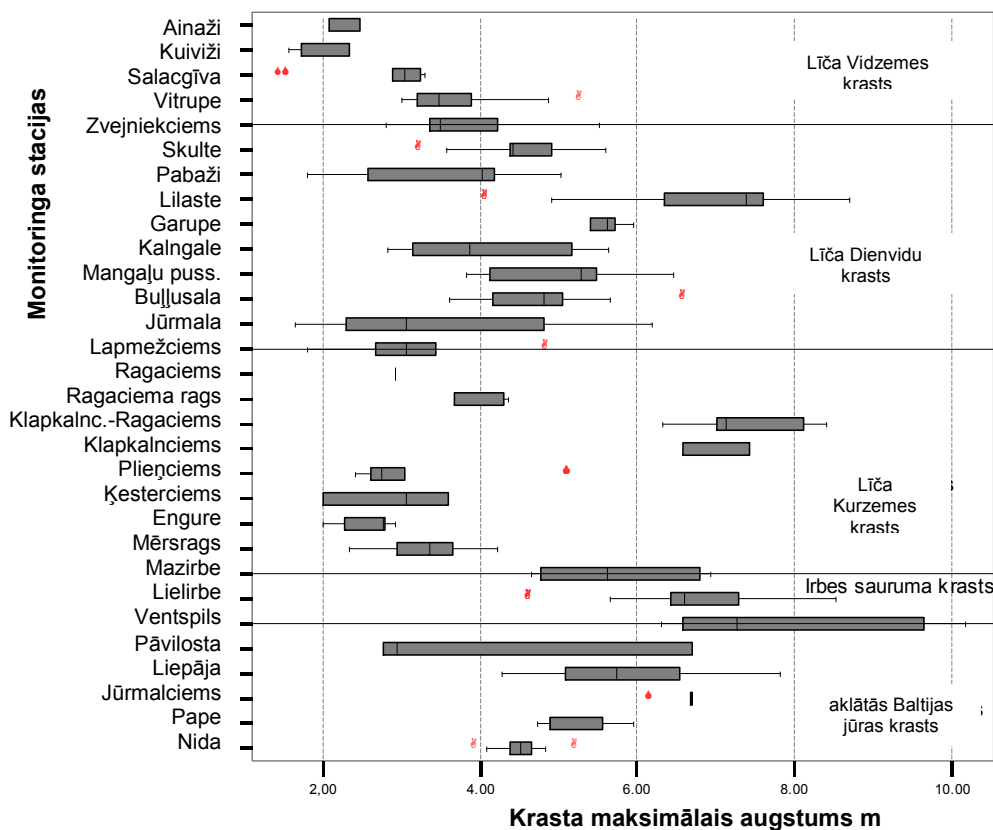
Irbes šaurumā mūsdienu jūras krasta maksimālais augstums vidēji bija 5 līdz 7 m, posmā uz rietumiem no Irbes ietekas sasniedzot augstumu līdz 9 m. Mazirbes posmā krasts nedaudz zemāks. Arī šeit maksimālais augstums 7 m novērots priekškāpā rietumos no Mazirbes ietekas.

Rīgas līča Kurzemes krastā bija raksturīgi zemi krasti. Krasta augstums šeit garkrasta virzienā variēja no 2 līdz 4 m. Eolās smilts akumulācija priekškāpu veidā novērota fragmentāri. Priekškāpu šeit nereti aizvietoja virspludmales terase vai krasta valnis.



Izņēmumu veidoja krasta iecirkņi Klapkalnciems, Klapkalnciems – Ragaciems, kur mūsdieniu jūras krasta augstums bija 6 līdz 8 m. No Apšuciema līdz Ragaciema ragam 1969. gada rudens viesuļvētras laikā izveidojās nepārtraukta, krastam paralēlajā kāpu valnī

iegraudza, stāvkrasta josla [Eberhards, 2003]. 1994. gadā mūsdienu jūras krastu šeit veidoja 6 līdz 8 m augsta krasta kāple.



19. att. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas maksimālā augstuma izkliedes intervāls (ik pa 100 m) dažādās monitoringa stacijās 1994. gadā.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanās, īsākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Sarkanās atzīmes norāda uz izņēmumiem un ekstrēmām vērtībām.

Līča Dienvidu krastā krasta augstums 1994. gadā bija vidēji no 3 līdz 6 m. 1969. gada rudenī visu Rīgas līča piekrasti skāra ļoti spēcīga viesuļvētra, kuru pavadīja apmēram 3 m vētru uzplūdu līmeņa paaugstināšanās. Šīs vētras iespaidu uz mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas reljefu aprakstījis V. Ulsts (1998). Vētras laikā priekškāpa Jūrmalas pilsētas teritorijā tika noskalota. Izskalojums skāra kāpu grēdas nogāzi, īpaši stipri Bulduru-Dubultu iecirknī, kā arī virspludmales terases ārējo malu uz austrumiem no Asariem. Pēc vētras izskalošanas kāpli ar buldozeriem daļēji apbēra ar pludmales smiltīm. 1994. gadā priekškāpas augstums garkrasta virzienā Jūrmalā bija mainīgs no 2 līdz 6 m. Palielinātas antropogēnās slodzes dēļ priekškāpai lielākā garumā bija kāpņveidīgs profils. Buļļusalā monitoringa stacijas rietumu daļā krastam bija izteikts akumulatīvs raksturs: pludmali pavadīja divas 4 līdz 5 m augstas priekškāpas. Salas vidējā daļā bija viena līdz 7 m augsta priekškāpa.

Krasta ielokā starp Daugavas un Gaujas ietekām 1969. gada viesuļvētra pārtrauca smilts akumulācijas procesus. Priekškāpa tika daļēji noskalota, bet iecirknī no Daugavas vecās ietekas līdz Mežciemam (4-10 km no Austrumu mola) – pilnīgi noārdīta. Pēc I.

Veinberga novērojumiem 1977.-1978. gadā noskatotās priekškāpas vietā bija tikai eolās smilts pauguriņu josla. Vēlāk 1987.-1989. gadā priekškāpa pilnīgi atjaunojās, vietā izveidojās pat divas priekškāpas [Ulsts, 1998].

1994. gadā Mangaļu pussalā mūsdienu lēzenā jūras krasta augstums bija no 4 līdz 7 m, Vecāķu – Kalngales posmā no 3 līdz 7 m un Garupes posmā ap 6 m. Krasta iecirknī Gaujas ieteka - Lilastes ieteka maksimālie priekškāpas augstumi bija lielāki (vidēji 6 līdz 8,5 m). Inčupes ietekas virzienā priekškāpas augstums samazinājies līdz 4 m. Posmā 2 km pirms Inčupes ietekas 90 -tajos gados priekškāpa nebija izveidojusies, un pludmale pieļāvās aprimušas izskalošanas kāples pakāpei, tās relatīvais augstums mainījās no 1 m līdz 3 m.

Līča Vidzemes krastā virzienā uz ziemeļiem mūsdienu lēzeno jūras krastu augstums samazinājies, 1994. gadā šeit dominējuši zemi 2 līdz 4 m augsti krasti. Vidzemes krasta ziemeļdaļā starp Kuivižiem un Ainažiem krastu veidoja zems, stiprās vētrās applūstošs pļavu krasts ar niedrājiem (randu pļavas), maksimālais krasta augstums nedaudz pārsniedza 2 m.

Lēzenie mūsdienu jūras krasti pēc to virsūdēns daļas maksimālā augstuma iedalīti piecās klasēs (2. tab.).

Lēzeno krastu augstuma klašu izplatība 1994. gadā Latvijas piekrastē parādīta 18. attēlā.

2. tabula

Lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdēns daļas augstuma klases

Klase	Maksimālais augstums (m)	Krasta raksturojums
1	līdz 3	ļoti zemi krasti
2	3 - 4	zemi krasti
3	4 - 6	vidēji augsti krasti
4	6 - 7	augsti krasti
5	virš 7	ļoti augsti krasti

Atklātās Baltijas jūras mūsdienu lēzenos krastus 50% veidoja vidēji augsti krasti. Šeit monitoringa stacijās, kas izveidotas pie lielām ostām (Liepāja, Ventspils), dominēja augsti un ļoti augsti krasti. Ar vislielāko augstumu izcēlās monitoringa stacija Ventspils (19. att.).

Irbes šaurumā vairāk kā 40% izplatīti augsti un 37% vidēji augsti krasti, 20% krasti bija ļoti augsti.

Rīgas līča Kurzemes krastā dominēja zemi krasti: 35% ļoti zemi un 24% zemi krasti. Atsevišķi izdalāms krasta iecirknis Klapkanciems-Ragaciema rags ar 6 līdz 8,5 m augstu stāvkrasta kāpli.

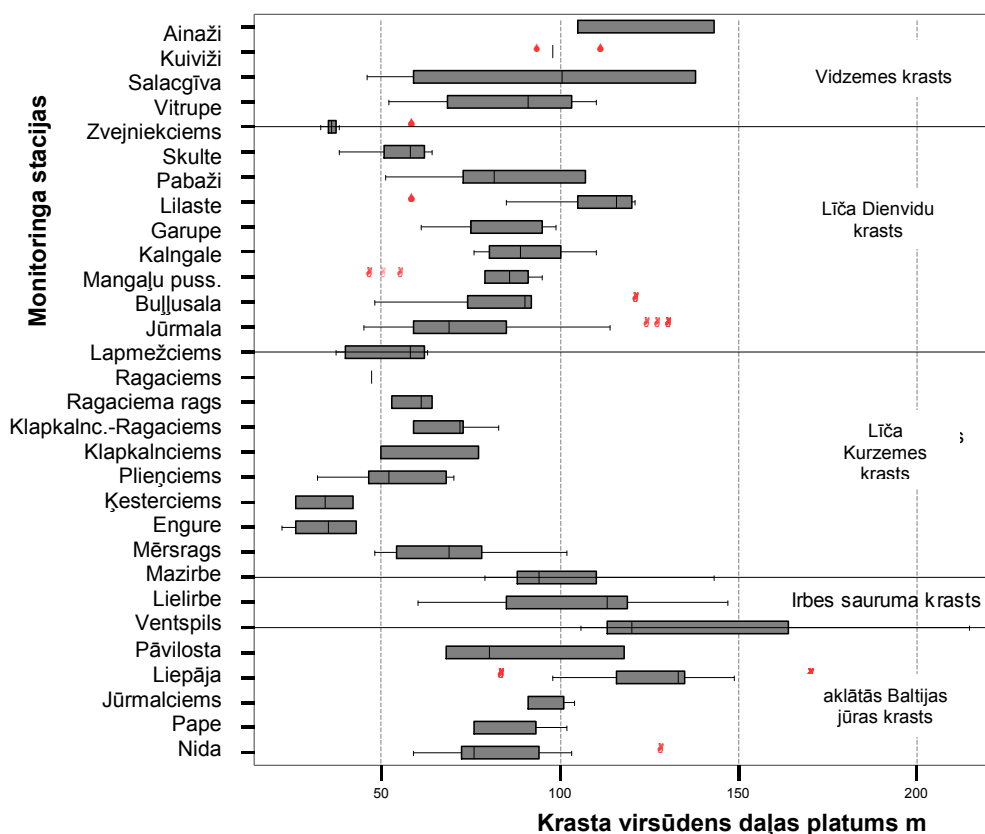
Līča Dienvidu krastā dominēja vidēji augsti krasti 50%, bet 24% krasti bija ļoti zemi (galvenokārt monitoringa stacijā Jūrmala).

Vidzemes krastā 50% mūsdienu jūras krasti bija zemi un 35% ļoti zemi krasti.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platums

Krasta virsūdens daļas platums tiek izmantots kā kritērijs krastu stabilitātes novērtējumā un, raksturojot krasta aizsargātību pret vētrām. Jo platāka un augstāka ir pludmale, jo mazāka ir varbūtība, ka vētru laikā notiks pamatkrasta vai priekškāpas noskalošana. G. Eberhards norāda, ka Baltijā 7 ballu stipru vētru enerģiju pilnīgi slāpē 40-50 m plata pludmale. Turpretim, pludmales, kuru platums ir tikai 25-35 m, vētru laikā tiek stipri noskalotas un nepietiekami aizsargā priekškāpas un pamatkrastu pret noskalošanu [Eberhards, 2003; Olsauskas et al., 2002]. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas forma liecina par mūsdienu ģeoloģisko procesu raksturu. 20-30 m platas pludmales raksturīgas krasta posmos, kur notiek krastu erozija un seklūdens joslā ir sanešu materiāla deficīts. Turpretī, krasta posmi ar vairāk kā 40-50 m platām pludmalēm liecina par sanešu materiāla akumulāciju [Eberhards, 2003].

Viršūdens daļas platuma izkliedes intervāla sadalījums pa monitoringa stacijām 1994. gadā parādīts 20. attēlā.



20. att. Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platuma (ik pa 100 m) izkliedes intervāls dažādās monitoringa stacijās 1994. gadā.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanās, isākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Sarkanās atzīmes norāda uz izņēmumiem un ekstrēmām vērtībām.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma lokālās atšķirības ik pa 100 m 1994. gadā parādītas 18. attēlā. Mūsdienu lēzeno jūras krastu pludmales un priekškāpu joslas platums vidēji bija mazāks par 80 m. Lielākais krasta virsūdens daļas platums noteikts stacijā Ventspils uz dienvidiem no ostas dienvidu mola. Maksimālās krasta platuma vērtības šeit konstatētas 2000. gadā (227 m). Vismazākais krasta platums mērīts monitoringa stacijā Engure. Šeit vidējais krasta virsūdens daļas platums bija tikai nedaudz virs 20 m. Atklātās Baltijas jūras krastā lēzeno krastu virsūdens daļas platums bija ievērojami lielāks kā Rīgas līcī (attiecīgi vidēji 103 m un 68 m 1994. gadā). Nīdas - Papes iecirknī krasta platums vidēji bija 70 līdz 80 m. Ar ievērojami lielāku platumu izcēlās stacijas lielo ostu molu akumulatīvās ietekmes zonā: Liepāja, Ventspils. Liepājā stacijas dienvidos krasta platums bija no 90 līdz 120 m, bet pietuvojoties ostas molam palielinājās no 120 līdz 150 m. Ventspilī mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums bija vēl lielāks no 150 līdz 200 m. Irbes šauruma krastos krasta platums mainījies no 60 līdz 120 m. Krasta platums pieaudzis uz rietumiem no Irbes un Mazirbes ietekām. Šeit krasta virsūdens daļas platums sasniedza 150 m. Rīgas līča Kurzemes krasta stacijās virsūdens daļas platums bija vismazākais: Engurē, Ķesterciemā vidēji tikai 30 m, visā krasta rajonā vidēji nedaudz virs 50 m. Līča dienvidu krastā krasta platums pieaudzis virzienā uz līča dienvidiem no 50 - 80 m līdz 80 - 100 m. Ar lielāko platumu izcēlās krasta iecirknis starp Gaujas un Lilastes ieteku. Šeit mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums bija 100 līdz 120 m. Vidzemes krasta virsūdens daļas platums garkrasta virzienā mainījās plašā amplitūdā no 50 līdz 150 m, īpaši ziemeļu daļā bija raksturīgi plati, ļoti lēzeni krasti.

Krasta platuma sadalījums uzrādīja būtisku sakarību ne vien pēc monitoringa staciju novietojuma pa krastu rajoniem, bet arī pa krastu tipiem (pēc V. Ulsta jūras krastu tipu klasifikācijas). Lielākais krasta platums 1994. gadā novērots atklātās Baltijas jūras akumulācijas tipa krasta iecirkņos (vidējais krasta platums bija 115 m), dinamiskā līdzsvara krastos platums bija mazāks (vidēji 93 m). Arī Rīgas līcī akumulācijas tipa krasti vidēji bija platāki (83 m), dinamiskā līdzsvara un noskalošanas tipa krastu platuma atšķirības bija nebūtiskas (vidēji 54 m un 57 m). Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma raksturojumā izmantotas piecas klases. Krasta platuma klašu robežvērtības parādītas 3. tabulā.

3. tabula

Lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas platuma klases

Klase	Krasta platums (m)	Krasta raksturojums
1	līdz 40	ļoti mazs platums
2	40 - 55	mazs platums
3	55 - 90	vidējs platums
4	90 - 120	liels platums
5	virš 120	ļoti liels platums

Lēzeno krastu platuma klašu izplatība 1994. gadā parādīta 18. attēlā. Atklātās Baltijas jūras krastos dominēja liela līdz ļoti liela platuma mūsdienu jūras krasti. 55% no atklātās Baltijas jūras krastiem mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums bija lielāks par 120 m un 30% no 90 m līdz 120 m. Irbes šaurumā dominēja liela platuma (48%) un vidēja platuma krasti (32%). Rīgas līča Kurzemes krastā 53% mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums bija vidējs un 30% mazs. Dienvidu krastā 55% krasts bija vidēji plats un 25% krasta platums bija liels. Vidzemes krastā 39% novērots liels krasta platums un 28% ļoti mazs platums.

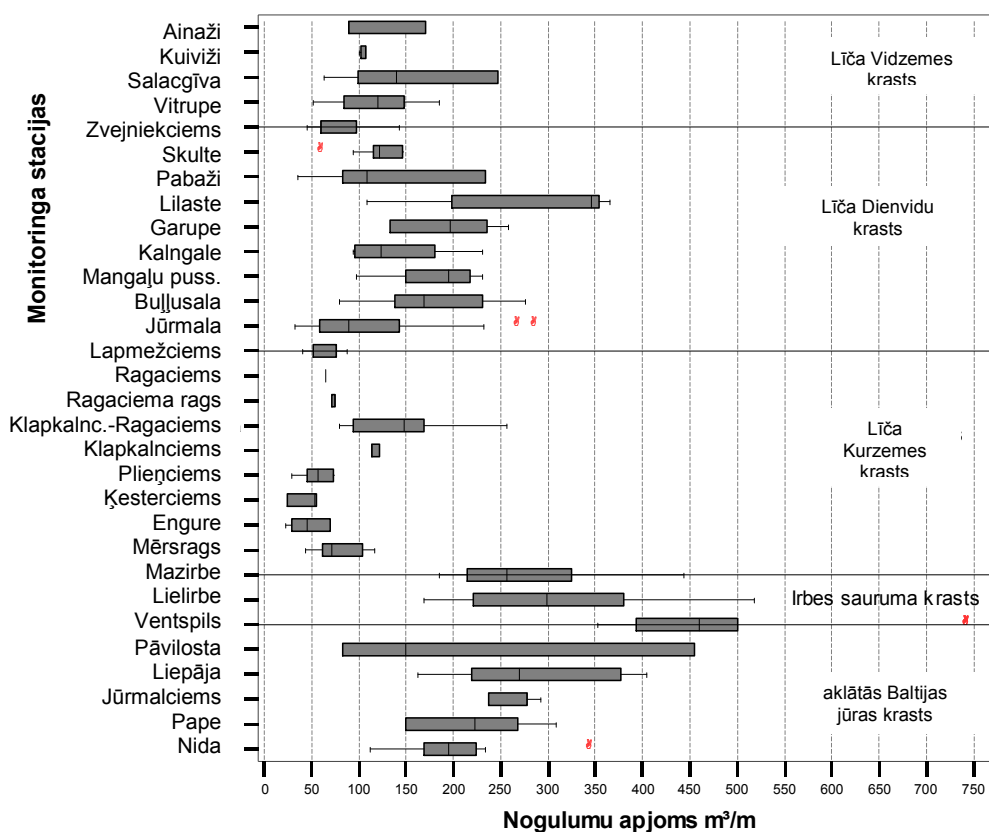
Sanešu materiāla apjoms mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā

Sanešu materiāla apjoma summa raksturo smalkā drupu iežu materiāla (smilts, grants, oļi) daudzumu kubikmetros uz 1 metru platu mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas joslu (pludmale un priekškāpu josla). Sanešu materiāla apjoms aprēķināts līdz Baltijas sistēmas "0" atzīmei.

Lēzeno jūras krastu vidējais sanešu materiāla apjoms virsūdens daļā bija aptuveni 170 m³/m. Baltijas jūras krastos sanešu materiāla apjoms (vidēji 281 m³/m) vairāk kā 2 reizes pārsniedza vidējo materiāla apjomu līcī (vidēji 124 m³/m).

Maksimālais sanešu materiāla apjoms novērots monitoringa stacijā Ventspils, kur 1993. gadā tas sasniedza 790 m³/m. Savukārt, vismazākais sanešu materiāla apjoms mērīts Rīgas jūras līča monitoringa stacijā Ķesterciems, kur sanešu materiāla apjoms vidēji bija tikai 25 m³/m.

Sanešu materiāla apjoma izkliedes intervāls dažādās monitoringa stacijās 1994. gadā parādīts 21. attēlā.



21. att. Sanešu materiāla apjoma izkliedes intervāls (ik pa 100 m) dažādās monitoringa stacijās 1994. gadā.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanās, isākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Sarkanās atzīmes norāda uz izņēmumiem un ekstrēmām vērtībām.

Sanešu materiāla apjoma lokālās atšķirības ik pa 100 m Latvijas piekrastē parādītas 18. attēlā.

Sanešu materiāla apjoms vienas monitoringa stacijas robežās garkrasta virzienā var ievērojami mainīties īpaši, ja monitoringa stacija ierīkota abpus dabiskām vai tehnogēnām barjerām kā moliem vai upju ieteku rajonos, kur atkarībā no dominējošā vēja un garkrasta sanešu plūsmas virziena sanešu materiāla apjoms var atšķirties pat par 80% (piemēram, monitoringa stacijās Pāvilosta un Salacgrīva).

Lēzeno mūsdienu jūras krastu sanešu materiāla apjoma vērtējums krasta virsūdens daļā sniegts 5. tabulā.

4. tabula

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas sanešu materiāla apjoma klases

Klase	Materiāla apjoms (m ³ /m)	Krasta raksturojums
1	līdz 55	ļoti mazs apjoms
2	55 - 80	mazs apjoms
3	80 - 200	vidējs apjoms
4	200 - 300	liels apjoms
5	virš 300	ļoti liels apjoms

Sanešu materiāla apjoma klašu izplatība 1994. gadā Latvijas piekrastē parādīta 18. attēlā.

Atklātās Baltijas jūras krastos lēzenie mūsdienu jūras krasti galvenokārt bija liela vai ļoti liela sanešu materiāla apjoma. Arī Irbes šaurumā sanešu materiāla apjoma klašu sadalījums bija līdzīgs – 44% dominēja liels un 37% ļoti liels sanešu materiāla apjoms.

Rīgas līča Kurzemes krastā mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā sanešu materiāla apjomi bija ievērojami mazāki. Dominēja vidējs sanešu materiāla apjoms 35%, 33% mazs un 28% ļoti mazs sanešu materiāla apjoms. Dienvidu krastā ar 51% dominēja vidējs sanešu materiāla apjoms, 18% liels un 15% mazs sanešu materiāla apjoms. Vidzemes krastā ar 64% izplatītākā bija vidēja sanešu materiāla apjoma klase, bet 22% novērots mazs sanešu materiāla apjoms. Lielākie sanešu materiāla apjomi novēroti atklātās Baltijas jūras un Irbes šauruma krastos (vidēji 303 un 302 m³/m). Ar īpaši lielu sanešu materiāla apjomu izcēlās monitoringa stacijas Ventspils, Liepāja, Lielirbe, Mazirbe (īpaši posmos ostu molu un upju ieteku tuvumā). Par citiem sanešu transporta un akumulācijas apstākļiem liecināja materiāla apjoma sadalījums Rīgas līča Kurzemes krastā. Šeit vidējās sanešu materiāla apjoma vērtības pa iecirkņiem bija tuvas 60 m³/m. Nedaudz lielāks sanešu materiāla apjoms novērots Klapkalnciema, Klapkalnciema - Ragaciema iecirknī. Līča Dienvidu krastā materiāla apjoms garkrasta virzienā vidēji mainījies 100 līdz 200 m³/m robežās. Ar ievērojami lielāku apjomu izcēlās Gaujas - Lilastes posms (vidēji 350 m³/m). Vidzemes krastā materiāla apjoms bija mazāks, vidējās vērtības garkrasta virzienā mainījās 100 līdz 150 m³/m robežās (vidēji 109 m³/m).

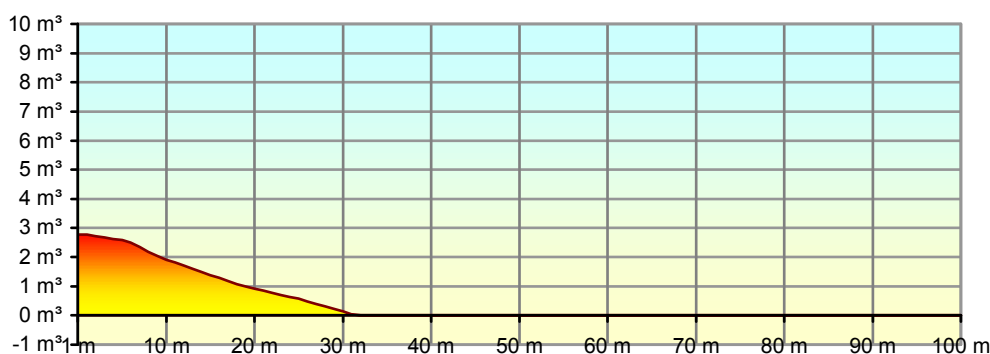
Konstatēta būtiska sakarība starp materiāla apjomu un krasta tipu. Gan atklātās Baltijas jūras, gan līča krastos lielākās sanešu materiāla apjoma vērtības vērojamas akumulācijas tipa iecirkņos (vidēji 319 m³/m un 83 m³/m). Dinamiskā līdzsvara tipa krasta iecirkņos materiāla apjoms bija ievērojami mazāks (vidēji 245 m³/m atklātās Baltijas jūras un 54 m³/m Rīgas līča krastos). Rīgas līcī materiāla apjoma vidējās vērtības 1994. gadā noskalošanas un dinamiskā līdzsvara krasta iecirkņos būtiski neatšķīrās.

Krasta formas grupu izveide

Pielietojot klasteru analīzi, morfometriskās pazīmes (krasta augstums, platums un sanešu materiāla apjoms) tika apvienotas iespējami homogēnās grupās. Izmantota SPSS programmas Quick Cluster metode. Pavisam tika izdalītas piecas mūsdienu aktīvā krasta formu grupas:

1. grupa: maza sanešu materiāla apjoma, maza platuma, ļoti zemi krasti (22. att.). Tipiski krasta posmi 1994. gadā bija līča Kurzemes krastā monitoringa stacijās: Upesgrīva - Mērsrags, Engure, Ķesterciems, Plienčiems, Ragaciems, Lapmežciems. Līča dienvidu krastā monitoringa stacijā Jūrmala stacijas rietumu un centrālajā daļā (Jaundubulti, Dubulti, Majori, Dzintari, Bulduri) un Vidzemes krastā Zvejniekiemā.

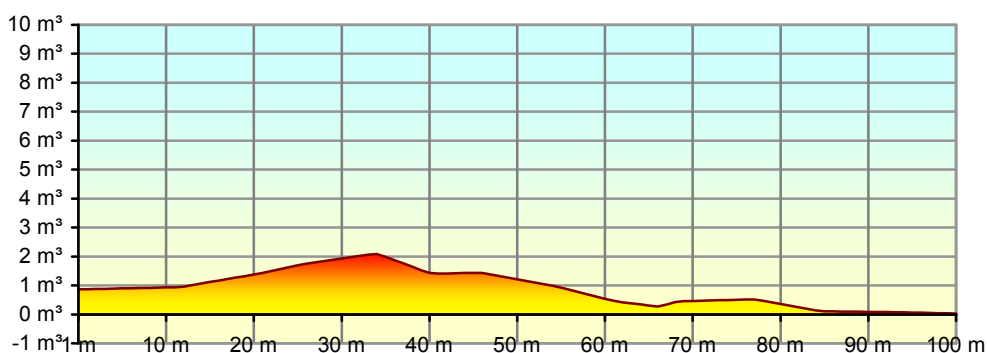
Šajos krasta iecirkņos priekškāpa nebija izveidota vai bija fragmentāra un zema (relatīvais augstums 0,5-1 m), vai to aizvietoja virspludmales terase. Pludmales platums bija no 20 līdz 55 m.



22. att. Maza sanešu materiāla apjoma, maza platuma, ļoti zemi krasti. Krasta aktīvās daļas šķēsgriezums stacijā Zvejniekiem (Profils Zvc 258, 1994. gadā).

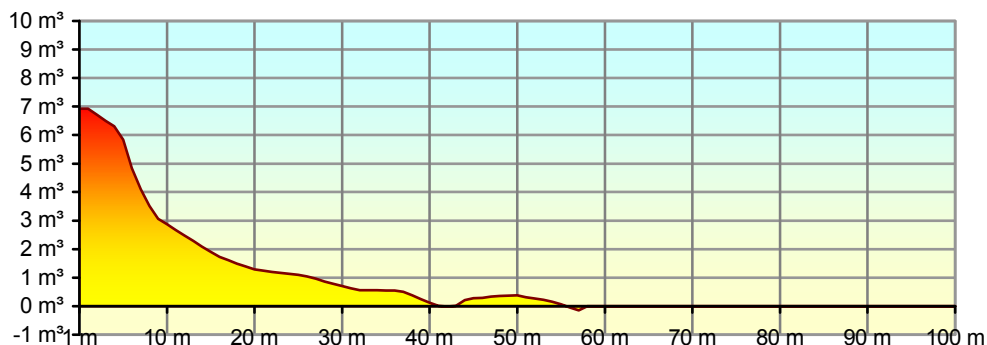
2. grupa: vidēja sanešu materiāla apjoma, plati, ļoti zemi krasti (23. att.). Tipiski krasta posmi: Vitrupe, Salacgrīva, Kuiviži, randu pļavas pie Ainažiem. Pāvilosta uz ziemeļiem no Sakas ietekas.

Dotās grupas krasti galvenokārt novēroti Vidzemes krastā. Šādi krasti izveidojušies ļoti seklā piekrastē, kur viļņu ārdošā darbība tiek slāpēta tālu no krasta. 1994. gadā Vitrupē vidēji 50 metrus platu pludmali pavadīja līdz 2 m augsta priekškāpa (vietām divas). Salacgrīvā, Kuivižos un Ainažos priekškāpa 1994. gadā nebija izveidota vai bija fragmentāra un zema (relatīvais augstums 0,5-1 m). Mūsdienu krasta virsūdens daļas platums bija līdz 120 m.



23. att. Vidēja sanešu materiāla apjoma, plati, ļoti zemi krasti. Krasta aktīvās daļas šķēsgriezums stacijā randu pļavas pie Ainažiem (Rp 295, 1994. gadā).

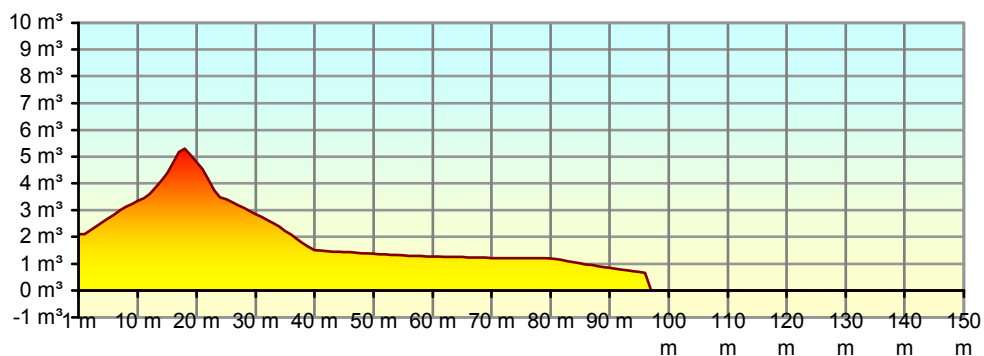
3. grupa: vidēja sanešu materiāla apjoma, maza platuma, augsti krasti (24. att.). Dotās grupas krasti 1994. gadā novēroti atsevišķos posmos Lielirbes monitoringa stacijas rietumu daļā, kur aiz 40 m platas pludmales bija izveidota viena nepārtraukta stāva 6,5 m augsta priekškāpa. Klapkalnciemā, Klapkalnciema - Ragaciema posmā mūsdienu jūras krastu veidoja 6-8 m augsta stāvkrasta krauja, kuras priekšā stiepās līdz 60 m plata pludmale.



24. att. Vidēja sanešu materiāla apjoma, maza platuma, augsti krasti. Krasta aktīvās daļas šķērsgriezums stacijā Klapkalnciems – Ragaciems (Rc 111, 1994. gadā).

4. grupa: vidēja sanešu materiāla apjoma, vidēja platuma, vidēji augsti krasti (25. att.). Tipiski krasta posmi: Nida, Pape, Liepāja (stacijas dienvidu daļā), Mērsragā atsevišķos posmos, Jūrmalā (Asari, Melluži, Lielupe), Buļļusala, Mangaļu pussala, Kalngale, Garupe, Pabaži - Skulte, Vitrupe.

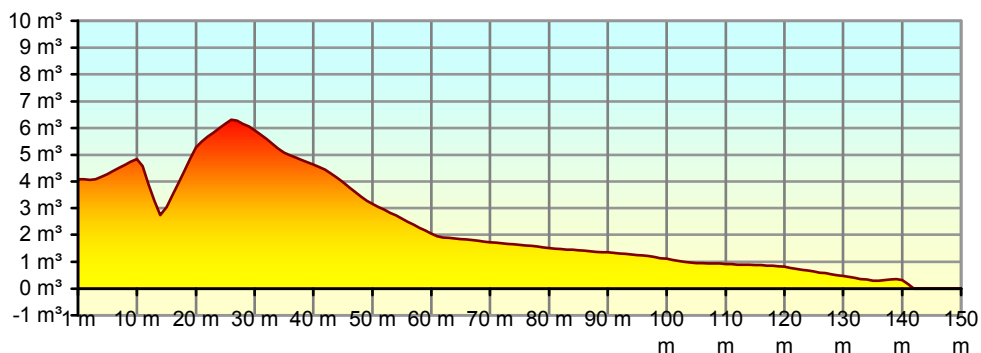
1994. gadā krastu veidoja viena līdz divas nepārtrauktas zemas līdz vidēji augstas priekškāpas (relatīvais augstums līdz 4 m) ar 60 līdz 80 m platu pludmali.



25. att. Vidēja sanešu materiāla apjoma, vidēja platuma, vidēji augsti krasti. Krasta aktīvās daļas šķērsgriezums stacijā Liepāja (Lic 19, 1994. gadā).

5. grupa: ļoti liela sanešu materiāla apjoma, plati, augsti krasti (26. att.). Tipiski krasta posmi: Liepāja, Pāvilosta uz dienvidiem no Sakas ietekas, Ventspils, Lielirbe, Mazirbe, Jūrmala (Lielupe), Buļļusala, Mangaļu pussala, Mežciems - Gauja, Gauja - Lilaste, Lilaste - Pabaži.

1994. gadā krastu veidoja viena vai vairākas nepārtrauktas vidēji augstas līdz augstas priekškāpas vai priekškāpu josla (relatīvais augstums līdz 8 m) ar 60-80 m platu pludmali.



26. att. Ļoti liela sanešu materiāla apjoma, plati, augsti krasti. Krasta aktīvās daļas šķērsgriezums stacijā Ventspils (Vn 49, 1994. gadā).

Krasta formas grupu telpiskā izplatība 1994. gadā parādīta 27. attēlā.

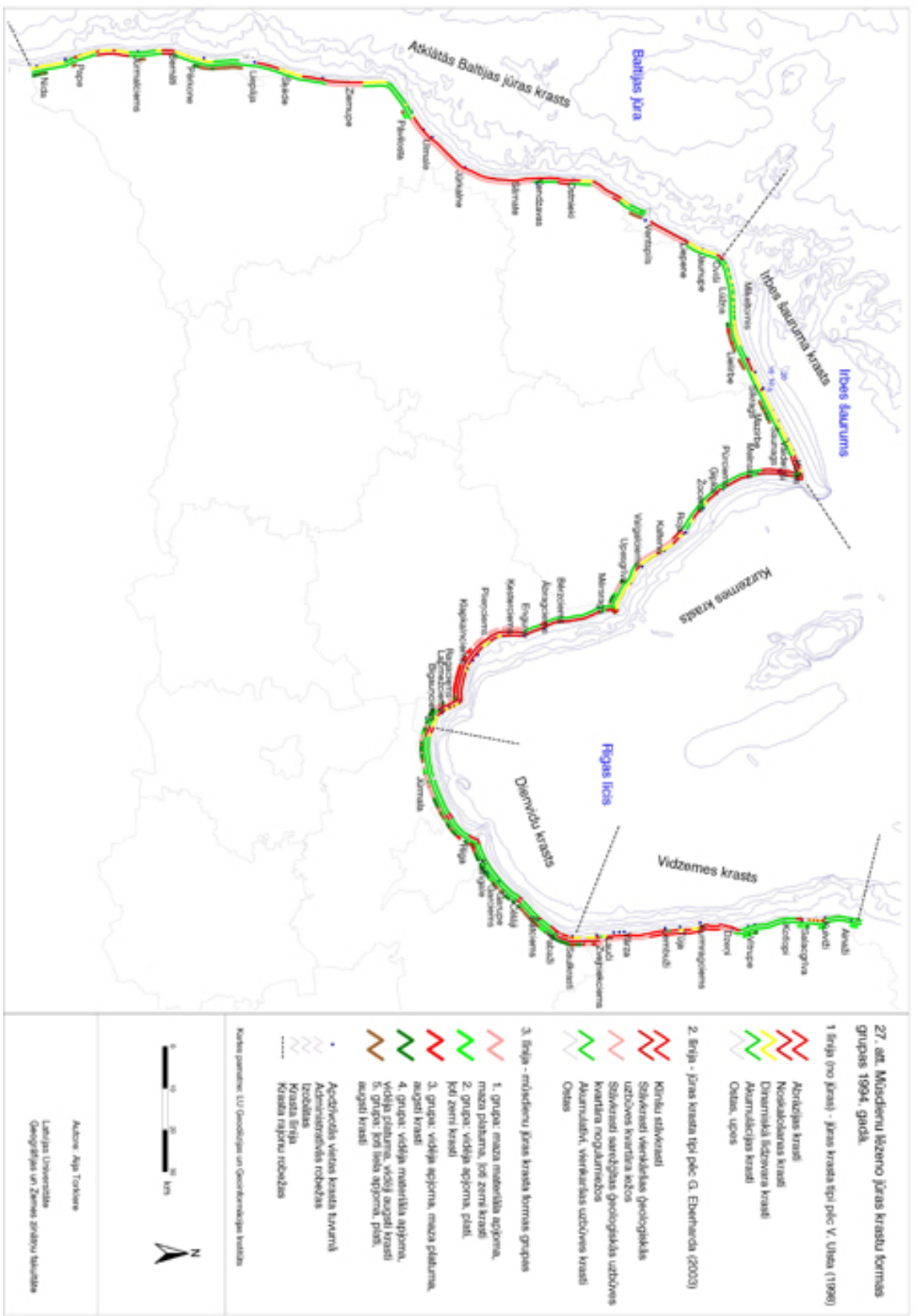
Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas formas analīze ļāva izdarīt sekojošus secinājumus:

1. 40% no lēzenajiem mūsdienu jūras krastiem, kuros veikts monitorings, mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums un sanešu materiāla apjoms 1994. gadā bija nepietiekams, lai nodrošinātu pamatkrasta aizsardzību vētru gadījumā. Latvijas lēzenie krasti, kuros 1994. gadā veikts monitorings, 20% bija maza sanešu materiāla apjoma, maza platuma, ļoti zemi krasti. 11% mūsdienu lēzenos jūras krastus veidoja vidēja sanešu apjoma, maza platuma, augsti krasti (tai skaitā liča Kurzemes krastā stāvkrasts ar 6-8 m augstu noskalošanas kāpli) un 9% mūsdienu jūras krasta virsūdens daļu veidoja vidēja sanešu materiāla apjoma, plati, ļoti zemi krasti.

2. 30% lēzenos mūsdienu jūras krastus veidoja ļoti liela sanešu materiāla apjoma, plati, augsti krasti un 30% vidēja sanešu materiāla apjoma, vidēja platuma, vidēji augsti krasti. Tātad tikai 60% no lēzenajiem mūsdienu jūras krastiem 1994. gadā bija plašas pludmales ar izveidotām priekškāpām vai priekškāpu joslu, kas norādīja uz izteiktu akumulācijas procesu pārsvaru.

3. Krasta formas grupu izplatība liecināja par kopīgām reģionālām iezīmēm, kas uzrāda saistību ar garkrasta sanešu plūsmas jaudas sadalījumu zemūdens nogāzē (2. att.):

- Maza sanešu materiāla apjoma, maza platuma, ļoti zemie krasti dominēja liča Dienvidu krastā (49%) un Rīgas liča Kurzemes krastā (41%). Atklātās Baltijas jūras un Irbes šaurumā šī krastu formas grupa lēzeno krastu posmos netika novērota.
- Vidēja sanešu materiāla apjoma, plati, ļoti zemi krasti galvenokārt novēroti liča Dienvidu krastā 48% un Vidzemes krastā 42%.
- Vidēja sanešu materiāla apjoma, maza platuma, augsti krasti dominējuši Rīgas liča Kurzemes krastā 59%, Dienvidu krastā 24% un Irbes šaurumā 12%.
- Vidēja sanešu materiāla apjoma, vidēja platuma, vidēji augsti krasti izplatīti liča Dienvidu krastā 67% un atklātās Baltijas jūras krastā 14%.
- Ļoti liela sanešu materiāla apjoma, plati, augsti krasti novēroti atklātās Baltijas jūras krastos 40%, liča Dienvidu krastā 36% un Irbes šaurumā 24%. Rīgas liča Kurzemes un Vidzemes krastos ļoti liela sanešu materiāla apjoma, plati, augsti krasti netika novēroti (27. att.).



Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas morfodinamiskās izmaiņas laikā no 1994. līdz 2003. gadam

Pētījumā tika pārbaudīta hipotēze, vai Latvijas mūsdienu jūras lēzeno krastu posmos pēdējo desmitgažu laikā tagadējā jūras krasta sauszemes daļa ir pieaugusi un uzvirzījusies akumulācijas procesu rezultātā.

Hipotēzes pārbaudē izmantotas krasta līnijas metrācijas un augstuma rastru analīzes metodes.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas izmaiņas novērtētas, salīdzinot krasta situāciju 1994. un 2003. gadā. Izmaiņas krasta iecirkņos analizētas 78,3 km garumā (16% no Latvijas krasta kopgaruma), tai skaitā, 26,2 km atklātās jūras krastā un 52,1 km Rīgas līcī.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu formas analīze apstiprināja lielu lēzeno jūras krastu formas daudzveidību kā arī apstiprināja, ka atsevišķos krasta iecirkņos stacionārā nivelēšana veikta krasta posmos, kas pēc to formas pieskaitāmi stāvkrastiem.

Papildus tika veikta monitoringa staciju aptverto krasta posmu analīze, nosakot to piederību dažādiem jūras krastu tipiem (3. att.). Izmantotas divas Latvijā aktuālākās jūras krastu tipu klasifikācijas: V. Ulsta (1998) un G. Eberharda (2003) izstrādātās jūras krastu tipu klasifikācijas. Nosakot monitoringa stacijās ietverto mūsdienu jūras krastu posmu piederību dažādiem krastu tipiem, iegūti šādi rezultāti: mūsdienu lēzeno jūras krastu posmi, kuros veikti lauka mērījumi abos gados (1994. un 2003. gada lauka mērījumu dati), pēc V. Ulsta jūras krastu tipu klasifikācijas 42% bija akumulācijas, 34% dinamiskā līdzsvara un 24% noskalošanas tipa krasti.

V. Ulsta klasificētos (1998) akumulatīvos jūras krastus raksturo plata (40-50 m, vietām pat 70-80 m) smilšaina pludmale un gar tās augšmalu labi izveidota priekškāpa. Akumulācijas procesi izpaudžas galvenokārt lēnā smilts uzkrāšanās pludmalei tuvākajā priekškāpā.

Dinamiskā līdzsvara krastos 20-40 m plato pludmali veido smalka smilts vai dažāda rupjuma smilts ar oļu piejaukumu. Pludmales augšmalā atrodas neregulāri paskalojama priekškāpa, kura ar laiku dabiskā ceļā atjaunojas. Dažās vietās pretēja virziena procesu rezultātā notikusi ļoti lēna (gadsimtu laikā) krasta atkāpšanās. Rīgas līcī dinamiskā līdzsvara krastu tips pārstāvēts galvenokārt ar virspludmales terasi, kura bieži novērojama aprimušas izskalošanas krasta kāples pakājē. Pie pludmales augšmalas terase beidzas ar kāplīti. Tās pakājē parasti izveidota vāji izteikta priekškāpa vai eolās smilts pauguriņi, kuri vietām pilnīgi pārklāj kāplīti. Terases ārējā mala lielākā garumā ir relatīvi stabila, jo pēc tās epizodiskiem paskalojumiem no jauna novērojama eolās smilts akumulācija.

Izskalošanas krastos izveidota krasta kāple, kas pa lielākai daļai iegrauzta Litorīnas jūras smilšainajos krasta veidojumos vai kāpu grēdās, kuras izveidojušās mūsdienu krasta attīstības gaitā. Pludmalē pārsvarā ir vidēja un smalka smilts, vietām ar oļu piejaukumu. Tās platums parasti nepārsniedz 10-25 m, bet dažos posmos palielinās līdz 35 m [Ulsts, 1998].

Pēc G. Eberharda jūras krastu tipu klasifikācijas lauka mērījumi veikti 74% akumulācijas un 26% vienkāršas ģeoloģiskās uzbūves stāvkrastos.

1994. - 2003. gada izmaiņu analīzē iekļauto monitoringa staciju kopgarums un procentuālais īpatsvars pēc krastu tipa un novietojuma dažādos krasta rajonos dots 5. tabulā.

1994. - 2003. gada krasta izmaiņu analīzē iekļauto krasta iecirkņu kopgarums un procentuālais īpatsvars atšķirīgos krasta rajonos pa jūras krastu tipiem (pēc V. Ulsta un G. Eberharda jūras krastu tipu klasifikācijām)

Krusta tipi	Krusta rajoni					Kopā
	Atklātās Baltijas jūras krasts	Irbes šauruma krasts	Rīgas līča Kurzemes krasts	Rīgas līča Dienvidu krasts	Rīgas līča Vidzemes krasts	
Pēc V. Ulsta klasifikācijas (1998.g.)						
Dinamiskā līdzsvara krasti	8,1 km 10,3%	6,6 km 8,4%	8,2 km 10,5%	2,1 km 2,7%	2 km 2,6%	27 km 34,5%
Akumulācijas krasti	8,3 km 10,6%	1,2 km 1,5%	0 0%	18,6 km 23,8%	4,5 km 5,7%	32,6 km 41,6%
Izskalošanas krasti	0,5 km 0,6%	1,5 km 1,9%	11,1 km 14,1%	3,6 km 4,6%	2 km 2,5%	18,7 km 23,9%
G. Eberharda klasifikācija (2003.g.)						
Stāvkrausti	0 0%	0 0%	13,9 km 17,8%	4,3 km 5,5%	1,9 km 2,4%	20,1 km 25,7%
Akumulatīvie krasti	16,9 km 21,6%	9,3 km 11,9%	5,4 km 6,9%	20 km 25,5%	6,6 km 8,4%	58,2 km 74,3%
Kopā	16,9 km 21,6%	9,3 km 11,9%	19,3 km 24,6%	24,3 km 31%	8,5 km 10,9%	78,3 km 100%

4.1.1 Sanešu materiāla apjoma izmaiņas krasta virsūdens daļā laikā no 1994. līdz 2003. gadam (ieskaitot)

Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu tīkls gadu no gada tika paplašināts. Atšķirīgs bija ne vien lauka novērojumu rindu garums, bet arī monitoringa stacijās aptvertās krasta virsūdens daļas kopgarums. Lai raksturotu mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā novērotās sanešu materiāla apjoma izmaiņas, tika izvēlēti divi atskaites gadi, kuros lauka mērījumi veikti plašā krasta joslā. 1994. un 2003. gadā novērojumi veikti 78,3 km kopgarumā un izvēlētie gadi raksturoja izmaiņas iespējami ilgā laika posmā.

Sanešu materiāla izmaiņas raksturotas ar materiāla bilanci, tas ir, sanešu materiāla piegādes, tranzīta un zudumu attiecībām laukuma vienībā noteiktā laika posmā.

Sanešu materiāla apjoma izmaiņas krasta virsūdens daļā laikā no 1994. līdz 2003. pētītas, izmantojot krasta līnijas metrācijas un reljefa augtuma modeļu analīzi.

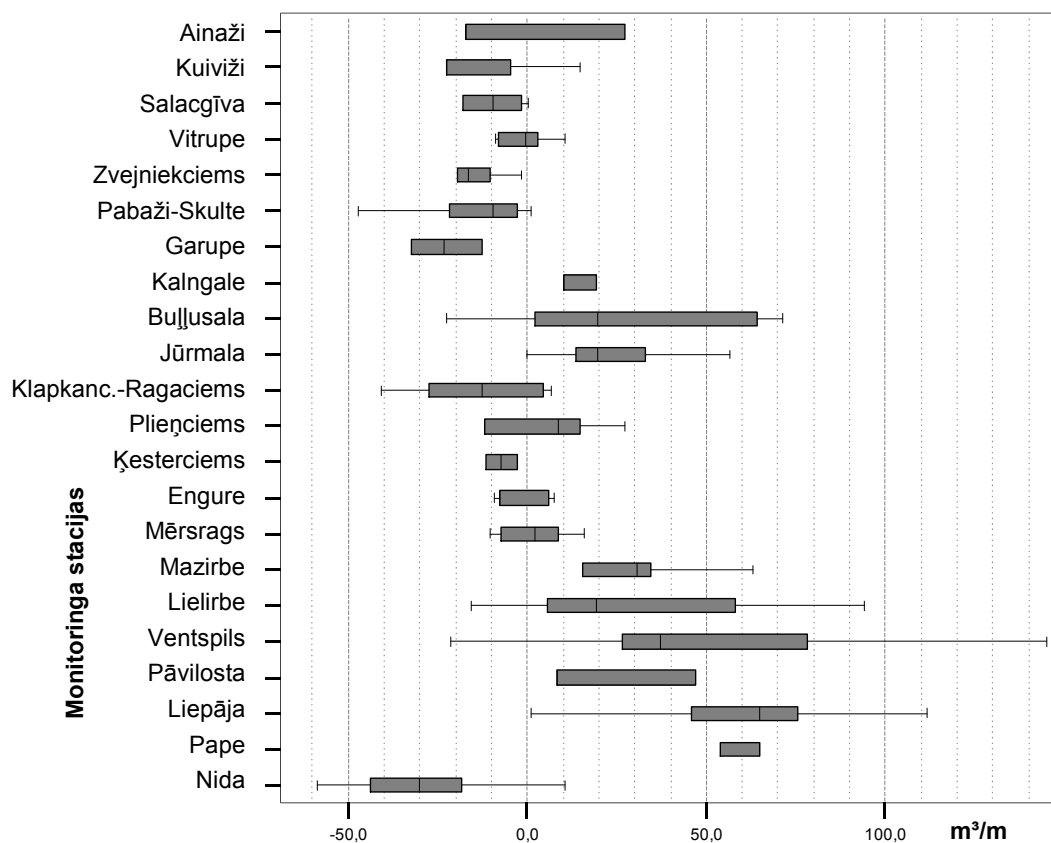
Krasta līnijas metrācijas rezultāti

Salīdzinot sanešu materiāla apjomu 1994. gadā un 2003. gadā, noteiktas sanešu materiāla apjoma izmaiņas jeb sanešu materiāla bilance.

Krasta līnijas metrācijā noteikta sanešu materiāla kopējā bilance metru platā mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas šķērsgrīzumā ik pa 100 m garkrasta virzienā. Izmantojot krasta līnijas metrācijas metodi interpretētas sanešu materiāla apjoma izmaiņas

garkrasta virzienā 78,3 km kopgarumā. Sanešu materiāla apjoms aprēķināts līdz Baltijas augstumu sistēmas “0” atzīmei.

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām parādīts 28. attēlā.



28. att. Laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam novērotās sanešu materiāla apjoma izmaiņas krasta virsūdens daļā m³/m dažādās monitoringa stacijās.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanās, isākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Ekstrēmās vērtības un izņēmumi grafikā nav attēloti.

Laikā no 1994. līdz 2003. gadam maksimālās negatīvās sanešu materiāla apjoma izmaiņas novērotas monitoringa stacijā Nida, kur materiāla apjoms samazinājies vairāk par 50 m³/m. Savukārt, lielākā akumulācija šajā laikā konstatēta monitoringa stacijā Ventspilī, kur materiāla apjoms pieaudzis par 200 m³/m.

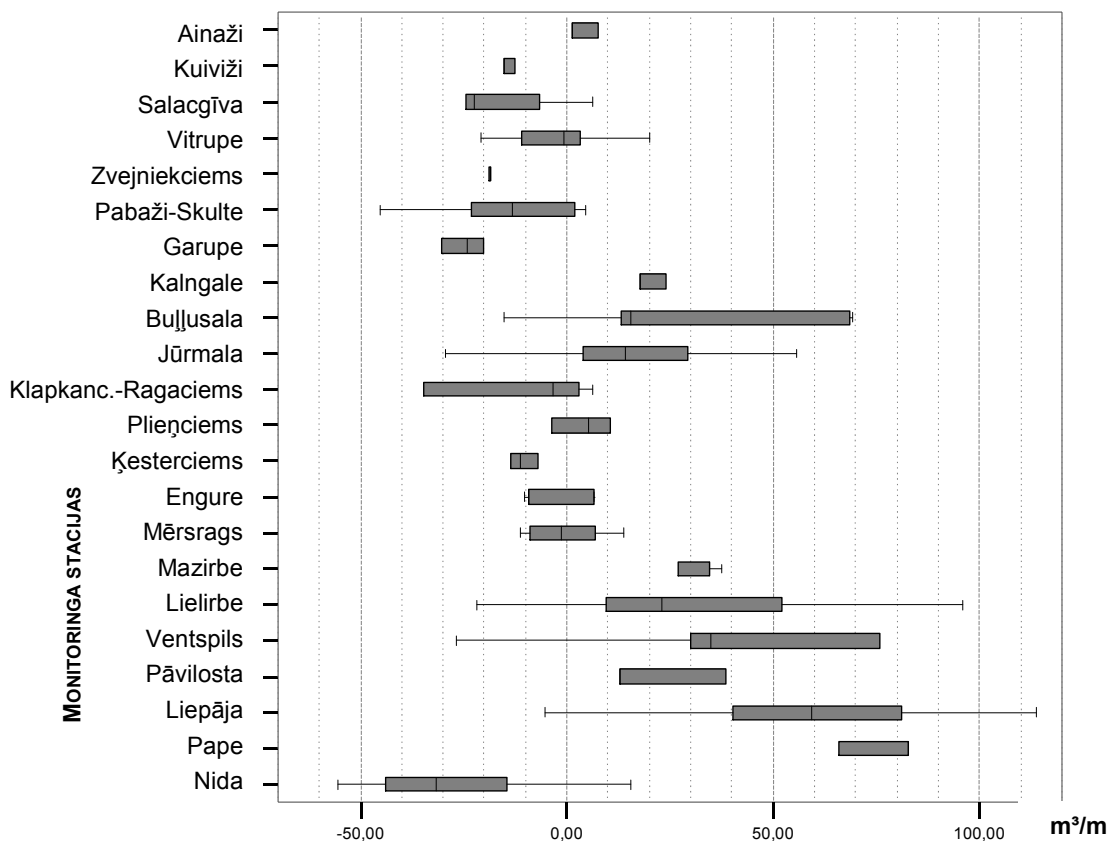
Sanešu materiāla apjoma izmaiņas garkrasta virzienā uzrādīja lielas lokālas atšķirības (28. att.). Pat vienas monitoringa stacijas robežās garkrasta virzienā sanešu materiāla bilances apjomi atšķīrās vairākkārtīgi. Nereti bija arī gadījumi, kad vienas monitoringa stacijas ietvaros mijās posmi ar pozitīvu un negatīvu sanešu materiāla bilanci.

Īpaši plašās robežās sanešu materiāla apjoms mainījies monitoringa stacijās: Ventspils, Liepāja, Lielirbe, Mazirbe, Buļļusala. Šeit novērotās sanešu materiāla apjoma izmaiņas liecināja par izteiktu dažādas intensitātes akumulācijas procesu īpatsvāru. Šajās

monitoringa stacijās mūsdienu jūras krasta virsūdens daļu veidoja plašas pludmales ar vienu vai vairākām priekškāpām vai priekškāpu joslu.

10 gadu laikā novērotā sanešu materiāla akumulācija Latvijas lēzeno krastu virsūdens daļā visintensīvākā bijusi atklātās Baltijas jūras krasta iecirkņos, kur tehnogēno faktoru iespaidā (ostas molu pretvēja pusē) daļēji vai pilnīgi bija pārtraukta garkrasta sanešu plūsma un kopš ostu molu izbūves turpinās intensīva sanešu materiāla akumulācija krasta virsūdens daļā. Akumulācijas procesi uz dienvidiem no Liepājas ostas sākušies pēc ostas izbūves 1890. gadā. Ventspils ostas moli izbūvēti 1900.-1905. gadā un ievērojami šķērsoja garkrasta sanešu plūsmu [Ulsts, 1998]. Arī Irbes šauruma krastos sanešu materiāla apjoms laikā no 1994. līdz 2003. gadam monitoringa stacijās bija ievērojami pieaudzis. Šajā iecirknī krasta pozitīvo attīstību noteica lielā garkrasta sanešu plūsmas jauda, kas pēc R. Knapa aprēķiniem sasniedza 500-750 tūkst. m³/gadā. Trešais izteiktas sanešu materiāla akumulācijas iecirknis bija Rīgas līča dienvidu galotnē. Arī šeit krasta seklūdens daļā raksturīgi lieli smilts apjomi, ko noteikusi no līča rietumu un austrumu puses garkrasta sanešu plūsmas atnesta sanešu materiāla uzkrāšanās.

Salīdzinot sanešu materiāla apjoma kopējo izmaiņu izkliedes intervālu pa monitoringa stacijām ar izmaiņu izkliedes intervālu augstumā virs 1 m (29. att.), tika pētīta pludmales loma kopējā sanešu materiāla bilancē.



29. att. Sanešu materiāla apjoma izmaiņas krasta virsūdens daļā virs 1 m augstuma atzīmes dažādās monitoringa stacijās no 1994. līdz 2003. gadam.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanās, īsākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Ekstrēmās vērtības un izņēmumi grafikā nav attēloti.

Laikā no 1994. līdz 2003. gadam novērotās sanešu materiāla apjoma izmaiņas pludmalē un visā mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā bija ļoti tuvas (28., 29. att.), kas ļāva secināt, ka galvenās sanešu materiāla apjoma izmaiņas bija notikušas augstāk par 1 m. Atklātās Baltijas jūras un Irbes šauruma krastā laikā no 1994. līdz 2003. gadam galvenā akumulācija notikusi krasta virsūdens daļā virs 1 m augstuma. Rīgas līča Kurzemes krasta monitoringa stacijās augstumā virs 1 m saglabājās raksturīgā akumulācijas un noskalošanas posmu mija. Līča Dienvidu krasta monitoringa stacijā Jūrmala augstumā virs viena metra pieauga posmu izplatība, kuros materiāla apjoms 2003. gadā, salīdzinot ar 1994. gadu, bija samazinājies. Vidzemes krasta stacijās Vitrupe un Salacgrīva galvenā materiāla apjoma samazināšanās novērota augstumā virs viena metra, bet ļoti lēzenajos zemajos krasta posmos Kuivižos un randu pļavās pie Ainažiem galvenās izmaiņas notikušas krasta zemākajā daļā līdz 1 m augstumam. Tātad tikai zemos krasta iecirkņos pludmalē līdz 1 m augstumam notikušās izmaiņas būtiski ietekmējušas kopējo materiāla bilanci.

Sanešu materiāla apjoma izmaiņas, kas novērotas laikā no 1994. līdz 2003. gadam, iedalītas sešās akumulācijas - noskalošanas intensitātes klasēs (6. tabula). Izmaiņas raksturotas ar 3 negatīvu un 3 pozitīvu izmaiņu klasēm. Izmaiņu intensitātes klašu robežas noteiktas, veicot pazīmes izkliedes intervāla eksploratīvo analīzi. Pazīmes klasifikācija veikta, izmantojot SPSS procentiļu metodi, nosakot pozitīvo un negatīvo vērtību 25% un 75% procentiles.

6. tabula

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu intensitātes klases laikā no 1994. līdz 2003. gadam

Klase	Nogulumu apjoms m ³ /m	Intensitātes raksturojums
1	līdz - 30	intensīva noskalošana
2	- 30 - -20	vidēja noskalošana
3	-20 - 0	vāja noskalošana
4	0 - 20	vāja akumulācija
5	20 - 60	vidēja akumulācija
6	virš 60	intensīva akumulācija

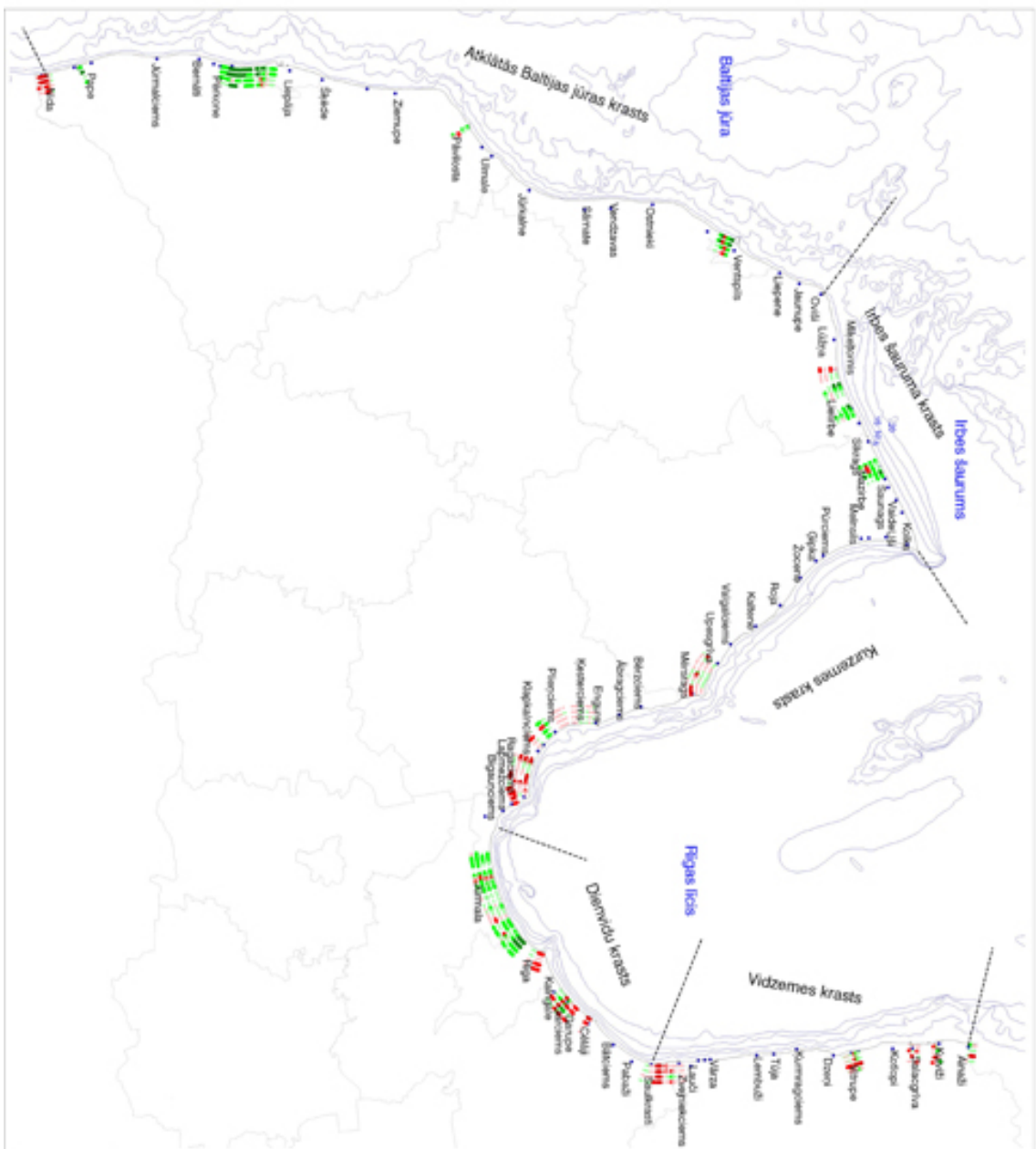
Sanešu materiāla apjoma izmaiņu intensitātes klašu sadalījums Latvijas piekrastē parādīts 30. attēlā.

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu intensitātes analīze apstiprināja vājas akumulācija pārsvaru. 32% no analizētā lēzeno jūras krastu kopgaruma materiāla apjoms pieaudzis līdz 20 m³/m. Vāja akumulācija dominējusi Rīgas līča Kurzemes un Dienvidu krasta monitoringa stacijās.

Vidēja (20 līdz 60 m³/m) sanešu materiāla akumulācija konstatēta 19% no analizēto krastu kopgaruma galvenokārt Dienvidu krastā un Irbes šauruma krastos.

Intensīva akumulācija, kad sanešu materiāla apjoms pieaudzis vairāk par 60 m³/m novērota 14% no lēzeno krastu posmu kopgaruma galvenokārt atklātās Baltijas jūras un Irbes šauruma monitoringa stacijās. Lielākās akumulācijas vērtības novērotas stacijās Liepāja, Ventspils, Buļļusala un Lielirbe.

Vāja noskalošana, kad materiāla apjoms samazinājies līdz 20 m³/m, novērota 22% no analizēto krastu kopgaruma un dominēja līča Kurzemes un Vidzemes krastos. Vidēja noskalošana, kad sanešu materiāla apjoms samazinājies no 20 līdz 30 m³/m, novērota galvenokārt līča Dienvidu krastā.



30. att. Mūsdienu Iļģos jūras krastu platuma un sarežģītības apjoma izmaiņas no 1994. līdz 2003. gadam.

1. Eriļa (no jūrai) - sarežģītā apjoma summas izmaiņas

- Izmēra noārdādums (< 20 m)
- Vidēja noārdādums (20 - 30 m)
- Vēja noārdādums (30 - 60 m)
- Vēja akurudokļa (0 - 20 m)
- Vidēja akurudokļa (20 - 60 m)
- Izmēra akurudokļa (> 60 m)

2. Eriļa (no jūrai) - sarežģītā apjoma summas izmaiņas krasta daļā augstāk par 1 m v.l.

- Izmēra noārdādums (< 20 m)
- Vidēja noārdādums (20 - 30 m)
- Vēja noārdādums (30 - 60 m)
- Vēja akurudokļa (0 - 20 m)
- Vidēja akurudokļa (20 - 60 m)
- Izmēra akurudokļa (> 60 m)

3. Eriļa. Krasta platuma izmaiņas

- Izcila atkāpādums (< 20 m)
- Vidēja atkāpādums (20 - 40 m)
- Vēja atkāpādums (40 - 60 m)
- Vēja uzvarādums (0 - 10 m)
- Vidēja uzvarādums (10 - 20 m)
- Izcila uzvarādums (> 20 m)

4. Eriļa. Krasta daļas platuma izmaiņas (augstāk par 1 m v.l.)

- Izcila atkāpādums (< 20 m)
- Vidēja atkāpādums (20 - 40 m)
- Vēja atkāpādums (40 - 60 m)
- Vēja uzvarādums (0 - 10 m)
- Vidēja uzvarādums (10 - 20 m)
- Izcila uzvarādums (> 20 m)

- Apdzīvota vietas krasta tuvumā
- Administratīvās robežas
- Izstrāde
- Krasta līnija
- Krasta apjoma robežas

Kartes avotni: LU Ģeogrāfijas un Ģeotekniskās kartes



Autors: Aija Torkštre
 Latvijas Universitāte
 Ģeogrāfijas un Zemes zinātnu fakultāte

Intensīva noskalošana, kad materiāla apjoms samazinājies vairāk par 30 m³/m, novērota 7% galvenokārt atklātās Baltijas jūras monitoringa stacijā Nida un Rīgas līča Kurzemes krastā monitoringa stacijās: Klapkalnciems, Klapkalnciems – Ragaciems un līča Dienvidu krastā monitoringa stacijās: Garupe un Pabaži - Skulte.

Vidējās un kopējās sanešu materiāla apjoma un mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platības izmaiņas pa monitoringa stacijām parādītas 7. tabulā.

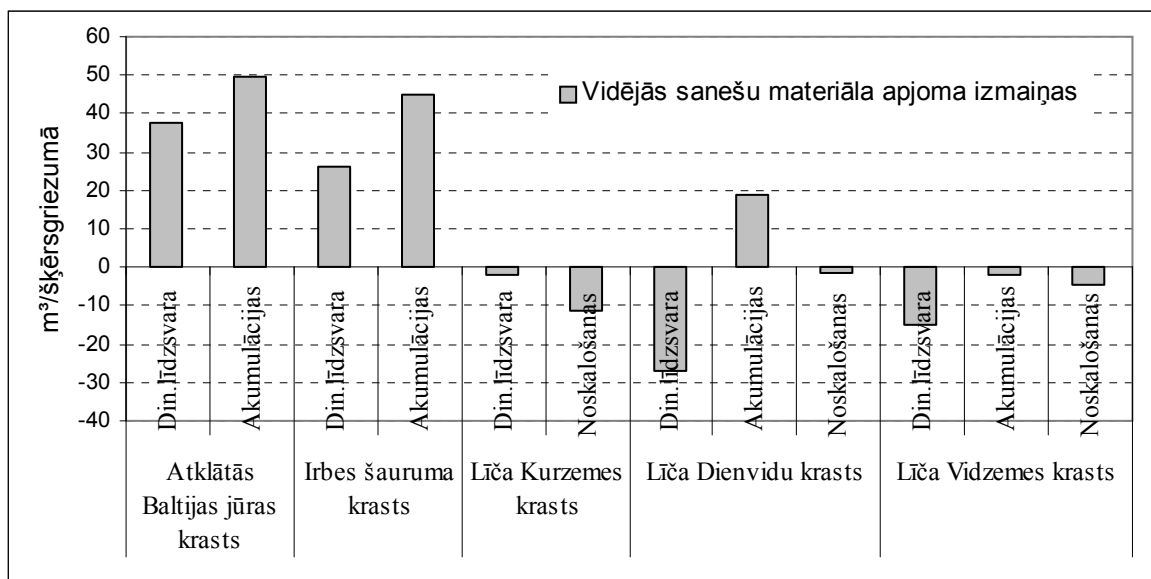
7. tabula

Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas izmaiņas laikā no 1994. līdz 2003. gadam.

Monitoringa stacijas	Iecirkņa garums km	Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas m ³ /m	Vidējās krasta platuma izmaiņas m	Kopējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas iecirknī m ³	Krasta virsūdens daļas platības izmaiņas iecirknī ha
Nida	2,8	-30	-10	-85 945	-2,84
Pape	0,5	60	0	30 237	0
Liepāja	10,2	64	10	648 882	9,71
Pāvilosta	0,7	25	1	17 344	0,07
Ventspils	2,6	45	7	117 368	1,83
Lielirbe	6,7	32	3	213 037	2,22
Mazirbe	2,6	29	0	75 268	-0,07
Mērsrags	5,2	2	-7	11 576	-3,69
Engure	2,4	-2	-3	-3 935	-0,64
Ķesterciems	1,8	-7	1	-12 888	0,12
Pļieņciems	2,5	6	-3	16 012	-0,72
Ragaciems	6,2	-21	-5	-138 84	-3,2
Jūrmala	11,6	22	10	255 041	11,33
Buļļusala	5,1	24	-1	140 108	-0,48
Kalnāle	1,8	9	-3	15 520	-0,55
Garupe	2	-23	3	-46 605	0,66
Pabaži-Skulte	3,9	-16	-5	-60 814	-1,9
Zvejniekiems	1,8	-14	2	-27 218	0,29
Vitrupe	3,7	-2	-14	-71 85	-5,11
Salacgrīva	1,2	-9	11	-10 491	1,36
Kuiviži	0,9	-14	-18	-13 029	-1,65
Ainaži	1,3	0	-26	-228	-3,41

Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam pa krasta tipiem pēc krasta līnijas orientācijas atšķirīgos krasta rajonos parādītas 31. attēlā. Izmantota V. Ulsta jūras krastu tipu klasifikācija. Analīzes rezultāti apstiprināja sekojošas likumsakarības: atklātās Baltijas jūras un Irbes šauruma lēzenajos jūras krastos neatkarīgi no krastu morfoģenētiskā tipa dominēja sanešu materiāla akumulācija. Savukārt, līča Kurzemes krastā dinamiskā līdzsvara tipa krasta iecirkņos materiāla apjoms bija mainījies vāji, bet erozijas tipa krastos konstatēta ievērojama sanešu materiāla apjoma samazināšanās (vidēji par 12 m³/m). Rīgas līča dienvidu krastā sanešu materiāls pieaudzis

tikai akumulatīvā tipa iecirkņos, savukārt, Vidzemes krastā neatkarīgi no karstu tipa dominējuši noskalošanas procesi.



31. att. Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam pa krasta tipiem pēc krasta līnijas orientācijas atšķirīgos krasta rajonos.

Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas labi raksturo reģionālās izmaiņas, tomēr tās neatspoguļo visu garkrasta virzienā notikušo izmaiņu daudzveidību. Garkrasta skatījumā vidējās vērtības pa monitoringa stacijām izlīdzina lokālās pretēja rakstura (noskalošanas, akumulācijas) sanešu materiāla bilances izmaiņas. Kā redzams 28. attēlā laikā no 1994. līdz 2003. gadam aprēķinātās sanešu materiāla apjoma izmaiņas īpaši Rīgas līča Kurzemes un Vidzemes krastos liecināja par pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla bilances posmu miju pat vienas stacijas ietvaros. Tādēļ, lai raksturotu mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā notikušās sanešu materiāla apjoma izmaiņas un pārbaudītu, vai vērojama mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas palielināšanās, tika novērtēta pozitīvas un negatīvas materiāla bilances krasta posmu izplatība procentos no krastu kopgaruma, kuros veikts monitoringa.

Analīzes rezultāti ļauj izdarīt sekojošus secinājumus:

1. Sanešu materiāla apjoms 2003. gadā, salīdzinot ar 1994. gadu, bija pieaudzis 65% no monitoringā iekļautā krasta kopgaruma (30. att.).

2. Sanešu materiāla apjoma izmaiņas krasta virsūdens daļā norādīja uz kopīgām reģionālām iezīmēm:

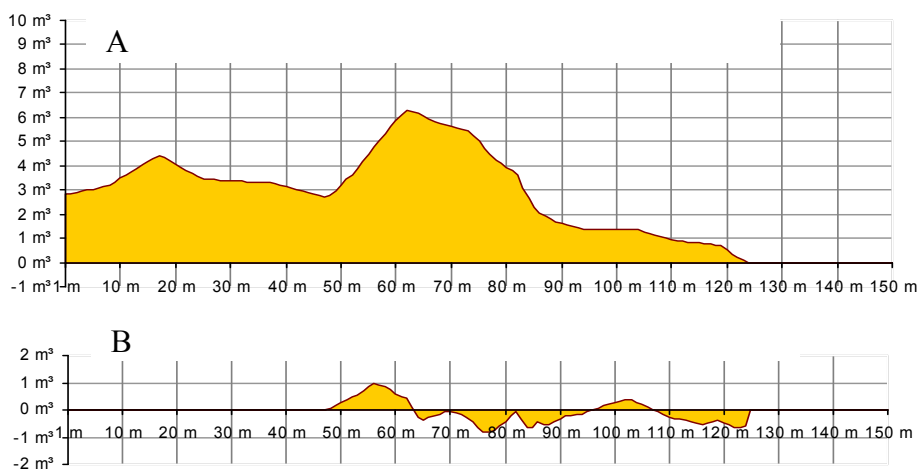
- Izteikts akumulācijas procesu īpatsvars un vislielākie sanešu materiāla akumulācijas apjomi novēroti atklātās Baltijas jūras krasta monitoringa stacijās (28. att.). Sanešu materiāla apjoms šeit bija pieaudzis 80% no analizēto krastu kopgaruma. Sanešu materiāla apjoms 2003. gadā bija pieaudzis visās atklātās jūras monitoringa stacijās, izņemot Nidu.
- Vēl izteiktāks akumulācijas procesu pārsvars novērots Irbes šauruma lēzeno krastu virsūdens daļā. 2003. gadā 94% no analizēto krastu kopgaruma sanešu materiāla apjoms bija palielinājies.
- Rīgas līča Kurzemes krastā krasta virsūdens daļā bija raksturīga lokālu pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla apjoma bilances posmu mija (arī staciju ietvaros)

(28. att.). Tikai 47% no analizētā krasta kopgaruma materiāla apjoms bija lielāks kā 1994. gadā. Novērotas būtiskas atšķirības krasta attīstībā pa krastu morfoģenētiskajiem tipiem (31. att.). Sanešu materiāla apjoms samazinājies monitoringa stacijās Engure, Ķesterciems, Klapkalnciems – Ragaciems. Pozitīva sanešu materiāla bilance konstatēta stacijās Mērsrags un Pliņciems (6. tab.).

- Rīgas līča Dienvidu krastā 73% no analizēto krastu kopgaruma sanešu materiāla apjoms bija pieaudzis. Sanešu materiāla apjoms pieaudzis līča dienvidu daļā monitoringa stacijās Jūrmala, Buļļusala, Kalngale. Sākot no Garupes uz austrumiem, sanešu materiāla apjoms krasta virsūdens daļā bija samazinājies. Tikai akumulatīvā tipa krasta iecirkņos konstatēta sanešu materiāla akumulācija (31. att.).
- Līča Vidzemes krastā tikai 25% no monitoringā iekļautā krastu kopgaruma sanešu materiāla apjoms bija pieaudzis. Visos jūras krasta tipos un monitoringa stacijās dominējusi sanešu materiāla apjoma samazināšanās (6. tab., 28.att.).

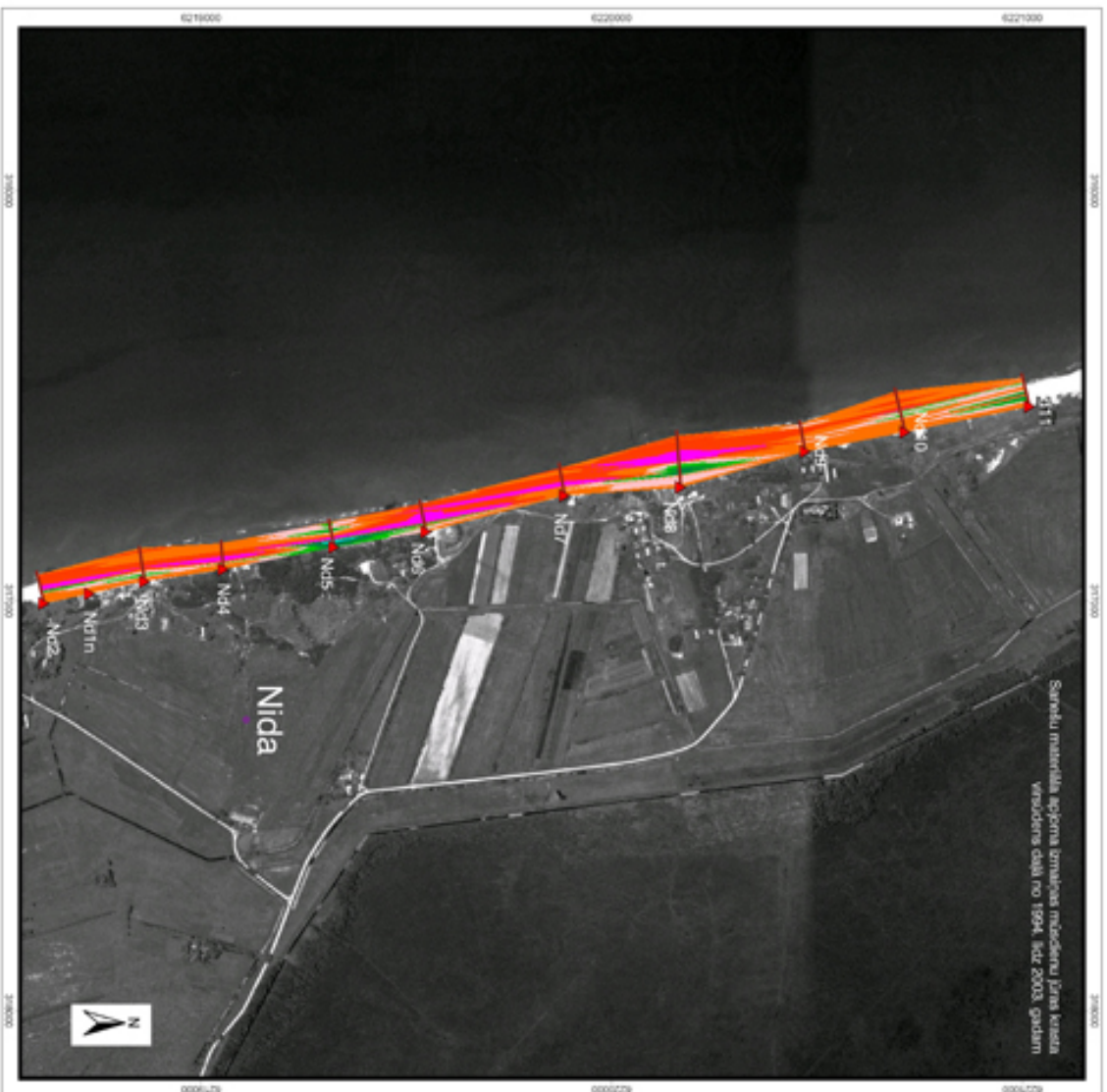
Augstuma rastru analīzes rezultāti

Otra mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas sanešu materiāla izmaiņu analīzē izmantotā metode bija augstuma rastru analīze. Lauka mērījumu apstrādes rezultātā tika noteikts krasta augstums katrā krasta šķērsprofilā metrā jeb materiāla apjoms katrā kvadrātmetrā (1 m platā krasta šķērsgrīzumā) (32.A att.). Šķērsprofilā notikušo izmaiņu summa neatspoguļo visas krasta virsūdens daļā notikušās izmaiņas (32.B att.). Ir iespējams, ka noskalošanas un akumulācijas vērtības šķērskrasta virzienā savstarpēji izlīdzinās. Teorētiski ir iespējami gadījumi, kad kopējā sanešu materiāla bilance ir 0, lai gan atsevišķās krasta šķērsprofilā daļās bijušas intensīvas gan pozitīvas, gan negatīvas izmaiņas. Dotās problēmas aprakstījis A. Schüller (1992).



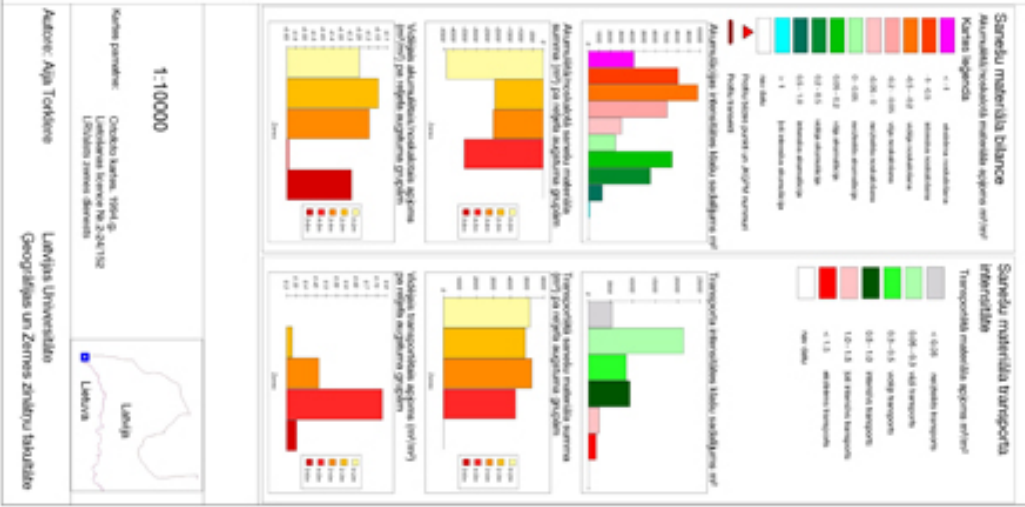
32. att. Lauka mērījumu apstrādes rezultāti: A Sanešu materiāla apjoma sadalījums krasta šķērsprofilā. B Sanešu materiāla bilance krasta šķērsprofilā (salīdzinot ar iepriekšējo mērījumu).

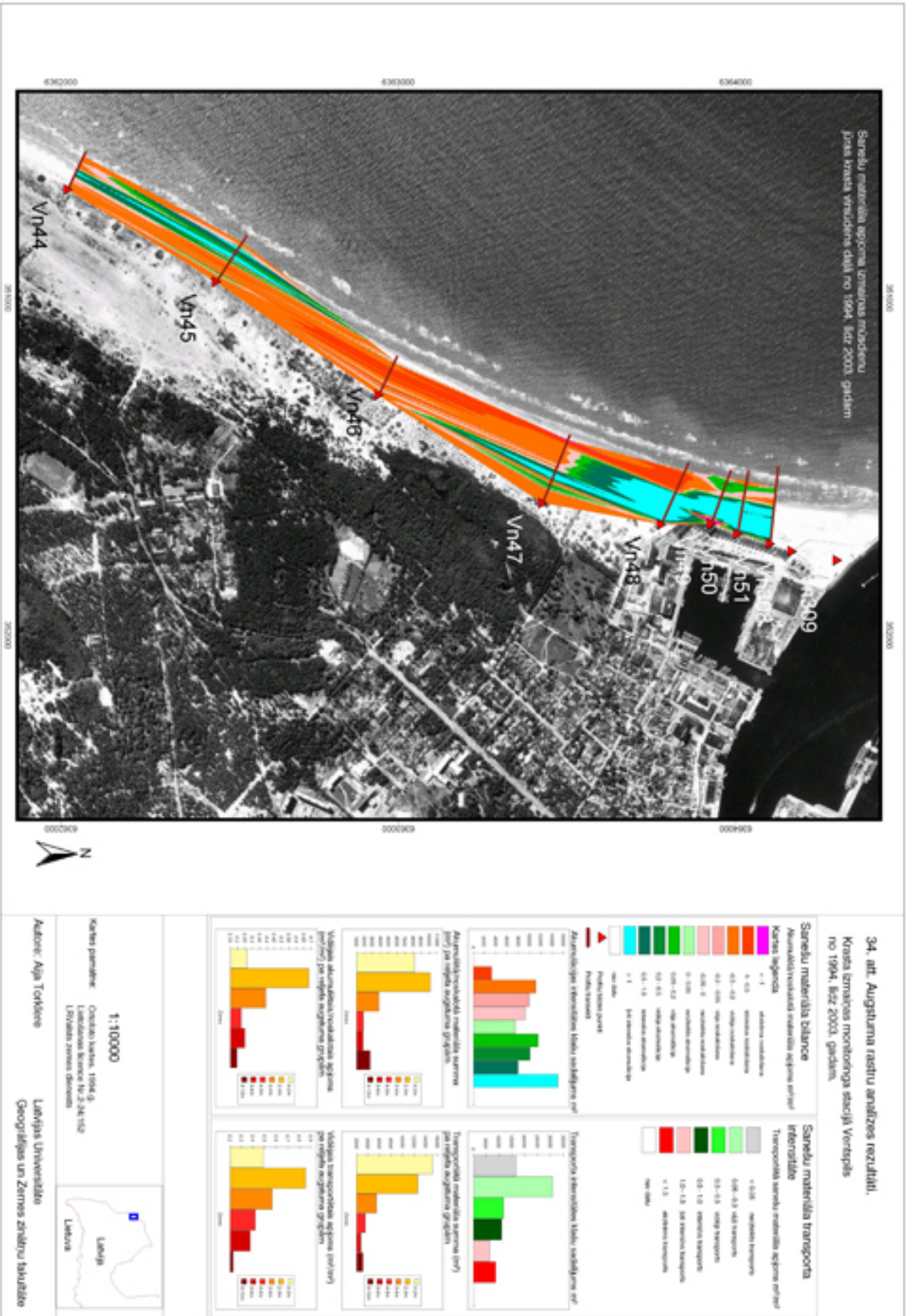
Salīdzinot mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas augstuma modeļus par 1994. un 2003. gadiem, tika noteiktas sanešu materiāla apjoma izmaiņas katrā krasta virsūdens daļas kvadrātmetrā. Rastru analīzes rezultāti piemēru veidā parādīti divās monitoringa stacijās, kur sanešu materiāla apjoma izmaiņas uzrāda izteikti atšķirīgu attīstības gaitu. 33. attēlā raksturotas izmaiņas mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā monitoringa stacijā Nida un 34. attēlā monitoringa stacijā Ventspils.



Saruču materiāla apjoma izmaiņas mēroscēnu jomas kartei
 Vairodams dati no 1994. līdz 2003. gadam

33. att. Augstuma rāstņu analīzes rezultāti.
 Mēroscēnu jomas kartei izmaiņu sāucji Nida no 1994. līdz 2003. gadam.





Krasta augstuma rastru analīze veikta 21 monitoringa stacijā. Sanešu materiāla apjoma izmaiņas pēc akumulētā/noskalotā sanešu materiāla apjoma m^3/m^2 tika iedalītas 10 akumulācijas intensitātes klasēs, kuru robežvērtības un vērtējums dots 8. tabulā.

8. tabula

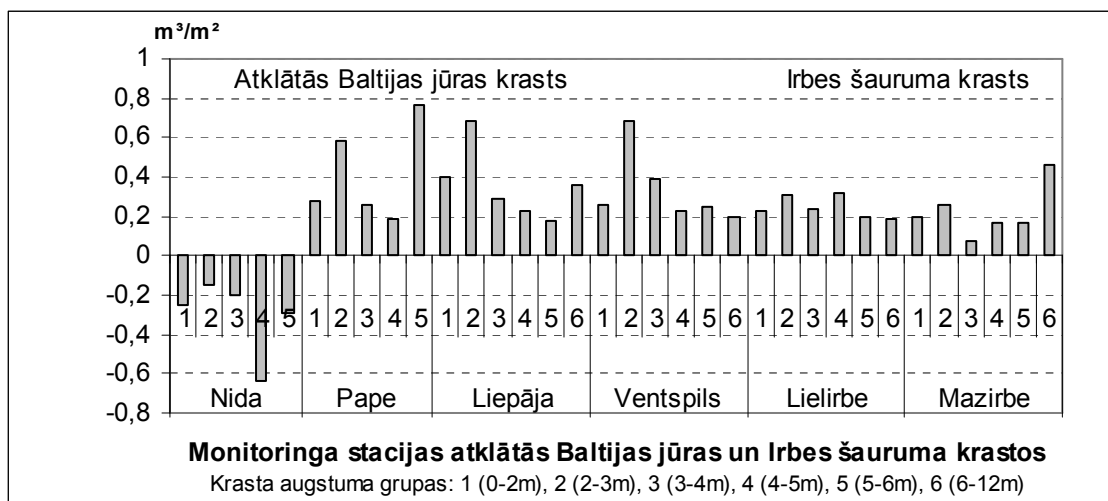
Sanešu materiāla akumulācijas un noskalošanas intensitāte no 1994. līdz 2003. gadam pēc augstuma rastru analīzes

Klase	Materiāla apjoma izmaiņas m^3/m^2	Intensitātes raksturojums
1	līdz - 1,0	ekstrēma noskalošana
2	-1,0 - -0,5	intensīva noskalošana
3	-0,5 - -0,2	vidēja noskalošana
4	-0,2- -0,05	vāja noskalošana
5	-0,05 - 0	neizteikta noskalošana
6	0 - 0,05	neizteikta akumulācija
7	0,05 - 0,2	vāja akumulācija
8	0,2 - 0,5	vidēja akumulācija
9	0,5 - 1,0	intensīva akumulācija
10	virs 1,0	ļoti intensīva akumulācija

Sanešu materiāla apjoms ievērojami mainījies gan garkrasta, gan šķērskrasta virzienā. Visās monitoringa stacijās ir vērojama pozitīvas un negatīvas bilances posmu mija. Augstuma rastru analīzē atsevišķi apskatītas materiāla apjoma izmaiņas pa krasta virsūdens daļas augstuma grupām: pludmalē no 0 līdz 2 m augstumam, 2 līdz 3 m augstumā intensīvas eolās akumulācijas zonā, priekškāpā: 3 līdz 4 m, 4 līdz 5 m, 5 līdz 6 m un 6 līdz 12 m augstumā (maksimālais mūsdienu jūras krasta augstums 10,2 m). Materiāla apjoma izmaiņu amplitūda - lielākās noskalotās un lielākās akumulētās vērtības pa augstuma grupām monitoringa stacijās parādītas 1. pielikumā.

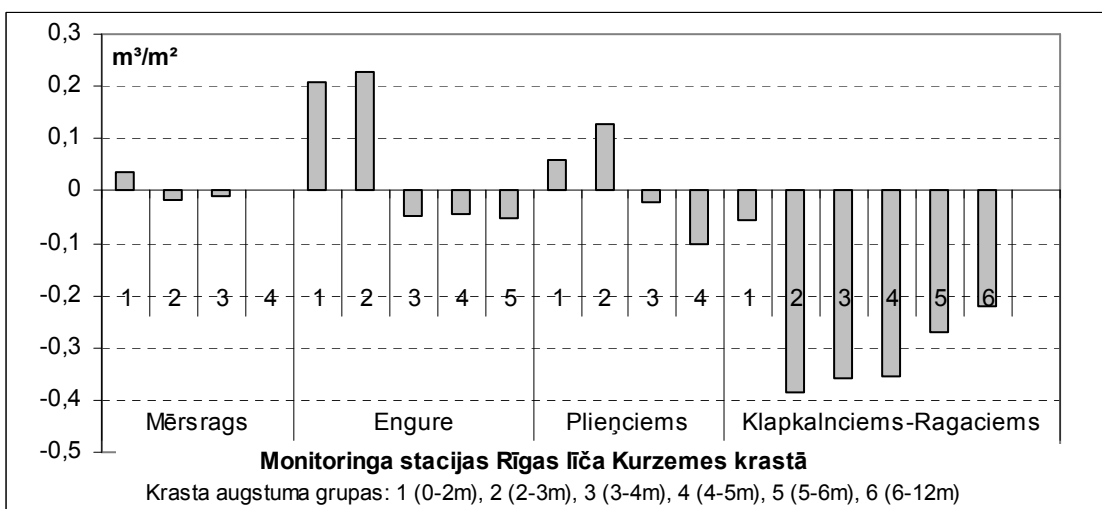
Lēzeno jūras krastu virsūdens daļas 1994. un 2003. gada reljefa augstuma modeļu salīdzinājums apstiprināja, ka visintensīvākā akumulācija apskatītajā laika periodā notikusi atklātās Baltijas jūras monitoringa stacijās Liepāja un Ventspils. Īpaši intensīva akumulācija konstatēta krasta virsūdens daļā 2 līdz 3 m augstumā priekškāpu joslā, kur eolās akumulācija rezultātā notikusi strauja jaunu priekškāpu attīstība ostu dienvidu pusē. Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas m^3/m^2 atklātās Baltijas jūras un Irbes šauruma krasta monitoringa stacijās laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam parādītas 35. attēlā. Stacijās Pape, Liepāja un Ventspils materiāla apjoms bija pieaudzis visās augstuma grupās. Savukārt, stacijā Nida materiāla apjoms samazinājies visās augstuma grupās. 1999. gada vētrā šeit īpaši intensīvi tika noskalota priekškāpa 4 līdz 5 m augstumā. Lielākās izmaiņas notikušas 2 līdz 5 m augstajā krasta daļā, kur maksimāli zaudēti līdz pat $2,5 m^3/m^2$.

Irbes šauruma stacijās Lielirbe un Mazirbe kopējā sanešu materiāla bilance bijusi pozitīva, bet akumulācijas intensitāte bijusi ievērojami vājāka kā atklātās Baltijas jūras stacijās (Liepāja, Ventspils) (35. att.), kas skaidrojama ar intensīvo materiāla iznešanu no pludmales 2001. gada vētrās. Pēcvētru periodā šeit tika konstatēta lēna jaunu priekškāpu attīstība pludmales augstākajā daļā, lielākais materiāla apjoma pieaugums novērots priekškāpā virs 4 metru augstuma atzīmēm. Lielirbē sanešu materiāla apjoma izmaiņas apskatītajā periodā pārsniedza $3 m^3/m^2$. Mazirbē sanešu materiāla apjoma izmaiņas bijušas vājāk izteiktas un nepārsniedza $3 m^3/m^2$.



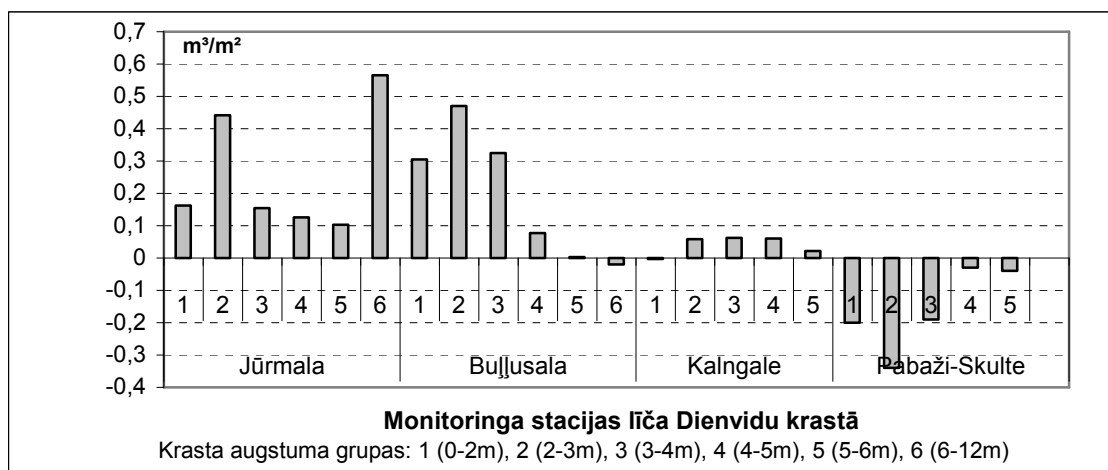
35. att. Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas m^3/m^2 atklātās Baltijas jūras un Irbes šauruma krasta monitoringa stacijās laikā no 1994. g. līdz 2003. g.

Visās Rīgas līča Kurzemes krasta stacijās bijusi raksturīga negatīva kopējā sanešu materiāla bilance krasta augstākajā daļā, kas saistīta ar intensīvu krasta virsūdens daļas noskalošanu 2001. gada vētrās. Sanešu materiāla apjoma pieaugums pludmales zemākajā daļā skaidrojams ar vētras laikā no krasta augstākās daļas pārvietoto, kā arī pēcvētras periodā no seklūdens joslas krastā pieskaloto sanešu materiāla apjomu. Īpaši intensīva noskalošana novērota Klapkalnciema - Ragaciema posmā, 4 līdz 6 m augstumā sanešu materiāla apjoms šeit maksimāli samazinājies par vairāk kā $2 m^3/m^2$. Kopējā materiāla bilance bijusi negatīva visās augstuma grupās (36. att.).



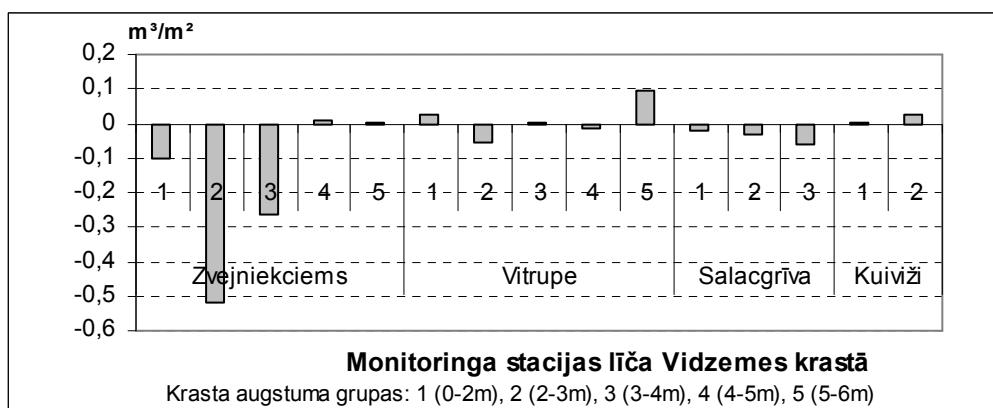
36. att. Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas m^3/m^2 līča Kurzemes krasta monitoringa stacijās laikā no 1994. g. līdz 2003. g.

Līča Dienvidu krasta monitoringa stacijās Jūrmala, Buļļusala sanešu materiāla apjoms bija pieaudzis gandrīz visās augstuma grupās (37. att.), šeit novērota eolā akumulācija priekškāpās un jaunu priekškāpu attīstība pludmales augstākajā daļā. Virzienā uz austrumiem akumulācijas intensitāte samazinājusies.



37. att. Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas m^3/m^2 līča Dienvidu krasta monitoringa stacijās laikā no 1994. g. līdz 2003. g.

Līča Vidzemes krastā 2003. gadā, salīdzinot ar 1994. gada situāciju, materiāla apjoms bija samazinājies (38. att.), kas saistīts ar sanešu materiāla noskalošanu 2001. gada vētrās. Monitoringa stacijā Zvejniekiems sanešu materiāla apjoms samazinājies krasta virsūdens daļā līdz 4 m augstumam maksimāli par $1,9 m^3/m^2$. Arī Vitrupē galvenās izmaiņas notikušas krasta zemākajā daļā līdz 3 m augstumam. Maksimālās negatīvās izmaiņas konstatētas 2 līdz 3 m augstumā, kur sanešu materiāla apjoms samazinājies par $1,8 m^3/m^2$. Salacgrīvā galvenās izmaiņas notikušas līdz 2 m augstumam. Kopējā sanešu bilance bijusi negatīva.



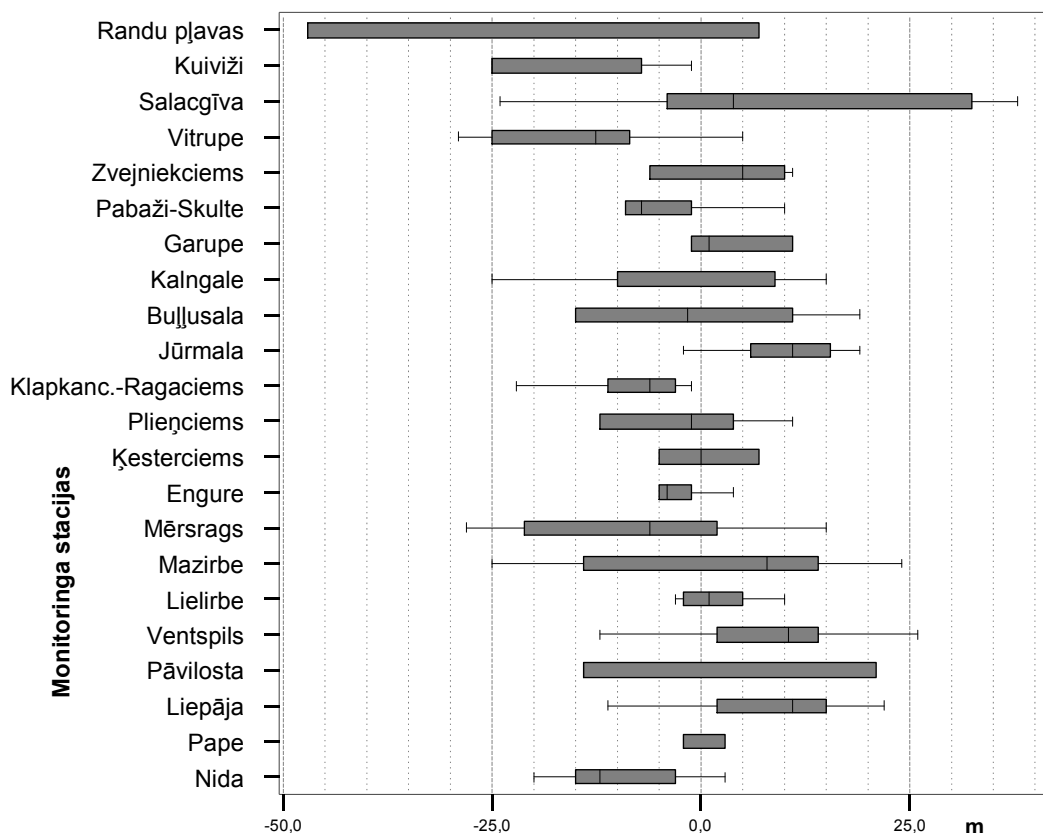
38. att. Vidējās sanešu materiāla apjoma izmaiņas m^3/m^2 līča Vidzemes krasta monitoringa stacijās laikā no 1994. g. līdz 2003. g.

4.1.2 Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma izmaiņas laikā no 1994. līdz 2003. gadam

Krasta līnijas metrācijas rezultāti

Laika posmā no 1994. gada līdz 2003. gadam (ieskaitot), maksimālās platuma izmaiņas novērotas pie Ainažiem, kur ļoti zemā seklā randu pļavu krasta virsūdens daļas platums samazinājies par 50 m, savukārt, Jūrmalā tas bija pieaudzis par maksimāli 40 m.

Lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas platuma izmaiņas pa monitoringa stacijām laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam (ieskaitot) parādītas 39. attēlā.



39. att. Laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam novērotās mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas m dažādās monitoringa stacijās.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanos, isākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Ekstrēmās vērtības un izņēmumi grafikā nav attēloti.

Salīdzinot krasta stāvokli 1994. un 2003. gados, praktiski visos krasta iecirkņos bija raksturīga krasta posmu mija, kuros krasts uzvirzījies un atkāpies, kas liecināja par krasta izmaiņu izteikto lokālo raksturu.

Smilšu pludmaļu raksturīga iezīme ir to platuma viļņveidīga attīstība [Cieslak, 1995]. Tikai monitoringa stacijās: Nida, Klapkalnciems - Ragaciems, Ragaciems, Vitrupe un Kuiviži, visā staciju garumā krasts bija atkāpies.

Apskatītajā laika posmā mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platums bija pieaudzis 47% no analizēto monitoringa staciju kopgaruma (78,3 km).

Krasta virsūdens daļa uz jūras rēķina bija pieaugusi 63% no atklātās Baltijas jūras monitoringa staciju kopgaruma. Krasta platums bija pieaudzis vidēji par 5,2 m.

Irbes šaurumā krasts bija uzvirzījies 54% no krasta kopgaruma. Krasta platums bija pieaudzis vidēji par 2,3 m.

Rīgas līča Kurzemes krastā tikai 19% no analizētā krastu kopgaruma krasta platums bija lielāks kā 1994. gadā, krasts bija atkāpies vidēji par 6,1 m.

62% no līča Dienvidu krasta kopgaruma krasts bija uzvirzījies. Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums bija pieaudzis vidēji par 3,8 m.

Līča Vidzemes krastā tikai 32% no analizētā krasta kopgaruma krasta virsūdens daļas platums bija pieaudzis. Pludmales platums bija sašaurinājies vidēji par 9,5 m.

Krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas laikā no 1994. līdz 2003. gadam iedalītas sešās intensitātes klasēs (9. tabula). Izveidotas 3 negatīvu un 3 pozitīvu izmaiņu klases. Šajā laika posmā pludmaļu platums krasta šķērsgrīzumā ir mainījies vairāku desmitu metru robežās.

9. tabula

Krasta platuma izmaiņu intensitātes klases (1994. - 2003. gads)

Klase	Profila garuma izmaiņas (m)	Krasta izmaiņu raksturojums
1	līdz -20	izteikta atkāpšanās
2	- 20 - -10	vidēja atkāpšanās
3	-10 - 0	vāja atkāpšanās
4	0 - 10	vāja uzvirzīšanās
5	10 - 20	vidēja uzvirzīšanās
6	virs 20	izteikta uzvirzīšanās

Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platuma izmaiņu intensitātes klašu izplatība garkrasta virzienā parādīta 30. attēlā.

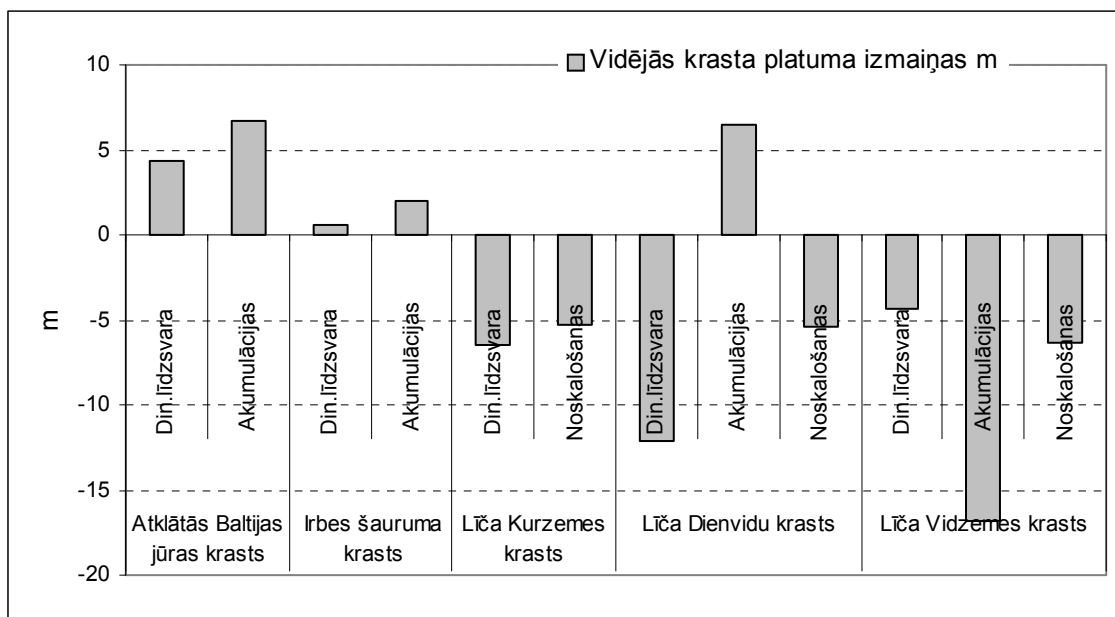
Pēc izplatības lēzenajos krasta posmos dominējusi vāja platuma samazināšanās. Krasts atkāpies līdz 10 m 30% no krastu kopgaruma galvenokārt Rīgas līča Kurzemes krasta un Dienvidu krasta stacijās. Vidēja krasta atkāpšanās, kad krasta platums samazinājies no 10 līdz 20 m, konstatēta 13% un novērota Dienvidu krastā, līča Kurzemes krastā un atklātās Baltijas jūras krastā. Vāja līdz vidēja krasta uzvirzīšanās novērota 44% (krasts uzvirzījies līdz 10 m 22%, līdz 20 m 22%) un dominējusi Dienvidu krastā un atklātās Baltijas jūras krastā. 4% krasta platums bija pieaudzis vairāk par 20 m galvenokārt atklātās Baltijas jūras un līča Dienvidu krastā. Izteikta krasta atkāpšanās konstatēta Rīgas līča Kurzemes un Vidzemes krastos. 9% krasts bija atkāpies vairāk par 20 m.

Pa krasta rajoniem lielākais krasta platuma pieaugums novērots atklātās Baltijas jūras krasta posmos (40. att.): akumulatīvā tipa krasti šeit uzvirzījušies vidēji par 7 m, bet dinamiskā līdzsvara par 4 m. Tikai stacijā Nida krasts bija atkāpies (vidēji par 9,8 m). Monitoringa stacijās: Liepāja pludmales platums bija pieaudzis vidēji par 9,5 m un Ventspilī vidēji par 7 m.

Irbes šaurumā pludmales paplašināšanās konstatēta tikai akumulatīvā tipa krastu posmos (vidēji tikai par 3 m), dinamiskā līdzsvara iecirkņos krasta virsūdens daļas platums nebija mainījies (vidēji pieaudzis par 0,6 m). 1,5 km garā posmā uz R no Irbes upes ietekas, kas pēc V. Ulsta klasifikācijas atbilst erozijas tipa krastiem, krasts laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam (ieskaitot) vidēji bija uzvirzījies par 9 m (šāda attīstība neatbilst V. Ulsta izdalītajam krastu tipam). Monitoringa stacijā Lielirbe krasts bija uzvirzījies vidēji par 3,3 m, Mazirbē atkāpies vidēji par 0,3 m (40. att.).

Rīgas līča Kurzemes krastā krasta attīstību raksturoja jūras uzvirzīšanās: noskalošanas tipa krasti bija atkāpušies vidēji par 6,3 m un dinamiskā līdzsvara tipa krasti vidēji par 6 m. Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļa bija sašaurinājusies praktiski visās monitoringa stacijās: Mērsragā vidēji par 7,9 m, Engurē vidēji par 2,7 m, Pliņciemā vidēji par 2,9 m, Klapkalnciemā vidēji par 22 m, Klapkalnciema - Ragciema iecirknī vidēji par

4,9 m, Ragciemā vidēji par 10 m, tikai Ķesterciemā krasts bija nenozīmīgi uzvirzījies vidēji par 0,7 m (40. att.).



40. att. Vidējās krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas laikā no 1994. gada līdz 2003. gadam pa krasta tipiem pēc krasta līnijas orientācijas atšķirīgos krasta rajonos.

Rīgas līča Dienvidu krasta platums bija pieaudzis tikai akumulācijas tipa krasta iecirkņos (vidēji par 7 m). Dinamiskā līdzsvara krasti bija atkāpušies vidēji par 9 m un noskalošanas tipa krasti vidēji par 4 m. Krasts bija uzvirzījies stacijā Jūrmala vidēji par 9,7 m, Mežciems - Gauja vidēji 3,5 m. Stacijā Buļusala akumulācijas tipa posmā krasts uzvirzījies vidēji par 7,4 m, dinamiskā līdzsvara posmā atkāpies vidēji par 13 m, stacijā kopumā krasta platums pieaudzis vidēji par 0,5 m. Vecāķu - Kalngales un Pabažu - Skultes iecirkņos krasts atkāpies vidēji par 3 un 6,9 m (40. att.).

Līča Vidzemes krasts bija atkāpies, krasta platums visvairāk samazinājies akumulācijas tipa krasta iecirkņos (vidēji par 18 m). Šeit stacijās Randu pļavas pie Ainažiem un Vitrupē krasts atkāpies vidēji par 26 un 14,7 m. Dinamiskā līdzsvara krasti atkāpušies par 4 m, abrāzijas par 6 m, savukārt, noskalošanas tipa krastu platums stacijā Salacgrīva pieaudzis vidēji par 12 m. Šeit mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platuma attīstība neatbilda krastu tipam (40. att.).

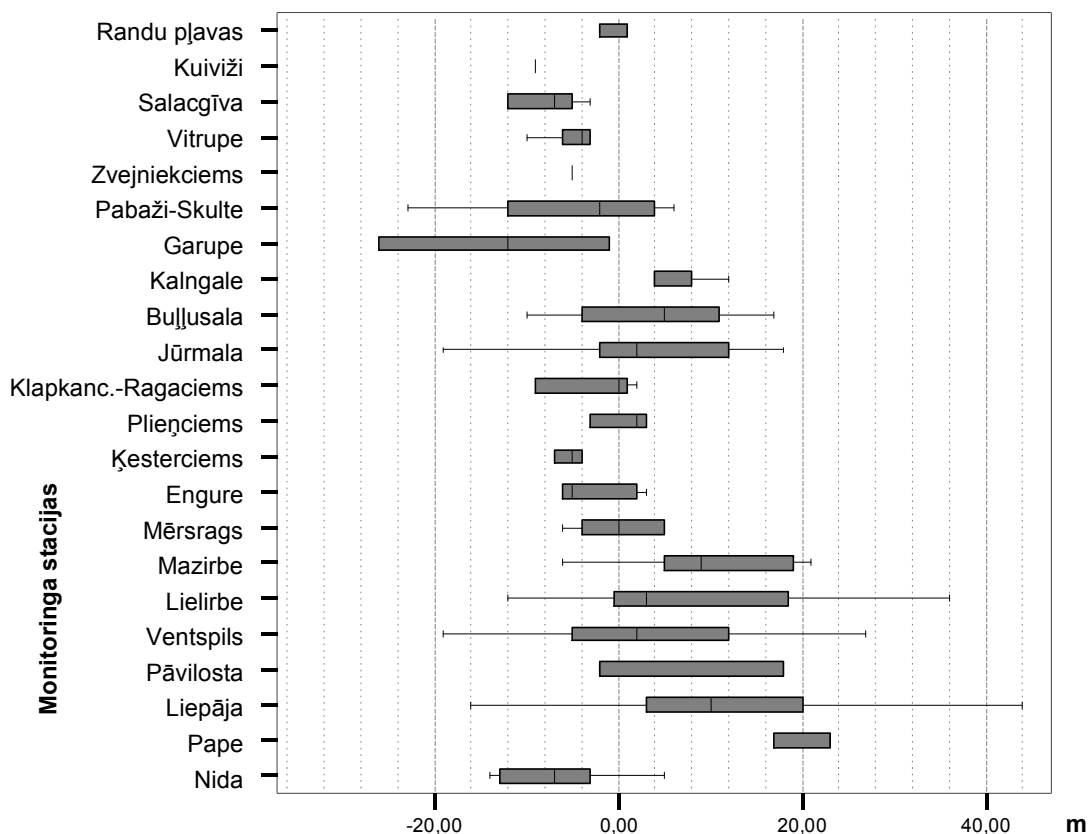
Atsevišķi tika analizētas izmaiņas krasta virsūdens daļā augstāk par 1 m virs jūras līmeņa. Krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas augstāk par 1 m garkrasta virzienā ik pa 100 m parādītas 30. attēlā.

Krasta platuma izmaiņu izkliedes intervāls monitoringa stacijās virs 1 metra augstumā laikā no 1994. līdz 2003. gadam parādīts 41. attēlā.

Augstumā virs 1 m saglabājās lēzenajos jūras krastos raksturīgā pozitīvas un negatīvas mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas platuma attīstības posmu mija, bet izmaiņu amplitūda ievērojami samazinājusies.

Atklātās Baltijas jūras krastā 1 m augstumā krasta platuma pieaugums bija līdzīgs kopējai krasta virsūdens daļas platuma attīstībai, kas apstiprina ievērojamu akumulāciju un krasta uzvirzīšanos. Arī Irbes šauruma stacijās krasta platums virs 1 m augstumā ievērojami pieaudzis.

Rīgas līča Kurzemes krasts augstāk par 1 m vidēji atkāpies 4 līdz 10 m. Līča Dienvidu krasta dienvidu daļas monitoringa stacijās Jūrmala, Buļļusala un Kalngale krasts bija uzvirzījies, kas apstiprināja akumulācijas procesu īpatsvaru. Sākot no Garupes uz ziemeļiem, krasts augstāk par 1 m bija ievērojami atkāpies. Krasta maksimālā atkāpšanās virs 1 m augstumā konstatēta Garupes posmā.



41. att. Krasta platuma izmaiņu izkliedes intervāls monitoringa stacijās virs 1 metra augstumā laikā no 1994. līdz 2003. gadam.

Pazīmes izkliedes intervāls pa monitoringa stacijām raksturots, izmantojot eksploratīvo grafiku (Box-Whisker-Plot). Pelēkā taisnstūra robežas raksturo parametra pirmo un trešo kvartili, melnā vertikālā līnija - mediāna atrašanās, īsākās vertikālās līnijas - minimālās un maksimālās pazīmes vērtības. Ekstrēmās vērtības un izņēmumi grafikā nav attēloti.

4.2 Ilglaicīgā attīstība

Ilglaicīgās jūras krasta izmaiņas raksturo krasta režīms laika posmā no vairākiem gadiem līdz vairākiem gadu desmitiem (stabils, erodēts vai pieaugošs) [Arens et al., 1995]. Apstākļos, kad pludmales saņem vairāk sanešu materiāla kā zaudē zemūdens nogāzē, garkrasta virzienā vai iekšzemē krasts var pieaugt vertikāli vai paplašināties jūras virzienā. Akumulācijas apstākļos var notikt pludmales uzvirzīšanās, bāru, krasta vaļņu un priekškāpu attīstība [Carter, 1977; Short, Hesp, 1982; Davidson-Arnott, Law, 1990]. Apstākļos, kad pludmales vairāk sanešu materiālu zaudē, tās pazeminās un sašaurinās. Eroziņas rezultātā priekškāpu jūras pusē var izveidoties izskalošanas kāpnes vai notikt pilnīga jaunāko priekškāpu iznīcināšana.

Pētījumā veikta sanešu materiāla apjoma un krasta virsūdens daļas platuma izmaiņu analīze pēc monitoringa staciju ilglaicīgajām novērojumu rindām. Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa novērojumu rindu garums dažādos krasta iecirkņos bija atšķirīgs (3. att.). Līcī pirmie novērojumi veikti jau 1987. gadā, atklātās Baltijas jūras krastā, sākot ar 1992. gadu, pēdējie analizētie dati bija par 2004. gadu (ieskaitot). Krasta morfometriskās pazīmju kopas ilglaicīgā attīstība raksturota ar sanešu materiāla apjoma un krasta virsūdens daļas platuma izmaiņām krasta posmos, kuros novērojumu rindu garums bija vismaz 5 gadi. Datu analīzē izmantota SPSS vienfaktora lineārās regresijas metode un parametra T tests.

Kopumā analizēta krasta virsūdens daļas platuma un sanešu materiāla apjoma ilglaicīgā attīstība ik pa 100 m lēzeno krastu iecirkņos ar kopējo garumu 138,1 km. 2. pielikumā parādīts novērojumu rindu garums, vidējais sanešu materiāla apjoms, vidējais krasta platums, augstums, ilglaicīgais sanešu materiāla apjoma un platuma izmaiņu trends ik pa 100 m garkrasta virzienā.

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu ilglaicīgā attīstība

Ilggadīgā vidējā lēzeno krastu virsūdens daļas sanešu materiāla apjoma summa metru platā krasta šķērsgrīzumā laikā kopš veikts JKĢPM bija 159 m³. Pa krastu rajoniem vērojamas būtiskas atšķirības: atklātās Baltijas jūras krastos 304 m³, Irbes šaurumā 291 m³, bet Rīgas līča Kurzemes krastā tikai 81 m³, Dienvidu krastā 140 m³ un Vidzemes krastā 103 m³.

Vidējā sanešu materiāla apjoma summa metru platā krasta šķērsgrīzumā ik pa 100 m 138,1 km krasta kopgarumā parādīta 3. pielikumā.

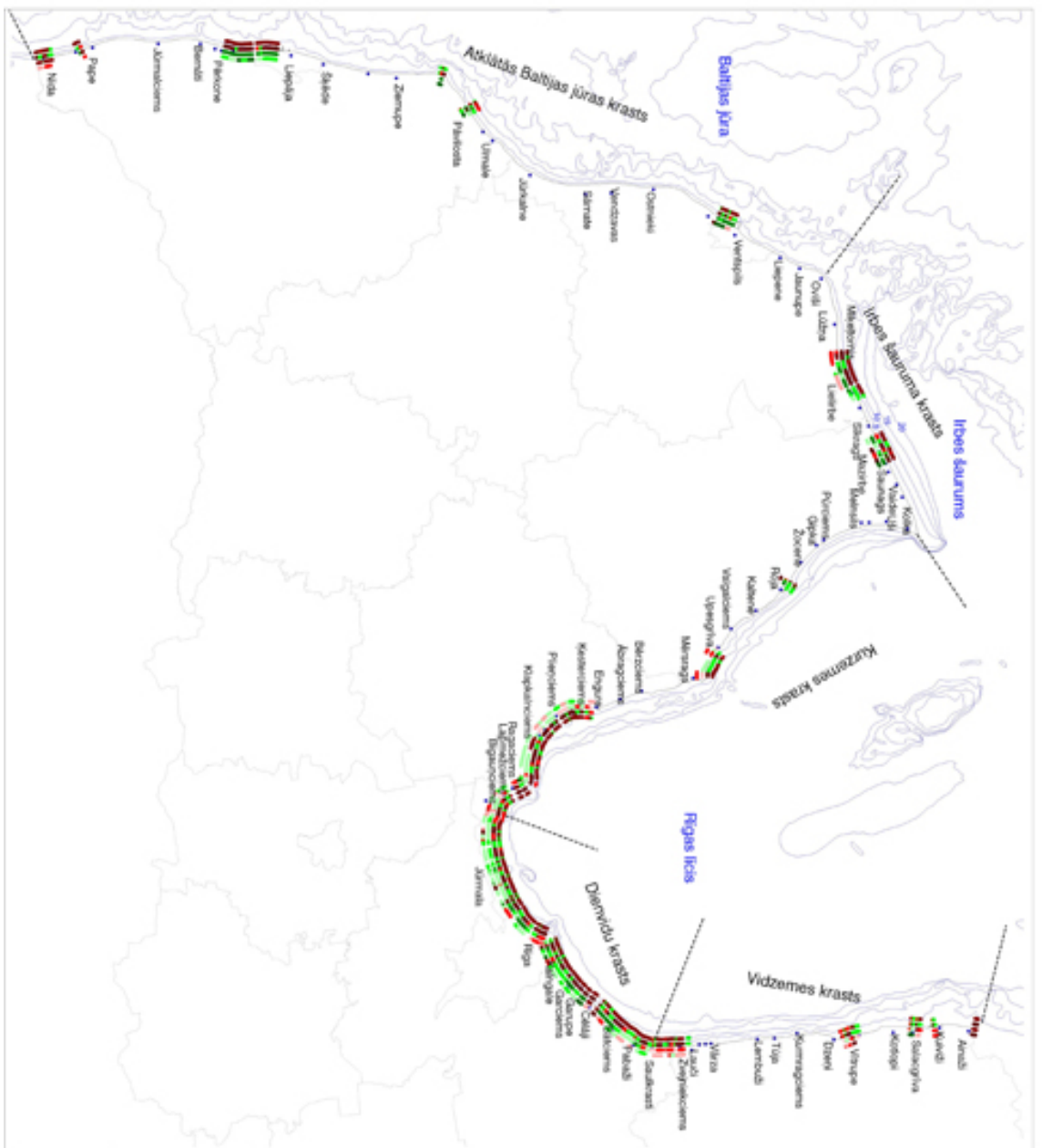
Sanešu materiāla apjoma summa apskatītajā periodā garkrasta virzienā mainījusies plašās robežās no 60 m³ līdz 790 m³ atklātās Baltijas jūras krastos, no 121 m³ līdz 544 m³ Irbes šaurumā, no 20 m³ līdz 257 m³ Rīgas līča Kurzemes krastā, no 27 m³ līdz 418 m³ Dienvidu krastā un no 28 m³ līdz 247 m³ Vidzemes krastā.

85% no analizēto krastu kopgaruma ilglaicīgā skatījumā tika konstatētas būtiskas ($p=0,05$) sanešu materiāla apjoma izmaiņas. 63% no analizēto krastu kopgaruma sanešu materiāla apjoms bija būtiski pieaudzis, 22% sanešu materiāla apjoms bija būtiski samazinājies, bet 15% sanešu materiāla apjoma ilglaicīgā attīstība bijusi nenozīmīga vai nebija raksturojama ar lineāru attīstību.

Ilglaicīgās sanešu materiāla apjoma izmaiņas un izmaiņu trenda vērtības Latvijas piekrastē parādītas 42. attēlā.

Sanešu materiāla ilglaicīgās attīstības trendu sadalījums pa monitoringa stacijām parādīts 10. tabulā. Tikai divās monitoringa stacijās ilglaicīgā skatījumā visā stacijas garumā ir vērojama vienota sanešu materiāla attīstības tendence. Liepāja visā stacijas garumā sanešu materiāla apjoms ilglaicīgā skatījumā bija būtiski pieaudzis un monitoringa stacijā randu pļavas pie Ainažiem būtiski samazinājies. Pārējās monitoringa stacijās garkrasta virzienā bija raksturīga pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla apjoma izmaiņu attīstības posmu mija.

Sanešu materiāla apjoma ilglaicīgā attīstība pa krasta rajoniem liecina, ka 74% no atklātās Baltijas jūras krastiem bija vērojama būtiska materiāla apjoma palielināšanās. Sanešu materiāla apjoma pozitīva attīstība ilglaicīgā skatījumā dominēja monitoringa stacijās: Pape, Liepāja, Pāvilosta, Ventspils. Tikai 16% materiāla apjoms ilglaicīgā skatījumā bija samazinājies. Izteikts negatīvs attīstības trends novērots monitoringa stacijā Nida.



42. att. Mūsdienu līdzeno jūras krastu pārtuma un sarežģītu materiālu apjoma izmaiņās laikā no 1987. līdz 2004. gadam.

1. Erija (no jūrai). Sarežģītu materiālu apjoma summas izmaiņu būtiskums

2. Erija. Mūsdienu jūras krasta pārtuma izmaiņu būtiskums

3. Erija. Sarežģītu materiālu apjoma izmaiņu tendence

4. Erija. Mūsdienu jūras krasta pārtuma izmaiņu tendence

- █ Izaugsmes tendence (viena vai 2 m/10 gadi)
- █ Vidēja mēģinājuma (1 līdz 2 m/10 gadi)
- █ Vidēja samazinājuma (1 līdz 1 m/10 gadi)
- █ Vidēja samazinājuma (1 līdz 4 m/10 gadi)
- █ Izaugsmes tendence (viena vai 2 m/10 gadi)

- Apdzīvotās vietas krastu tuvumā
- ◊ Administratīvās robežas
- ▧ Izstrāde
- ▨ Rūpniecība
- ⋯ Krasta līnija
- ⋯ Krasta līniju nobīdās

Kartes pārveido: LU Ģeogrāfijas un Ģeomorfoloģijas katedra



Autors: Aigis Tolstare
 Latvijas Universitāte
 Ģeogrāfijas un Zemes zinātnu fakultāte

Krasta posmi monitoringa stacijās ar pozitīvu, negatīvu vai neizteiktu ilglaicīgo sanešu materiāla apjoma izmaiņu trendu (periodā no 1987. līdz 2004. gadam)

Krasta rajons	Monitoringa stacija	Sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies % no kopgaruma	Sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Sanešu materiāla apjoms nav būtiski (p=0,05) mainījies % no kopgaruma
Atklātās Baltijas jūras krasts	Nida	87	6	7
	Pape	29	71	
	Liepāja		100	
	Pāvilosta	23	65	12
	Ventspils		74	26
Irbes šauruma krasts	Lielirbe	12	75	13
	Mazirbe		78	22
Rīgas līča Kurzemes krasts	Roja	21	36	43
	Mērsrags	33	57	10
	Engure	50	33	17
	Ķesterciems	39	44	17
	Pļieņciems	20	69	11
	Klapkalnciems	73	27	
	Klapkalnciems-Ragaciems		65	35
	Ragaciems	40	60	
	Lapmežciems	20	47	33
Rīgas līča Dienvidu krasts	Jūrmala	7	72	21
	Buļļusala	18	78	4
	Mangaļu pussala	31	63	6
	Kalngale		92	8
	Garupe	21	79	
	Gauja-Lilaste	9	73	18
	Pabaži-Skulte	64	27	8
Rīgas līča Vidzemes krasts	Zvejniekiems	71		29
	Vitrupe	39	11	50
	Salcgrīva	56	13	31
	Kuiviži	67		33
	Ainaži	100		

Irbes šauruma krastos 76% bija konstatēta būtiska materiāla apjoma palielināšanās un tikai 9% materiāla apjoms ilglaicīgā skatījumā bija samazinājies. Ilglaicīga negatīva sanešu materiāla apjoma attīstība novērota posmā Lielirbes stacijas rietumu daļā (42. att.).

Rīgas līča Kurzemes krastā sanešu materiāla apjoms bija būtiski pieaudzis 50% un būtiski samazinās 35% (42. att.). Šeit raksturīga lokāla pozitīvas un negatīvas attīstības posmu mija. Ilglaicīgā skatījumā negatīva sanešu materiāla apjoma attīstība mūsdienu jūras

krastu virsūdens daļā dominējusi monitoringa stacijās: Engure, Klapkalnciems. Pozitīva attīstība dominējusi monitoringa stacijās Mērsragā, Ķesterciemā, Plieņciemā, Klapkalnciemā-Ragaciemā, Ragaciemā, Lapmežciemā. Monitoringa stacijā Rojā dominējuši krasta posmi, kuros sanešu materiāla apjoma izmaiņās vienota lineāra tendence nebija izdalāma (10. tab.).

Līča Dienvidu krastā 72% sanešu materiāla apjoms bija būtiski pieaudzis un 15% būtiski samazinājies (42. att.). Ilglaicīgā skatījumā pozitīva sanešu materiāla apjoma attīstība mūsdienu jūras krastu virsūdens daļā dominējusi visās monitoringa stacijās: Jūrmala, Buļļusala, Mangaļu pussala, Kalngale, Garupe, Gauja-Lilaste. Tikai monitoringa stacijā Pabaži-Skulte ilglaicīgā skatījumā sanešu materiāls lielākajā iecirkņa daļā samazinājās.

Vidzemes krastā ilglaicīgā skatījumā dominējusi sanešu materiāla apjoma samazināšanās 59%, tikai 6% sanešu materiāla apjoms ilglaicīgi būtiski pieaudzis (42. att.). Ilglaicīgā skatījumā negatīva sanešu materiāla apjoma attīstība mūsdienu jūras krastu virsūdens daļā dominējusi monitoringa stacijās: Zvejniekiems, Salacgrīva, Kuiviži, randu pļavas pie Ainažiem. Monitoringa stacijā Vitrupe dominējuši krasta posmi, kuros vienota lineāra attīstības tendence nebija izdalāma.

Sanešu materiāla apjoma maksimālās izmaiņas laikā no 1987. līdz 2004. gadam

Maksimālās novērotās sanešu materiāla apjoma izmaiņas krasta šķērsgrīzumā laika posmā no 1987. līdz 2004. gadam mainījušās plašās robežās no 5 m³/m līdz 250 m³/m. Sanešu materiāla apjoma izmaiņas vērtētas ik pa 100 metriem garkrasta virzienā dažādos lēzeno krastu iecirkņos ar kopējo garumu 138,1 km. Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums parādīts 11. tabulā.

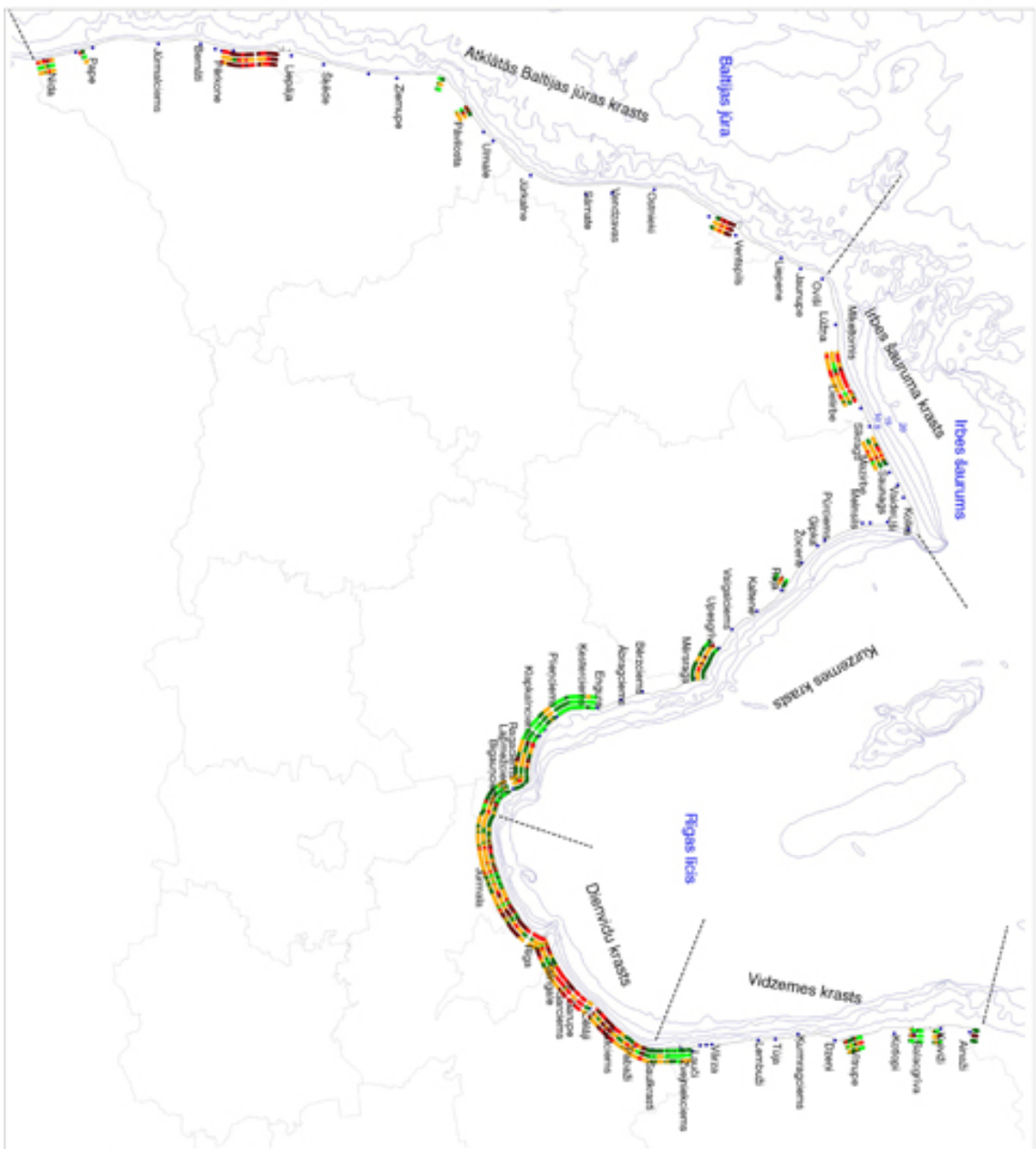
11. tabula

Sanešu materiāla apjoma maksimālo izmaiņu klases laika periodā no 1987. līdz 2004. gadam

Klase	Sanešu materiāla apjoma izmaiņas (m ³ /m)	Izmaiņu raksturojums
1	līdz 15	ļoti mazas izmaiņas
2	15 - 25	mazas izmaiņas
3	25 - 65	vidējas izmaiņas
4	65 - 105	lielas izmaiņas
5	virs 105	ļoti lielas izmaiņas

Sanešu materiāla apjoma maksimālās izmaiņas Latvijas piekrastē raksturotas 43. attēlā. Pa krasta rajoniem lielākās sanešu apjoma izmaiņas novērotas atklātās Baltijas jūras krastā. Šeit vidējās maksimālās sanešu apjoma izmaiņu vērtības bija 78 m³/m. Lielākās maksimālās apjoma izmaiņas novērotas Liepājā vidēji 100 m³/m, Ventspilī vidēji 75 m³/m. Nidā, Papē un Pāvilostā sanešu materiāla apjoma maksimālās izmaiņas krasta šķērsgrīzumā bija vidēji 50 m³/m.

Irbes šauruma krastā sanešu maksimālās apjoma izmaiņas bija vidēji 50 m³/m; Lielirbē vidēji 55 m³/m, Mazirbē vidēji 45 m³/m.



43. att. Mūsdienīgu krastu un jūras krastu maksimālās izmaiņas laikā no 1907. līdz 2004. gadam.

1. Irija (no jūras) - atvērti atļūva jaurā

- 15 līdz 30 m/10m
- 30 līdz 50 m/10m
- 50 līdz 60 m/10m
- 60 līdz 100 m/10m
- 100 līdz 200 m/10m

2. Irija - maksimālās krasta platuma izmaiņas

- 8 līdz 15 m
- 15 līdz 20 m
- 20 līdz 25 m
- 25 līdz 40 m
- 40 līdz 45 m
- 45 līdz 60 m

3. Irija - maksimālās sarakstu materiāla apgārna izmaiņas

- 842 līdz 19 cilvēkiem
- 19 līdz 25 cilvēkiem
- 25 līdz 65 cilvēkiem
- 65 līdz 105 cilvēkiem
- 105 līdz 150 cilvēkiem

- Apsūdzības vietas krasta suvurā
- Administratīvās robežas
- Iriju robežas
- Krasta noplūde robežas

Kartes ģenerātors: IJL Ģeogrāfijas un Ģeoteknoloģijas katedra



Autors: Aija Tonkare
 Latvijas Universitāte
 Ģeogrāfijas un Zemes zinātnu fakultāte

Rīgas līča Kurzemes krastā maksimālās sanešu materiāla apjoma izmaiņas bija vidēji 24 m³/m. Rojā, Engurē, Ķesterciemā vidēji līdz 15 m³/m, Mērsragā, Pļieņciemā vidēji ap 20 m³/m, Klapkalnciemā, Ragaciemā vidēji ap 30 m³/m un Klapkalnciema – Ragaciema bākas posmā vislielākās izmaiņas vidēji 45 m³/m.

Dienvidu krastā sanešu materiāla apjoma izmaiņu amplitūda bija lielāka. Vidēji maksimālās sanešu apjoma izmaiņas bija 54 m³/m. Ar ļoti lielu mainību izcēlās krasta posmi Rīgas līča dienvidos monitoringa stacijās: Buļļusala vidēji 77 m³/m, Mangaļu pussala vidēji 74 m³/m, Mežciems – Gauja vidēji 72 m³/m un Gauja – Lilaste vidēji 90 m³/m. Pārējās monitoringa stacijās maksimālās sanešu materiāla apjoma izmaiņas mainījās vidēji no 25 līdz 50 m³/m.

Rīgas līča Vidzemes krastā maksimālās sanešu materiāla apjoma izmaiņas bija vidēji 22 m³/m un visās monitoringa stacijās ļoti tuvas rajonā vidējām vērtībām.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma ilglaicīgā attīstība

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma izmaiņas gan Baltijas jūras krastā (periodā no 1992. līdz 2003. gadam), gan Rīgas līcī (periodā no 1987. līdz 2004. gadam) raksturoja pozitīvas, negatīvas un neizteiktas virsūdens daļas platuma attīstības posmu mija (42. att.). Ilggadīgais vidējais lēzeno krastu virsūdens daļas platums apskatītajā laika periodā bija 77 m. Atklātas Baltijas jūras krastā tas bija vidēji vislielākais 113 m, Irbes šaurumā vidēji 99 m, Rīgas līča Kurzemes krastā vidēji 51 m, līča Dienvidu krastā vidēji 77 m un Vidzemes krastā vidēji 68 m.

Krasta virsūdens daļas platums garkrasta virzienā apskatītajā laika periodā mainījies plašās robežās no 34 m līdz 227 m atklātās Baltijas jūras krastos, no 47 m līdz 158 m Irbes šaurumā, no 20 m līdz 137 m Rīgas līča Kurzemes krastā, no 25 m līdz 211 m līča Dienvidu krastā un no 26 m līdz 164 m līča Vidzemes krastā.

64% no analizētā krasta kopgaruma ilglaicīgā skatījumā tika konstatētas būtiskas krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas ($p=0,05$). 37% krasta virsūdens daļas platums bija būtiski pieaudzis, 27% bija būtiski atkāpies. 36% krasta virsūdens daļas platuma ilglaicīgā attīstība bija nenozīmīga vai neuzrādīja lineāru attīstību. Ilglaicīgo krasta platumu izmaiņu trenda vērtības un to vērtējums Latvijas piekrastē parādīts 42. attēlā. Krasta virsūdens daļas platums ir ļoti mainīgs krasta raksturlielums. Visās monitoringa stacijās ir vērojama pozitīvas un negatīvas vai neizteiktas krasta virsūdens daļas platuma attīstības posmu mija (12. tab.). Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma ilglaicīgā attīstība vērtēta, nosakot pozitīvas, negatīvas vai neizteiktas attīstības tendenču posmu izplatību procentos no monitoringa staciju kopgaruma.

Mūsdienu lēzeno krastu virsūdens daļas platuma ilglaicīgā attīstība pa krasta rajoniem liecina, ka atklātās Baltijas jūras krastā krasta platums ilglaicīgi bija pieaudzis 55%, samazinājies 15%. Ilglaicīgā skatījumā mūsdienu krasta platums pieaudzis monitoringa stacijā Liepāja. Monitoringa stacijās Pāvilosta un Ventspils dominēja neizteiktas krasta platuma izmaiņas. Ilglaicīgi krasta platums samazinājies Nīdā, Papē un atsevišķos posmos Ventspilī (12. tab.). Irbes šaurumā krasta virsūdens daļas platums būtiski pieaudzis 12%, samazinājies 48%. Lielirbē un Mazirbē ilglaicīgā skatījumā dominēja krasta platuma samazināšanās (12. tab.). Rīgas līča Kurzemes krastā pludmale būtiski uzvirzījies 40%, bet būtiska krasta virsūdens daļas atkāpšanās novērota tikai 21%. Monitoringa stacijās: Roja, Mērsrags, Engure, Klapkalnciems, Lapmežciems dominējušas neizteiktas krasta virsūdens daļas platuma izmaiņas. Ilglaicīgā skatījumā krasta virsūdens daļas platuma pieaugums dominējis monitoringa stacijās: Ķesterciems, Pļieņciems, Klapkalnciems-Ragaciems (12. tab.).

Krasta posmu izplatība (procentuāli) monitoringa stacijās ar pozitīvu, negatīvu vai neizteiktu ilglaicīgo krasta virsūdens daļas platuma izmaiņu trendu (periodā no 1987. līdz 2004. gadam)

Krasta rajons	Monitoringa stacija	Virsūdens daļas platums būtiski (p=0,05) samazinājies % no kopgaruma	Virsūdens daļas platums būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Virsūdens daļas platums nav būtiski (p=0,05) mainījies % no kopgaruma
Atklātās Baltijas jūras krasts	Nida	55	6	45
	Pape	29	0	71
	Liepāja	0	87	13
	Pāvilosta	12	35	53
	Ventspils	26	29	45
Irbes šauruma krasts	Lielirbe	50	6	44
	Mazirbe	44	24	33
Rīgas līča Kurzemes krasts	Roja	21	0	79
	Mērsrags	24	0	76
	Engure	30	33	37
	Ķesterciems	17	67	16
	Pļieņciems	37	49	14
	Klapkalnciems	0	37	63
	Klapkalnciems-Ragaciems	0	78	22
	Ragaciems	40	60	0
	Lapmežciems	0	46	54
Rīgas līča Dienvidu krasts	Jūrmala	24	40	36
	Buļļusala	38	32	30
	Mangaļu pussala	33	33	34
	Kalngale	0	60	40
	Garupe	22	78	0
	Gauja-Lilaste	35	20	45
	Pabaži-Skulte	19	30	51
Rīgas līča Vidzemes krasts	Zvejniekiems	59	21	20
	Vitrupe	47	0	53
	Salcgrīva	25	31	44
	Kuiviži	67	0	33
	Ainaži	100	0	0

Rīgas līča Dienvidu krastā mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums ilglaicīgā skatījumā bija būtiski paplašinājies 38%, bet 25% būtiski samazinājies. Monitoringa stacijās līča dienvidu daļā: Jūrmalā, Buļļusalā, Mangaļu pussalā novērota pozitīvas, negatīvas un neizteiktas attīstības posmu mija. Jūrmalā nedaudz bija dominējuši krasta posmi, kur krasta platums pieaudzis (40%). Stacijā Buļļusala krasta joslas platums bija pieaudzis iecirkņa centrālajā daļā un samazinājies rietumu daļā. Mežciema - Gaujas posmā

(monitoringa stacijā Garupe) dominēja krasta uzvirzīšanās. Monitoringa stacijās: Gauja-Lilaste un Pabaži-Skulte dominēja neizteiktas platuma izmaiņas. Atsevišķos posmos vērojama gan krasta uzvirzīšanās, gan atkāpšanās (12. tab.). Vidzemes krastā dominējusi būtiska krasta virsūdens daļas platuma samazināšanās (53%). Tikai 12% mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums bija būtiski pieaudzis. Visās monitoringa stacijās ilglaicīgā skatījumā bija vērojama krasta atkāpšanās ievērojamajos posmos.

Ilglaicīgā skatījumā akumulācijas tipa krastos Rīgas līcī neatkarīgi no to formas ir vērojama tendence krastam uzvirzīties. Dinamiskā līdzsvara un noskalošanas tipiem krastu formai bija būtiska nozīme: augsti, liela platuma, ļoti liela materiāla apjoma krasti tendenciāli pieauguši zemāki, mazāka platuma un materiāla apjoma krasti tendenciāli atkāpušies. Dinamiskā līdzsvara un noskalošanas tipa krastu virsūdens daļas platuma attīstībā raksturīgas būtiskas lokālas atšķirības.

Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas maksimālo platuma izmaiņu amplitūda laikā no 1987. līdz 2004. gadam

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma izmaiņas krasta šķērsgrīzumā laika posmā no 1987. līdz 2004. gadam garkrasta virzienā mainījušās plašās robežās no 5 m līdz 94 m. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma maksimālās izmaiņas vērtētas ik pa 100 metriem garkrasta virzienā dažādos lēzeno krastu iecirkņos ar kopējo garumu 138,1 km. Krasta platuma maksimālo izmaiņu vērtējums parādīts 13. tabulā.

13. tabula

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas maksimālo platuma izmaiņu klases laika periodā no 1987. līdz 2004. gadam

Klase	Krasta platuma izmaiņas m	Izmaiņu raksturojums
1	līdz 15	ļoti mazas izmaiņas
2	15 - 20	mazas izmaiņas
3	20 - 35	vidējas izmaiņas
4	35 - 45	lielas izmaiņas
5	virš 45	ļoti lielas izmaiņas

Mūsdienu jūras krastu virsūdens daļas platuma maksimālās izmaiņas Latvijas piekrastē raksturotas 43. attēlā. Atklātās Baltijas jūras krastos virsūdens daļas platuma vidējās maksimālās izmaiņas laika periodā no 1992. līdz 2003. gadam bija 29 m: Liepājā, Ventspilī, Pāvilostā - virs 30 m, Nīdā, Papē - vidēji līdz 15 m. Irbes šaurumā krasta virsūdens platums mainījies līdzīgi atklātās Baltijas jūras krastiem vidējās maksimālās platuma izmaiņas bija 24 m; Mazirbē 27 m, Lielirbē 22 m. Rīgas līča Kurzemes krastā krasta virsūdens daļas platuma maksimālās izmaiņas garkrasta virzienā ievērojami atšķīrās. Piemēram, monitoringa stacijā Rojā krasta platuma vidējās maksimālās izmaiņas bija 46 m, Mērsragā 33 m, Engurē tikai 6 m, Ķeterciemā 15 m, Klapkalnciemā 28 m un Klapkanciema – Ragaciema iecirknī 23 m. Līča Dienvidu krastā pa krasta iecirkņiem krasta virsūdens daļas platuma vidējās maksimālās izmaiņas bija līdzīgas 20 līdz 30 m. Līča Vidzemes krastā bija izteiktas ievērojamas lokālas atšķirības: Zvejnieciemā krasta virsūdens daļas platuma vidējās maksimālās izmaiņas bija 11 m, Vitrupē 28 m, Salacgrīvā 25 m, Kuivižos 32 m un randu pļavās pie Ainažiem 54 m.

5 MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS DINAMIKAS ILGLAICĪGĀS IZMAIŅAS

JKĢPM pastāvīgie mērījumi veikti ar atkārtojamību reizi gadā. Šāds mērījumu režīms ļāva izpētīt sanešu materiāla izmaiņu intensitātes attīstību jeb dinamiku. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamika raksturota ar vairākām pazīmēm: kustībā bijušais sanešu materiāla slānis par visu novērojumu periodu, gada laikā transportētais sanešu materiāla apjoms jeb kustībā bijušais sanešu materiāla slānis (sanešu materiāla apjoma izmaiņu absolūtās vērtības) un gada laikā akumulētais/noskalotais sanešu materiāla apjoms (sanešu materiāla apjoma bilance).

Līdzīgi krasta dinamikas raksturlielumi izmantoti, analizējot morfoloģiskās izmaiņas Ziemeļjūrā MORAN projekta ietvaros (Vācija) [Siefert, 1987; Hofstede, 1991; Schüller, 1992].

5.1 Kustībā bijušais sanešu materiāla slānis

Viens no krasta mainības raksturlielumiem ir sanešu materiāla slāņa jauda (m^3/m), kas apskatītajā laika periodā ir bijusi kustībā. Kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jaudas aprēķinos izmantotas maksimālās sanešu materiāla apjoma izmaiņas katrā krasta šķērsgriezuma metrā par visu novērojumu periodu. Kustībā bijušais slānis 366 JKĢPM mērījumu profilos grafiski parādīts "Krasta ģeomorfoloģiskajā katalogā" (skatīt nodaļā "Pētījumu materiāli un metodes"). Kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jauda garkrasta virzienā ik pa 100 m 138,1 km kopgarumā parādīta 2. pielikumā.

Visā novērojumu periodā lielākās mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas izmaiņas ir novērotas monitoringa stacijās: Liepāja, Ventspils, Jūrmala, Buļļusala, Mangaļsala. Šajās stacijās atsevišķos krasta posmos kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jauda laika periodā kopš veikts monitorings pārsniedza $150 m^3$ uz vienu metru platu krasta joslu. Kustībā bijušā slāņa jauda Latvijas piekrastē parādīta 43. attēlā.

Lielākās novērotās mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas izmaiņas būtiski atšķiras pa krasta rajoniem:

Atklātās Baltijas jūras mūsdienu jūras krastā virsūdens daļā laikā kopš veikts Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings kustībā bijuši vidēji $100 m^3/m$: stacijās Nida, Pape, Pavilosta vidēji $50 - 60 m^3/m$, Ventspilī, Liepājā ap $115 m^3/m$.

Irbes šauruma krastos kustībā bijuši vidēji ap $70 m^3/m$.

Vismazākā kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jauda bija Rīgas līča Kurzemes krastā stacijās Roja, Engure - Ķesterciems, Ragaciems, Plieņciems. Šeit kustībā bijuši vidēji $20 m^3/m$. Ar lielāku dinamiku izceļas iecirkņi Klapkalnciems, Klapkalnciems – Ragaciema bāka. Šeit aktīvā kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jauda vidēji bija $50 - 60 m^3/m$.

Līča Dienvidu krastā aktīvā sanešu materiāla slāņa jauda vidēji bija $50 - 80 m^3/m$, Gaujas – Lilastes posmā $108 m^3/m$.

Līča Vidzemes krastā virsūdens daļā kustībā bijuši ap $40 m^3/m$. Šeit visās monitoringa stacijās aktīvā slāņa jauda bija tuva rajona vidējām vērtībām.

5.2 Transporta intensitātes ilglaicīgās izmaiņas

Pētījumā tika pārbaudīta hipotēze, vai mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā laikā kopš veikts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings ir pieaugusi sanešu materiāla kustības intensitāte. Izvirzītā hipotēze pārbaudīta, analizējot gada laikā transportētā materiāla apjoma izmaiņas laika periodā no 1987. gada līdz 2004. gadam Rīgas līcī un no 1992. gada līdz 2003. gadam atklātās Baltijas jūras krastā.

Datu analīzē izmantota SPSS vienfaktora lineārās regresijas metode un parametra T tests. Analizētas sanešu materiāla kustības intensitātes izmaiņas krasta posmos, kuros novērojumu rindu garums vismaz 5 gadi.

Kopumā izvērtēta gada laikā transportētā sanešu materiāla apjoma ilglaicīgā dinamika ik pa 100 m garkrasta virzienā ar kopējo garumu 138,1 km.

Viena no pazīmēm, kas izmantota, raksturojot sanešu materiāla kustības intensitāti mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā, bija gada laikā kustībā bijušā sanešu materiāla slānis. Kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jaudas aprēķinos izmantotas sanešu materiāla apjoma izmaiņu absolūtās vērtības gada laikā katrā krasta šķērsriezuma metrā (1m platā krasta šērsgrīzumā). Šāds krasta dinamikas raksturlielums Latvijā pētīts pirmoreiz.

Ilggadīgais vidējais lēzenos krastos transportētā materiāla apjoms bija 14 m³/m/gadā. Lielākās sanešu materiāla transporta vērtības novērotas atklātās Baltijas jūras krasta virsūdens daļā. Šeit transporta intensitāte bijusi vidēji 23 m³/m/gadā. Irbes šaurumā gada laikā transportēti vidēji 18 m³/m, bet Rīgas līča Kurzemes krastā vidēji tikai 9 m³/m/gadā, Dienvidu krastā vidēji 14 m³/m/gadā un Vidzemes krastā vidēji 9 m³/m/gadā.

Lēzeno krastu transporta intensitātes izmaiņās Baltijas jūras krastā (periodā no 1992. līdz 2003. gadam) un Rīgas līcī (periodā no 1987. līdz 2004. gadam) vienotas attīstības tendences nav izdalāmas. Vērojama lokāla posmu mija, kuros transporta intensitāte bija pieaugusi, samazinājusies vai bija bez būtiskām izmaiņām.

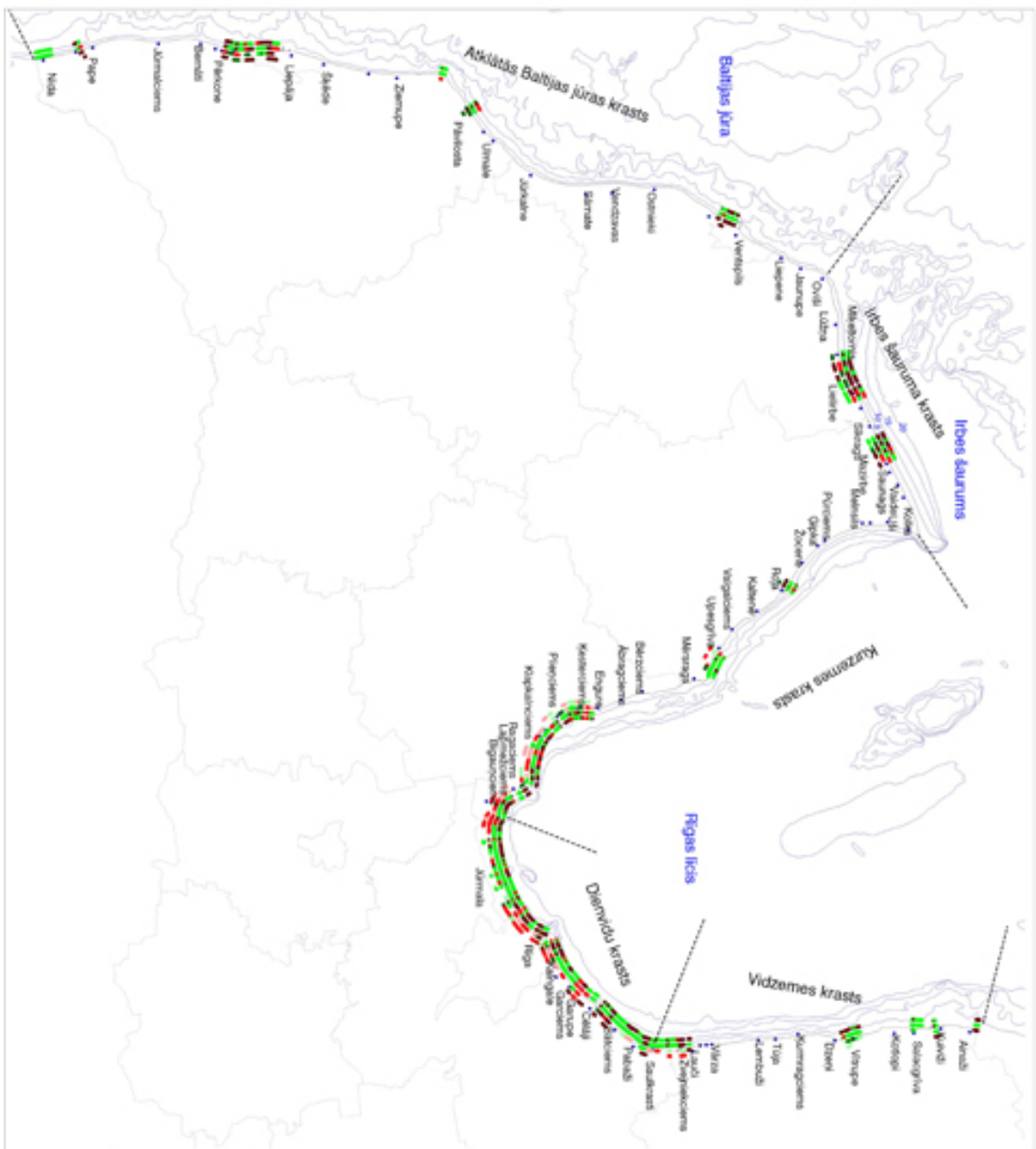
Transporta intensitātes trenda vērtību sadalījums ik pa 100 m 138,1 km krasta līnijas garumā parādīts 2. pielikumā.

Ilglaicīgo transporta intensitātes izmaiņu trenda vērtības Latvijas piekrastē parādītas 44. attēlā.

Pie ticamības līmeņa (95%) tika konstatētas būtiskas transporta intensitātes izmaiņas 58% no pētītā krasta kopgaruma: 25% transporta intensitāte bija būtiski pieaugusi, 33% gada laikā transportētā materiāla apjoms bija būtiski samazinājies. 42% transporta intensitātes ilglaicīgas izmaiņas bija nenozīmīgas vai neuzrādīja lineāru attīstību.

Transporta intensitātes ilglaicīgās attīstības analīzes rezultāti pa krasta rajoniem liecināja, ka 50% no analizētā krasta kopgaruma atklātās Baltijas jūras piekrastē transporta intensitāte neuzrāda lineāru attīstības trendu, 29% tā bija samazinājusies un tikai 21% pieaugusi. Transporta intensitāte ilglaicīgā skatījumā pieaugusi procentuāli lielākajā daļā no monitoringa staciju kopgaruma Pāvilostā un Liepājā (14. tab.).

Irbes šauruma krastos 39% no monitoringa staciju kopgaruma transporta intensitāte nebija mainījusies, 36% samazinājusies un 25% pieaugusi. Irbes šauruma krastos raksturīga posmu mija, kuros transporta intensitāte pieaugusi, samazinājusies vai neuzrādīja vienotu tendenci (14. tab.).



44. att. Transporta un akumuluācijas intensitātes līdztendence izmaiņās (no 1997. līdz 2004. gadam).

1. Erija (no gaiši - sarkanai maioriāla transporta intensitātes izmaiņu būsiskums)

- Būsiskās izmaiņas pāri sarkanās līmeņa 95 %
- Būsiskās izmaiņas pāri sarkanās līmeņa 90%
- izmaiņas mazāks būsiskās līmeņa

2. Erija - akumuluācijas izmaiņu būsiskums

- Būsiskās izmaiņas pāri sarkanās līmeņa 95 %
- Būsiskās izmaiņas pāri sarkanās līmeņa 90%
- izmaiņas mazāks būsiskās līmeņa

3. Erija - transporta intensitātes izmaiņu tendence

- Transporta samazāšanās vārdā pāri 2 reizi/10 gadi
- Transporta samazāšanās no 0,5 līdz 2 reizi/10 gadi
- Transporta pāri 0,5 reizi/10 gadi
- Transporta pāri no 0,5 līdz 1 reizi/10 gadi
- Transporta pāri vārdā pāri 1 reizi/10 gadi

4. Erija - akumuluācijas intensitātes izmaiņu tendence

- Akumuluācijas samazāšanās vārdā pāri 1 reizi/10 gadi
- Akumuluācijas samazāšanās no 0,5 līdz 1 reizi/10 gadi
- Akumuluācijas pāri 0,5 reizi/10 gadi
- Akumuluācijas pāri no 0,5 līdz 1 reizi/10 gadi
- Akumuluācijas pāri vārdā pāri 1 reizi/10 gadi

- Apdzīvotās vārdā krāsā būsiskums
- Administratīvās robežas
- Izobātas
- Krāsā Erija
- Krāsā rajonu robežas

Kartes ģenerātors: IJL Ģeogrāfijas un Ģeoinženierijas katedra



Autors: Aija Torkštre
 Latvijas Universitāte
 Ģeogrāfijas un Zemes zinātnu fakultāte

Krasta posmu izplatība monitoringa stacijās ar pozitīvu, negatīvu vai neizteiktu ilglaicīgo transporta intensitātes izmaiņu trendu (periodā no 1987. līdz 2004. gadam)

Krasta rajons	Monitoringa stacija	Transporta intensitāte būtiski (p=0,05) samazinājusies % no kopgaruma	Transporta intensitāte būtiski (p=0,05) pieaugusi % no kopgaruma	Transporta intensitāte nav būtiski (p=0,05) mainījusies % no kopgaruma
Atklātās Baltijas jūras krasts	Nīda	0	0	100
	Pape	71	0	29
	Liepāja	26	34	40
	Pāvilosta	23	59	18
	Ventspils	58	0	42
Irbes šauruma krasts	Lielirbe	36	20	44
	Mazirbe	36	33	31
Rīgas līča Kurzemes krasts	Roja	36	14	50
	Mērsrags	7	15	78
	Engure	37	20	43
	Ķesterciems	16	67	17
	Pļieņciems	20	29	51
	Klapkalnciems	26	37	37
	Klapkalnciems-Ragaciems	86	0	14
	Ragaciems	0	60	40
	Lapmežciems	60	20	20
Rīgas līča Dienvidu krasts	Jūrmala	34	28	38
	Buļļusala	64	4	32
	Mangaļu pussala	37	40	23
	Kalngale	30	0	70
	Garupe	25	21	54
	Gauja-Lilaste	42	9	49
	Pabaži-Skulte	24	37	39
Rīgas līča Vidzemes krasts	Zvejniekiems	29	27	44
	Vitrupe	0	64	36
	Salcgrīva	0	25	75
	Kuiviži	0	67	33
	Ainaži	100	0	0

Rīgas līča Kurzemes krastā 41% no pētītā krasta kopgaruma materiāla transporta intensitāte nebija mainījusies, 32% bija būtiski samazinājusies un 27% bija būtiski pieaugusi. Ķesterciemā un Ragaciemā dominējuši krasta posmi, kuros transporta intensitāte pieaugusi, bet Klapkanciema - Ragaciema un Lapmežciema monitoringa stacijās dominējusi būtiska sanešu materiāla transporta samazināšanās (14. tab.).

Līča Dienvidu krastā ilglaicīgā skatījumā dominējusi neizteikta sanešu transporta attīstība 42% no kopgaruma, 36% transporta intensitāte samazinājusies un 22% pieaugusi. Šeit raksturīga lokāla posmu mija, kuros transporta intensitāte būtiski pieaugusi, būtiski samazinājusies vai neuzrādīja vienotu tendenci. Monitoringa stacijā Buļļusala garkrasta sanešu transporta intensitāte tendenciāli bija samazinājusies. Arī Gaujas – Lilastes posmā transporta intensitāte tendenciāli samazinājusies (14. tab.).

Vidzemes krasts izcēlās ar lielāko transporta intensitātes pieaugumu. Šeit 41% no pētītā krasta kopgaruma transporta intensitāte bija būtiski pieaugusi, 42% tā nebija mainījies un tikai 17% bija būtiski samazinājusies. Transporta intensitāte bija pieaugusi visās monitoringa stacijās (14. tab.), izņemot randu pļavas pie Ainažiem, kur transporta intensitāte bija samazinājusies.

5.3 Akumulācijas intensitātes ilglaicīgās izmaiņas

Pētījumā tika pārbaudīta hipotēze, vai mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā laikā kopš veikts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings sanešu materiāla akumulācijas intensitāte pieaugusi.

Izvirzītā hipotēze pārbaudīta, analizējot gada laikā akumulētā materiāla apjoma izmaiņas laika periodā no 1987. gada līdz 2004. gadam Rīgas līcī un no 1992. gada līdz 2003. gadam atklātās Baltijas jūras krastā.

Datu analīzē izmantota SPSS vienfaktora lineārās regresijas metode un parametra T tests. Analizētas sanešu materiāla akumulācijas intensitātes izmaiņas krasta posmos, kuros novērojumu rindu garums vismaz 5 gadi.

Kopumā izvērtēta gada laikā akumulētā un noskalotā sanešu materiāla apjoma ilglaicīgā dinamika ik pa 100 m garkrasta virzienā ar kopējo garumu 138,1 km (2. pielikums).

Ilglaicīgo akumulācijas intensitātes izmaiņu trenda vērtības Latvijas piekrastē parādītas 44. attēlā.

Gada laikā akumulēto sanešu materiāla apjoma izmaiņas jeb akumulācijas intensitātes izmaiņas gan Baltijas jūras krastā (periodā no 1992. līdz 2003. gadam), gan Rīgas līcī (periodā no 1987. līdz 2004. gadam) vienotas attīstības tendences neuzrādīja.

33% no pētītā krasta kopgaruma ilglaicīgā skatījumā tika konstatētas būtiskas ($p=0,05$) akumulācijas intensitātes izmaiņas: 10% akumulācijas intensitāte bija būtiski pieaugusi, 23% samazinājusies un 67% neuzrādīja vienotu attīstības trendu.

Akumulācijas intensitātes attīstība pa krasta rajoniem liecināja, ka 70% no lēzenajiem mūsdienu jūras krastiem atklātās Baltijas jūras piekrastē akumulācijas intensitāte neapstiprināja lineāru attīstības trendu. 24% akumulācijas intensitāte bija būtiski samazinājusies un tikai 6% būtiski pieaugusi (15. tab.).

Irbes šaurumā 38% no krasta posmu kopgaruma akumulācijas intensitāte neuzrādīja lineāru attīstības trendu. 24% tā bija būtiski samazinājusies un 38% būtiski pieaugusi (15. tab.).

Rīgas līča Kurzemes krastā 70% no pētītā krasta kopgaruma materiāla akumulācijas intensitāte neapstiprināja lineāru attīstības trendu, 17% bija samazinājusies un 13% pieaugusi (15. tab.).

Dienvidu krastā ilglaicīgā skatījumā dominēja neizteikta akumulācijas attīstība 69%, 27% akumulācijas intensitāte bija samazinājusies un tikai 4% pieaugusi.

Vidzemes krastā 82% akumulācijas intensitāte neapstiprināja lineāru attīstības trendu, 14% bija samazinājusies un 4% bija pieaugusi (15. tab.).

Krasta posmu izplatība monitoringa stacijās ar pozitīvu, negatīvu vai neizteiktu ilglaicīgo akumulācijas intensitātes izmaiņu trendu (periodā no 1987. līdz 2004. gadam)

Krasta rajons	Monitoringa stacija	Akumulācijas intensitāte būtiski (p=0,05) samazinājusies % no kopgaruma	Akumulācijas intensitāte būtiski (p=0,05) pieaugusi % no kopgaruma	Akumulācijas intensitāte nav būtiski (p=0,05) mainījusies % no kopgaruma
Atklātās Baltijas jūras krasts	Nida	0	0	100
	Pape	29	0	71
	Liepāja	41	8	51
	Pāvilosta	0	23	77
	Ventspils	15	0	85
Irbes šauruma krasts	Lielirbe	24	42	34
	Mazirbe	24	31	45
Rīgas līča Kurzemes krasts	Roja	0	14	86
	Mērsrags	13	9	78
	Engure	30	20	50
	Ķesterciems	17	28	55
	Pļieņciems	17	14	69
	Klapkalnciems	0	0	100
	Klapkalnciems-Ragaciems	27	14	59
	Ragaciems	0	0	100
	Lapmežciems	27	0	73
Rīgas līča Dienvidu krasts	Jūrmala	20	4	76
	Buļļusala	66	10	24
	Mangaļu pussala	46	14	40
	Kalngale	0	0	100
	Garupe	79	0	21
	Gauja-Lilaste	26	0	74
	Pabaži-Skulte	25	0	75
Rīgas līča Vidzemes krasts	Zvejniekiems	26	0	74
	Vitrupe	0	11	89
	Salcgrīva	0	0	100
	Kuiviži	67	0	33
	Ainaži	0	0	100

6 MŪSDIENU LĒZENO JŪRAS KRASTU VIRSŪDENS DAĻAS IZMAIŅAS PA GADIEM

Laika posms, kādā iespējamas maksimālās morfoloģiskās izmaiņas, ir atkarīgs no enerģijas spektra. Jo īsākā laika posmā tiek sasniegtas maksimālās izmaiņas, jo lielāka morfoloģiskā mainība (dinamika). Īslaicīgās izmaiņas krasta dinamikas skatījumā ir izmaiņas, kuru ilgstamība ir līdz vienam gadam (atsevišķos gadījumos maksimāli daži gadi). Īslaicīgās izmaiņas pludmales platumā un morfoloģijā galvenokārt ir saistītas ar viļņošanās parametru variāciju un materiāla piegādes izmaiņām [Davidson-Arnott, Law, 1990]. Visintensīvākās krasta virsūdens daļa izmaiņas notiek vētru augsto ūdensuzplūdu rezultātā, kad dažu dienu laikā krasta līnija Baltijas jūrā var atkāpties pat par 4 - 20 m [Kolp, 1957]. Ūdens līmeņa paaugstināšanās izjauc krasta dinamiskā līdzsvara apstākļus un noved pie jaunas krasta virsūdens reljefa izstrādes, noskalošanas procesu aktivizācijas un sanešu materiāla mobilizācijas jūrā. Tikai ar līmeņa svārstību samazināšanos un stabila jūras ūdens līmeņa sasniegšanu krasta procesu aktivitātes intensitāte samazinās. Krasts pamazām nostabilizējas, atjaunojas dinamiskā līdzsvara apstākļi starp vēja - viļņu darbību un krasta, un zemūdens nogāzes režīmiem. Bezvētru periodā vai zemas enerģijas viļņošanās laikā pludmales pakāpeniski atjaunojas [Van Rijn, 1998].

6.1 Gada laikā transportētais sanešu materiāla apjoms

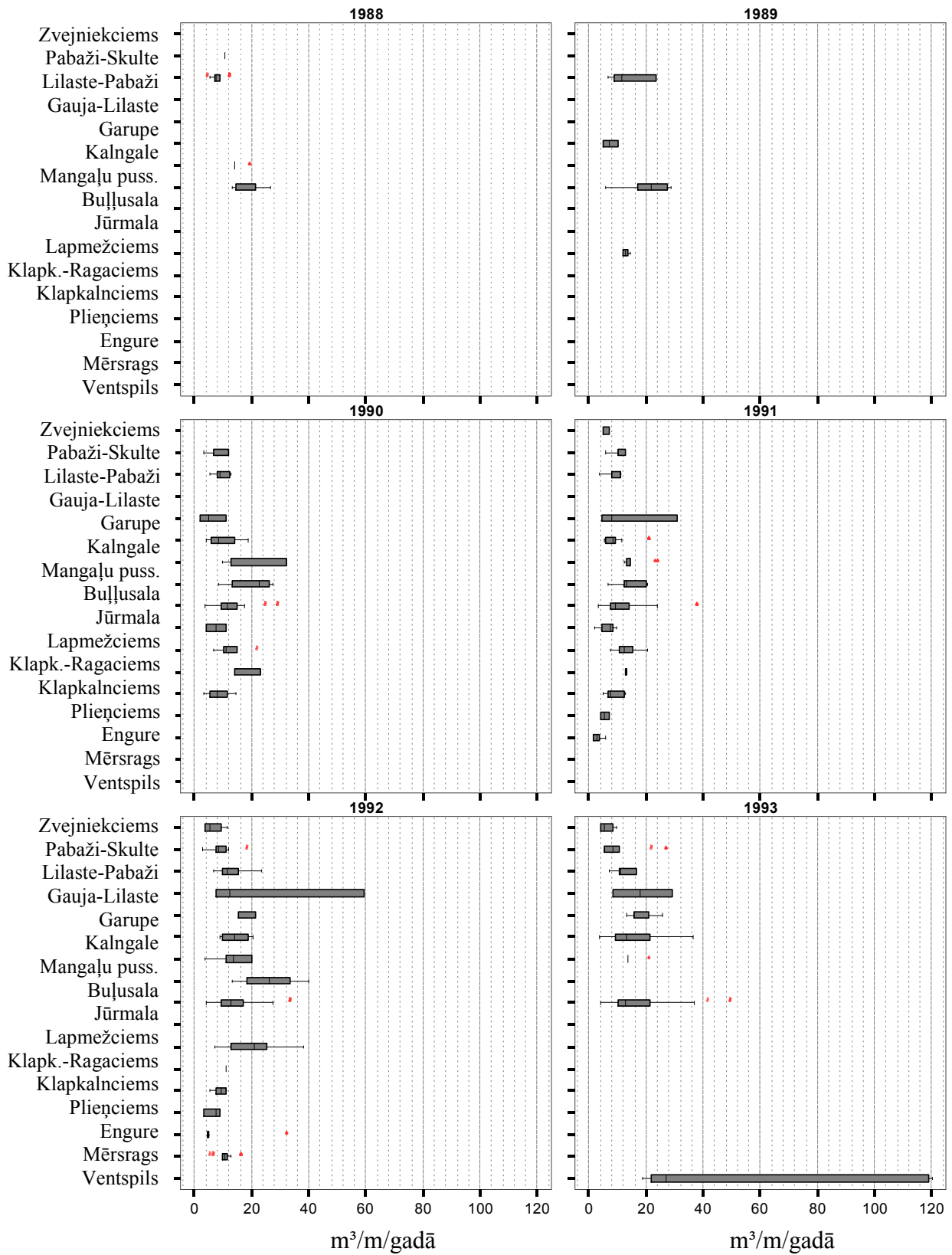
Analizējot laikā no 1987. līdz 2004. gadam (ieskaitot) gada laikā novērotās sanešu materiāla transporta intensitātes izmaiņas, veikta sanešu materiāla transporta intensitātes klasifikācija (16. tab.). Sanešu materiāla transporta intensitāte gada laikā vērtēta pēc transportētā sanešu materiāla apjoma summas m³ krasta šķērsgriezumā.

16. tabula

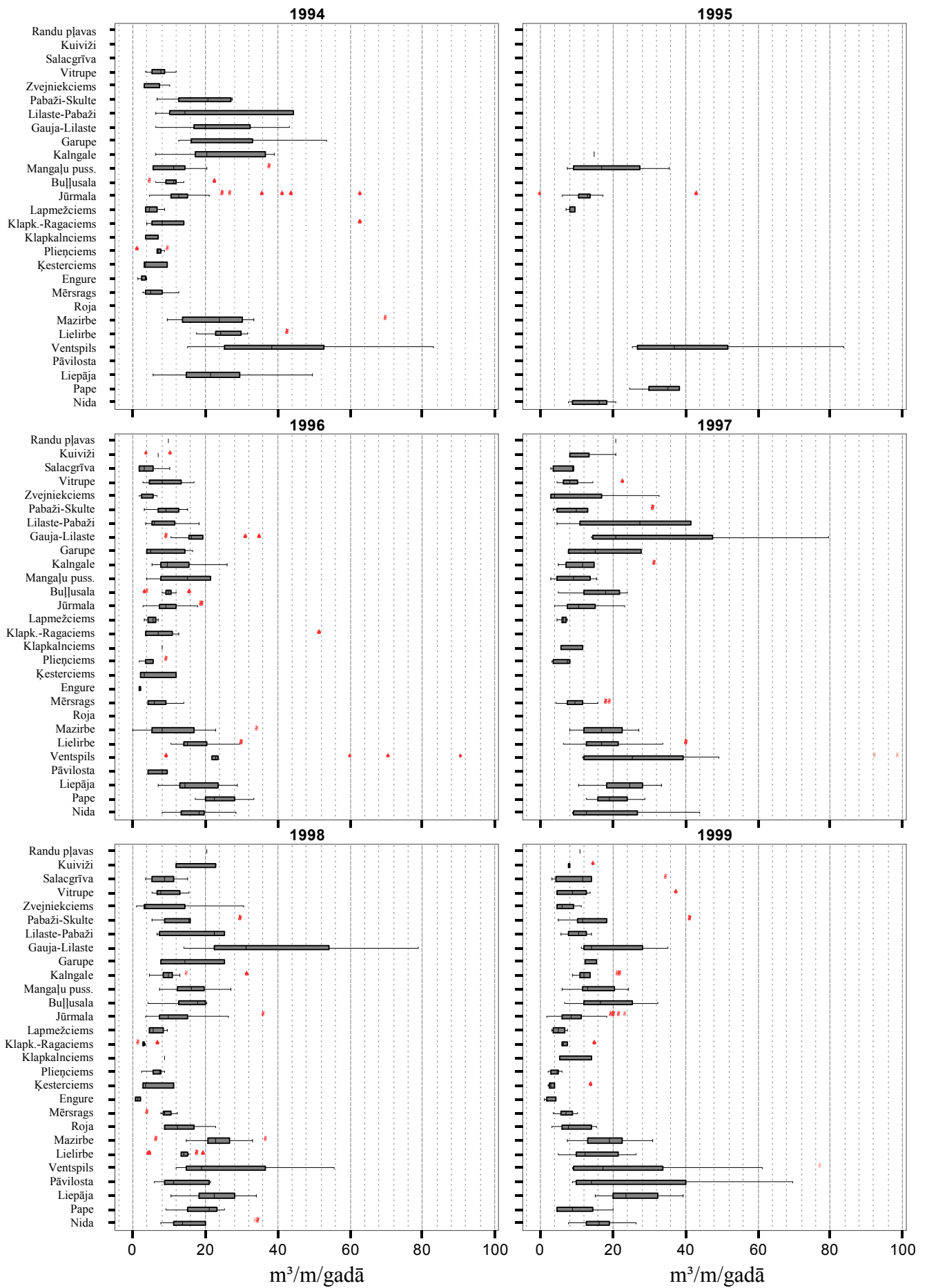
Transporta intensitātes klases pēc viena gada laikā transportā sanešu materiāla apjoma

Klase	Transportētais nogulumu apjoms m ³ /m/gadā	Intensitātes vērtējums
1	līdz 5	neizteiks transports
2	5 - 10	vājš transports
3	10 - 20	vidējs transports
4	20 - 30	intensīvs transports
5	virš 30	ļoti intensīvs transports

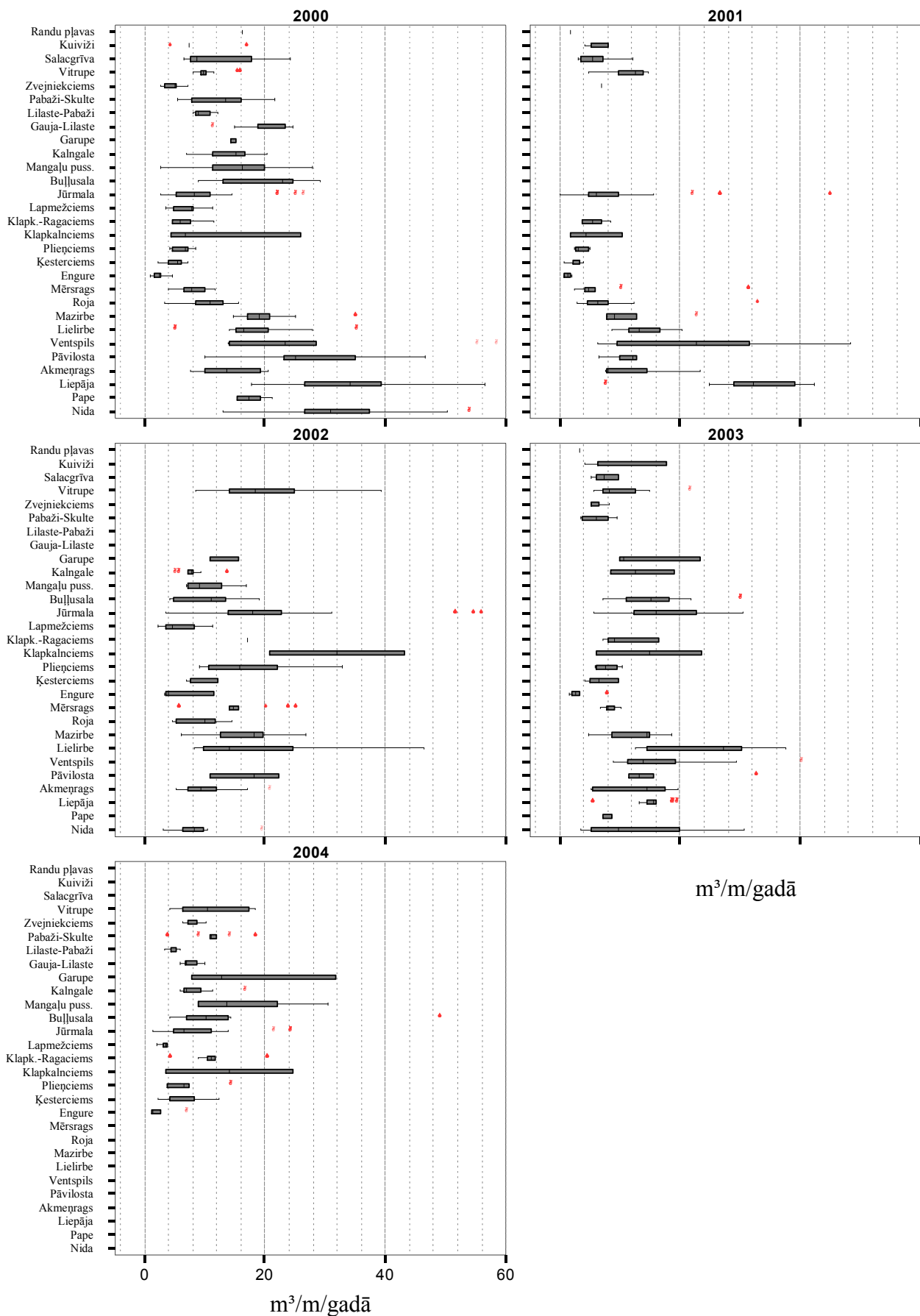
JKĢPM lauka mērījumi pa gadiem ir veikti atšķirīgi plašā krasta joslā, tādēļ transporta intensitātes tiešs salīdzinājums pa gadiem visas Latvijas piekrastē nebija iespējams. 45., 46. un 47. attēlā raksturots sanešu materiāla transporta intensitātes izkliedes intervāls pa gadiem dažādās monitoringa stacijās par visu periodu kopš veikts Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings. Transporta intensitāte ievērojami atšķiras pa monitoringa stacijām. Ievērojami lielāki transportētā sanešu materiāla apjomi novēroti Rīgas līča Dienvidu krasta monitoringa stacijās: Buļļusala, Mangaļu pussala, Kalngale, Garupe, Gauja – Lilaste. Šeit transportētā sanešu materiāla apjomi liecināja par intensīva sanešu materiāla transporta īpatsvaru. Otra monitoringa staciju grupa, kurās sanešu transporta intensitāte bijusi ievērojami lielāka, bija atklātas Baltijas jūras un Irbes šauruma monitoringa stacijas. Arī šeit dominējis intensīvs līdz ļoti intensīvs sanešu materiāla transports.



45. att. Gada laikā transportētā sanešu materiāla apjomi monitoringa stacijās no 1988. gada līdz 1993. gadam.



46. att. Gada laikā transportētā sanešu materiāla apjomi monitoringa stacijās no 1994. gada līdz 1999. gadam.



47. att. Gada laikā transportētā sanešu materiāla apjomi monitoringa stacijās no 2000. gada līdz 2004. gadam.

6.2 Gada laikā akumulētais sanešu materiāla apjoms

Analizējot laikā no 1987. līdz 2004. gadam (ieskaitot) gada laikā novērotās sanešu materiāla bilances izmaiņas, veikta akumulācijas un noskalošanas intensitātes klasifikācija. Gada laikā novērotās sanešu materiāla akumulācijas intensitātes vērtējums pēc akumulētā un noskalotā sanešu materiāla apjoma Latvijas lēzenos krastos par laika periodu no 1987. līdz 2004. gadam sniegts 16. un 17. tabulās.

17. tabula

Sanešu materiāla akumulācijas intensitātes klases pēc viena gada laikā akumulētā sanešu materiāla apjoma

Klase	Akumulētais nogulumu apjoms (m ³ /m/gadā)	Intensitātes vērtējums
1	līdz 1	Neizteikta akumulācija
2	1 - 2,5	Vāja akumulācija
3	2,5 - 12	Vidēja akumulācija
4	12 - 20	Intensīva akumulācija
5	virs 20	Ļoti intensīva akumulācija

18. tabula

Sanešu materiāla noskalošanas intensitātes klases pēc viena gada laikā noskalotā sanešu materiāla apjoma

Klase	Noskalotais sanešu materiāla apjoms (m ³ /m/gadā)	Intensitātes vērtējums
1	līdz 0,5	neizteikta noskalošana
2	0,5 - 2	vāja noskalošana
3	2 - 10	vidēja noskalošana
4	10 - 20	intensīva noskalošana
5	virs 20	ļoti intensīva noskalošana

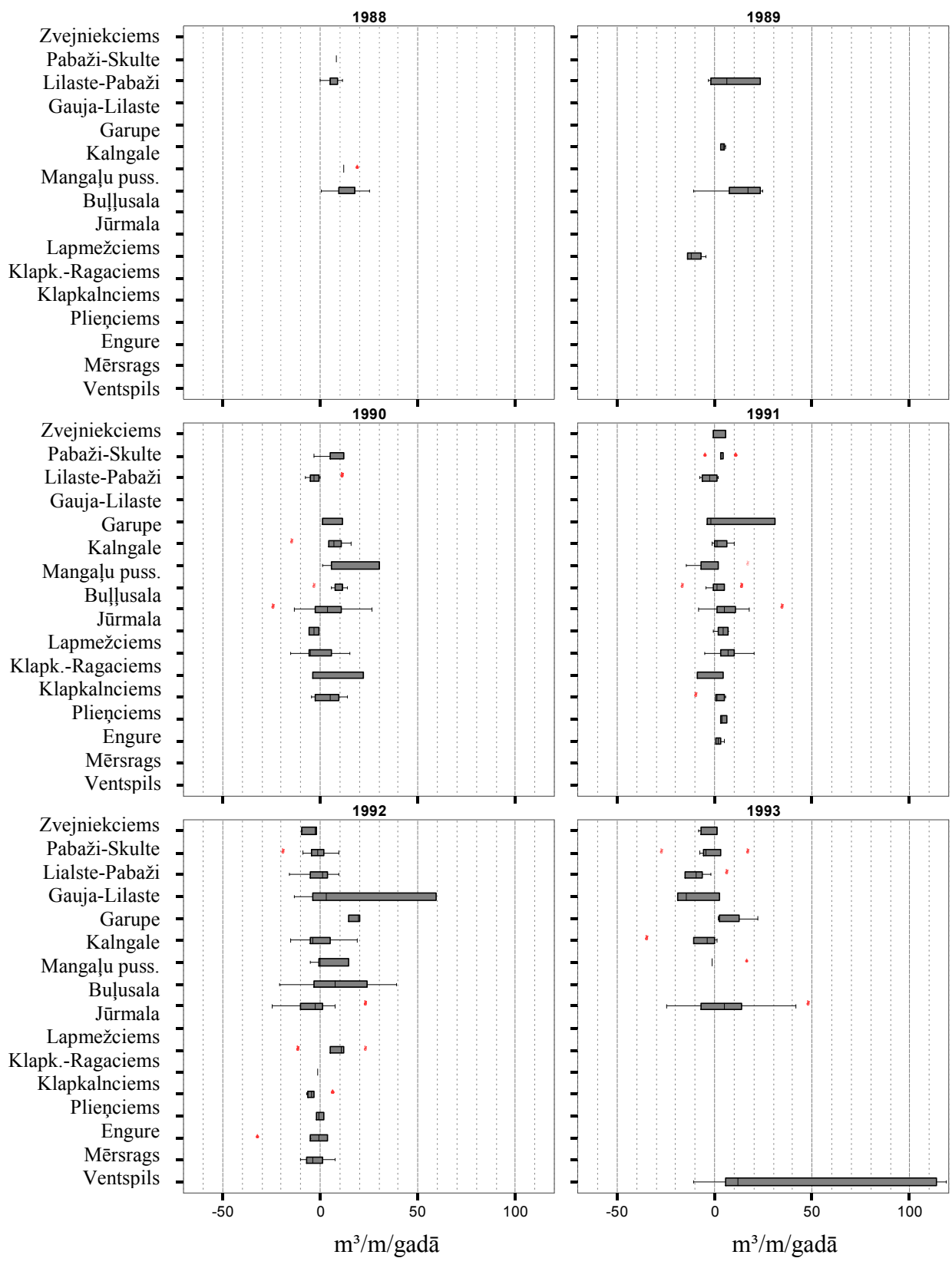
48., 49., 50. attēlā raksturota sanešu materiāla akumulācijas intensitāte pa gadiem dažādās monitoringa stacijās visā periodā kopš veikts Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā gada laikā vidēji akumulēti 0,05 m³/m²/gadā atklātās Baltijas jūras un 0,03 m³/m²/gadā Rīgas līča krastos.

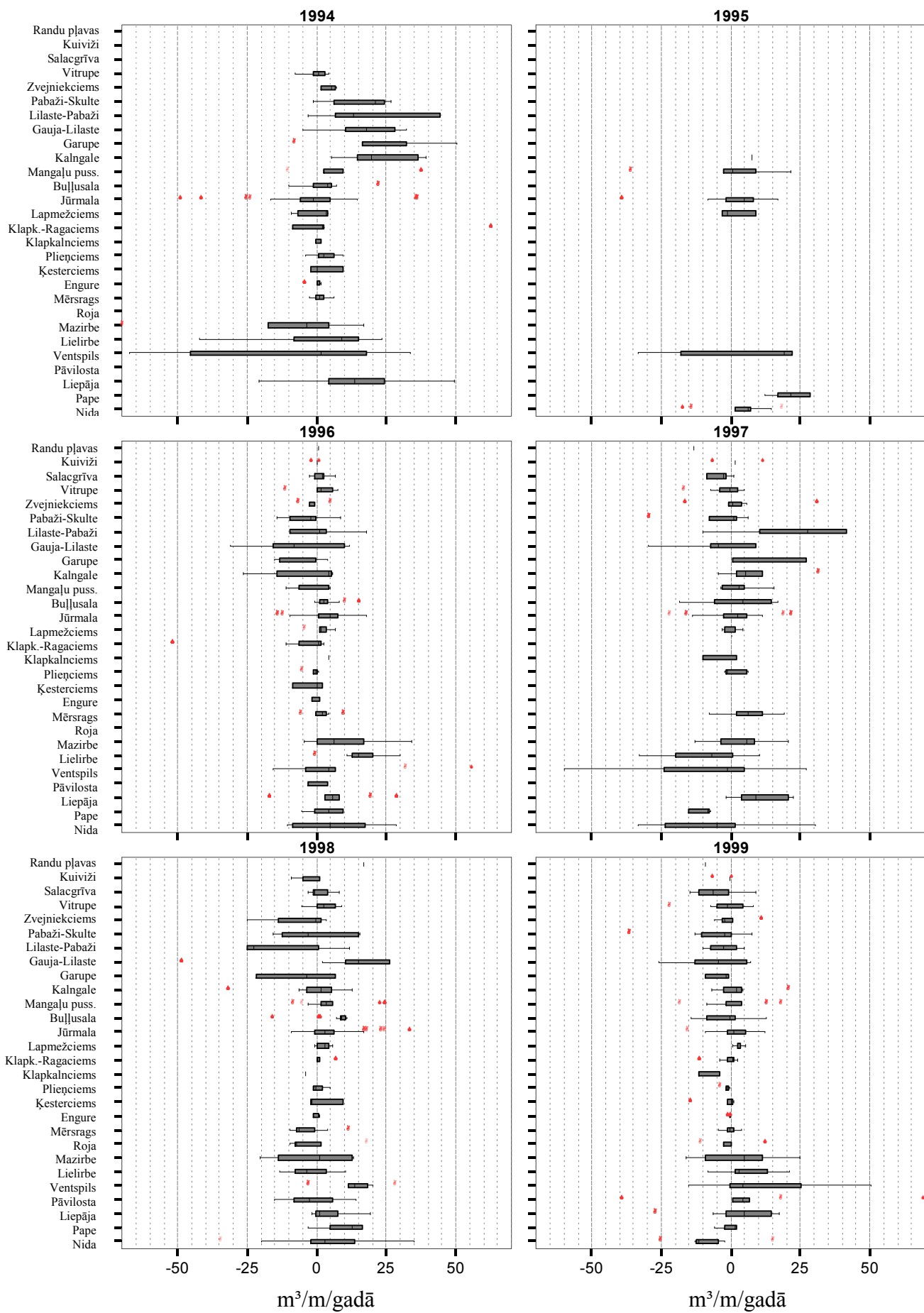
Ilggadīgā vidējā lēzenos krastos akumulētā sanešu materiāla summa krasta šķērsgrīzumā 1 m platā krasta joslā bija nedaudz virs 2 m³/m/gadā.

Atklātās Baltijas jūras krastos materiāla apjoms apskatītajā laika periodā vidēji bija pieaudzis par 4,8 m³/m/gadā, Irbes šaurumā 1,8 m³/m/gadā, Rīgas līča Kurzemes krastā 0,3 m³/m/gadā, līča Dienvidu krastā 2,6 m³/m/gadā, bet Vidzemes krastā samazinājies par 0,7 m³/m/gadā.

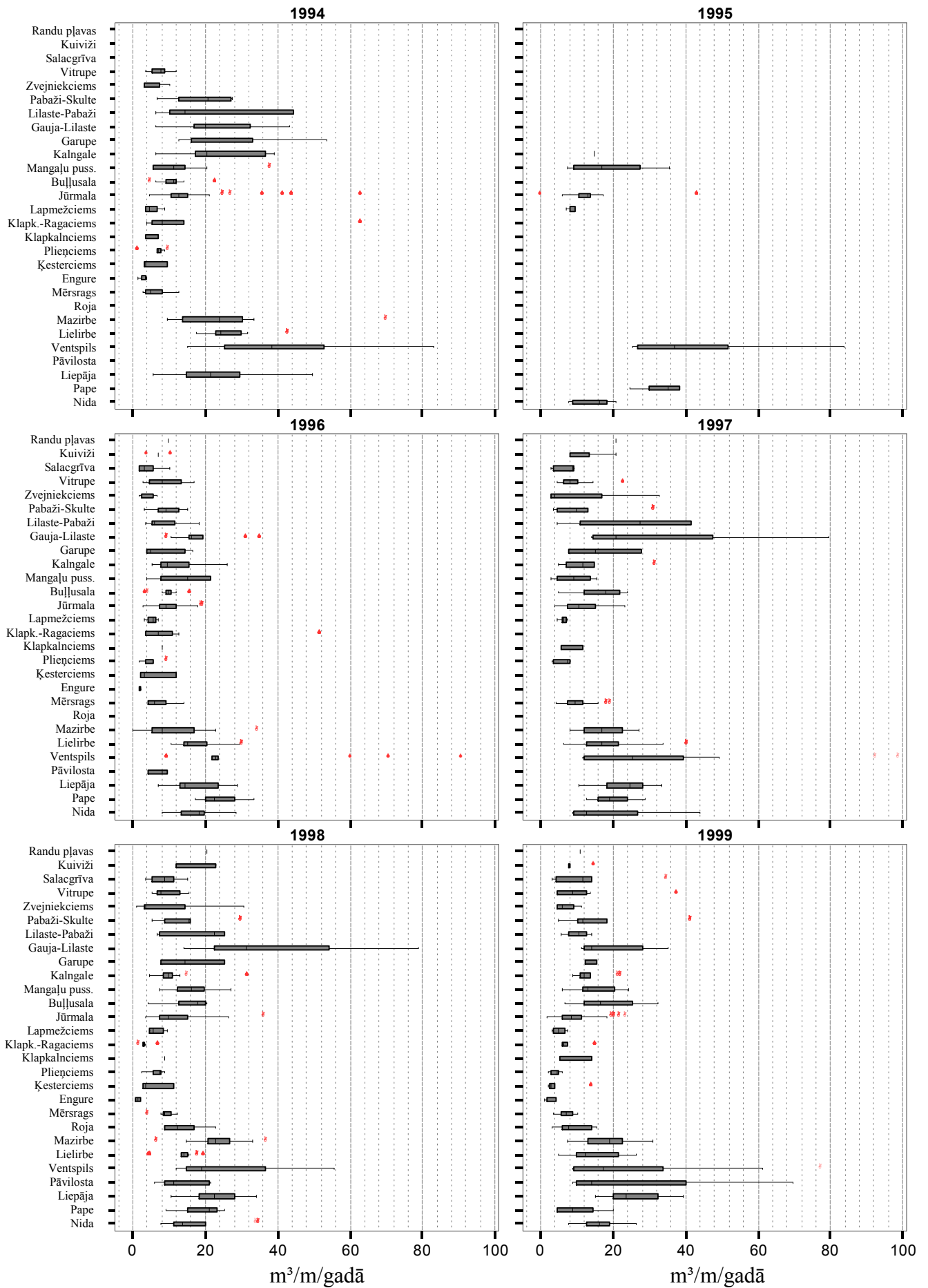
Vislielākā akumulācijas intensitāte novērota atklātās Baltijas jūras akumulatīvā tipa krastos (vidēji 0,08 m³/m²/gadā) jeb 6,1 m³/m/gadā, līcī akumulācijas tipa krastos akumulācija bija vājāka (vidēji 0,05 m³/m²/gadā) jeb 3,3 m³/m/gadā.



48. att. Gada laikā akumulētā sanešu materiāla apjomi monitoringa stacijās no 1988. gada līdz 1993. gadam.



49. att. Gada laikā akumulētā sanešu materiāla apjomi monitoringa stacijās no 1994. gada līdz 1999. gadam.



46. att. Gada laikā transportētā sanešu materiāla apjomi monitoringa stacijās no 1994. gada līdz 1999. gadam.

Dinamiskā līdzsvara un noskalošanas krastos akumulācijas intensitāte bija mazāka kā akumulācijas krastos. Dinamiskā līdzsvara krastos atklātās jūras piekrastē akumulēti vidēji 0,03 m³/m²/gadā jeb 1,7 m³/m/gadā un līcī 0,02 m³/m²/gadā, jeb 0,3 m³/m/gadā. Noskalošanas krastos vidēji akumulēti 0,02 m³/m²/gadā, jeb 0,7 m³/m/gadā.

Akumulētā/noskalotā materiāla apjomu summa izteikta procentos no sākotnējā materiāla apjoma parādīja, ka ilglaicīgā skatījumā sanešu materiāla apjoms gadā vidēji pieaudzis par 1,7% no kopējā (sākotnējā) sanešu materiāla apjoma. Atklātās Baltijas jūras krastos materiāla apjoms gadā vidēji bija pieaudzis par 1,9% gadā, Irbes šaurumā 0,9% gadā, līča Kurzemes krastā 1% gadā, Dienvidu krastā 2,4% gadā un Vidzemes krastā samazinājies par 0,6% gadā.

Gada laikā akumulētā vai noskalotā sanešu materiāla summas vērtības garkrasta virzienā mainījušās plašās robežās no –30% līdz 55% atklātās Baltijas jūras krastos, no –23% līdz 15% gadā Irbes šaurumā, no –54% līdz 79% gadā Rīgas līča Kurzemes krastā, no –53% līdz 89% gadā Dienvidu krastā un no –33% līdz 40% gadā Vidzemes krastā.

6.3 Lielākās sanešu materiāla izmaiņas viena gada laikā

Maksimālās gada laikā novērotās transportētā, akumulētā un noskalotā sanešu materiāla apjoma vērtības klasificētas 5 izmaiņu intensitātes klasēs. Izmaiņu vērtējums klasēs dots 19., 20. un 21. tabulās un klašu sadalījums Latvijas piekrastē parādīts 51. attēlā.

19. tabula

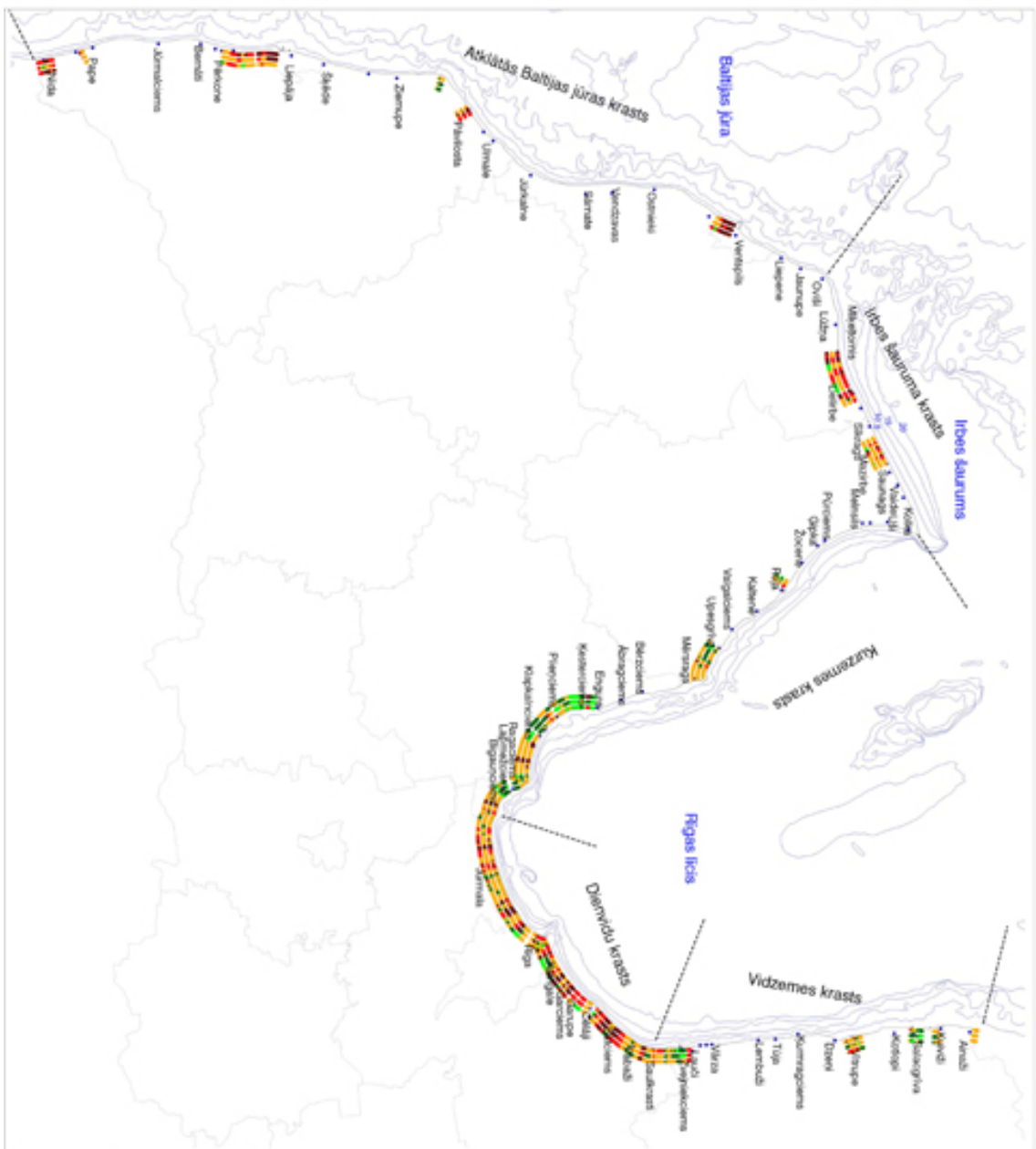
Lielākās gada laikā transportētā sanešu materiāla apjoma klases (no 1987. līdz 2004. gadam)

Klase	Lielākais transportētā sanešu materiāla apjoms (m ³ /m/gadā)	Izmaiņu raksturojums
1	līdz 8	ļoti mazas izmaiņas
2	8 - 12	mazas izmaiņas
3	12 - 26	vidējas izmaiņas
4	26 - 36	lielas izmaiņas
5	virs 36	ļoti lielas izmaiņas

20. tabula

Lielākās gada laikā akumulētā sanešu materiāla apjoma klases (no 1987. līdz 2004. gadam)

Klase	Lielākais akumulētais sanešu materiāla apjoms (m ³ /m/gadā)	Izmaiņu raksturojums
1	līdz 5	ļoti mazas izmaiņas
2	5 - 10	mazas izmaiņas
3	10 - 25	vidējas izmaiņas
4	25 - 35	lielas izmaiņas
5	virs 35	ļoti lielas izmaiņas



51. att. Mūsdienu līceņu jūras krastu līdžības 1. gada laikā novērotās izmaiņas (no 1987. līdz 2004. gadam).

1. Eriļi (no jūras) - šaurums 1. gada laikā transportēti sarežu materiāla apjoms

- 802 4 m³/m
- 4 502 10 m³/m
- 53 502 26 m³/m
- 26 502 36 m³/m
- vs 36 m³/m

2. Eriļi - šaurums 1. gada laikā akumulēti sarežu materiāla apjoms

- 502 4 m³/m
- 5 502 20 m³/m
- 50 502 25 m³/m
- 25 502 35 m³/m
- vs 35 m³/m

3. Eriļi - šaurums 1. gada laikā nobraukti sarežu materiāla apjoms

- 502 4 m³/m
- 4 502 8 m³/m
- 8 502 20 m³/m
- 20 502 30 m³/m
- vs 30 m³/m

- Apdzīvotās vietas krastu līnijai
- ◊ Administratīvās robežas
- ▨ Izlaidis
- Krasta līnija
- Krasta līnijas nobīdās

Kartes ģenerālis: LU Ģeogrāfijas un Ģeotekniskās fakultāte



Autors: Aigis Torkštre
 Latvijas Universitāte
 Ģeogrāfijas un Ģeotekniskās fakultāte

Lielākās gada laikā transportētā sanešu materiāla apjoma vērtības novērotas monitoringa stacijās: Nida, Liepāja, Ventspils, Lielirbe, Mazirbe, Klapkalnciems – Ragaciems, Jūrmala, Buļļusala, Kalngale, Garupe, Gauja – Lilaste, Lilaste – Pabaži. Šajās monitoringa stacijās sanešu materiāla transporta intensitāte mainījies plašās robežās un viena gada laikā pārsniedza 36 m³/m.

21. tabula

Lielākās gada laikā noskatotā sanešu materiāla apjoma klases (no 1987. līdz 2004. gadam)

Klase	Lielākais noskatotais sanešu materiāla apjoms (m ³ /m/gadā)	Izmaiņu raksturojums
1	līdz 4	ļoti mazas izmaiņas
2	4 - 8	mazas izmaiņas
3	8 - 20	vidējas izmaiņas
4	20 - 30	lielas izmaiņas
5	virš 30	ļoti lielas izmaiņas

Ļoti lielas sanešu materiāla noskalošanas vērtības viena gada laikā novērotas monitoringa stacijās: Nida, Pāvilosta, Ventspils, Lielirbe, Mazirbe, Mērsrags, Engure, Jūrmala, Mangaļu pussala, Klapkalnciems – Ragaciems, Kalngale, Gauja – Lilaste, Pabaži - Skulte. Šajās monitoringa stacijās atsevišķos krasta posmos viena gada laikā noskaloti vairāk kā 30 m³/m.

Ekstrēmas izmaiņas

Statistikā par ekstrēmām vērtībām pieņem parametra vērtības, kas 3 reizes pārsniedz 25% un 75% procentiņu vērtības [Brosius, 2004]. Ekstrēmu vērtību definējums ir īpaši svarīgs, raksturojot mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas negatīvo attīstību.

Par negatīvām ekstrēmām izmaiņām mūsdienu lēzeno jūras krastu posmos Latvijā var uzskatīt tādas izmaiņas, kuru rezultātā :

sanešu materiāla apjoms samazinājies par 25 m³/m/gadā. Laika kopš mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā tiek veikts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings ekstrēma krasta noskalošana novērota monitoringa stacijās: Nidā, nelielā posmā Liepājā, Pāvilostā, Lielirbē, Mazirbē, Mērsragā, Engurē, Klapkalnciema – Ragaciema posmā, Jūrmalā, Mangaļu pussalā, Kalngalē, Gaujas – Lilastes posmā, Pabažu – Skultes posmā;

sanešu materiāla apjoms gada laikā procentuāli samazinājies vairāk par 20% no kopējā sanešu materiāla apjoma profilā. Ekstrēma krasta noskalošana novērota monitoringa stacijās: Nida, Pāvilosta, Lielirbe, Mērsrags, Engure, Ķesteriems, Plienčiemis, Jūrmala, Kalngale, Gauja – Lilaste, Lilaste – Pabaži, Pabaži – Skulte, Zvejniekiems;

sanešu materiāla apjoms uz vienu kvadrātmetu samazinājies vairāk kā par 1 m³/gadā. Pēc materiāla apjoma izmaiņām krasta šķērsgrīzumā ekstrēma krasta noskalošana novērota monitoringa stacijās: Nida, Liepāja, Pāvilosta, Ventspils, Lielirbe, Mazirbe, Mērsrags, Engure, Klapkalnciems, Klapkalnciems – Ragaciems, Lapmežciems, Jūrmala, Buļļusala, Mangaļu pussala, Kalngale, Gauja – Lilaste, Lilaste – Pabaži, Pabaži – Skulte, Zvejniekiems, Vitrupe, Salacgrīva, Kuiviži;

notikusi pamatkrasta noskalošana. Pamatkrasta noskalošana konstatēta monitoringa stacijās: Mērsrags, Ragaciems, Jūrmala, Buļļusala, Mangaļu pussala, Kalngale, Zvejniekiems.

6.4 Paaugstinātas krasta dinamikas gadi

Radikālas krasta virsūdens daļas izmaiņas notiek spēcīgu vētru laikā. Apskatītajā laika periodā spēcīgas vētras Latvijas piekrasti skārušas 1992. gada 17. janvārī, 1993. gada 14. janvārī, 1999./2000. gada ziemā un 2001. gada novembrī [Eberhards, 2003]. Monitoringa lauka mērījumi veikti ar atkārtotām reizi gadā, tādēļ vētras ietekme mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā novērtēta, izmantojot sekojošā gada mērījumus (52. att.).

Lai notiktu pamatkrasta vai priekškāpu joslas erozija, ir nepieciešama vairāku apstākļu sakritība: vēju ātrumam vētras laikā jāpārsniedz 25-28 m/s; vēja virzienam vētras laikā jābūt vērnam stateniski vai ieslīpi pret krastu; vētru plūdiem jābūt lielākiem par 1 m virs vidējā jūras līmeņa; apstākļiem ar paaugstinātu ūdens līmeni (virs 1 m) un stipru vēju (25-28 m/s) jāaglabājas vismaz 6 līdz 8 stundas. Pludmalē, kas ir pamatkrasta dabiskā aizsardzības josla, sanešu materiāla apjomam (smilts, grants, oļi) pirms vētras jābūt mazākam par 60-100 m³/m un pludmales platumam jābūt mazākam par 40-50 m. Ja minētie parametri ir lielāki, priekškāpu un pamatkrasta noskalošana vētrā nenotiks [Eberhards, 2005]. Pēc katras vētras jebkurā krasta posmā pludmales platums var samazināties, palielināties vai palikt bez būtiskām izmaiņām. Noteicošie faktori ir vētras stiprums, tās virziens pret krastu, vētras attīstības atsevišķo fāžu ilgums (viļņojuma pastiprināšanās, stabilizācija, norimšana) un sanešu krājums zemūdens nogāzē [Ulsts, 1998].

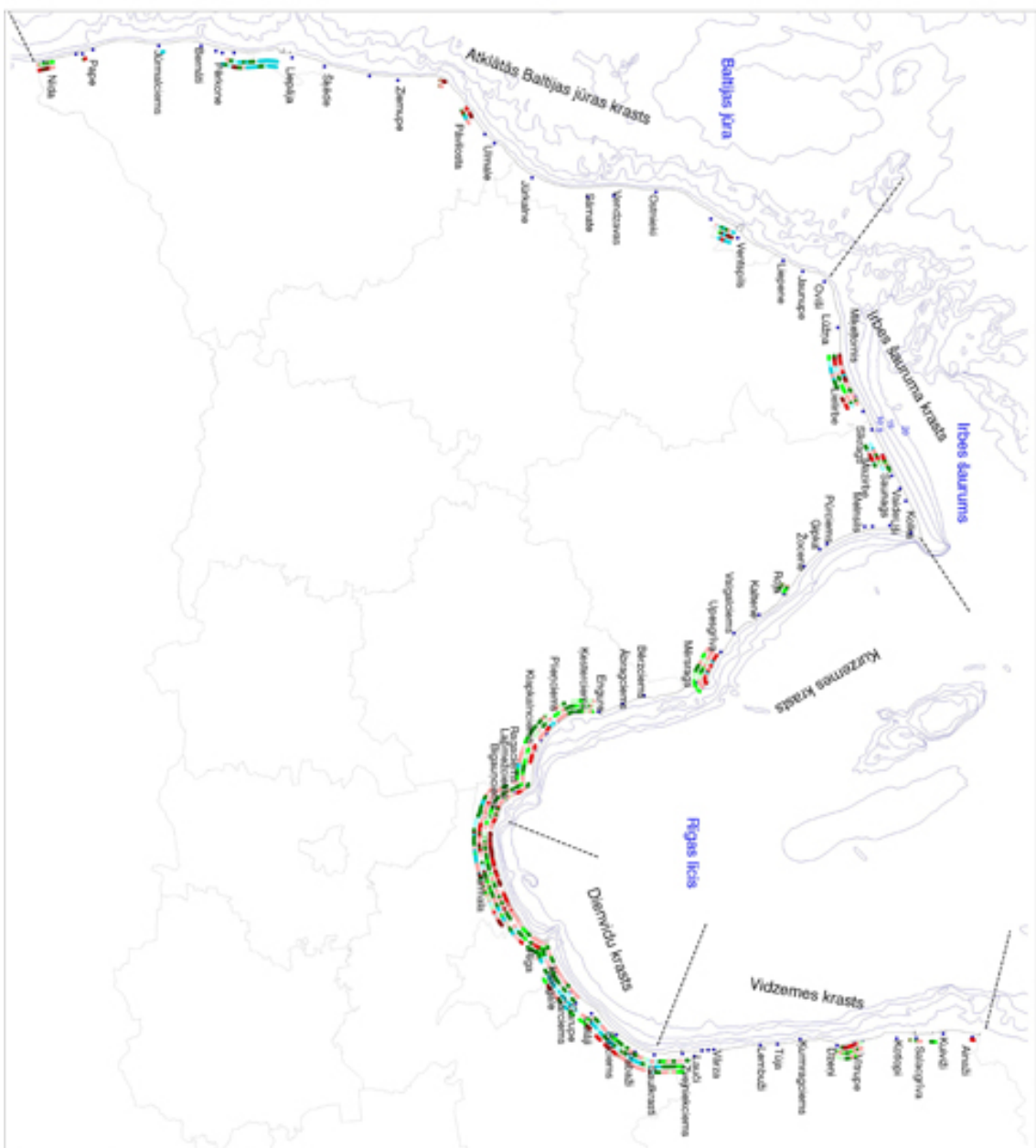
Krasta dinamikas ziņā īpašas aktivitātes gadu raksturojumā izmantots vienfaktora lineārās regresijas modelis, kurā noteikta transportētā sanešu materiāla un akumulētā sanešu materiāla summas novirze no lineārā modelī sagaidītām un novērotām vērtībām. Krasta dinamikas izmaiņas vērtētas atsevišķi pa krasta rajoniem un pa monitoringa stacijām.

Atklātās Baltijas jūras krastā paaugstināta sanešu materiāla transporta intensitāte novērota 1993., 2000. un 2001. gadā (22. tab.), kas uzskatāmi apstiprina sanešu materiāla transporta intensitātes ciešo saistību ar vētru notikumiem.

Īpaši izteikta paaugstināta krasta procesu dinamika novērota 2000. gadā, kad 61 % no monitoringa staciju kopgaruma sanešu materiāla transporta intensitāte bija būtiski pieaugusi. Pēcvētru periodā transportētā sanešu materiāla apjomi samazinājušies. Sanešu materiāla transporta intensitāte būtiski zemāka bija periodā no 1994. gada līdz 1996. gadam un no 2002. gada līdz 2003. gadam.

Akumulācijas intensitāte izteikti pozitīva bija 2000. gadā (22. tab.). Savukārt, 2001. gadā 47% no krastu kopgaruma sanešu materiāla apjoms bija būtiski samazinājies.

1992. gada vētras ietekmi atklātās Baltijas jūras krastā bija iespējams novērtēt tikai monitoringa stacijā Ventspils. 1993. gada lauka mērījumi apstiprināja būtisku sanešu materiāla pieaugumu 46% no monitoringa stacijas kopgaruma. Sanešu materiāla apjoms mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā pēc vētras bija pieaudzis (23. tab.).



52 att. Mūsdienu Izeņu jūras krastu izmaiņas pēc vēsturi (Išlaidis no 1967. līdz 2004. gadam).

1. Rīņa (no jūras) - sasmērta materiāla bilance 2002. gadā (izmērītas pēc 2001. gada vēsturi)
2. Rīņa (no jūras) - sasmērta materiāla bilance 2000. gadā (izmērītas pēc 1999. gada vēsturi)
3. Rīņa (no jūras) - sasmērta materiāla bilance 1994. gadā (izmērītas pēc 1993. gada vēsturi)
4. Rīņa (no jūras) - sasmērta materiāla bilance 1993. gadā (izmērītas pēc 1992. gada vēsturi)

Sasmērtu materiāla bilance

- sasmērta nodalījuma (no -20 līdz 20 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no -10 līdz -20 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no -5 līdz -10 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no -2 līdz -5 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no -1 līdz -2 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no 0 līdz 1 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no 1 līdz 2 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no 2 līdz 5 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no 5 līdz 10 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no 10 līdz 20 m³/gadam)
- sasmērta nodalījuma (no 20 m³/gadam)

- Apdzīvotās vietas krastu tuvumā
- Administratīvās robežas
- ▨ Izstrādājamās teritorijas
- ▨ Krasta līnija
- Krasta līniju robežas

Kartes pārveids: UZ Ģeogrāfijas un Ģeotekhnoloģijas katedra



Autors: Aija Torkštre
 Latvijas Universitāte
 Ģeogrāfijas un Ģeotekhnoloģijas katedra

Pēc sekojošās 1993. gada vētras monitoringa stacijā Ventspils krasta virsūdens daļā novērota pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla bilances posmu mija. Krasta dinamikas procesu intensitātes ziņā 1993. - 1994. gads Ventspilī bija otrs dinamiskākais gads visā novērojuma periodā. Lielāka sanešu materiāla transporta intensitāte novērota tikai 2001. gadā (23. tab.). Vētras ietekmē sanešu materiāla apjoms bija būtiski samazinājies 46% no monitoringa stacijas kopgaruma.

22. tabula

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem atklātās Baltijas jūras krastā

Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
1993	0	27	0	46
1994	11	6	7	14
1995	29	19	31	26
1996	48	1	13	21
1997	5	12	13	9
1998	6	6	1	11
1999	4	11	24	7
2000	0	61	15	48
2001	2	27	47	4
2002	28	0	16	24
2003	42	3	0	9

Sākot ar 1992. gadu, jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings veikts arī Liepājā. Mērījumi netika veikti 1993. gadā, tādēļ 1994. gada lauka mērījumu rezultāti raksturoja 2 gadu laikā notikušās izmaiņas. Monitoringa stacijā Liepāja visā stacijas garumā ar izņēmumu apmēram 0,8 km garā posmā uz ziemeļiem no Cenkonas sanešu materiāla apjoms krasta virsūdens daļā pieauga vidēji no 5 līdz 25 m³/m. Tātad arī šeit vētras ietekmē kopējais sanešu materiāla apjoms mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā nesamazinājās.

1999. - 2000. gada ziemā novērotās vētras iedarbība uz atklātās Baltijas jūras apsekotajiem krasta iecirkņiem bija atšķirīga. Monitoringa stacijās Nīda un Pape dominēja sanešu materiāla samazināšanās. Nīdā sanešu materiāla apjoms krasta virsūdens daļā būtiski samazinājās 52% no monitoringa stacijas kopgaruma (23. tab.). 1,3 km posmā monitoringa stacijas centrālajā daļā noskaloti vairāk kā 25 m³/m, kas Latvijas apstākļos vērtējama kā ekstrēma mūsdienu jūras krasta noskalošana.

**Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem atklātās Baltijas jūras krasta
monitoringa stacijās**

Monitoringa stacija	Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
Nida	1995	9	0	5	11
	1996	22	3	0	47
	1997	32	26	29	10
	1998	26	33	8	57
	1999	0	31	35	3
	2000	0	96	52	0
	2002	43	0	0	37
	2003	0	0	0	4
Pape	1995	0	53	0	76
	1997	0	0	76	0
	1998	23	0	0	0
	1999	76	0	0	0
Liepāja	1994	8	0	0	12
	1996	52	0	20	22
	1997	0	13	0	13
	1999	0	12	24	3
	2000	0	66	8	60
	2002	0	21	59	0
	2003	57	0	0	8
Akmeņrags	2001	0	0	0	13
	2002	0	0	13	0
Pāvilosta	1998	3	0	3	0
	1999	0	2	29	18
	2000	2	45	16	74
	2001	21	0	0	0
	2002	0	0	54	0
	2003	35	0	0	20
Ventspils	1993	0	27	0	46
	1994	28	45	46	27
	1995	50	26	53	29
	1996	69	4	0	4
	1997	2	1	30	0
	1998	20	13	0	29
	1999	19	0	19	22
	2000	0	35	19	33
	2001	3	56	19	19
	2003	1	26	0	26

Papē noskalošana bija vājāka, maksimāli noskaloti 12 m³/m. Savukārt, monitoringa stacijā Liepāja sanešu materiāla apjoms visā monitoringa stacijas garumā pieauga. Uz dienvidiem no ostas Dienvidu mola 4 km posmā sanešu materiāla apjoms Liepājā palielinājās par vairāk kā 20 m³/m. Arī monitoringa stacijā Ventspils 2000. gadā sanešu materiāla apjoms pieauga un atsevišķos posmos bija akumulēti vairāk par 20 m³/m. Monitoringa stacijā Akmeņrags novērota vidēja noskalošana, bet nākamā gada mērījumi apstiprināja intensīvu akumulāciju. Pāvilostā 1999. gada vētras ietekme bija nebūtiska. Tikai 0,5 km garā krasta iecirknī monitoringa stacijas rietumu daļā novērota noskalošana līdz 15 m³/m.

2001. gada vētru sērijā būtiski samazinājās sanešu materiāla apjoms 47 % no atklātās Baltijas jūras monitoringa staciju kopgaruma (22. tab.). Monitoringa stacijā Nida 2001. gada vētru nozīme bija neliela, galvenā sanešu materiāla apjoma noskalošana šeit novērota iepriekšējos 1999. un 2000. gados (23. tab.). Nidā 2002. gadā nelieli sanešu materiāla apjomi papildināja mūsdienu jūras krasta virsūdens daļa bilanci, bet 2003. gadā atkal novērota vāja līdz intensīva noskalošana.

Atšķirīga situācija bija monitoringa stacijā Liepāja. Šeit 2001. gada vētru ietekmē sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājās 59 % no monitoringa stacijas kopgaruma. Sanešu materiāla bilance bija negatīva visā stacijas garumā no Cenkonas līdz ostas Dienvidu molam (23. tab.). Novērota intensīva līdz ļoti intensīva sanešu materiāla noskalošana. Tikai starp Pērkoni un Cenkonu 2,5 km posmā sanešu materiāla bilance bija pozitīva. Šeit akumulēti 2 līdz 10 m³/m. 2002. gadā novērojumi Liepājā netika veikti, bet 2003. gada lauka mērījumu apstrādes rezultāti liecināja, ka sanešu materiāls visā monitoringa stacijā pēcvētras periodā pieauga.

2001. gada vētras ietekmē sanešu materiāla apjoms samazinājās monitoringa stacijā Akmeņrags. Sanešu materiāla apjoms neizmainījās vienmērīgi, raga galotnes dienvidrietumu daļā noskaloti vairāk kā 10 m³/m, bet pašā raga galotnē sanešu materiāla apjoms nedaudz pieauga (5 m³/m). Raga ziemeļaustrumu daļā sanešu materiāla apjoms samazinājās vairāk par 20 m³/m. 2003. gadā sanešu materiāla kopējais apjoms pēc vētras atjaunojās.

Monitoringa stacijā Pāvilosta 2001. gada vētrā būtiski izmainījās sanešu materiāla apjoms monitoringa stacijas austrumu daļā uz ziemeļaustrumiem no Sakas ietekas. Šeit noskalošanas intensitāte pieauga no 5 m³/m pie Sakas ietekas līdz vairāk kā 20 m³/m stacijas ziemeļaustrumos. Uz rietumiem no ostas Dienvidu mola 0,3 km iecirknī novērota intensīva sanešu materiāla akumulācija. 2003. gadā sanešu materiāls pēc vētras atgriezās krasta virsūdens daļā. Novērota viļņveidīga sanešu materiāla apjoma atjaunošanās. Garkrasta virzienā mijās pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla bilances krasta posmi.

Monitoringa stacijā Ventspils 2002. gadā novērojumi netika veikti. Par 2001. gada vētras ietekmi var secināt tikai pēc 2003. gada novērojumiem. 2003. gadā sanešu materiāla apjoms pieauga, bet akumulēti bija vidēji tikai 5 m³/m.

Irbes šaurumā lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdens daļā paaugstināta sanešu materiāla transporta intensitāte novērota 1994., 1997., 2000., 2002. un 2003. gadā (24. tab.). Transporta intensitāte paaugstināta galvenokārt lokālos krasta iecirkņos.

Transporta intensitāte bijusi pazemināta 1998. un 2001. gadā.

Intensīva sanešu materiāla akumulācija novērota 1996. un 2003. gadā, bet pastiprināta mūsdienu krasta virsūdens daļas noskalošana - 1997. un 2002. gadā (24. tab.)

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem Irbes šauruma krastā

Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
1994	1	24	24	17
1996	17	1	0	62
1997	17	16	35	8
1998	30	6	21	0
1999	17	0	7	19
2000	9	12	15	11
2001	42	0	0	1
2002	18	10	45	3
2003	0	21	5	42

1993. gada vētras ietekmē sanešu materiāla transporta intensitāte monitoringa stacijā Lielirbe 1994. gadā bija paaugstināta (25. tab.). Kopējā sanešu materiāla bilance krasta virsūdens daļā būtiski atšķīrās stacijas rietumu un austrumu daļā. Uz austrumiem no Miķeļtorņa apmēram 5 km posmā novērota vāja līdz ļoti intensīva sanešu materiāla akumulācija, savukārt, 5 km garā posmā uz rietumiem no Irbes ietekas sanešu materiāls samazinājās vidēji par 10 m³/m, nelielā posmā monitoringa stacijas centrālajā daļā novērota ekstrēma krasta noskalošana. 1995. gadā novērojumi netika veikti, bet 1996. gada mērījumi visā monitoringa stacijā uzrādīja pozitīvu sanešu materiāla bilanci. 71% no monitoringa stacijas kopgaruma sanešu materiāla apjoms pieauga (25. tab.).

Monitoringa stacijā Mazirbe 1994. gadā 40% no monitoringa stacijas kopgaruma sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājās (1993. gada vētras rezultātā). Intensīva līdz ļoti intensīva sanešu materiāla apjoma samazināšanās novērota 1,2 km posmā uz rietumiem no Mazirbes ietekas, pārējā stacijas daļā bilance bija pozitīva, bet akumulētā sanešu materiāla apjomi bija nelieli. Arī šeit 1996. gada mērījumi norādīja uz akumulāciju visā monitoringa stacijā.

1997. gada mērījumi atsevišķos iecirkņos uz austrumiem no Miķeļtorņa un Lielirbes monitoringa stacijas centrālajā daļā norādīja uz ļoti intensīvu līdz ekstrēmu krasta virsūdens daļas noskalošanu. Arī Mazirbē šajā gadā bija raksturīga pozitīvas un negatīvas bilances posmu mija. 1997. gadā noskalošanai galvenokārt bija pakļauta pludmales zemākā daļā līdz 1 m augstumam.

1998. gads monitoringa stacijā Lielirbe bija vājas krasta dinamikas gads (25. tab.). Monitoringa stacijas ietvaros mijās vājas pozitīvas un vājas negatīvas sanešu materiāla bilances posmi. Monitoringa stacijā Mazirbe transporta intensitāte bija ievērojami lielāka. 27% no monitoringa stacijas kopgaruma transporta intensitāte bija būtiski pieaugusi (25. tab.). Šeit novērota intensīva līdz ļoti intensīva noskalošana 1,2 km posmā uz rietumiem un 1,5 km posmā uz austrumiem no Mazirbes ietekas jūrā. 1999. gadā sanešu materiāla apjoms atjaunojās, tomēr monitoringa stacijas ietvaros saglabājās pozitīvas un negatīvas

sanešu materiāla bilances posmu mija. Monitoringa stacijā Lielirbe sanešu materiāla apjoms 1999. gadā bija pieaudzis visā monitoringa stacijas garumā.

25. tabula

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem Irbes šauruma krasta monitoringa stacijās

Monitoringa stacija	Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
Lielirbe	1994	0	21	20	21
	1996	0	0	0	71
	1997	19	21	40	0
	1998	38	0	19	0
	1999	24	0	0	22
	2000	12	14	15	0
	2001	49	0	0	0
	2002	21	11	49	4
	2003	0	26	4	52
Mazirbe	1994	4	34	40	0
	1996	67	4	0	35
	1997	10	0	19	32
	1998	0	27	30	0
	1999	0	1	26	9
	2000	0	5	16	37
	2001	27	0	0	4
	2002	0	0	14	0
	2003	0	0	8	4

Par ļoti zemu krasta procesu dinamiku abās Irbes šauruma monitoringa stacijās liecināja 2001. gada mērījumi (25. tab.). Dominēja akumulācija, bet akumulēto sanešu materiāla apjomi nepārsniedza 10 m³/m.

Par 2001. gada vētras ietekmi liecināja 2002. gada mērījumi (52. att). Monitoringa stacijā Lielirbe 49 % no monitoringa stacijas kopgaruma (25. tab.) konstatēta būtiska sanešu materiāla apjoma samazināšanās. Uz austrumiem no Miķeļtorņa apmēram 5 km posmā novērota ļoti intensīva līdz ekstrēma krasta noskalošana, bet 2003. gadā sanešu materiāla apjoms atjaunojās.

Arī monitoringa stacijā Mazirbe 2002. gada mērījumi apstiprināja krasta noskalošanu, bet noskalotā sanešu materiāla apjomi bija mazāki. 1,5 km posmā uz austrumiem no Mazirbes upes noskaloti 12 līdz 15 m³/m, tālāk uz austrumiem sanešu materiāla bilance bija pozitīva. 2003. gadā sanešu materiāla apjoms bija pieaudzis visā monitoringa stacijā.

Rīgas līča Kurzemes krastā paaugstināta sanešu materiāla transporta intensitāte novērota 1990., 1992. un 2002. gadā (26. tab.).

Izteiktu pozitīvu sanešu materiāla apjoma attīstību mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā līča Kurzemes krastos apstiprināja 1990. un 1997. gada mērījumi (26. tab.). Procentuāli Rīgas līča Kurzemes krastā posmu īpatsvars ar būtiskām sanešu materiāla izmaiņām bija neliels.

Paaugstinātas intensitātes noskalošana mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā līča Kurzemes krastā konstatēta 2002. gadā. 2001. gada vētru ietekmē šajā gadā 22% no monitoringā ietverto krastu kopgaruma sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājās (26. tab.).

26. tabula

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem Rīgas līča Kurzemes krastā

Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
1990	10	15	2	33
1991	7	0	0	2
1992	0	16	0	1
1994	1	5	0	5
1996	0	6	8	0
1997	0	6	0	17
1998	15	0	0	0
1999	0	0	4	0
2000	0	0	0	0
2001	11	1	1	0
2002	0	23	22	6
2003	1	0	3	12
2004	0	4	0	14

2001. gada vētras laikā sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājās monitoringa stacijās Mērsrags, Ķesterciems, Klapkalnciems (27. tab.). Pliņciemā 1,2 km posmā novērota intesīva sanešu materiāla akumulācija. Mērsragā vidēji no mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas tika iznesti vairāk kā 10 m³/m.

Līča Dienvidu krastā paaugstināta sanešu materiāla transporta intensitāte novērota 1993., 1994., 1997., 2002. gadā. Par īpaši negatīvu krasta attīstību liecina 1993. un 2002. gada mērījumi. Pozitīvu materiāla apjoma attīstību apstiprina 1989., 1994. un 2003. gada mērījumi (28. tab.).

1992. gada janvāra vētrā intensīva noskalošana novērota monitoringa stacijā Jūrmala. Īpaši intensīva noskalošana bija Kauguru raga iecirknī. Šeit noskaloti vairāk kā 20 m³/m. 15% sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājies. Buļļusalā lokālos iecirkņos

novērota pretēja rakstura attīstība 23% sanešu materiāls būtiski samazinājās un 25% būtiski pieauga.

27. tabula

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem Rīgas jūras līča Kurzemes krasta monitoringa stacijās

Monitoringa stacija	Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
Roja	2000	3	0	0	0
Mērsrags	1997	0	16	0	42
	2001	0	10	10	0
	2002	0	6	34	8
	2003	8	0	0	0
Engure	1991	0	0	0	3
	1992	0	3	3	0
Ķesterciems	1999	0	0	13	0
Plieņciems	1990	0	0	0	23
	2002	0	32	0	32
Klapkalnciems	1990	0	65	0	65
	2001	40	0	0	0
	2002	0	100	0	0
	2004	0	0	0	50
Klapkalnciems-Ragaciems	1989	30	0	76	0
	1990	16	0	3	24
	1991	16	0	0	3
	1992	0	47	0	4
	1994	3	16	0	16
	1996	0	16	19	0
	1998	19	0	0	0
	1999	0	0	7	0
	2001	16	0	0	0
	2002	0	0	100	0
	2003	0	0	10	42
	2004	0	12	0	12

Mangaļļu pussalā monitoringa stacijas rietumu daļā 1992. gada vētras ietekmē novērota noskalošana, bet centrālajā daļā sanešu materiāla apjoms pieauga. Kalngalē 3 km posmā novērota vidēja noskalošana, 7% sanešu materiāla apjoms samazinājās būtiski. Garupē 1992. gada mērījumi apstiprināja sanešu materiāla apjoma palielināšanos akumulēti ap 20 m³/m. Gaujas- Lilastes posmā 30% sanešu materiāla apjoms bija būtiski pieaudzis un 9% būtiski samazinājies. Lilastes – Pabažu iecirknī 10% sanešu materiāla apjoms bija būtiski pieaudzis.

1993. gada vētras ietekmē Jūrmalā 9% sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājās, bet 21% - pieauga. Buļļusalā mērījumi 1993. gadā netika veikti, bet 1994. gada mērījumi liecināja par būtisku noskalošanu 25%, Gaujas – Lilastes posmā vētras ietekmē sanešu materiāla apjoms bija būtiski samazinājies 77% no monitoringa stacijas kopgaruma.

1992. un 1993. gada vētrām sekoja vājas krasta dinamikas cikls. Pludmalēs un priekškāpās notika pastiprināta smilšu uzkrāšanās izveidojās viena līdz divas jaunas priekškāpas.

28. tabula

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem Rīgas līča Dienvidu krastā

Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
1988	33	0	0	1
1989	1	0	0	43
1990	23	5	5	6
1991	14	3	4	7
1992	3	11	12	5
1993	3	18	20	13
1994	7	25	6	31
1995	0	6	6	8
1996	17	0	17	1
1997	3	21	7	17
1998	8	18	18	13
1999	8	9	13	2
2000	11	5	1	4
2001	16	0	3	0
2002	9	21	37	0
2003	0	14	0	31
2004	20	1	1	9

2001. gada ziemeļrietumu vētru sērija bija spēcīgākā un postošākā pēdējo 30 gadu laikā, kopš 1969. gada viesuļvētras [Eberhards, 2003]. Rīgas līča dienvidu krastā visās monitoringa stacijās sanešu materiāla apjoms krasta virsūdens daļā samazinājās. Īpaši intensīva noskalošana notika monitoringa stacijā Jūrmala. Sanešu materiāla apjoms šeit būtiski samazinājās 70% no monitoringa stacijas kopgaruma. Plašā krasta joslā tika noskaloti vairāk kā 20 m³/m.

Līča Vidzemes krastā par paaugstinātu sanešu materiāla transporta intensitāti liecināja 2002. gada mērījumi (29. tab.).

Sanešu materiāla apjoma izmaiņu vērtējums pa gadiem Rīgas līča Vidzemes krastā

Gadi	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Transportētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis % no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) samazinājies% no kopgaruma	Akumulētā sanešu materiāla apjoms būtiski (p=0,05) pieaudzis% no kopgaruma
1994	0	0	0	0
1996	16	0	0	0
1997	0	4	6	4
1998	0	1	9	15
1999	4	4	4	0
2000	2	2	0	0
2001	3	0	0	1
2002	0	28	58	0
2003	2	0	0	4
2004	0	0	0	14

Vidzemes krastā 2001. gada vētrai bija lielākā nozīme mūsdienu lēzeno krastu virsūdens daļas izmaiņās. Vētras ietekmē sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājās 58% no monitoringa staciju kopgaruma. Īpaši negatīva krasta attīstība novērota Vitrupē. Šeit sanešu materiāla apjoms būtiski samazinājies 58% no monitoringa stacijas kopgaruma.

7 DISKUSIJA UN REZULTĀTU INTERPRETĀCIJA

Mūsdienu jūras krastu virsūdens daļa veido aizsargjoslu, kurā tiek slāpēta jūras ietekme uz pamatkrastu. Lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdens daļā šo aizsargfunkciju nodrošina pludmale un priekškāpa. Lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdens daļu galvenokārt veido smilšu vai oļu materiāls, kam ir vāja noturība pret viļņu iedarbību. Īpaši pie vētru noteikta mainīga jūras ūdens līmeņa mūsdienu jūras krasts ir pakļauts nepārtrauktām morfodinamiskām izmaiņām, kuru laikā notiek ievērojams sanešu materiāla transports gan garkrasta, gan šķērskrasta virzienā. Šajā kontekstā mūsdienu lēzeno jūras krastu dinamika nav tikai akadēmiska pētījuma priekšmets. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas formas un dinamikas izmaiņas ir kritēriji, kas raksturo dotās sistēmas ilgtspējību, tai skaitā, aizsardzību un stabilitāti, kam ir liela nozīme praktiskos un saimnieciskos aspektos.

Mūsdienu lēzeno jūras krastu procesu rakstura un intensitātes izmaiņās pēc autores domām teorētiski iespējami vairāki attīstības varianti. Pirmais variants - sanešu materiāla akumulācijas intensitāte pieaug. Lēzeno jūras krastu dinamikā izšķirošais ir sanešu materiāla nodrošinājums seklūdens daļā un pludmalē. Apstākļos, kad krastu noskalošanas rezultātā krasta seklūdens daļā notiek pastiprināta sanešu materiāla piegāde no stāvkrastu posmiem, pieaug garkrasta sanešu plūsmas piesātinājums [Ulsts, 1998] un materiāla piegāde lēzenajos krasta posmos var palielināties. Šāda krasta attīstība vērojama pat apstākļos, kad paaugstinātas viļņu enerģijas rezultātā vairāk sanešu materiāls tiek pārvietots lielākā dziļumā un daļa sanešu tiek iznesta ārpus garkrasta sanešu plūsmas robežām [Thom, Hall, 1991]. Otrais variants - sanešu materiāla akumulācijas intensitāte samazinās. Seklūdens joslas un krasta (pludmales, priekškāpu, pamatkrasta) morfoloģiskās izmaiņas ir atkarīgas no vētru enerģijas un augstiem, vējuzplūdu noteiktiem ūdens masu sadzimumiem krasta joslā. Lielākās mūsdienu jūras krasta izmaiņas saistītas ar vētrām, kad vēju ātrums pārsniedz 20 – 25 m/s un jūras ūdenslīmenis vējuzplūdu rezultātā pieaug par vairāk kā vienu metru virs vidējā. Pēcvētru periodā pludmales iziet vairākas atjaunošanās stadijas, kuru laikā noskalotais sanešu materiāls daļēji vai pilnībā atgriežas pludmalē [Morton et al., 1994]. Pludmales atjaunošanās cikls smilšainās piekrastēs ir īslaicīgs – līdz 5 gadiem [Van Rijn, 1998]. Apstākļos, kad vētru enerģija un atkārtotība pieaug un pludmales atjaunošanās tiek atkārtoti pārtraukta, dominē negatīva materiāla bilance un notiek pastiprināta lēzeno jūras krastu noskalošana [Hesp, 1999].

Mūsdienu jūras krasta procesiem un krasta virsūdens daļas izmaiņām Latvijas piekrastē lielā mērā ir pārmantots raksturs no Litorīnas jūras un pēclitorīnas laika [Ulsts, 1998]. Tomēr jau pagājušā gadsimta laikā Latvijas piekrastē lielos krasta posmos iezīmējās noteiktas, atšķirīgas izmaiņu tendences. Tās bija saistītas gan ar cilvēku saimniecisko darbību (galvenokārt ostu būvi un to darbības nodrošināšanu), gan arī ar klimata, sevišķi vēja režīma izmaiņām. Izvērtējot dažāda vecuma kartogrāfisko materiālu, G. Eberhards pierādīja (2003), ka pēdējo 60-70 gadu laikā Latvijas piekrastē bija notikusi ne tikai ievērojama pamatkrasta noskalošana un atkāpšanās, bet novērots arī sauszemes platību pieaugums. Maksimālie noskalotā pamatkrasta joslas platumi atklātās Baltijas jūras piekrastē sasniedza 100-180 m. Tāda paša mēroga bija arī krasta joslas sauszemes platību pieaugums atsevišķos posmos.

20. gadsimta pēdējās desmitgadēs jūras pamatkrasta noskalošanas ātrumi bija ievērojami pieauguši. Balstoties uz kartogrāfiskā materiāla analīzi, laikā no 1981. gada līdz 1993. gadam, salīdzinot ar iepriekšējo 50 gadu periodu, erozijas intensitāte atklātās Baltijas jūras piekrastē stāvkrastos bija pieaugusi divas līdz piecas reizes. Negatīvā attīstība stāvkrastos galvenokārt bija saistīta ar biežo spēcīgo vētru ietekmi [Eberhards, Salupe,

1996]. Kāda ir mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas attīstība, tai skaitā izmaiņu straujuma attīstība jeb dinamika bija dotā pētījuma tēma.

Sākot ar 1993. gadu, Latvijā veikts pastāvīgs jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings un apkopots plašs datu materiāls par krasta izmaiņām Baltijas jūras un Rīgas līča krasta virsūdens daļā. Stacionārā nivelēšana veikta akumulatīvo (pieauguma) krastu iecirkņos ar izteiktu sanešu materiāla uzkrāšanos pludmalē un priekškāpu joslā, ar intensīvu vēja (eolo) procesu darbību vai krasta iecirkņos ar procesu dinamiskā līdzsvara apstākļiem [Eberhards, 2005].

Pētījumā attīstītā ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS) balstītā lauka mērījumu apstrādes un rezultātu telpiskās analīzes metodika, pēc autores domām, sniedza jaunas iespējas plašā krasta joslā notikušo mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas formas un sanešu materiāla apjoma izmaiņu izpētē. Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā veikto lauka mērījumu apstrādes rezultātu interpretācija ar krasta līnijas metrācijas un augstuma rastru analīzes metodēm ļāva izpētīt izmaiņas vairākos līmeņos: krasta šķērsgriezumā, garkrasta virzienā pa krasta iecirkņiem un krasta līnijas garumā.

Jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu režīms ar atkārtojamību reizi gadā nodrošināja datus par gada laikā notikušo izmaiņu lielumu. Gada laikā akumulētā un transportētā sanešu materiāla apjomi ļāva izpētīt mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamikas izmaiņas pēdējo divu desmitgažu laikā. Krasta izmaiņu intensitātes attīstība lēzeno mūsdienu jūras krastu virsūdens daļā Latvijā pētīta pirmoreiz.

Pētījuma precizitāti ierobežoja jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa mērījumu tīklā noteiktie attālumi starp monitoringa transektu līnijām garkrasta virzienā. Šķērskrasta virzienā krasta virsūdens daļas augstuma un sanešu materiāla apjoma izmaiņas noteiktas katrā šķērsgriezuma metrā (1 m platā krasta joslā). Lauka mērījumu vertikālā precizitāte bija 4 cm. Kā viens no iespējamiem kļūdu avotiem jāmin lauka mērījumu datu manuāla ievadīšana, kas pie vairāk kā 3000 lauka mērījumiem nebija izslēdzama.

Latvijā laikā no 1987. gada līdz 2004. gadam (ieskaitot) veiktie jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa lauka mērījumu apstrādes rezultāti liecināja par lielu mūsdienu lēzeno jūras krastu formas daudzveidību. Apvienojot mūsdienu lēzeno jūras krastu morfometriskos rakstulielumus – krasta augstums, platums un sanešu materiāla apjoms, tika izveidotas piecas mūsdienu lēzeno jūras krastu formas grupas. Mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas forma ir viena no pirmajām pazīmēm, kas raksturo dominējošo procesu raksturu. 20 līdz 30 m platas pludmales raksturīgas krasta posmos, kur notiek krastu erozija un seklūdens joslā ir sanešu materiāla deficīts. Turpretī, krasta posmi ar vairāk kā 40 līdz 50 m platām pludmalēm liecina par sanešu materiāla akumulāciju [Eberhards, 2003]. Jo platāka un augstāka ir pludmale, jo mazāka ir varbūtība, ka vētru laikā notiks pamatkrasta vai priekškāpas noskalošana. G. Eberhards norāda (2003), ka Baltijā 7 ballu stipru vētru enerģiju pilnīgi slāpē 40-50 m plata pludmale, bet pludmales, kuru platums ir tikai 25-35 m, vētru laikā tiek stipri noskalotas un nepietiekami aizsargā priekškāpas un pamatkrastu pret noskalošanu. Būtiska nozīme ir vētru ūdensuzplūdu augstumam [Olsauskas et al., 2002]. Lietuvā 1999. gadā viesuļvētras laikā ar 2 metru augstiem vētru uzplūdiem priekškāpu aizsardzību nodrošināja tikai 80 līdz 100 m platās pludmales.

40% no lēzenajiem mūsdienu jūras krastiem, kuros veikts monitorings, mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platums un sanešu materiāla apjoms 1994. gadā bija nepietiekams, lai nodrošinātu pamatkrasta aizsardzību stipru vētru gadījumā. Latvijas lēzenie krasti, kuros 1994. gadā veikts monitorings, 20% bija maza sanešu materiāla apjoma, maza platuma, ļoti zemi krasti. 11% mūsdienu lēzenos jūras krastus veidoja vidēja sanešu apjoma, maza platuma, augsti krasti un 9% mūsdienu jūras krasta virsūdens daļu

veidoja vidēja sanešu materiāla apjoma, plati, ļoti zemi krasti (27. att.). 60 % no lēzenajiem mūsdienu jūras krastiem 1994. gadā krasta virsūdens daļu veidoja plašas pludmales ar priekškāpām vai priekškāpu joslu, kas norādīja uz izteiktu akumulācijas procesu pārsvaru.

Sanešu materiāla apjoma un jūras krasta virsūdens daļas platuma izmaiņu analīzes rezultāti apstiprināja, ka Latvijas piekrastē lēzeno jūras krastu virsūdens daļā dominēja akumulācijas procesi. Salīdzinot sanešu materiāla apjomu 1994. un 2003. gadā, vairāk kā 65 % no apsekoto lēzeno jūras krastu kopgaruma (78,3 km) novērota sanešu materiāla apjoma palielināšanās (30. att.). Sanešu materiāla apjoma izmaiņas garkrasta virzienā uzrādīja lielas lokālas un reģionālas atšķirības. Pat vienas monitoringa stacijas robežās garkrasta virzienā sanešu materiāla bilances apjomi atšķīrās vairākkārtīgi. Īpaši Rīgas līča Kurzemes krastā raksturīga lokālu pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla bilances posmu mija. Krasta formas analīze apstiprināja būtisku sakarību starp krasta platuma un materiāla apjoma izmaiņām. Pieaugot materiāla apjomam, arī krasta platums palielinās. Pludmales platuma palielināšanās norāda uz akumulācijas procesu pārsvaru, samazināšanās - uz krasta noskalošanu, tomēr šis kritērijs jāvērtē kritiski. Lauka mērījumi apstiprināja, ka arī pie negatīvas kopējās sanešu materiāla bilances novērota ievērojama krasta paplašināšanās. Piemēram, apstākļos, kad vētras laikā noticis intensīvs sanešu materiāla transports lejup pa profilu. Pludmales platums var pieaugt arī ar īpaši kustīgu formu (smilšu vālu) attīstību zemūdens nogāzes augšējā daļā, tām pieslēdzoties krastam un veidojot lēzeno krasta valni. Tas sevišķi raksturīgi pavasarī pēc spēcīgām ziemas vētrām [Eberhards, 2003]. Laikā no 1994. līdz 2003. gadam mūsdienu jūras krasta platums bija pieaudzis 47 % no analizēto krastu kopgaruma (78,3 km). 40% no apsekoto krastu kopgaruma novērota būtiska mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas paplašināšanās. Praktiski visās monitoringa stacijās garkrasta virzienā bija raksturīga krasta posmu mija, kuros krasts uzvirzījies un atkāpies. Tikai atsevišķās monitoringa stacijās: Liepājā, Kalngalē un Garupē ilglaicīgā skatījumā mūsdienu jūras krasts bija uzvirzījies (42. att.). Par vidējām mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma izmaiņām 10 gadu laikā var pieņemt izmaiņas, kas bijušas 10 līdz 20 m robežās. Vidējās mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas platuma vērtības pa krasta rajoniem apstiprināja, ka atklātās Baltijas jūras, Irbes šauruma un Rīgas līča Dienvidu krastu platums vidēji bija pieaudzis, bet līča Kurzemes un Vidzemes krastu vidējais platums bija samazinājies.

10 gadu laikā novērotā sanešu materiāla akumulācija Latvijas lēzeno krastu virsūdens daļā visintensīvākā bija atklātās Baltijas jūras krasta iecirkņos, kur tehnogēno faktoru iespaidā (ostas molu pretvēja pusē) daļēji vai pilnīgi pārtraukta garkrasta sanešu plūsma un kopš ostu molu izbūves turpinās intensīva sanešu materiāla akumulācija krasta virsūdens daļā. Akumulācijas procesi uz dienvidiem no Liepājas ostas sākušies pēc osta izbūves 1890. gadā. Ventspils ostas moli izbūvēti 1900.-1905. gadā un ievērojami šķērsoja garkrasta sanešu plūsmu [Ulsts, 1998]. V. Ulsts norāda, ka 90 -tajos gados gan Liepājā, gan Ventpilī krasta kontūra stabilizējās un akumulācijas procesi izpaudās tikai kā lēna smilts uzkrāšanās pludmalei tuvākajā priekškāpā [Ulsts, 1998]. Dotā pētījuma rezultāti apstiprināja, ka vidēji ilgajā laika posmā (10 gadi) novērots intensīvs sanešu materiāla apjoma pieaugums pludmalē un priekškāpā, kā arī notika jaunu priekškāpu attīstība un pludmales platuma palielināšanās. Vētru laikā sanešu materiāla apjoms šajās monitoringa stacijās samazinājās tikai īslaicīgi, bet pēcvētru periodā turpināja pieaugt. 10 gadu laikā sanešu materiāla apjoms Liepājā garkrasta virzienā pieaudzis no 40 līdz 80 m³/m, bet Ventpilī no 30 līdz 80 m³/m. Krasta attīstību ilglaicīgā skatījumā raksturo pozitīvs sanešu materiāla apjoma un krasta platuma attīstības trends (42. att.).

Arī Irbes šauruma krastos sanešu materiāla apjoms laikā no 1994. līdz 2003. gadam monitoringa stacijās bija ievērojami pieaudzis. Šajā iecirknī krasta pozitīvo attīstību noteikusi lielā garkrasta sanešu plūsmas jauda, kas pēc R. Knapa aprēķiniem sasniedza 500

līdz 750 tūkst. m³/gadā. 90-tajos gados Irbes šauruma krasta posmus raksturoja eolās smilts akumulācijas samazināšanās tendence un neregulāra priekškāpas izskalošana. Šo iemeslu dēļ V. Ulsts (1998) Irbes šauruma krastu pieskaitījis dinamiskā līdzsvara krastiem. Sanešu materiāla apjoms un krasta platuma izmaiņu analīzes rezultāti laikā no 1994. līdz 2003. gadam apstiprināja vidēji intensīvu akumulāciju ar ļoti lēnu priekškāpas atjaunošanos un nenozīmīgu krasta uzvirzīšanos. Irbes šauruma krastu virsūdens daļas kopējo attīstību būtiski ietekmējušas 2001. gada vētras, kuru laikā intensīvi paskalota pirmā priekškāpa. Pēcvētru periodā sanešu materiāla apjoms pludmalē un arī priekškāpā daļēji atjaunojās. 10 gadu laikā sanešu materiāla apjoms Lielirbē garkrasta virzienā pieauga no 5 līdz 60 m³/m, bet Mazirbē no 15 līdz 38 m³/m. Krasta attīstību ilglaicīgā skatījumā raksturoja pozitīvs sanešu materiāla apjoma attīstības trends (42. att.). Krasta virsūdens daļas platuma izmaiņās vienots attīstības trends nebija vērojams. 2,5 km krasta posmā pie Miķeļtorņa monitoringa stacijas Lielirbe rietumos sanešu materiāla un krasta virsūdens daļas platuma izmaiņu trends norāda uz pieaugošu noskalošanu un mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas atkāpšanos.

Trešais izteiktas sanešu materiāla akumulācijas iecirknis izdalāms Rīgas līča dienvidu galotnē. Arī šeit krasta seklūdens daļā raksturīgi lieli smilts apjomi, ko noteikusi no līča rietumu un austrumu puses garkrasta sanešu plūsmas atnestā materiāla uzkrāšanās. 10 gadu laikā sanešu materiāla apjoms Jūrmalā garkrasta virzienā pieaudzis par 10 līdz 35 m³/m, Buļļusalā no 5 līdz 60 m³/m, Kalngalē no 10 līdz 20 m³/m. Krasta attīstību ilglaicīgā skatījumā raksturoja pozitīvs sanešu materiāla apjoma un krasta platuma attīstības trends (42. att.). Buļļusalas austrumu daļā 2 km posmā uz rietumiem no Rietumu mola Daugavas grīvā novērota lokāla krasta noskalošana, kur 10 gadu laikā sanešu materiāla apjoms samazinājies par 18 m³/m. V. Ulsts (1998) norāda, ka šajā krasta iecirknī noskalošana notikusi ilglaicīgi un nebija saistīta ar jūras vētrainības izmaiņām. Pēc J. Korobovas pētījumiem laikā no 1943. līdz 1976. gadam krasts šeit atkāpās par 250 m [Ulsts, 1998].

Atsevišķi izdalāma krasta dianamikas attīstība atklātās Baltijas jūras monitoringa stacijā Nida. 90 -tos gados raksturīgo nenozīmīgas krasta izskalošanas un eolas smilts vājas akumulācijas procesu miju [Ulsts, 1998] šeit nomainījusi intensīva krasta virsūdens daļas noskalošana un atkāpšanās. Viens no negatīvās krasta dianamikas galvenajiem iemesliem bija 1999. gada 4. decembra vētras laikā notikušā ekstrēmā krasta noskalošana. 1999. gada vētrā pilnīgi vai daļēji tika noskalota vāji izveidotā priekškāpa. V. Ulsts (1998) norāda, ka mūsdienu lēzeno krastu attīstību Nidasciema apkārtnē ietekmēja arī negatīvas neotektoniskās kustības (-1 līdz -1,8 mm/gadā), kā arī Būtiņģes termināla izbūve 1 – 1,5 km uz dienvidiem no valsts robežas, kas iespējams izskaidro, kāpēc pēcvētras periodā sanešu materiāla apjoms šajā krasta iecirknī līdz 2003. gadam (ieskaitot) neatjaunojās. 10 gadu laikā sanešu materiāla apjoms garkrasta virzienā samazinājies no 20 līdz 45 m³/m. Krasta attīstību ilglaicīgā skatījumā monitoringa stacijās Nida un Pape raksturo negatīvs sanešu materiāla apjoma un krasta platuma attīstības trends (42. att.).

Rīgas līča Kurzemes krasta virsūdens daļas attīstību laikā no 1994. līdz 2003. gadam raksturoja lokālu pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla bilances posmu mija un vāja līdz intensīva krasta atkāpšanās. Rīgas līcī stacionārā nivelēšana krasta virsūdens daļā veikta arī zemos vienkāršās ģeoloģiskās uzbūves stāvkrastos. Neatkarīgi no krasta morfoģenētiskā tipa sanešu materiāla kopējā bilance mūsdienu jūras krasta virsūdens daļā līča Kurzemes krastā bija negatīva. 10 gadu laikā sanešu materiāla apjoma kopējās izmaiņas praktiski nepārsniedza 10 m³/m. Krasta attīstību ilglaicīgā skatījumā raksturoja pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla apjoma un mūsdienu jūras krasta virsūdens daļas platuma attīstības trenda posmu mija. Nelielā krasta iecirknī monitoringa stacijā Klāpkalnciems attīstības trends norādīja uz intensīvu sanešu materiāla apjoma samazināšanos (42. att.).

Tikai Rīgas līča galotnē sanešu materiāla apjoms pieaudzis. Šeit novērota jaunu priekškāpu attīstība un pludmales platuma palielināšanās akumulatīvā tipa lēzenajos krastos. Uz austrumiem no Garupes visās monitoringa stacijās Rīgas līča austrumu daļā sanešu materiāla apjoms krasta virsūdens daļā 2003. gadā bija samazinājies un krasts bija atkāpies. 2001. gada vētru laikā noskalotais sanešu materiāls pēcvētras periodā ļoti lēnām sāka atgriezties krasta virsūdens daļā. 10 gadu laikā noskaloto sanešu apjoms garkrasta virzienā mainījies no 2 līdz 20 m³/m. Tikai monitoringa stacijā Garupe noskaloto sanešu materiāla apjomi bija lielāki no 10 līdz 30 m³/m. Ilglaicīgās attīstības trends pēdējo desmitgažu laikā liecināja par tendenciālu mūsdienu krasta virsūdens daļas noskalošanu, sanešu materiāla deficīta palielināšanos un krasta atkāpšanos Rīgas līča austrumu daļā uz ziemeļiem no Pabažiem (42. att.). Rīgas līča Dienvidu krastā mūsdienu lēzeno jūras krastu attīstību raksturoja sanešu materiāla pieaugums un vāja krasta uzvirzīšanās. Šeit izdalāmi atsevišķi krasta posmi, kuros ilglaicīgās attīstības trends pēdējās desmitgadēs apstiprināja negatīvu krasta attīstību (Kauguru raga rajonā, jau minētajā 2 km posmā Buļļusalas austrumos un abpus Gaujas ietekai) (42. att.).

Mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļā transportētā sanešu materiāla apjomi atklātās Baltijas jūras krastā bija ievērojami lielāki kā Rīgas līcī. Ievērojamas atšķirības vērojamas arī pa krastu tipiem un pēc krastu formas. Vismainīgākie bija mūsdienu lēzenie jūras krasti, kuru virsūdens daļu veido plašas pludmales ar izveidotām priekškāpām, vai priekškāpu joslu. Monitoringa stacijās Liepāja, Ventspils, Jūrmala, Buļļusala un Mangaļsala kustībā bijušā sanešu materiāla slāņa jauda laikā kopš veikts monitorings pārsniedza 150 m³/m. Salīdzinot transporta intensitāti uz vienu kvadrātmetru, atšķirības dažādas formas lēzenajos krastos bija izteiktas vājāk. Savukārt raksturojot transporta intensitāti procentos no materiāla apjoma lielākā transporta intensitāte bija Rīgas līča Kurzemes un Dienvidu krastā. Lielākā sanešu materiāla transporta intensitāte bija tieši saistīta ar vētru darbību. Pēcvētru periodā transporta intensitāte ievērojami samazinājās. Transporta intensitātes attīstība pa krasta rajoniem liecināja, ka tikai procentuāli nelielā daļā bija vērojamas vienotas attīstības tendences. Jāpiezīmē, ka transporta intensitātes un akumulācijas intensitātes ilglaicīgās attīstības izpētē tika izmantoti visi lauka mērījumu apstrādes rezultāti, kur novērojumu rindas garums bija vismaz 5 gadi. 33% no pētīto mūsdienu lēzeno jūras krastu kopgaruma sanešu materiāla transporta intensitāte (gada laikā transportētā sanešu materiāla apjoms) būtiski samazinājās, bet 25% transporta intensitāte bija būtiski pieaugusi.

Paaugstinātas krasta dinamikas gadi. Atsevišķi vētru notikumi ievērojami ietekmē krasta attīstības gaitu. Apskatītajā laika periodā spēcīgas vētras bijušas 1993., 1999., 2001. un 2002. gadā. Krasta virsūdens daļas izmaiņu intensitāte un apmēri būtiski atšķirās. G. Ebrhards norāda (2003), ka vienas vētras laikā pat nelielā krasta joslas garumā (50-100 km) krasi izmainās vēja virziens un ātrums. Tās nozīmē, ka blakus citiem faktoriem (zemūdens nogāzes slīpums un pludmales parametri, sanešu materiāla veids un daudzums, krasta ģeoloģiskā uzbūve un orientācija) būtiska loma ir lokālo hidrometeoroloģisko parametru izmaiņām. Par īpaši negatīvu krasta attīstību atklātās Baltijas jūras krastā liecina 1992., 1994. un 2001. gada mērījumi. Irbes šaurumā 1993., 1994. un 2002. gada mērījumi. Rīgas līča Kurzemes krastā 1989. un 2002. gada mērījumi. Dienvidu krastā 1987., 1988., 1993., 2002. un 2004. gada un Vidzemes krastā 2002. un 2003. gada mērījumi.

SECINĀJUMI

1. Mūsdienu lēzeno jūras krastu un erozijas stāvkrastu izveidošanās un pastāvēšana notika dominējošo vēju un garkrasta sanešu plūsmas ietekmē, saglabājoties Litorīnas jūras un pēclitorīnas laika galvenajai krasta līnijas konfigurācijai, bet pēdējo 100 gadu laikā arī cilvēku darbības rezultātā (ostu hidrotehniskās būves).

2. Mūsdienu jūras krastu virsūdens daļa veido aizsargjoslu, kurā tiek slāpēta jūras ietekme uz pamatkrastu. Lēzeno jūras krastu virsūdens daļā šo aizsargfunkciju nodrošina pludmale un priekškāpas. Lēzenie jūras krasti uzrāda lielu formas daudzveidību. Pēc morfometriskajām pazīmēm - mūsdienu krasta virsūdens daļas augstums, platums un sanešu materiāla apjoms - Latvijas piekrastē izdalītas piecas lēzeno jūras krastu formas grupas.

2.1. Krasta formu grupu izplatība apstiprināja kopīgas reģionālas iezīmes, kuras kopumā atbilst garkrasta sanešu plūsmas jaudas sadalījumam zemūdens nogāzē.

- Maza sanešu materiāla apjoma, maza platuma, ļoti zemie krasti dominēja Rīgas līča Dienvidu krastā un Rīgas līča Kurzemes krastā. Atklātās Baltijas jūras un Irbes šaurumā šī lēzeno krastu formu grupa netika novērota.
- Vidēja sanešu materiāla apjoma, plati, ļoti zemi lēzenie krasti galvenokārt izplatīti līča Dienvidu krastā un Vidzemes krastā.
- Vidēja sanešu materiāla apjoma, maza platuma, augsti krasti dominēja Rīgas līča Kurzemes krastā un Dienvidu krastā.
- Vidēja sanešu materiāla apjoma, vidēja platuma, vidēji augsti krasti izplatīti līča Dienvidu krastā un atklātās Baltijas jūras krastā.
- Ļoti liela sanešu materiāla apjoma, plati, augsti krasti novēroti atklātās Baltijas jūras krastos, līča Dienvidu krasta galotnē un Irbes šaurumā. Rīgas līča Kurzemes un Vidzemes krastos dotās grupas krasti netika novēroti.

2.2. 40% no mūsdienu lēzenajiem jūras krastiem, kuros veikts monitorings, pēc krasta virsūdens daļas platuma un sanešu materiāla apjoma nenodrošina pamatkrasta aizsardzību stipru vētru gadījumā.

2.3. 60 % no lēzenajiem mūsdienu jūras krastiem virsūdens daļu veidoja plašas pludmales ar priekškāpām vai priekškāpu joslu, kas liecināja par izteiktu akumulācijas procesu pārsvaru.

3. Mūsdienu lēzenie jūras krasti, kuros jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa ietvaros veikta stacionārā nivelēšana krasta virsūdens daļā pēc V. Ulsta jūras krastu tipu klasifikācijas galvenokārt bija akumulācijas un dinamiskā līdzsvara, bet aptuveni 20 % noskalošanas tipa krasti. Pēc G. Eberharda jūras krastu tipu klasifikācijas lauka mērījumi veikti 74% akumulācijas un 26% vienkāršas ģeoloģiskās uzbūves stāvkrastos.

4. Mūsdienu lēzeno jūras krastu attīstību pēdējo divu desmitgažu laikā raksturoja akumulācijas procesu pārsvars. Sanešu materiāla izmaiņās novērotas lielas reģionālas un lokālas atšķirības. Izdalāmi trīs lēzeno jūras krastu monitoringa staciju grupas, kurās sanešu materiāla akumulācija bija īpaši liela.

4.1. Lēzenie mūsdienu jūras krasti atklātās Baltijas jūras krasta iecirkņos, kur tehnogēno faktoru iespaidā (ostas molu pretvēja pusē), ostu molu ietekmē turpinājās intensīva sanešu materiāla akumulācija krasta virsūdens daļā (Liepāja, Ventspils).

4.2. Lēzenie mūsdienu jūras krasti Irbes šaurumā. Šajā iecirknī krasta pozitīvo attīstību noteica lielā garkrasta sanešu plūsmas jauda, kas pēc R. Knapa aprēķiniem sasniedza 500-750 tūkst. m³/gadā. Dotais krasta iecirknis atrodas uz ziemeļiem no

Ventspils – Liepenes intensīvas krastu erozijas posma, kas nodrošināja papildus sanešu pienesi krasta seklūdē daļā. Pozitīvo attīstību noteikusi arī krasta ekspozīcija, kas pasargā krastu no nosakalošas stipro dienvidrietumu, rietumu vētru gadījumiem.

4.3. Izteiktas sanešu materiāla akumulācijas iecirknis bija Rīgas līča dienvidu galotnē. Arī šeit krasta seklūdē daļā raksturīgi lieli smilts apjomi, ko noteikusi no līča rietumu un austrumu puses garkrasta sanešu plusmas atnesta sanešu materiāla uzkrāšanās seklūdē daļā un intensīva akumulācija krasta virsūdē daļā. Lielo upju Lielupes, Daugavas cietvielu sanešu ietekme bija nenozīmīga (ilgstoša liela apjoma, aluviālo sanešu izņemšana no upju grīvas rajoniem un Daugavas HES kaskādes ietekmē)

5. Lēzeno mūsdienu jūras krastu posmos ar vāji izveidotām priekškāpām un šaurām pludmalēm, līdzīgi kā stāvkrastos iezīmējas noskalošanas pastiprināšanās, pieaugoša sanešu deficīta tendences. Rīgas līča Kurzemes krastā un Vidzemes krastā plašos posmos bija noskalotas priekškāpas un sākās pamatkrasta erozija. Šīs iezīmes vērtējamas kā indikatori, kas apstiprināja noskalošanas zonu paplašināšanos vietās, kur 90-tajos gados dominēja sanešu materiāla akumulācija vai dinamiskā līdzsvara apstākļi:

5.1. Rīgas līča Kurzemes krastā mūsdienu jūras krasta virsūdē daļas attīstību raksturoja lokālu pozitīvas un negatīvas sanešu materiāla bilances posmu mija un vāja līdz intensīva krasta atkāpšanās.

5.2. Rīgas līča austrumu daļā uz ziemeļiem no Pabažiem mūsdienu lēzeno jūras krastu izmaiņas pēdējo desmitgažu laikā liecināja par tendenciālu mūsdienu krasta virsūdē daļas noskalošanu, sanešu materiāla deficīta palielināšanos un krasta atkāpšanos.

6. Izteikta negatīva mūsdienu jūras krasta virsūdē daļas attīstība novērota Nidas posmā, kur pēc ekstrēmas krasta noskalošanas 1999. gada vētras laikā sanešu materiāls līdz 2003. gadam neatjaunojās. Mūsdienu lēzeno krastu attīstību šeit iespējams nosaka arī negatīvas neotektoniskās kustības (-1 līdz -1,8 mm/gadā), kā arī Būtiņģes termināla izbūve 1 – 1,5 km uz dienvidiem no valsts robežas. Sanešu deficītu seklūdē joslā, apstiprina katastrofāla pamatkrasta noskalošana Bernātos un Mietragā pēdējo 10-15 gadu laikā.

7. Praktiskie darba rezultāti ir īpaši jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa vajadzībām attīstīta jūras krastu ģeogrāfiskās informācijas sistēma, kas ietver divas elektroniskas datu bāzes (tematisko un ģeogrāfisko) un “Jūras krastu ģeomorfoloģisko katalogu”. Dotā sistēma nodrošina automatizētu lauka mērījumu sagatavošanu un apstrādi. Ģeogrāfiskās informācijas sistēmas balstītas analīzes metodes jūras krastu pētījumos pielietotas pirmoreiz. Izmantojot krasta līnijas metrācijas un krasta augstuma modeļu rastru analīzi, ir novērtēta mūsdienu lēzeno krastu formas un dinamikas izmaiņas un attīstības tendences pēdējo divu desmitgažu laikā plašā Latvijas piekrastes daļā.

LITERATŪRA

- Arens, S.M., Van Kaam-Peters, H.M.E., Van Boxel, J.H. (1995)** Air flow over foredunes and implications for sand transport. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, 315-332.
- Bird, E.C.F. (2003)** Coastal Geomorphology. An Introduction, John Wiley&Sons, Ltd, England, 322 pp.
- Bjerknes, B.A. (1962)** Synoptic survey of the interaction between sea and atmosphere in the North Atlantic. *Geofysiske Publikasjoner* 24: 116–146.
- Borowca, M., Rotnicki, K. (1994)** Intensity, directions and balance of aeolian transport on the beach barrier and the problem of sand nourishment. In: Rotnicki, K. (ed.) *Changes of the Polish Coastal Zone*. Quaternary Research Institute, Adam Mickiewicz University, Poznan, 108–115.
- Brosius, F. (2004)** SPSS 12. Mitp-Verlag Bonn. 1034 S.
- Carter, R.W.G. (1977)** The rate and pattern of sediment interchange between beach and dune. In: Tanner, W.F. (ed.) *Coastal Sedimentology*. Geology Department, Florida State University, Tallahassee, 3–34.
- Carter, R.W.G. (1988)** Coastal Environments. Academic Press, London, 617 pp.
- Cieslak, A. (1995)** Contemporary Coastal Transformation – The Coastal Management and Protection Aspect. Polish Coast: Past, Present and Future. *Journal of Coastal Research*. N. 22, 63-71.
- Davidson-Arnott, R.G.D., Law, M.N. (1990)** Seasonal patterns and control on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N. P., Carter, R.W.G. (eds.) *Coastal Dunes: Form and Process*. John Wiley, Chichester, 177-200.
- Davies, J.L. (1980)** Geographical Variation in Coastal Development. Longman, London. 212 pp.
- De Boer, D.H. (1992)** Hierarchies and spatial scale in progress geomorphology: a review. *Geomorphology* 4, 303–318.
- De Vriend, H.J. (1991)** Modelling in marine morphodynamics. In: Arcilla, A.S., Pastor, M., Zienkiewicz, O.C., Schrefler, B.A. (eds.) *Computer modelling in ocean engineering* 91. Rotterdam, Balkema, 247–60.
- Dolch, T. (2007)** Erfassung und Quantifizierung morphologischer Langzeitveränderungen im Wattenmeer mit GIS. In: Traub, K.P., Kohlus, J. (Hrsg.) *Geoinformationen für die Küstenzone*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 207-216.
- Duphorn, K., Kliewe, H., Niedermeyer, R. O., Janke, W., Werner, F. (1995)** Die deutsche Ostseeküste. Borntraeger, Berlin und Stuttgart, 281 S.
- Eberhards, G. (2000)** Jūras stāvkrasta noskalošana Jūrkalnē un prognozes. LU 58. Zinātniskā Konference, Referātu tēzes, Rīga, 39. lpp.
- Eberhards, G. (2003)** Latvijas jūras krasti. Latvijas Universitāte, Rīga, 292. lpp.
- Eberhards, G. (2004)** Jūra uzbrūk! Ko darīt? Latvijas Universitāte, Rīga, 23. lpp.
- Eberhards, G. (2005)** Jūras krasta ģeoloģisko procesu monitorings, Rīga, 45. lpp.

- Eberhards, G., Lapinskis J., Saltupe, B. (2006)** Hurricane Erwin 2005 coastal erosion in Latvia. *Baltica*, 19, 10–19.
- Eberhards, G., Purgalis, I. (2008)** Pieaugošo Latvijas jūras krastu eroziju sekmējošie faktori. Klimata mainība un ūdeņi. Latvijas Universitāte, Rīga, 40-48.
- Eberhards, G., Saltupe, B. (1993)** Latvijas jūras krastu monitorings. Vides monitorings Latvijā, 3, Rīga, 46 lpp.
- Eberhards, G., Saltupe, B. (1996)** Accelerated coastal erosion implications for Latvia. *Baltica*, 9, 16–28.
- Eberhards, G., Saltupe, B. (1999)** Pastāvīgais Latvijas jūras krasta procesu monitorings – eksperiments un prakse, *Folia Geographica*, Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, 1–10.
- ESRI (1997)** Understanding GIS. The ARC/INFO Method. Version 7.1 for UNIX and Windows NT. 10–1.
- Fennel, W. (1995)** Wasserhaushalt und Strömungen. In: Rheinheimer, G. (Hrsg.) *Meereskunde der Ostsee*. 2. Auflage. Springer, Berlin, 56–67.
- Finansu Ministrija (1936)** Jūrniecības departamenta izpildāmie hidrogrāfiskie un hidroloģiskie pētījumu darbi. Jūrniecības departamenta izdevums, Rīga, 3-11.
- Gulev, S.K., Jung, T., Ruprecht, E. (2002)** Climatology and inter annual variability in the intensity of synoptic-scale processes in the North Atlantic from the NCEP-NCAR reanalysis data. *Journal of Climate*, 15, 809-828.
- Haapala, J., Lepparanta, M. (1997)** The Baltic Sea ice season and the changing climate, *Boreal Environment Research*, 2, 93-108.
- Hardisty, J. (1990)** *Beaches, Form and Process*. Unwin Hyman, London, 324 pp.
- Hesp, P.A. (1988)** Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sediment. Geol.*, 55, 17-41.
- Hesp, P.A. (1999)** The Beach Backshore and Beyond. In: Short, A.D. (ed.) *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. J. Wiley&Sons, LTD, P.145–169.
- Hofstede, J. (1991)** Hydro- und Morphodynamik im Tidebereich der deutschen Bucht. *Berliner geographische Studien*, Technische Universität Berlin, 117 S.
- Hydrologische Konferenzen der Baltischen Staaten (1936)** Die hydrologischen Institutionen der Baltischen Staaten. Bureau der hydrologischen Konferenzen der baltischen Staaten, Riga, 30-35.
- IPCC (2007)** *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA, 996 pp.
- Kelletat, D. (1999)** *Physische Geographie der Meere und Küsten*. Teubner, Leipzig, 258 S.
- King, C.A.M. (1972)** *Beaches and Coasts* (2nd edn). Edward Arnold, London 570 pp.
- Knaps, R. (1938)** Prüfung der Formel von Prof. Munch–Petersen über Materialwanderung an der lettischen Küste. VI Baltische Hydrologische Konferenz, Berlin.
- Kolp, O. (1957)** Beobachtungen über die Rückgang der Flachküsten zwischen Warnemünde und Hiddensee. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 101, 2: 100-103.

- Komar, P.D. (1976)** Beach Processes and Sedimentation. Prentice–Hall, Inc., New Jersey, 429 pp.
- Kont, A., Endjärv, E., Jaagus, J., Lode, E., Orviku, K., Ratas, U., Rivis, R., Suursaar, Ü., Tonisson, H. (2007)** Impact of climate change on Estonian coastal and inland wetlands – a summary with new results, *Boreal Environment Research*, 12, 653-671.
- Kortum, G. (1995)** Geschichte der Ostseeforschung. In: Rheinheimer, G. (Hrsg.) *Meereskunde der Ostsee*. 2. Auflage. Springer, Berlin, 5–7.
- Köster, R. (1995)** Entstehung der Ostsee. In: Rheinheimer, G. (Hrsg.) *Meereskunde der Ostsee*. 2. Auflage. Springer, Berlin, 12-17.
- Kosyan, R.D., Pykhov, N.V., Edge B.L. (2000)** Coastal Processes in Tideless Seas, Asce Press, American Society of Civil Engineers.
- Lampe, R. (1996)** Die Küsten der Ostsee und ihre Dynamik. In: Lozan, J.K., Lampe, R., Matthäus, W., Rachor, E., Rumohr, H., von Westernhagen, H. (Hrsg.) (1996) *Warnsignale aus der Ostsee*. Parey, Berlin, 41–47.
- Latvijas vides pārskats (1996)** Jūras krasta noskalošana. LRVARAM, Vides konsultāciju un monitoringa centrs, Rīga, 61–63.
- Latvijas vides pārskats (2001)** Jūras krasta ģeoloģiskie procesi. LVĢMA, Rīga, 14 lpp.
- Lende, A. (1938)** Vidējie vēja apstākļi Latvijas piekrastē pēc 1928. – 1935.g. novērojumiem. Jūrniecības Departamenta hidrogrāfijas nodaļa. Rīga, 23 lpp.
- Levermann, A., Griesel, A., Hofmann, M., Montoya, M., Rahmstorf, S. (2005)** Dynamic sea level changes following changes in the thermohaline circulation, *Climate Dynamics*, 24, 347.
- Moller, J.T. (1985)** Denmark. In: Bird, E.C.F., Schwartz, M.L. (eds.) *The World's Coastline*. Van Nostrand Reinhold, New York, 325–333.
- Mortensen, H. (1921)** Die Morphologie der samländischen Steilküste. Veröff. d. geogr. Inst. zu Königsberg, H. 111.
- Morton, R.A., Paine, J.G., Gibeant, J.C. (1994)** Stages and durations of Post- storm beach recovery. Southern Texas Coast, USA. *Journal of Coastal Research*, vol. 10, No 4, p. 884-908.
- Munch-Petersen, J. (1933)** Materialwanderung längs Meeresküsten ohne Ebbe und Flut. IV Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten, Leningrad, 1-47.
- Niedermeyer, R. (1996)** Geologische Entwicklung, Meeresboden–Relief und Sedimente. In: Lozan, J.K., Lampe, R., Matthäus, W., Rachor, E., Rumohr, H., von Westernhagen, H. (Hrsg.) *Warnsignale aus der Ostsee*. Parey, Berlin, 11–17.
- Olsauskas, A.M., Urboniene, R.O., Dubra, J. (2002)** Erosion of the Lithuanian Sea-Shore. Litoral 2002, In: Eurocoast (ed.) *Littoral 2002, The Changing Coast*, Porto, 333-338.
- Orviku, K., Bird, E.C.F., Schwartz, M.L. (1995)** The provenance of beaches on the Estonian islands of Hiiumaa, Saaremaa and Muhu. *Journal of Coastal Research*, 11: 96–106.
- Orviku, K., Jaagus, J., Kont, A., Ratas, U., Rivis, R. (2003)** Increasing activity of coastal processes associated with climate change in Estonia. *Journal of Coastal Research*, 19: 364-375.

- Ott, J. (1996)** Meereskunde. 2.Auflage, UTB, Eugen Ulmer GmbH&Co., Stuttgart, 424 pp.
- Paršāne, A. (2000)** Ģeoinformāciju sistēmu pielietojums jūras krasta procesu analīzē Latvijā. LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 129.
- Paršāne, A., Torkler, F. (2000)** Mūsdienu krastu procesu analīzes metodes un rezultāti Latvijas piekrastes akumulatīvo krastu zonā. Baltijas reģiona valstu integrācijas problēmas ceļā uz Eiropas Savienību. Rēzekne, Latvija, 81-86.
- Pastors, A. (1994)** Baltijas jūras Latvijas piekraste un Rīgas līcis. Encikl. "Latvijas Daba", 1. "Latvijas Enciklopēdija". Rīga. 115-124.
- Pethick, J. (1984)** An Introduction to Coastal Geomorphology. Arnold, London. 260 pp.
- Pratje, O. (1932)** Der Verbleib des Abbruchmaterials der Samlandküste, ein Beispiel für die Abbildung von Strömungen in Küstennahen Sedimenten. Königsberg, 51 pp.
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J. (2003)** Long-term trends in nearsurface flow over the Baltic. International Journal of Climatology, 23, 271-289.
- Revelis, P. (1938)** Materialwanderung in der lettische Küste. VI Baltische Hydrol. Konf. Bericht, 1-28.
- Rheinheimer, G. (1995)** Meereskunde der Ostsee. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, NewYork. 319 S.
- Schüller, A. (1992)** Zur Morphodynamik des Küstenvorfeldes – Innere Deutsche Bucht. Umsatz- und Bilanzanalysen. Berliner geographische Studien, Technische Universität Berlin, 108 S.
- Schwarz, M.L. (1982)** Encyclopaedia of Beaches and Coastal Environments. Hutchinson and Ross, Stroudsburg, PA. 452 pp.
- Selivanov, A.O. (1996)** Morphological Changes on Russian Coasts under Rapid Sea-Level Changes: Examples from the Holocene History and Implications for the Future. Journal of Coastal Research, Vol. 12, N. 4. Florida, 823-830.
- Sepp, M., Post, P., Jaagus, J. (2005)** Long-term changes in the frequency of cyclones and their trajectories in Central and Northern Europe. Nordic Hydrology, 15, 297-309.
- Sherman, D.J., Lyons, W. (1994)** Beach-state controls on aeolian sand delivery to coastal dunes. Physical Geography, 15, 381-395.
- Short, A.D. (1999)** Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. J. Wiley&Sons, LTD, 379 pp.
- Short, A.D., Hesp, P.A. (1982)** Wave, beach and dune interaction in southeast Australia. Mar. Geol., 48, 259-284.
- Siefert, W. (1987)** Umsatz- und Bilanzanalysen für das Küstenvorfeld der deutschen Bucht. Grundlagen und erste Auswertungen. In: Die Küste, 45, 1-57.
- Stakle, P. (1936)** Ūdenslīmeņa, jūras straumju un sanešu kustības novērojumi Latvijas piekrastē 1929-1933. Finanču ministrija, Jūrniecības departaments.
- Steers, J. A. (1973)** The coastline of Scotland. Cambridge [Eng.] University Press, 335 pp.
- Stellmacher, R., Tiesel, R. (1989)** Über die Strenge mitteleuropäischer Winter der letzten 220 Jahre – eine statistische Untersuchung. Z. Meteorol. 39: 56-59.

Stive, M.J.F., Roelvink, D.J.A., de Vriend, H.J. (1991) Large-scale coastal evolution concept. In: Proceeding 22nd International Conference on Coastal Engineering, pp. 1962–74. New York: American Society of Civil Engineers.

Thom, B.G., Hall, W. (1991) Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 113–127.

Torklere, A. (2001) Methoden zur Erfassung der aktuellen Küstenprozessdynamik an den Akkumulationsküsten Lettlands. In: Schellmann, G. (Hrsg.) Von der Nordseeküste bis Neuseeland - Beiträge zur 19. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“. Bamberger geographische Schriften. Bamberg, Vācija, 287.-299.

Torklere, A. (2006) Latvijas akumulatīvo jūras krastu ģeoinformāciju sistēma. LU 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 131.

Torklere, A. (2007) Pieauguma tipa jūras krastu morfodinamikas analīzes metode. LU 65. Zinātniskā konference. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 108.

Torklere, A., Markots, A. (2008) Jaunas iespējas jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringā, Nidas piemērs. LU 66. Zinātniskā konference. Ģeogrāfijas sekcija. Referātu tēzes. Rīga, Latvija, 161- 163.

Traub, K.P., Kohlus, J. (Hrsg.) (2006) GIS im Küstenzonenmanagement. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg. 320 S.

Traub, K.P., Kohlus, J. (Hrsg.) (2007) Geoinformationen für die Küstenzone. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 228 S.

Ulsts, V. (1998) Baltijas jūras Latvijas krasta zona. VARAM Valsts Ģeoloģijas dienests, Rīga. 95 pp.

Van Rijn, L.C. (1998) Principles of Coastal Morphology. Aqua Publications, The Netherlands. 730 pp.

Veinbergs, I. (1996) Baltijas baseina attīstības vēsture leduslaikmeta beigu posmā un pēcdedus laikmetā pēc Latvijas piekrastes un tai pieguļošās akvatorijas pētījumu materiāliem. Rīga, 123 lpp.

Viles, H., Spencer, T. (1995) Coastal Problems: Geomorphology, Ecology and Society at the Coast. Arnold, London.

Witez, P. (2002) GIS-gestützte Analyse und dynamische 3-D Visualisierung der morphologischen Entwicklungen schleswig-holsteinischer Tidebecken. Dissertation, Kiel.

Айбулатов, Н.А., Юкаревич, М.Г.; Новикова, З.Т. (1966) Исследование распределения и состава взвешенных наносов в верхней части шельфа восточной части Балтийского моря – Тр. АН Лит.ССР Сер. Б 3 (100)

Белошапков, А.В., Фельдман, С.Г. (1987) Расчетные методы оценки вдолберегового транспорта наносов. В: Проблемы транспорта наносов в береговой зоне моря, Тез. Докл. Тбилиси: Изд. Тбил. ун-та, С. 8–10.

Болдырев, Б.Л. (1966) Комплекс признаков характеризующих изменение емкости вдольбереговых потоков песчаных наносов. В кн.: Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры. Таллин: Валгус.

Булгакова, Е.А. (1982) Некоторые особенности морфологии и динамики современного берега Балтийского моря. В кн.: Современные экзогенные процессы и методы их исследования. Рига, изд. ЛГУ, 32–55.

Вейнбергс, И.Г., Розе В.К.; Мейере, М.Е. (1982) Перемещение наносов в береговой зоне о. Буллуосала. В кн.: Современные экзогенные процессы и методы их исследования. Рига, изд. ЛГУ, 55-69.

Гринберг, Э.Ф. (1957) Позднеледниковая и послеледниковая история побережья Латвийской ССР. 122 с.

Гуделис, В., Кирлис, В., Стаускайте, Р.; Янкявичюте-Мочякене, С. (1966) Динамика потока заплеска и литодинамика пляжей Литовского берега Балтийского моря. В кн.: Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры. Таллин: Валгус.

Гуделис, В.К., Емелянова, Е.М. (1976) Геология Балтийского моря. Вильнюс. Мокслас. 383 с.

Зенкович, В.П. (1962) Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во. АН СССР, 710 с.

Институт Геологии АН Эстонской ССР (1966) Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры. Таллин: Валгус.

Кирлис, В. И. (1977) Особенности сгонно–нагонных явлений в юго–восточной части Балтийского моря в современных гидрометеорологических условиях – Тр АН ЛитССР Сер Б 4 (101)

Кнапс, Р. (1952) Оградительные сооружения типа молов и движение наносов на песчаных побережьях. Изв. АН Латв. ССР 6 (59).

Кнапс, Р. (1959) О некоторых закономерностях развития подводных песчаных валов. – Тр. Океанограф. комиссии АН СССР, т.4.

Кнапс, Р. (1966) Перемещение наносов у берегов восточной Балтики. В кн.: Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры. Таллин: Валгус.

Кнапс, Р. (1974) О высоте нагонных уровней в портах (устьях рек) и на открытых пляжах в условиях отмелых берегов – Океанология т 14 № 1

Кнапс, Р. (1981) Неволновые течения в прибрежной зоне моря. /Береговая зона моря. Академия наук СССР, Наука, Москва.

Лонгинов, В.В. (1963) Динамика береговой зоны бесприливных морей, М.: Изд-во. АН СССР.

Поляков, Б.В. (1946) Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеиздат.

Пропотопов, И. О. (1948) Технич. Отчет по гидрогеологическим работам в Рижском морском порту за 1946–1948. гг. Фонды Ленморпроекта. Л.

Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях (1975) М. Гидрометеиздат, 239 с.

Ульст, В.Г. (1957) Морфология и история развития области морской аккумуляции в вершине Рижского залива. Рига, изд. АН Латв.ССР, 178

Ульст, В.Г. (1963) Некоторые закономерности концентрации тяжелых минералов в береговой зоне моря. Вопросы четвертичной геологии, вып.2. Рига, изд. АН Латв.ССР, 141–201.

Ульст, В.Г. (1970) Исследование перемещения песчаных наносов в районе порта Клайпеда литологическими методами. Ифдешсфб 4, 227–244.

Ульст, В.Г. (1989) О перспективах использования метода термостимулированной люминисценции при излучении перемещения наносов в береговой зоне моря. В сб.: Инженерно–геологические условия нефтегазоперспективных районов шельфа. – Рига, ВНИИморгео. 79–85.

Шадрин, И.Ф. (1972) Течения береговой зоны бесприливного моря. М.: Изд-во. Наука.

Шистовски, М.А. (1899) Материалы для описания русских котерческих портов. В. XXVIII. Виндавский порт. С.Петербург.

Шуйский, Ю.Д. (1981) Вопросы исследования Баланса наносов в береговой зоне морей и океанов. / Береговая зона моря. Академия наук СССР, Наука, Москва, 61–67.

Щербаков, Ф.А., Павлидис, Ю.А. (1962) Особенности распределения тяжелых минералов в береговой зоне моря. Оконология, т. Вып. 4.