

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. 17

**JĀNIS LAPINSKIS**

**BALTIJAS JŪRAS KURZEMES KRASTA  
DINAMIKA**

**PROMOCIJAS DARBS**

doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares  
kvartārģeoloģijas un ģeomorfoloģijas apakšnozarē

2010

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. 17

**JĀNIS LAPINSKIS**

**BALTIJAS JŪRAS KURZEMES KRASTA  
DINAMIKA**

**PROMOCIJAS DARBS**

doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares  
kvartārģeoloģijas un ģeomorfoloģijas apakšnozarē

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

*Promocijas darbs izstrādāts*

Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļā no 1999. gada līdz 2010. gadam

*Promocijas darba vadītājs:*

**Valdis Segliņš**, profesors, *Dr. geol.* (Latvijas Universitāte)

*Recenzenti:*

**Laimdota Kalniņa**, asoc. profesore., *Dr. geol.* (Latvijas Universitāte)

**Ojārs Āboltiņš**, LU emeritētais profesors, *Dr. habil. geol.*

**Oļģerts Nikodemus**, profesors, *Dr. geogr.* (Latvijas Universitāte)

Promocijas padomes sastāvs:

**Vitālijs Zelčs**, profesors, *Dr. geol.* – padomes priekšsēdētājs

**Ervīns Lukševičs**, profesors, *Dr. geol.* – priekšsēdētāja vietnieks

**Valdis Segliņš**, profesors, *Dr. geol.*

**Laimdota Kalniņa**, asoc. profesore, *Dr. Geol.*

**Ivars Zupiņš**, *Dr. geol.*

**Aija Dēliņa**, *Dr. geol.*

*Padomes sekretārs:*

**Ģirts Stinkulis**, asoc. profesors, *Dr. geol.*

Promocijas darbs pieņemts aizstāvēšanai ar Latvijas Universitātes Ģeoloģijas promocijas padomes 2010. gada 7. jūlija sēdes lēmumu nr. 06/2010

Promocijas darba atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē 2010. gada 26. novembrī, Rīgā, Alberta ielā 10, (212. telpa).

Ar promocijas darbu ir iespējams iepazīties Latvijas Universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Rīgā, Kalpaka bulvārī 4 un Latvijas Akadēmiskajā bibliotēkā Rīgā, Lielvārdes ielā 4.

Promocijas darba kopsavilkuma izdošanu ir finansējusi Latvijas Universitāte.

*Atsauksmes sūtīt:*

Dr. Ģirts Stinkulis, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga.

Fakss: +371 6733 2704, e-pasts: Ģirts.Stinkulis@lu.lv

© Jānis Lapinskis, 2010

© Latvijas Universitāte, 2010

www.lu.lv

## Saturs

Anotācija .....	4
Annotation .....	4
Lietotie saīsinājumi .....	4
Ievads .....	5
1. Literatūras apskats .....	11
1.1. Ieskats jūras krastu izpētes vēsturē .....	11
1.2. Jūras krastu pētījumu vēsture Latvijā .....	12
1.3. Baltijas jūras Kurzemes piekrastes vispārīgs raksturojums .....	16
1.3.1. Ģeoloģiskā uzbūve .....	17
1.3.2. Baltijas jūras agrāko attīstības stadiju loma mūsdienu krastu procesos .....	22
1.4. Krasta nogāzes uzbūve un attīstība .....	23
1.4.1. Sanešu materiāla pārvietošanās krasta sistēmā .....	27
1.5. Antropogēno faktoru ietekme uz krasta procesiem .....	31
2. Materiāli un metodes .....	36
2.1. Pētījuma teritorijas izvēles pamatojums .....	36
2.2. Pētījuma materiāls .....	38
2.2.1. Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa dati .....	38
2.2.2. Krasta zonas virsūdens daļas pusinstrumentāla apsekošana .....	44
2.2.3. Pludmales sanešu paraugu ievākšana .....	47
2.3. Datu apstrāde un analīze .....	47
2.3.1. Sanešu bilances aprēķināšana .....	47
2.3.2. Datu grafiskā analīze .....	48
2.3.3. Pludmales sanešu granulometriskā analīze .....	48
2.3.4. Karšu veidošana izmantojot ĢIS .....	48
3. Rezultāti un to interpretācija .....	49
3.1. Krasta nogāzes subaerālās daļas morfometriskie parametri un nogulumi .....	49
3.1.1. Baltijas jūras Kurzemes piekrastes pludmales parametri .....	49
3.1.2. Virspludmales reljefs .....	55
3.2. Pludmalē un aktīvajā eolās akumulācijas reljefā uzkrāto sanešu apjoms .....	60
4. Diskusija .....	67
4.1. Baltijas jūras Kurzemes krastu klasifikācija .....	67
4.1.1. Krastu klasifikācijā biežāk lietotās pieejas .....	67
4.1.2. Jūras krastu klasifikācijas kritēriji .....	68
4.2. Baltijas jūras krastu klasifikācijas un rajonēšanas piemēri Latvijā .....	71
4.3. Litomorfodinamiski viendabīgu krasta iecirkņu un to robežu koncepcija .....	75
4.4. Raksturīgie krasta nogāzes virsūdens daļas šķēršprofilu tipi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē .....	82
Secinājumi .....	94
Literatūras saraksts .....	96
Pielikumi .....	106

## **Anotācija**

Darbā apskatīti svarīgākie jautājumi, kas saistīti ar jūras krasta ģeoloģiskajiem procesiem Baltijas jūras Kurzemes piekrastē. Apkopota informācija par jūras krastu ģeoloģisko procesu izpētes vēsturi Latvijā un par galvenajām nozarē lietotajām pētījumu metodēm. Sniegts pārskats par jūras krasta zonas uzbūvi, galvenajiem tās elementiem un krasta nogāzes virsūdens daļas reljefa parametriem Baltijas jūras Kurzemes piekrastē. Pētījumā ir analizētas krasta zonas ģeogrāfiskās rajonēšanas problēmas, akcentējot atšķirības starp morfoģenētisko un morfodinamisko pieeju. Balstoties uz Latvijas jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa sistēmā un autora paša pētījumos iegūto datu par mūsdienīgu jūras krastu dinamiku analīzi, piedāvāta jūras krasta zonas divpakāpju rajonēšanas shēma un izdalīti tipiskie krasta nogāzes virsūdens daļas šķērsprofili pēc pludmali un aktīvo eolo reljefu veidojošo sanešu daudzuma.

**Atslēgas vārdi:** krasta zona, sanešu bilance, erozija, monitorings, krastu klasifikācija.

## **Annotation**

The paper addresses main issues related to coastal geological processes along the Kurzeme coast of the Baltic Proper. General information on previous investigations of the coastal geological processes in Latvia and main research methods used is summarized. The paper provides an overview of the coastal zone composition, its main elements and variations in topography characteristics of the subaerial part of the coastal slope in different parts along the Kurzeme coast of the Baltic Proper. The study analyzed problems associated with geographical regionalization of the coastal zone emphasizing the differences between the morphogenetic and morphodynamic approach. Based on the analysis of the data from monitoring of coastal geological processes and from the author's own studies of the coastal dynamics, dual level division of coastal zone of the Kurzeme coast of the Baltic Proper is proposed, by the typical cross-sections of the subaerial part, depending on sediment volume differences in beach and active aeolian part of coastal slope.

**Key words:** coastal zone, sediment balance, erosion, monitoring, coastal classification.

## **Lietotie saīsinājumi**

AEAR – aktīvais eolās akumulācijas reljefs

ĢIS – ģeogrāfiskās informācijas sistēmas

LJKĢPM – Latvijas jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings

LU ĢZZF - Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

LVĢMA – Valsts aģentūra „Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra”

PSRS – Padomju Sociālistisko Republiku Savienība

## Ievads

Jūras krasta nogāzes subaerālo daļu Baltijas jūras Kurzemes piekrastē veido mainīga nepilna profila pludmale un virspludmales reljefs, kas mūsdienu krastu attīstības gaitā tiek iesaistīts sanešu materiāla aprītē un, atkarībā no tā bilances, var būt pārstāvēts ar aktīvās eolās akumulācijas reljefu (turpmāk tekstā – AEAR) vai krasta erozijas kāpli (stāvkrastu) (Ulsts, 1998; Eberhards, 2003). Līdz šim Latvijā plašāk tiek lietots tradicionālais krastu iedalījums pēc tajos pastāvošajiem (vai ilgstoši dominējošiem) dinamiskajiem apstākļiem: akumulatīvie, erozijas un dinamiskā līdzsvara krasti (Bulgakova, 1982; Ulsts, 1998; Eberhards, 2003). Krasta zonas subaerālās daļas platums ir no desmit metriem līdz vairākiem simtiem metru, turklāt tās krasta līnijai subparalēlās jūras un iekšzemes robežas ir nepārtauktā pārmaiņu procesā (Eberhards, 2003; Lapinskis, 2009a).

### Pētījuma aktualitāte

Jūras krasta zona ir vieta, kur mijiedarbība starp atmosfēru, litosfēru, hidrosfēru un atsevišķos gadījumos arī biosfēru un antroposfēru ir ļoti intensīva (Žaromskis, 1997; Pilkey et al., 1993; Finkl, 2004). Ņemot vērā ļoti plašo veidojošo un limitējošo dabas apstākļu daudzveidību, arī krastiem piemīt liela dažādība gan plāna skatījumā, gan krasta šķērsgriezumā, bet plašais varietāšu spektrs un sadrumstalotība apgrūtina šajā vidē pastāvošo likumsakarību izzināšanu. Lai panāktu labāku to izpratni, ir nepieciešams veikt šīs novērojamās dažādības klasificēšanu un apvienošanu grupās, lietojot noteiktus un vispārinātus krasta zonu raksturojošus lielumus.

Krastus ietekmē grupa to attīstību virzošu un limitējošu faktoru, tāpēc dažādu valstu pētnieki, izmantojot pētījumu detalizācijai un pētījumu vietai pielāgotu metodisko pieeju, visbiežāk savos pētījumos ietver visai ierobežotu skaitu dažādu ģeogrāfisku vietu un akcentē kādu konkrētu pētījumu mērķi. Šo pētījumu rezultātā ir izstrādātas ļoti daudzskaitliskas un daudzveidīgas jūras krastu klasifikācijas (Rijn, 1998; Haslett, 2000; Woodroffe, 2002; Fairbridge, 2004; Benedet et al., 2004). Tomēr jau kopš 19. gadsimta beigām, dažādi modificējot un pielāgojot tās konkrētiem mērķiem, plašāk tiek lietotas tikai divas pieejas: ģenētiskā (Zenkowitch, 1967; Rijn, 1998) un aprakstošā (Davies, 1984).

Aprakstošo metožu izmantošana dominē, tomēr to lietošanu apgrūtina kādas universālas sistemātiskas pieejas trūkums (Rijn, 1998). V. Zenkovičs uzskata, ka krastu tipu klasifikācija par zinātniski pamatotu ir saucama vienīgi tad, ja tā ir ģenētiska – procesu, faktoru un mijiedarbību sakarības aptveroša, un pēc iespējas detalizēti ataino mūsdienu dinamiskās krastu pārvērtības (Zenkowitch, 1967). Par pamatu ņemot mūsdienu procesus, kas nosaka krasta vizuālo izskatu un tā piederību kādam noteiktam tipam, tika izveidota „dinamiskā teorija” (Yonin et al., 1959). Savukārt, H. Valentains (Valentin, 1952) piedāvā krastu klasifikācijā balstīties uz dabā nosakāmām krastu īpašībām, instrumentāli uzmērītām to parametru izmaiņām un citiem fiksējamiem lielumiem.

Vēsturiski Latvijā jūras krastu ģeoloģiskajiem pētījumiem veltītajās zinātniskajās publikācijās ir pieņemts lietot bijušās PSRS vadošo pētnieku izstrādātās un atbilstošas teritorijas dabas apstākļiem pielāgotās morfoģenētiskās krastu klasifikācijas shēmas. Šādu krastu morfoģenētiskās klasifikācijas sistēmu, balstoties uz ASV pētnieka D. Džonsona (Jonson, 1919) idejām, 1959. gadā izstrādāja A. Joņins, P. Kapļins un V. Medvedjevs (Yonin et al., 1959). Baltijas jūras apstākļiem šī sistēma tika aprobēta V. Gudeļa pētījumus apkopojošā publikācijā 1967. gadā (Gudelis, 1967). Saskaņā ar V. Gudeli, Kurzemes rietumu jūras krasti ir visai vienveidīgi un tie pieder pie jūras abrāzijas vai jūras akumulācijas izlīdzinātajiem krastiem. Morfoģenētiskās metodes lietošanas ērtuma labad, krasta tipu un apakštipu skaits šajā klasifikācijā ir visai ierobežots. Tiek atzīmēts (Ulsts,

1998), ka augstāka detalizācijas pakāpe, raksturojot krastu morfoloģisko daudzveidību un to attīstības stadijas, visas Baltijas jūras mērogā nebūtu lietderīga, ņemot vērā lielās gultnes un krastu ģeoloģiskās uzbūves atšķirības dažādās tās daļās.

Veicot kompleksu Kurzemes rietumu krastu izpēti, 1982. gadā E. Bulgakovas vadībā tika izstrādāta klasifikācijas shēma (Bulgakova, 1982) un tai atbilstoši tika nodalīti četri pirmās pakāpes krasta rajoni ar to robežām Liepājā, Pāvilostā un Ventspilī. Jaunākajā monogrāfiskajā publikācijā „Baltijas jūras Latvijas krasta zona” V. Ulsts (Ulsts, 1998) piedāvā jūras krastu tipizāciju, kurā kā galvenie izdalīšanas kritēriji tiek izmantoti pamatkrasta ģeoloģiskā uzbūve, to veidojošo iežu vecums un mūsdienu dinamika. Tomēr V. Ulsta izstrādātā klasifikācija nav pilnīga un viennozīmīga, jo zemas pakāpes krastu iecirkņu nošķiršanai vienlaicīgi tiek izmantoti gan morfoģenētiskie, gan arī litomorfodinamiskie kritēriji.

Detalizēti un sistemātiski pēdējos gadu desmitos veiktie pētījumi jūras krasta zonas subaerālajā daļā Latvijā (Eberhards, Saldupe, 1995; Lapinskis, 2005; Eberhards, 2003; Eberhards et al., 2006; Torklere, 2008; Lapinskis, 2009a) ievērojami paplašina iespējas pārskatīt agrāko pieeju un izveidot kvalitatīvi jaunu krasta klasifikācijas sistēmu. Minētās publikācijas, kā arī autora veiktie pētījumi, norāda, ka, neskatoties uz Latvijas krastu relatīvo morfoģenētisko viendabību, zemas pakāpes krasta vienību klasifikācijai būtu iespējams izmantot krasta nogāzes elementu morfometriskās pazīmes.

Jūras krasta procesu attīstības pētījumi pasaulē paudzēm ilgi ir bijuši mērķēti krasta izmaiņu cēloņu noskaidrošanai, nākotnē iespējamo krasta izmaiņu paredzēšanai, kā arī risinājumu, ar kuriem ierobežot krasta izmaiņas, meklējumiem. Pēdējās desmitgadēs īpaši ir aktualizējušies jautājumi, kas ir saistīti ar globālā klimata maiņu, šīs mainības izraisīto iespējamo ūdenslīmeņa celšanos Pasaules okeānā, un iespējamajām ar to saistītajām tendru izmaiņām jūras krastu ģeoloģiskajos procesos (Cowell, Nelson, 1991; Hanson, Lindh, 1993; Carter, Woodroffe, 1994; Eberhards, Saldupe, 1995a; Healy, 1996; Eberhards, Purgalis, 2008; uc.). Šie jautājumi pagaidām nav skatāmi viennozīmīgi, jo pastāv nepietiekamas zināšanas un izpratnes trūkums par to, kā vidējā termiņā un ilgtermiņā krasta zona reaģēs uz izmaiņām tādos sistēmas attīstību virzošos faktoros kā ūdenslīmeņa celšanās un vētru režīma izmaiņas (Klein, Nichols, 1999; Orviku et al., 2003; Cowell et al., 2006; Brommer, van der Burgh, 2009; Hapke et al., 2009; uc.).

Informācija par litomorfodinamiski viendabīgu iecirkņu telpisko izvietojumu un attīstību potenciāli ļauj novērtēt tās ietekmes, kas saistītas ar antropogēnas izcelsmes traucējumiem – tādiem kā krasta aizsardzības pasākumi un ostas, kā arī tās ietekmes, kas saistītas ar mainīgiem sistēmu ietekmējošiem ārējiem faktoriem – reģionālām un globālām klimata izmaiņām (Bray, 1995). Būtisks problēmas aspekts ir Latvijas krasta zonā pēdējo desmitgažu laikā notikušās pārvaldes un apsaimniekošanas pamatprincipu izmaiņas: ir mainījušās īpašuma tiesības, izstrādāti teritoriju plānojumi un attīstības plāni, kā arī ir noteiktas jaunas aizsargājamās dabas teritorijas. Šodien arvien vairāk pieaug dažādu nozaru pārstāvju un iesaistīto pušu ieinteresētība praktiski pielietojamā, zinātniski pamatotā un atbilstoši detalizētā informācijā par mūsdienu situāciju piekrastē un tās iespējamajām attīstības tendencēm (Eberhards, 2003; Kļaviņš, Briede, 2009).

Veicot Latvijas Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringu (LJKĢPM), ir uzkrāti, sistematizēti un interpretēti dati par krasta nogāzes virsūdens daļā notiekošajiem procesiem sākot ar 1992. gadu (Kurzemes rietumos). Pamatojoties uz šiem datiem, ir publicēti gan teorētiski un vispārinoši, gan specifiski un konkrētiem mērķiem adresēti pētījumi (Eberhards, 2000b; 2001; 2003; Eberhards, Saldupe, 1993; 1995a; 1999; 2002; Eberhards et al., 2001; 2004; Lapinskis, 2002; 2003; 2005; Lapinskis, Eberhards, 2005; 2006; Lapinskis, Eberhards, 2006). Tomēr līdz šim nav veikti plaši un vispusīgi pētījumi, kas orientēti uz litomorfodinamisko kopsakarību noskaidrošanu un krasta sistēmas

hierarhijas izstrādi. Tam par iemeslu ir bijis gan agrāk veikto lauka darbu epizodiskais raksturs un atšķirīgās izmantotās metodes, gan ļoti atšķirīgais datu rindas garums un detalizācijas pakāpe dažādos Baltijas jūras Kurzemes krasta posmos (Eberhards, Saltupe, 1995a; Eberhards, 2003). Šāda rakstura pētījumus daļēji ierobežoja jau ilgstoši pastāvošais uzskats (Ulsts, 1998), ka procesi, kas noris krasta nogāzes subaerālajā daļā, ir sekundāri un to izpēte ir mazperspektīva.

Jūras krasta procesu norisi un to izpausmi krasta morfoloģijā autors ir sācis pētīt jau 1995. gadā, kad pamatstudiju un vēlāk arī maģistrantūras laikā pievērsās kopējo likumsakarību pētījumiem konkrētos iecirkņos un krasta erozijas iespējamajai attīstībai nākotnē klimata maiņas apstākļos. Studējot ģeoloģijas doktorantūrā, ir izstrādāts komplekss jūras krasta zonas dinamikas pētījums, kas faktiski ir pirmais mēģinājums veikt litomorfodinamisko rajonēšanu, balstoties uz mūsdienu atziņām krastu ģeoloģijā, gandrīz 20 gadu laikā ievāktajiem LJKĢPM datiem un autora realizētajiem pētījumiem lauka un laboratorijas apstākļos.

### **Pētījuma mērķis**

Par mērķi tika izvirzīta Baltijas jūras Kurzemes piekrastes krasta zonas subaerālās daļas izvērtēšana un raksturošana, pamatojoties uz pēdējo 18 gadu laikā veiktu instrumentālu un pusinstrumentālu pētījumu rezultātiem, galvenokārt akcentējot pludmales un aktīvā eolā reljefa morfometrisko parametru izmaiņu cēloņsakarības krasta zonas rajonēšanas kontekstā.

### **Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes:**

- jūras krasta Latvijā rajonēšanas iepriekšēji izstrādāto shēmu detalitāte ir nepietiekoša un to pielietojamības iespējas ir neatbilstošas mūsdienu prasībām;
- morfoģenētiskās pieejas izmantošanu krastu rajonēšanā Latvijas apstākļos apgrūrina to relatīvā viendabība un ievērojamā krasta sistēmā pastāvošā antropogēnā slodze;
- jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa sistēmā uzkrātie dati ir izmantojami ar krasta rajonēšanu saistītu uzdevumu risināšanā;
- Liepājas un Ventspils ostu ārējās hidrotehniskās konstrukcijas būtiski deformē sanešu materiāla apmaiņu Baltijas jūras Kurzemes piekrastē;
- zemāko pakāpju krasta iecirkņus rajonēšanas vajadzībām ir iespējams nošķirt, izmantojot evolucionārās un morfometriski-sedimentoloģiskās pazīmes;
- atbilstoši Baltijas jūras Kurzemes piekrastes apstākļiem, var izdalīt raksturīgos krasta nogāzes virsūdēns daļas šķērsprofila tipus.

### **Pētījuma galvenie uzdevumi**

Saskaņā ar darbā izvirzīto mērķi, uzdevumi tā sasniegšanai tika iedalīti vairākos secīgos etapos:

- jūras krasta klasifikācijai un rajonēšanai veltīto pētījumu apkopošana un analīze, pievēršot uzmanību to mērķiem un metodikai;
- jūras krasta procesiem Latvijā veltītās publicētās literatūras un nepublicēto materiālu apkopošana un analīze, pievēršot uzmanību iespējamām pretrunām;
- lauka un kamerālo darbu satura izstrāde, darba metožu izvēle;
- jūras krasta subaerālās daļas morfometrisko un sanešu parametru pētījumi ar instrumentālām un pusinstrumentālām metodēm;
- pētījumu gaitā iegūtās informācijas apstrāde, sanešu budžeta, krasta reljefa formu morfometrijas telpisko un hronoloģisko izmaiņu analīze, secinājumu izstrāde;



- Baltijas jūras Kurzemes piekrastes krasta litomorfodinamiski viendabīgo iecirkņu izvietojuma likumsakarību izzināšana telpiskā skatījumā.

### **Darba novitāte**

- Veikts oriģināls Latvijas krastu litomorfodinamikas pētījums, galveno vērību pievēršot krasta subaerālajā joslā pastāvošajām kopsakarībām starp sanešu materiāla bilanci un krasta reljefa formu morfometriju telpiskā un hronoloģiskā skatījumā.
- Novērtēta jūras krasta ģeoloģisko procesu monitoringa sistēmas datu izšķirtspēja un piemērotība litomorfodinamiski viendabīgu krasta iecirkņu noteikšanā.
- Pirmoreiz apkopoti un analizēti rezultāti, kas iegūti 18 gadu laikā lauka pētījumos par 110 stacionārajām nivelēšanas profilu līnijām un aptuveni 650 stacionārajām stāvkrastu erozijas mērījumu līnijām, kā arī par 40 atsevišķiem darba izstrādes gaitā ierīkotiem nivelēšanas profiliem un atkārtotiem krasta zonas pusinstrumentāliem apsekojumiem visā 244 km garumā no Lietuvas un Latvijas robežas līdz Kolkas raga virsotnei (izņemot iecirkņus starp ostu moliem).
- Pirmoreiz izstrādāta pludmales un aktīvā eolā reljefa klasifikācija, kas ļāva izdalīt 11 raksturīgos krasta nogāzes subaerālās daļas profilu tipus un sastādīt morfodinamisko krasta iecirkņu kartoshēmu ar horizontālo izšķirtspēju garkrasta griezumā – 0,5 km.

Agrāk publicētie pētījumi, kas skar Latvijas krasta zonas rajonēšanu pēc morfodinamiskā principa, pamatojas uz lauka apsekojumos iegūtiem un empīriski vispārinātiem datiem tikai par dažiem krasta zonas parametriem (Bulgakova, 1982) vai fragmentāriem un īslaicīgiem stacionāriem mērījumiem (Ulsts, 1998). Krasta iecirkņu izdalīšanai piemērota metode Latvijā līdz šim nav tikusi izstrādāta.

Minēto nenoteiktību raksturo, piemēram, E. Bulgakovas (1982) pētījumi, kuri nošķir četrus pirmās pakāpes krasta rajonus ar robežām Liepājā, Pāvilostā un Ventspilī. Šajā pētījumā autore nodalīto apakšsistēmu sastāvā esošu iecirkņu robežas nav precīzi definētas un to noteikšanas metodika nav norādīta, bet krasta dinamisko tipu mija tiek skaidrota ar Austrumbaltijas sanešu plūsmas piesātinājuma pakāpes svārstībām saistībā ar krasta līnijas orientācijas izmaiņām un ostu hidrotehnisko būvju radītajiem šķēršļiem.

V. Ulsta monogrāfijā „Baltijas jūras Latvijas krasta zona” (1998) par kritērijiem tipu noteikšanā ir izmantots gan krastu vēsturiskās pārmantojamības princips (krasta zonu robežas tiek noteiktas, ievērojot Litorīnas jūras krasta formu robežas), gan krastu ģeoloģiskā uzbūve, gan iežu vecums, gan mūsdienu procesu īpatnības.

Veicot kādas krasta sistēmas dalīšanu iecirkņos pēc morfodinamiskā principa, būtiskākā pētījuma daļa ir pietiekama apjoma un augstas kvalitātes datu ieguve par pētāmajā krasta posmā pastāvošo sanešu bilanci (Bray, 1992; Roy et al, 1994; Rijn, 1998). Atbilstoši šai atziņai, pasaulē, sākot ar 1970-tajiem, bet īpaši plaši – kopš 1990-tajiem gadiem, atzinību iegūst litorālo šūnu (littoral cells) koncepcija (Bray et al., 1995). Litorālo šūnu koncepcijas pamatā ir apgalvojums, ka krasta sistēmu veido savstarpēji saistītu un pat atkarīgu vienību – dažāda līmeņa elementu kombinācijas. Turklāt, starp šiem elementiem pastāvošo mijiedarbības procesu mērogi ir ļoti dažādi gan laikā, gan telpā. Tā kā krasta sistēmā notiek nepārtraukta virzība uz līdzsvaru, atsevišķu tās elementu pastāvēšana un attīstība ir tam pakārtota, respektīvi, pārejoša. Tomēr ikvienā konkrētā laika vienībā var izšķirt stāvokļus, kuros iespējams definēt un noteikt starp elementiem un procesiem pastāvošās robežas, tajā skaitā arī krasta morfodinamisko iecirkņu robežas (Peterson, et al., 1990; Bray, 1992; Renzo, Simeoni, 1994; Bray et al., 1995; Pilkey, Katherine, 1996).

Pēc darba autora domām, tālāk būtu nepieciešams pētīt sanešu materiāla apmaiņas likumsakarības starp krasta nogāzes subaerālo daļu un zemūdens nogāzes seklūdens daļu, kā arī precizēt Latvijas krasta zonā esošo hidrotehnisko būvju un veikto preterozijas

pasākumu ietekmes apmēru. Kā atsevišķu pētījumu virzienu, kura attīstīšanai dotais pētījums paver plašākas iespējas, jāmin matemātiskās modelēšanas metožu pielietošana krasta zonas attīstības prognozēšanai vidējā termiņā hidrometeoroloģisko likumsakarību kontekstā.

### **Darba aprobācija**

Pamatojoties uz pētījuma rezultātiem, ir sagatavotas četras zinātniskās publikācijas un 19 konferenču un sanāksmju tēzes. Par dažādām pētījuma daļām ir sniegti ziņojumi trīs starptautiskās konferencēs un trīspadsmit konferencēs Latvijā. Sadarbībā ar *Dr. h. ģeog.* Gunti Eberhardu ir izstrādāts un 2008. gadā publicēts agrākos autoru pētījumu rezultātus apkopojošs karšu atlants „Baltijas jūras Latvijas krasta procesi”.

### **Raksti zinātniskos žurnālos**

1. Lapinskis J., 2009. **Jūras krasta rajonēšana Latvijā pēc litomorfodinamiskām pazīmēm.** *RTU Zinātniskie raksti.* Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, 19 (1), lpp. 168-174.
2. Eberhards G., Grīne I., Lapinskis J., Purgalis I., Saltupe B., Torklere A., 2009. **Changes in Latvia's Baltic seacoast (1935-2007).** *Baltica*, 22 (1), 11-22.
3. Eberhards G., Lapinskis J., Saltupe B., 2006. **Hurricane Erwin 2005 coastal erosion in Latvia.** *Baltica*, 19 (1), 10-20.
4. Lapinskis J., 2005. **Long-term fluctuations in the volume of beach and foredune deposits along the coast of Latvia.** *Baltica*, 18 (1), 38-43.

### **Citas publikācijas**

Eberhards G., Lapinskis J., 2008. **Baltijas jūras Latvijas krasta procesi. Processes on the Latvian Coast of the Baltic Sea.** Rīga, Latvijas Universitāte, 64 lpp.

### **Konferenču tēzes**

1. **Preterozijas pasākumi Baltijas jūras Latvijas krastā.** *LU 67. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija.* Rīga, Latvija, 2009.
2. **Liepājas osta un krastu erozija.** *LU 67. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija.* Rīga, Latvija, 2009.
3. **Coastal erosion risk in Latvia and climate change mitigation.** 3. *Starptautiskā konference „Vides zinātne un izglītība Latvijā un Eiropā”. Izglītība un zinātne klimata pārmaiņu novēršanai.* Rīga, Latvija, 2009.
4. **Rīgas līča krastu erozijas risks vētru laikā.** *LU 66. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija.* Rīga, Latvija, 2008.
5. **Coastal geological processes in Latvia associated with storm of January 2005.** *The Ninth Marine Geological Conference, Jurmala, Latvia, 2006.*
6. **Jūras krasta pārejas zonas dinamika Kurzemes rietumos (1992-2005).** *LU 64. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija.* Rīga, Latvija, 2006.
7. **Storm effects on the open Baltic exposed coastal relief of Latvia.** *International Field Symposium on Quaternary Geology and Landforming Processes, Russia, 2005.*
8. **Pludmales sanešu mehāniskā sastāva izmaiņas Latvijas jūras krasta posmā no Ventspils līdz Miķeļtornim.** *LU 63. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija.* Rīga, Latvija, 2005.
9. **Vētru atkārtojamība un pludmales apjoma ilglaicīgās svārstības dinamiski neitrālos krastos.** *LU 62. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija.* Rīga, Latvija, 2004.

10. **Jūras krasta ģeoloģisko procesu monitorings.** LU 62. zinātniskā konference. Latvijas Universitāte, Rīga, Latvija, 2004.
11. **Modern coastal processes in cape of Kolka.** *International Field Symposium on Quaternary Geology and Landforming Processes.* Latvia, 2004.
12. **Atklātas Baltijas jūras Latvijas pludmales kā jūras krastu mūsdienu dinamiskās attīstības tipa indikators.** LU 61. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2003.
13. **Latvijas jūras krastu klasifikācija atkarībā no to jutības pret vētrām.** LU 60. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2002.
14. **Shore erosion on the Latvian open Baltic coast associated with 1999 and 2001 storm events.** *NorFA seminar. Environment and Setling along the Baltic Sea coasts through time.* Pärnu, 2002.
15. **Latvijas jūras krasti un globālā klimata maiņa 21. gadsimtā. Riska zonas un problēmas. 2. Pasaules latviešu zinātnieku kongress.** Latvijas Zinātņu akadēmija, Rīga, 2001.
16. **Jūras krasta procesu īpatnības posmā Nida – Liepāja.** LU 59. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2001.
17. **Brunna formulas pielietojums jūras krastu attīstības prognozēšanai Latvijā.** LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2000.
18. **Jūras krasta monitorings Latvijā.** LU 58. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 2000.
19. **Jūrmalas pilsētas pludmaļu platuma izmaiņas pēdējās desmitgades laikā.** LU 57. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu sekcija. Rīga, Latvija, 1999.

### **Pateicības**

Promocijas darba izstrādāšanu veicināja ESF projekta „Doktorantu un jauno zinātnieku pētniecības atbalsts Latvijas Universitātē” atbalsts (2004-2005).

Promocijas darba izstrādāšanas laikā tā autors kā zinātniskais asistents laika posmā no 2006. līdz 2009. gadam bija iesaistīts Valsts pētījumu programmā „Klimata maiņas ietekme uz Latvijas ūdeņu vidi”, kuras ietvaros darbojās Jūras krasta procesu izmaiņām veltītā darba paketē. Daļa iegūto rezultātu ir atspoguļoti promocijas darbā.

Autors vēlas pateikties darba zinātniskajam vadītājam prof. *Dr. geog.* Valdim Segļiņam par veltīto laiku, vērtīgajiem padomiem, nesaudzīgo un konstruktīvo kritiku un komentāriem disertācijas tapšanas gaitā, kā arī sākotnējam promocijas darba vadītājam emerit. prof. *Dr. habil. Geog.* Guntim Eberhardam par atbalstu, iedvesmu un radošu domu veicinošām diskusijām. Paldies Gintam Robaltam, Lailai Bojārei, Ingusam Purgalim, Mārtiņam Gravam, Armandam Bernaus un daudziem citiem studentiem un kolēģiem no LU ĢZZF par palīdzību lauka un laboratorijas pētījumos.

Izsaku pateicību *Mg. geog.* Jānim Dzelzītim, kas sniedza praktisku atbalstu un padomus kartogrāfiskā materiāla tapšanā.

Ļoti lielu pateicību par pacietību, izpratni, praktisku palīdzību un morālu atbalstu izsaku maniemi radiem un draugiem, bet jo īpaši Sintijai Martinsonei un Imantam Lapinskim.

# 1. Literatūras apskats

## 1.1. Ieskats jūras krastu izpētes vēsturē

Jūras krasti bijuši apdzīvoti daudzus desmitus tūkstošu gadu un ir ticams, ka ūdenslīmeņa svārstības, vētru postījumus un citas izmaiņas krastu zonā cilvēki ir ievērojuši un mēģinājuši veikt šo parādību interpretāciju atbilstoši tā laika pieņemtajiem pasaules uzbūves modeļiem. Iekļaujot dabas parādības atbilstošo kosmoloģisko teoriju rāmjos, un, klasificējot pēc tiem kritērijiem, kuri bija nozīmīgi izdzīvošanai un dzīvesveida saglabāšanai, tās bija iespējams padarīt mazāk biedējošas un vieglāk pieņemamas. Vietas, kurās kādreiz, iespējams, ir atradušās Homēra Illiādā pieminētā Troja un citas tā laika Vidusjūras krastos pastāvējušās pilsētas, ir piedzīvojušas dramatiskas izmaiņas. Arī vēlākos antīkās Pasaules periodos izmaiņas krastu zonā tika pieminētas kā būtiskas, jo īpaši tajos krastu posmos, kas bija nozīmīgi kā tirdzniecības vai karadarbības vietas.

Renesansē, Itālijā ļoti nozīmīgu ieguldījumu viļņu hidrodinamikas pētījumos ir devis Leonardo da Vinči. Viņa vadībā ir notikuši viļņu darbības skaidrošanai veltīti eksperimenti, kuros tika noteikta ūdens daļiņu orbitālā kustība viļņa iekšienē, kā arī pētīts sanešu garkrasta kustības mehānisms. Šie atklājumi lielā mērā ir saglabājuši savu aktualitāti līdz mūsu dienām (Longynov, 1961).

Jūras krastā notiekošajiem procesiem veltītajos darbos līdz pat 18. gadsimta beigām ļoti burtiski tika uztverta krasta kā dabiskas robežas nozīme. Tas, ka pie ūdenslīnijas satiekas litosfēra un hidrosfēra tika pētīts ļoti vienpusīgi – ģeologi un ģeogrāfi, kas savos pētījumos pievērsās sauszemei pie šīs dabiskās robežas apstājās un izrādīja mazu interesi par krasta zonas zemūdens daļu. Okeanogrāfi parasti neinteresējās ne vien par krasta virsūdens daļu, bet arī par krastam tuvajiem seklūdens rajoniem (Carter, Woodroffe, 1994).

Franču dabaszinātnieks A. Lamblardi (Lamblardy) 18. gadsimta beigās ļoti detāli apraksta Normandijas krastus pēc to morfoloģijas un valdošajiem dinamiskajiem apstākļiem. Lamblardi pierādīto sakarību starp sanešu transportspēju un viļņu pienākšanas leņķi joprojām var ieraudzīt gandrīz katrā jūras krastu procesiem veltītā plašākā izdevumā.

Deviņpadsmitā gadsimta 30-tajos un 40-tajos gados tika sperts ļoti nozīmīgs solis tālākā krastu sistēmas izpratnē. Pirmos mēģinājumus pamatot līdzsvara profila veidošanos šķērsām krastam ir veicis franču ģeologs E. Bomons (Beaumont). Viens no pirmajiem ģeologiem, kurš jau deviņpadsmitā gadsimta beigās piedāvāja visai komplikētu aprakstošo krastu klasifikācijas shēmu bija F. Rihthofens. Savā monogrāfijā viņš pievērsās arī krastu abraziņas pētījumiem, analizēdams to cēloņus, izplatības mērogus un iespējamus krastu nostiprināšanas pasākumus (Zenkowitch, 1962).

Divdesmitajā gadsimtā zinātnes attīstība ar jūras krastu ģeomorfoloģiju saistītajos jautājumos sāka sadalīties vairākos atzaros un attīstījās divas samērā atšķirīgu uzskatu „skolas”. Vienas „skolas” pārstāvju (piemēram: E. Bird, M. Fenneman, D. Jonson, A. Jonin, G. Thiery, V. Zenkowitch) galvenā darbības iezīme bija vispārināšana un dedukcija. Viņi mēģināja sistematizēt esošās zināšanas un radīt vienotas, visu izskaidrojošas koncepcijas. Otrās „skolas” autori (piemēram: G. Deen, L. van Reen, F. Shepard, P. Bruun, R. Knaps) galveno vērību pievērsa tieši plašāka datu materiāla ievākšanai, laboratoriskiem pētījumiem un eksperimentālu metožu pielietošanai, mēģinot noteikt skaitliski precīzas cēloņseku sakarības.

Pēdējos 20-30 gados jūras krastu pētījumu laukā faktiski dominē otrās „skolas” pārstāvji un ļoti reti var sastapt tādas publikācijas, kurās nebūtu izmantots un interpretēts ievērojams apjoms specifisku datu. Tomēr mūsdienās aktuālais krasta procesu pētnieku uzdevums bieži ir ļoti triviāls – noskaidrot kā un kāpēc krasta zonas atrašanās vieta un tās

parametri laika gaitā mainās. Tāpēc tipiskākie secinājumi ir konkrētajā vietā sagaidāmās erozijas vai applūšanas prognozēšana (Carter, Woodroffe, 1994).

Krasta erozija vai applūšana ir tika daļa no procesiem, kas notiek komplicētajā un nepārtraukti evolucionējošajā vidē – krasta zonā (Komar, 1998). Būtiski ir saprast, ka erozija tikai mobilizē sanešu materiālu, lai būtu iespējama tā akumulācija citur, un sanešu budžets kādā krasta sistēmā ir tās attīstības likumsakarību izprašanas atslēga.

## 1.2. Jūras krastu pētījumu vēsture Latvijā

Baltijas jūras ģeoloģiskās un ģeogrāfiskās izpētes sākumā, kā visur pasaulē, dominēja galvenokārt lietišķi jautājumi, kas saistīti ar optimālu vietas izvēli ostu izbūvei, drošu navigāciju un militāro jomu. Krievu hidrologu speciālās ekspedīcijas (F.F. Šūberta vadībā) materiāli par Baltijas jūru tika apkopoti 1828.-1853. gadā, Šī darba rezultāts vairākus gadu desmitus tika uzskatīts par vienu no labākajiem pasaulē precizitātes un detalizētības ziņā. Pirmais, kas savā monogrāfijā par Baltijas kvartāra vēsturi un ģeomorfoloģiju pievērsās arī jūras piekrastes zonas nogulumiem, to uzkrāšanās likumsakarībām un izplatības zonām, ir Tērbatas universitātes profesors Konstantīns Grēvinks (Grewingk, 1861). Savā darbā, līdztekus vairākām vēlāko gadu pētījumos neapstiprinātām atziņām, Grēvinks samērā precīzi izskaidro lagūnezeru veidošanās likumsakarības (Veinbergs et al., 1974). Tomēr tiek uzskatīts, ka sistemātiska Baltijas jūras ģeoloģijas izpēte ir sākusies 1870-tajos gados.

Latvijas teritorijā ar krasta zonas izpēti tās dinamikas aspektos pirmie ir nodarbojušies inženieri sakarā ar Kurzemes lielo ostu rekonstrukciju un izbūvi 19. gs. beigās. Tā piemēram, Krievijas komercostu aprakstā, kura autors ir M. Šistovskis, tiek aprakstīti ostas piesērējumi Ventspilī, kā iemeslu minot valdošos rietumu un dienvidrietumu vējus, kas izsauc stipras jūras straumes un sanešu kustību virzienā uz ziemeļiem. 1908. gadā Rīgas Politehnikuma profesors Bruno Karls Doss, analizējot Ventspils apkārtnē veiktus urbumus, iedala tajos konstatētos nogulumus kā piederīgus Joldijas, Ancilus un Litorīnas stadijām. Hanss Magnuss Hauzens 1913. gadā publicē savu darbu, kurā liela uzmanība pievērsta tieši Baltijas jūras agrāko stadiju ūdenslīmeņa svārstībām kā noteicošajam faktoram mūsdienu piekrastes nogulumu sadalījumā. Hauzens detāli aprakstījis seno krastu veidojumus vietās, kur tie īpaši labi saglabājušies, kā arī noskaidrojis agrāko krasta līniju augstuma atšķirības no šodienas jūras līmeņa (Hausen, 1913).

Pagājušā gadsimta pirmajās desmitgadēs tika veikti pirmie vispārīgie krastu ģeoloģiskās uzbūves un to procesu dinamikas pētījumi Baltijas dienvidu un dienvidrietumu daļā, ietverot Kuršu nēriju un Sambijas pussalu (Mortensen, 1921). Prate veica detalizētu Kuršu jomas un Sambijas pussalas krasta seklūdens daļas nogulumu izpēti (Prate, 1932). Šajā darbā autors diskutē par sanešu garkrasta kustības nozīmi.

Pirmās Latvijas brīvvalsts laikā vairākas nozīmīgas publikācijas sagatavojuši Latvijas Universitātes pasniedzēji Marija Galeniece un Pauls Galenieks. Šie botāniskas ievirzes darbi, kuru veikšanā tika pielietotas arī sporu-putekšņu analīzes, ļāva izveidot Latvijas purvu nogulumu vidējo putekšņu diagrammu (Galeniece, 1935). M. Galenieces pētījumiem bija liela nozīme tālākā Baltijas jūras agrāko stadiju nogulumu vecuma noteikšanā un līdz ar to arī jūras krastu attīstības vēstures izprašanā. Šajā laikā Latvija iesaistās starptautiskās Baltijas jūras izpētes programmās, tā piemēram, vienotā Baltijas talasoloģiskā (hidroloģiskā) tīkla izveidē. Starptautiskā sadarbība tiek koordinēta ar Baltijas valstu hidrologu konferenču un Kopenhāgenas Jūras pētīšanas pastāvīgās starptautiskās padomes starpniecību. Latvijas Republikas laikā ar krasta zonas izpēti ir

saistītas vairākas institūcijas: galvenā no tām ir Finanšu ministrijas Jūrniecības departaments, kas nodrošina ūdenslīmeņu un straumju novērojumus Latvijas piekrastē. Pēc 1934. gada Latvijā jau darbojas 13 ūdenslīmeņa novērošanas posteņi. Zemkopības ministrijas meteoroloģijas birojs veic jūras viļņošanās novērojumus (11 vietās), bet LU hidrobioloģiskā stacija – krasta zonas bioloģisko izpēti (Stakle, 1936).

Viens no Jūrniecības departamenta darbības virzieniem bija uzmērīšanas darbu veikšana un karšu sastādīšana. Tā piemēram, tika izdotas Rīgas, Liepājas un Ventspils ostu sīkmēroga kartes. Pirmoreiz 1927., otrreiz 1931. gādā iznāk Ovīšu sēkļa rajona plāns M 1:100 000. Pēc dažiem gadiem seko Ainažu-Salacgrīvas apkaimes un Rojas-Mērsraga-Bērzciema apkaimes kartes. Tika veikta virkne uzmērīšanas darbu ar mērķi noskaidrot zvejnieku ostu uzlabošanas un jaunu patversmes ostu ierīkošanas iespējas.

Hidrogrāfisko pētīšanas darbu materiāli glabājās jūrniecības departamenta jūras un ostu pētījumu arhīvā. Šajā laikā, izmantojot kartogrāfiskā materiāla salīdzināšanas metodes, tika veikti pirmie krastu izmaiņu analīzes darbi, pēc kuriem P. Stakle 1936. gadā apraksta sanešu kustību un krasta izmaiņas Latvijas ostu rajonos (Stakle, 1936). VI Baltijas hidroloģijas konferencē tiek publicēti R. Knapa un P. Reveļa pētījumi par materiāla kustību Latvijas krasta zonā (Knaps, 1938; Revelis, 1938). 1938. gadā iznāk A. Lendes pētījumi par vidējiem vēja apstākļiem Latvijas piekrastē un to saistību ar jūras straumēm un sanešu kustību gar krastu.

Pēc Otrā pasaules kara līdz pat gadsimtu mijai Latvijas piekrastes un mūsdienu krasta procesu zinātniskie pētījumi tika organizēti Zemes bagātību pētīšanas institūtā, Zinātņu Akadēmijas Ģeoloģijas un derīgo izrakteņu institūtā, Vissavienības Zinātniskās Ražošanas Apvienībā „Jūras inženierģeoloģija“, Zinātņu Akadēmijas Ģeoloģijas un ģeogrāfijas institūtā, Vissavienības jūras ģeoloģijas un ģeofizikas institūtā un Latvijas Universitātes Ģeoloģijas institūtā.

1952. gadā tika izveidota PSRS Zinātņu Akadēmijas Okeanogrāfiskās komisijas Krasta sekcija. Šīs sekcijas uzdevumi bija zinātnisko konferenču rīkošana, kā arī pētniecisko grupu izveide, tai skaitā arī Latvijas un Lietuvas Zinātņu Akadēmijas institūtos. Svarīgs Krasta sekcijas darbības rezultāts bija kopoto rakstu izdošana, kur vairākos sējumos tika publicēti tā laika nozīmīgākie krasta pētījumi. Viena no galvenajām tēmām, kura tika risināta Jūras Krastu dinamikas un morfoloģijas darba grupās gan Latvijā, gan Lietuvas PSR ZA Ģeogrāfijas nodaļās, bija krasta zonas dinamika un litodinamika.

Pirmie, kas jau divdesmitā gadsimta vidū savos pētījumos pievērsās tieši mūsdienu krastu procesiem, sanešu kustības jautājumiem un detāli analizēja jaunākās krasta reljefa formas, bija Viktors Ulsts, Eduards Grīnbergs un Rūdolfs Knaps.

R. Knapa pētījumi par ostu hidrotehnisko būvju ietekmi uz sanešu kustību un dažādu dabisku faktoru nozīmi sanešu garkrasta kustības nodrošināšanā, neskatoties uz atsevišķām neprecizitātēm, joprojām bieži tiek citēti mūsdienu publikācijās par Latvijas jūras krastiem. Plaši ir pazīstams R. Knapa aprēķinu paņēmieni, kurš izveidots, modernizējot Munha-Petersena formulu (Munch-Petersen, 1936). Formula ir pielietojama garkrasta sanešu plūsmas ietilpības aprēķināšanai (Knaps, 1965), taču aprēķinu rezultāti vienmēr ir jāprecizē, salīdzinot tos ar konkrētiem apstākļiem dabā, kuri var ievērojami atšķirties (pateicoties tādām formulā neiekļautām niansēm, kā krasta līnijas orientācijas attiecība pret blakus esošo iecirkņu orientāciju, zemūdens reljefa telpiskās izmaiņas u.c.). Savās vēlāko gadu publikācijās R. Knaps pievērsās jautājumiem, kas ierobežo sākotnējās aprēķinu metodes izmantošanu praksē ārpus ostu akvatorijām un tām blakus esošiem iecirkņiem (Knaps, 1982).

Kā viens no nozīmīgākajiem divdesmitā gadsimta vidus darbiem noteikti jāmin E. Grīnberga 1957. gadā publicētā monogrāfija „*Pozdnyelednikovaya i poslelednikovaya istoriya poberezhya Latvijskoy SSR*” („Latvijas PSR piekrastes vēsture leduslaikmeta

beiguposmā un pēcledus laikmetā”), kuras tapšana bija iespējama, pateicoties autora veiktiem pētījumiem par agrāko Baltijas jūras stadiju krasta līnijām un krasta reljefa formām. E. Grīnberga sastādītās paleoģeogrāfiskās shēmas un pētījumi par akumulācijas un erozijas reljefa formām liecina par Holocēnā notikušu intensīvu krasta līnijas iztaisnošanos, kā arī rada pamatu vēlāko pētnieku ievērojami detālākai izpratnei jautājumos par „tradicionālajām”, līdz mūsdienām pārmantotām sanešu deficīta un akumulācijas zonām (Grinbergs, 1957).

V. Ulsts pievēršas ļoti plašam ar jūras krastiem saistītu jautājumu spektram. Viņš analizē krasta reljefa formu attīstības likumsakarības, eolo un jūras nogulumu litoloģiskās īpatnības (Ul'st, 1965), pēta smago minerālu kļiedņus (Ul'st, 1964) un krastu aizsardzības inženierģeoloģiskās problēmas (Ul'st, 1961). V. Ulsta monogrāfija „Baltijas jūras Latvijas krasta zona” ir viens no nozares plašākajiem un vispusīgākajiem apkopojošajiem darbiem. Šajā monogrāfijā V. Ulsts ir publicējis ļoti detālu Baltijas jūras krasta zonas morfodinamiski-vēsturiskās rajonēšanas shēmu (Ul'st, 1998).

Līdztekus pēdējā apledošanas deglaciācijas gaitas pētījumiem, nozīmīgu ieguldījumu Baltijas jūras agrāko stadiju krasta formu un krasta zonas sanešu pārvietošanās likumsakarību izpētē ir devis Ints Veinbergs. I. Veinberga vadībā ir tapusi Latvijas krasta zonas morfoloģijas un dinamikas karte. Tas faktiski bija pirmais detālais mūsdienu krasta procesiem veltītais darbs, kas aptvēra visu Latvijas jūras krasta zonu (Veinbergs et al., 1974, 1979; Veinbergs, Danilans, 1992).

Kopš divdesmitā gadsimta astoņdesmitajiem gadiem gan pēc apjoma, gan kvalitātes ļoti ievērojamu pienesumu jūras krastu izpētē ir devis Guntis Eberhards. Sākot ar 1987. gadu Rīgas līcī un 1992. gadu Kurzemes rietumu krastā notiek Gunta Eberharda un Baibas Saltupes aizsāktais jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings. G. Eberharda pētījumi skar Litorīnas laika lagūnu pārzmaugu veidošanās likumsakarības, piekrastes eolo veidojumu morfoloģiju un ģenēzi un jo īpaši problēmas, kas saistītas ar krasta noskalošanu (Saltupe, Eberhards, 1990; Eberhards, 2000b; Eberhards, Saltupe, 1993, 1995b; Eberhards et al., 2004). 2003. gadā publicētā monogrāfija „Latvijas jūras krasti” ir plašākais apkopojošais rakstura darbs, kurā ietverts arī ievērojams apjoms līdz šim citur nepublicētas informācijas (Eberhards, 2003).

Latvijas jūras krastu procesiem veltītos pētījumus par laika posmu kopš otrā pasaules kara ir iespējams iedalīt pēc tajos izmantoto metožu vai to kombināciju ievirzes.

### **Vēsturiskās un kartogrāfiskās metodes**

Jūras krastu ģeoloģisko procesu izpētē mūsdienās par vēsturiskiem tiek uzskatīti dati, kas iegūti pirms vairāk nekā diviem gadu desmitiem (Eberhards, 2003). Viena no plaši pielietotām metodēm krasta izmaiņu izpētē pasaules praksē ir dažāda vecuma kartogrāfiskā vai aerofotomateriāla analīze. Dotās metodes balstās uz dažāda kartogrāfiskā materiāla (karšu, plānu, shēmu) salīdzināšanu un reizēm ir vienīgā vai lētākā un vienkāršākā iespēja izsekot krastu attīstības gaitai līdz pat vairāku simtu gadu ilgā posmā. Pēdējais plašākais pētījums par krastu attīstību, pielietojot 1930-to gadu kartogrāfiskos informācijas avotus un apkopojot agrāku pētījumu rezultātus, ir publicēts 2008. gadā (Eberhards, Lapinskis, 2008).

### **Teorētiskās metodes**

Šādas metodes parasti tiek pielietotas kompleksos pētījumos, apvienojumā ar vairākām citām pētījumu metodēm nosakot likumsakarības, kas saistītas ar krasta zonas hidrodinamiku un litodinamiku. Ar dedukcijas metodēm tiek veidotas krasta attīstības shēmas, kas tiek pārbaudītas ar citām metodēm, pielietojot reģionālus, stacionārus un eksperimentālus datus. Latvijā plašu pielietojumu ir ieguvušas hidrometeoroloģiskās jeb

vēju enerģijas metodes sanešu kustības noteikšanai. To pamatā ir dāņu zinātnieka I. Munka-Petersena metode (1933), kura vēlāk tika papildināta un pielāgota Latvijas apstākļiem (Knaps, 1938). Plašu pielietojumu ir ieguvušas arī vēju-viļņu enerģijas aprēķinu metodes, ko izstrādājis V. Longinovs. Tās dod iespēju novērtēt garkrasta sanešu kustības kvalitatīvos raksturlielumus (Knaps, 1965). Teorētisko pētījumu veikšanā liela loma ir bijusi Vissavienības Zinātniskās Ražošanas Apvienības „Jūras inženierģeoloģija” darbībai.

### **Tālizpētes metodes**

Krasta un jūras gultnes izpētē pasaules praksē plaši tiek pielietotas tālizpētes metodes. Arī Baltijas jūras piekrastes izpētē šīs metodes ir tikušas pielietotas. Jau 1961.-1963.gadā sadarbībā ar PSRS Aerometožu laboratoriju tika veikta tipisku krasta posmu un pazīmju kompleksu izdalīšana Baltijas reģionā. Informācija par šo pētījumu rezultātu tālāko pielietojumu nav pieejama. Valsts ģeoloģijas dienestā ir atrodami vecāki uzlidojumu materiāli, kurus vizuālām analīzēm pielietojis V. Ulsts (Ulsts, 1961). Valsts Zemes Dienests ir veicis Latvijas piekrastes aerofotgrāfēšanu un ir pieejamas ortofotokartes par 1992. un 1994. gadu. Jaunākās aerofotografēšanas kampaņas tika veiktas 2002., 2004. un 2007. gadā.

### **Stacionāro pētījumu metodes**

Stacionāro pētījumu metodes tiek pielietotas hidrodinamikas, sanešu kustības un reljefa izmaiņu noteikšanai lauka apstākļos, veicot ilglaicīgus precīzus mērījumus. Par ļoti bieži pielietotu un tradicionālu metodi jūras krastu procesu analīzē var uzskatīt atkārtotu instrumentālu krasta profilu uzmērīšanu. Latvijas teritorijā stacionārus monitoringa tipa jūras krasta procesu mērījumus veikuši R. Knaps, V. Ulsts, I. Veinbergs (Ulsts, 1961, 1964; Veinbergs et al., 1979). Līdz 1990-tajiem gadiem vienots nepārtrauktu jūras krasta procesu novērojumu tīkls Latvijas teritorijā nebija izveidots (Eberhards, 1993). Sākot ar 1987. gadu G. Eberharda vadībā Latvijā tiek veikts jūras krastu ģeoloģisko procesu monitorings, kas promocijas darba autora vadībā tiek turpināts joprojām.

### **Eksperimentālās metodes**

Eksperimentālās metodes tiek pielietotas viļņu kustības izpētē. Pie šīs metožu grupas var pieskaitīt V. Ulsta aprakstīto termostimulētās luminiscences analīzes metodi (TSL). Termostimulētās luminiscences īpašību izmaiņas balstās uz kvarca graudu TSL atkarības no apgaismojuma intensitātes ar saules stariem. Salīdzinot TSL parametra izolīnijas, tika veikta sanešu pārvietošanās un bilances analīze krasta zemūdens nogāzē (Ulsts, 1998).

### **Matemātiskā modelēšana**

Matemātiskie modeļi un eksperimenti laboratorijās ir viena no metodēm, kas ļauj izolēt atsevišķu faktoru iedarbību, tādējādi izvērtējot to nozīmi. Līdzšinējie garkrasta sanešu kustības apjomu aprēķini Latvijas krasta zonā bija balstīti uz pētījumiem par ostu piesērēšanas tempiem vai abrazijas un akumulācijas apjomiem atsevišķos krasta posmos. 1970-tajos un 1980-tajos gados pasaulē parādījās virkne matemātisku modeļu, kas apskata garkrasta sanešu kustības intensitāti (Woodroffe, 2004). Matemātiskā modelēšana garkrasta sanešu plūsmu intensitātes izpētē veikta arī Latvijā, aptverot krasta posmu no Lietuvas robežas līdz Kolkas ragam (Ulsts, 1998).

### **Sanešu mehāniskā sastāva analīze**

Latvijas krastu procesu analīzes praksē ir bijusi pielietota sanešu mehāniskā sastāva analīze (Bulgakova, 1982). Metode balstās uz sanešu pārvietošanas



likumsakarībām atkarībā no transportētā materiāla daļiņu lieluma. Pēc sanešu mehāniskā sastāva izmaiņām konstatējami gan pludmales posmi ar labi izteiktu mehānisku diferencāciju, gan bez diferencācijas pazīmēm. Posmi ar labi izteiktu sanešu mehānisku diferencāciju galvenokārt ir raksturīgi dinamiskā līdzsvara krastiem. Pludmales posmi ar neizteiktu mehānisku diferencāciju piemīt krasta posmiem ar negatīvu sanešu bilanci.

### Litomorfoloģiskās metodes

Mūsdienās ir izstrādātas daudzas nogulumu slāņu izpētes metodes, kuras var tikt pielietotas jūras krastu ģeomorfoloģijas pētījumos. Tās ir apvienojamas kā litomorfoloģiskās metodes un dod pārskatu par reljefu veidojošo iežu vielisko sastāvu un uzbūvi. Morfoloģisko un paleoģeogrāfisko pētījumu gaitā gandrīz vienmēr ir nepieciešama nogulumu materiāla vieliskā sastāva noteikšana. Rupjo frakciju izpētei tiek pielietotas petrogrāfiskās metodes, smilšu-aleirītu nogulumiem – mineraloģiskās metodes. Vissmalkākajai frakcijai – māliem, bez mineraloģiskajām metodēm pielieto arī ķīmiskās analīzes. Šīs metodes Austrumbaltijā sāka pielietot 1960-tajos gados (Ul'st, 1964).

### 1.3. Baltijas jūras Kurzemes piekrastes vispārīgs raksturojums

Kurzemes rietumu piekraste atrodas pretim Baltijas jūras centrālajai daļai – Gotlandes baseinam. Kopējais krasta līnijas garums posmā no Lietuvas robežas līdz Kolkas ragam ir 243,5 kilometri (ieskaitot kopumā 6,0 km starp ostu moliem), no tiem 60 kilometri – Irbes šauruma krasta līnija. Pēcledus laikmeta sākumā Latvijas teritorijā notikusī Zemes garozas izostatiskā celšanās ir zaudējusi savus tempus un mūsdienu jūras krastu procesu norisi būtiski neietekmē (Ulsts, 1998).

Piekrastes sauszemes daļa atrodas Piejūras zemienes Bārtavas, Piemares, Ventavas un Irves līdzenumos (Fizioģeogrāfiskā karte, 1999). Šeit krasta līnijas dažādā orientācija ļauj sadalīt Kurzemes rietumu krastu vairākos atšķirīgos posmos (1.1. tabula). Krasta līnija ir samērā taisna, izteiktu zemesragu un līču nav. Divos lēzenos zemesragos (Akmeņragā un Ovīšragā) krasta līnijas orientācija mainās vairāk nekā par 30° (Eberhards, 2003). Vēl izsekojami vairāki ļoti lēzeni un sekli krasta izvirzījumi – Melnragi, Buku rags, Labrags, Bernātu rags un Mietrags. Visi krasta izvirzījumi veidojušies virs pleistocēna nogulumu virsmas pacēlumiem un ievērojami ietekmē garkrasta sanešu plūsmas parametrus (Knaps, 1982). Dažās publikācijās krasta posms no Akmeņraga līdz Užavai tiek dēvēts par Labraga ielīci (Ulsts, 1998; Eberhards, 2003).

1.1. tabula. Krasta līnijas orientācija Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (autora sastādīts)  
Table 1.1. Azimuth of coastline along the Kurzeme coast of the Baltic Proper (compiled by author)

Krasta posms	Krasta līnijas azimuts
Lietuvas robeža-Akmeņrags	360° +/- 20°
Akmeņrags-Jūrkalne	50° +/- 20°
Jūrkalne-Melnrags	360° +/- 10°
Melnrags-Ovīšrags	30° +/- 10°
Ovīšrags-Miķeļtornis	75° +/- 10°
Miķeļtornis-Kolka	60° +/- 5°

Mūsdienu krasta līnijas konfigurācija ir ilgstošas jūras ģeoloģiskās darbības rezultāts, kad, mijoties sanešu akumulācijai un erozijai, no pēdējā leduslaikmeta mantotais

glacigēnais un glacioakvālais reljefs tika pārveidots gan Baltijas baseina iepriekšējo attīstības stadiju laikā, gan arī turpinājās pēdējos 2800 gadus salīdzinoši stabila ūdenslīmeņa apstākļos (Veinbergs et al., 1974; 1979; Veinbergs, Danilans, 1992).

Krasta līnijas orientācija un tās sarežģītības pakāpe lielā mērā nosaka aktīvo krasta sanešu pārvietošanās virzienus un intensitāti. Pētītajā krasta posmā nav neviena dabiska sanešu garkrasta plūsmu pārtraucoša šķēršļa, bet ir vairākas ostas, kuru ārējās hidrotehniskās būves būtiski ietekmē ģeoloģiskos procesus krasta zonā (Eberhards, 2003).

Krasta nogāzes zemūdens daļa gandrīz visā posmā ir ļoti lēzena un vāji viļņota ar raksturīgu izliekumu (Veinbergs et al., 1979). Mūsdienu krasta zemūdens nogāzes zemākās daļas reljefa īpatnības nozīmīgi ietekmē glacigēno nogulumu virsmas reljefs.

Seklākajā daļā, kura parasti sastāv no aktīvo sanešu materiāla, izsekojami zemūdens smilšu vāļi. Zemūdens nogāzes profils līdz aktīvā dziļuma robežām ir ieliekts ar kopumā lielāku slīpumu tā sākumā un mazāku beigās. Lielākajā posma daļā dziļuma pieaugums sākumā ir samērā straujš, bet aiz 4-8 metru izobātas nogāze kļūst lēzenāka. Tomēr slīpums variē ļoti plašā diapazonā gan dažādos iecirkņos, gan viena profila robežās – no 1:30 līdz 1:500 (800) (Ulsts, 1961; Veinbergs et al., 1974). Zemūdens nogāzes dziļākajā daļā parasti sastopams plāns vai ļoti plāns smalko frakciju jūras nogulumu slānis. Izņēmums ir Irbes šauruma krasts, kuram raksturīga vienlaidu smilšaino un aleirītisko nogulumu sega visā aktīvās zemūdens nogāzes platumā, tāpēc šajā posmā profila īpatnības nosaka tikai jūras ģeoloģiskā darbība (Žaromskis, 1997; Ulsts, 1998).

Piekrastē daudzviet saglabājušās agrāko Baltijas baseinu laikā veidojušās krasta reljefa formas. Īpaši plaši ir sastopamas Litorīnas laika akumulatīvās reljefa formas, kuras tiek aktīvi pārveidotas un pielāgotas mūsdienu apstākļiem (Ulsts, 1998).

### 1.3.1. Ģeoloģiskā uzbūve

Baltijas jūras un Irbes šauruma piekrastes josla gandrīz visā garumā atrodas virs pirmskvartāra pamatiežu pazeminājuma – Baltijas depresijas. Pie Kapsēdes (Liepājas rajonā) un Mazirbes-Pitraga-Sīkraga apkaimē (Talsu rajonā) atrodas nelieli lokāli pamatiežu pacēlumi, kur pamatiežu virsmas absolūtais augstums pārsniedz vairākus metrus (Juškevičs, 1999a). Tomēr lielākajā daļā piekrastes joslas pamatiežu virsma atrodas zem jūras līmeņa. Virzienā no ziemeļiem uz dienvidiem mainās pamatiežu virsējā daļā esošo iežu vecums – no vidusdevona Narvas svītas dolomītiem un dolomītmerģeļiem Kurzemes ziemeļos līdz karbona un triasa terigēnajiem iežiem un perma karbonātiskajiem iežiem Liepājas rajona dienvidos (Mūrnieks, 1999). Atsevišķos iecirkņos Kurzemes ziemeļu daļā, kā arī starp Liepāju un Pāvilostu, Baltijas jūras iepriekšējo attīstības stadiju laikā pirmskvartāra ieži atsedzās jūras krasta zonā, citur tos pārklāj ievērojama biezuma kvartāra nogulumu sega. Lielākais kopējais kvartāra nogulumu slāņa biezums ir apraktajās ielejās (Senužavas iegrauzums >200 m), bet ārpus tām – 40 līdz 60 metri posmā starp Pāvilostu un Ventspili (Juškēvičs, 1999b). Kvartāra nogulumu segas apakšējo daļu galvenokārt veido Baltijas, Kurzemes un Lētižas apledojumu glacigēnie un glacioakvālie nogulumi, kā arī iepriekšējā starpleduslaikmeta marīnie nogulumi. Baltijas apledojuma nogulumu virsmai arī piemīt kritums R virzienā un ievērojamā piekrastes daļā tos pārsedz Baltijas jūras agrāko attīstības stadiju (jo īpaši Baltijas ledus ezera) pārskaloti un šķīroti nogulumi – aleirīts, smilts, grantaina smilts, oļi un laukakmeņi (Veinbergs et al., 1974). Joldijas jūras nogulumi droši ir konstatēti tikai Ventspils tuvumā tagadējās krasta zemūdens nogāzes lejasdaļā, bet Ancilus ezera nogulumi konstatēti tikai Kurzemes ziemeļu daļā, kas lielākoties ir aprakti zem jaunākajiem Litorīnas laika nogulumiem (Veinbergs et al., 1974). Litorīnas jūras krasta zonas nogulumi daudzviet atsedzas zemes virspusē un iesaistās

mūsdienu krasta ģeoloģiskajās norisēs. Pēclitorīnas laika krasta zonas nogulumi ievērojamā apjomā izplatīti Kurzemes ziemeļos posmā no Ovīšiem līdz Kolkai, kur tie līdztekus ar senākiem (jo īpaši Litorīnas laika) nogulumiem veido savdabīgu akumulatīvu krasta virsūdens terasi (Ulsts, 1998).

Piekrastes reljefs veidojies Baltijas jūras agrāko stadiju transgresiju un regresiju laikā, erozijas un akumulācijas ceļā pārveidojot un izlīdzinot, kā arī atsevišķās vietās saposmojot senāko nogulumu veidoto virsmu. Teritorija ir samērā līdzena ar raksturīgo nelielo kritumu uz jūras pusi, kuru atsevišķās vietās sarežģī Litorīnas beigu un mūsdienu Baltijas jūras sākumposma piekrastes kāpu grēdas. Litorīnas jūras laikā no jūras norobežotās lagūnas (Nidas-Papes, Liepājas-Tosmares, Ventspils, Būšnieku) mūsdienās ir pārtapušas par sekliem, aktīvi aizaugošiem ezeriem vai ir daļēji noskalotas, krastu sistēmai pielāgojoties mūsdienu apstākļiem. Lagūnezeros uzkrājies sapropelis, kas Nidas-Papes apkaimē atsedzas mūsdienu krasta zemūdens nogāzes augšdaļā un pludmalē (Ulsts, 1998).

Baltijas jūras Kurzemes piekrastē sastopami daudzi īpatnēji vai tieši pretēji, – raksturīgi ģeoloģiski un ģeomorfoloģiski objekti, no kuriem daļa ir iekļauta Latvijas īpaši aizsargājamo dabas objektu sarakstā: Nidas pludmale, Pūsēnu kalns, Baltijas ledus ezera krasta valnis pie Rīvas, Kapsēdes dižakmens, Pāvilstas jūrakmens, Strantes-Ulmales jūras stāvkrasts, Šlīteres krauja (Eberhards, 2003).

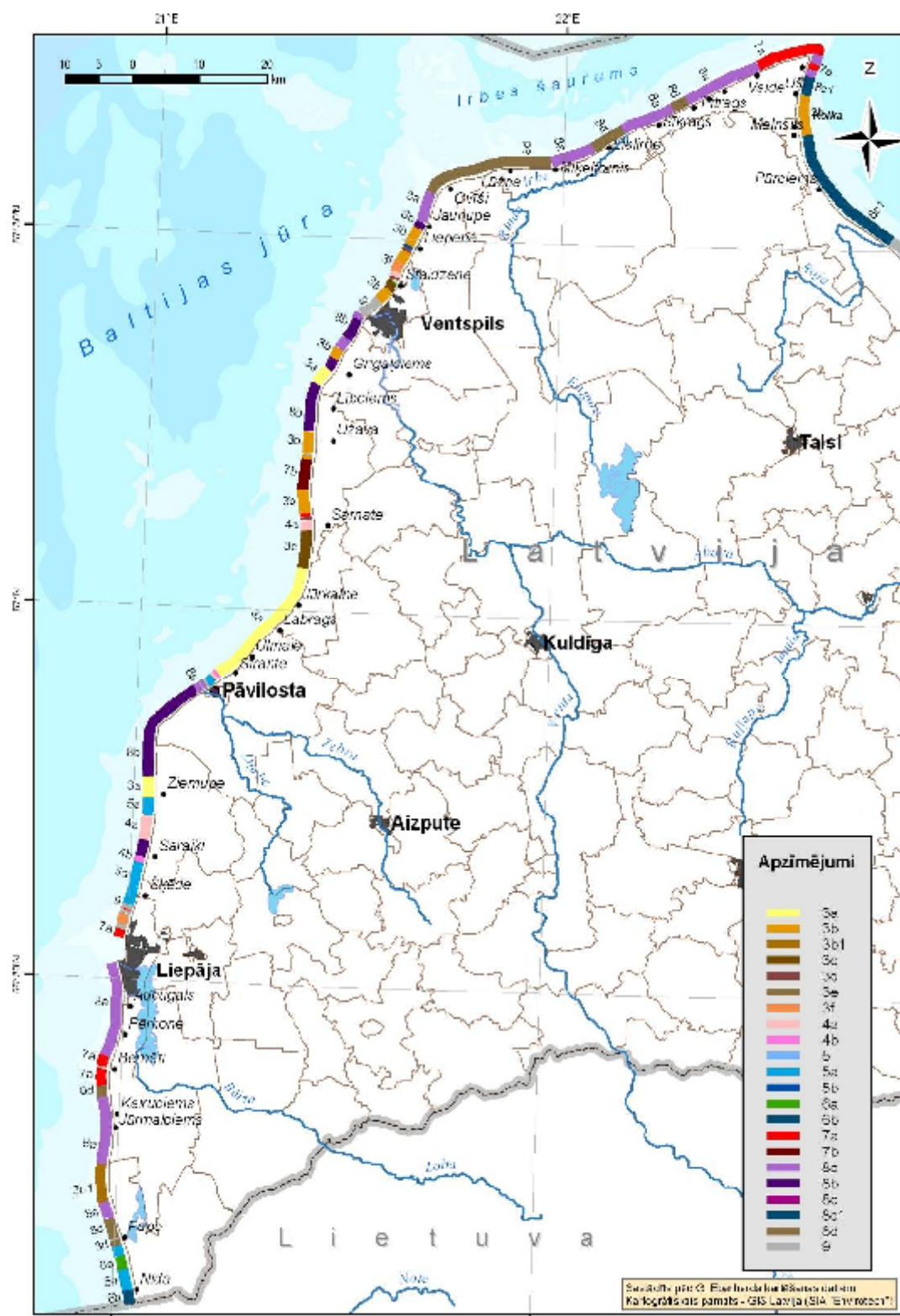
### **Mūsdienu krasta procesu dinamikas un krasta zonas elementu ģeoloģiskās uzbūves savstarpējā atkarība**

Krasta sistēmā pastāv nepārtraukta mijiedarbība starp ģeoloģiskajiem reljefveidojošajiem faktoriem un to darbības rezultātu – reljefu. Tas nozīmē, ka krasta nogāzes reljefa attīstība izmaina ģeoloģisko procesu attīstību nākotnē. Tātad, nav korekti katra krasta iecirkņa dinamisko piederību izskaidrot tikai ar tajā pastāvošajiem aktuālajiem vides parametriem, piemēram, ar zemūdens nogāzes raksturu, tipisko vētru virzienu vai ledus režīmu. Svarīgas ir šo un arī citu parametru izmaiņas telpā un laikā.

Latvijas jūras krasti posmā Lietuvas un Latvijas robeža-Kolkas rags pēc savas ģeoloģiskās uzbūves un morfoloģijas ir visai dažādi, tomēr tiem piemīt arī vairākas kopīgas īpašības (1.1. attēls):

- visi krasti veidoti irdenos kvartāriežos;
- krasti ir samērā zemi un lēzeni (vairumā gadījumu to augstums nepārsniedz 15 metrus);
- krasta zemūdens nogāze ir lēzena, tajā lielākā vai mazākā apjomā atrodas sanešu materiāls;
- visā posmā ar atsevišķiem sezonāliem izņēmumiem veidojas pludmale;
- visu krasta posmu vienotā sistēmā saista Austrumbaltijas garkrasta sanešu plūsma.

Tas norāda, ka litomorfodinamisko krastu tipu miju nosaka tās atšķirības, kas pastāv krasta sistēmai pieejamo sanešu apjoma sadalījumā, kurš, savukārt, ir daudzu faktoru noteikts, no kuriem galvenie ir Litorīnas jūras laika mantojums, krasta līnijas orientācija attiecībā pret valdošajiem vējiem, antropogēnie faktori un blakus esošo krasta iecirkņu īpašības (Cowell, Thom, 1994; Eberhards et al., 2001, 2004; Eberhards, Saltupe, 2002; Lapinskis, 2002; Eberhards, 2003; Lapinskis, 2003).



1.1. att. Baltijas jūras Kurzemes krasta ģeoloģiskā uzbūve (krasta tipi)(Eberhards, Lapinskis, 2008)

Fig. 1.1. The geological structure of the Kurzeme coast of the Baltic Proper (coast types) (Eberhards, Lapinskis, 2008)

Apzīmējumi:

3a – starpledus laikmeta jūras nogulumi, morēnas smilšmāls, smilts un grants ar oļiem, slāņu saguluma deformācijas, glaciostruktūras;

- 3b – eolie un pludmales nogulumi;
  - 3b1 – eolie un pludmales nogulumi, apraktie augsnes horizonti;
  - 3c – eolie un jūras nogulumi;
  - 3d – morēnas smilšmāla pamatne, virs tās eolie un pludmales nogulumi;
  - 3e – Baltijas ledus ezera un eolie nogulumi;
  - 3f – eolie, jūras, pludmales un lagūnu nogulumi;
  - 4a – morēnas smilšmāls ar plānu eolo un pludmales nogulumu segu;
  - 4b – morēnas smilšmāls, Baltijas ledus ezera nogulumi un plāna eolo un pludmales nogulumu sega;
  - 5 – jūras, pludmales un eolie nogulumi;
  - 5a – jūras, pludmales un eolie nogulumi ar izpūstu krasta kāpu;
  - 5b – pludmales, eolie un lagūnu nogulumi;
  - 6a – lagūnu nogulumi;
  - 6b – lagūnu nogulumi ar eolo nogulumu segu;
  - 7a – smilšaini jūras, pludmales un eolie nogulumi ar apraktajiem augsnes horizontiem;
  - 7b – jūras un pludmales nogulumi ar plānu eolo nogulumu segu;
  - 8a – smilšainie eolie, pludmales un jūras nogulumi (plaša pludmale un priekškāpas);
  - 8b – smilšaini-olainie jūras, pludmales un eolie nogulumi (jaukta materiāla pludmale un priekškāpa);
  - 8c – jaukta materiāla jūras, pludmales un eolie nogulumi (šaura vai ļoti šaura pludmale);
  - 8d – smilšainie jūras, pludmales un eolie nogulumi (plaša pludmale, priekškāpas, paralēlās kāpas un krasta kāpu grēda);
  - 9 – mākslīgi nostiprināti krasti.
- Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „GIS Latvija” (SIA Envirotech)

Legend:

- 3a – interglacial marine deposits, glacial till, sand, gravel and pebble layers with glaciostructures and deformations;
  - 3b – aeolian and beach sand deposits;
  - 3b1 – aeolian and beach sand deposits with buried soil layers;
  - 3c – aeolian and marine deposits;
  - 3d – thin glacial till base with aeolian sand cover;
  - 3f – aeolian, marine, beach and lagoon deposits;
  - 4a – glacial till with thin aeolian and beach sand cover;
  - 4b – glacial till, Baltic Ice Lake deposits with thin cover of beach and aeolian deposits;
  - 5 – marine, beach and aeolian deposits;
  - 5a – marine, beach and aeolian deposits with cliff top dune;
  - 5b – beach, lagoon and aeolian deposits;
  - 6a – lagoon deposits;
  - 6b – lagoon deposits with aeolian cover;
  - 7a – marine, beach and aeolian sand with buried soil layers;
  - 7b – marine and beach deposits with thin aeolian sand cover;
  - 8a – marine, beach and aeolian deposits (vast beach with foredunes);
  - 8b – marine and beach sand-gravel-pebble deposits with aeolian cover;
  - 8c – marine, beach and aeolian sand-gravel-pebble deposits (narrow beach with terrace);
  - 8d – marine, beach and aeolian deposits (vast beach with foredunes, parallel dunes and/or coastal dune ridge);
  - 9 – coast protected by structures.
- Cartographical base: „GIS Latvija” (Envirotech)

### **Jūras krasta jutīgums pret vētrām atkarībā no tā ģeoloģiskās uzbūves īpatnībām un morfoloģijas**

To, cik nozīmīgi pēc vētras izmainīsies krasta nogāzes augšējā daļa, citiem vārdiem – cik materiāla no tās tiks noskalots, pie citiem līdziem apstākļiem, nosaka zemūdens nogāzes īpašības (slīpums, sanešu materiāla daudzums, zemūdens vālu skaits un augstums), pludmales īpašības (slīpums, apjoms, sanešu mehāniskais sastāvs) un virspludmales reljefa īpašības (priekškāpas klātbūtne, stāvkrasta augstums, iežu saguluma raksturs stāvkrastā, stāvkrastā atsegto iežu noturība pret viļņu iedarbību, stāvkrasta noturība pret nogāžu procesiem) (Cowell, Thom, 1994; Eberhards, Saltupe, 2002; Lapinskis, 2003). Tā piemēram, krasta posmā ar stāvu un sanešu ziņā trūcīgu zemūdens nogāzi, kur pludmales apjoms nepārsniedz 10m<sup>3</sup>/m, bet 5-8 m augstā stāvkrasta nogāzē

atsedzas Baltijas jūras agrāko stadiju marīnie, krasta zonas un mūsdienu eolie nogulumi (posms 200 metrus uz ziemeļaustrumiem no Lošupes ietekas), vētras laikā no krasta nogāzes virsūdens daļas zemūdens daļā tiek pārvietots ievērojams daudzums materiāla, padarot nogāzes profilu atbilstošāku vētras režīmam (2005. gada janvāra vētras laikā tika noskaloti  $>50\text{m}^3/\text{m}$  (Lapinskis, Eberhards, 2005)). Turpretī, tikai astoņus kilometrus uz dienvidrietumiem – Ventspils pilsētas dienvidu daļā, kur zemūdens nogāzē un pludmalē koncentrēts liels daudzums sanešu materiāla, bet pludmales augstums priekškāpas piekāvē pārsniedz divus metrus, tās pašas vētras laikā plūdūdeņi praktiski neietekmēja virspludmales reljefu, viļņu enerģija tika patērēta, pārkārtojot sanešu materiālu starp dažādām zemūdens nogāzes joslām, kā arī, izlīdzinot pludmales šķērprofilu (nepublicēti LJKĢPM dati 1992-2008; Lapinskis, Eberhards, 2005).

Daļēji pamatojoties uz šīm likumsakarībām, Eberhards un Saltupe (2002) visus Latvijas krastus iedala četrās „jutīguma” jeb „vētras ietekmējamības” klasēs: ļoti jutīgi, jutīgi, maz jutīgi un droši krasti. Par galveno kritēriju šim dalījumam tika izmantots „aktīvā” sanešu materiāla apjoms pludmalē un priekškāpā (1.2. tabula).

1.2. tabula. Jūras krasta jutīgums vētrās (pamatkrasta apdraudētības pakāpe) (pēc Eberhards, Saltupe, 2002 ar autora papildinājumiem)

Table 1.2. Coastal erosional vulnerability during storms (after Eberhards, Saltupe, 2002 modified)

Krasta jutīguma klase	Sanešu apjoms pludmalē un priekškāpā, $\text{m}^3/\text{m}$	Pludmales platums, m	Priekškāpas relatīvais augstums, m
1. Ļoti jutīgi krasti	$<60$	15-35	0-2,0
2. Jutīgi krasti	60-140	20-40	1,5-2,0
3. Mazjutīgi krasti	140-200	30-50	2,5-3,0
4. Droši krasti	$>200$	50–80 (100)	3,0-5,0

Šāds iedalījums, izmantojot tikai aktīvo virsūdens sanešu apjomu kā kritēriju, nav universāls un atsevišķos gadījumos tāda pieeja ir pretrunā ar citiem pamatkrastu noskalošanas intensitāti ietekmējošiem faktoriem un tāpēc lai pilnīgi raksturotu kādu krasta iecirkni šāds jutības rādītājs būtu jālieto integrēti ar citiem rādītājiem, piemēram, viļņošanās režīmu. Tā piemēram, Strantes-Ulmales stāvkrastu posms, kur erozijas terasi sedzošo sanešu apjoms nepārsniedz  $5\text{--}20\text{ m}^3/\text{m}$  un eolā reljefa nav vispār, pēc šīs klasifikācijas būtu uzskatāms pat vairāk kā par ļoti jutīgu krastu. Bet, ņemot vērā stāvkrastā atsegto iežu (glacigēno nogulumu) relatīvi augsto noturību pret viļņu iedarbību, krasta atkāpšanās vētru laikā notiek lēni (tipiskas vētras laikā parasti no erozijas terases tiek noskalots viss iepriekš uzkrātais materiāls un no stāvkrasta nogāzes apakšējās daļas tiek noskaloti daži  $\text{m}^3/\text{m}$  materiāla) (nepublicēti JKĢPM dati, 1992-2008). Turpretī Melnraga ziemeļu daļā, kur stāvkrastā atsedzas Litorīnas jūras krasta zonas smilšaini-granšainie nogulumi un pludmales apjoms pārsniedz  $30\text{m}^3/\text{m}$ , pamatkrasta erozijas intensitāte ir daudz augstāka (Lapinskis, Eberhards, 2005). Turklāt jūras krastu procesu kopējā intensitāte atklātās Baltijas jūras un Rīgas līča krastos ievērojami atšķiras. Nebūtu korekti izmantot vienotu klasifikāciju tik atšķirīgiem posmiem kā, Uši-Melnšils-Ģipka un Ventspils-Liepene. Ušu-Melnšila posmā pludmales apjoms nepārsniedz  $5\text{ m}^3/\text{m}$ , bet vētra ar tādu virzienu un ātrumu, kas izraisītu pamatkrasta eroziju, nav novērota vismaz kopš 1967. gada.

### 1.3.2. Baltijas jūras agrāko attīstības stadiju loma mūsdienu krastu procesos

#### Baltijas jūras baseina attīstība

Baltijas apledošanas degradācijas laikā ledāja kušanas ūdens baseini pakāpeniski apvienojās un aizpildīja Baltijas jūras ieplakas dienvidu un centrālo daļu. Tālāk Baltijas jūras attīstība notika visai komplicēti – reģionā aktivizējās Zemes garozas vertikālās kustības, mainījās klimats un ūdens apmaiņa ar Pasaules okeānu, kas noveda pie salīdzinoši biežām un straujām ūdenslīmeņa svārstībām. Krasta procesu intensitāte Baltijas ledus ezera pastāvēšanas laikā bija ievērojami augstāka nekā tā ir mūsdienās (Veinbergs, 1986), to noteica krasta nogāzes profila un krasta līnijas kontūras īpatnības – viļņu enerģija dažādās vietās tika tērēta ļoti atšķirīgi. Notiekot virzībai uz enerģētisko līdzsvaru, krasta sistēmai bija ievērojami jāpārveidojas.

#### Litorīnas jūras krasta reljefa formu nozīme mūsdienu jūras krastu ģeoloģiskajos procesos

Atkārtoto Litorīnas jūras transgresiju un regresiju laikā ļoti intensīvi notika sanešu mehāniskā diferenciācija (Ulsts, 1998). Pakāpeniski palielinoties ūdenslīmenim transgresiju laikā, notika daudzviet ļoti lēzenās krasta zemūdens nogāzes pārveidošana (erodējot tās zemāko daļu un formējot augstāko), mobilizējot ievērojamu daudzumu smilts materiāla un transportējot to augšup, krasta virzienā. Vēlāk, ūdenslīmenim pazeminoties, krasta nogāzes augšdaļā uzkrātais materiāls krasta sistēmā kļuva „lieks”, jo nogāzes šķērsprofils bija jāpārveido atbilstoši jaunajiem apstākļiem (Ulsts, 1964; Knaps, 1966; Veinbergs et al., 1974; Veinbergs, Danilans, 1992). Rezultātā notika šī „liekā” materiāla deponēšana Nidas, Liepājas, Ventspils lagūnu pāržmaugās un akumulatīvajās terasēs (Grīnbergs, 1957; Ulsts, 1998). Mūsdienu jūras krastu dinamikā būtiska loma ir arī Litorīnas transgresīvo fāžu laikā erodētajiem zemūdens nogāzes apgabaliem, kuros smalkas smilts frakciju praktiski nav un to veido oļi, grants un laukakmeņi. Daudzviet (Liepāja–Šķēdē, Pāvilostā–Užavā) mūsdienu krasta zemūdens nogāzes daļa sakrīt ar šo rupjo frakciju izplatības areāliem. Tāpēc zemūdens nogāzes erozija šajos iecirkņos ir ļoti apgrūtināta un sanešu deficīta gadījumā tā kompensējas uz krasta virsūdens nogāzē esošo sanešu rēķina (Venska, 1990; Eberhards, 2003).

V. Ulsta vērtējumā Litorīnas jūras krasta zonas mantotās īpatnības tik lielā mērā ietekmē mūsdienu ģeoloģiskos procesus, ka dažādu Litorīnas laika krasta reljefa makroformu robežas, ja vien tās izpaužas mūsdienu krastā, var pieņemt par krasta rajonu robežām un pēc tām pat precīzi novērtēt attīstības tendences (Ulsts, 1998).

Par mūsdienu krastu veidošanās sākumu tiek pieņemts laiks (Ulsts, 1998), kad ūdenslīmenis pazeminājās aptuveni līdz pašreizējam stāvoklim (pirms ~2800 gadiem). Ūdenslīmenim stabilizējoties, notika ļoti intensīva Litorīnas laika akumulatīvo krasta formu pārveidošana un pielāgošana jaunajiem apstākļiem. Kopējā krasta procesu intensitāte bija sevišķi augsta – īsā laikā praktiski tika noskalota Nidas pāržmauga un sāka veidoties sevišķi intensīvas eolās akumulācijas liecības – vaļņveida kāpas (Mietagā, Bernātos, Užavā) (Ulsts, 1998). Baltijas jūras Kurzemes krastu pielāgošanās pašreizējam ūdenslīmenim ir notikusi tikai 28 gadsimtus. Var uzskatīt, ka krasti ir ļoti jauni un to pārveidošanās vēl turpinās, kaut arī, neapšaubāmi, ar daudz mazāku intensitāti nekā Litorīnas transgresiju laikā.

Tā kā mūsdienu krasta procesi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē norisinās Litorīnas jūras transgresiju un regresiju laikā būtiski pārveidotajā krasta nogāzes daļā, smilts sanešu iesaistīšanās mūsdienu krasta sistēmas attīstībā ir jāvērtē arī saistībā ar Litorīnas jūras laika krasta reljefa formu (akumulācijas un erozijas zonu) novietojumu (Ulsts, 1998).

## 1.4. Krasta nogāzes uzbūve un attīstība

### Krasta zonas jēdziens

Vienotā virsūdens un zemūdens krasta reljefa formu sistēma ir vide ar lielāko iespējamo eksodinamiskās denudācijas-akumulācijas poliģenēzes procesu blīvumu (Korotky, Hudyakov, 1990). Kopš deviņpadsmitā gadsimta beigām, kad ievērojamais itāļu izcelsmes ģeologs R. Kornalī izvirzīja hipotēzi par viļņu hidrodinamiskā spiediena un gravitācijas spēka savstarpējo mijiedarbību, turpmāk vienkāršoti dēvētu par „līdzsvara profila hipotēzi”, bet garkrasta sanešu kustību vispār neatzina par būtisku, nozares speciālistu vidē plaši izplatījās uzskats (Zenkowitch, 1946; Longynow, 1961 u.c.), ka krasta sistēma tiecas uz kāda teorētiskā līdzsvara sasniegšanu, respektīvi, ir lineāra un zināmās robežās prognozējama. R. Kornalī uzskatīja, ka sākotnējais krasta zemūdens nogāzes slīpums vislielākajā mērā nosaka to, kādā veidā notiks šī krasta iecirkņa tālākā attīstība un, ka jebkura krasta nogāze teorētiski var sasniegt līdzsvara stāvokli (Cornaglia, 1891). Pārveidotas un precizētas šīs tēzes faktiski nav zaudējušas savu nozīmi arī šodien, tomēr jāņem vērā, ka R. Kornalī savās teorētiskajās koncepcijās gandrīz pilnībā ignorēja katram krastam raksturīgo trešo dimensiju – procesu, kuru vektori ir vērsti paralēli krasta līnijai. Līdz ar to viņa piedāvātajam līdzsvara profilam nebija sasaistes ar kopējo krasta sistēmu, tajā nepietiekoši tika ņemti vērā daudzi mūsdienās par būtiskiem uzskatītie faktori (Pilkey, 1993). R. Kornalī pieņēmumiem bija ļoti daudz piekritēju arī vēlākajās desmitgadēs. Tā piemēram, 1962. gadā publicētā Bruuna formula (Bruun, 1962), kuras pamatā ir apgalvojums, ka krasta līnijas atkāpšanās ir funkcija no ūdens līmeņa paaugstināšanās, bija lineārās pieejas zināma kulminācija. Tomēr lineārā krastu evolūcijas teorija nesamērīgi vienkāršo šajā kompleksajā vidē pastāvošās likumsakarības (Carter, Woodroffe, 1994 u.c.). Pēdējos gadu desmitos ir publicētas jaunas idejas, kuru atbalstītāji noliedz lineāro pieeju krasta evolūcijai un piedāvā determinētā haosa, katastrofisma, stohastiskās evolūcijas un citas nelineārās morfodinamikas teorijas (Wright, 1987; Thom, Hall, 1991 u.c.).

### Krasta zonas robežas

Sekojoš R. Boida klasifikācijai (Boyd et al., 1992), viļņu dominētā krasta sistēmā visas aktīvās krasta litofācijas (pludmale, eolais reljefs un zemūdens akumulācijas terase) kopā veido krasta smilšu barjeru (coastal sand barrier). Tikmēr ASV krastu pētnieki, runājot par šo pašu litofāciju kopu (izņemot eolo reljefu), lieto terminu „pludmale” („beech”) (Shepard, 1963; Bowen, Innman, 1966; Kommar, 1998; Deen, 1983; Morton et al., 1994; Sexton, 1995; Schwab et al., 2001; Morton, 2002).

Neskatoties uz ievērojamo viedokļu un koncepciju dažādību pasaules jūras krastiem velītājā literatūrā (Deen, 1977; Bird, 1987; Bruun, 1988; Cowell, Thom, 1994; Bray et al., 1995; Kosyan et al., 2000; u.c.), ir vairāki jautājumi, kuri tiek skaidroti ļoti līdzīgi. Tas attiecas, piemēram, uz krasta zonas definīciju. Krasta zonu latviešu autoru publikācijās dēvē par piekrasti vai krasta joslu (Ulsts, 1998; Eberhards, 2003), bet citu valstu zinātniskajā literatūrā: coastal zone, coastal area, shore, побережье, береговая зона, Kústenraum (Munch-Petersen, 1936; Zenkowitch, 1946, 1962, 1980; Cowell, Thom, 1994; Rijn, 1998; Leont`ev, 2001). Jūras un sauszemes saskares josla tiek saukta arī par akvateritoriālu dabas kompleksu (natural aqual-territorial complex jeb NATC) (Žaromskis, 1997). Šai specifiskajai videi piemīt trīs no citiem dabas kompleksiem atšķirīgas īpašības (Dolotov, 1989; Pilkey, 1993; Komar, 1998): tajā ietilpst sauszemes un jūras daļas, tā ir izplatīta ļoti plaši, bet aptver tikai šauru joslu un tai piemīt sevišķi augsta ģeoloģisko procesu aktivitāte.



Tiek uzskatīts, ka krasta zonai raksturīgs īpatnējs „normālais” sanešu frakciju sadalījums – daļiņu diametrs samazinās virzienā prom no krasta (Leont`ev et al., 1975; Komar, 1998 u.c.). Šajā nozīmē krasta zona faktiski darbojas kā sanešu materiāla filtrs, šķirojot jaunpienākušo terīgēno materiālu, aizturot rupjās frakcijas un piegādājot jūras dziļākajiem rajoniem aleirītu un mālu (Longinov, 1961; Chrustalyev, 1982; Dolotov, 1989; Komar, 1998; Pupienis, Žilinskas, 2005).

Visi krasta sistēmas elementi nepārtraukti mainās: ūdens līmenis, viļņu augstums, ūdenslīnijas atrašanās vieta, sanešu mehāniskais sastāvs, veģetācija un arī pats stabilākais citu dabas kompleksu elements – reljefs (Aybulatov, Arty`hin, 1993; Carter, Woodroffe, 1994). Krasta zona ir relatīvi šaura, bet telpā ļoti izstiepta nogāze, kurai kopumā piemīt kritums jūras virzienā un šis kritums turpinās arī krasta zonas zemūdens daļā (Zenkowitch, 1967; Pilkey, 1993).

Visai šaurajā krasta zonā parasti atrodas daudzveidīgi virsūdens un zemūdens reljefa veidojumi, kuru dinamika, forma un izmēri galvenokārt ir tieši saistīti ar jūras ģeoloģisko darbību (Kaplyn et al., 1991). Tā ir vizizteiktākā dabiskā robeža, kas nošķir jūru no sauszemes. Parasti tai ir raksturīgs liels daudzums irdena terīgēnā materiāla, kas noskalots vai citādi nonācis jūrā un piedalās krasta reljefa veidošanā (Safyanov, 1978; Komar, 1998). Krasta zonu var uzskatīt arī par kompleksu litoģeomorfu sistēmu, kas sastāv no dažādām joslām un šūnām, kurām katrai piemīt savs laika un telpas mērogs (Carter, Woodroffe, 1994; Rijn, 1998), turklāt katra no šīm mazākajām vienībām attīstās, pateicoties hidrodinamiskajam vai aerodinamiskajam spiedienam, ko rada vējš, viļņi un specifiskas straumes. Sakopojot dažādu autoru atziņas, var secināt, ka daudzi pilnībā vai daļēji pievienojas atziņai, ka krastu evolūciju nosaka specifiskas faktoru grupas, kuras var iedalīt sekojoši (Zenkowitch, 1962; Shepard, 1963; King, 1972; Leont`ew et al., 1975; Žaromskis, 1985; Dolotov, 1989; Korotky, Hudyakov, 1990; Kirilis, 1990; Rijn, 1998; Eberhards, 2003; Pruszek, 2004 u.c.):

1. limitējošo faktoru grupa:
  - 1.1. primārie faktori:
    - 1.1.1. Zemes garozas vertikālās kustības;
    - 1.1.2. novietojums attiecībā pret sanešu avotiem;
  - 1.2. sekundārie faktori:
    - 1.2.1. sākotnējā krasta ģeoloģiskā uzbūve;
    - 1.2.2. klimats un tā izmaiņas;
    - 1.2.3. antropogēnie faktori;
    - 1.2.4. ekodinamiskie faktori;
2. veidojošo faktoru grupa:
  - 2.1. paisuma amplitūda;
  - 2.2. viļņošanās intensitāte.

## **Krasta līnija**

Krasta zonu relatīvi precīzi iespējams iedalīt divās galvenajās morfoloģiski atšķirīgās daļās, kuras savā starpā nodala nepastāvīga un mainīga dabiskā robeža – krasta līnija. Abas šīs daļas tomēr veido nepārtrauktu dinamisku sistēmu un to attīstība un īpatnības ļoti lielā mērā ir savstarpēji atkarīgas:

- sauszemes puse, ko latviski pieņemts dēvēt par piejūru (Eberhards, 2003) vai krastu (Ulsts, 1998), bet svešvalodās – coast, upshore, приморье, бегер, Küste, Ufer (Munch-Petersen, 1936; Revelis, 1938; Valentin, 1952; Zenkowitch, 1962; Komar, 1998; Leont`ew, 2001);
- jūras puse, ko latviski pieņemts dēvēt par jūrmalu (Eberhards, 2003), bet svešvalodās – nearshore, shoreface, inshore, взморье, прибрежная зона, шельф прибрежный,

верняя шельфовая зона, Strand (Valentin, 1952; Zenkowitch, 1962; Shepard, 1963; Bird, 1984; Komar, 1998).

Definējot terminu „krasta līnija”, galvenā problēma, ar ko nākas saskarties, ir dažāda laika mēroga ūdens līmeņa nepastāvība, viļņošanās, kā arī viļņu un neviļņu straumju radītā ūdens masu pārvietošanās krasta zonā (Leont`ew, 2001). Tomēr krasta līnijas definīcija ir nepieciešama, jo tas ir atskaites punkts, no kura ir atkarīgi daudzi citi krasta sistēmas parametri (Leont`ew et al., 1975). Gadu gaitā Krievijas krastu speciālistu vidē pakāpeniski ir pieņemts krasta līniju (береговая линия) noteikt, pamatojoties uz ilglaicīgo vidējo ūdens līnijas (урез воды) atrašanās vietu (Zenkowitch, 1980; Kaplyn et al., 1991). Savukārt, ūdens līnija iezīmē to vietu telpā, kur krasta nogāze krusto ūdens līmeni. O. Leontjevs piedāvā ūdenslīnijas atrašanās vietu noteikt tikai pilnīgi mierīga ūdens apstākļos (Leont`ew et al., 1975). Šādai pieejai ir raksturīga būtiska nepilnība – lai arī tā izslēdz vienas mainīgās vides ietekmi uz krasta līnijas novietojumu, tomēr netiek ņemtas vērā laika gaitā iespējamās morfoloģiskās izmaiņas krasta nogāzes reljefā un novietojumā vispār. Šādai ūdens līmeņa svārstību izslēgšanai nav noteiktas nozīmes, jo, attiecinot to uz kopumā mainīgu vidi, kurā notiek vairāku sfēru sadursme un mijiedarbība, rezultāts jebkurā gadījumā būs mainīgs un ilgtermiņā to ietekmēs gan krasta reljefa pārkārtošanās, gan kopējā vidējā ūdenslīmeņa mainība. Vienkāršāk un ērtāk krasta līniju var definēt, izmantojot krasta nogāzes un vidējā ilglaicīgā ūdenslīmeņa krustošanās vietu. G. Eberhards nenošķir terminus „krasta līnija” un „ūdens līnija”, uzskatot tos par sinonīmiem (Eberhards, 2003). Angļu valodā rakstītajās krastu tēmai veltītajās publikācijās termins „coastline” vai „shoreline” (krasta līnija) tiek lietots ļoti reti. Vēl jo vairāk – jūras un sauszemes robeža tiek uzskatīta nevis par līniju, bet par joslu, piemēram, – par viļņu uzskalošanās joslu vai pludmales frontālo daļu (swash zone, beach face, beach bar) (King, 1972; Bird, 1984; Thom, Hall, 1991; Rijn, 1998; Kosyan et al., 2000). Jāatzīst, ka šāda pieeja ir pieņemama tikai daļēji. Pludmale galvenokārt ir viļņu darbības rezultāts un faktiski ir uzskatāma par pāreju starp krasta nogāzes zemūdens un sauszemes daļām, tāpēc tās strikta nodalīšana no zemūdens nogāzes nav loģiska. Tomēr jāatzīst, ka apstākļi zemūdens nogāzē un krasta nogāzes subaerālajā daļā ir atšķirīgi, tāpēc dažādu praktisku jautājumu risināšanā šāda formāla robeža tomēr sevi attaisno.

Šī pētījuma kontekstā par zemūdens nogāzi tiks uzskatīta tā krasta nogāzes daļa, kas sākas pie pludmales frontālās daļas vienu līdz vairākus metrus platā joslā, kur notiek viļņu uzskalošanās gāzēju plūsmu veidā pēc to pēdējās plīšanas vidēja ūdenslīmeņa apstākļos.

### **Krasta zemūdens nogāze**

Kā nākošā būtiskā un neviennozīmīgi definētā robeža ir pāreja no seklūdens nogāzes uz atklātu jūru (offshore), kas vienlaicīgi ir arī aktīvās krasta joslas ārējā mala. Krievijas un Latvijas autori parasti seklūdens nogāzi mēra līdz dziļumam, kurā vidēji stipras vētras laikā sāk parādīties pozitīvas viļņu asimetrijas pazīmes, tā radot apstākļus sanešu kustībai krasta virzienā (Gudelis, 1967; Dolotov, 1989; Ulsts, 1998). Kurzēm šī robeža aptuveni sakrīt ar dziļumu, līdz kuram ir izplatīti smilšainie nogulumi (parasti ļoti smalkas, aleirītiskas smilts frakcija) un tas ir 8-12 (17) metri (Ulsts, 1998). Citu autoru skatījums uz šo robežu atšķiras. Piemēram, Van Rīna 1998. gadā publicētajā monogrāfijā zemūdens nogāze tiek iedalīta divās galvenajās daļās: viļņu plīšanas un uzskalošanās joslā līdz 10 m dziļumam un nogāzes lejasdaļā līdz aptuveni 20 metru dziļumam. Zemāko krasta nogāzes daļu dēvē arī par ģeostrofisko zonu, pretstatā seklākajai daļai – frikcijas zonai (Wright, Short, 1984). Vairums Krievijas autoru tomēr nenorāda absolūto krasta zonas ārējās robežas dziļumu, bet nosaka to pēc viļņu augstuma (H) – 10-12 H (Longynov, 1961; Dolotov, 1982) vai viļņu garuma (L)  $\frac{1}{2}$  L (Zenkowitch, 1962),  $\frac{1}{4}$  L (Leont`ew et al., 1975).

Krasta zemūdens nogāze ir tā josla, kurā sanešu pārvietošanās notiek nepārtraukti un kurā notiekošās izmaiņas tiešā veidā ietekmē nogāzes virsūdens daļas dinamiku (Žaromskis, 1985; Žilinskas et al., 2003). Pēc sanešu pārvietošanās īpatnībām zemūdens nogāzi var iedalīt divās galvenajās daļās: viļņu plīšanas un uzskalošanās zonā un aktīvās krasta nogāzes lejasdaļā (līdz aptuveni 20 m dziļumam). Apmēram 95% no sanešu kustības apjoma notiek 25 cm biežā piegultnes ūdens slānī (Rijn, 1998). Raksturīgi, ka seklūdens joslā sanešu materiāls tiek šķirotas pēc to hidrodinamiskās pretestības (Wright, Short, 1984).

Apkopojot iepriekš minēto, var secināt, ka galvenie faktori (Blaihashin, 1973; Chrustalev, 1982; Shuysky, 1982; Wright, 1987; Weishar et al., 1991; Ulsts, 1998), kas ietekmē zemūdens nogāzē notiekošo sanešu materiāla kustību ir:

- viļņu parametri (arī viļņu parametru izmaiņas dažādās vētras fāzēs);
- krasta līnijas orientācija pret viļņu fronti un iztaisnotības pakāpe;
- zemūdens nogāzes parametri (iežu sastāvs, reljefs, slīpums, vālu klātbūtne tajā);
- pieejamo sanešu daļiņu hidrodinamiskā pretestība.

### **Pludmale**

Krasta procesu pētījumos, kuros lielākais akcents tiek likts uz hidrodinamiskiem apstākļiem, vai kuru mērķis ir inženierģeoloģisko apstākļu novērtējumi, pludmale tiek definēta kā viļņošanās tieši ietekmētu sanešu sakopojums, respektīvi, tās jūras robeža atrodas 10-20 metru dziļumā un pludmale principā sakrīt ar litorāli (Deen, 1983; Hardisty, 1990; Komar, 1996; 1998).

Tomēr plašākā nozīmē pludmali var uzskatīt par viļņošanās šķirojošās un transportējošās darbības galaproduktu, kura atsevišķi parametri var atrasties ļoti plašā diapazonā atkarībā no vietas ģeoloģiskajiem, hidrodinamiskajiem un citiem apstākļiem. Pludmales pastāvēšana vispār ir iespējama, pateicoties ūdens plūsmas atšķirīgajai enerģijai, kas vērojama viļņu uzskalošanās zonā – ūdens enerģija un līdz ar to arī transportēja uzplūstot ir lielāka nekā atplūstot (Bruun, 1954; Longinov, 1957; Komar, 1971; Orviku et al., 1995; Healy, 1996; Rijn, 1998).

Tā kā pludmale ir viļņu darbības rezultāts, tad par tās iekšzemes robežu ir pieņemts uzskatīt vētras plūdūdeņu tālāko izplatības robežu lēzenos krastos (Eberhards, 2003), taču tā kā krasta sistēma ir dinamiska, nav iespējams viennozīmīgi noteikt, kāda stipruma un kādas atkārtotības vētra būtu jāizmanto par robežkritēriju. Pludmales morfoloģiskās robežas ļoti bieži vispār nav precīzi fiksējamas vai arī tās pastāv ļoti īslaicīgi (Thom, Hall, 1991; Sexton, 1995). Pludmales īpašības tiešā veidā liecina par apstākļiem, kas to radījuši un ar nelielu nobīdi laikā atspoguļo zemūdens nogāzē notikušās izmaiņas (Zenkowich, 1967). Pludmalē ir novērojamas visas krasta sistēmas sanešu budžeta izmaiņas, kas ietekmē pludmales apjomu un sastāvu (Aubrey, 1979; Wright, Short, 1984; Kommar, 1998). Apkopojot iepriekš minēto iespējams izveidot divas vienkāršotas pludmales definīcijas:

- pludmale ir nekonsolidēta dažāda rupjuma sanešu materiāla sakopojums, kas aptver krasta joslu no zemākā ūdenslīmeņa jūras pusē līdz kādai morfoloģiski atšķirīgai krasta reljefa formai vai objektam (priekškāpai, krasta krauji, krasta aizsargbūvēm vai daudzgadīgi veģetācijai) iekšzemes pusē (Kommar, 1976, 1998 u.c.);
- pludmale ir akumulatīvs sanešu sakopojums, kas veidojies galvenokārt viļņu uzskalošanās rezultātā dažāda ūdens līmeņa un viļņu parametru apstākļos un liecina par seklūdens daļā notiekošajiem procesiem (Zenkowitch, 1962 u.c.).

Lai krasta procesu pētījumu rezultāti būtu korekti un precīzi, nepieciešams noskaidrot konkrētajā krasta sistēmā pastāvošās sanešu apmaiņas likumsakarības. Savukārt, spriest par sanešu apmaiņas parametriem var gan tieši, pētot hidrodinamisko spēku iedarbību uz sanešu materiāla atsevišķām daļiņām un krasta nogāzes reljefa

elementiem, gan netieši, analizējot un interpretējot šo pašu krasta reljefa elementu uzbūvi un uzvedību (Kaplyn et al., 1991). Tā piemēram, pludmale, iespējams, ir piemērotākā krasta nogāzes liela mēroga daļa, lai tās īpašību analīze varētu tikt izmantota plašāku secinājumu izdarīšanai par sanešu apmaiņu sistēmā (Yurkova, 1994; Boldyrev, 1992; Orviku et al., 1995; Torklere, 2008; Lapinskis, 2009a).

Īpaši jāuzsver pludmales īpatnību nozīme, krastam pārkārtojoties vētras laikā. Izšķirošie parametri (Knaps, 1966; Zenkovitch, 1967; Aubrey, 1979; Chrustalev, 1982; Orviku et al., 1995; Rijn, 1998), kas nosaka pludmales erozijas apmērus vētras gadījumā ir:

- sākotnējā profila īpašības;
- pludmales nogulumu raksturs (daļiņu izmēri, noapaļotība, sablīvētība);
- vētras hidrodinamiskie parametri (maksimālais sadzinumu līmenis, viļņu periods, viļņu pienākšanas leņķis).

#### 1.4.1. Sanešu materiāla pārvietošanās krasta sistēmā

Viļņu dominētā krastā nogāzes profila evolūcija ir iespējama tikai tad, ja ir pieejami saneši, kuru daļiņu izmēri pārsniedz 0,05 mm (Hjulström, 1939; Zenkovitch, 1946, 1980). Tāpēc krastu procesiem veltītajā literatūrā pie jūras krastu sanešiem, viļņu lauka sanešiem (наносы волнового поля)(Zenkovitch, 1980), aktīvo sanešu lēcas (Kommar, 1998) vai krasta nogāzes sanešiem (coastal slope sediments) (Healy, 1996; Carter, 1998) nepieskaita īpaši smalko drupu materiālu. Krasta sanešu izplatības robežu noteikšana jūras un sauszemes virzienā, ja vien ir rasta skaidrība ar pašas krasta zonas robežu noteikšanu, nerada grūtības. Tomēr problemātiska ir šī aktīvā slāņa vai lēcas biezuma noteikšana. Ja kādā konkrētā krasta iecirknī norit aktīva sanešu akumulācija vai tieši pretēji – erozija, vēl nesēn aktīvās sanešu lēcas daļa pāriet nogulumu kategorijā vai, savukārt, senāki nogulumu kļūst par sanešiem. Tātad, sanešu deficīta krastā viss materiāls, ko viļņu darbība piegādājusi, šķirojusi un izvietojusi dažādās krasta joslās, ir uzskatāms par aktīvo sanešu lēcu. Tā noteikti atšķiras no zemāk esošajiem nogulumiem vai nogulumiežiem pēc sastāva un saguluma īpatnībām. Zināmas grūtības rodas tikai izteikti akumulatīvos krasta iecirkņos, piemēram, Irbes šauruma krastā, kur senāki nogulumu no jaunākajiem sanešiem būtiski neatšķiras. Lai risinātu šo problēmu, par aktīvo sanešu slāņa biezumu parasti pieņem to robežu, līdz kurai katastrofālas vētras laikā notiek sanešu mobilizācija (Cowell, Thom, 1994; Komar, 1998; Leont`ew, 2001).

#### Krasta līnijai perpendikulārā litomorfodinamika

Attiecībā uz sanešu pārvietošanos šķērsām krastam, pastāv vairākas vispārinātas likumsakarības, kuras krastu pētniekiem (Jonson, 1919; Bruun, 1962; Zenkovitch, 1962; King, 1972; Cowell, Thom, 1994) ir pazīstamas jau kopš 19. gadsimta:

- ja krasta sistēmā ir sevišķi daudz sanešu (pastāv pārprodukcija) – notiek krasta uzvirzīšanās jūrai un akumulatīvo formu veidošanās, jo īpaši kāpu augšana (kāpās tiek deponēts „liekais” materiāls);
- ja krasta sistēmā ir sanešu deficīts – notiek krasta atkāpšanās un erozijas formu veidošanās (materiāla deficīts tiek kompensēts, to noskalojot no krasta virsūdens daļas);
- ja krasta nogāze ir pārāk stāva – notiek tās augšējās daļas abrāzija, veidojot augšējo abrāzijas un apakšējo akumulācijas terasi, tuvinot kopējo nogāzes slīpumu tā sauktajam līdzsvara šķērprofilam;
- ja nogāze ir pārāk lēzena – notiek tā apakšējā daļā erodēto sanešu akumulācija augšējā daļā, kamēr nogāze kopumā kļūst pietiekami stāva;

- vienlaicīgi notiek abradētā un mobilizētā materiāla šķirošana pēc hidrauliskā raupjuma.

Krasta zonas hidrodinamikā līdz ar viļņošanas būtiska loma ir arī viļņošanās izraisītām straumēm, kas iedarbojas uz krasta zemūdens nogāzi. Kopējo ūdens masas pārvietošanās ainu veido viļņošanās inducētās garkrasta straumes (enerģētiskās un gradienta), pārrāvuma straumes, viļņu dreifa straumes un kompensācijas pretstraume. Visas šīs straumes darbojas papildus viļņu izraisītajai orbitālajai ūdens daļiņu kustībai (Speransky` et al., 1982; Hesp, 1999).

### **Krasta līnijai paralēlā litomorfodinamika**

Mūsdienās divdimensionālu krasta nogāzi ir iespējams modelēt kā matemātiski, tā arī laboratorijas apstākļos (Rijn, 1998). Balstoties uz klasisko līdzsvara profila koncepciju, ir tikuši radīti neskaitāmi matemātiski modeļi (Bruun, 1962; 1988; Deen, 1973; 1977; Stive, 1986; Stive, et al., 1991; Overtoon, et al., 1993; Roelvink, 1993; Rijn, 1997; u.c.), kas paredzēti krasta nogāzes reakciju prognozēšanai uz dažādām sistēmā notiekošām izmaiņām. Tomēr ļoti reti ir gadījumi, kad divdimensionālā modelī iegūtie rezultāti atbilst dabā novērotajai realitātei. Tādas neatbilstības iemesls ir krasta sistēmas trīsdimensionalitāte un konkrēti – garkrasta sanešu kustība, kuras parametru precīza aprēķināšana ir ievērojami sarežģītāka un varbūt pat neiespējama (Cowell, Nelson, 1991; Komar, 2003). Līdz šim labākie rezultāti, modelējot kompleksas krasta sistēmas funkcionēšanu trīsdimensionālā vidē, ir iegūti, izmantojot jau par klasisku uzskatāmo empīrisku metodi: prognozes tiek izstrādātas, izmantojot trendus no ilgstoša monitoringa datiem un salīdzinājumu ar analogiskām situācijām citviet (Carter, Woodroffe, 1994). Tiek veikti eksperimenti ar advekcijas-difūzijas (Reeve, Fleming, 1997), tilpuma (Stive et al., 1991) un citiem modeļiem. Tomēr krasta morfodinamikas prognozēšana ar pieņemamu ticamības pakāpi apstākļos, kas tuvi dabiskiem ir iespējama tikai līdz vienam gadam ilgam periodam (Rijn, 1998). Pasaulē ir maz krasta posmu, kuros kā noteicošā izceļama tikai šķērseniskā litomorfodinamika (Komar, 1998; Hesp, 1999). Tas nozīmē, ka gandrīz nekad krasta posmu nevar raksturot, nepieminot tam blakus esošos posmus un tā novietojumu attiecībā pret garkrasta sanešu plūsmu vai pulsāciju, ja tāda ir konstatējama.

Sanešu kustība paralēli krastam notiek tad, ja viļņi vismaz kādu laiku nepienāk tam tieši perpendikulāri. Gadījumos, kad vietai raksturīgs kāds noteikts vēja virziens, summārā sanešu pārvietošanās iegūst virzienu un to var dēvēt par garkrasta sanešu plūsmu (Leont'ew, 2001). Katrā krasta iecirknī, kurā pastāv šāda gareniska sanešu kustība, tai ir raksturīga (Knaps, 1966):

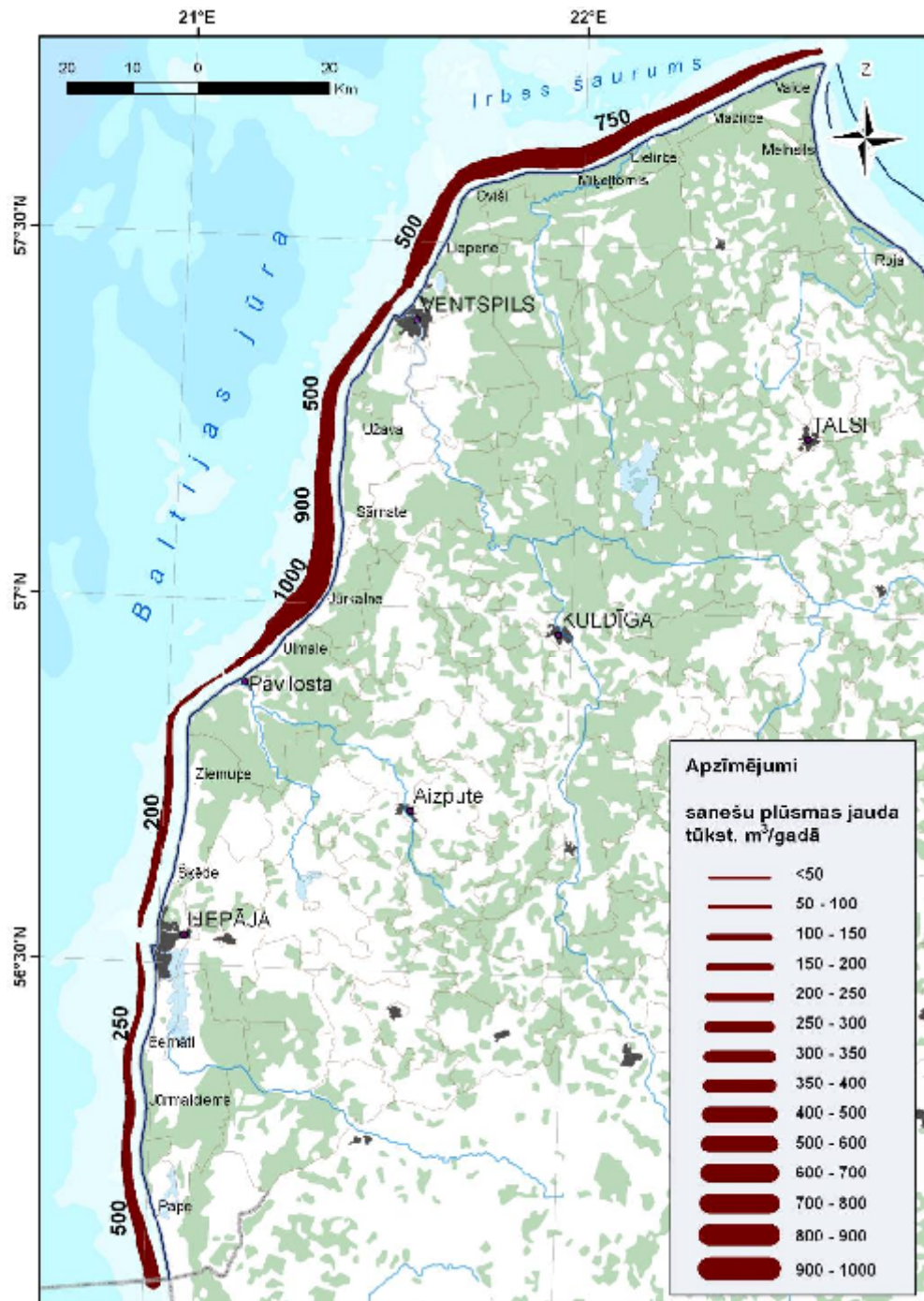
- jauda (gada laikā pārvietotais sanešu daudzums ( $m^3$ ));
- ietilpība (teorētiski iespējamais (atbilstoši hidrometeoroloģiskajiem apstākļiem) gada laikā pārvietoto sanešu daudzums ( $m^3$ ));
- piesātinājuma pakāpe (sanešu plūsmas jaudas un ietilpības attiecība).

Tomēr vairākums autoru atzīst, ka galvenā loma sanešu garkrasta pārvietošanā ir vētras straumēm, jo viļņošanās nodrošina tikai sanešu uzduļķošanu (Knaps, 1965; Ulsts, 1998, Eberhards, 2003).

### **Sanešu materiāla pārvietošanās Baltijas jūras Kurzemes piekrastē**

Baltijas jūras dienvidaustrumu daļā ir vispārzināma Austrumbaltijas garkrasta sanešu plūsma, kuras virzība ir mantota no Litorīnas jūras laika (Ulsts, 1998). Tā aizsākas Sambijas pussalas ziemeļos Kaļiņingradas apgabalā un turpinās līdz Kolkas ragam. Tās ietilpība atsevišķos posmos sasniedz 1 milj.  $m^3$ /gadā (Knaps, 1965) (1.2. attēls). Jāatzīmē, ka pirmais, kurš, izmantodams I. Munh-Petersena (1934) izstrādāto tā saukto hidrometeoroloģisko metodi, aprēķināja sanešu plūsmas ietilpību Latvijas krastiem, bija P.

Revelis (Revelis, 1938). Tomēr vislielāko ieguldījumu Latvijas jūras krastiem raksturīgo garkrasta sanešu plūsmu aprēķināšanā ir devis R. Knaps (Ulsts, 1998). Neapšaubāmi, daudzos Rietumkurzemes krasta posmos sanešu plūsmas jauda ir daudzkārt mazāka par kopējo sanešu migrācijas (pulsācijas) jaudu. Īpaši tas attiecas uz Nidas-Liepājas, Ziemupes-Pāvilostas un Ovīšu-Lūžņas posmiem (Ulsts, 1998; Torklere, 2008). Austrumbaltijas sanešu plūsmas jaudas aprēķināšanai ir tikušas izmantotas vairākas matemātiskās modelēšanas metodes, tomēr iegūtie rezultāti vienmēr ir izrādījušies visai attāli no dabā novērojamiem litomorfodinamikajiem apstākļiem (Ulsts, 1998; Lapinskis, 2009a). Pēc autora domām, galvenie šādas neatbilstības cēloņi ir divi: aprēķinos nav ņemti vērā visi būtiskie faktori un pats galvenais – trīsdimensionāla vide modelēta kā nesaistītu divdimensionālu lokāciju rinda. R. Knapa piedāvātā shēma pretēji tam ir brīvs vispārinājums, kuras pamatā ir precīza skaitliska informācija, kura „pielabota”, balstoties uz novērojumiem dabā un tādejādi ņemot vērā tos faktorus, kuru iekļaušana aprēķinos nebija iespējama (Knaps, 1938; 1966).



1.2. att. Austrumbaltijas garkrasta sanešu plūsma Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (pēc R. Knapa, 1965, autora vizualizācija)

Fig. 1.2. East Baltic longshore sediment flow (Kurzeme section) (after R. Knaps, 1965, visualization by author)

Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)

Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)

## 1.5. Antropogēno faktoru ietekme uz krasta procesiem

### Krastu aizsardzība

Ar terminu „krasta aizsardzība” vēl līdz 20. gadsimta vidum saprata nevis krasta procesu norises netraucētu nodrošināšanu, bet krastā esošu objektu pasargāšanu no tām nevēlamajām sekām, ko šo procesu netraucēta norise varētu radīt (Boldyrev, 1982, 1992; Nordstrom, 1994). Vēsturiski ir izveidojusies prakse, ka cilvēku sabiedrība reaģē uz „nepiemērotā vietā” notikušu krasta eroziju, veidojot konstrukcijas, kas novērstu erozijas draudus. Mūsdienās krastu aizsardzības jēdziens ir kļuvis ievērojami plašāks un sevī ietver tādas komponentus kā (Hillen, Roelse, 1995; Rijn, 1998):

- piekrastes teritoriju apsaimniekošanas atvieglošana;
- rekreācijas teritoriju kvalitātes saglabāšana;
- krastam tuvā ūdens kvalitātes saglabāšana;
- zemo piekrastes teritoriju aizsardzība pret sasāļošanu;
- sauszemes teritorijas aizsardzība pret noskalšanu un applūšanu.

### Krasta aizsargbūves un citi krasta procesus ietekmējoši būvobjekti Baltijas jūras Kurzemes krastā

Kurzemes rietumos ar masīvām un daļēji masīvām jeb konstrukciju metodēm<sup>1</sup> kopumā ir nostiprināti apmēram 2,3 km no 243,5 km garās krasta līnijas. Latvijā nekad nav mērķtiecīgi lietotas krasta aizsardzības bezkonstrukciju jeb elastīgās metodes<sup>2</sup>, izņemot epizodiskus gadījumus, kad no vairāku mazo ostu akvatorijas un kuģu ceļa izņemtais materiāls ticis uzskalots pludmalē tiešā ostas tuvumā.

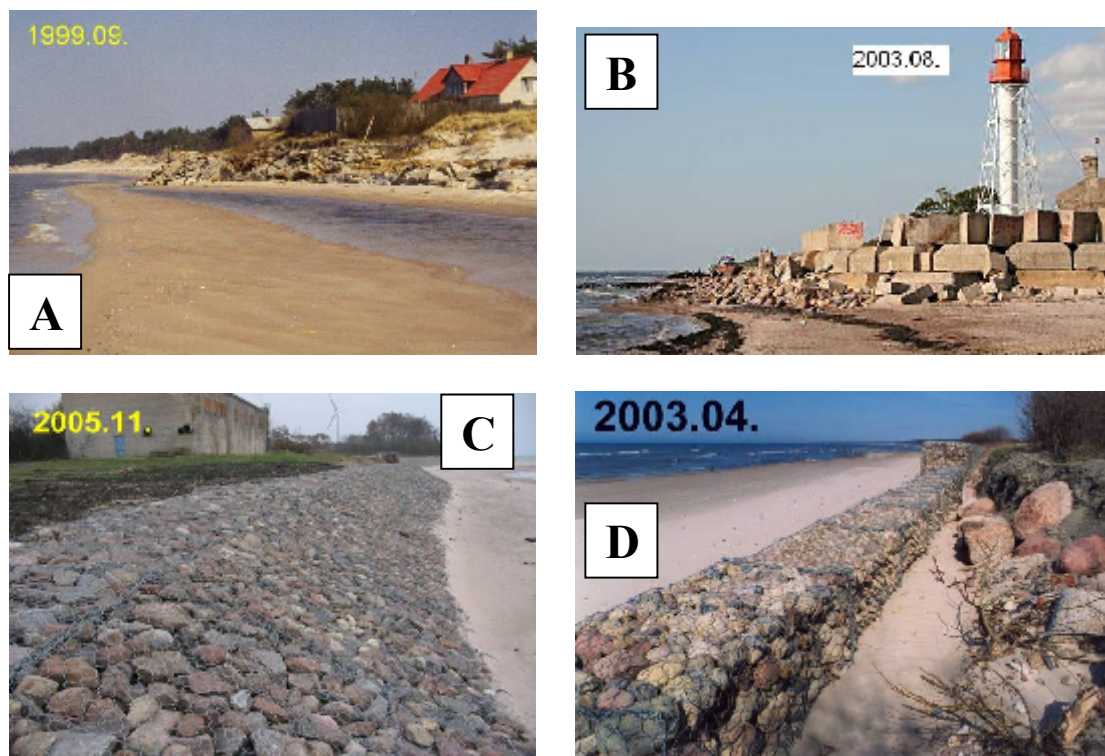
Pētāmajā krasta posmā dažādu objektu aizsardzība un krasta nogāzes virsūdens daļas erozijas ierobežošana, izmantojot masīvas vai daļēji caurlaidīgas būvkonstrukcijas, notiek atsevišķos īsos posmos, izmantojot galvenokārt pasīvā tipa objektus (1.3. attēls) (1. pielikums). Uz ziemeļiem no Liepājas ostas esošās 20. gadsimta sākumā izbūvētās masīvās fortifikācijas būves, lai arī daļēji sagrautas, turpina funkcionēt kā savdabīgs krasta stiprinājums.

Tā kā katra ar krasta preterozijas aizsargbūvēm segtā posma garums ir ļoti mazs un visas būves (izņemot Papes būnas) pieder pie pasīvā tipa, tad to ietekme ir novērojama galvenokārt kā erozijas intensitātes palielināšanās īsos blakus iecirkņos, kompensējoties sanešu garkrasta plūsmā radītajam deficītam un koncentrējoties vētras straumju enerģijai un kā pastiprināta konstrukciju piekājē esošā materiāla erozija, pieaugot atstarotajai viļņu enerģijai (French, 2001; nepublicēti JKĢPM dati, 1992-2008, Lapinskis, 2009b).

<sup>1</sup> Ar masīvām jeb konstrukciju metodēm parasti tiek saprastas tādas aktīvas un/vai pasīvas konstrukcijas, kas sastāv no metāla, dzelzsbetona, mūra, koka un citu materiālu paliekošām konstrukcijām, un kas nodrošina krasta līnijas jeb bāzes līnijas neatkāpšanos

<sup>2</sup> Ar bezkonstrukciju elastīgajām metodēm parasti tiek saprastas dažādas manipulācijas ar sanešu materiālu





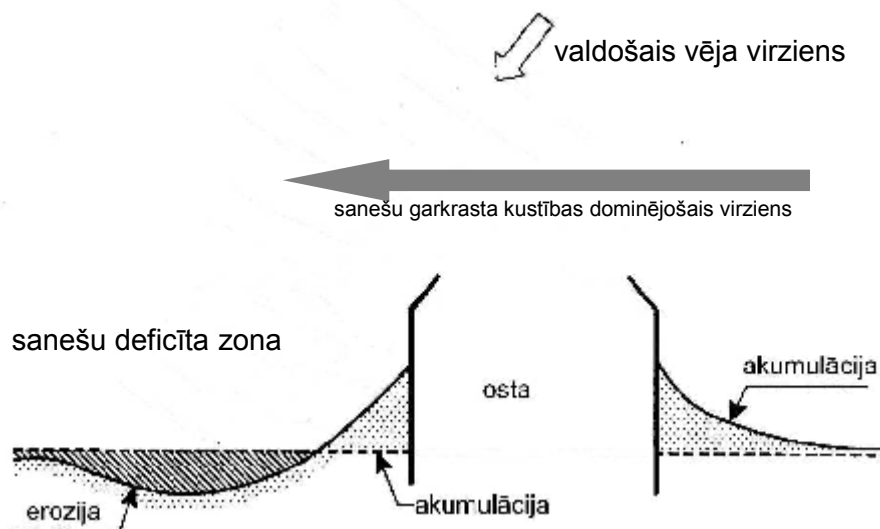
1.3. att. Jūras krasta aizsargkonstrukcijas Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (autora foto)  
 Fig. 1.3. Coastal protection structures at the Kurzeme coast of Baltic Proper (photo by author)

A – būvgružu un laukakmeņu krāvums Bernātos pie Veckrūmu mājām, B – kombinētas būvgružu, betona bloku un koka pāļu konstrukcijas pie Papes bākas, C – ar akmeņiem pildītu slīpu stieplu grozu konstrukcijas pie Liepājas notekūdeņu attīrīšanas iekārtām, D – ar akmeņiem pildītu stieplu grozu konstrukcijas Pāvilostā 400 m uz ZA no ostas ziemeļu mola

A – rip-rap structure near the Bernāti cape, B – combined rip-rap and wooden piles construction protecting Pape lighthouse, C – sloped gabions protecting Liepāja wastewater treatment facility, D – gabions in Pāvilosta 400 m to the northeast from harbour

### Ostu hidrotehniskās būves

Garkrasta sanešu kustība gandrīz vienmēr kļūst par problēmu tad, kad tās ceļā tiek radīti mākslīgi šķēršļi, no aprites tiek izņemta daļa materiāla vai tiek ierobežota jauna materiāla nonākšana aprītē. Ja normāla sanešu pārvietošanās gar krastu tiek pārtraukta vai būtiski ierobežota ar aktīvā tipa hidrotehniskām būvēm, notiek materiāla uzkrāšanās „pretstraumes” pusē, un kā sekas – materiāla deficīta izraisīta krasta noskalošana aiz šķēršļa (1.4. attēls) (Deen, 1983; Nordstrom, 1994; Pruszek, 2004; Pupienis, Žilinskas, 2005). Pasaulē ir atrodami neskaitāmi piemēri (French, 2001), kad ostas vēsturiskā attīstība rada situāciju, kurā, lai varētu nodrošināt kuģniecību un tālāku ostas pastāvēšanu, nepieciešams atkal un atkal iejaukties normālās krasta procesa norisēs, stiprinot krastu vienā un cīnoties ar lieko sanešu materiālu citā vietā. Līdzīgi apstākļi ir izveidojušies arī abās Kurzemes lielajās ostās – Liepājā un Ventspilī. Pāvilostas ostas radītie traucējumi sanešu normālajā sadalījumā ir mazāki (Eberhards, 2003).



1.4. att. Ostas ārējo hidrotehnisko konstrukciju ietekme uz krasta procesiem (autora interpretācija)

Fig. 1.4. Effect of harbour construction at the coast with longshore sediment flow (authors interpretation)

Pēc I. Korobovas aprēķiniem jau pagājušā gadsimta septiņdesmitajos gados, kad Ventspils ostas kuģu ceļa dziļums bija tikai 12-13 m, tikai 23% no sanešu materiāla vētru laikā pārvietojās tālāk uz ziemeļiem (Korobova, 1974), bet kopš kuģu ceļa dziļums ir palielināts līdz 17,5 m, saneši to vairs šķērsot nevar (Ulsts, 1998). Atbilstoši ostu izvietojumam attiecībā pret garkrasta sanešu plūsmas virzienu, uz ziemeļiem no tām laika gaitā pastiprinās sanešu materiāla deficīts. Deficītu kompensējot, zemūdens nogāzē notiek vertikālā erozija. Samazinoties sanešu daudzumam zemūdens nogāzē un palielinoties kopējam krasta zemūdens nogāzes slīpumam, viļņu enerģija vētru laikā tiek vājāk slāpēta un sākas pamatkrasta erozija (1.5.B attēls), kas, savukārt, tiecas kompensēt iztrūkumu zemūdens nogāzē. Kopējais krasta posmu garums Kurzemes rietumos, kur jūras ārdošā darbība pastiprinājās pateicoties ostu izbūvei, pārsniedz 22 kilometrus (Eberhards, 2001). Pirms ostu izbūves un vēl vairākus gadu desmitus vēlāk uz ziemeļiem no Liepājas un Ventspils netika novērota krastu erozija (Ulsts, 1961) un jādomā, ka sanešu bilance šajos posmos bija tuva neitrālai.



1.5. att. Ventspils ostas molu un kuģu ceļa ietekme uz krasta procesiem (autora foto)

Fig. 1.5. Coastal processes on bouth sides of Ventspils harbour (photo by author)

A – 1,0 km uz dienvidiem no ostas, B – 6,0 km uz ziemeļiem no ostas

A – 1.0 km to the south from harbour, B – 6.0 km to the north from harbour

Dienvidos no ostām saneši uzkrājas, veidojot jaunas sauszemes teritorijas un rekreācijas mērķiem sevišķi piemērotu vidi (1.5.A attēls). Tā piemēram, apmēram 2,2 km garajā krasta posmā uz dienvidiem no Ventspils ostas sanešu apjoms, kas uzkrāties pēc ostas izbūves, pārsniedz 10 milj. m<sup>3</sup> (Eberhards, 2003). Jāatzīmē, ka īpaši aktīva sanešu akumulācija notika pirmajos gadu desmitos pēc ostu uzbūvēšanas (Eberhards, Saltupe, 1995b). Pēc tam, kad, samazinoties dziļumam pie dienvidu molu galvas, saneši vētru laikā sekmīgi spēja to apliekt, nonākot kuģu ceļā, sauszemes platību pieaugšana apstājās un pēdējo 10-20 gadu laikā praktiski nenotiek (Eberhards, 2001; Bezrodnihs et al., 1997). Tas sanešu materiāls, kas turpina nonākt pludmalē, tiek pārpūsts priekškāpu zonā, ostas akvatorijā vai dziļāk iekšzemē (Eberhards, Saltupe, 1995b).

Gan Liepājas, gan Ventspils ostās regulāri tiek veikta kuģu ceļa padziļināšana un attīrīšana. Izsmeltais materiāls ilgstoši tiek nogādāts tālajā jūras izgāztuvēs (Ventspilī kopš 1962. gada), kas atrodas dziļāk par krasta zonas apakšējo robežu, līdz ar to sistēmā virs neatgriežas. Ventspils gadījumā aptuvenais sanešu apjoms, kas no kuģu ceļa ticis pārvietots tālajā jūras izgāztuvēs līdz 2004. gadam pārsniedz 34 milj. m<sup>3</sup> (Eberhards, 2003). Jāpiebilst, ka arī no tuvajām jūras izgāztuvēm sistēmā atgriezās tikai daļa materiāla. Līdz ar to, kopējais materiāla iztrūkums uz ziemeļiem no Ventspils ostas ir aptuveni 50 milj. m<sup>3</sup>. Lai krasta virsūdens daļas erozija spētu pilnībā to kompensēt, pamatkrastam posmā Ventspils-Ovīši būtu jāatkāpjas vidēji par 200 metriem.

## 2. Materiāli un metodes

Saskaņā ar darbā izvirzīto mērķi, uzdevumi tā sasniegšanai tika iedalīti vairākos secīgos etapos:

- zinātnisko publikāciju apkopošana un analīze, kā rezultātā tika gūts priekšstats par būtiskākajām atziņām un problēmām jūras krasta klasifikācijā un rajonēšanā;
- jūras krasta procesiem Latvijā veltītās publicētās literatūras un nepublicēto materiālu apkopošana un analīze, kā rezultātā tika sagatavots pārskats par jūras krastu ģeoloģisko procesu pētījumu vēsturi, izmantotajām metodēm un priekšstatu attīstību;
- lauka un kamerālo darbu satura izstrāde, darba metožu un pētāmo jūras krasta nogāzes subaerālās daļas elementu izvēle;
- jūras krasta subaerālās daļas morfometrisko un sanešu parametru lauka pētījumi ar instrumentālām un pusinstrumentālām metodēm, uzturot un no jauna ierīkojot pētījumu stacionārus, kuri tika papildināti ar kamerāliem pētījumiem;
- pētījumu gaitā iegūtās informācijas apstrāde un analīze, kas ietvēra LJKĢPM datu bāzes sagatavošanu, aktualizēšanu un pilnveidošanu MS Excel vidē;
- darba rezultātu un apkopojošu secinājumu izstrāde, aprobācija un izvērtēšana.

Kopš 1996. gada autors ir veicis pētījumus lauka apstākļos, nosakot krasta zonas elementu morfometriskos parametrus un to dinamiku (Lapinskis, 2005, 2009). Veikta arī pētījumu teritorijas ģeoloģiskā un ģeomorfoloģiskā kartēšana, ievākti pludmales un priekškāpas sanešu paraugi, kas analizēti LU ĢZZF Kvartārvides laboratorijā. Darba gaitā tika ievāktas un apstrādātas divas atšķirīgas datu kopas: krasta zonas virsūdens daļas morfometrija (kvantitatīvi un kvalitatīvi lielumi) un krasta zonas virsūdens daļu veidojošā materiāla bilance (kvantitatīvi lielumi).

### 2.1. Pētījuma teritorijas izvēles pamatojums

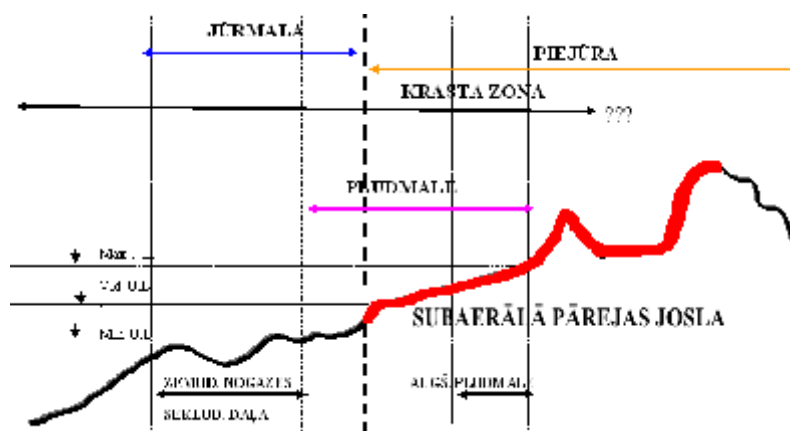
Pētījums skar relatīvi šauru (20-250 metru) krasta zonas subaerālo pārejas joslu posmā no Latvijas un Lietuvas robežas līdz Kolkas raga virsotnei ar pārtraukumiem Liepājas, Pāvilostas un Ventspils ostās (237,5 km) (2.1. attēls).

Balstoties uz literatūras avotos sniegto informāciju, pētījuma teritorija tika izvēlēta tā, lai realizētos vairāki nosacījumi:

- Krasta posma piederība vienam Baltijas jūras krasta apgabalam,
- Salīdzināmu monitoringa tipa pētījumu datu ar promocijas darba mērķa sasniegšanai atbilstošu mērījumu tīkla blīvumu pieejamība,
- Starp pētījuma teritorijā pārstāvētajiem krasta iecirkņiem pastāv būtiskas atšķirības to subaerālās daļas dinamikā un nogāzes ģeoloģiskajā uzbūvē (Eberhards, Salupe, 1995a).

Pētījuma teritorijā ir pārstāvēti gan krasta posmi, kuru sanešu bilanci ietekmē ostu ārējās hidrotehniskās būves, gan posmi, kuros ostu ietekme līdzšinēji veiktos pētījumos tiek atzīta par nebūtisku (Ulsts, 1998).



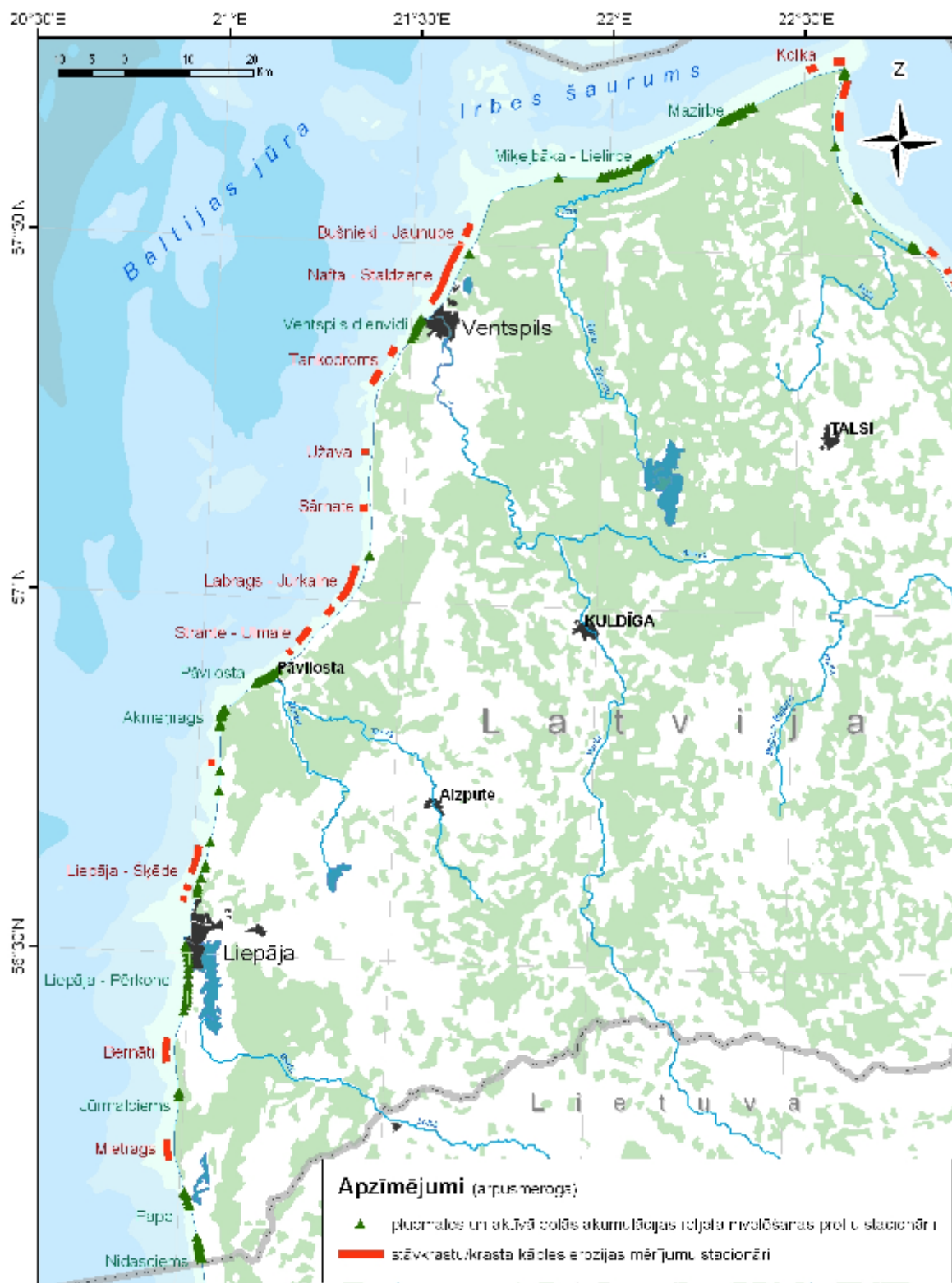


2.2. att. Krasta zonas subaerālā pārejas josla (autora shēma un interpretācija)  
 Fig. 2.2. Subaerial part of coastal slope (scheme and interpretation by author)

## 2.2. Pētījuma materiāls

### 2.2.1. Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa dati

Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa tīkla veidošana 1987. gadā uzsākta G. Eberharda un B. Saltupes vadībā un sākotnēji aptvēra tikai Rīgas līča dienvidu daļas krastus. Laikā no 1992. līdz 1996. gadam tika izveidots visu Latvijas piekrasti aptverošs stacionāru tīkls, kas turpmākajos gados tika papildināts, kā arī tika palielināts tā blīvums. Monitoringa sistēma ietver divas stacionāru grupas, kurās datu ieguve notiek ar atšķirīgām metodēm (2.3. attēls). Dati ir pieejami LU ĢZZF LJKĢPM datu bāzē. Šie dati tika papildināti ar autora oriģinālā pētījumā iegūtiem datiem un citu pētījumu rezultātiem. Kopumā pētītajā teritorijā tika izvērtēti un analizēti vairāk nekā tūkstoš krasta šķērsprofilu un vairāki simti atsevišķu krasta nogāzes elementu uzmērījumi. Jāatzīmē, ka krasta šķērsprofilu izvietojums nebija vienmērīgs. Piemēram, lielāko Kurzemes ostu apkārtnē un tajos krasta posmos, kuru sanešu bilanci kā tālu no neitrālas ir pierādījuši agrāki pētījumi (Bulgakova, 1982; Eberhards, Saltupe, 1995a; Ulsts, 1998), šķērsprofilu blīvums ir liels (intervāls starp profilu līnijām 100 – 300 m), bet daudzviet citur starp profiliem ir vairāki kilometri. Tomēr, apvienojot visu pētījuma gaitā iegūto informāciju, tā pietiekoši pilnīgi ļāva raksturot apstākļus Baltijas jūras Kurzemes piekrastē un izdarīt pamatotus secinājumus.



2.3. att. Latvijas Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa stacionāru izvietojums Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (autora sastādīts)

Fig. 2.3. The network of monitoring stations of coastal geological processes at the Kurzeme coast of the Baltic Proper (scheme by author)

Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)

Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)



## Nivelēšanas profilu stacionāri

Nivelēšana tiek izmantota tajos krasta posmos, kur izplatītas plašas pludmales un attīstījies eolais reljefs priekškāpas vai embrionālās kāpas formā (Eberhards, Saldupe, 1999). Nivelēšanas profili apvienoti grupās (stacionāros), kas, savukārt, izvietoti raksturīgos krasta iecirkņos. Katras profilu grupas atrašanās vieta izvēlēta atbilstoši kopējai krasta sistēmas specifikai tā, lai būtu iespējams iegūt informāciju par katru sanešu bilances ziņā būtiski atšķirīgu apakšsistēmu (iecirtni). Ārpus stacionāru robežām izvietoti desmit atsevišķi profili, kuros iegūtie dati ļauj kontrolēt dinamisko procesu izmaiņas neraksturīgos iecirkņos. Kurzemes rietumu piekrastē izvietoti deviņi stacionāri (2.1. tabula).

2.1. tabula. Jūras krasta nogāzes virsūdens daļas nivelēšanas profilu stacionāri Baltijas jūras Kurzemes piekrastē

Table 2.1. Stations of leveling profiles at the Kurzeme coast of Baltic Proper

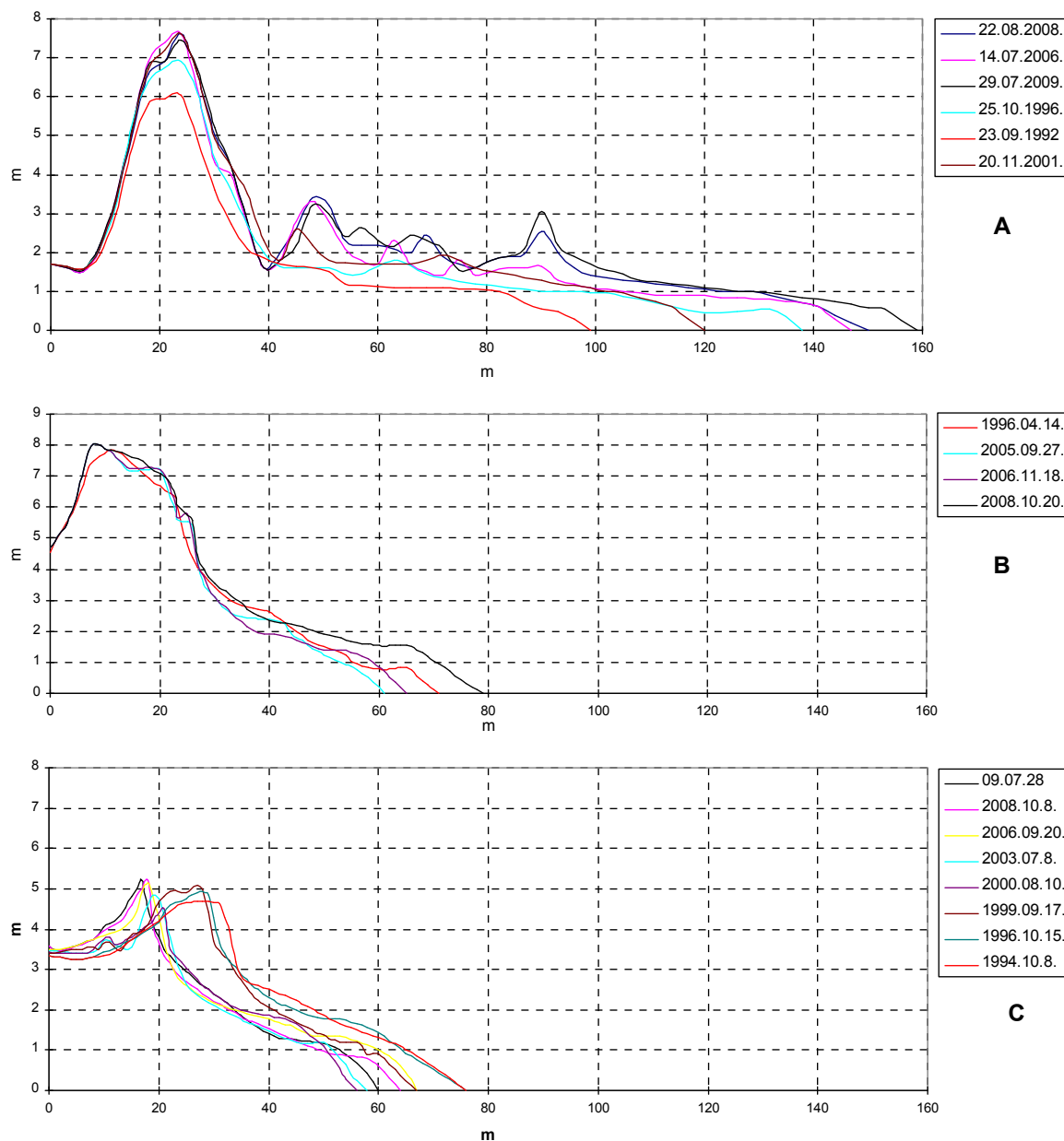
Stacionāra nosaukums	Stacionāra garums, m	Stacionārā iekļauto profilu skaits	Stacionāra izveidošanas gads
Nidasciems	3000	15	1992.
Pape	2000	6	1994.
Jūrmalciems	600	2	1994.
Liepāja-Pērkone	9600	15	1992.
Akmeņrags	2900	9	1999.
Pāvilosta	3300	14	1994.
Ventspils dienvidi	3900	12	1992.
Miķeļbāka-Lielirbe	8000	13	1993.
Mazirbe	5200	14	1993.
	Kopā: 38400	Kopā: 100	

Profilu līnijas ir orientētas perpendikulāri ūdenslīnijai, šķērso visu pludmali un jaunāko eolo reljefu. Mērījumi tiek veikti ar optisko nivelieri SOKIA C3 un kopš 2007. gada ar lāzernivelieri Leica Sprinter 100M (2.4. attēls).



2.4. att. Nivelēšana stacionārajā profilā (autora foto, 2006)  
Fig. 2.4. Leveling of coastal cross-section (photo by author, 2006)

Par atbalsta punktiem ar zināmu absolūto augstumu tiek izmantoti gruntsreperi, māju pamati, kā arī īpaši ierīkoti pagaidu reperi – metāla stieņi, veci koki, laukakmeņi u.c. Reperi atrodas tālāk (augstāk) par maksimālo vētrā iespējamo plūdūdeņu līmeni un ir iespēju robežās pasargāti no eolās apbēršanas, vandālisma un privātīpašnieku neizpratnes. Profilu garums atkarībā no konkrētā krasta posma īpatnībām atrodas robežās no 50 līdz 200 m (2.5. attēls).



2.5. att. Krasta nogāzes subaerālās pārejas joslas stacionāro nivelēšanas profilu grafiskās vizualizācijas piemēri A) profils LIC 33-1, B) profils VN 43-10 un C) profils ND 6-1 (nav atspoguļoti visu nivelēšanas gājienu dati, autora dati un interpretācija)

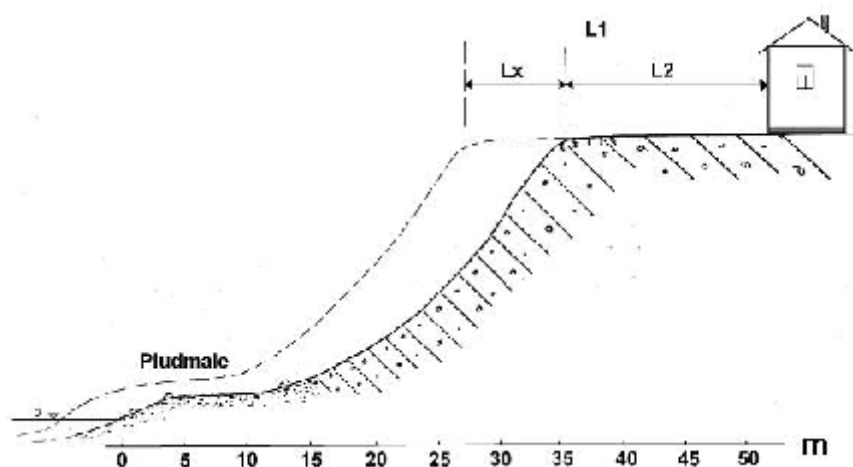
Fig. 2.5. Examples of the stationary leveling profile of the subaerial part of coastal slope data vizualization A) profile LIC 33-1, B) profile VN 43-10 and C) profile ND 6-1 (not all leveling data are shown, data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of cross-section; Y-axis – height above sea level

Nivelēšana tiek veikta vienu reizi gadā, parasti vasarā vai rudenī, pēc „vasaras miera perioda”. Lai iegūtu pietiekami precīzu pludmales un eolā reljefa šķērsprofilu, latus nolasījumi tiek veikti visos mikroreljefa liekuma punktos, vai arī ne retāk kā ik pēc 10 metriem. Mērījumi tiek veikti tikai līdz augstuma „0” atzīmei Baltijas augstumu sistēmā. Krasta zemūdens nogāzē mērījumi netiek veikti.

### Pamatkrasta noskalošanas pētīšanas stacionāri

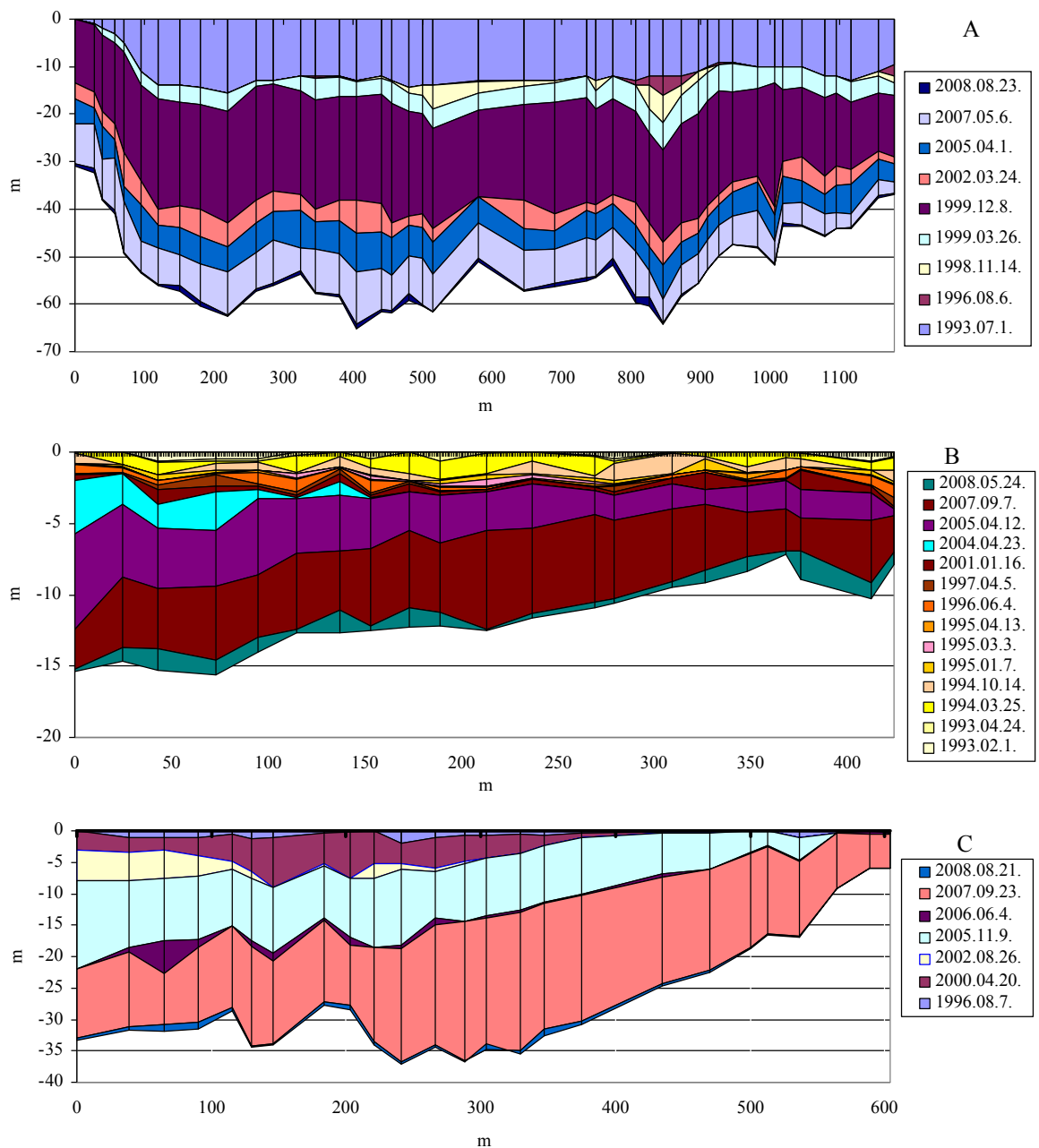
Tehnisko nivelēšanu uz stāvkrasta nogāzes daudzviet nav iespējams veikt, tāpēc ir nepieciešama atsevišķa stāvkrastu atkāpšanās pētīšanas metode (2.6. attēls). Stāvkrasta augšmalas atkāpšanās stacionārie pētījumi izveidoti, daļēji pamatojoties uz Lielbritānijas upju krastu erozijas pētījumos izmantoto metodiku (Hooke, 1979, 1980; Hadson, 1982).



2.6. att. Pamatkrasta noskalošanas pētīšanas stacionāra mērījumu līnija, kur  $L_1$  – sākotnējais attālums no atbalsta punktā līdz stāvkrasta kraujas augšmalai,  $L_2$  – attālums vēlāka mērījuma laikā un  $L_x$  – attālums par kuru notikusi stāvkrasta augšmalas atkāpšanās (autora sagatavota shēma)

Fig. 2.6. Measurement of the erosion of coastal cliffs, where  $L_1$  – initial distance from the support point to the bluff top,  $L_2$  - distance during later measurement and  $L_x$  – bluff retreat (scheme by author)

Metodes pamatā ir attāluma noteikšana starp kraujas augšmalu un kādu piemērotu dabā iezīmētu atbalsta punktu (reperi). Attālums tiek mērīts ar mērlenti ar precizitāti dabā 0,1 m. Mērījumu līnijas ir izvietotas perpendikulāri ūdenslīnijai un apvienotas grupās – stacionāros. Stacionāri ir izvietoti visos Baltijas jūras Kurzemes piekrastes posmos, kuros izplatīti stāvkrasti. Kopējais stacionāru skaits ir 60 (2. pielikums). Mērījumi tiek izdarīti vienu reizi gadā vai arī vairākas reizes gadā, ja ir bijušas spēcīgas vētras. Salīdzinot kārtējo mērījumu rezultātus, tiek noteikts noskalotās pamatkrasta joslas platums (2.7. attēls), noskalotā materiāla apjoms un noskalošanas intensitātes garkrasta sadalījums. Bezvētru periodā tiek noteikta nogāžu procesu ietekme uz stāvkrasta noārdīšanos.



2.7. att. Pamatkrasta noskalošanas pētīšanas stacionāros iegūto datu grafiskās vizualizācijas piemēri A) stacionārs BERNĀTI -1 (mērījumi uzsākti 1992. gada 25. septembrī, 44 mērījumu līnijas), B) stacionārs VENTSPILS – 3 (mērījumi uzsākti 1992. gada 27. jūlijā, 21 mērījumu līnija) un C) stacionārs LIEPĀJA – 2 (mērījumi uzsākti 1993. gada 1. jūlijā, 25 mērījumu līnijas) (nav atspoguļoti visu mērījumu dati, autora dati un interpretācija)

Fig. 2.7. Examples of the data visualization from the coastal cliff erosion measurement station A) station BERNĀTI -1 (beginning of the measurements – 25th September 1992), B) station VENTSPILS – 3 (beginning of the measurements – 27th July 1992 and C) station LIEPĀJA – 2 (beginning of the measurements – 1st July 1993) (not all measurement data are shown, data and interpretation by author)

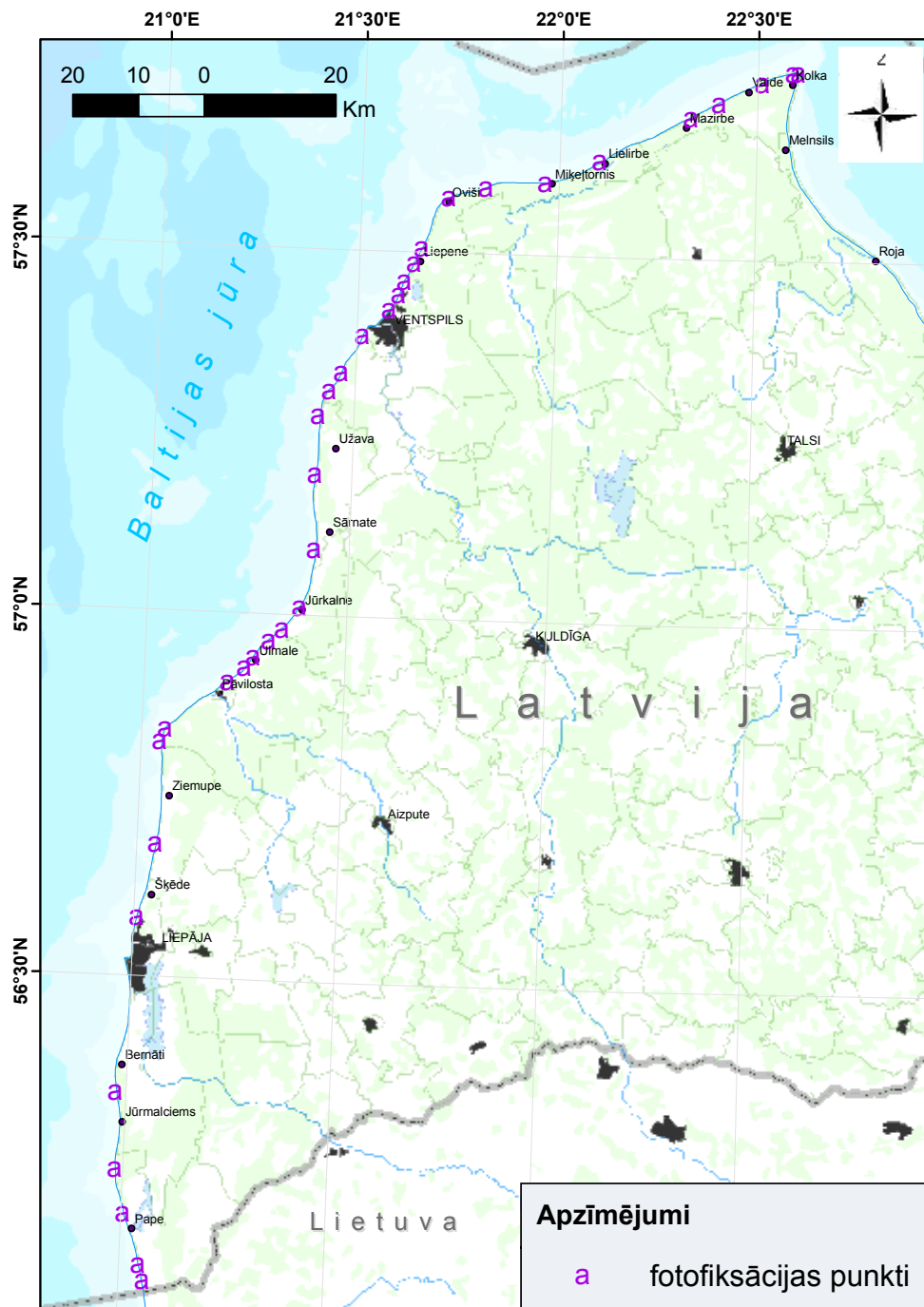
Uz x ass – garkrasta attālums no stacionāra sākumā esoša atbalsta punkta; uz y ass – pamatkrasta atkāpšanās attālums kopš mērījumu uzsākšanas

X-axis – alongshore distance from the beginning of station; Y-axis – distance of coastal cliff retreat since beginning of measurements

### **2.2.2. Krasta zonas virsūdens daļas pusinstrumentāla apsekošana**

Daļēja krasta apsekošana atšķirīgās sezonās veikta reizi gadā kopš 1998. gada. Atsevišķi dinamiski aktīvi posmi apsekoti divas līdz trīs reizes gadā. 2002. gada augustā un 2004. gada jūlijā pētītais krasta posms tika apsekots visā garumā. Darbā tika izmantoti arī npublicēti G. Eberharda novērojumi, kas veikti kopš 1990. gada (Eberhards, 1990.-2008.). Darba gaitā analizējamie krasta sistēmu raksturojošie elementi ārpus monitoringa stacionāriem tika izraudzīti tā, lai dati par tiem būtu iegūstami iespējami ērti, no mērinstrumentiem izmantojot tikai optisko nivelieri, mērlenti, līmeņrādi un GPS uztvērēju. Visi fiksējamie krasta morfoloģijas parametri tika noteikti ik pēc 250 metriem (Souza, 2007). Veicot mērījumus stāvkrastu stacionāros, kopš 1992. gada vizuāli tika noteikts stāvkrasta piekājē esošās pludmales platums, kā arī oļu klātbūtne pludmales nogulumos.

Sākot ar 1998. gadu tika uzsākta krasta reljefa formu fotofiksācija. Fotografējamās vietas un objekti tika izraudzīti tā, lai būtu pārstāvēts viss Baltijas jūras Kurzemes piekrastē esošo krastu dinamisko un morfoloģisko tipu spektrs. Kopumā tika izveidotas vairāk nekā 60 stacionārās fotofiksācijas vietas, no kurām līdz 2009. gada vasarai bija saglabājušās tikai 34 (2.8. attēls).



2.8. att. Krasta nogāzes virsūdens daļas reljefa formu fotofiksācijas vietas (autora sastādīts)  
 Fig. 2.8. The network of coastal morphostructures „photo monitoring” sites (scheme by author)

Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)  
 Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)

Fotoattēlu ģeogrāfiskā piesaiste veikta ar GPS un papildus orientācijai dabā izmantoti raksturīgi vides elementi pamatkrastā (ēkas, akmeņi, koku rindas u.c.) Atkārtota fotografēšana tika izdarīta ar neregulāriem starplaikiem un dažādos gadalaikos (2.9. attēls). Fotoattēli tika analizēti, lai noskaidrotu vai precizētu krasta nogāzes virsūdens daļas parametru izmaiņu apmērus tajos krasta iecirkņos, kuros stacionāro mērījumu līniju pārklājuma blīvums bija mazāks.



2.9. att. Fotofiksācijas vieta „Melnrags 2” 7,5 km uz dienvidiem no Ventspils ostas (autora foto)

Fig. 2.9. „Photo monitoring” site „Menrags 2” 7.5 km to the south from Ventspils harbor (photo by author)

### 2.2.3. Pludmales sanešu paraugu ievākšana

Pētījumu teritorijas apsekošanas laikā, 2002. gada augustā, notika pludmales sanešu paraugu ievākšana, izmantojot V. Bulgakovas (1984) piedāvāto metodi. Saskaņā ar minēto metodi viens pludmales sanešu paraugs tika veidots apkopojot trīs mazākus paraugus, kuri iegūti uz krastam subperpendikulāri orientētas līnijas ierīkojot rakumus aptuveni 30 cm dziļumā pludmales augstajā, vidus un zemajā daļā. Par katru no trim sākotnējiem rakumiem pludmales nogulumu tiek ievākti iespējami vienmērīgi visā augstumā no rakuma malas.

Sākot no Latvijas un Lietuvas robežas paraugu ievākšana tika turpināta ar garkrasta attāluma intervālu 2 km (ar pārtraukumiem ostu teritorijās). Katra parauga ņemšanas vietai tika noteiktas ģeogrāfiskas koordinātas izmantojot GPS uztvērēju. Kopumā ievākti 122 paraugi.

## 2.3. Datu apstrāde un analīze

Baltijas jūras Kurzemes krasta zonas subaerālo daļu raksturojošo morfometrisko datu apstrāde tika veikta, izmantojot grafiskās analīzes un matemātiskās statistikas metodes, jo tās optimāli atbilst pētījuma specifikai.

### 2.3.1. Sanešu bilances aprēķināšana

Kārtējie nivelēšanas gājieni un stāvkrastu stacionāru pārmērīšanas rezultāti tika apstrādāti ar programmu *MS Excel*, izmantojot formulu:

$$V = \sum_i \frac{(Q_i + Q_{i+1}) \cdot L_i}{2}, \text{ kur: (1)}$$

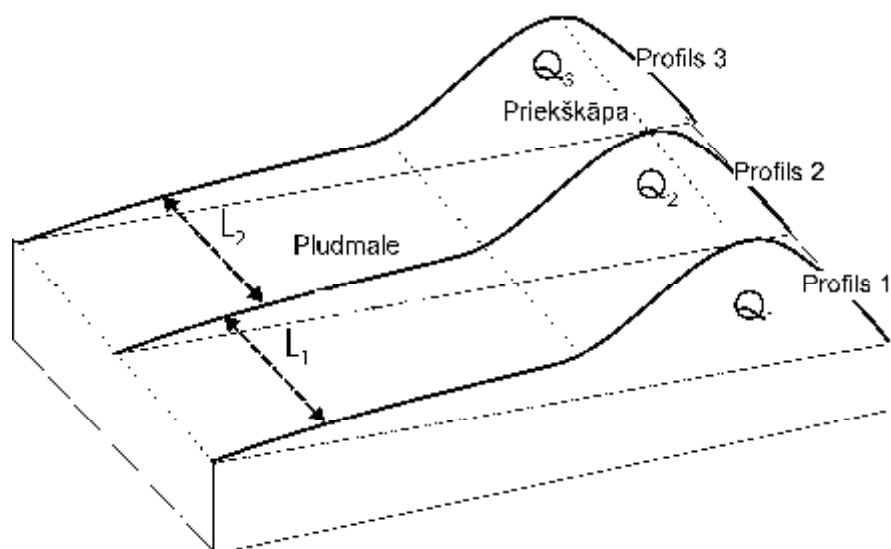
- **V** – sanešu apjoms noteiktā krasta posmā (volume of sediments);
- **i** = 1, 2, ..., n.;
- **Q** – krasta šķērsprofilu laukumi (area of coastal slope crosssection);
- **L** – attālumi starp šķērsprofiliem (distance between coastal slope crosssections).

Lai aprēķinātu krasta profilu veidoto iedomāto šķērsriezuma laukumu, izmantojot *MS Excel* tas tika sadalīts trapecēs, kuru atsevišķo laukumu summa veido visa šķērsriezuma laukumu

Aprēķinātā laukuma vērtība tika salīdzināta ar programmā *Logger Pro 3* iegūtajām laukuma vērtībām, lai pārliecinātos par izvēlētas metodes pareizību. Iegūtais krasta šķērsriezuma laukums turpmāk tika izteikts m<sup>3</sup>/m, kā krasta nogāzi veidojošo sanešu apjoms iedomātā metru platā ūdenslīnijai perpendikulārā joslā.

Izmantojot datus no mērījumu līnijām, noteikts sanešu apjoms un tā izmaiņas (2.10. attēls). Salīdzinot rezultātus, noteiktas pludmales platuma un apjoma (m<sup>3</sup>/m) izmaiņas, eolā reljefa izmaiņas – akumulācijas temps, vētrā noskalotā materiāla apjoms, kā arī noteiktas tās krasta virsūdens nogāzes daļas, kurās izmaiņas notiek visstraujāk.





2.10. att. Pludmales un virspludmales reljefa tilpuma aprēķināšanā izmantotie parametri (autora shēma)

Fig. 2.10. Parameters used for of beach and foredune deposits volume calculation (scheme by author)

### 2.3.2. Datu grafiskā analīze

Darbā tika meklētas un pārbaudītas vairākas sanešu bilances un krasta formu morfometrijas parametru empīriskās sakarības. Izmantojot *MS Excel* datorprogrammu, veikta datu kopas analīze par atsevišķu parametru vērtību telpisko un hronoloģisko sadalījumu:

- katra krasta šķēršprofila pludmales un aktīvā eolā reljefa sanešu apjoma izmaiņu analīzei tika sastādīti grafiki, kas atspoguļo parametra vērtību izmaiņas laikā;
- pludmales un aktīvā eolā reljefa sanešu apjoma vērtību sadalījums Baltijas jūras Kurzemes krasta zonā tika analizēts, sastādot stabīņveida diagrammas.

### 2.3.3. Pludmales sanešu granulometriskā analīze

Pludmales sanešu granulometriskā analīze tika veikta LU ĢZZF Kvartārvīdes laboratorijā izmantojot standarta sietu komplektu.

### 2.3.4. Karšu veidošana izmantojot ĢIS

Krasta procesu, krasta reljefa formu, krasta ģeoloģiskās uzbūves un to ietekmējošo faktoru novērtēšanai promocijas darba izstrādāšanas gaitā par visu pētīto teritoriju kopumā, kā arī par atsevišķiem tās posmiem augstākā detalizācijā, izveidotas jaunas digitālās kartes. Datu telpiskajā apstrādē un pētījuma rezultātu vizualizācijai izmantota ĢIS programmatūra *ESRI ArcView-ArcMap 9.2*.

### 3. Rezultāti un to interpretācija

#### 3.1. Krasta nogāzes subaerālās daļas morfometriskie parametri un nogulumu

##### 3.1.1. Baltijas jūras Kurzemes piekrastes pludmales parametri

Baltijas jūrā, pateicoties ļoti nelielām paisuma-bēguma svārstībām un salīdzinoši nelielai viļņu vidējai enerģijai, nav iespējama pilna profila (divnogāžu) pludmaļu izveidošanās un saglabāšanās (Gudelis, 1967). Pētītajā krasta posmā sastopamas smilšainas un oļaini-granšaini-smilšainas nepilna profila (viennogāzes) pludmales, kuru virsmas reljefs, platums, augstums un to veidojošo sanešu sastāvs ļoti būtiski atšķiras (Boldyrev, 1981; Eberhards, 2003). Pludmales īpašības ļoti ievērojami mainās arī laika gaitā – lielākajā Kurzemes krasta daļā pludmaļu attīstība notiek, sekojot vairākiem dažāda garuma cikliem, kas savstarpēji mijiedarbojas ļoti specifisku (lokālu) faktoru un reģionālu norišu ietekmē (Eberhards, 2003). Īpaši izteiktas izmaiņas raksturīgas tiem krasta posmiem, kuriem raksturīgi jūras stāvkrasti (3.1. attēls). Gada laikā mainoties sezonām, mainās arī valdošo vēju virziens un ātrums, gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums un tiem līdzīgi mainās arī pludmale.



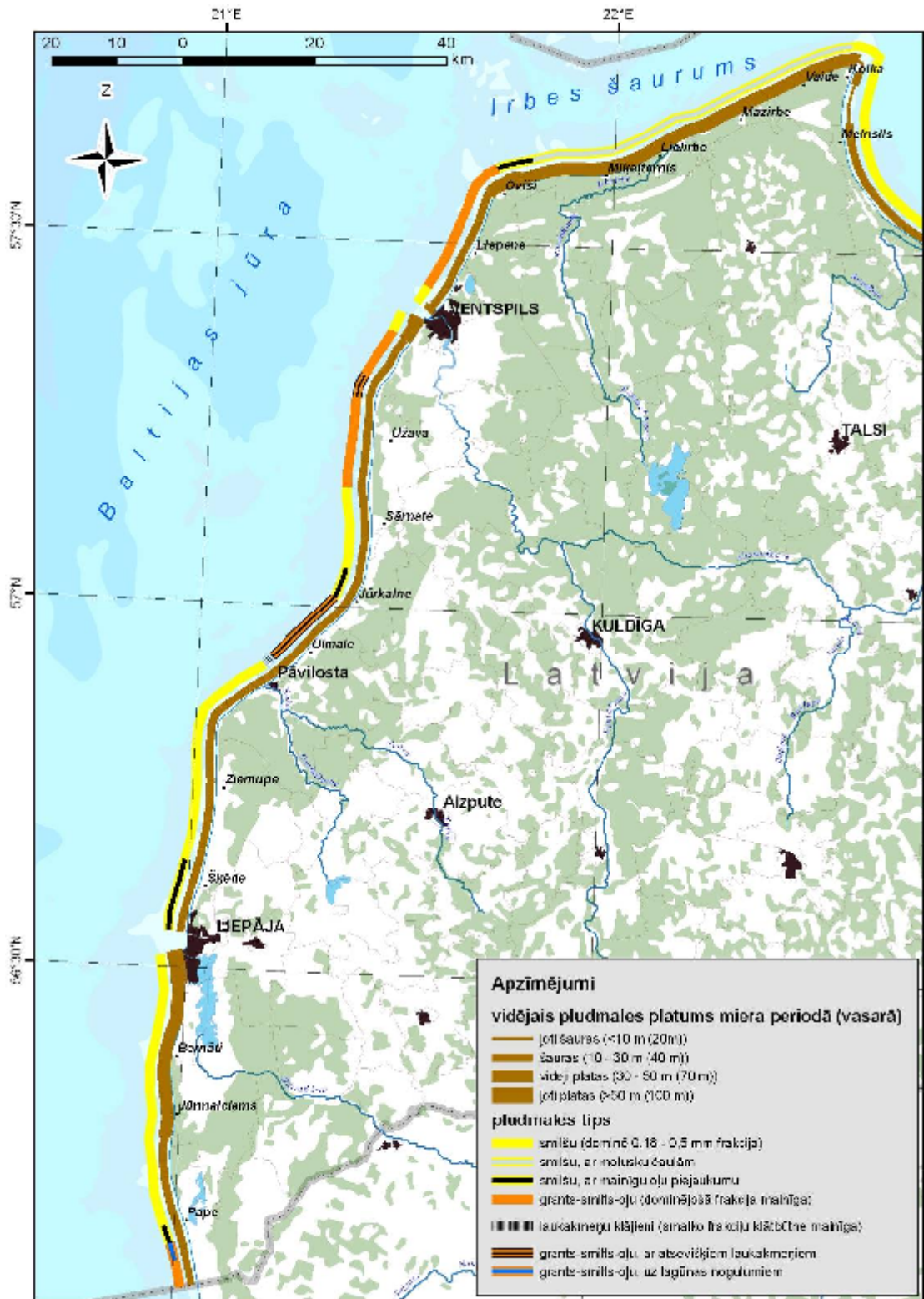
3.1. att. Pludmales sanešu sastāva izmaiņas pie Būšenieku bākas, 7,0 km uz ziemeļiem no Ventspils ziemeļu mola (autora foto)

Fig. 3.1. Changes in beach sediment composition at the erosion section of the coast 7.0 km to the north from Ventspils harbor (photo by author)

Dažādi autori (Knaps 1966; Eberhards, 1993, 2003; Ulsts, 1998) savos novērojumos konstatējuši, ka pludmales platums Kurzemē visbiežāk atrodas 25-35 metru robežās. Esošā pētījuma ietvaros noskaidrots, ka 2002. gada augusta sākumā vidējais pludmales platums atklātas Baltijas jūras krastā bija 33,5 metri, bet 2004. gada jūlijā – 30 metri. Vairāk nekā 70% no pludmales kopgaruma tās platums atrodas robežās starp 20 un 40 metriem. Pēc 2002. un 2004. gadu kartēšanas datiem, krasta posmā no Lietuvas un Latvijas robežas līdz Lūžņai, dominē jaukta sastāva pludmales, bet Irbes šauruma krastā – plašas smilšainas pludmales (3.2. attēls).

Kopējais pludmales slīpums ievērojami variē atkarībā no konkrētajā krasta posmā pastāvošajiem litodinamiskajiem apstākļiem. Saskaņā ar V. Ulsta pētījumiem (Ulsts, 1998), slīpuma galējās robežas ir no 1:8 līdz 1:80, ko apstiprina arī šī pētījuma rezultāti. Ja pludmales sastāvā dominē smalkas smilts frakcija ( $\leq 0,25$  mm), tad tās tipiskais slīpums ir aptuveni 1:25 neatkarīgi no tā, vai šajā krasta posmā novērojama erozija vai akumulācija. Ja pludmales smiltīs ir ievērojams oļu un grants piejaukums, tās profilam parasti ir vairāki lūzuma punkti un līdz ar to dažādu tās daļu slīpums ir ļoti atšķirīgs. Piemēram, Ovīšos sastopamas ļoti platas (70-90 m) pludmales ar plānā un griezumā nevienmērīgu, taču ievērojamu oļu piejaukumu. Tās lielākās daļas slīpums ir aptuveni 1:70, bet zemākās pludmales daļas slīpums var sasniegt 1:10(7) (Ulsts, 1998; Torklere, 2008).

Atklātu, viļņu iedarbībai eksponētu krastu pludmales sastāvu nosaka drupu materiāla pieejamība un viļņošanās režīms (Komar, 1998; Hesp, 1999). Kurzemes rietumu krasta zona ir reģionāla mēroga sistēmas daļa, turklāt krastu veidošanās un attīstība notikusi lielākoties ledāja atstātos nesaistītos vai vāji saistītos iežos, kuru sastāvā bija dažādu izmēru daļiņas (Ulsts, 1998). Šādos apstākļos katram krasta iecirknim tipisko sanešu sadalījumu nosaka tā dinamiskā piederība un valdošais sanešu garkrasta migrācijas virziens. Akumulatīvos krasta iecirkņos pludmalē dominē smalko frakciju materiāls, kurš tur nonāk no lēzenās zemūdēns nogāzes, bet sākotnēji – no deficīta iecirkņiem. Deficīta iecirkņos pludmalei pienākošo viļņu enerģija ir augstāka, pateicoties stāvākai zemūdēns nogāzei (1:30 līdz 1:100). Arī nogulumu daļiņu izmēri zemūdēns nogāzē ir salīdzinoši lielāki, jo smalkais materiāls tiek transportēts ārā no iecirkņa. Rezultātā vasaras pludmali šeit daļēji veido rupjais zemūdēns nogāzei raksturīgais materiāls (oļi un grants) un daļēji – iepriekšējā vētrainajā sezonā no virspludmales reljefa noskalotais materiāls (dažāda rupjuma smiltis), no kura daļa miera periodā pārvietojusies augšup pa nogāzi (Boldyrev, 1992). Tajos posmos, kur jūra uzvirzās morēnas stāvkrastam, pludmalē ir sastopami arī laukakmeņi, kas parasti guļ uz ziemas erozijas terases un ir daļēji apsegti ar vasaras pludmales nogulumiem.



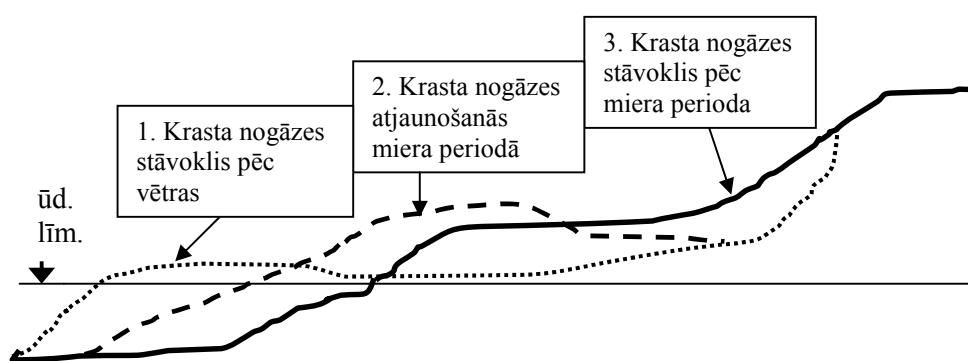
3.2. att. Baltijas jūras Kurzemes piekrastes pludmales īpašības (Eberhards, Lapinskis, 2008)

Fig. 3.2. The beaches of Kurzeme coast of the Baltic Proper (Eberhards, Lapinskis, 2008)  
 Kartogrāfiskais pamats: „Ģis Latvija” (Envirotech)  
 Cartographical base: „Ģis Latvija” (Envirotech)

Latvijas Jūras krastu monitoringa laboratorijas uzkrātie dati liecina, ka vētru laikā pludmales apjoms samazinās vidēji par 10-30 m<sup>3</sup>/m, tomēr konstatēti arī pilnīgi pretēji gadījumi, kad vētras darbība ir veicinājusi pludmales pieaugšanu.

Kurzemes pludmalēm ir raksturīgas sezonālas to veidojošo sanešu apjoma un sastāva svārstības (Eberhards, 2003). Laika posmā no oktobra līdz martam, kad biežāk novērojamas vētras, no pludmales tiek noskalots smalkāko frakciju materiāls un samazinās tās apjoms. Beidzoties „vētrainajam” periodam, smiltis pludmalē pakāpeniski atgriežas un aprok ziemas pludmales nogulumus. Vienotas krasta sistēmas robežās esošas pludmales apjoms vasaras sezonā daļēji norāda uz to, kādas konkrētajā vietā ir smilšu rezerves un bilance zemūdens nogāzē un līdz ar to arī uz tur dominējošo sanešu šķērseniskās migrācijas virzienu – augšup vai lejup pa nogāzi (Bray et al., 1995).

Kurzemes rietumos lēzenas un no smalka materiāla ( $\leq 0,25$  mm ) veidotas pludmales attīstība vētrā atšķiras no rupja un vāji šķirotā materiāla pludmaļu attīstības (Lapinskis, 2003). Viļņu enerģija smalko smilšu gadījumā tiek tērēta, pārvietojot smiltis no eolā reljefa un pludmales augšējās daļas lejup pa krasta nogāzi (Lapinskis, 2003). Zemūdens nogāzes augšējā daļā veidojas labi attīstīts akumulācijas vāls, kas vētras norimšanas fāzes laikā un pēcvētras periodā pakāpeniski migrē krasta virzienā (Eberhards, Purgalis, 2008; Torklere, 2008) (3.3. attēls). Dotā pētījuma ietvaros iegūtie rezultāti apstiprina iepriekšēji veiktu pētījumu rezultātus (Orviku et al., 1995; Ulsts, 1998) un liecina, ka stāvas un no rupja materiāla veidotas pludmales gadījumā, seklūdens akumulācijas vāla veidošanās vētras laikā nav raksturīga, jo noskalotā materiāla apjoms ir mazāks un tas nonāk lielākā dziļumā, bet oļi vētras laikā tiek pārvietoti augšup pa nogāzi un akumulējas virspludmales reljefa piekājē.



3.3. att. Krasta nogāzes šķērsprofila izmaiņas vētras-miera perioda cikla laikā (autora shēma)

Fig. 3.3. Evolution of beach profile during period after storm (scheme by author)

Garkrasta sanešu diferenciācijas gaita Kurzemes apstākļos galvenokārt norāda uz sanešu materiāla dominējošo migrācijas virzienu, kā arī uz erozijas un akumulācijas zonām (Ulsts, 1998). Valdošie vēji Kurzemē nav ļoti krasi izteikti, tāpēc sanešu migrācija gar krastu notiek abos virzienos. Tomēr atšķirībā no smalkākajām smilšu frakcijām, kuru pārvietošanās daļēji suspendētā veidā notiek arī vājas viļņošanās laikā, rupjākās frakcijas pārvietojas ievērojami lēnāk (Rijn, 1998; Short, 1999). Rezultātā rupjo frakciju sanešu procentuālajam sastāvam pludmales nogulumos ir jāsamazinās, pieaugot attālumam no vietām, kur tie tiek izskaloti no zemūdens nogāzes vai krasta kraujas.

### Oļi, laukakmeņi un grants pludmalē

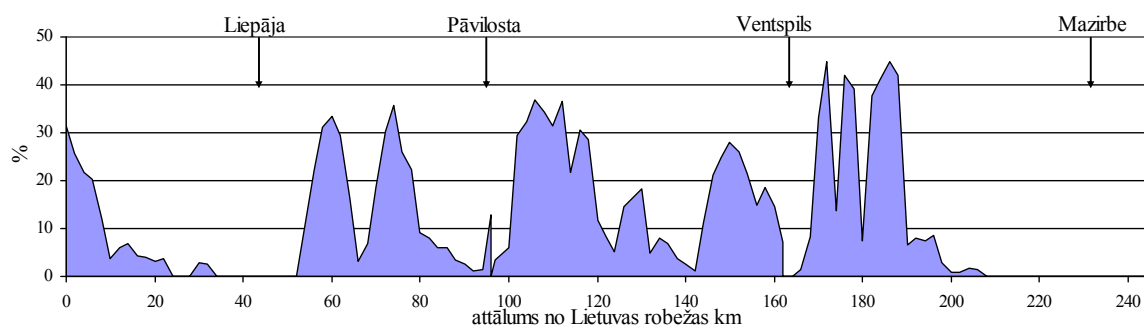
Krasta zonas attīstībā iesaistīto sanešu pārvietošanos un sadalījumu pētījumus var

iedalīt divās grupās. Pirmās grupas pētījumos ar laboratorijas un matemātiskās modelēšanas metodēm tiek analizēta to masveida pārvietošanās un kustības mehānisms. Otrās grupas pētījumos izmanto ģeomorfoloģiskas un ģeoloģiskās metodes, kuras ļauj spriest par sanešu pārvietošanos un apstākļiem krasta zonā pēc sanešu granulometriskā un mineraloģiskā sadalījuma, kā arī pēc hidrotehnisko būvju radītajām izmaiņām. Baltijas jūras krasta zonas sanešu kustības pētījumus 20. gs. vidū ir veicis R. Knaps (Knaps, 1965).

Sanešu materiāla pārvietošanās gareniski krastam realizējas kā migrācija vai pulsācija. Mainoties vēja (vētras) virzienam, notiek arī sanešu kustības virziena maiņa. Gadījumos, kad pārsvarā ir viens no migrācijas virzieniem, izveidojas garkrasta sanešu plūsma. Kurzemes piekrastes gadījumā uz ziemeļiem vērstās plūsmas jauda ir ievērojami mazāka nekā kopējais garkrasta migrācijā iesaistītais materiāla daudzums.

Ja sanešu plūsma kādā krasta iecirknī ir nepiesātināta, notiek „iztrūkuma” kompensācija uz krasta nogāzi veidojošā materiāla rēķina – erozija. Pārsātinājuma posmos tiek novērota sanešu akumulācija. Notiekot sanešu materiāla migrācijai gar krastu, tas tiek šķirts atbilstoši plūsmas transportspējai un iežu daļiņu hidrauliskā raupjuma attiecībai. Sanešu garkrasta granulometriskā sadalījuma īpatnības nosaka vairāku faktoru kopums, no kuriem galvenie ir (Ulsts, 1998): vētras stiprums un virziens, vētras atsevišķo fāzu ilgums, sanešu krājums krasta zemūdens nogāzē un krasta subaerālās daļas ģeoloģiskā uzbūve.

Dotā pētījuma ietvaros grants (2,0-10,0 mm frakcijas) piejaukuma procents tika noteikts 2002. gada augustā, ievācot un analizējot pludmales nogulumu paraugus (3.4. attēls).

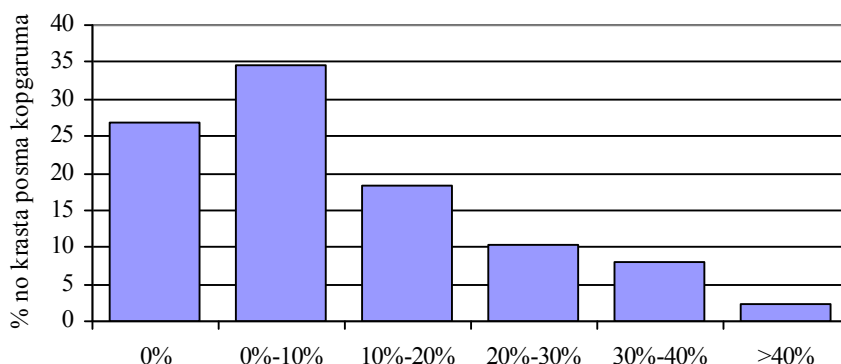


3.4. att. Grants daudzums pludmales sanešos 2002. gada augustā Baltijas jūras Kurzemes krastā (autora dati un interpretācija, 122 paraugi)

Fig. 3.4. Gravel percentage in beach sediments of Kurzeme coast of the Baltic Proper in August, 2002 (data and interpretation by author (n-122))

Lai novērtētu raksturīgākās grants daudzuma vērtības, tika analizēts to diapazons sastādot histogrammu (3.5. attēls). Vērtību sadalījuma grafiskai attēlošanai tika izvēlēts solis 10%, jo tas atbilst pētījuma detalizācijas pakāpei un nesadrumstalo rezultātus. Iegūtie rezultāti liecina, ka:

- pludmales nogulumos grants nebija sastopama 26,8% no pētījumu teritorijas kopgaruma, kas liecina par krasta posmiem ar dominējošu sanešu akumulāciju, vai to nesenaajā (100-200 gadi) attīstības posmā dominējušu sanešu akumulāciju;
- lielākais daudzums grants – 45% tika konstatēts pie Staldzenes;
- vērtības, kas pārsniedz 20% (Nidā, Šķēdē, Ziemupē, Jūrkalnē, Melnragā, Staldzenē un Liepenē) liecina par izteiktiem sanešu deficīta apstākļiem;
- nav izšķirama dominējošā grants sastāva vērtība.

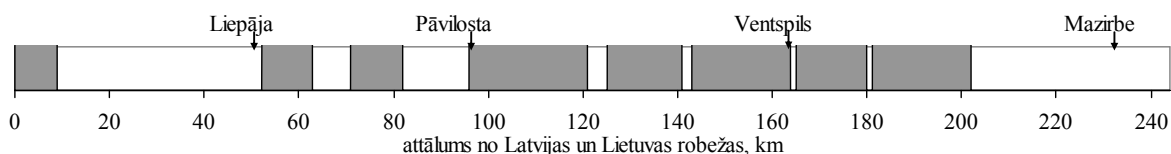


3.5. att. Baltijas jūras Kurzemes krasta pludmales sanešos 2002. gada augustā noteiktā grants daudzuma histogramma (autora dati un interpretācija, 122 paraugi)  
 Fig. 3.5. Histogram of gravel volume in beach sediments of Kurzeme coast of the Baltic Proper in August, 2002 (data and interpretation by author (n-122))

Laukakmeņu un oļu (>10,0 mm) klātbūtne pludmalē pētījuma ietvaros tika noteikta vizuāli, divas reizes – 2002. gada augustā un 2004. gada jūlijā. Turpmāk par laukakmeņu un oļu izplatības posmiem tika pieņemtas tās vietas, kur tie tika fiksēti abos apsekojumos. Laukakmeņu un oļu klātbūtne pludmalē tika pieņemta par būtisku tad, ja to skaits metru platā pludmales posmā pārsniedza vienu (3.6. attēls).

Iegūtie rezultāti liecina, ka:

- 48% (114,0 km) no krasta kopgaruma oļi un laukakmeņi tika konstatēti abos apsekojumos,
- krasta posmi ar oļiem un laukakmeņiem aptuveni 85% gadījumu sakrīt ar posmiem, kuros ir paaugstināts (>20%) grants saturs, tas apstiprina secinājumu par sanešu deficīta apstākļiem minētajos posmos.



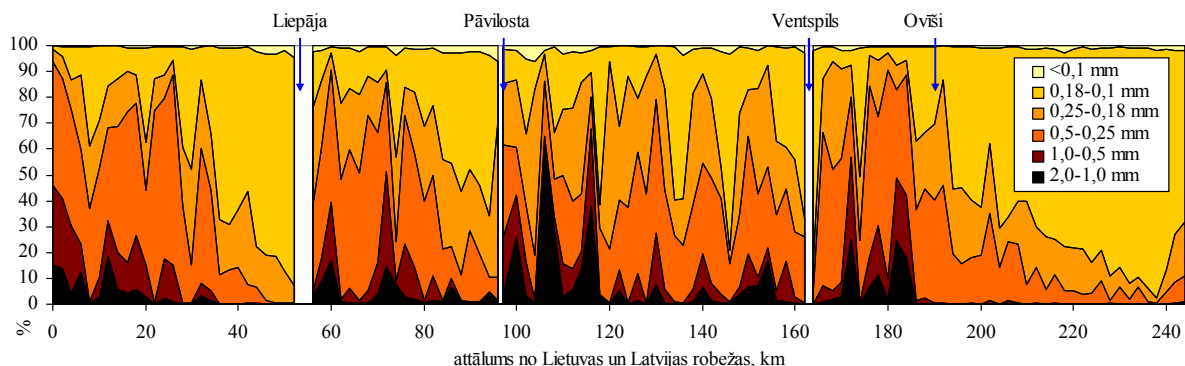
3.6. att. Laukameņu un oļu raksturīgā izplatība pludmalē (pelēkie laukumi) (autora dati un interpretācija)  
 Fig. 3.6. Presence of boulders and pebble in the beach of the Kurzeme coast of the Baltic Proper (gray areas) (data and interpretation by author)

### Pludmales smilšu sastāvs

Pludmales smilšu sastāvs tika noteikts 2002. gada augustā, ievācot un analizējot pludmales nogulumu paraugus. Paraugi tika ievākti tā, lai tajos būtu pārstāvēti gan pludmales frontālās daļas saneši no vietas, kur notiek viļņu uzskalošanās, gan pludmales centrālās daļas saneši, kas uzkrājušies pludmalei pieaugot miera periodā. Tas nozīmē, ka katrs analīzei pakļautais sanešu paraugs tika veidots no 5-10 nelieliem (100-500 g) paraugiem, kas tika iegūti dažādās vietās pludmales šķērsprofilā aptuveni 0,1-0,3 m zem pludmales virsmas (Bulgakova, 1982). Paraugi tika analizēti LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Kvantārvides laboratorijā, izmantojot standartsietu komplektu.

Paraugu granulometriskās analīzes rezultāti liecina par diferenciācijas paaugstināšanos un vidējā graudu diametra samazināšanos virzienā no dienvidiem uz

ziemeļiem visās pirmā līmeņa apakšsistēmās. Tas, savukārt, norāda uz dominējošo sanešu migrācijas virzienu – no dienvidiem uz ziemeļiem (3.7. attēls).



3.7. att. Pludmales smilšu granulometriskais sastāvs Baltijas jūras Kurzemes piekrastē 2002. gada augustā (autora dati un interpretācija, 122 paraugi)

Fig. 3.7. Granulometric composition of beach sand at the Kurzeme coast of the Baltic Proper in August, 2002 (data and interpretation by author (n-122))

Kopumā rezultāti apstiprina iepriekš publicēto un liecina, ka pludmales smilšu granulometriskās īpašības, kā arī grants, oļu un laukakmeņu klātbūtne pludmalē labi ilustrē litomorfodinamiski vienotos krasta rajonos pastāvošās likumsakarības, bet nav izmantojama par noteicošo indikatoru sīkākai krasta iecirkņu izdalīšanai un identifikācijai. Galvenie iemesli ir atšķirības dažādu vētru virzienā un ievērojamā ģeoloģiskās uzbūves daudzveidība gan krasta zemūdens nogāzē, gan krasta nogāzes virsūdens daļā ilgstošas krasta erozijas iecirkņos.

### 3.1.2. Virspludmales reljefs

#### Aktīvais eolās akumulācijas reljefs (AEAR)<sup>1</sup> Kurzemes rietumu krasta zonā

Eolo procesu attīstībā galvenā nozīme ir klimata īpatnībām un pieejamajam smilšu apjomam (Ul'st, 1964; Zenkowitz, 1962; Eberhards. 2000a; Finkl, 2004). Sanešu (smilšu) pārvietošanās uz aktīvajām eolās akumulācijas zonām notiek, galvenokārt, pateicoties jūras rumbu vējam. Īpaši intensīva eolā akumulācija iespējama tādos krasta iecirkņos, kur zemūdens nogāzē un pludmalē atrodas ievērojami smalko frakciju sanešu apjomi. Un pretēji – ja zemūdens nogāze ir stāva un tajā ir smilšu deficīts, eolā akumulācija neattīstās, jo dominē sanešu pārvietošanās lejup pa krasta nogāzi (Ul'st, 1964).

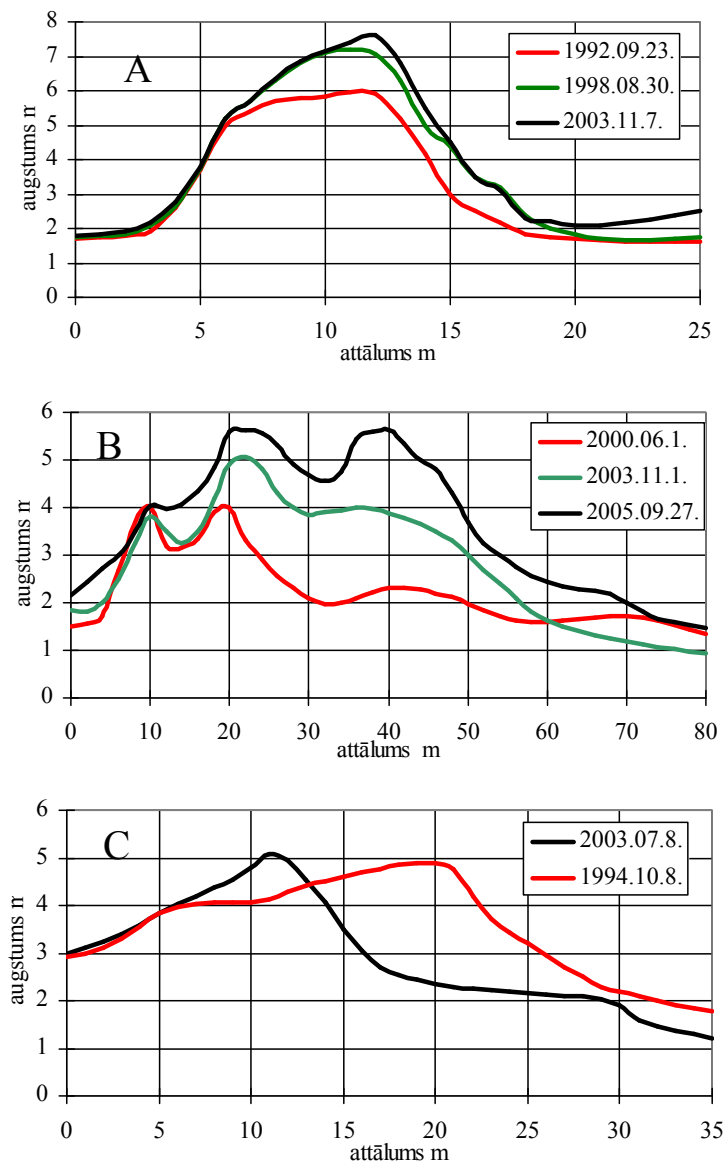
Priekškāpa veido pārejas joslu starp viļņu darbības dominēto krasta nogāzes daļu un pamatkrastu. Šīs pārejas joslas morfometriskie parametri un īpatnības (augstums, platums, nogāžu slīpums un asimetrija), kā arī sedzošās veģetācijas īpatnības, augšanas virziens un ātrums, līdztekus pludmales parametriem, atspoguļo ģeoloģisko procesu intensitāti, attīstības virzienu un izmaiņas sistēmā.

Praksē plašāk lieto priekškāpu klasifikācijas shēmu, pēc kuras priekškāpas ģeneralizēti tiek iedalītas trijos tipos: progresējošas, regresējošas un stacionāras (stabilas)

<sup>1</sup> Tikmēr, kamēr priekškāpā vai eolajā velcē esošās smiltis vētras-miera perioda cikla laikā tiek intensīvi iesaistītas materiāla aprītē, to var uzskatīt par aktīvo eolās akumulācijas reljefu (Pye, Tsoar, 1990; Rijn, 1998).



(Arens, Viersma, 1994). G. Eberhards norāda, ka Latvijā dominē stabilo priekškāpu tips, īpaši reti sastopamas progresējošas un mazliet biežāk – regresējošas priekškāpas (3.8. attēls) (Eberhards, 2000b; 2003; Eberhards et al., 2009). 1999. gadā Baltijas jūras Kurzemes piekrastē priekškāpas bija sastopamas kopumā 120 kilometrus garā posmā, tajā skaitā 41 km posmā ar intensīvu eolo akumulāciju priekškāpu joslā (Eberhards, 2000a).



3.8. att. Krasta šķērsprofilu izmaiņas, kas norāda uz atšķirīgiem priekškāpu attīstības scenārijiem Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (npublicēti JKĢPM dati, 1992-2008, autora interpretācija)

Fig. 3.8. Changes in aeolian part of coastal cross-section indicating different evolutionary types of foredunes (unpublicized data from monitoring of coastal geological processes, 1992-2008, author's interpretation)

A – stacionāra augoša priekškāpa Liepājā 3,5 km uz dienvidiem no ostas dienvidu mola; B – progresējoša priekškāpa Ventspilī 0,5 km uz dienvidiem no ostas dienvidu mola; C – regresējoša priekškāpa-erozijas kāple Nidā 2,5 km uz ziemeļiem no Lietuvas robežas.

A – growing, stationary foredune 3.5 km to the south from Liepāja harbor, B – progressing foredune 0.5 km to the south from the Ventspils harbor, C – regressing foredune (bluff top dune) 2.5 km to the north from Lithuanian border.

Jāpiebilst, ka Kurzemes rietumos sastopamās regresējošās priekškāpas parasti nav klasisks eolās akumulācijas rezultāts, bet veidojas, kombinējoties vēja un viļņu ģeoloģiskajai darbībai. Krasta posmos, kur vismaz 10-15 gadus pastāv kopumā pozitīva sanešu bilance, priekškāpu attīstība notiek līdzīgi (Torklere, 2008; Eberhards et al., 2009; nublicēti JKĢPM dati, 1992-2008):

- bezvētru periodā galvenā eolās akumulācijas zona atrodas priekškāpas frontālajā daļā, mazākā mērā virsotnē un pludmales augšējā daļā;
- spēcīgu vētru laikā pludmales augšējā daļā un daļēji arī priekškāpas frontālajā daļā esošās smiltis nonāk krasta zemūdens nogāzē;
- sekojošā miera perioda sākumā notiek ļoti intensīva eolā akumulācija priekškāpas piekāvē un aiz priekškāpas virsotnes (pēc īpaši spēcīgām vētrām iespējama jaunas eolās akumulācijas joslas izveidošanās pludmales augšējā daļā un īsā laikā attīstās jauna priekškāpa, turpretī vecajā akumulācija vairs nenotiek).

Kopumā iespējams secināt, ka mūsdienu krastu procesu intensitāte Baltijas jūras Kurzemes krastā ir pietiekama, lai daudzu desmitu kilometru kopgarumā izveidotos tipiskākā sākotnējās eolās akumulācijas reljefa forma – priekškāpa. Turklāt ikvienā priekškāpā vētras-miera perioda ciklā intensīvākās eolās akumulācijas zona pārvietojas, nodrošinot tai gan progresējošas, gan regresējošs, gan stacionāras priekškāpas īpašības. Katras stadijas ilgums, rezultāts, un līdz ar to arī piederība kādam no tiem, savukārt, ir atkarīgi no konkrētajā krasta iecirknī raksturīgās sanešu materiāla apmaiņas intensitātes un kopējās bilances.

### **Jūras stāvkrastu izplatība**

Stāvkrastu var uzskatīt par piejūras vai pamatkrasta iežos jūras ārdošās darbības rezultātā izveidotu nogāzi, kuras slīpums ir pietiekams, lai tajā aktīvi norisinātos nogāžu procesi un tekoša ūdens ārdošā darbība (nobrukumi, noslīdeņi, gravu veidošanās u.c.) (Zenkowitch, 1980). Jūras stāvkrasts (krasta krauja) ir pats tipiskākais krasta nogāzes elements posmos ar dominējošu eroziju (Rijn, 1998; Finkl, 2004). Ja kādā posmā krasta atjaunošanās pēcvētru periodos nespēj kompensēt no nogāzes virsūdens daļas noskaloto materiāla apjomu, jūras plūdmaiņu (subaerālā) josla atkāpjas uz pamatkrasta pusi. Rezultātā krasta sistēmā tiek iesaistīts jauns materiāls, kura sākotnējā uzkrāšanās notikusi citu (senāku) ģeoloģisko procesu gaitā.

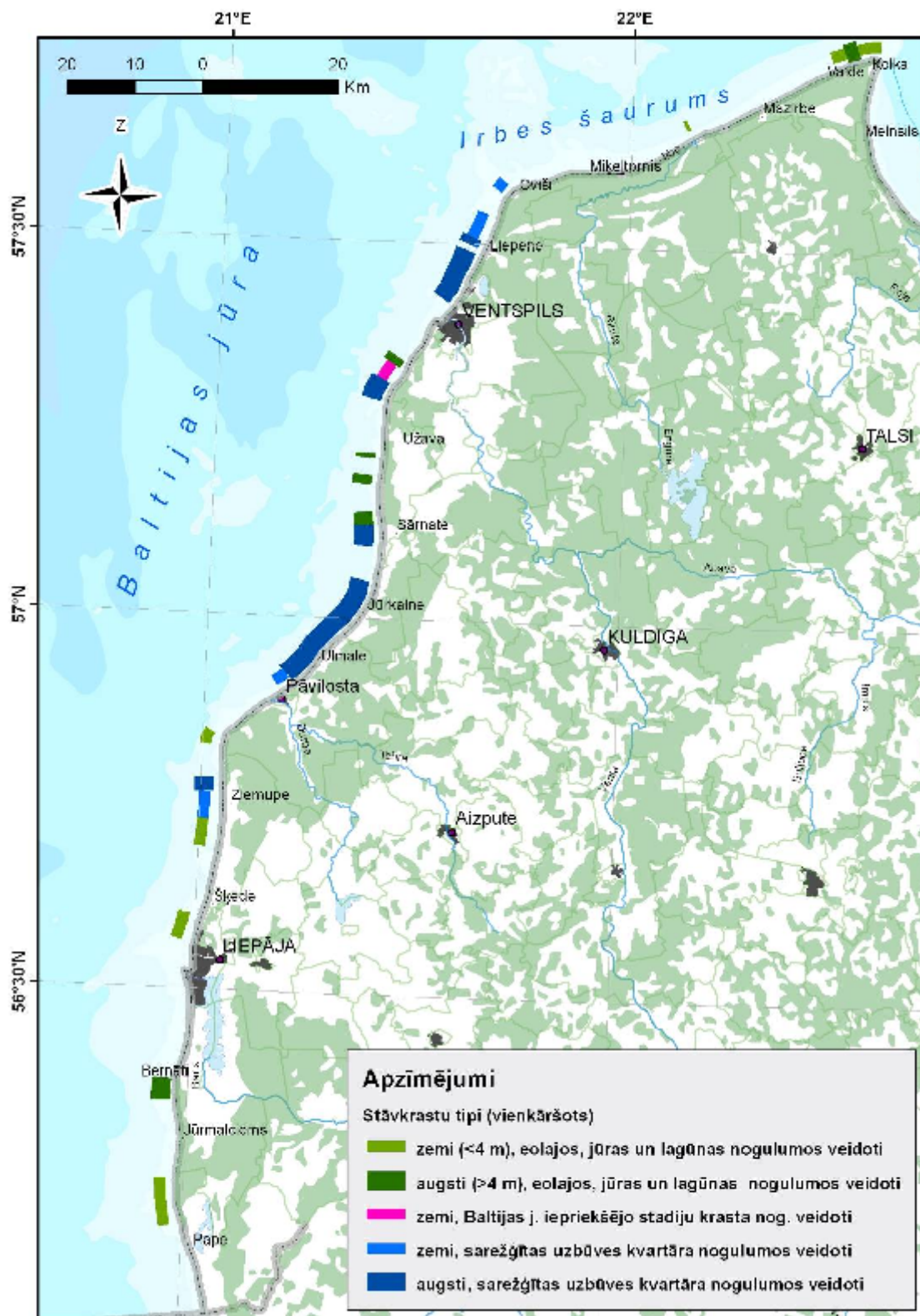
Kurzemē Baltijas jūras stāvkrastos atsedzas dažādas ģenēzes kvartāra nogulumieži, tāpēc sanešu materiāla pienesums no tiem būtiski atšķiras pēc mehāniskā un minerālu sastāva. Atbilstoši G. Eberharda (2003) piedāvātajai krastu klasifikācijas shēmai, Baltijas Jūras Kurzemes piekrastē atrodas Kvartāra nogulumiežos veidotu stāvkrastu divi apakštipi – vienkāršas ģeoloģiskas uzbūves un saliktas ģeoloģiskas uzbūves stāvkrasti, kas atšķiras gan pēc augstuma, gan nogulumu vecuma un sastāva (3.1.tabula).

3.1.tabula. Aktīvu jūras stāvkraсту izplatība un tipi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (autora dati; kartēšana veikta 2004. gada jūlijā: klasifikācija pēc (Eberhards, 2003))  
 Table 3.1. The distribution and morphology of active cliffs (bluffs) along the Kurzeme coast of Baltic Proper in July, 2004 (data by author: classification after Eberhards (2003))

Kvartāra nogulumiežos veidoti stāvkraсти (76,25 km)				
Eolajos nogulumos veidoti stāvkraсти (26,25 km)		Iepriekšējo Baltijas jūras stadiju grants-oļu nogulumos veidoti stāvkraсти (3,25 km)	Saliktas ģeoloģiskas uzbūves kvartāra nogulumos veidoti stāvkraсти (47,75 km)	
Augstie (>4 m) (19,25 km)	Zemie (<4 m) (7,0 km)		Augstie (>4 m) (36,0 km)	Zemie (<4 m) (11,75 km)

Par pamatu izmantojot G. Eberharda piedāvāto klasifikācijas shēmu, 2004. gada jūlijā tika veikta stāvkraсту tipu izplatības kartēšana (3.9.attēls). Rezultāti liecina, ka (Eberhards et al., 2009):

- aktīvs stāvkraстs ir 36,6% no pētījumu teritorijas kopgaruma;
- Dienvidu krasta rajonā stāvkraсти ir veidojušies tikai mūsdienu Baltijas jūras un Litorīnas jūras laika eolajos, jūras un lagūnas nogulumos;
- stāvkraстs, kas izplatīts Mietragā, Bernātos un Kolkas raga ziemeļu spārnā norāda uz salīdzinoši nesenu notikušām izmaiņām krasta sistēmā, kuru rezultātā bijušās sanešu akumulācijas zonas transformējušās par deficīta zonām. Šo izmaiņu galvenie cēloņi ir: pirmkārt – antropogēnas izcelsmes traucējumi sanešu garkrasta dabiskajā sadalījumā (ostas), un otrkārt – kopējā krasta procesu intensitātes samazināšanās, kas turpinās kopš Baltijas jūras ūdenslīmeņa stabilizācijas (Ulsts, 1998);
- Centra krasta rajonā ir izplatīti augsti, galvenokārt glaciģēnajos nogulumos veidoti stāvkraсти (Labraga ielīcī, Ziemupes apkārtnē un Melnraga ziemeļu spārnā), kas erozijas epizodēs papildina krasta sanešus ar dažādu frakciju materiālu un ir galvenais oļu un grants avots mūsdienu Baltijas jūras Kurzemes pludmalē. Stāvkraсту tips un plašā vienlaidu izplatība liecina par ilgstošiem sanešu deficīta apstākļiem, kurus nosaka galvenokārt dabiskas izcelsmes faktori;
- Ziemeļu krasta rajonā stāvkraсти sastopami tā dienvidrietumu ceturtdaļā, kura ir eksponēta valdošajam ziemeļrietumu, rietumu un dienvidrietumu vētru virzienam, un galējos austrumos – pie Kolkas raga;
- stāvkraсту vienlaidu izplatība aptuveni 12 km garā posmā uz ziemeļiem no Ventspils ostas, neskatoties uz to atšķirīgo ģeoloģisko uzbūvi (dominē glaciģēni nogulumi, kurus pārsedz dažādu agrāko Baltijas jūras attīstības stadiju baseina vai krasta zonas nogulumi un eolās smiltis), liecina, ka mūsdienās ir notikusi sanešu deficīta apstākļu pastiprināšanās, acīmredzot, Ventspils ostas hidrotehnisko būvju ietekmē.



3.9. att. Stāvkrastu izplatība un tipi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē 2004. gada jūlijā (autora novērojumi un interpretācija; klasifikācija pēc Eberhards, 2003)

Fig. 3.9. The distribution and morphology of cliffs (bluffs) along the Kurzeme coast of Baltic Proper in July, 2004 (data and interpretation by author; classification after Eberhards, 2003)

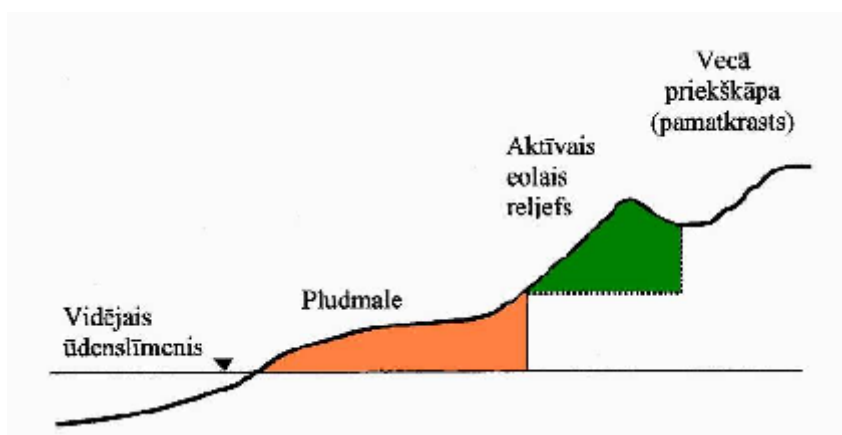
Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „GIS Latvija” (SIA Envirotech)  
 Cartographical base: „GIS Latvija” (Envirotech)

### 3.2. Pludmalē un aktīvajā eolās akumulācijas reljefā uzkrāto sanešu apjoms

Nemot vērā Baltijas jūras DA daļā pastāvošos apstākļus, var nošķirt divus krasta nogāzes parametrus, kuri ir metodiski ērti reģistrējami un raksturo sanešu materiāla bilanci katrā konkrētā krasta iecirknī (Bulgakova, 1982; Eberhards, 2003):

- pludmales sanešu apjoms (par pludmales robežām pieņemot ūdenslīniju, AEAR vai stāvkrasta piekāji un vidējo jūras ūdenslīmeni (Rijn, 1998; Woodroffe, 2002));
- AEAR apjoms (par tā iekšzemes robežu pieņemot krastam subparalēlo līniju, aiz kuras ķērpji, sūnas un ziedaugu veģetācija to pilnībā nosedz – sākas „pelēkā kāpa”, un aiz kuras krasta reljefa vertikālo izmaiņu intensitāte nepārsniedz 0,01 m/gadā (Rijn, 1998; Eberhards, 2003) , bet par apakšējo robežu pieņemot pludmales maksimālo augstumu) (3.10. attēls).

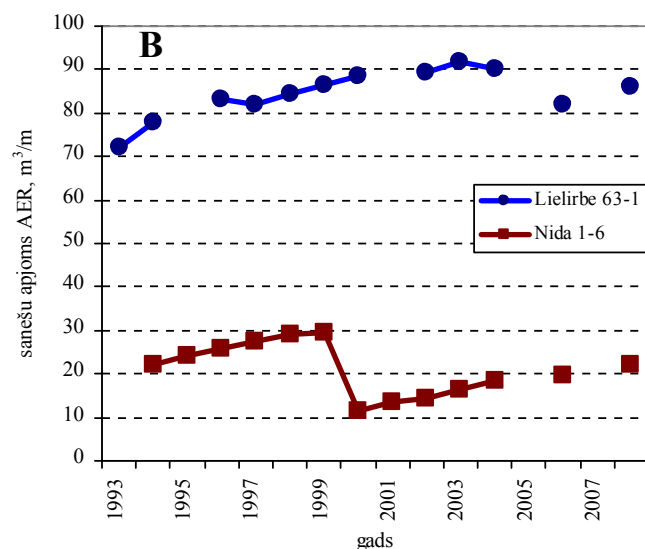
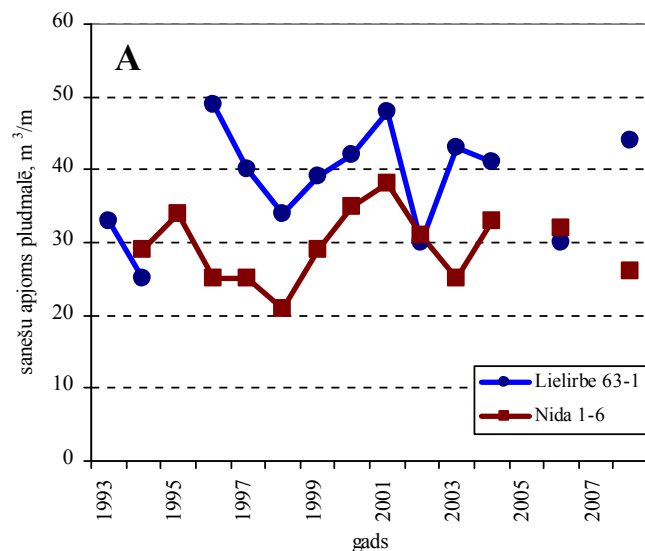
Minētie parametri Baltijas jūras Kurzemes piekrastē variē ļoti plašās robežās. To izmaiņas līdz šim ir tikušas apzinātas vien epizodiska un telpiski fragmentāra rakstura pētījumos (Gudelis, 1982; Bulgakova, 1982; Eberhards, 2000b) .



3.10. att. Pludmales un AEAR tilpuma aprēķināšanai pieņemtās telpiskās robežas (autora shēma)

Fig. 3.10. Spatial boundaries for the calculation of sediment volume of the beach and active aeolian morphostructure (scheme by author)

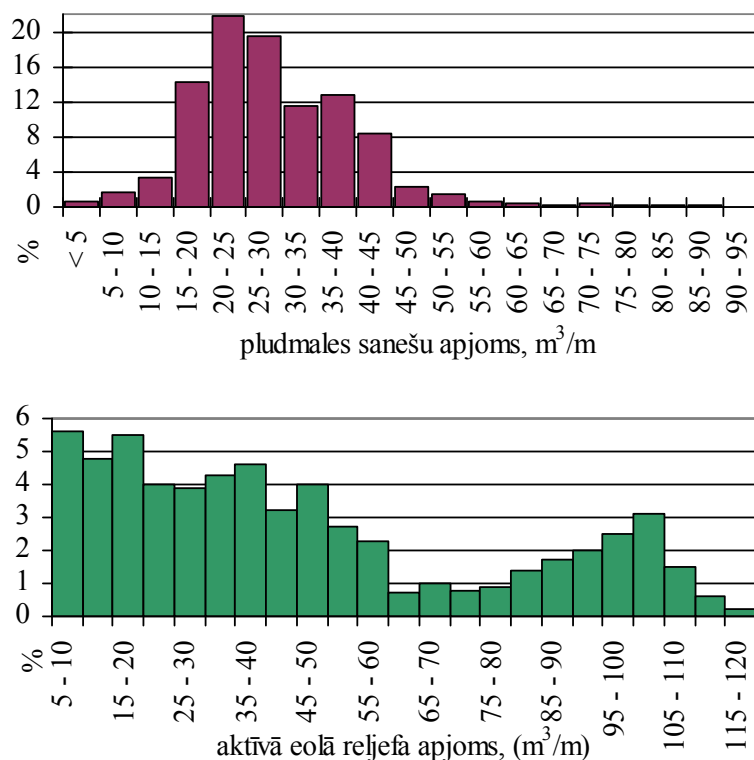
Baltijas jūras Kurzemes krasta nogāzes subaerālās daļas svarīgāko morfometrisko parametru un to izmaiņu analīze ir balstīta pētījumos, kas tikuši izdarīti Latvijas jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa sistēmas ietvaros laika posmā no 1992. līdz 2008. gadam ieskaitot (3.11. attēls). Pētījuma ietvaros pludmales un eolā reljefa tilpums tika noteikts visos LJKĢPM stacionāros un papildus divas reizes – 2002. gada augustā un 2004. gada jūlijā.



3.11. att. Sanešu apjoma izmaiņas pludmalē (A) un AEAR (B) pēc monitoringa datiem stacionārajos nivelēšanas profilos Lielirbe 63-1 un Nida 1-6 (piemērs) (Lapinskis, 2005; Eberhards et al., 2009; nepublicēti LJKÇPM dati 1992-2008, autora interpretācija)  
 Fig. 3.11. Change in the volume of sediment forming the beach (A) and the active aeolian morphostructure (B) according to monitoring data from leveling transects Lielirbe 63-1 and Nida 1-6 (example) (Lapinskis, 2005; Eberhards et al., 2009; unpublicized data from coastal monitoring 1992-2008, interpretation by author)

Dati liecina, ka Kurzemes rietumu pludmalēs vasaras sezonā kopumā koncentrējas 6 300 000 līdz 6 900 000 m<sup>3</sup> sanešu, bet aktīvajā eolās akumulācijas reljefā – 6 000 000 līdz 6 600 000 m<sup>3</sup> smilšu (Lapinskis, 2009a).

Lai novērtētu raksturīgākās pludmales un eolā reljefa nogulumu vērtību variācijas, tika sastādītas to sadalījuma histogrammas (3.12. attēls). Rezultātu tālākas interpretācijas ērtībai un pētījuma mērķim atbilstošas detalizācijas pakāpes iegūšanai, apjoma sadalījums tika attēlots ar soli 5 m<sup>3</sup>/m, kas arī aptuveni atbilst maksimālajai iespējamajai mērījumu kļūdai liela apjoma pludmalē vai priekškāpā.



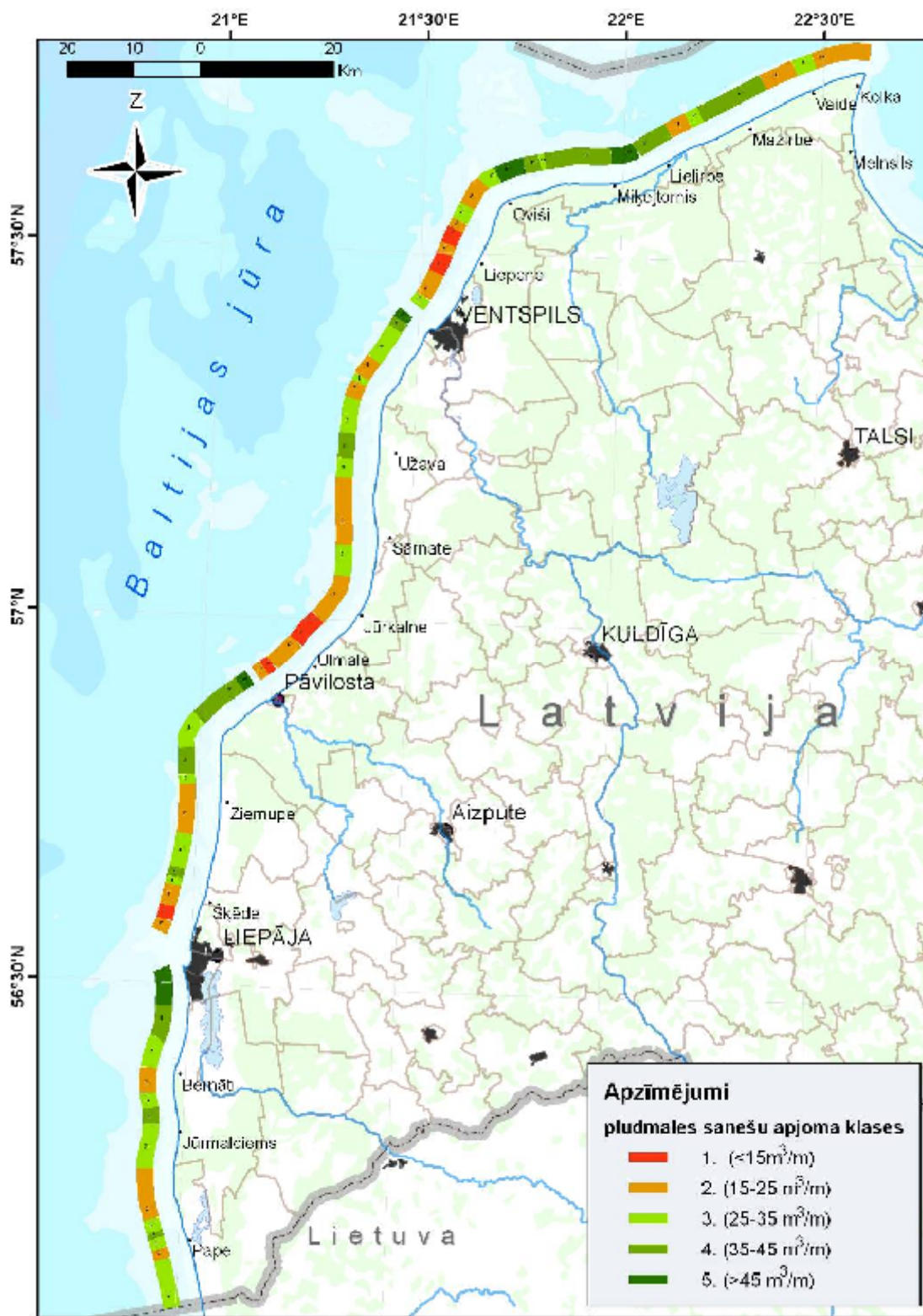
3.12. att. Baltijas jūras Kurzemes piekrastes pludmales un aktīvā eolā reljefa tilpuma vērtību sadalījums (izmantota 2002. gada augusta un 2004. gada jūlija mērījumu vidējā aritmētiskā vērtība; autora dati un interpretācija)

Fig. 3.12. Distribution of beach and active aeolian morphostructure sediment volume values (according to mean value from measurements in July, 2004 and August, 2002; data and interpretation by author)

Uz vertikālās ass krasta posmu procentuālais sadalījums pētījumu teritorijā (Lietuvas un Latvijas robeža-Kolkas rags). Mērījumu skaits 940.

On the y axis: percentage of coastal sections with each sediment volume value in study area (n-940).

Mazākais un lielākais novērotais pludmales apjoms bija attiecīgi trīs un 95 m<sup>3</sup>/m, bet 87,9% no Baltijas jūras Kurzemes krasta kopgaruma visos novērojumos, kas izdarīti no 1992. līdz 2008. gadam, pludmales apjoms atradās robežās no 15-45 m<sup>3</sup>/m. Ļoti mazs (<3%) ir to krasta posmu kopgarums, kuros pludmales apjoms pārsniedz 55 m<sup>3</sup>/m. Vismazākās pludmales apjoma vērtības tika konstatētas tajos krasta posmos, kur seklūdens daļā un virspludmales reljefā (stāvkraštā) atsedzas glacigēnie morēnas nogulumi. Lielākās konstatētās vērtības attiecas uz tiem krasta posmiem, kuri izvietoti cieši pie ostu dienvidu moliem, kā arī vietās, kur krasta līnijas orientācija mainās, radot akumulācijai labvēlīgus apstākļus (3.13. attēls). Raksturīgi, ka vairāk nekā 90% no mērījumu profiliem pludmales apjoma vērtības laika posmā no 1992. līdz 2008. gadam svārstās plašā intervālā – par vairāk nekā 70% no dominējošās vērtības. Vislielākā pludmales apjoma vērtību svārstību amplitūda raksturīga tiem krasta posmiem, kuros nav izveidojies vai ir rudimentārs eolās akumulācijas reljefs un kuru veidojošie nogulumi ir vājāk šķīroti. Rezultāti liecina, ka novērojumu periodā pludmales tilpuma vērtības kopumā nav būtiski palielinājušās (lielākais pieaugums ir 10-20%) (Lapinskis, 2005; 2009a).



3.13. att. Pludmales sanešu apjoma klašu iecirkņi atbilstoši 2002. gada augusta un 2004. gada jūlija mērījumu vidējai aritmētiskajai vērtībai (autora dati un interpretācija)

Fig. 3.13. Spatial distribution of beach sediment volume classes according to mean value from measurements in July, 2004 and August, 2002 (data and interpretation by author)

Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)

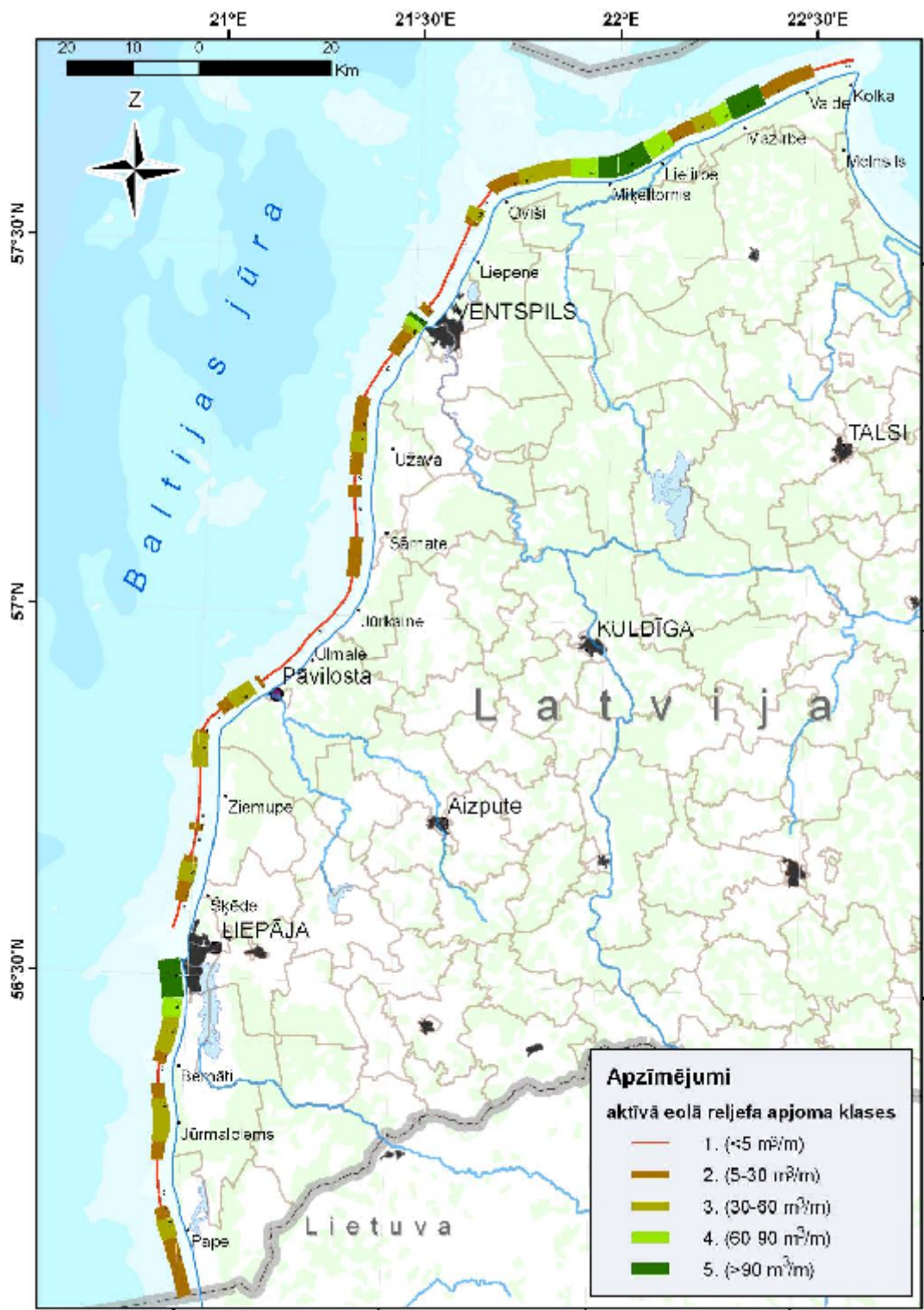
Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)



Ļoti būtiski ir atzīmēt, ka 38,7% no pētījumu teritorijas kopgaruma eolā akumulācija vispār nenotiek vai arī tā ir ļoti vāja – tur sastopamā AEAR apjoms nepārsniedz  $5 \text{ m}^3/\text{m}$ . Niecīga apjoma fragmentāri un efemeri kāpas aizmetņi visbiežāk ir sastopami stāvkrastu piekāpē, kur tie var izveidoties ilgstoši (>3 gadus) sagalabājoties bezvētru apstākļiem. Lielākais novērotais eolā reljefa tilpums bija  $118 \text{ m}^3/\text{m}$  un tas attiecas uz aptuveni 500 m garu krasta iecirkni pie Ventspils ostas dienvidu mola (3.14. attēls).

Vērtību sadalījuma histogramma (3.11. attēls) parāda, ka tai nav izteikta maksimuma un tas ir ļoti tālu no normālā sadalījuma. Vairāk nekā 90% no mērījumu vietām eolā reljefa tilpuma vērtības laika posmā no 1992. līdz 2008. gadam ir mainījušās pieauguma virzienā, turklāt vislielākais pieaugums (60-250%) ir tajos krasta posmos, kuros sastopamas liela apjoma priekškāpas un plašas smilšainas pludmales. Liela apjoma svārstību amplitūda (50-90%) bez ļoti izteikta eolā reljefa apjoma palielināšanās ir raksturīga tiem krasta posmiem, kuros sastopamas maza vai vidēja apjoma priekškāpas un plašas dažāda materiāla pludmales (Lapinskis, 2009a).

Esošie pētījuma rezultāti liecina, ka AEAR apjoms ir izteikti mainīgs garkrasta griezumā un ir atkarīgs no atbilstošā krasta iecirkņa sanešu bilances, kā arī no tā ģeoloģiskās uzbūves.



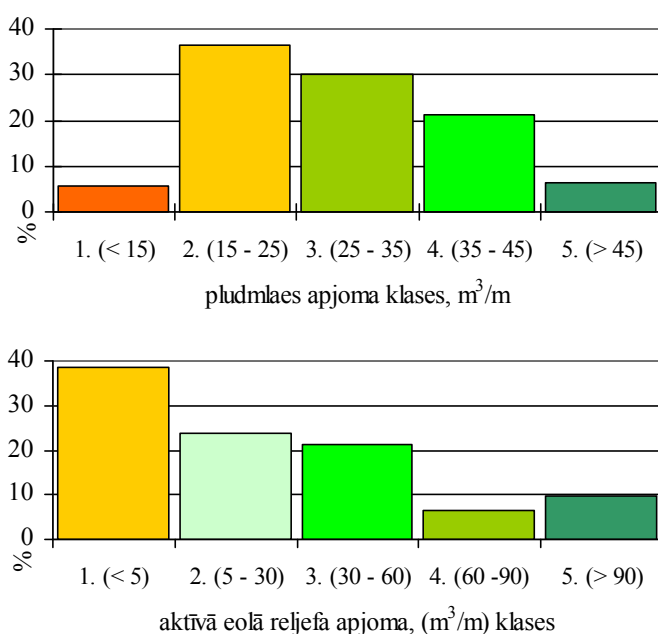
3.14. att. AEAR sanešu apjoma klašu iecirkņi atbilstoši 2002. gada augusta un 2004. gada jūlija mērījumu vidējai aritmētiskajai vērtībai (autora dati un interpretācija)  
 Fig. 3.14. Spatial distribution of active aeolian morphostructure sediment volume classes according to mean value from measurements in July, 2004 and August, 2002 (data and interpretation by author)

Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)  
 Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)

Lai būtu iespējams veikt litomorfofodinamiski viendabīgu krasta iecirkņu identifikāciju un lielā datu apjoma sadrumstalotība to neapgrūtinātu, gan pludmales, gan eolā reljefa sanešu apjoma vērtības tika apvienotas piecās klasēs. Pludmales sanešu apjoma vērtības virs  $45 \text{ m}^3/\text{m}$  tika nodalītas 5. – augstākajā klasē, vērtības zem  $15 \text{ m}^3/\text{m}$  tika nodalītas 1. – zemākajā klasē. Pārējās, ievērojami biežāk sastopamās vērtības tika iedalītas trīs apjoma klasēs ar soli  $10 \text{ m}^3/\text{m}$  (3.15. attēls).

Datu analīze liecina, ka eolā reljefa apjoma vērtības, kas mazākas par  $5 \text{ m}^3/\text{m}$  ir nodalāmas 1. – zemākajā klasē. Atlikušajos krasta posmos eolās akumulācijas intensitāte variē visai plašā diapazonā. Atbilstoši noteiktajam, eolā reljefa sanešu apjoma vērtības virs  $5 \text{ m}^3/\text{m}$  tika iedalītas četrās klasēs ar robežām 30, 60 un  $90 \text{ m}^3/\text{m}$  (3.15. attēls).

Šāda pludmales un eolā reljefa tilpuma vērtību apvienošana piecās klasēs ļauj ērti nošķirt iecirkņus ar būtiskām atšķirībām sanešu bilanci, turklāt, izmantojot šādu izšķirtspēju, datus par pludmales un eolā reljefa apjomu dabā iespējams iegūt, arī izmantojot pusinstrumentālas metodes.



3.15. att. Pludmales un aktīvā eolā akumulācijas reljefa sanešu apjoma klašu sastopamība Baltijas jūras Kurzemes piekrastē atbilstoši 2002. gada augusta un 2004. gada jūlija mērījumu vidējai aritmētiskajai vērtībai (autora dati un interpretācija)

Fig. 3.15. Incidence of beach (left) and active aeolian morphostructure (right) sediment volume classes (according to mean value from measurements in July, 2004 and August, 2002) (data and interpretation by author)

Uz vertikālās ass atlikts kopējais krasta posmu procentuālais sadalījums no Lietuvas un Latvijas robežas līdz Kolkas ragam.

On the y axis: percentage of coastal sections with each sediment volume class in study area (border of Lithuania and Latvia to Cape of Kolka).

Iegūtās diagrammas (3.15. attēls) parāda, ka pludmales apjoma vērtību sadalījums garkrasta griezumā ir strauji augošs un pakāpeniski dilstošs, kamēr eolā reljefa vērtību sadalījums ir atšķirīgs – pārsvarā ir sastopami krasta posmi bez AEAR vai ar vāji attīstītu eolo akumulāciju. Rezultāti liecina, ka Baltijas jūras Kurzemes piekrastē visbiežāk sastopamas pludmales ar sanešu apjomu robežās no  $15 \text{ m}^3/\text{m}$  līdz  $25 \text{ m}^3/\text{m}$ , tomēr dominante ir vāji izteikta (Lapinskis, 2009a).

## 4. Diskusija

### 4.1. Baltijas jūras Kurzemes krastu klasifikācija

#### 4.1.1. Krastu klasifikācijā biežāk lietotās pieejas

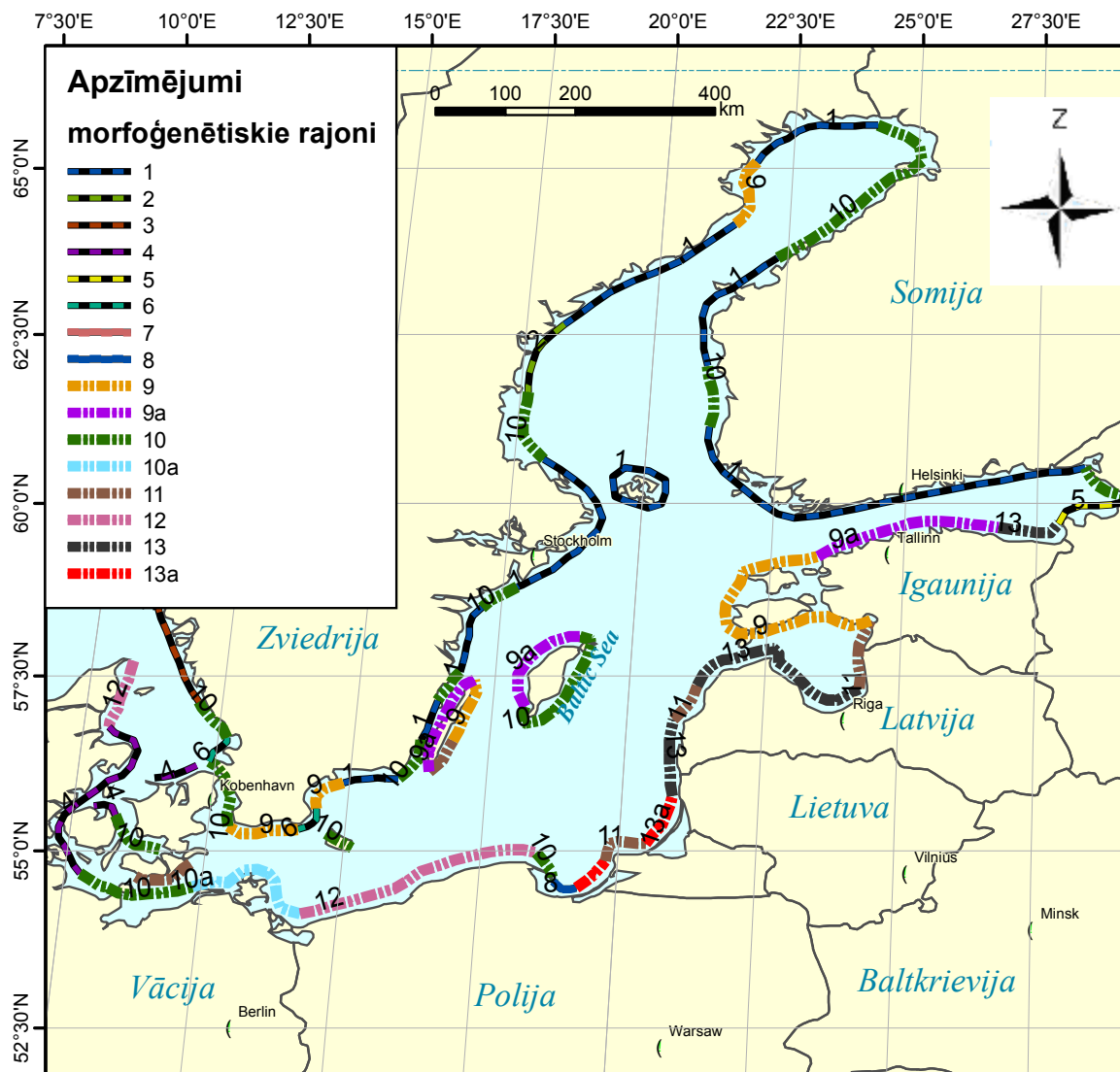
Ikviens mēģinājums klasificēt vai sistematizēt kādu dabas objektu vai parādību kopumu tiek pamatots ar nepieciešamību panākt labāku to izpratni un iespēju ērtāk rīkoties, izmantojot noteiktus un vispārinātus lielumus (Zenkowitch, 1962). Jūras krastu gadījumā klasifikācija ļauj izprast faktorus, kuri kontrolē krastu morfoloģiju. Krasta zonas morfoloģija atspoguļo tektoniskās „bāzes” ietekmi, kas kombinējas ar reģionālu un lokālu procesu ietekmi (Galon, 1960; Zenkowitch, 1962; Bird, 1984; Swift, Thorne, 1991; Boyd et al., 1992; Finkl, 2004).

Krastu veidošanā zināma loma ir ļoti lielam dažādu faktoru skaitam. Dažādu valstu pētnieki, izmantojot katram laikam un valstij atbilstošu metodisko pieeju, parasti savā darbības laukā ietverot ierobežotu skaitu dažādu vietu un savos pētījumos akcentējot ierobežotu mērķu daudzumu, ir izveidojuši ļoti plašu jūras krastu klasifikāciju spektru. Tomēr jau kopš 19. gadsimta beigām, dažādi modificējot un pielāgojot konkrētām prasībām, plašāk tiek lietotas divas pamatmetodes: ģenētiskā un aprakstošā (Zenkowitch, 1962, Davies, 1984; Rijn, 1998).

Ir pazīstamas shēmas, kuru pamatā ir krastu attīstības vēsture, kā arī aprakstošas shēmas, kas balstās uz galveno krasta joslā sastopamo sanešu parametriem vai iežiem. Plaši pazīstamas ir uzbūvi aprakstošās metodes, kuras iedala krastus pēc jaunākajām tektoniskajām kustībām, sanešu bilances, reljefa formu veidojošajiem ģeoloģiskajiem aģentiem u.c. Aprakstošo metožu lietošanu apgrūtina universālas sistēmatikas trūkums (Rijn, 1998). V. Zenkovičs uzskata, ka krastu tipu klasifikācija par zinātniski pamatotu ir nosaucama vienīgi tad, ja tā ir ģenētiska – procesu, faktoru un mijiedarbību sakarības aptveroša un pēc iespējas detāli mūsdienu dinamiku atainojoša (Zenkowitch, 1967). V. Zenkoviča piedāvātās shēmas pamatā ir ģeotektoniskais princips. Tas nosaka krasta vertikālo kustību mērogus, kvartāra vēstures galvenās īpašības un terīgēnā materiāla pieplūdes intensitāti (Zenkowitch, 1946; Zenkowitch, 1967). Uz mūsdienu procesiem, kas nosaka krasta izskatu un tā piederību kādam tipam, balstās „dinamiskā teorija” (Yonin et al., 1959). H. Valentains piedāvā krastu klasifikācijā balstīties uz dabā fiksējamām krastu īpašībām, instrumentāli uzmērītām to parametru izmaiņām un citiem vienkārši fiksējamiem lielumiem (Valentin, 1952). Šī metode ir ļoti ērta, ļauj iedalīt krastus, piemēram, tādos, kas uzvīzās (*advancing coast*) un, kas atkāpjas (*retreating coast*), bet, kā norāda V. Zenkovičs, tam nav vēsturiska pamatojuma un šis iedalījums neizskaidro krasta „uzvedības” iemeslus (Zenkowitch, 1967). Autora iegūtie rezultāti liecina, ka ikvienā aprakstošajā klasifikācijas shēmā par atskaites punktu, orientieri vai galveno parametru tiek izmantotas krasta īpašības, kuras iespējams novērtēt kā akumulatīvas vai tieši pretēji – erozīvas, tātad, būtībā ar to tiek klasificētas krastu īpašības nevis paši krasti.

Latvijā ir pieņemts lietot Padomju Savienības vadošo pētnieku izstrādātās vai vietējiem apstākļiem pielāgotās morfoģenētiskās krastu klasifikācijas shēmas. Morfoģenētisko sistēmu, balstoties uz D. Džonsona idejām, 1959. gadā izstrādāja A. Joņins, P. Kapļins un V. Medvedjevs (Johnson, 1919; Yonin et al., 1959). Baltijas jūras apstākļiem šī sistēma aprobēta lietuviešu ģeologa V. Gudēļa 1967. gada publikācijā. Saskaņā ar V. Gudeli, krasti Baltijas jūras Kurzemes piekrastē ir visai vienveidīgi (4.1. attēls). Tie pieder pie jūras abrāzijas vai jūras akumulācijas izlīdzinātajiem krastiem (Gudelis, 1967). Metodes lietošanas ērtuma labad krasta tipu un apakštipu skaits tajā ir

ierobežots. Augstāka detalizācijas pakāpe nebūtu lietderīga, jo klasifikācija tika izstrādāta visai Baltijas jūrai, kurai ir raksturīgas sevišķi lielas gultnes un krastu ģeoloģiskās uzbūves atšķirības dažādās tās daļās.



4.1. att. Jūras krastu morfoģenētisko pamattipu sadalījums mūsdienu Baltijas jūrā (Gudelis, 1967, autora vizualizācija)

Fig. 4.1. Morphogenetic coast types in Baltic Sea (after Gudelis, 1967, visualization by author)

1 – šēru krasti; 2 – fjordu krasti; 3 – fjordu-šēru krasti; 4 – fiardu krasti; 5 – sākotnēji līcinie krasti; 6 – nomatu krasti; 7 – deltu krasti; 8 – jūras un aluviālās akumulācijas krasti; 9 – abrāzijas līcinie krasti; 9a – glinta krastu apakštīps; 10 – abrāzijas-akumulācijas līcinie krasti; 10a – bodenu krastu apakštīps; 11 – abrāzijas izlīdzinātie krasti; 12 – abrāzijas-akumulācijas izlīdzinātie krasti; 13 – akumulācijas izlīdzinātie krasti; 13a – lagūnu krastu apakštīps.

#### 4.1.2. Jūras krastu klasifikācijas kritēriji

Krasta attīstību Baltijas jūras dienvidaustrumu daļā nosaka sekojoši svarīgākie apstākļi un pazīmes (Ulsts, 1998; Eberhards, Lapinskis, 2008; Lapinskis, 2009a):

- jūras viļņu loma krasta attīstībā ir dominējoša,
- valdošais vēja virziens ir DR,
- vētru laikā vēja virziens parasti mainās secīgi no DR uz ZR rumbiem,
- neotektonisko zemes garozas kustību ātrums ir zem 2 mm/gadā un to ietekmes nozīmīgums uz mūsdienu krasta attīstību pagaidām nav viennozīmīgi pierādāms,
- krasta nogāzē dominē nesaistīti vai vāji saistīti smalkgraudainie terīgēnie nogulumu,
- krasta attīstības gaitā Pēclitorīnas posmā ir notikusi erozijas-akumulācijas izlīdzināšanās,
- antropogēno faktoru (galvenokārt lielo ostu hidrotehniskās būves) ietekmē ir notikusi sākotnēji vienotu litomorfodinamisku krasta sistēmu fragmentācija.

Apkopojot augstāk uzskaitīto var pieņemt, ka Baltijas jūras krasts Kurzemes piekrastē pieder pie viļņu un viļņu inducētu straumju dominēto jeb tallasogēno krastu grupas. Atbilstoši plašāk lietotajām aprakstošajām vispārīgas krastu klasifikācijas shēmām, Latvijai raksturīgi tikai tā sauktie smilšu krasti (sand coasts), kuru aktīvajā joslā veidojas sanešu lēca no smilts-grants frakcijām, turklāt šie saneši tiek intensīvi un nepārtraukti pārkārtoti. Piederību kādam konkrētam tallasogēno krastu apakštipam nosaka četri galvenie faktori (Davies, 1984; Swift, Thorne, 1991; Fairbridge, 2004; Finkl, 2004):

- krasta zemūdens nogāzes slīpums;
- vietas hidrometeoroloģiskie parametri;
- sanešu bilanci veidojošie apstākļi;
- ilglaicīgās ūdenslīmeņa izmaiņas.

### **Krasta zemūdens nogāzes slīpums**

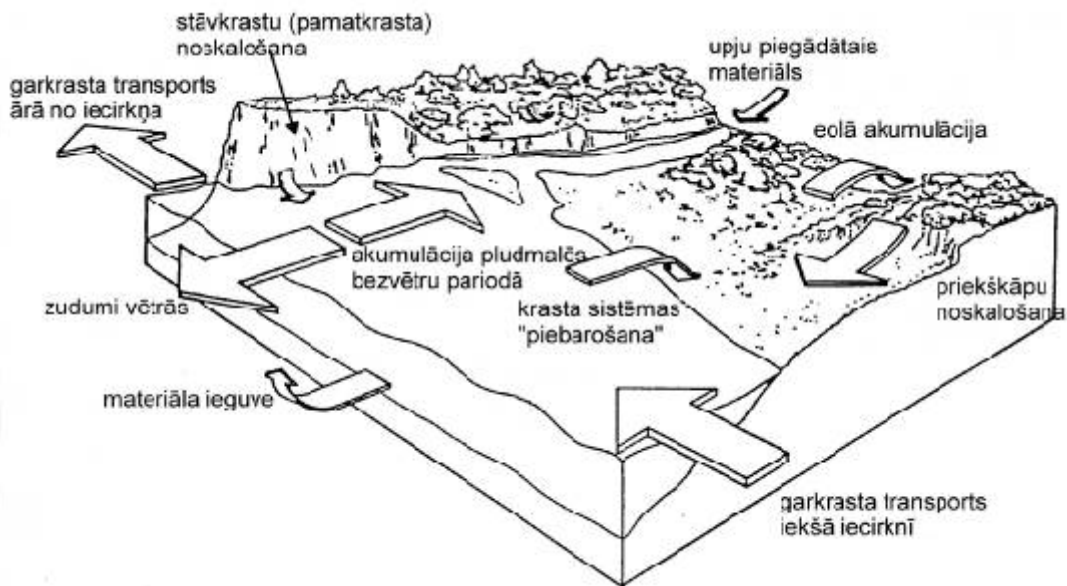
Zemūdens nogāzes slīpums ir ģeoloģiski noteikts parametrs un vislielākajā mērā ietekmē krasta sistēmu ūdenslīmeņa svārstību apstākļos. Nogāzes slīpums nosaka to, cik lielā mērā un kādā attālumā no krasta līnijas viļņu enerģija tiks tērēta reāla ģeoloģiskā darba veikšanai (Galon, 1960, Wright, 1976; Pilkey, 1993; Roy et al., 1994).

### **Vietas hidrometeoroloģiskie parametri**

Hidrometeoroloģisko apstākļu mainība krastu evolūciju padara nelineāru, jo morfodinamiskie procesi lielā mērā ir impulsu virzīti un šie impulsi ir ekstremālas laikapstākļu parādības (Wright, 1987; Bird, 1987; Thom, Hall, 1991; Sexton, 1995 Morton, Sallenger, 2003). Arī ledus parādības krastu zonā ļoti lielā mērā maina ģeiformējošo aģentu ietekmi (Boldyrev, 1981; Leont'ew, 2001).

### **Sanešu bilanci veidojošie apstākļi**

Lai arī līdzsvara stāvokļa sasniegšana kādā krasta šķērsriezuma profilā ir apšaubāma, tomēr nevar noliegt, ka krasta sistēma savā attīstībā uz šādu līdzsvaru tiecas (Kaplyn et al., 1991, 1992; Thom and Hall, 1991; Woodroffe, 2002; ). Krasta nogāzes profila pārveidošanās ar formējošo aģentu starpniecību erozijas/akumulācijas ceļā notiek atbilstoši sākotnējās nogāzes īpatnībām. Tas, no kurienes materiāls tiek iegūts (krasta noskalošana, zemūdens nogāzes vertikālā erozija, upju cietā notece, garkrasta sanešu plūsma) un kur tas tiek izvietots (akumulatīva zemūdens reljefa forma, pludmale, eolais reljefs) izsaka to, kādam dinamiskās attīstības tipam katrs iecirknis piederēs šķērseniskā „līdzsvara profila” izstrādes un krasta kontūras evolūcijas gaitā (4.2.attēls) (Hjulström, 1939; Blaihashin, 1973; Deen, 1977, 1983; Boyd et al., 1992; Bruun, 1995).

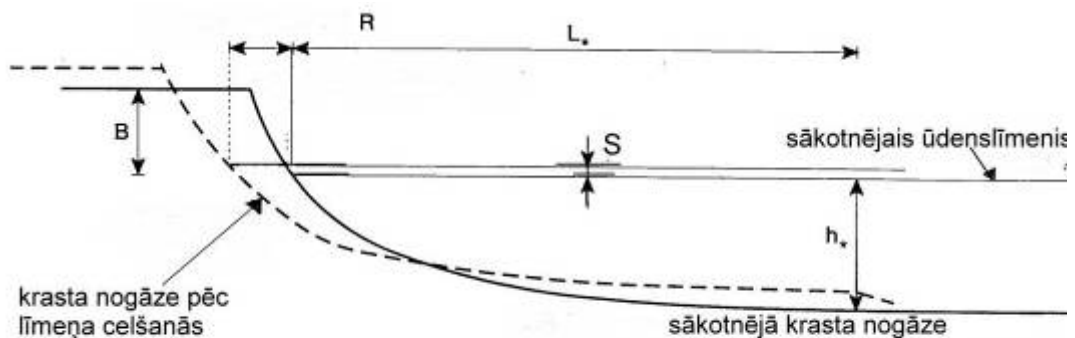


4.2. att. Sanešu materiāla apmaiņa krasta sistēmā (pēc Rijn, 1998 ar autora papildinājumiem)

Fig. 4.2. Sediment exchange in coastal system (after Rijn, 1998 modified by author)

### Ilglaicīgās ūdenslīmeņa izmaiņas

Ūdenslīmeņa izmaiņu temps un amplitūda nosaka to, kādā krasta nogāzes daļā hidrodinamiskā ietekme uz to būs vislielākā, cik ilga tā būs un kā notiks pieejamā sanešu materiāla pārkārtošanās atbilstoši jaunajiem apstākļiem (Bruun, 1988; Kaplyn et al., 1992; Medvedev, 1992; Hanson, Lindh, 1993; Selyvanov, 1996; Finkl, 2004). Mijiedarbojoties ar pārējiem faktoriem, ūdenslīmeņa svārstības var nodrošināt krasta reljefa attīstību pēc visai atšķirīgiem scenārijiem, piemēram: transgresīvā erozija vai regresīvā erozija u.t.t. Sekojot klasiskajai Brunna formulai (Bruun, 1988), ūdenslīmeņa celšanās viennozīmīgi noved pie krasta reljefa pārkārtošanās iekšzemes virzienā kompensējošās erozijas ceļā (4.3. attēls).



4.3. att. Shematiskas jūras krasta nogāzes izmaiņas, sanešu materiālam un reljefa formām pārkārtojoties ūdenslīmeņa paaugstināšanās rezultātā (pēc Bruun, 1962 ar autora papildinājumiem)

Fig. 4.3. Coastal retreat as a response to increasing water level (after Bruun, 1962 modified by author)

Apkopojot augstāk minēto, var secināt, ka atbilstoši plašāk pazīstamajām un universālajām klasifikācijas shēmām, Baltijas jūras krasti Kurzemē pieder pie terīgēnos iežos veidotiem, smilšainiem, abrāzijas-akumulācijas izlīdzinātiem, transgresīvi neitrāliem un viļņošanās dominētiem krastiem.

#### 4.2. Baltijas jūras krastu klasifikācijas un rajonēšanas piemēri Latvijā

1982. gadā, veicot kompleksu Kurzemes rietumu krastu izpēti E. Bulgakovas vadībā tika izstrādāta klasifikācijas shēma, kurā, pamatojoties uz morfoloģiskajām un litoloģiskajām atšķirībām, kā arī mūsdienu procesu īpatnībām, tika izšķirti (Bulgakova, 1982):

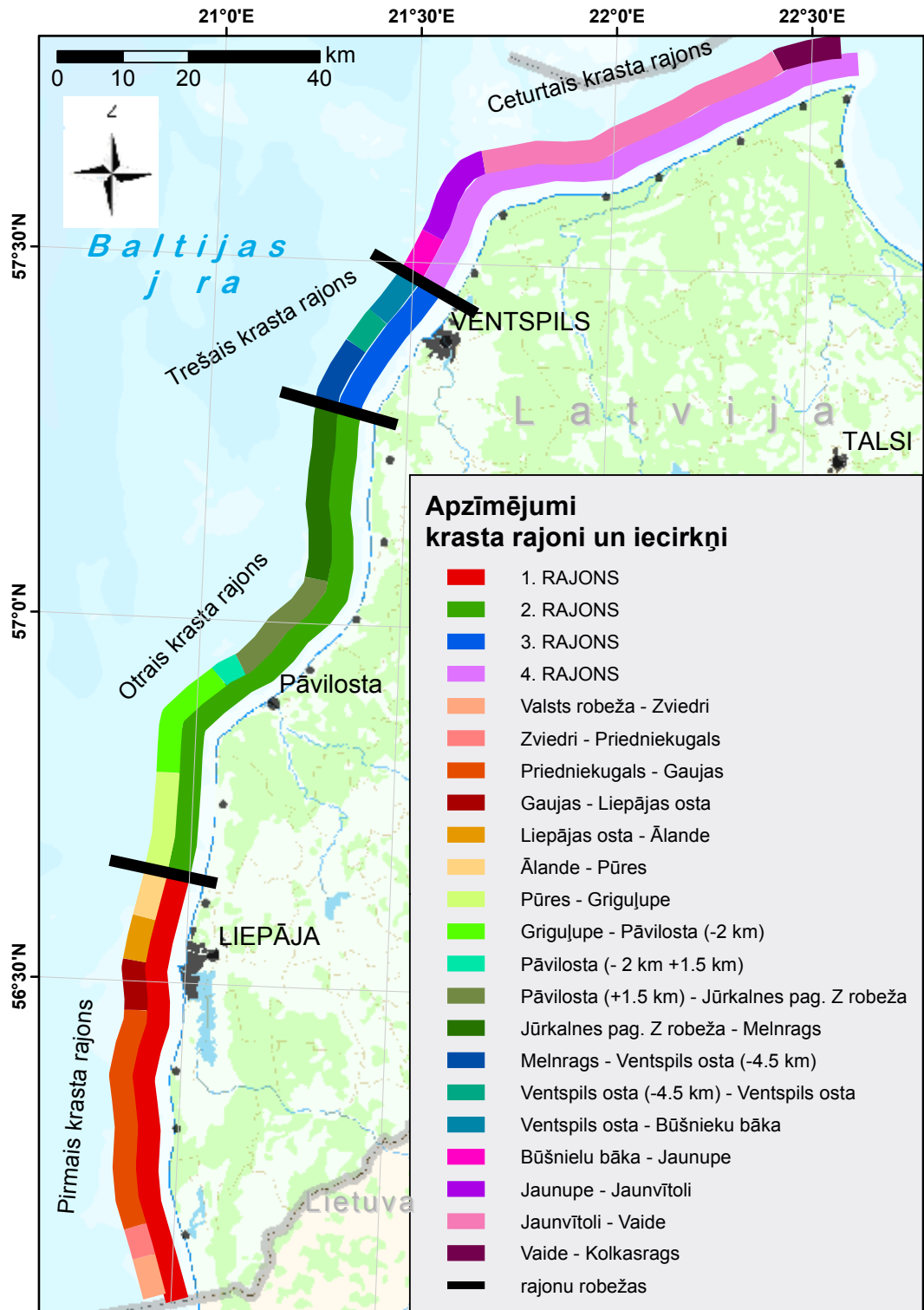
- 1) akumulatīvie smilšainie krasti;
- 2) akumulatīvie smilšaini-olšainie krasti;
- 3) dinamiskā līdzsvara krasti;
  - a) dinamiskā līdzsvara krasti ar lēzenu pludmali un vājas eolās akumulācijas reljefu pie senās kāpu grēdas vai atmiruša stāvkrasta;
  - b) dinamiskā līdzsvara krasti ar periodiski paskalojamu priekškāpu;
  - c) dinamiskā līdzsvara krasti ar izsekojamu 1967. gada vētras kāpli, bet kuros erozija šobrīd nav vērojama;
- 4) zemie (<5 m) abrāzijas krasti;
- 5) augstie (5-15 m) abrāzijas krasti.

E. Bulgakovas pētījumā tika veikta arī krasta rajonēšana, nodalot četras pirmās pakāpes krasta apakšsistēmas ar robežām Liepājā, Pāvilstā un Ventspilī. Nav norādīts šo apakšsistēmu noteikšanas pamatojums, bet krasta dinamisko tipu mija tiek skaidrota ar Austrumbaltijas sanešu plūsmas piesātinājuma pakāpes svārstībām saistībā ar krasta līnijas orientācijas izmaiņām un ostu hidrotehnisko būvju radītajiem šķēršļiem. Katra apakšsistēma sīkāk tiek iedalīta iecirkņos, norādot, kādi dinamiskie apstākļi tajā dominē. Iecirkņu robežas netiek precizētas un klasifikācijas kritēriji tiek pieminēti ļoti virspusēji.

V. Ulsta monogrāfijā „Baltijas jūras Latvijas krasta zona” (1998) publicētajā klasifikācijas un rajonēšanas shēmā (4.4. attēls) par kritērijiem tipu noteikšanā ir izmantots gan krastu vēsturiskās pārmantojamības princips, gan krastu ģeoloģiskā uzbūve, gan iežu vecums, gan mūsdienu procesu īpatnības. V. Ulsta piedāvātie krastu tipi ir šādi:

- 1) abrāzijas krasti (krauja vai kāple glaciģēnos vai starpleduslaikmetu baseinu nogulumos vai pamatiežos):
  - a) aktīvie;
  - b) apimstošie;
  - c) apimušie;
- 2) izskalošanas krasti (kāple Litorīnas laika jūras krasta zonas veidojumos vai mūsdienu eolos nogulumos):
  - a) aktīvie;
  - b) apimstošie;
  - c) apimušie;
- 3) Dinamiskā līdzsvara krasti (raksturīga pretēja virziena procesu mija, virspludmales reljefā – terase):
- 4) Akumulatīvie krasti:
  - a) aktīvie;
  - b) apimušie.





4.4 .att. Jūras krasta tipi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (pēc Ulsts, 1998 autora vizualizācija)

Fig. 4.4. Zoning of the coast in study area after Ulsts (1998) (visualization by author)  
 Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)  
 Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)

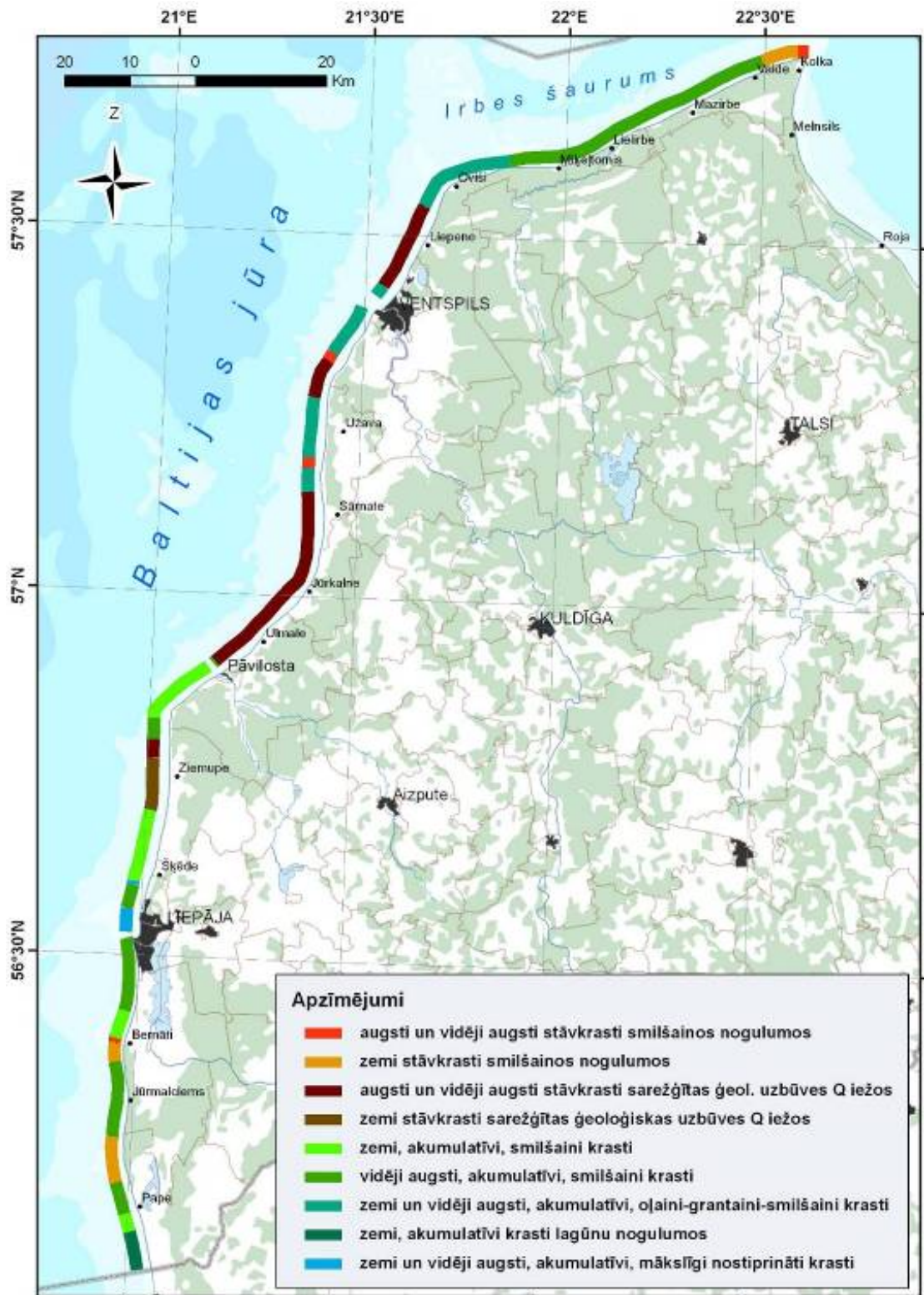
Šāda klasifikācijas shēma ir samērā vienkārša un tajā pašā laikā ietver visus krastu tipus, kādi Latvijā varētu būt, tomēr tai piemīt vairāki būtiski trūkumi, kas neizbēgami rodas, shematizējot komplicētu dabas procesu kopumu un mēģinot apvienot morfodinamiskos un morfoģenētiskos klasifikācijas principus:

- atsevišķi tiek izdalīts izskalošanas krastu tips, kaut gan izskalošanas krasti ir morfodinamiski identiski „parastajiem” abrāzijas krastiem – tajos pastāv ilgstošs sanešu materiāla deficīts, respektīvi, krasta konfigurācija konkrētajā vietā nav piemērota mūsdienu apstākļiem;
- atsevišķi tiek izdalīts dinamiskā līdzsvara krastu tips, kaut gan uz ģenētiskiem kritērijiem balstītā shēmā tāds tips nav iespējams (dinamiskais līdzsvars atšķirībā no abrāzijas vai akumulācijas ir stāvoklis, nevis process vai ģenētiskā piederība).

V. Ulsta (1998) Baltijas jūras Kurzemes krasta rajonēšanas shēma balstās tikai uz krastu vēsturiskās pārmantojamības principa un tāpēc krasta rajonu robežas vilktas vietās, kur mūsdienu krasta zonā atrodas Litorīnas laika krasta veidojumu robežas. Zemākās pakāpes krasta iecirkņu robežu noteikšanas principi netiek skaidri pamatoti un to nošķiršanai vienlaicīgi tiek izmantoti gan morfoģenētiskie, gan arī litomorfodinamiskie kritēriji.

Kā alternatīvu V. Ulsta shēmai G. Eberhards savā monogrāfijā „Latvijas jūras krasti” (2003) piedāvā klasifikācijas shēmu, kura balstās uz atšķirībām krasta ģeoloģiskajā uzbūvē, sanešu materiāla sastāvā, krasta izskatā un augstumā un mūsdienu krastu procesu raksturā un intensitātē pēdējo 10-30 gadu laikā, izdalot sekojošus tipus (4.5. attēls) (Eberhards, 2003):

- 1) augstie un vidēji augstie (6-20 m) jūras erozijas stāvkrasti:
  - a) klinšu krasti:
    - i) klinšu (pamatiežu) stāvkrasti;
    - ii) nogulumiežu pārklātie klinšu krasti;
  - b) kvartāriežu stāvkrasti:
    - i) vienkāršas uzbūves stāvkrasti;
    - ii) augstie un vidēji augstie smilšu stāvkrasti;
    - iii) grants-oļu stāvkrasti;
    - iv) sarežģītas uzbūves stāvkrasti;
    - v) augstie un vidēji augstie (15-20 m) dažādas ģenēzes un vecuma kvartāra iežos veidotie stāvkrasti;
    - vi) apaugušie „senkrasti” (aprimuši vismaz 80-100 gadus);
- 2) zemie un vidēji augstie pieauguma krasti:
  - a) smilšainie krasti;
  - b) grants un oļu krasti;
  - c) pļavu krasti;
  - d) seno lagūnu nogulumos veidoti krasti;
- 3) zemie un vidēji augstie nostiprinātie krasti.



4.5. att. Jūras krasta tipi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (pēc Eberhards, 2003; autora vizualizācija)

Fig. 4.5. Types of coast in study area by Eberhards (2003); visualization by author  
 Kartogrāfiskais pamats: datu bāze „ĢIS Latvija” (SIA Envirotech)  
 Cartographical base: „ĢIS Latvija” (Envirotech)

Piedāvātajai shēmai ir raksturīga augsta detalizācijas pakāpe. Jāatzīmē, ka pēc šādiem un līdzīgiem principiem sastādītas shēmas daudzviet pasaulē tiek pieņemtas lietošanā krastu apsaimniekotāju un „krastu inženieru” vidē. Tomēr, dotā pētījuma rezultāti liecina, ka arī šāda pieeja nav pilnīga un atstāj vietu pārpratumiem, jo zemas hierarhiskās pakāpes krasta iecirkņu raksturošanā apvieno gan morfoģenētisko principu (tas šajā shēmā dominē), gan morfodinamisko.

Detalizētie un sistemātiskie pēdējos gadu desmitos veiktie pētījumi jūras krasta zonas subaerālā daļā Latvijā (Eberhards, Saltupe, 1995; Eberhards, 2003; Eberhards et al., 2005; 2009; Torklere, 2008; Lapinskis, 2005, 2009; u.c.) ievērojami paplašina iespējas pārskatīt agrāko pieeju un izveidot kvalitatīvi jaunu krasta klasifikācijas shēmu. Minētās publikācijas, kā arī autora veiktie pētījumi norāda, ka, neskatoties uz Latvijas krastu relatīvo morfoģenētisko viendabību, zemas hierarhiskās pakāpes krasta vienību klasifikācijai būtu iespējams izmantot krasta nogāzes elementu morfometriskās pazīmes.

Krasta zonas morfoloģija un tās evolūcija atspoguļo globālās „bāzes” ietekmi (Bird, 1984; Woodroffe, 2002; Finkl, 2004), kas mijiedarbojas ar reģionālu un lokālu procesu un faktoru ietekmi. Jūras krasti Baltijas jūras dienvidaustrumu daļā pieder pie viļņu un viļņu inducētu straumju dominēto jeb tallasogēno krastu grupas (Gudelis, 1967). Atbilstoši plašāk lietotajām aprakstošajām vispārīgas krastu klasifikācijas shēmām (Rijn, 1998), Latvijai raksturīgi tikai tallasogēnie smilšu krasti (sand coasts), kuru aktīvajā joslā veidojas sanešu lēca no smilts un grants frakcijām, turklāt šie saneši tiek intensīvi pārvietoti gan krastam paralēlā, gan šķērseniskā griezumā.

Autors uzskata, ka dotajā pētījumā iekļautajā Baltijas jūras krasta daļā dominē vienoti attīstību limitējoši un virzoši faktori, un to izpausmes krasta formu morfometrijā un nogulu īpašībās ir izmantojamas kā reprezentatīvs indikators litomorfodinamiski viendabīgu zemas hierarhiskās pakāpes iecirkņu identifikācijā.

#### **4.3. Litomorfodinamiski viendabīgu krasta iecirkņu un to robežu koncepcija**

Viens no būtiskākajiem jautājumiem krasta procesu pētījumos ir uz tiem attiecināmo telpisko un procesu robežu definēšana un identifikācija dabā, sasaistot tās ar tām atbilstošo laika intervālu (Carter, Woodroffe, 1994).

Krasta sistēmu veido savstarpēji saistītu un pat savstarpēji atkarīgu vienību – dažāda līmeņa „litorālo šūnu” kombinācijas (Carter, Orford, 1993; Bray et al., 1995; Haslett, 2000). Autors uzskata, ka „primārās” jeb makro mēroga šūnas var raksturot kā litomorfodinamiski relatīvi pašpietiekamas sistēmas, kuru robežās notiek sanešu materiāla pārvietošana un cirkulācija. Turklāt, starp šīm „šūnām” pastāvošo mijiedarbības procesu mērogi ir ļoti atšķirīgi gan laikā, gan telpā (4.1. tabula). Tā kā krasta sistēmā notiek nepārtraukta virzība uz tādu stāvokli, kurā tā kļūtu pašpietiekama, atsevišķu tās elementu eksistence un attīstība ir tam pakārtota, respektīvi, pārejoša (Woodroffe, 2002). Tomēr ikvienā konkrētā laika vienībā var izšķirt stāvokļus, kuros iespējams definēt un noteikt starp elementiem un procesiem pastāvošās robežas (Peterson et al., 1990; Bray et al., 1995; Schwarzer et al., 2003). Tā piemēram, krasta zemūdens nogāzē var izšķirt smilšu akumulācijas vālus un starpvālu ieplakas, noteikt zemūdens smilšu vāla virsotni – robežu, kas nodala tā frontālo daļu no distālās. Tāpat ir iespējams reģionāla mēroga krasta sistēmu iedalīt vairāku līmeņu mazāka mēroga apakšvienībās, kurās, piemēram, dominē sanešu akumulācija vai erozija. Dotajā pētījumā iegūtā informācija par morfodinamisko iecirkņu telpisko izvietojumu un attīstību ļauj novērtēt tās ietekmes, kas saistītas ar antropogēnas izcelsmes traucējumiem – tādiem kā krasta aizsardzības pasākumi un ostas, kā arī tās ietekmes, kas saistītas ar mainīgiem sistēmu ietekmējošiem ārējiem faktoriem, piemēram,

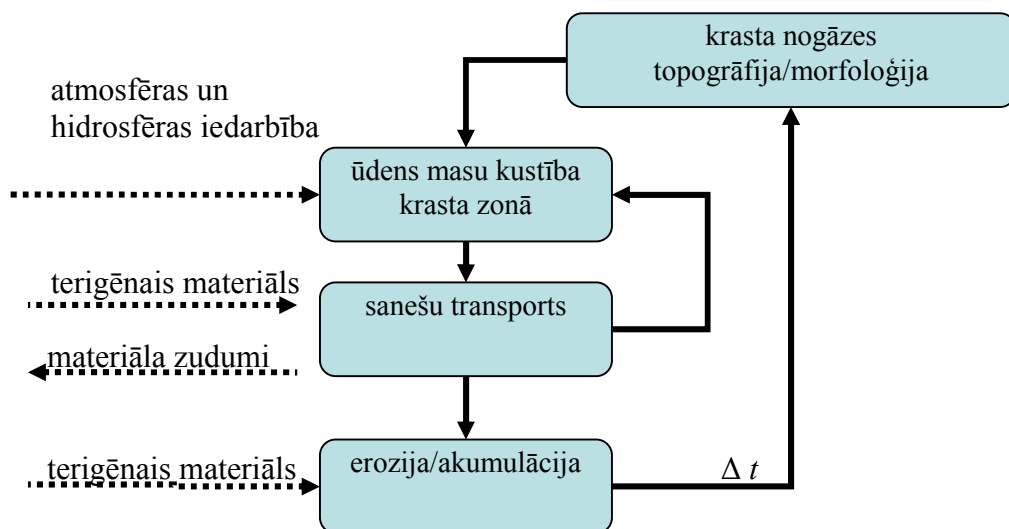
reģionālām un globālām klimata izmaiņām un ko apstiprina arī citu autoru publicēti pētījumu rezultāti (Peterson et al., 1990; Motyka, Brampton, 1993; Morton et al., 2001).

### Krasta līnijai subparalēlo elementu telpiskās robežas

Krasta iecirkņu (šūnu) koncepcija līdz ar to noteikšanai nepieciešamo metodisko bāzi visai plaši tiek apskatīta jau aptuveni 30 gadus (Carter, 1988; Bray et al, 1995). Tā jau kopš jūras krasta pētījumu pirmsākumiem pētījumu objekta un tā atsevišķu elementu (krasta joslu) telpisko robežu un izplatības definēšana ir bijusi neviennozīmīga. Tas, galvenokārt, ir skaidrojams ar lielo dabas apstākļu daudzveidību Pasaules okeānu un jūru krastos, kā arī atšķirībām dažādu pētījumu mērķu uzstādījumos (Inman, Brush, 1973) (promocijas darba nodaļa 1.3.1.). Pateicoties minētajai neviennozīmībai, kritēriji, uz kuriem balstās krasta līnijai subparalēlo elementu telpisko robežu noteikšana, būtiski atšķiras (Rijn, 1998; Eberhards, 2003; Woodrofe, 2002; u.c.). Tomēr, neatkarīgi no katras konkrētas krasta joslas telpiskās robežas noteikšanas kritērijiem, pati šādu robežu eksistences koncepcija un piekrastes dalījums būtiskākajos krasta morfoloģiskajos elementos jau ir uzskatāms par vispārpieņemtu (Woodrofe, 2004). Kā raksturīgākos šādu robežu piemērus var minēt gan piekrastes izplatības robežas jūras un krasta virzienā, gan krasta līniju, gan pludmales un eolā reljefa robežu. Ņemot vērā krasta zonas kā īpašas vides specifiku, šīs robežas, galvenokārt, ir izvietotas krasta līnijai subparalēli, nošķirot joslas, kas savstarpēji atšķiras gan pēc morfoloģijas, gan tajās notiekošajiem procesiem. Minētās robežas ir dinamiskas, tāpēc attiecībā pret sanešu materiāla pārvietošanu un atbilstošu reljefa formu pārveidošanos un jaunveidošanos, šādas robežas precīzāk būtu dēvēt par barjerām, kas nosacīti savstarpēji norobežo dominējošos procesus un to veidotās reljefa formas vai to kopumus. Tās ir procesu robežas un būtisks to novērtēšanas elements ir laiks.

### Krasta sistēmā funkcionējošo procesu robežas

Neatkarīgi no krasta zonā pastāvošām strikti ģeogrāfiski nosakāmām telpiskām robežām, ir iespējams izšķirt arī tā saucamās „procesu robežas”. Krasta sistēmā notiekošie procesi ir uzskatāmi par mijiedarbību starp ārējiem, sistēmu ietekmējošiem vides faktoriem un pašu sistēmu (4.6. attēls) (Wright, Thom, 1977).



4.6. att. Krasta sistēmas morfodinamiskā modeļa struktūra un darbība

Fig. 4.6. Structure and function of the morphodynamic model for the coastal system  
 Punktētās bultas – ārējo vides faktoru ietekme, nepunktētās bultas – krasta sistēmas iekšienē notiekošās mijiedarbības,  $\Delta t$  – laiks

The dashed arrows represent interaction between the coastal system and the environment, the solid arrows represent inside response of the system,  $\Delta t$ - time

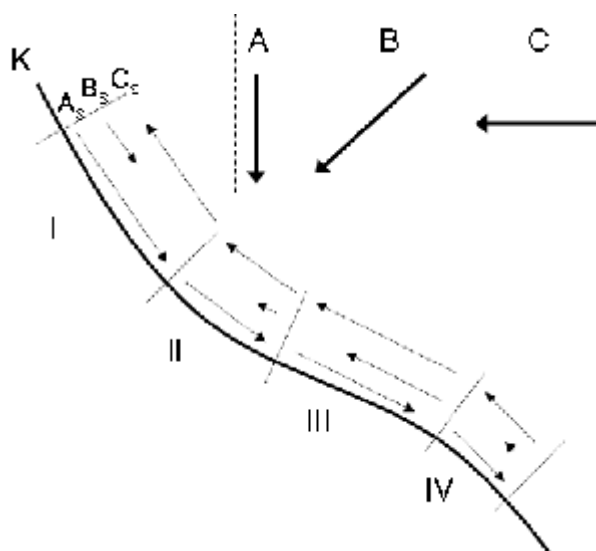
Visu krasta sistēmā funkcionējošo tai nozīmīgo procesu norise ir nepārtraukta un tieši vai pastarpināti savstarpēji saistīta, tāpēc robežas starp tiem ir nosakāmas vien teorētiski (Wright, Thom, 1977; Carter, Woodroffe, 1994; Rijn, 1998: u.c) un ārējo vides faktoru ietekmē notiek plašu atšķirīgu krasta tipu attīstība (Davies, 1984). Esošā pētījuma kontekstā ar ārējiem vides faktoriem tiek saprasti gan sistēmas evolūciju limitējošie, gan virzošie faktori (promocijas darba nodaļa 1.3.1.). Tā piemēram, ģeoloģiskie faktori (Zemes garozas vertikālās kustības, sākotnējā krasta ģeoloģiskā uzbūve u.c.) nosaka tādas krasta fizikālos parametrus, kā nogāzes krituma leņķi, krasta reljefa elementu noturību pret viļņu iedarbību un krasta sistēmā esošo sanešu īpašības. Faktori, kas ir saistīti ar atmosfēras un hidrosfēras mijiedarbību, izraisa krasta nogāzes topogrāfijas un morfoloģijas izmaiņas, nodrošinot ar enerģiju procesu ciklu erozija-transporta-akumulācija. Pateicoties globālā un reģionālā klimata mainībai un ar to saistītu īpaši retu, bet katastrofisku dabas parādību iespējamībai, attīstības nenoteiktība skar arī krasta morfodinamiku un padara krasta evolūciju stohastisku (Wright, Short, 1984; Hardisty, 1990; Swift et al., 1991; Hall et al., 2002).

### **Litomorfordinamiski vienotu krasta posmu robežas (garkrasta sanešu transporta robežas)**

Litomorfordinamiski vienotas krasta sistēmas robežas faktiski ir izmaiņas ārējās ietekmes faktoros, kas, savukārt, izmaina sanešu transporta intensitāti vai virzienu. Tā piemēram, šajā nozīmē abas lielās Kurzemes ostas, kas pilnībā pārtrauc garkrasta sanešu apmaiņu, iedala Baltijas jūras krastu Kurzemē trīs savstarpēji litomorfordinamiski nošķirtos krasta posmos (rajonos). Respektīvi, šī robeža ir fizikāls šķērslis (barjera) ar konkrētu ietekmi un novietojumu krasta sistēmā, kas novietota subperpendikulāri krasta līnijai, šķērso visus aktīvās krasta nogāzes elementus vai to lielāko daļu un turpina eksistēt vairāk kā 20 gadus (Bray, 1997).

### **Litomorfordinamiski viendabīgu krasta apakšposmu robežas**

Pretēji iepriekš aprakstītajām attiecībā uz garkrasta sanešu kustību absolūtajām robežām, robežas starp zemas hierarhiskās pakāpes (Lapinskis, 2009) savstarpēji saistītiem krasta iecirkņiem ir īslaicīgas (pārejošas) – evolucionējot krasta sistēmai, tās relatīvi strauji migrē, izveidojas un izzūd, turklāt, tās gandrīz nekad nav fizikāli objekti. Tās šķir zemāko līmeņu vienības jeb savstarpēji saistītos un atkarīgos sistēmas elementus, piemēram, viena litomorfordinamiskā rajona ietvaros esošus iecirkņus, kuros dominē sanešu akumulācija vai erozija (Bray, 1992, 1997; Motyka, Brampton, 1993). Minēto zemas pakāpes robežu ietekme uz garkrasta sanešu pārvietošanos vairumā gadījumu ir samērā vāji izteikta (Carter, 1988; Bray et al, 1995), tāpēc tās ir definējamas kā krasta sistēmas evolūcijas produkts, kurš saskaņā ar litomorfordinamiskās nepārtrauktības koncepciju (Carter, Woodroffe, 1994) eksistē vienā laika un telpas mērogā ar tādām krasta sistēmā pastāvošām robežām kā ūdenslīnija, pludmales un priekškāpas robeža, uc., taču, atšķirībā no tām, ir vērsta krasta līnijai subperpendikulāri (4.7. attēls) (Mazzer et al., 2009).



4.7. attēls. Zemas hierarhiskās pakāpes krasta litomorfodinamisko iecirkņu robežas (autora shēma)

Fig. 4.7. Schematic representation of low hierarchic level coastal sections (cells) and their boundaries (scheme by author)

A, B un C rāmī – vēja virziena varianti; I – IV – krasta iecirkņi; K – krasta līnija (shematiski);  $A_s$ ,  $B_s$  un  $C_s$  – sanešu garkrasta kustības virziens un relatīvā intensitāte (bultas garums).

A, B and C in frame represents three different wind directions; I – IV represents coastal cells; K – represents coastline (schematic);  $A_s$ ,  $B_s$  and  $C_s$  – represents direction and relative intensity (arrow length) of a longshore sediment transport.

Krasta litomorfodinamisko iecirkņu robežu noteikšanai dabā tiek pielietotas divas atšķirīgas pētniecisko metožu grupas. Pirmā pieeja galvenokārt balstās uz matemātisko modelēšanu un telpisko analīzi, izmantojot datus par hidrometeoroloģisko režīmu un batimetriju (Souza, 2007; Mazzer et al., 2009). Šādā ceļā iegūto rezultātu izšķirtspēja ir tieši atkarīga no izejas datu izšķirtspējas, tāpēc atrodas diapazonā starp  $10^1$  un  $10^3$  m.

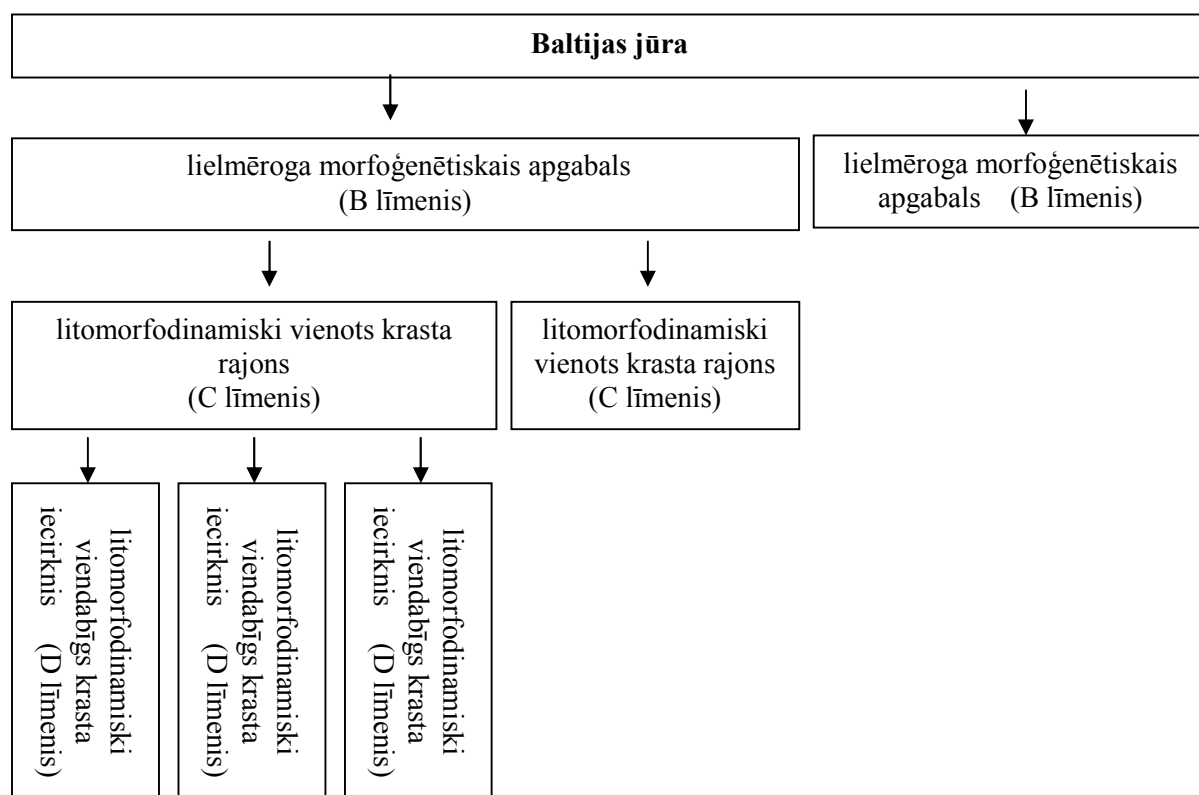
Savukārt otras pieejas pamatā ir datu analīze par krasta nogāzes ģeomorfoloģiskajiem parametriem un krasta sistēmā esošo sanešu granulometriskajiem parametriem (Souza, 2007). Kvalitatīvu datu iegūvi parasti apgrūtina pētāmajai sistēmai raksturīgā straujā mainība – daļa nosakāmo robežu ir efemēras un migrējošas.

Rezultātā, zemas hierarhiskās pakāpes krasta iecirkņu robežu noteikšana ir realizējama vien kādam konkrētam laika nogrieznim, kas Baltijas jūras Kurzemes piekrastes gadījumā, kur joprojām turpinās krasta līnijas izlīdzināšanās (Eberhards, 2003) un pastāv ievērojama antropogēnā slodze, sasniedz 1-10 gadus (Lapinskis, 2009). Dabā uz šo robežu atrašanās vietu norāda krasta morfoloģijas vai sanešu sastāva izmaiņas. Tā piemēram, izmaiņas sanešu bilances garkrasta sadalījumā ietekmē aktīvo eolās akumulācijas reljefu, pludmalē akumulēto sanešu apjomu, pludmali veidojošo sanešu sastāvu utt (Wright, Short, 1984; Ulsts, 1998; Woodroffe, 2002).

### Krasta sistēmas elementu hierarhija

Dažādu līmeņu krasta apakšsistēmu robežas var definēt arī kā izmaiņas sanešu transporta intensitātē un virzienā. Šīs robežas iespējams klasificēt atkarībā no to pastāvības laikā un telpā (Bray, 1997; Mazzer et al., 2009) (4.8. attēls, 4.1. tabula). Tā, par fiksētām robežām uzskatāmi dažādi dabiski un mākslīgi veidojumi – cietu iežu zemesragi vai lielas ostas, kuru izraisītā ietekme uz sanešu sadalījumu krasta sistēmā būtiski neizmainās 20 un vairāk gados. Mainīgās robežas ir īslaicīgas (pārejošas) – evolucionējot krasta sistēmai, tās

relatīvi strauji migrē, parādās un pazūd, tajās notiek jūtamas sanešu transporta intensitātes izmaiņas, taču tās ne vienmēr ir saistītas ar kādām krasta konstrukcijām vai krasta ģeoloģiskās uzbūves īpatnībām. Pēc sanešu caurlaidības spējas robežas var nošķirt absolūtās un daļējās. Sekojot šai klasifikācijai, fiksētās absolūtās robežas nodala augstākā līmeņa sistēmas (litomorfodinamiski vienotus rajonus), bet mainīgās daļējās robežas šķir zemāko līmeņu vienības jeb savstarpēji saistītos un atkarīgos sistēmas elementus, piemēram, viena litomorfodinamiskā rajona ietvaros esošus iecirkņus, kuros dominē sanešu akumulācija vai erozija (Bray, 1992, 1997; Motyka, Brampton, 1993).



4.8. att. Litomorfodinamiski viendabīgu krasta iecirkņu novietojums hierarhiskā stāvokļa struktūrshēmā (Lapinskis, 2009a)

Fig. 4.8. Position of litomorphodynamically homogenous coastal sections in hierarchic scheme (Lapinskis, 2009a)

Ļoti būtiska loma Kurzemes rietumu krasta sistēmā ir ostu hidrotehniskajām būvēm. Liepājā un Ventspilī kuģu ceļu dziļums ir attiecīgi 11 un 18 metri, bet kuģu ceļā nonākušais sanešu materiāls tiek pārvietots uz jūras izgāztuvēm, kuras atrodas dziļāk par krasta zonas ārējo robežu (Ulsts, 1998; Eberhards, 2003). Šajā nozīmē abas lielās ostas ir absolūtās fiksētās robežas. Tās faktiski iedala Baltijas jūras krastu Kurzēmē trīs C līmeņa daļās, kuras nosacīti varētu dēvēt par Dienvidu, Centra un Ziemeļu krasta rajoniem. Pāvilstā ostas ārējās hidrotehniskās būves arī izmaina sistēmai raksturīgo sanešu materiāla kustību gar krastu, tomēr, tā kā dziļums kuģu ceļā nepārsniedz 4,5 metrus, ievērojama daļa smalkāko sanešu vētru laikā spēj šo šķērslī pārvarēt, tātad ir uzskatāma par fiksēto daļēji caurlaidīgo robežu.

Dabā uz atsevišķu D līmeņa vienību robežām, jo īpaši tajos gadījumos, kad nepastāv fizikālas barjeras, norāda vājāk vai stiprāk izteiktas morfoloģiskas un nogulu sastāva pārejas (Bray et al., 1995; Woodroffe, 2002), jo šeit dažādos iecirkņos dominējošie



atšķirīgie morfodinamiskie procesi rada katram iecirknim raksturīgos krasta sistēmas elementus. Baltijas jūras Kurzemes krastā nav krāsas ģeoloģiskas daudzveidības, sanešu materiāla apmaiņa starp krasta nogāzes subaerālo un zemūdens daļu ir iespējama praktiski visā tā garumā, arī krasta līnija ir salīdzinoši taisna – tai nav izteiktu dabisku sanešu materiāla barjeru (Ulsts, 1998). Tāpēc pārejas starp morfodinamiskajiem iecirkņiem vairumā gadījumu nav nepārprotami konstatējamas tikai pēc kādas vienas krasta elementu morfoloģiskās vai nogulu sastāva pazīmes. G. Eberhards un B. Saltupe (Eberhards, Saltupe, 2002) norāda, ka krastu mūsdienu dinamiku var noteikt tikai pēc vairāku pazīmju kopuma: morfoloģijas, veģetācijas, priekškāpas un pludmales parametriem, ja dati par tiem savākti, veicot atkārtotu kartēšanu un stacionārus mērījumus (Eberhards, 2003, Eberhards et al., 2009).

Iepriekš minētais norāda, ka ņemot vērā krasta litomorfodinamiskajā sistēmā (C līmenī) pastāvošo nepārtrauktību, tam pakļauto iecirkņu (D līmeņa vienību) identifikācija ir veicama, izmantojot netieši nosakāmas garkrasta sanešu kustības parametru izmaiņas, kas realizējas krasta nogāzes subaerālās daļas elementu morfometrisko parametru un nogulumu sastāva izmaiņās.

Jūras krastu izmaiņas ir nelineārs, trīsdimensionāls un no laika atkarīgs litomorfodinamisks process, kas rodas, reaģējot uz izmaiņām ārējos apstākļos (Wright, Thom, 1977; Carter, Woodroffe, 1994; Komar, 1998). Litomorfodinamiskos procesus, savukārt, var definēt kā nepārtrauktu topogrāfijas un hidrodinamikas mijiedarbību, kurā iesaistīta sanešu kustība vai arī: „telpisko robežu mainība hidrodinamiskā vidē” (Roy et al., 1994). Izvērstāk šo apgalvojumu var skaidrot kā šķidruma kustību, kas izsauc sanešu pārvietošanos un līdz ar to morfoloģiskas vides izmaiņas. Progresējošas pārmaiņas topogrāfijā vienlaicīgi ietekmē un pārvieto sistēmas hidrodinamiskās sastāvdaļas robežapstākļus, kuri noved pie tālākām sanešu transportspējas izmaiņām un galaprodukta – reljefa formas parametru izmaiņām (Wright, Thom, 1977). Katrā konkrētā vietā pieejamā materiāla daudzums un īpašības vistiešākajā veidā ietekmē procesu norisi, jo tas nosaka gan krasta iecirknim raksturīgo sanešu budžetu, gan reljefa formu noturību (Safyanov, 1996).

Raksturīgi, ka krastu sistēmu limitējošie un veidojošie apstākļi parasti mainās straujāk nekā notiek pati krastu evolūcija. Šī likumsakarība īpaši labi bija un ir novērojama Baltijas jūras krastos kā lielā krastu tipu daudzveidība un daudzviet novērojamā nepārtrauktā jūras pārveidojošā darbība. Nepieciešamība izdalīt un definēt jaunus dabas kompleksus (litoģeomorfas sistēmas un apakšsistēmas) parasti parādās tad, kad ir uzkrāts noteikts empīrisku datu apjoms un tiek publicēts pietiekošs teorētisku darbu skaits. Šādā situācijā kļūst iespējams radīt vienotu koncepciju, kas balstās uz noteiktu priekšstatu kopumu.

4.1. tabula. Jūras krasta hierarhisko vienību klasifikācija un to pazīmes (Lapinskis, 2009a)  
 Table 4.1. Classification and description of coastal units (Lapinskis, 2009a)

Hierarhijas līmenis	Krasta zonu raksturojošās pazīmes	Laika un telpas mērogs
A (Baltijas jūra)	<p>Krasta attīstību virzošie apstākļi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• paisuma un jūras straumju loma krasta attīstībā ir nebūtiska,</li> <li>• hidrometeoroloģiskos apstākļus galvenokārt nosaka Islandes minimuma un Sibīrijas maksimuma intensitātes svārstības.</li> </ul> <p>Krasta attīstību limitējošie apstākļi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• biosfēras elementu loma krasta attīstībā ir nebūtiska,</li> <li>• vēsturiskie subaerālie apstākļi noteikuši, ka galvenais drupu materiāla avots ir ledāja nogulumi (notikušas atkārtotas baseina līmeņa svārstības, krastam attīstoties ledājveidotā reljefā).</li> </ul>	$10^3$ - $10^4$ gadi un $10^3$ - $10^4$ km
B (lielmēroga morfoģenētiskais krasta apgabals, piemēram, Baltijas jūras DA daļa)	<p>Krasta attīstību virzošie apstākļi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• jūras viļņu loma krasta attīstībā ir dominējoša,</li> <li>• valdošais vēja virziens ir DR,</li> <li>• vētru laikā vēja virziens parasti mainās secīgi no DR uz ZR rumbiem.</li> </ul> <p>Krasta attīstību limitējošie apstākļi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• neotektonisko zemes garozas kustību ātrums ir zem 2 mm/gadā un to ietekmes nozīmīgums uz mūsdienu krasta attīstību pagaidām nav viennozīmīgi pierādāms;</li> <li>• krasta nogāzē dominē nesaistīti vai vāji saistīti smalkgraudainie teriģenie nogulumi.</li> </ul> <p>Morfoģenētiskās pazīmes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• krasta attīstības gaitā Pēclitorīnas posmā ir notikusi erozijas-akumulācijas izlīdzināšanās,</li> <li>• antropogēno faktoru (galvenokārt lielo ostu hidrotehniskās būves) ietekmē ir notikusi sākotnēji vienotu litomorfodinamisku krasta sistēmu fragmentācija.</li> </ul>	$10^3$ - $10^4$ gadi un $10^2$ - $10^3$ km
C (Litomorfodinamiski vienots krasta rajons, piemēram, Liepāja-Ventspils)	<p>Litomorfodinamiski vienota krasta sistēma, kuras robežās krasta fizikālajiem procesiem raksturīgās mijiedarbības notiek saistīti un zināmā mērā pašpietiekami. To norobežo fizikālas barjeras, kas no materiāla apmaiņas viedokļa uzskatāmas par nepārvaramām (absolūtām) vai tuvu tām.</p>	$10^2$ - $10^3$ gadi un $10^1$ - $10^3$ km

#### 4.1. tabulas nobeigums

Hierarhijas līmenis	Krasta zonu raksturojošās pazīmes	Laika un telpas mērogs
<b>D</b> (litomorfodinamiski viendabīgs krasta iecirknis, piemēram, Akmeņraga virsotne)	Krastam paralēlajā dimensijā savstarpēji saistītas krasta sistēmas vienības, kuras norobežo pārejas zonas, kuru parametri nav konstanti. Krasta iecirkņus savā starpā atšķir rinda pazīmju, kuras iedalāmas četrās grupās: <ul style="list-style-type: none"> <li>• hidrodinamiskās,</li> <li>• evolucionārās,</li> <li>• morfometriski-sedimentoloģiskās,</li> <li>• antropogēnās.</li> </ul>	1-20 gadi un 1-10 km

#### 4.4. Raksturīgie krasta nogāzes virsūdens daļas šķēršprofilu tipi Baltijas jūras Kurzemes piekrastē

Dotā pētījuma gaitā veiktās datu grafiskās un vizuālās apstrādes rezultāti ļauj novērtēt ģeneralizētu pludmales un eolā reljefa sanešu daudzuma raksturīgo vērtību (3.2. nodaļa) atbilstību attiecīgā krasta iecirkņa dinamiskās attīstības tipam. Turklāt ir novērojamas uzskatāmas vērtību atšķirības litomorfodinamiski dažādos krasta iecirkņos ar izteiktu raksturīgo lielumu katram no krasta iecirkņu tipiem, respektīvi, pludmales un AEAR nogulu apjoma atkarība no apstākļiem krasta iecirknī ir ar nozīmīgu atkarību. Tas nozīmē, ka raksturīgo skaitlisko vērtību atšķirības ir izmantojamas par pazīmi atšķirīgu krasta iecirkņu identifikācijai un grupēšanai.

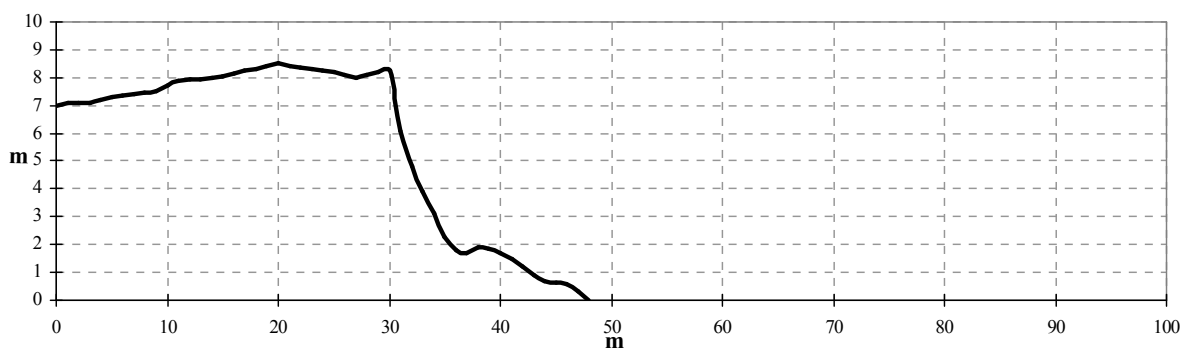
Sagrupējot pētījumā analizētos krasta profilus pēc pludmales un AEAR apjoma attiecības, tika nodalīti 11 raksturīgie to tipi:

- 1. tipa krasta iecirknis ar 1. klases (<15 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 1. klases (<5 m<sup>3</sup>/m) AEAR (negatīva sanešu bilance);
- 2. tipa krasta iecirknis ar 2. klases (15-25 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 2. klases (5-30 m<sup>3</sup>/m) AEAR (negatīva sanešu bilance);
- 3. tipa krasta iecirknis ar 3. klases (25-35 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 2. klases (5-30 m<sup>3</sup>/m) AEAR (neitrāla sanešu bilance);
- 4. tipa krasta iecirknis ar 4. klases (35-45 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 4. klases (60-90 m<sup>3</sup>/m) AEAR (pozitīva sanešu bilance);
- 5. tipa krasta iecirknis ar 4. klases (35-45 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 5. klases (>90 m<sup>3</sup>/m) AEAR (pozitīva sanešu bilance);
- 6. tipa krasta iecirknis ar 3. klases (25-35 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 3. klases (30-60 m<sup>3</sup>/m) AEAR (neitrāla sanešu bilance);
- 7. tipa krasta iecirknis ar 4. klases (35-45 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 3. klases (30-60 m<sup>3</sup>/m) AEAR (pozitīva sanešu bilance);
- 8. tipa krasta iecirknis ar 2. klases (15-25 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 1. klases (<5 m<sup>3</sup>/m) AEAR (negatīva sanešu bilance);
- 9. tipa krasta iecirknis ar 5. klases (>45 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 5. klases (>90 m<sup>3</sup>/m) AEAR (pozitīva sanešu bilance);
- 10. tipa krasta iecirknis ar 3. klases (25-35 m<sup>3</sup>/m) pludmali un 1. klases (<5 m<sup>3</sup>/m) AEAR (negatīva sanešu bilance);

- 11. tipa krasta iecirknis ar 5. klases ( $>45 \text{ m}^3/\text{m}$ ) pludmali un 2. klases ( $5\text{-}30 \text{ m}^3/\text{m}$ ) AEAR (pozitīva sanešu bilance).

Pētījuma rezultāti liecina, ka raksturīgie krasta nogāzes subaerālās daļas šķēršprofilu tipi norāda uz pēc litomorfordinamiskajiem apstākļiem atšķirīgiem krasta iecirkņiem. Jāpiezīmē, ka 3., 7. un 8. profilu tips ir sastopams ievērojami biežāk kā pārējie, tāpēc tos var uzskatīt par pamattipiem.

Tie krasta iecirkņi, kuriem ir raksturīgs 1. profila tips, visbiežāk atrodas vietās, kur krasta erozija notiek ilgstoši un ir telpiski nepārtraukti izplatīta vismaz 3-5 km garā posmā, piemēram, pie Staldzenes (4.9. attēls), Jūrkalnes pagasta dienvidu daļā, Sakas pagasta ziemeļu daļā u.c. Kopējais krasta posmu garums ar šādu profila tipu sasniedz 14 km. Šajos krasta posmos krasta erozijai ir pakļauti relatīvi noturīgie glacigēnie morēnas nogulumu, zemūdens nogāzē ir uzkrājušies no morēnas izskalotie laukakmeņi un oļi, tāpēc arī starpvētru periodos smalko frakciju sanešu materiāla akumulācija pludmalē praktiski nenotiek. Uz izteikti negatīvu sanešu bilanci norāda arī Kurzemes apstākļiem strauja krasta profila pārkārtošanās iekšzemes virzienā ar ātrumu 1,0-3,0 m/gadā.



4.9. att. Shematiska krasta 1. tipa (pludmales apjoms:  $<15 \text{ m}^3/\text{m}$ ; AEAR apjoms:  $<5 \text{ m}^3/\text{m}$ ) šķēršprofila piemērs (atrodas 6,0 km uz ziemeļiem no Ventspils ostas ziemeļu mola Staldzenē; autora dati un interpretācija<sup>1</sup>)

Fig. 4.9. Example of the first Type (volume of beach sediments  $<15 \text{ m}^3/\text{m}$ ; volume of aeolian sediments  $<5 \text{ m}^3/\text{m}$ ) of coastal cross-section (located 6.0 km to the north from Ventspils harbor; data and interpretation by author<sup>2</sup>)

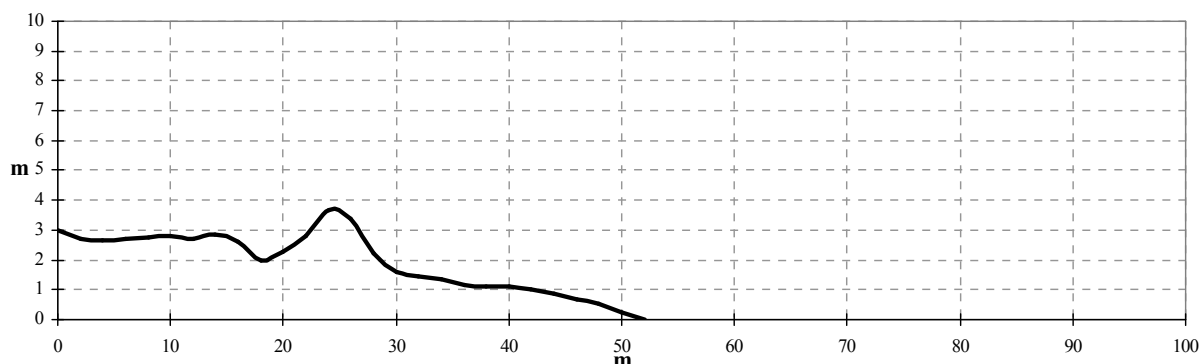
Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of cross-section; Y-axis – height above sea level

Krasta nogāzes šķēršprofils, kas atbilst 2. tipam ir sastopams samērā reti. Krasta posmi ar šādu šķēršprofilu ir salīdzinoši īsi un vairumā gadījumu tie ir izvietoti uz ziemeļiem no 8. vai 1. profila tipa iecirkņiem, piemēram, Sārnatē un Šķēdē (4.10. attēls), tomēr tie sastopami arī uz rietumiem no Vaides Irbes šauruma krastā. Šāda tipa krasta profils ir raksturīgs gan teritorijām, kur krasta nogāzes subaerālajā daļā un seklūdens daļā mijas morēnas, Baltijas jūras baseina agrāko stadiju un mūsdienu krasta zonas nogulumu, gan teritorijās, kurām raksturīga pazemināta garkrasta sanešu kustības intensitāte. Šajos

<sup>1</sup> Attēlos no 4.9. līdz 4.19. krasta šķēršprofila vizualizācija sagatavota izmantojot nivelēšanas datus, kur mērījumu punkti atrodas visos raksturīgajos mikroreljefa liekuma punktos vai arī ne retāk kā ik pēc 10 m (promocijas darba nodaļa 2.2.1.).

<sup>2</sup> In figures from 4.9. to 4.19. visualization of coastal cross-section is prepared using leveling data, where the measurement points are located at all representative curvature points of relief, or at least every 10 m (dissertation chapter 2.2.1.).

šķērsprofilos esošais AEAR nereti ir fragmentārs, regresīvā ceļā pārvietojas iekšzemes virzienā un tā tilpums gadu gaitā svārstās lielā amplitūdā (50-90%). Par negatīvu sanešu bilanci liecina arī krasta profila lēna (0,1-0,5 m/gadā) pārkārtošanās iekšzemes virzienā. Krasta kopgarums ar 2. tipa šķērsprofilu ir 13,5 km.

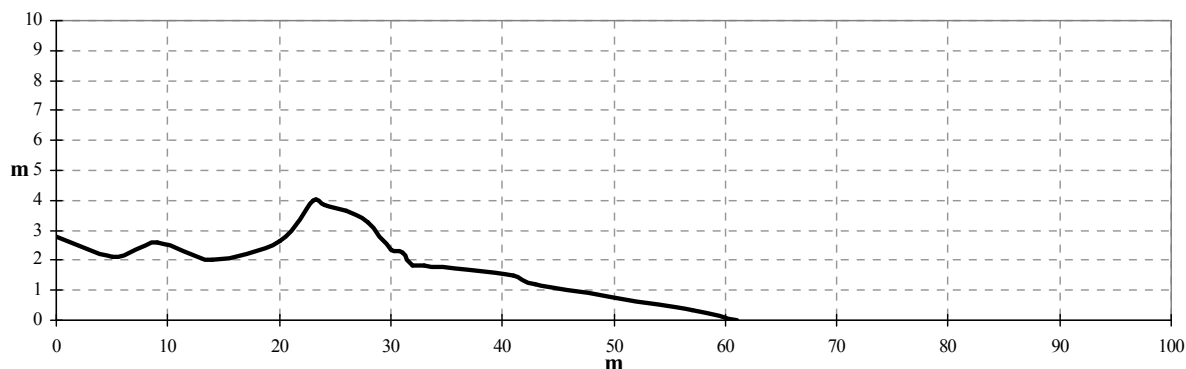


4.10. att. Shematiska krasta 2. tipa (pludmales apjoms: 15-25 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: 5-30 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 8,0 km uz ziemeļiem no Liepājas ostas ziemeļu mola Šķēdē; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.10. Example of the second Type (volume of beach sediments 15-25 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments 5-30 m<sup>3</sup>/m) of coastal cross-section (located 8.0 km to the north from Liepāja harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of cross-section; Y-axis – height above sea level

Krasta posmi, kuriem ir raksturīgs 3. tipa šķērsprofils ir sastopami bieži (kopējais garums – 45,0 km). Tie bieži atrodas Litorīnas jūras laika krasta akumulatīvo veidojumu malā vai uz ziemeļiem no tiem, kā arī Litorīnas jūras lagūnu nogulumos, piemēram Nidas-Papes posmā (4.11. attēls) un starp Užavas bāku un Melnragu. Vairākās vietās šāds profils raksturīgs krasta posmiem, kas atrodas uz ziemeļiem no lielo Kurzemes ostu izraisītā sanešu deficīta zonām, piemēram, starp Jaunupi un Ovīšiem, starp Šķēdi un Ziemupi u.c. Tie ir izplatīti samērā plaši un parasti robežojas ar 2., 4. un 7. profila tipa iecirkņiem. Šā tipa profilos pludmales parasti sastāv no dažādu frakciju sanešiem un to profilā ir izteikti dažādas pludmales daļas nodaloši lūzuma punkti, arī robeža starp pludmali un aktīvās eolās akumulācijas zonu ir izteikta.



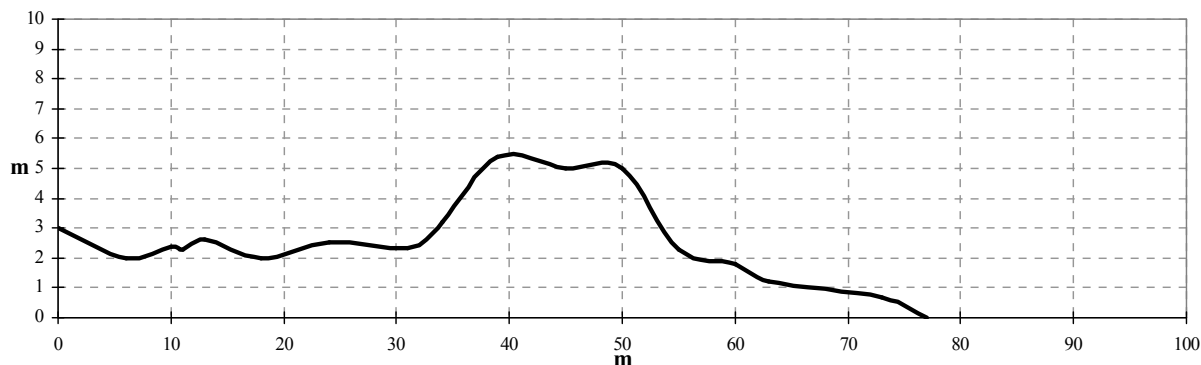
4.11. att. Shematiska krasta 3. tipa (pludmales apjoms: 25-35 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: 5-30 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 2,0 km uz ziemeļiem no Latvijas un Lietuvas robežas Nīdā; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.11. Example of the third Type (volume of beach sediments 25-35 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments 5-30 m<sup>3</sup>/m) of coastal crosssection (located 2.0 km to the north from border of Latvia and Lithuania; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa

X-axis – distance from beginning of crosssection; Y-axis – height above sea level

Samērā reti ir sastopami krasta posmi ar 4. tipa šķērsprofilu. Tie novērojami vairākās vietās Irbes šauruma krastā starp Lūžņu un Mazirbi (4.12. attēls), bet atklātas Baltijas jūras krastā tie sastopami tikai Pērkonē. Blakus šā profila tipa iecirkņiem parasti atrodas 5. un 7. tips. Pludmales tilpuma un platuma svārstības gan sezonāli, gan vairāku gadu ilgos periodos šādos iecirkņos ir lielas (30-50%). Pludmalē dominē smilšu frakcija, bet priekškāpa ir stacionāra vai ļoti lēni progresē jūras virzienā. Krasta kopgarums ar 4. tipa šķērsprofilu ir 15,0 km.



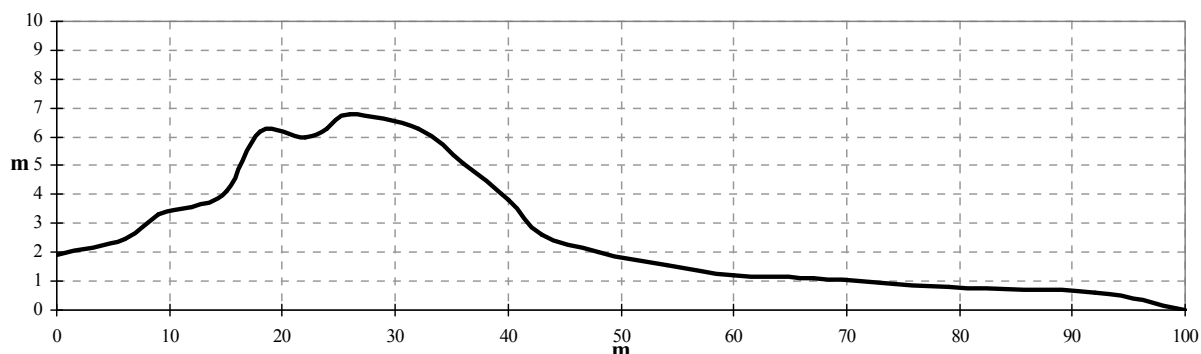
4.12. att. Shematiska krasta 4. tipa (pludmales apjoms: 35-45 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: 60-90 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 18,5 km uz rietumiem no Kolkas raga virsotnes Mazirbē; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.12. Example of the 4-th Type (volume of beach sediments 35-45 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments 30-90 m<sup>3</sup>/m) of coastal crosssection (located 18.5 km to the west from cape of Kolka; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa

X-axis – distance from beginning of crosssection; Y-axis – height above sea level

Tie krasta iecirkņi, kurus raksturo 5. tipa šķērsprofils ir sastopami tikai Irbes šauruma krastā Mazirbē un uz dienvidiem no Liepājas – Pērkonē (4.13. attēls). Šī tipa krasta šķērsprofilam ir raksturīgas visas pozitīvas sanešu bilances pazīmes – eolā reljefa tilpuma pieaugums, neizteikta pludmales un aktīvās eolās akumulācijas zonas robeža, pludmales platums parasti pārsniedz 40 m, notiek lēna (1-2 m/gadā) profila pārkārtošanās jūras virzienā. Krasta kopgarums ar 5. tipa šķērsprofilu ir 10,5 km.



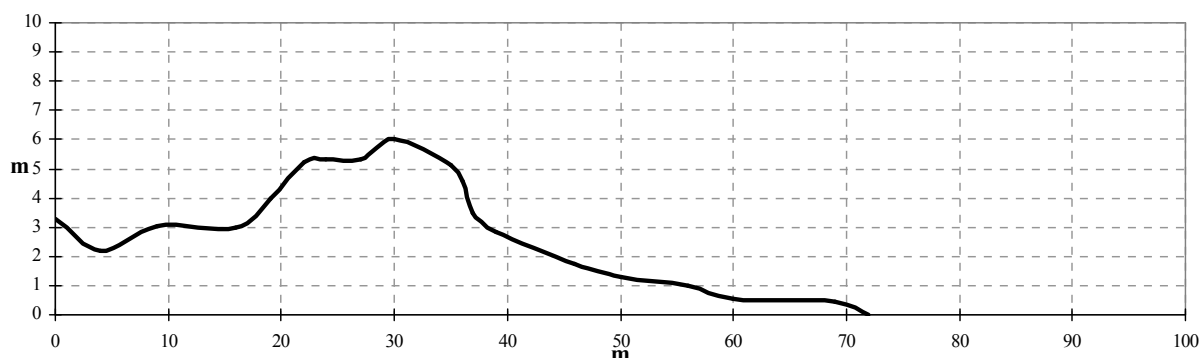
4.13. att. Shematiska krasta 5. tipa (pludmales apjoms: 35-45 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: >90 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 7,0 km uz dienvidiem no Liepājas ostas dienvidu mola – Pērkonē; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.13. Example of the 5-th Type (volume of beach sediments 35-45 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments >90 m<sup>3</sup>/m) of coastal cross-section (located 7.0 km to the south from Liepāja harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa

X-axis – distance from beginning of cross-section; Y-axis – height above sea level

Krasta posmi, kam ir raksturīgs 6. tipa šķērsprofils parasti ir samērā īsi, tie ir sastopami Dienvidu un Ziemeļu krasta rajonos, pie Jūrmalciema (4.14. attēls), Papes, Jaunupes, starp Bernātiem un Pērkoni u.c. Starp Liepāju un Ventspili (Centra krasta rajons) šā tipa krasta šķērsprofili nav raksturīgi. Krasta iecirkņi ar 6. tipa nogāzes šķērsprofilu parasti atrodas blakus 9. un 5. profila tipa iecirkņiem. Krasta posmu kopgarums ar 6. tipa šķērsprofilu ir 14,5 km. Uz pozitīvu sanešu bilanci šajos iecirkņos norāda arī relatīvi lēna (0,1-0,3 m/gadā) profila pārkārtošanās jūras virzienā.

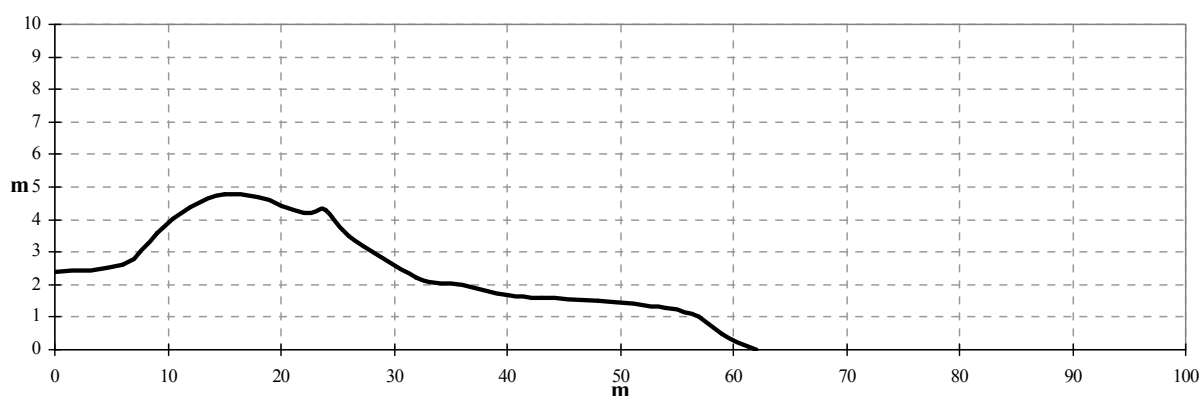


4.14. att. Shematiska krasta 6. tipa (pludmales apjoms: 25-35 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: 30-60 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 13,5 km uz dienvidiem no Liepājas dienvidu mola Pērkonē; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.14. Example of the 6-th Type (volume of beach sediments 25-35 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments 30-60 m<sup>3</sup>/m) of coastal crosssection (located 13.5 km to the south from Liepāja harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of crosssection; Y-axis – height above sea level

Samērā bieži ir izplatīts 7. tipa krasta šķērsprofils (4.15. attēls). Tam ir raksturīga plaša un augsta pludmale, bet eolā akumulācija priekšējā notiek salīdzinoši lēni. Kopējais krasta posmu garums ar 7. tipa šķērsprofilu sasniedz 28,5 km, turklāt tas ir satopams visos krasta rajonos, piemēram: uz ziemeļiem no Jūrmalcieņa, uz dienvidiem no Akmeņraga virsotnes, starp Pāvilstu un Akmeņragu, Lūžņā, u.c. Raksturīgi, ka 7. tipa šķērsprofils iezīmē antropogēni netraucētus vai maz traucētus krasta iecirkņus, kuros sanešu akumulācija ir pārsvarā un pēcvētru periodos profila atjaunošanās notiek samērā strauji (2-4 gados). Par pozitīvu sanešu bilanci šajos iecirkņos norāda arī profila lēna (0,2-0,5 m/gadā) pārkārtošanās jūras virzienā.



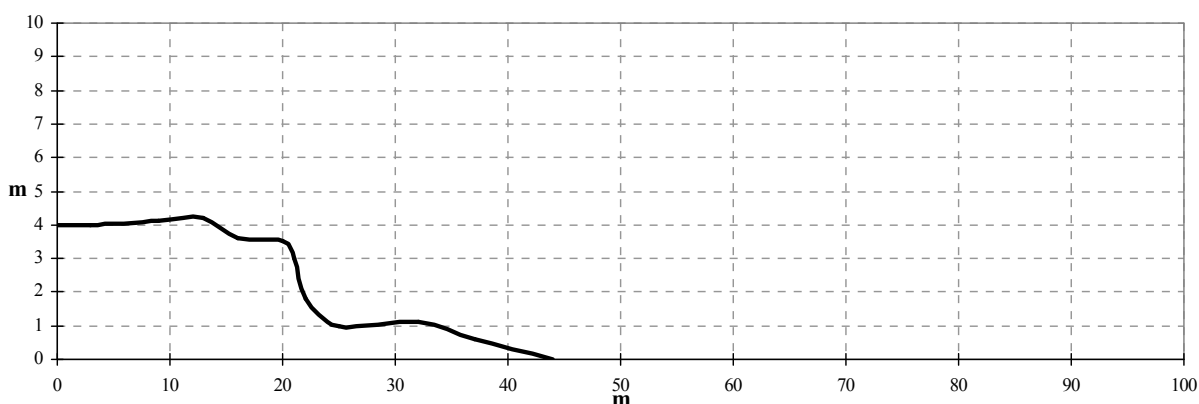
4.15. att. Shematiska krasta 7. tipa (pludmales apjoms: 35-45 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: 30-60 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 29,0 km uz ziemeļiem no Latvijas un Lietuvas robežas Jūrmalcieņā; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.15. Example of the 7-th Type (volume of beach sediments 35-45 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments 30-60 m<sup>3</sup>/m) of coastal crosssection (located 29.0 km to the north from border of Latvia and Lithuania; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of crosssection; Y-axis – height above sea level



Visplašāk izplatīts ir 8. tipa krasta šķērsprofils (4.16. attēls). Krasta posmos, kam tāds ir raksturīgs, dominē erozija, eolā akumulācija praktiski nav novērojama un krasta subaerālās daļas iekšzemes robežu parasti veido krasta krauja, piemēram, Mietragā, Bernātu ragā, Ziemupē, Jūrkalnes pagasta dienvidu daļā, Liepenē, Kolkas raga rietumu spārnā u.c. Ilgstoši (>4 gadus) turpinoties periodiem bez spēcīgām vētrām zemāka krasta krauja vietām tiek „pārsegta” ar plānu eolo smilšu kārtu un nelielā apjomā akumulācija var notikt arī virs kraujas. Pludmales platums un augstums ievērojami mainās gan sezonāli, gan vētru un miera periodu ciklos, līdz pat 80% no tās ilggadīgajiem vidējiem parametriem. Uz izteikti negatīvu sanešu bilanci norāda arī krasta profila pārkārtošanās iekšzemes virzienā ar ātrumu 0,5-2,0 m/gadā. Atšķirībā no 1. tipa krasta šķērsprofila, 8. tipam raksturīgajos iecirkņos pludmales sanešu papildināšanās daļēji notiek uz krasta kraujas erozijas rēķina. Stāvkrastā parasti atsedzas viegli izskalojami nogulumi (eolās smiltis, Baltijas jūras iepriekšējo stadiju pludmales un dibena nogulumi). Kopējais krasta posmu garums ar 8. tipa šķērsprofilu sasniedz 69,5 km.



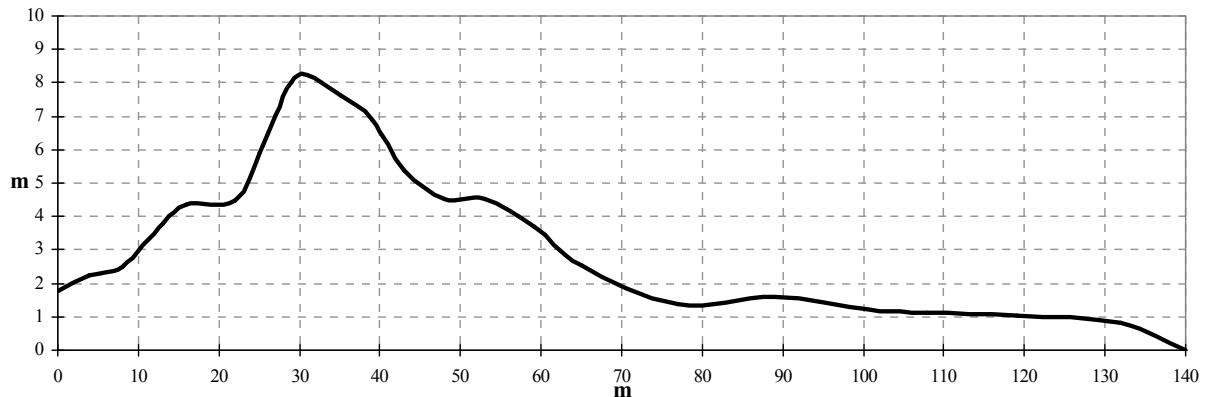
4.16. att. Shematiska krasta 8. tipa (pludmales apjoms: 15-25 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: <5 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 13,5 km uz ziemeļaustrumiem no Ventspils ostas ziemeļu mola Liepenē; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.16. Example of the 8-th Type (volume of beach sediments 15-25 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments <5 m<sup>3</sup>/m) of coastal crosssection (located 13.5 km to the northeast from Ventspils harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of crosssection; Y-axis – height above sea level

Latvijas apstākļiem pēc apjoma vislielākās pludmales un AEAR veidošanās notiek uz dienvidiem no Ventspils un Liepājas ostām, kur ir raksturīgs 9. tipa krasta nogāzes šķērsprofils (4.17. attēls). Šajos krasta iecirkņos garkrasta sanešu kustība ir traucēta un notiek materiāla pastiprināta uzkrāšanās. Materiāla uzkrāšanās intensitāte atbilst 9. profila tipam 6,5 km garumā Liepājas pilsētas dienvidu daļā un tikai 1,0 km garumā Ventspils pilsētas dienvidu daļā. Šādas atšķirības ir izskaidrojamas ar dažādu krasta līnijas orientāciju un uz dienvidiem no šiem iecirkņiem esošo krasta posmu ģeoloģisko uzbūvi. Arī Irbes šauruma krastā uz austrumiem no Miķeļtorņa ir 4,0 km garš iecirknis ar 9. tipa profilu. Atbilstoši sanešu akumulācijas intensitātei, profilam ir raksturīga ļoti plaša (līdz 100 m) pludmale, kuras augšējā daļā notiek strauja AEAR formu jaunveidošanās un aktīvās eolās akumulācijas zonas progresēšana jūras virzienā, vietām veidojot savstarpēji subparalēlu priekškāpu joslu. Tiešā Kurzemes lielo ostu dienvidu molu

tuvumā pludmales un AEAR telpiskie parametri ievērojami pārsniedz profila tipam izvirzīto apakšējo robežu. Krasta profila uzvirzīšanās jūrai notiek ar ātrumu 2-3 m/gadā.

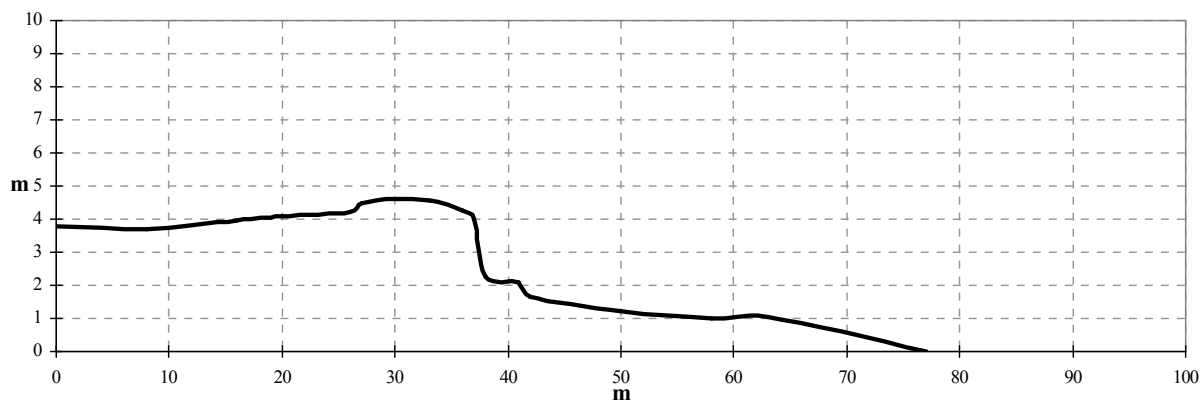


4.17. att. Shematiska krasta 9. tipa (pludmales apjoms:  $>45 \text{ m}^3/\text{m}$ ; AEAR apjoms:  $>90 \text{ m}^3/\text{m}$ ) šķērsprofila piemērs (atrodas 3,0 km uz dienvidiem no Liepājas ostas dienvidu mola; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.17. Example of the 9-th Type (volume of beach sediments  $>45 \text{ m}^3/\text{m}$ ; volume of aeolian sediments  $>90 \text{ m}^3/\text{m}$ ) of coastal cross-section (located 3.0 km to the south from Liepāja harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of cross-section; Y-axis – height above sea level

Centra krasta rajonā samērā bieži, bet Ziemeļu un Dienvidu krasta rajonos nemaz nav sastopams 10. tipa krasta profils (4.18. attēls). Kopējais šāda tipa iecirkņu garums sastāda 11,5 km, bet garākais vienlaidu posms 5,0 km garumā atrodas starp Šķēdi un Ziemupi. Krasta iecirkņiem ir raksturīga samērā plaša pludmale, kuru parasti veido dažādu frakciju vāji vai vidēji šķiroti sanešu materiāls. Sezonālās un cikliskās pludmales apjoma svārstības sasniedz 20-30% no to vidējā apjoma. Ļoti vāji attīstītais vai pilnībā iztrūkstošais AEAR liecina par smalko frakciju materiāla deficītu krasta zemūdens nogāzē. Krasta profilu galvenokārt veido jūras viļņošanās vētras apstākļos. Uz negatīvu sanešu bilanci norāda arī relatīvi lēna (0,2-0,5 m/gadā) krasta profila pārkārtošanās iekšzemes virzienā.

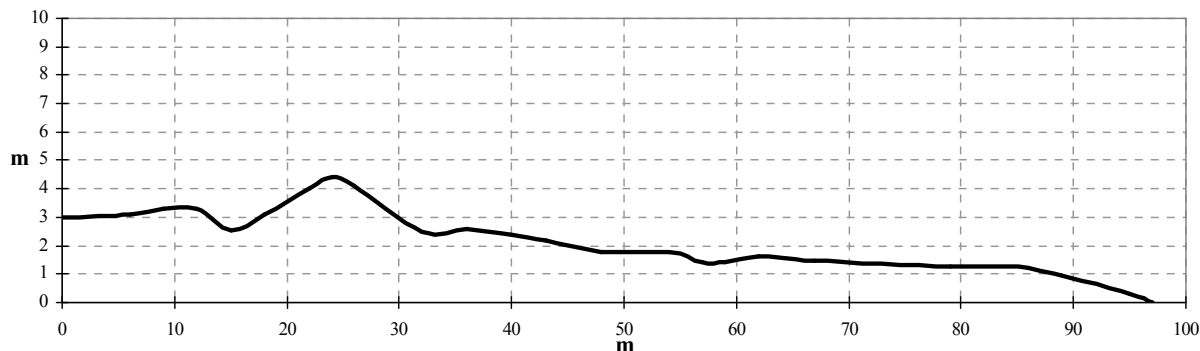


4.18. att. Shematiska krasta 10. tipa (pludmales apjoms: 25-35 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms: <5m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 9,0 km uz dienvidrietumiem no Pāvilostas ostas dienvidu mola Akmeņragā; autora dati un interpretācija)

Fig. 4.18. Example of the 10-th Type (volume of beach sediments 25-35 m<sup>3</sup>/m; volume of aeolian sediments <5 m<sup>3</sup>/m) of coastal cross-section (located 9.0 km to the southwest from Pāvilosta harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa  
X-axis – distance from beginning of cross-section; Y-axis – height above sea level

Ovīšu raga austrumu spārnā 4,0 km garumā ir raksturīgs profila tips (11.), kāds nav novērojams nekur citur Baltijas jūras Kurzemes piekrastē. Šo profila tipu izceļ ļoti ievērojamā apjoma un platuma pludmale (līdz 70 m<sup>3</sup>/m), virs kuras eolās smilts akumulācija notiek relatīvi vājāk (4.19. attēls). Šādus samērā unikālus parametrus nodrošina glaciģēno nogulumu virsas pacēlums Ovīšos. Tas būtiski maina garkrasta sanešu plūsmas parametrus un, krasta līnijai mainot orientāciju uz ZA, ievērojams daudzums Ventspils-Jaunupes posmā erodēto rupjo un vidēji rupjo sanešu uzkrājas krasta seklūdē daļā. Smalko frakciju materiāls pārvietojas gan uz Ovīšu sēkli, gan tālāk gar krastu, bet pludmalē nonāk visai ierobežotā daudzumā, turklāt ievērojamais oļu īpatsvars pludmalē apgrūtina eolo procesu attīstību, arī krasta līnijas vērsums pret valdošo vēju virzienu nav labvēlīgs eolās akumulācijas attīstībai. Pludmales apjoma sezonālās un ilglaicīgās svārstības ir nebūtiskas (5-15%). Lai arī krasta pārkārtošanās praktiski nenotiek, sanešu bilance šajā posmā ir pozitīva un AEAR ir tendence pieaugt. Pludmales augšējā daļā veidojas efemēras eolās velces.



4.19. att. Shematiska krasta 11. tipa (pludmales apjoms >45 m<sup>3</sup>/m; AEAR apjoms 5-30 m<sup>3</sup>/m) šķērsprofila piemērs (atrodas 24,0 km uz ziemeļaustrumiem no Ventspils ostas ziemeļu mola Ovīšu raga austrumu spārnā; autora dati un interpretācija)

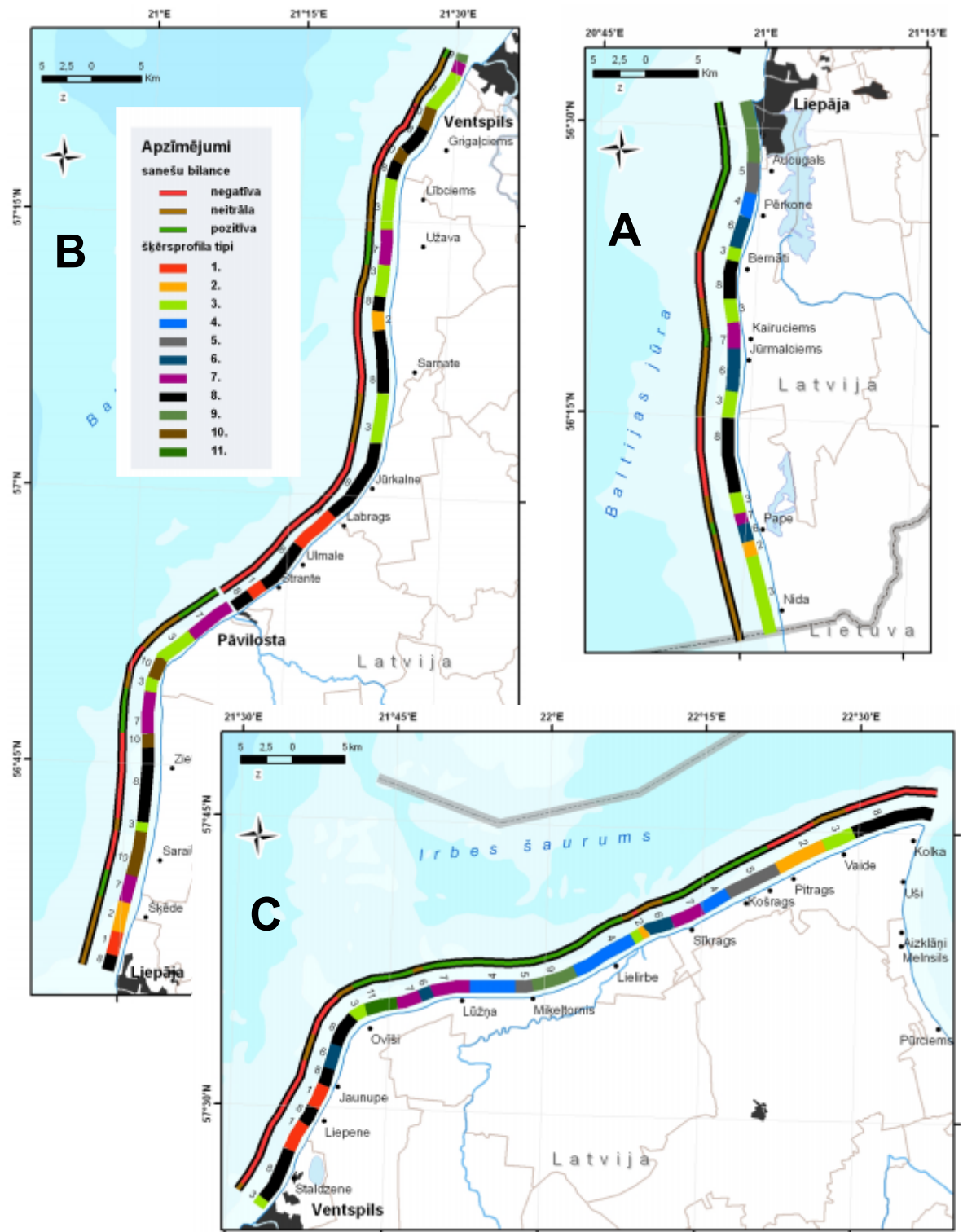
Fig. 4.19. Example of the 11-th Type (volume of beach sediments  $>45 \text{ m}^3/\text{m}$ ; volume of aeolian sediments  $5\text{-}30 \text{ m}^3/\text{m}$ ) of coastal crosssection (located 24.0 km to the northeast from Ventspils harbor; data and interpretation by author)

Uz x ass – attālums no atbalsta punkta; uz y ass – augstums virs jūras līmeņa

X-axis – distance from beginning of crosssection; Y-axis – height above sea level

Veiktā pētījuma rezultātā sagatavotā karte (4.20. attēls) ilustrē krasta iecirkņu ar raksturīgu krasta nogāzes virsūdens daļas šķērsprofilu izvietojumu. Kartogrāfiskais atspoguļojums un rezultātu analīze norāda, ka krasta tipu sadalījumā ir vērojamas noteiktas tendences – tā ir saistīta ar konkrētiem krasta rajoniem. Grupējot izdalītos krasta iecirkņus pēc tajos pastāvošajiem dinamiskajiem apstākļiem iegūti šādi rezultāti:

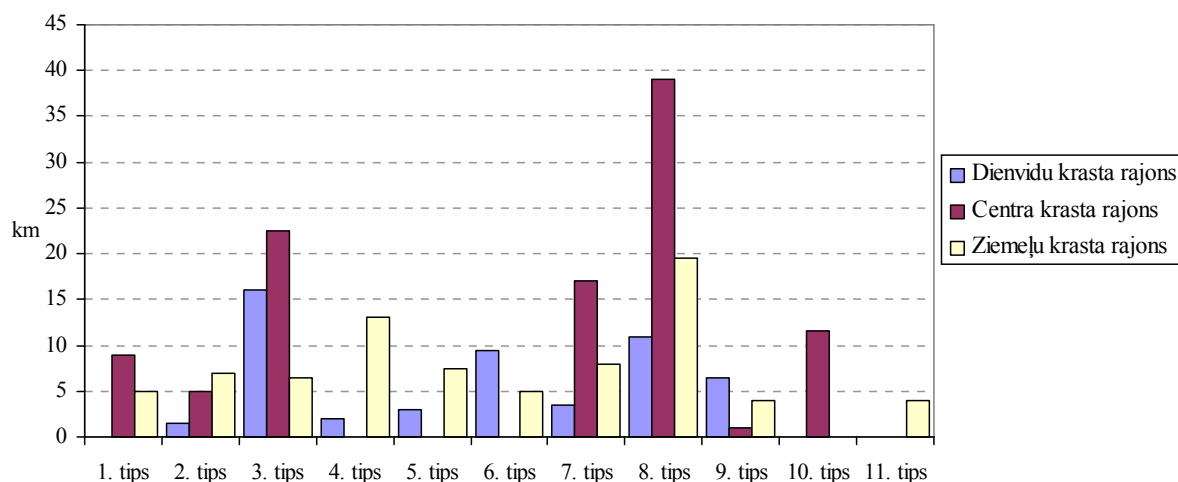
- negatīva sanešu bilance (1., 2., 8. un 10. profila tips) izplatīta 108,5 km kopgarumā;
- neitrāla sanešu bilance (3. un 6. profila tips) izplatīta 59,5 km kopgarumā;
- pozitīva sanešu bilance (4., 5., 7., 9. un 11. profila tips) izplatīta 69,5 km kopgarumā.



4.20. att. Krasta posmi ar raksturīgajiem krasta nogāzes virsūdens daļas šķēršprofilu tipiem un sanešu bilanci Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (autora dati un interpretācija)  
 Fig. 4.20. Spatial distribution of coastal sections with typical crosssections of subaerial part of coastal slope and sediment balance along the Kurzeme coast of Baltic Proper (data and interpretation by author)

A – Dienvidu krasta rajons, B – Centra krasta rajons, C – Ziemeļu krasta rajons  
 Kartogrāfiskais pamats: GIS Latvija (SIA Envirotech)  
 A – Southern coastal zone, B - Central coastal zone, C - Northern coastal zone  
 Cartographical base: „GIS Latvija” (Envirotech)

Dominējošie krasta šķēršprofila tipi (8., 3. un 7.) ir sastopami visos Baltijas jūras Kurzemes piekrastes krasta rajonos, tomēr Centra krasta rajonā tie ir īpaši raksturīgi (4.21. attēls). Citu krasta tipu sadalījumā noteiktas tendences nav konstatējamas un kopumā jāatzīmē, ka to sadalījums ir samērā vienmērīgs. Tas nozīmē, ka krasta šķēršprofila tipu sadalījums pa rajoniem un to kopgarums ir ērti izmantojams kā parametrs gan dabiski, gan antropogēni izraisītu noviržu fiksēšanai un pētīšanai.



4.21. att. Krasta iecirkņu kopējā garuma sadalījums pa Dienvidu, Centra un Ziemeļu krasta rajoniem atbilstoši to raksturīgajam virsūdens daļas šķēršprofila tipam (autora dati un interpretācija)

Fig. 4.21. Summary length of coastal sections with typical crosssections of subaerial part of coastal slope in Southern, Central and Northern coastal zones (data and interpretation by author)

Līdz ar nodalītajiem 11 raksturīgajiem krasta nogāzes šķēršprofila tipiem, kas pārstāv vairāk par 97% no pētītā krasta kopgaruma, tika konstatēti tādi profili, kas tajos neiekļaujas. Tie ir sastopami ļoti reti un parasti tos pārstāvošo krasta posmu garums ir mazāks par pētījuma izšķirtspējai atbilstošo (0,5 km). Tie ir saistīti ar krasta posmiem, kur piemēram:

- ierīkotas krasta aizsargkonstrukcijas,
- atrodas vecu būvju drupas (Liepājas Forti, Papes kanāla moli),
- ostu ziemeļu molu ciešā tuvumā ir izveidojušies specifiski apstākļi,
- atrodas mazo upju grīvas (Užava, Irbe, Mazirbe, Muižupīte, u.c).

Krasta iecirkņi, kuru nogāzes subaerālās daļas attīstību nosaka augstāk minētie specifiskie apstākļi ir detalizējami un pētāmi atsevišķi, izmantojot atšķirīgas metodes ar citu detalizācijas pakāpi.

## Secinājumi

Jūras krasta Latvijā rajonēšanas un klasifikācijas iepriekšēji izstrādātajām shēmām nepiemīt strikti noteikta hierarhiska struktūra jo tajās gan augsta līmeņa krasta rajonu, gan zemāka līmeņa krasta iecirkņu raksturošanā tiek izmantota pieeja, kas sevī ietver gan morfoģenētiskus, gan morfodinamiskus, gan citus elementus, tāpēc šo shēmu pielietojamības iespējas ir neatbilstošas mūsdienu prasībām un var radīt pārpratumus. Turklāt, morfoģenētiskās pieejas izmantošanu krastu rajonēšanā Latvijas apstākļos apgrūtina to relatīvā viendabība, daudzviet sastopamā neatbilstība starp vēsturisko un mūsdienu krasta procesu virzienu un ievērojamā krasta sistēmā pastāvošā antropogēnā slodze (lielās ostas).

Baltijas jūras Kurzemes piekrastē jau kopš 1992. gada G. Eberharda vadībā tiek ģeoloģisko procesu monitorings. Autora izveidotajā un aktualizētajā datu bāzē ir uzkrāts ļoti ievērojams datu apjoms, kas pietiekami reprezentatīvi raksturo krasta nogāzes subaerālās daļas morfometrijas un sanešu bilances dinamiku. Dotā pētījuma ietvaros ir pilnveidota monitoringā izmantotā lauka pētījumu metode paaugstinot monitoringa tīkla blīvumu un uzlabojot tā reprezentativitāti.

Dotā pētījuma rezultāti liecina, ka jūras krasta zona ir sistēma, kas sastāv no atsevišķām daļām, starp kurām pastāv noteikta hierarhija un kurām ir raksturīgs noteikts telpiskais un laika mērogs. Augstāka līmeņa sastāvdaļas ietver zemākās kurām atbilstoši ir mazāks gan telpas, gan laika mērogs. Telpas un laika attiecības ir tās, kas raksturo krasta zonas kā sistēmas stabilitāti. Hidroloģisko parametru, materiāla transporta un reljefa formu savstarpējā mijiedarbība, kā arī mijiedarbība ar antroposfēru raksturo krasta litomorfodinamiku.

Minēto apstākļu mijiedarbība nosaka ievērojamo krasta nogāzes virsūdens daļas elementu daudzveidību Baltijas jūras Kurzemes piekrastē. Šī mijiedarbība ir atšķirīga konkrētos krasta posmos, turklāt pētījuma rezultāti norāda uz ļoti būtisko ostu hidrotehnisko būvju lomu Kurzemes rietumu krasta sistēmā. Liepājā un Ventspilī kuģu ceļu dziļums ir attiecīgi 11 un 18 metri, bet kuģu ceļā nonākušais sanešu materiāls tiek pārvietots uz jūras izgāztuvēm, kuras atrodas dziļāk par krasta zonas ārējo robežu. Veiktā pētījuma rezultātu analīze ļauj secināt, ka abpus Liepājas un Ventspils ostām sanešu materiāla bilance garkrasta griezumā norāda uz pētījumu teritorijas dalījumu trijos rajonos (C līmeņa daļās (attēls 4.8.)), kuras nosacīti varētu dēvēt par Dienvidu, Centra un Ziemeļu krasta rajoniem). Tos norobežo fizikālas barjeras, kas no sanešu materiāla apmaiņas viedokļa uzskatāmas par nepārvaramām (absolūtām) vai tuvu tām. Šie rajoni pēc būtības ir litomorfodinamiski vienotas krasta sistēmas, kuru robežās krasta fizikālajiem procesiem raksturīgās mijiedarbības notiek saistīti un zināmā mērā pašpietiekami.

Vājāk vai stiprāk izteiktas morfoloģiskas un sanešu sastāva garkrasta pārejas, kas konstatētas dotā pētījuma ietvaros, norāda uz atsevišķu zemākā līmeņa krasta iecirkņu robežām (attēls 4.8.). Tajos gadījumos, kad nepastāv fizikālas barjeras dažādos iecirkņos dominējošie atšķirīgie morfodinamiskie procesi rada katram iecirknim raksturīgos un dotajā pētījumā izdalītos krasta sistēmas elementus.

Baltijas jūras Kurzemes krastā nav krāsas ģeoloģiskas daudzveidības, sanešu materiāla apmaiņa starp krasta nogāzes subaerālo un zemūdens daļu ir iespējama praktiski visā tā garumā, arī krasta līnija ir salīdzinoši taisna – tai nav izteiktu dabisku sanešu

materiāla barjeru. Kā liecina promocijas darba rezultāti – pārejas starp morfodinamiski viendabīgajiem krasta iecirkņiem vairumā gadījumu nav nepārprotami konstatējamas tikai pēc kādas vienas krasta elementu morfoloģiskās vai nogulu sastāva pazīmes. Par to liecina pētītā krasta nogāzes virsūdens daļas elementus veidojošo sanešu apjoma ievērojamā mainība novērojumu periodā.

Izmantojot dotajā pētījumā iegūtos datus par sanešu apjoma dinamiku Baltijas jūras Kurzemes piekrastē noskaidrots, ka ir izdalāmi vienpadsmit raksturīgie krasta nogāzes virsūdens daļas šķērsprofila tipi. Tos atšķir noteiktā krasta nogāzes daļā uzkrāto sanešu apjoms. Krasta tipu sadalījumā ir vērojamas noteiktas tendences – tā ir saistība ar konkrētiem krasta rajoniem. Grupējot izdalītos krasta iecirkņus pēc tajos pastāvošajiem dinamiskajiem apstākļiem iegūti šādi rezultāti: negatīva sanešu bilance ir izplatīta 108,5 km kopgarumā, neitrāla sanešu bilance – 59,5 km kopgarumā un pozitīva sanešu bilance – 69,5 km kopgarumā. Atzīmējams, ka šie rezultāti labi korelē ar V. Ulsta (1998) iedalījumu, kur abrāzijas un izskalošanas krasta posmi (ieskaitot aprimstošos un aprimušos) ir izplatīti 103,5 km, dinamiskā līdzsvara – 105,0 km un akumulatīvie – 32,5 km. Autors uzskata, ka ievērojamā atšķirība dinamiskā līdzsvara un akumulatīvo krastu kopgarumā (attiecīgi 44% un 53%) veidojusies galvenokārt dēļ citas metodiskās pieejas un citas kritēriju izvēles. Savukārt par 5% lielākais erozijai pakļauto krasta posmu kopgarums ir izskaidrojams ar pastiprināto vētrainību novērojumu periodā.

Šāds pētījums, kurā veikta sanešu bilances analīze visai Baltijas jūras Kurzemes piekrastei laika posmam no 1992. gada un kurā izdalīti krasta nogāzes subaerālās daļas raksturīgie šķērsprofila tipi, ir noticis pirmo reizi. Iegūtajiem rezultātiem piemīt arī lietišķs aspekts – tos iespējams izmantot piekrastes teritoriju attīstības plānošanā un ar rekreāciju saistītu jautājumu risināšanā.

Turpmāki pētījumi promocijas darba tēmā ļautu uzlabot teritoriju plānošanai adresētu krasta attīstības prognožu precizitāti un zinātnisko kvalitāti.



## Literatūras saraksts

### Publicētā literatūra

- Arens, S., Wiersma, J., 1994. The Dutch Foredunes: Inventory and classification. *Journal of Coastal Research*, 10 (1), pp.189-200.
- Aubrey, D., 1979. Seasonal patterns of onshore/offshore sediment movement. *Journal of Geophysical Research*, 84, pp. 6347-6354.
- Aybulatov, N., Artyhin, Y., 1993. *Geoekologiya shelfa i beregov Mirovogo okeana*. Gidrometizdat, S.Petersburg, 242 s (Russian)
- Basinski, T., 1995. Technical aspects of shore protection at the Polish Baltic Coast. *Management and Preservation of Coastal Habitats*, 2, pp. 39-48.
- Benedet L., Finkl C. W., Klein A. 2004. Classification of Florida Atlantic beaches: Sediment variation, morphodynamics, and coastal hazards. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 39, pp.120-129.
- Bezrodnihs, J., Valpēteris, A., Venska, V., 1997. Ventspils ostas apkārtnes ģeofizikālās izpētes rezultāti. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*, 2, lpp.27-33.
- Bird, E.C.F., 1984. *Coasts: An Introduction to Coastal Geomorphology*. Oxford Press, Oxford, 232 p.
- Bird, E.C.F., 1987. The modern prevalence of beach erosion. *Maritime Pollution Bulletin*, 18 (4), pp.151-157.
- Blaihashin, A., 1973. Transport terigenogo materiala v Baltijskom more. *Litologiya i poleznye izkopajemye*. Zinatne, Riga, s 88-102. (Russian)
- Boldyrev, V., 1981. Beregovye processy v Baltijskom more. *Vodnye resursy*, 5, s 71-76. (Russian)
- Boldyrev, V., 1982. Osnovnye principi ukrepljenja peschanih beregov. *Baltica*, 7, s 215-221. (Russian)
- Boldyrev, V., 1992. Morfologyceskiye i litologyceskiye indikatory v regyonah s vdolberegovym potokom nanosov. *Osnovnye tendency i napravleniya migracij beregovoy liniy Baltyskogo morja za poslednee stoletye*. Akademya Nauk Eston`ii, Tallin, s 55-62. (Russian)
- Bowen, A. J. and Innman, D. L., 1966. Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California. *C.E.R.C. Technical Memorandum*, 19, pp.5-41.
- Boyd, R., Dalrymple, R., Zaitlin, B.A., 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80, pp.139-150.
- Bray, M.J., 1992. Coastal sediment supply and transport. In: Allison R.J. (ed.) *The coastal landforms of West Dorset*. Geologists Association, London, pp. 94-105.
- Bray, M.J., 1997. Littoral Cells and Budget Analysis for sediment Management in West Dorset, England. *Journal of Coastal Research*, 13(4), pp.256-269.
- Bray, M.J., Carter, D.J., Hooke, J.M., 1995. Littoral Cell Definition and Budgets for Central Southern England. *Journal of Coastal Research*, 11(2), pp.381-400.
- Bruun, P., 1954. Coastal erosion and development of beach profiles. *U.S. Army Beach erosion Board No 44*, Waterways Exploitation Station, Vicksburg, 85 p.

- Bruun, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways, Harbour Division*, 88, pp.117-130.
- Bruun, P., 1988. The Bruun rule of erosion by Sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, 4 (4), pp.627-648.
- Bruun, P., 1995. The development of downdrift erosion. *Journal of Coastal Research*, 11 (4), pp.1242-1257.
- Bulgakova, E., 1982. Nekotorye osobennosti morfologiy i dinamiki sovremennogo berega Baltijskogo morja. *Eksodinamicheskiye processy i metody ih issledovaniya*. Latvijskij Universitet, Riga, s 33-56. (Russian)
- Brommer, M. B., van der Burgh, B. L. M., 2009. Sustainable Coastal Zone Management: A Concept for Forecasting Long-Term and Large-Scale Coastal Evolution. *Journal of Coastal Research*, 25 (1), pp.181-188.
- Bynol', A., Cefel', P., 2002. Iskustvo obrabotki informaciy. Analiz statisticheskikh dannyh i vosstovovlenye skrytyh zakonomernostey. DiaSoft, Moskva, 230 s (Russian)
- Carter, R.W.G., 1988. *Coastal Environments: An Introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems*. Academic Press, London, 617 p.
- Carter, R.W.G., Orford, J.D., 1993. The morphodynamics of coarse clastic beaches and barriers: a short- and long-term perspective. *Journal of Coastal Research*, Special issue, 15, pp.158-179.
- Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D., 1994. Coastal evolution: an introduction. In: Carter R.W.G., Woodroffe C.D. (eds.) *Coastal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-33.
- Chrustalyev, Yu., 1982. Litodinamicheskiye processy beregovoy zony yuzhnykh morei i ye antropogennoe preobrazovaniye. *Geograficheskoye obshestvo SSSR, Leningrad*, 132 s (Russian)
- CIRIA, 1996. *Beach Management Manual*. CIRIA Report 153. Construction Industry Research and Information Association, 234 p.
- Cornaglia, P., 1891. Sul regime della spiagge e sulla regolazione dei porti. GB Paravia, Torino, 569 p.
- Cowell, P. J., Nelson, H., 1991. Management of beach erosion due to low swell, inlet and greenhouse effects: case study with computer modelling. *Proceedings 10<sup>th</sup> Australian Conference on Coastal and Ocean Engineering*, pp.329-333.
- Cowell, P.J., Thom, B.G., 1994. Morphodynamics of coastal evolution. In: Carter R.W.G., Woodroffe C.D. (eds.) *Coastal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 34-87.
- Davies, R., 1984. What is a wave dominated coast? *Marine Geology*, 60, pp.313-329.
- Dean, R. G., 1977. Equilibrium beach profiles. U.S. Atlantic Coasts. *Ocean Engineering Report*. University of Delaware, Newark, 45 p.
- Dean, R. G., 1983. Principles of Beach Nourishment. In: Komar P. D. (ed.) *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, Boca Raton, 231 p.
- Deen, R. G., 1991. Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of Coastal Research*, 7, pp.53-84.

- De Vriend, H.J., 1991. Modeling in marine morphodynamics. In: Arcilla, A.S., Pastor, M., Zienkiewicz, O.C., Schrefler, B.A. (eds.) *Computer modeling in ocean engineering 91*, Balkema, Rotterdam, pp. 247-260.
- Dolotov, Yu., 1982. Dynamic conditions of sediment differentiation and depositional environments in the near-shore part of the continental shelf. *Baltica*, 7, pp.105-120.
- Dolotov, Yu., 1989. *Dinamicheskiye obstanovki pribrezhno-morskogo reljefoobrazovanya i osadkonakoplenya*. Nauka, Moskva, 269 s (Russian)
- Eberhards, G., 2000a. Eolā akumulācija priekškāpu joslā – mūsdienu krasta procesu indikators Latvijas piekrastē. *LU 58. Zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp.42-43.
- Eberhards, G., 2000b. Jūras stāvkrasta noskalošana Jūrkalnē un prognozes. *LU 58. Zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp.39-41.
- Eberhards, G., 2002. Jūras krasta ģeoloģiskie procesi. *Latvijas vides indikatoru pārskats, 2001*. Latvijas Vides Aģentūra, Rīga, lpp.109-115.
- Eberhards, G., 2003. *Latvijas jūras krasti*. Latvijas Universitāte, Rīga, 259 lpp.
- Eberhards, G., Grīne, I., Lapinskis, J., Purgalis, I., Saltupe, B., Torklere, A., 2009. Changes in Latvia's seacoast (1935-2007). *Baltica*, 22 (1), pp. 11-22.
- Eberhards, G., Lapinskis, J., 2008. *Baltijas jūras Latvijas krasta procesi. Atlants. Processes on the Latvian Coast of the Baltic Sea. Atlas*. Latvijas Universitāte, Rīga, 64 lpp.
- Eberhards, G., Purgalis, I., 2008. Pieaugošo Latvijas jūras krastu eroziju sekmējošie faktori. *Klimata mainība un ūdeņi*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 40-48.
- Eberhards, G., Saltupe, B., 1993. Latvijas jūras krastu monitorings. *Vides monitorings Latvijā 3*, Rīga, 46 lpp.
- Eberhards, G., Saltupe, B., 1995a. Accelerated coastal erosion – implications for Latvia. *Baltica*, 9, pp.6-28.
- Eberhards, G., Saltupe, B., 1995b. Ostas un to ietekme uz krasta procesiem un to izmaiņām Latvijas piekrastē. *Latvijas Universitātes 54. zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 21-22.
- Eberhards, G., Saltupe, B., 1999. Pastāvīgais Latvijas jūras krastu monitorings – eksperiments un prakse. *Latvijas Universitātes Ģeogrāfiski Raksti*, 7, lpp.1-10.
- Eberhards, G., Saltupe, B., 2002. Latvijas jūras krastu jūtīgums pret noskalošanu vētrās un riska zonas. *Latvijas Universitātes 60. Zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp.144-147.
- Eberhards, G., Saltupe, B., Lapinskis, J., 2001. Latvijas jūras krasti un globālā klimata maiņa 21. gadsimtā. Riska zonas un problēmas. 2. *Pasaules latviešu zinātnieku kongress. Referātu tēzes*. Latvijas Zinātņu akadēmija, Rīga, lpp.268-269.
- Eberhards, G., Saltupe, B., Lapinskis, J., 2004. Jūras krasta ģeoloģisko procesu monitorings. *Latvijas Universitātes 62. zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp.198-199.
- Fairbridge, R.W., 2004. Classification of Coasts. *Journal of Coastal Research*, 20 (1), pp.155-165.

- Finkl, C. W., 2004. Coastal classification: Systematic approaches to consider in the development of a comprehensive system. *Journal of Coastal Research*, 20 (1), pp.166-213.
- French, P.W., 2001. *Coastal Defences: processes, problems and solutions*. Routledge, London, 325 p.
- Galeniece, M., 1935. Latvijas purvu un mežu attīstība pēcdeduslaikmetā. *Acta Universitatis Latviensis*, Lauksaimniecības rakstu sērija.2, lpp.20-24.
- Galon, R., 1960. Problem of geomorphological classification of the Polish coast. *Przegląd geograficzny*, 32, pp.12-21.
- Grewingk, K., 1861. *Geologie von Liv- und Kurland mit Inbegriff einiger angrenzenden Gebiete*. Dorpart. Serie 1, 2, S. 479–776.
- Grinbergs, E., 1957. *Pozdnyelednikovaya i poslelednikovaya istoriya poberezhya Latvijskoi SSR*. Izdatelstvo Akademii Nauk LSSR, Riga, 122 s (Russian)
- Gudelis, V., 1967. Morfogenetycheskye tipi beregov Balt`iskogo morya. *Baltica*, 3, pp.123-145. (Russian)
- Gudelis, V., 1982. Research on shoreline changes and shore processes in the soviet Baltic republics. *Baltica*, 7, pp.131-195.
- Hall, J. V., Meadowcroft, I. C., Lee, E. M., Gelder, P. H., 2002. Stochastic simulation of episodic soft coastal cliff recession. *Coastal Engineering*, 46 (3), pp. 159-174.
- Hadson, H. R., 1982. A Field technique to directly measure river bank erosion. *Journal of Earth Sciences*, 19 (2), pp. 381-383.
- Hanson, H., Lindh, G., 1993. Coastal erosion – an escalating environmental threat. *Ambio*. 22 (4), pp.188-195.
- Hapke, C. J., Reid, D., Richmond, B., 2009. Rates and Trends of Coastal Change in California and the Regional Behavior of the Beach and Cliff System. *Journal of Coastal Research*, 25 (3), pp.603-615
- Hardisty, J., 1990. *Beaches: Form and Process*. Unwin Hyman Inc., New York, 369 p.
- Haslett, S. K., 2000. *Coastal Systems: introduction to environment*. Routledge, New York, 218 p.
- Hausen, H., 1913. Über die Entwicklungen der Oberflächenformen in der eussischen Ostseeländern und angrenzenden Gouvernements in der Quartärzeit. *Fennia*, 32, S. 142.
- Healy, T., 1996. Sea level rise and impacts on nearshore sedimentation: an overview. *Geologische Rundschau*, 85, pp. 546-553.
- Hesp, P.A., 1999. The Beach Backshore and Beyond. In: Short, A.D. (ed) *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. J. Wiley&Sons, New York, pp. 145-169.
- Hillen, R., Roelse, P., 1995. Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands. *Journal of coastal conservation*, 10, pp.7-27.
- Hjulstrom, F., 1939. Transportation of detritus by moving water. In: Trask P. D. (ed.) *Symposium of Recent Marine Sediments*. American Association of Petroleum Geologists, Tulusa, pp. 5-31.
- Hooke J. M., 1979. An analysis of the processes of river bank erosion. *Journal of Hydrology*, 1–2, pp. 39-62.

- Hooke, J. M., 1980. Magnitude and Distribution of Rates of River Bank Erosion. *Earth Surface Processes*, 5 (2), pp. 143-157.
- Hudson, H. R., 1982. A field technique to directly measure river bank erosion. *Journal of Earth sciences*, 19 (2), pp. 381-383.
- Inman, D. L., Brush, B. M., 1973. The Coastal Challenge. *Science*, 181, pp.20.-32.
- Johnson, D. W., 1919. *Shore processes and shoreline development*. Wiley, New York.
- Jurkova, L. G., 1995. Beach as an Indicator and a regulator of Drift Sediments. *Coastal Coservation and Mangement IN THE Baltic Region*. EUCC – WWF Conference Proceedings, pp. 100-103.
- Juškevičs, V., 1999a. *Zemkvarrtāra vismas reljefa karte*. Mērogs 1:500000, Latvijas ģeoloģiskā karte. Paskaidrojuma teksts un kartes. Valsts Ģeoloģijas dienests, Rīga. 52 lpp.
- Juškevičs, V., 1999b. *Kvartāra nogulumi*. Latvijas ģeoloģiskā karte. Mērogs 1:200000, Paskaidrojuma teksts un kartes. Valsts Ģeoloģijas dienests, Rīga. Lpp. 8-24.
- Kaplyn, P., Leont'ew, O., Lukyanova, S., 1991. *Berega*. Misl', Moskva, 479 p. (Russian)
- Kaplyn, P., Portov, A., Selyvanov, A., 1992. Izmenenye beregovoy zony pry bystrom podyome urovnya Mirovogo okeana v rezultate vlyanya „parnykovogo efekta”. *Geomorfologya*, 2, s 3-13. (Russian)
- King, C. A. M., 1972. *Beaches and coasts*, 2<sup>nd</sup> edition. Edward Arnold Publishing, London, 570 p.
- Kirilis, V., 1990. Impact of extreme storms on the shallow and sandy coasts of the South-eastern Baltic. *Problems of Coastal Dynamics and Paleogeography on the Baltic Sea*, 1, pp. 83-96.
- Klein, R. J. T., Nicholls, R. J., 1999. Assesment of Coastal Vulnerability to Climate Change. *Ambio*, 28 (2), pp. 182-187.
- Kļaviņš, M., Briede, A., 2009. *Klimata mainība Latvijā: aktualitātes un piemērošanās pasākumi*. VPP „KALME”, Rīga, 64 lpp.
- Knaps, R., 1938. Prufung der Formel von prof. Munch-Petersen über Materialwanderung an der lettischen Küste. *VI Baltische Hydrologische Konferenz*. Bericht, Berlin, S. 60.
- Knaps, R., 1965. *Peremeshenye nanosov u beregov vostochnoy Baltyki*. Latgydroprom, Riga, 57 s (Russian)
- Knaps, R., 1982. Wlyanye nerovnostey kontura berega na vdolyberegovoye peremeshenye nanosov. *Baltica*, 7, pp.195-201. (Russian)
- Komar, P. D., 1971. The mechanics of sand transport on beaches. *Journal of Geophysical Reserch*, 76 (3), pp.122-134.
- Komar, P. D., 1996. The Budget of Littoral Sediments – Concepts and Applications. *Shore & Beach*, 64, pp.18-26.
- Komar, P. D., 1998. *Beach processes and sedimentation*. Second edition. Prentice Hall, New Jersey, 541 p.
- Korobova, I., 1974. Cyklychnost' kolebanya shtormovoy aktyvnosty i prognoz zanosymosty Ventspilskogo kanāla. *Problemy proyektyrovanya beregovykh sooruzheniy*. Nauka, Moskva, s 125-138. (Russian)

- Korotky', A., Hudyakow, G., 1990. *Exogenye geomorfologicheskiye systemy morskyyh beregov*. Nauka, Moskva, 214 s (Russian)
- Kosyan, R.D., Pykhov, N.V., Edge B.L., 2000. *Coastal Processes in Tideless Seas*. Asce Press, American Society of Civil Engineers, 250 p.
- Lapinskis, J., 2002. Shore erosion on the Latvian open Baltic coast associated with 1999 and 2001 storm events. NorFA seminar. *Environment and Settling along the Baltic Sea coasts through time*. Abstracts. Pärnu, pp.11-12.
- Lapinskis, J., 2003. Atklātas Baltijas jūras Latvijas pludmales kā jūras krastu mūsdienu dinamiskās attīstības indikators. *Latvijas Universitātes 61. zinātniskā konference*. Referātu tēzes. Rīga, lpp.158-160.
- Lapinskis, J., 2004. Vētru atkārtotamība un pludmales apjoma ilggadīgās svārstības dinamiski neitrālos krastos. *Latvijas Universitātes 62. zinātniskā konference*. Referātu tēzes. Rīga, lpp. 144-146.
- Lapinskis, J., 2005. Long-term fluctuations in the volume of beach and foredune deposits along the coast of Latvia. *Baltica*, 18 (1), pp.38-43.
- Lapinskis, J., 2009a. Jūras krasta rajonēšana Latvijā pēc litomorfodinamiskām pazīmēm. *Rīgas Tehniskās Universitātes zinātniskie raksti*, Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, 19 (1), lpp. 168-174.
- Lapinskis, J., 2009b. Preterozijas pasākumi Baltijas jūras Latvijas krastā. *Latvijas Universitātes 67. zinātniskā konference*. Referātu tēzes. Rīga, lpp. 211-212.
- Lapinskis, J., Eberhards, G., 2005. Storm effects on the open Baltic exposed coastal relief of Latvia. *Quaternary Geology and Modern Terrestrial Processes*. Proceedings of the International Field Symposium, Apatity. Pp. 34-35.
- Lapinskis, J., Eberhards, G., 2006. Jūras krasta pārejas zonas dinamika Kurzemes rietumos (1992 – 2005). *Latvijas Universitātes 64. zinātniskā konference*. Referātu tēzes, Rīga, lpp. 126-127.
- Latvija. *Fizioģeogrāfiskā karte*. 1999. Karšu izdevniecība Jāņa sēta, Rīga.
- Leont'ew, I., 2001. *Pribrezhnaya dinamika: volny, techenya, potoky nanosov*. Geos, Moskva, 310 s (Russian)
- Leont'ew, I., Nykyforov, L., Safyanov, G., 1975. *Geomorfologiya morskyyh beregov*. Moskowsky University, Moskva, 335 s (Russian)
- Longynov, V., 1961. Iz ystoriyi izucheniya dynamyki beregovoy zony. *Trudy` Okeanografycheskoy komysii Akademii Nauk SSSR*, Moskva, s 161-196. (Russian)
- Longynov, V., 1963. *Dynamyka beregovoy zony besprylivnyh morey*. Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, Moskva, 379 s (Russian)
- Mazzer, A. M., Souza, C. R. G., Dillenburg, S. R., 2009. A Method to Determinate Coastal Cells in Sandy Beaches of Southeast Coast of Santa Catharina Island, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp. 98-102.
- Mortensen, H., 1921. *Die Morphologie der samländischen Steilküste*. Veröffentlichung des geografische Instituut zu Königsberg, S.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*, 10(4), pp. 884-908.

- Morton, R. A., Sallenger, A. H., Peterson, R. L., Elko, N. A., 2001. Integrated morphological and historical mapping – a key to real-time forecasting of storm impacts. GSA Annual Meeting. *Americas Coastal Crisis – Providing the Geoscience Information Needed to Conserv and Protect Coastal Resources*. Abstracts. St. Petersburg, pp. 252-259.
- Morton, R.A., 2002. Factors controlling storm impacts on coastal barriers and beaches – a preliminary basis for real-time forecasting. *Journal of Coastal Research*, 18, pp. 486-501.
- Morton, R.A., Sallenger, A.H., 2003. Morphological impacts of extreme storms on sandy beaches and barriers. *Journal of Coastal Research*, 19, pp. 442-449.
- Motyka, J. M., Brampton, A. H., 1993. Coastal management: Mapping of littoral cells. *Hydraulics Research*, Report SR 328, Wallingford, 102 p.
- Munch-Petersen, T., 1936. Über Materialwanderung an Meeresküsten. *V Hydrologische konferenz der Baltischen Staaten*. Helsinki, S. 67.
- Mūrnieks, A., 1999. *Pirmskavartāra nogulumu. Latvijas ģeoloģiskā karte*. Mērogs 1:200000. Paskaidrojuma teksts un kartes. Valsts Ģeoloģijas dienests, Rīga, 52 lpp.
- Nordstrom, K. F., 1994. Developed coasts. In: Carter R.W.G., Woodroffe C.D. (eds) *Coastal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 477-511.
- 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, pp. 96-106.
- Orviku, K., aagus, J., Kont, A., Ratas, U., Rivis, R., 2003. Increasing Activity of Coastal Processes Associated with Climate Change in Estonia. *Journal of Coastal Research*, 19 (2), pp. 364-375.
- Overton, M. F., Pratikto, W. A., Lu, J. C., Fisher, J. S., 1993. Laboratory investigation of Dune Erosion as a Function of Sand Grain size and Dune Density. *Coastal Engineering*, 23, pp. 151-165.
- Peterson, C.D., Jackson, P.L., O'Neil, D.J., Rosenfeld, C.L., Kimerling, A.J., 1990. Littoral Cell Response to Interannual Climatic Forcing 1983-87 on the Central Oregon Coast. *Journal of Coastal Research*, 6 (1), pp. 87-110
- Pilkey, O. H., Katherine, L. D., 1996. *A Celebration of the Worlds barrier islands*. Columbia University Press, New York, 262 p.
- Pilkey, O. H., Young, R.S., Riggs, S.R., Smith, A.W., Wu, H., Pilkey, W.D., 1993. The concept of shoreface profile of equilibrium: a critical review. *Journal of Coastal Research*, 9 (1), pp. 255-278.
- Pratje, O., 1932. Der Verbleib des Abbruchmaterials der Saulandküste ein Beispiel für die Abbildung von Strömungen in Küstennahen sedimenten. Königsberg, S. 51.
- Pruszek, Z., 2004. Polish coast – two cases of human impact. *Baltica*, 17 (1), pp. 34-40.
- Pupienis, D., Žilinskas, G., 2005. Specific features of morphodynamic processes in the dumps of the Lithuanian offshore. *Baltica*, 18 (1), pp. 29-38.
- Pye, K., Tsoar, H., 1990. *Aeolian sand transport and sand dunes*. Unwin Hyman Ltd., London, 388 p.
- Reeve, D. E., Fleming, C. A., 1997. A statistical–dynamical method for predicting long term coastal evolution. *Coastal Engineering*, 30, pp. 259-280.

- Renzo, D. C., Simeoni, U., 1994. A Model for Determining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, 10(1), pp. 18-29.
- Revelis, P., 1938. Materialwanderung an der Lettischen Küste. *VI Baltische Hydrologische konferenz. Bericht*, Berlin. S. 22-35.
- Rijn, L. C., 1997. Sand transport and bed composition along cross-shore profile. *Coastal Dynamics*, Plymouth, 250 p.
- Rijn, L.C., 1998. *Principles of Coastal morphology*. AQUA Publications, Amsterdam, 680 p.
- Roelvink, J. A., 1993. Dissipation in random wave groups incident on a beach. *Coastal engineering*, 19, pp. 127-150.
- Roy, P. S., Cowell, P. J., Ferland, M.A., Thom, B.G., 1994. Wave-dominated coasts. In: Carter R.W.G., Woodroffe C.D. (eds) *Coastal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 88-121.
- Safyanov, G., 1978. *Beregovaya zona okeana v XX veke*. Misl', Moskva, 216 p. (Russian)
- Safyanov, G., 1996. *Geomorfologiya morskoyh beregov*. Izdat'elstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Universyteta, Moskva, 325 s (Russian)
- Saltupe, B., Eberhards, G., 1990. Metodika sozdanya i expluotacii sistemy` regional`nogo monitoringa plyazhei (na primere Rizhskogo zaliva). *Exodinamicheskiye procesy i metodi ih isledovanya*, 574, s 7-17. (Russian)
- Schwab, W. C., Thieler, E. R., List, J. H., Sallenger, A. H., 2001. Geological mapping of the coastal zone: critical information for management of coastal resources. GSA Annual Meeting. *Americas Coastal Crisis – Providing the Geoscience Information Needed to Conserv and Protect Coastal Resources*. Abstracts. St. Petersburg, pp. 280-288.
- Schwarzer, K., Diesing, M., Larson, R-O., Niedermeyer, W., Schumacher, K., 2003. Coastline evolution at different time scales – examples from the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea. *Marine Geology*, 194 (1), pp. 279–301.
- Selyvanov, A., 1996. *Izmenenye urovnya okeana v pleistocene`- golocene` i razvitye morskoyh beregov*. Izdat'elstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Universyteta, Moskva, 255 s (Russian)
- Sexton, W. J., 1995. The Post-storm Hurricane „Hugo” recovery of the undeveloped beaches along the South Carolina coast. *Journal of Coastal Research*, 12(4), pp. 823-830.
- Shepard, F. P., 1963. *Thirty-five thousand years of sea level. Essays in Marine Geology*. University of Southern California Press, Los Angeles, 201 p.
- Short, A. D., 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. J. Wiley&Sons, Pitsburg, 379 p.
- Shuysky`, Yu., 1982. Abrazya podvodnogo sklona vostochnoy chasti Baltyskogo morya. *Baltica*, 7, s 223-234. (Russian)
- Shuysky`, Yu., Vychovanec, G., 1989. *Exogenye procesy razvitya akumulativnyh beregov v severozapadnoy chasti Chernogo morya*. Nedra, Moskva, 198 s (Russian)
- Souza, C. R., 2007. Determination of Net Shore-Drift Cells Based on Textural and Morphological Gradations along Foreshore of Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 50, pp. 620-625.



- Speransky, N., Kirilys, V., Shichkus, B., 1982. Mass transport i priboynye bie`nya v beregovoy zone morya. *Baltica*, 7, s 121-130. (Russian)
- Stakle, P., 1936. *Ūdenslīmeņa, jūras straumju un sanešu kustības novērojumi Latvijas piekrastē 1929–1933*. Finanču ministrija, Jūrniecības departaments, 133. lpp.
- Steezel, H. J., 1990. Cross-shore transport during storēm surges. *Proceedings 21th ICCE*. Delft, pp. 1922-1934.
- Stive, M. J. F., 1986. A model for cross-shore sediment transport. *Proceedings 20th ICCE*. Taipei, pp. 1836-1849.
- Stive, M. J. F., Roelvink, J. A., Vriend, H. J., 1991. Large scale coastal evolution concept. *Proceedings 22th ICCE*. Delft, pp. 1122-1138.
- Swift, D. J. P., Thorne, J. A., 1991. Sedimentation on continental margins: a general model for shelf sedimentation. *Sedimentology*, pp. 14, 3-31.
- Thom, B. G., 1984. Transgressive and regressive stratigraphies of coastal sand barriers in eastern Australia. *Marine Geology*, 7, pp. 161-168.
- Thom, B. G., Hall, W., 1991. Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, pp. 113-127.
- Thom, B. G., Roy, P. S., 1988. Sea-level rise and climate: lessons from the Holocene. *Greenhouse: planning for climatic change*. CSIRO, Melbourne, pp. 177-188.
- Torklere, A., 2008. *Latvijas mūsdienu lēzeno jūras krastu virsūdens daļas dinamika*. Promocijas darba kopsavilkums, Latvijas Universitāte, Rīga, 72 lpp.
- Ul'st, V., 1961. K voprosu o zakonamernostyah razvy`tya eolovoy akumulacii na morskome beregu. *Morskoye berega*. Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, Moskva, pp. 93-100. (Russian)
- Ul'st, V., 1964. Nakoplenye ty`azholyh mineralov v sovremennyh pribrezhno-morskoyh otlozhenyakh. *Teoretycheskiye voprosy izucheniya morskoyh beregov*. Nauka, Moskva, s 69-81. (Russian)
- Ul'st, V., 1965. Diferenciacy`a peschanogo materyala po forme zeren v pribrezhno-morskoyh uslovyakh. *Baltica*, 2, s 167-180. (Russian)
- Ulsts, V., 1961. Piekraste. *Latvijas PSR ģeoloģija*. Zinātne, Rīga. lpp. 214.-250.
- Ulsts, V., 1998. *Baltijas jūras Latvijas krasta zona*. Valsts Ģeoloģijas Dienests, Rīga, 96 lpp.
- Valentin, H., 1952. *Die Küsten der Erde*. EB. Hermann Haack, Gotha, S. 246.
- Veinbergs, I., 1986. *Drevnye berega Sovetskoy Baltiki i drugih morei SSSR*. Zinatne, Riga, 168 s (Russian)
- Veinbergs, I., Danilans, I., 1992. Evolycija sovremmenogo morskogo berega Latviy. *Evolycija beregov v uslovyjah podnyatya urovnya okeana*. Nauka, Moskva, s 116-121. (Russian)
- Veinbergs, I., Grinbergs, E., Danilans, I., Ulst, V., 1974. Pozdnelednikovaya i poslednednikovaya istorya Baltiki po materiālam izucheniya Latviyskogo poberezya. *Baltica* 5, s 89-93. (Russian)

- Veinbergs, I., Roze, V., Rozenblats, M., Bulgakova, E., Karpov, V., Veinberga, A., Brasavs, G., Meijere, M., 1979. *Sostavlenye karty morfologiji i dinamiki beregovoy zony morya Latvviyskoy SSR i rekomendaciy po ye zashite*. Riga, 252 s (Russian)
- Venska, V., 1990. Morskaya abraziya. *Eksodinamiceskiye processy i metody ih issledovanya*. Latvvijskij Universitet, Riga, s 20-31. (Russian)
- Weishar, L., Tiffney, W., De Kimpe, J., Fiejds, M., 1991. Shoreline response to offshore shoals and storms. Low Beach, Nuntucket. *Coastal zone*, 3, pp. 2435-3449.
- Woodroffe, C. D. 2002. *Coasts: Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, 623 p.
- Wright, L. D., 1976. A Cine-Camera Technique for Process Measurement on a Ridge and Runnel Beach. *Sedimentology*, 23, pp. 705-712.
- Wright, L. D., Short, A. D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A sintesis. *Marine Geology*, 56, pp. 93-118.
- Wright, L. D., Thom, B.G., 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geograph*,. 1, pp. 412-459.
- Yonin, A., Kaplyn, P., Medvedev, V., 1959. Klassifikacya tipov beregov zemnogo shara. *Voprosy izucheniya morskyyh beregov*. Akademiya Nauk SSSR, Moskva, s 94-108. (Russian)
- Yurkova, L. G., 1994. Beach as an indicator and a regulator of drift sediments. *EUCC – WWF Conference*, pp. 23-29.
- Zenkowitch, V., 1967. *Processes of coastal Development*. Oliver and Boyd Publishing, Edinburg, 738 p.
- Zenkowitch, V., 1946. Dinamika i morfologiya morskikh beregov. *Morskoy transport*, Moskva, s 120-155. (Russian)
- Zenkowitch, V., 1962. Osnovnye polozheniya teoryi obrazovaniya akumulativnykh form pribrezhnoy zony morya. *Voprosy izucheniya morskikh beregov*. Akademiya Nauk SSSR, Moskva, s 87-101. (Russian)
- Zenkowitch, V., 1980. *Morskaya geomorfologiya. Terminologicheskiy spravochnyk*. Akademiya Nauk SSSR, Moskva, 280 s (Russian)
- Zharomskis, R., 1985. Beregovaya zona morya – sreda formirovaniya specificheskikh landshaftov. *Geograficheskiye aspekty izucheniya Mirovogo okeana*, s11-12. (Russian)
- Žaromskis, R. P., 1997. *Morphology and development of coastal zone in the basins with varying dynamic regime*. PhD Thesis, Vilnius, 50 p.
- Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., Pupienis, D., 2003. The influence of nearshore sediment supplies on the coast. *The Geographical Yearbook*, XXXVI, pp. 99-109.

### **Nepublicētie informācijas avoti**

*Latvijas Jūras krastu ģeoloģisko procesu monitoringa dati par 1992.-2008. gadiem* (pieejami LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Jūras krastu laboratorijā);

Eberhards, G., 2008. *Lauku pētījumu pieraksti* (1990.-2008.)

Latvijas ģeodatubāze „GIS Latvija 2004”, 2004. SIA „Enwirotech

## **Pielikumi**

1. pielikums. Krasta aizsargbūves un funkcionāli pielīdzināmi objekti Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (Lapinskis, 2009b)

Objekta nosaukums	Konstrukcijas veids	Krasta posma garums	Konstrukcijas tehniskais stāvoklis	Tiešā efektivitāte
Papes kanāla moli	Koka pāļu un laukameņu moli. Orientēti slīpi pret krasta līniju. Molu garums 170 un 240 m.	Attālums starp moliem – 470 m	Dienvidu mola stāvoklis – ļoti slikts; Ziemeļu mola stāvoklis - slikts	Krasta posmā starp moliem notiek pastiprināta sanešu akumulācija
Papes bāka	Paralēli krastam pludmalē izvietotas koka pāļu rindas ar akmeņu pildījumu, kombinētas ar betona bloku un akmeņu krāvumiem (rip-rap), betona atbangošanas sienu un īsām, krastam perpendikulārām pāļu rindām	60 m	Konstrukcijas savu funkciju veic un to stāvoklis ir apmierinošs	Konstrukciju priekšā nav pludmales. Segtajā posmā pamatkrasta erozija nenotiek.
Brenāti (Veckrūmu mājas)	Būvgružu un laukakmeņu krāvums (rip-rap)	100 m	Konstrukcijas savu funkciju veic un to stāvoklis ir apmierinošs	Konstrukciju priekšā pludmale veidojas reti un saglabājas īslaicīgi. Segtajā posmā pamatkrasta erozija nenotiek.
Liepājas Forti	Daļēji sagrautas, masīvas betona un dzelzbetona konstrukcijas (krasta aizsardzības fortifikācijas)	Dienvidu forti – 700 m; Ziemeļu forti – 600 m	Paredzamā funkcionalitātes saglabāšanās >50 gadi	Fortu drupas funkcionē līdzīgi atbangošanas sienas un rip-rap kombinācijai. To priekšā nav pludmales. Segtajā posmā pamatkrasta erozija nenotiek.

1. pielikuma turpinājums

Objekta nosaukums	Konstrukcijas veids	Krasta posma garums	Konstrukcijas tehniskais stāvoklis	Tiešā efektivitāte
Liepājas notekūdeņu attīrīšanas iekārtas	Paralēli krastam pludmales augšējā daļā novietotu, ar akmeņiem pildītu slīpu stiepļu grozu (gabionu) rinda. Liepājas NAI attīrīto notekūdeņu izvads pārklāts ar dzelzbetona „krāvumu” izveidojot zemu, krastam perpendikulāru būnu	600 m; Būnas garums – 60 m	Konstrukcijas savu funkciju veic un to stāvoklis ir labs. Vētru radītie bojājumi tiek novērsti.	Konstrukciju ziemeļu daļā nelabvēlīgos laikapstākļos tiek noskalota pludmale un pastāv konstrukciju bojājumu risks. Segtajā posmā pamatkrasta erozija nenotiek.
Pāvilostas centrs	Paralēli krastam pludmales augšējā daļā novietota, ar akmeņiem pildītu vertikālu stiepļu grozu (gabionu) rinda	100 m	Konstrukcijām piemīt būtiskas tehniskas nepilnības. Tās ir daļēji ieskalotas smiltīs un sagāzušās	Daļa konstrukciju neskatoties uz bojājumiem saglabā funkcionalitāti
Užavas bāka	Paralēli krastam pamatkrasta nogāzē izvietots, betona bloku un tetrapodu krāvums (rip-rap)	150 m	Konstrukcijas savu funkciju veic un to stāvoklis ir labs	Konstrukciju priekšā pludmale veidojas reti un saglabājas īslaicīgi. Segtajā posmā pamatkrasta erozija nenotiek.
Ventspils Nafta	Paralēli krastam pamatkrasta nogāzē ierīkota lēzena dzelzsbetona plātņu uzskalošanās siena	700 m	Konstrukcijām nav būtisku bojājumu	Tiešā Ventspils ostas Z mola tuvumā sanešu dominē akumulācija. Krasta preterozijas būves šajā iecirknī nav nepieciešamas.

2 pielikums. Pamatkrasta noskalošanas pētīšanas stacionāri Baltijas jūras Kurzemes piekrastē (npublicēti LJKGPM dati, 1992-2008)

Stacionāra nosaukums	Stacionāra garums, m	Stacionārā iekļauto līniju skaits	Stacionāra izviedošanas gads
Mietrags 2	900	33	1993
Mietrags 1	800	35	1993
Bernāti 1	1200	44	1992
Bernāti 2	200	16	1993
Bernāti 3	750	31	1992
Liepāja 1	500	15	1992
Liepāja 2	600	25	1993
Forti	400	15	1994
Šķēde	6800	42	1994
Strante	500	23	1992
Ulmale 3	350	17	2003
Ulmale 1	600	25	1992
Ulmale 2	500	20	1992
Labrags	450	18	1992
Rīva	500	31	1992
Muiža	550	55	1992
Jūrkalne 7	150	7	2001
Jūrkalne 2	200	13	1992
Jūrkalne 1	400	24	1992
Jūrkalne 3	500	30	1992
Jūrkalne 5	50	4	1995
Jūrkalne 6	450	27	1998
Jūrkalne 4	350	19	1992
Zaķi	1000	28	1998
Sārnate	250	16	1992
Užava 1	100	8	1994
Užava 2	100	4	1994

## 2. pielikuma turpinājums

Stacionāra nosaukums	Stacionāra garums, m	Stacionārā iekļauto līniju skaits	Stacionāra izviedošanas gads
Tankodroms 4	900	39	2000
Tankodroms 3	700	30	1993
Tankodroms 2	500	23	1993
Tankodroms 1	850	47	1992
Ventspils 1	300	17	1992
Ventspils 2	100	8	1992
Ventspils 5	150	9	2001
Ventspils 3	400	21	1992
Ventspils 4	600	30	1992
Vecupe	850	34	2001
Staldzene	450	17	1992
Staldzene 2	1150	35	2000
Bušnieki 1	200	10	1992
Lošupe	300	12	2000
Kabelis	200	14	1994
Bušnieki 2	350	17	1992
Bušnieki 5	250	7	2000
Bušnieki 3	400	24	1992
Bušnieki 4	450	24	1999
Mazezers	800	32	2001
Liepene 1	300	18	1992
Kempings	150	7	2001
Raggaļi	600	28	1999
Liepene 2	300	19	1996
Liepene 3	400	22	2000.
Jaunupe 2	300	15	1996
Jaunupe 1	150	9	1992
Kolka 2	450	18	1992
Kolka 6	200	11	1993
Kolka 1	1200	52	1992
Kolka 7	200	11	1999
Kopā	33300	1286	



ISSN .....

ISBN .....