

LATVIJAS UNIVERSITĀTES  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTES  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

Straumes un ar tām saistītās sanešu plūsmas Rīgas līča austrumu  
piekrastē, Skultē

**MAGISTRA DARBS**

Autors: **Miks Papirtis**

Stud.apl.nr. mp17075

Darba vadītājs:

PhD, Māris Skudra

Rīga, 2019

## **Anotācija**

Maģistra darbā “Straumes un ar tām saistītās sanešu plūsmas Rīgas līča austrumu piekrastē, Skultē” ir veikta zinātniskās literatūras analīze par jūras gultnes morfoloģiju un to veidojošajiem faktoriem, kā arī aprakstīti Rīgas līča klimatiskie un hidroloģiskie apstākļi, kas ietekmē straumju veidošanos. Darba ietvaros tika veikti straumes mērījumi ar ADCP (*Acoustic Doppler current profiler*) iekārtu, kas veikti netālu no Skultes ostas, Rīgas līča austrumu piekrastē. Papildus tika veikta grunts paraugošana un zondes mērījumi, kas sniedz informāciju par piegultnes ūdens temperatūru, sāļumu un duļķainību (turbiditāti). Mērījumi veikti rudens (2018. gads) un pavasara (2019. gads) sezonā, lai noteiktu straumju dinamikas izmaiņas attiecīgajos laika periodos un to ietekmi uz sanešu transportu.

**Atslēgas vārdi:** Rīgas līcis, straumes, ADCP, sanešu transports, Skultes osta.

## **Annotation**

Masters' thesis " Currents and their relation to sediment transport in the eastern coast of the Gulf of Riga, Skulte " carries out analysis of scientific literature on sea bottom morphology and its forming factors as well as description of climate and hydrology characteristics that are the driving factors for currents in the Gulf of Riga. The study consists of current measurements using ADCP (Acoustic Doppler current profiler) in the eastern coast of the Gulf of Riga, near the port of Skulte. In addition, sediment sampling and CTD probe measurements were performed to provide information on water temperature, salinity and turbidity. Measurements were made during the autumn and spring seasons in order to detect the changes in the current dynamics in the respective periods and their influence on the sediment transport.

**Keywords:** Gulf of Riga, currents, ADCP, sediment transport, Skulte port.

## IEVADS

Rīgas līcis ir Baltijas jūras apakšbaseins ar unikālu hidrodinamisku vidi, un tas ir cieši saistīts ar bioķīmiskiem, ekoloģiskiem un ekonomiskiem Baltijas jūras aspektiem. Līča dinamikai piemīt līdzīgas pazīmes kā lielam ezeram, estuārijam vai pat mazam okeānam (BACC Author Team, 2008), kura izpēte ir bijusi izaicinājums daudziem pētniekiem (Leppāranta and Myrberg 2009).

Rīgas līcī galvenās straumju īpatnības un ūdens cirkulāciju nosaka ūdens apmaiņa ar atklāto Baltijas jūru, saldūdens ieplūde līča dienvidu daļā, kā arī meteoroloģiskie apstākļi. Nesenie modelēšanas rezultātā iegūtie pētījumi parāda, ka Rīgas līcī ūdens cirkulācijai ir tendence mainīt savu virzienu atkarībā no sezonas – cikloniska tipa cirkulācija gada aukstajā periodā un anticikloniska cirkulācija gada siltajā periodā (Lips et al. 2016a). Rīgas līča piegultnes straumju modeļu dati rāda, ka piekrastes zonā novērojamas straumes, kuru ātrums ir lielāks par 10 cm/s un kuras ir pietiekami spēcīgas, lai nodrošinātu konstantu duļķaino materiālu transportu (Elken 2002).

Līdzšinējie pētījumi saistībā ar straumēm Rīgas līcī pārsvarā balstās uz modeļu rezultātiem (piemēram, Soosaar et al. 2014; Soosaar et al. 2015; Lips et al. 2016a; Lips et al. 2016b), taču datu par tiešiem straumju mērījumiem ir salīdzinoši maz vai arī tie tikuši veikti par salīdzinoši īsu laika periodu (Lips et al., 1995).

**Darba mērķis** ir izpētīt ūdens straumju dinamiku Rīgas līča austrumu piekrastē (pie Skultes ostas), un novērtēt to ietekmi uz potenciālo sanešu transportu, izmantojot grunts paraugošanas un straumes mērījumu rezultātus.

### **Darba uzdevumi:**

- apkopot esošo informāciju par straumēm Rīgas līcī un to ietekmējošajiem faktoriem;
- veikt straumju un ūdens fizikālo parametru (piegultnes apstākļos) mērījumus Rīgas līcī;
- ievākt grunts paraugus pētāmajā teritorijā;
- apgūt *WinADCP* programmatūru un veikt datu apstrādi iegūtajiem rezultātiem;
- salīdzināt iegūtos rezultātus ar līdzšinējiem pētījumiem Rīgas līča teritorijā, un papildināt esošās zināšanas par pētāmās teritorijas hidrodinamiskajiem apstākļiem;
- sniegt informāciju par piegultnes straumju ietekmi uz sanešu transportu, un potenciālo sanešu plūsmas virzienu, balstoties uz iegūtajiem straumes mērījumiem un grunts īpatnībām.

Darbs sastāv no 57 lpp. Tas ietver ievadu, četras nodaļas, secinājumus, pateicību, literatūras sarakstu un pielikumu. Tekstu papildina 37 attēli (kartes shēmas fotogrāfijas), 2 tabulas un 2 pielikumi. Darba izstrādē izmantoti 47 avoti.

Pētījuma rezultātu aprobācija Maģistra darba rezultāti ir prezentēti Latvijas Universitātes 77. zinātniskajā konferencē ģeoloģijas sekcijā „Senie baseini, ģeoloģiskie procesi, organismi un klimats”

## Saturs

IEVADS .....	4
1. LITERATŪRAS APRAKSTS .....	7
1.1. Krasta zonas veidojošie elementi un terminoloģija .....	7
1.2. Jūras gultnes morfoloģija un tās veidojošie faktori .....	9
1.2.1. Viļņi .....	11
1.2.1.1. Definīcija un raksturlielumi .....	11
1.2.1.2. Vēja ietekme uz viļņu veidošanos .....	12
1.2.1.3. Ūdens dziļuma ietekme uz viļņu veidošanos un kustības dinamiku .....	13
1.2.2. Straumes .....	14
1.2.2. Sanešu transports .....	16
1.3. Rīgas līcis .....	18
1.3.1. Fizioģeogrāfiskais raksturojums .....	18
1.3.2. Vēja režīms .....	19
1.3.3. Straumes .....	22
1.3.4. Viļņi .....	24
1.3.5. Nogulumi un to transports .....	26
2. MATERIĀLI UN METODEDES .....	29
2.1. Pētāmā teritorija .....	31
2.2. Datu apstrāde .....	31
3. REZULTĀTI .....	34
3.1. Straumes un ūdens fizikālie parametri .....	34
3.1.1. Rudens sezona .....	34
3.1.2. Pavasara sezona .....	39
3.2. Grunts paraugošana un sedimentu transports .....	44
4. Diskusija .....	48
Secinājumi .....	50
Pateicība .....	51
Literatūras saraksts .....	52
Pielikums .....	56

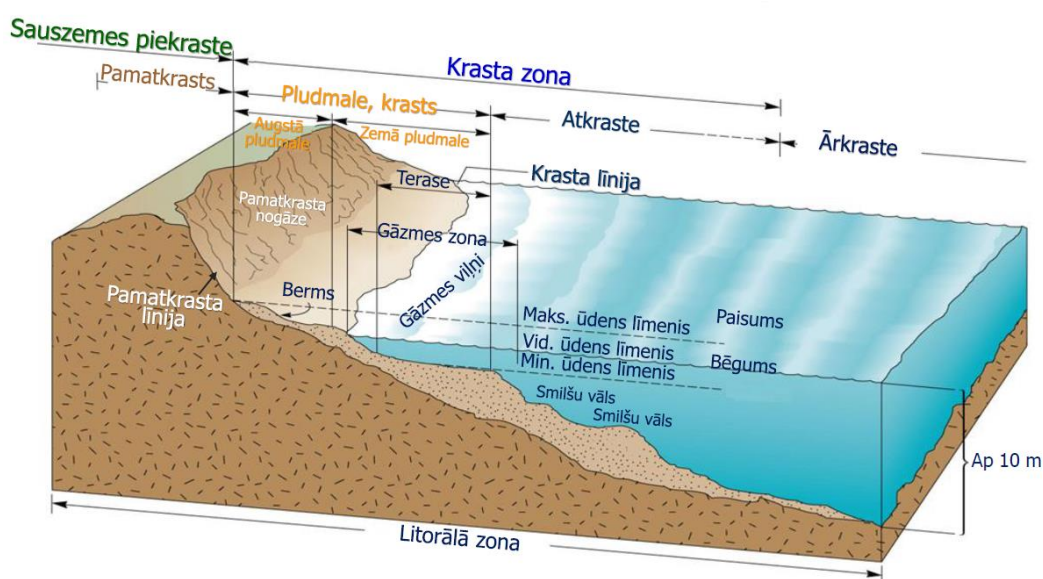
# 1. LITERATŪRAS APRAKSTS

## 1.1. Krasta zonas veidojošie elementi un terminoloģija

Iepazīstoties ar dažādiem publicētajiem materiāliem, bieži vien novērojama jūras krasta zonas un piekrastes terminu atšķirīga izpratne un pielietošana pat vienas nozares pētnieku vidū. Šāda situācija rodas, jo nav viena noteikta terminoloģija, pēc kuras vadīties visām zinātnes nozarēm. Latviešu terminoloģijā problēma ir līdzīga un galvenokārt saistīta ar austrumvalstu terminoloģiju, un tiešo tulkojumu no krievu valodas. Lai izvairītos no nepareizas terminu uztveres, nodaļā tiks aprakstīti un definēti darbā pielietotie termini.

Izmantotā terminoloģija ir balstīta pārsvarā uz G. Eberharda monogrāfijā (Eberhards 2003) pielietoto ar atsevišķiem labojumiem no V. Zelča, kas terminoloģiju vairāk pielīdzina rietumu valstīs pielietotajai (Glossary of coastal terminology 1998), latvisko to un pielīdzina latviešu svešvārdu vārdnīcas definētajiem terminiem.

**Krasta zona** ir vieta, kur notiek nepārtraukta sauszemes un jūras mijiedarbība, un norisinās nepārtraukta krasta attīstība (krasta noskalošana un pieaugums). Krasta zona sevī ietver krastu jeb pludmali un atkrasti (1.1. attēls).



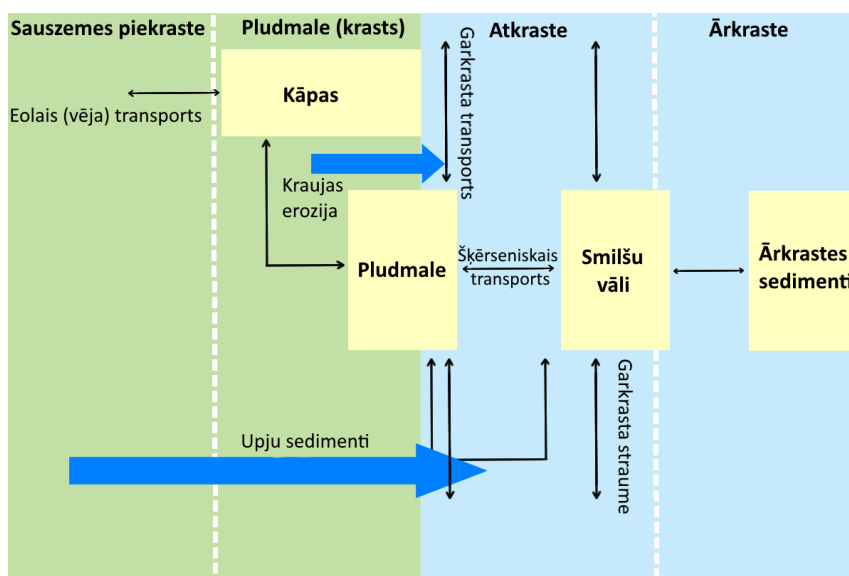
1.1. attēls. Piekrastes elementi (Zelčs S.a.)

**Pludmales** robeža tiek definēta no pamatkrasta līnijas (sauszemes robeža spēcīgāko vētru laikā) līdz ilggadīgajam minimālajam ūdens līmenim. Pludmale sīkāk tiek iedalīta augšējā pludmalē, kas sevī ietver sauszemes daļu, un zemajā pludmalē, kas atrodas ūdens daļā no ilggadīgā vidējā ūdens līmeņa līdz pludmales gala robežai.

**Atkraste** ir jūras zemūdens nogāzes augšējā daļa, ko nepārtraukti ietekmē vēju viļņi un jūras straumju darbība. Atkrastes robeža sākas pie ilggadīgā minimālā ūdens līmeņa līdz vietai, kur beidzas zemūdens smilšu vāli jeb sēkli (saskaloti lieli smilšu vaļņi), kuri parasti sniedzas līdz 7-8 m dziļumam.

No vietas, kur beidzas sēkli, jūras virzienā sākas **ārkraste**, kas ir zemūdens nogāzes ārējā un dziļākā daļa. Gultni veido nelīdzeni, neregulāri smilšu veidojumi, kurus dziļāk nomaina izskalota morēna (laukakmeņi, oļi un grants). Dziļumā, kas ir lielāks par 15-20 m, samazinās nogāzes slīpums un nogulumus veido smalks materiāls (aleirīts, māls, dūņas). Par ārkrastes robežu tiek definēta kontinentālā šelfa mala (Voigt 1998; Ulsts 1998).

Visas iepriekš minētās zonas sedimentācijas sistēmā tiek pakļautas dažādu procesu ietekmei, kas veido kopējo morfoloģiju gan uz sauszemes, gan jūrā. Sedimentu bilance ir parametrs, kas nosaka sedimentu pieplūdi un aizplūdi no sistēmas. Sedimentu pieplūde ir pozitīvs sanešu daudzums, kas tiek transportēts uz attiecīgo zonu, un parasti to veido upju transportētās smiltis, pludmales erozija, kraujas erozija un garkrasta transports (1.2. attēls). Savukārt aizplūdi veido vēja erozija, transports uz ārkrasti, kā arī garkrasta transports (Maselink 2003; Healy 2005).



1.2. attēls. Sedimentu bilances veidojošie procesi (Izstrādājis autors pēc <http://www.alevelgeography.com/coastal-sediment-budget/>, S.a.)

Kaut arī sedimentu apmaiņa starp zonām ir pārsvarā divpusēja (pieplūstoša un aizplūstoša), pastāv zonas, kurās, nonākot sedimentiem, tie vairs netiks atgriezti atpakaļ sistēmā. Šādas zonas veidojas dziļūdens apstākļos, kur vētru laikā, viļņu un straumju iedarbībā saneši tiek ieskaloti tādā dziļumā, kur normālos apstākļos (vai vispār) tos vairs nav iespējams transportēt uz aktīvāku vidi. Līdzīgs piemērs novērojams antropogēnās slodzes rezultātā, kur,

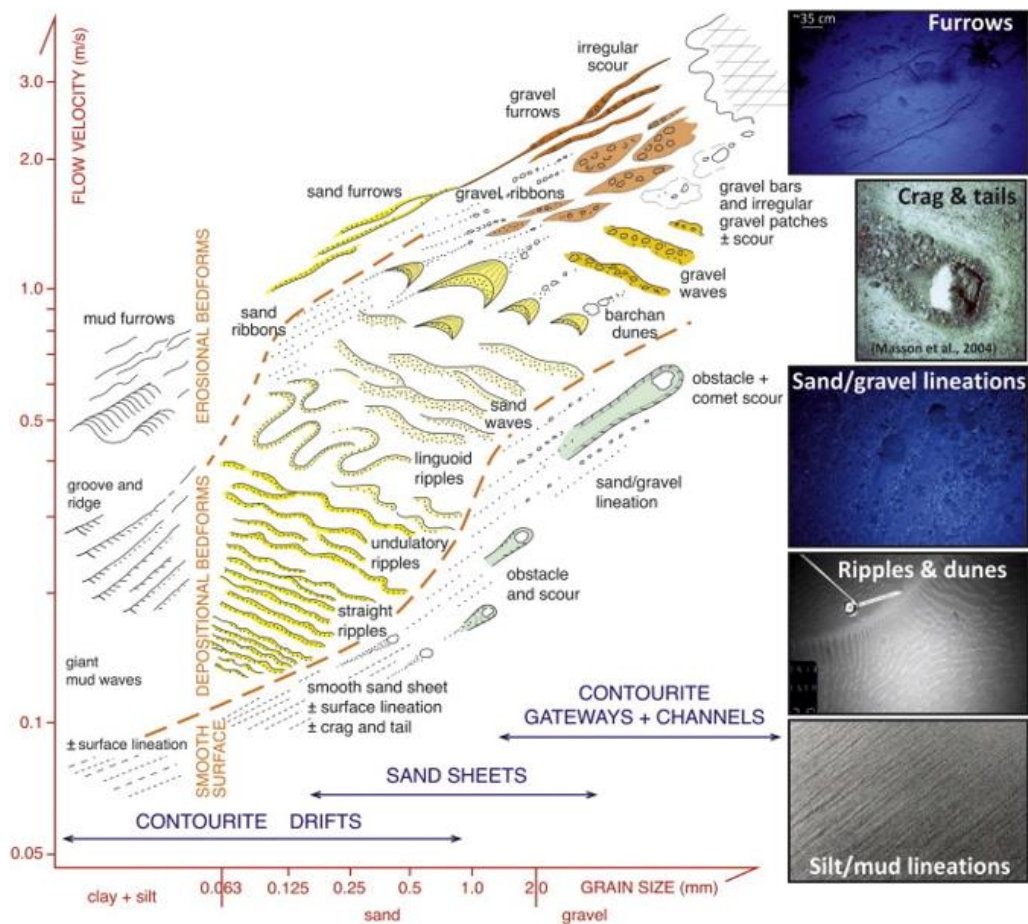
izbūvējot kuģu ceļus (izrokot padziļinājumu gruntī), veidojas ieplakas, kurās uzkrājas ienestie sedimenti. Izraktais materiāls bieži vien tiek izgāzts “jūras izgāztuvēs” un neatgriežas atpakaļ sistēmā.

Zinot katra procesa intensitāti, iespējams spriest par rezultējošo sanešu budžetu, kas izpaužas kā starpība starp sanešu pieplūdi un aizplūdi no konkrēta apgabala vai vietas. Ja vērtība ir negatīva, tad teritorijā dominē krasta erozija, kur pludmale tiek pakļauta konstantai krasta noskalošanai. Ja vērtība ir pozitīva, tad teritorijā veidosies akumulācijas krasts ar piesātinātu sanešu daudzumu, savukārt, ja pieplūde ir vienāda ar aizplūdi, tad krastā veidosies dinamisks līdzsvars. Kaut arī daži no procesiem liekas mazsvarīgi, nelielas izmaiņas sedimentācijas vidē var radīt ievērojamas izmaiņas krasta un pat dziļūdens zonas attīstībā (Maselink 2003; Healy 2005).

## **1.2. Jūras gultnes morfoloģija un tās veidojošie faktori**

Gultnes reljefa formas ir gultnes virsmas nelīdzenuma kopums, kas veidojas ūdens piegultnes un suspendētā materiāla transporta laikā. Gultnes morfoloģija (forma, izmēri) ir stipri saistīta ar gultnes veidojošajiem sedimentiem, ūdens plūsmas un viļņošanās apstākļiem (1.3. attēls) (Maselink 2003).

Ūdens apstākļos ar lēnu straumes ātrumu un smalkiem sedimentiem (māls, aleirīts, smalka smilts) raksturīgas gludas grunts virsmas. Šādas reljefa formas mēdz būt traucētas vai pat iznīcinātas bioturbācijas iespaidā. Palielinoties straumes ātrumam un grunts graudu izmēram, smalkākā frakcija tiek izskalota un uz grunts atsedzas lielākie akmeņi jeb šķēršļi, aiz kuriem atsedzas rupjākais grunts materiāls (Stow et al. 2009).



1.3. attēls. Dziļūdens straumju veidotās gultnes reljefa formas atkarībā no straumju ātruma un grunts granulometriskā sastāva (Stow et al. 2009)

Ripsnas (*ripples*) jeb ripsnojums ir bieži sastopamas maza izmēra (augstums 2-3 cm) gultnes reljefa formas, kas veidojas viļņu un lēnu straumju iedarbībā. Pēc veidošanās un izskata iespējams izdalīt divu veidu ripsnojumus – straumju un viļņu. Straumju veidotās ripsnas šķērsgriezumā ir asimetriskas (lēzenākā nogāze vērsta pret straumi), bet skatā no augšas tās var būt dažādas, un to forma atkarīga no straumes stipruma. Pakāpeniski palielinoties straumes ātrumam, ripsnas mainīsies no taisnām korēm uz sinusoidām un mēlesveida formām (*linguoid ripples*) (1.3. attēls). Šādas ripsnas veidojas smilšainajos nogulumos no straumes ātruma 0,1 m/s (smalkākajos nogulumos) līdz aptuveni 0,5 m/s rupjākajos nogulumos. Šādas reljefa formas iespējams pieskaitīt pie uzkrāšanās reljefa formām (Stow et al. 2009).

Ūdens dziļumā, kas tiek pakļauts viļņošanās iedarbībai (viļņu bāze), var veidoties arī viļņu ripsnojums. Atšķirībā no straumju ripsnojuma, viļņu ripsnas ir simetriskas ar vienādām formu korēm. Kores veido oscilējošās viļņu veidotās ūdens kustības, kas pie grunts pārtop par horizontālu kustību, un pārvieto grunts sedimentus abos virzienos. Viļņošanās koru šķērsgriezums ir atšķirīgs pie dažādas viļņošanās intensitātes. Ja intensitāte ir vāja, kores būs ar asām smailēm, jo enerģija nav pietiekami liela, lai paceltu grunts graudus no gultnes, tāpēc tie

tiek ripināti ripsnu koru virzienā. Ja intensitāte ir stipra, kores būs noapaļotas un notiks sedimentu uzduļķošana un transportēšana no ripsnu korēm un ieplakām. No virsskata asimetriskā viļņu ripsnojuma kores ir regulāras, ar labi izteiktu sazarošanos, kas nav izteikta īpašība straumju ripsnojumam (Masselink 2003; Reineck 1973).

Smilšu viļņi (*sand waves*) veidojas rupjākos smilšu un grants nogulumos (1.3. attēls) pie straumes ātruma 0,5-1,0 m/s. Smilšu viļņi ir reljefa formas ar sinusoīdām virsotnēm (līdzīgi kā ripsnām), kuru augstums ir no 0,5-5,0 m un viļņu garums 5-500 m.

Kāpām (*dunes*) piemīt asimetriska (trīsstūraina) forma šķērsgriezumā ar samērā stāvu nogāzi straumes pusē. Formu izmēri var sasniegt pat 7 m augstumu un viļņa garumu līdz 500 m. Šādas morfoloģiskas formas veidojas rupjākos smilšu un grants nogulumos pie straumes ātruma no 0,7-1,2 m/s (Stow et al. 2009, Masselink 2003).

Pie erozijas reljefa formām parasti tiek pieskaitīti rievu (smalkajos sedimentos ar straumes ātrumu 0,2 m/s), jeb *grooves* veidojumi un dažāda veida vagas (smalkajos, smilšainajos un grants nogulumos līdz straumes ātrumam 2 m/s).

Lai plašāk izprastu gultnes reljefu formu veidošanos, nepieciešams izprast arī citus faktorus, kas izraisa ūdens kustības vai ir saistīti ar tām.

## 1.2.1. Viļņi

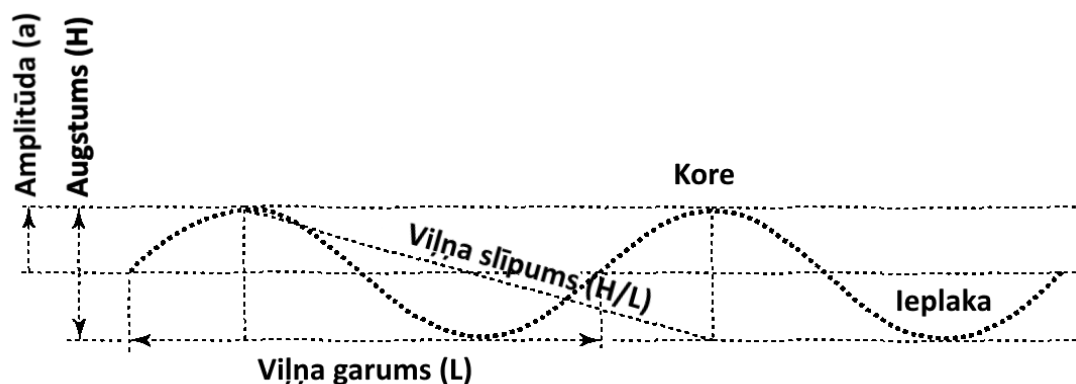
### 1.2.1.1. Definīcija un raksturlielumi

Viļņi ir gāzes vai šķidrums virsmas traucējums, kura rezultātā enerģija tiek pārnesta no vienas vietas uz otru. Skatoties uz viļņiem, kas veidojas jūrās un okeānos, notiek mijiedarbība starp divām atšķirīgām vidēm – jūru un atmosfēru, bet viļņu veidošanos var izraisīt arī citi faktori. Piemēram, viļņus, kuri veidojas saskaroties divām ūdens masām ar atšķirīgu ūdens blīvumu, ko nosaka ūdens temperatūra un sāļums, sauc par iekšējiem viļņiem. Viļņus, kuri veidojas atmosfēras turbulences ietekmē, sauc par progresīvajiem virsmas viļņiem. Šādi viļņi visbiežāk veido raksturīgo jūras ainavu.

Viļņu iedarbības rezultātā ūdens daļiņas netiek transportētas viļņu kustības virzienā, bet gan iesvārstītas vertikāli. Šo procesu var novērot, ievietojot jebkuru peldošu priekšmetu ūdenī un vērojot objektu peldam ūdens virspusē. Viļņu iedarbībā ir novērojamas vertikālas objekta svārstības, bet ne horizontālas (Davis 2004).

Katram vilnim ir savas vizuālās īpašības, pēc kurām iespējams raksturot vilni un tā kustību. Viļņa **garums** ( $L$  vai  $\lambda$ ) ir horizontālā distance starp divām līdzīgām viļņu korēm (1.4. attēls). Visi viļņi, kuru viļņu garums pārsniedz 1,73 cm, pastāv galvenokārt gravitācijas iespaidā. Gravitācija spiež viļņa kores uz leju, bet ūdens inerces rezultātā tās pārtop par viļņu ieplaku. Viļņa **augstums** ( $H$ ) ir vertikālā distance starp viļņa kori un ieplaku, savukārt, viļņa slīpumu var iegūt no viļņa augstuma un garuma attiecības ( $H/L$ ). Kā vēl viens svarīgs viļņu

raksturojošs parametrs ir viļņa **periods** ( $T$ ), kas ir laiks sekundēs, kurā notiek viena pilna viļņa svārstība attiecībā uz vienu noteiktu references punktu. Savukārt, lai noteiktu viļņu izplatīšanās **frekvenci** ( $f$ ), ir jāskaita cik viļņu garumi šķērso atskaites punktu vienā sekundē (Davis 2004; Garrison 2011).



1.4. attēls. Tipiska viļņu forma, kur attēloti dažādi viļņu raksturojošie elementi (Izstrādājis autors pēc Davis 2004)

### 1.2.1.2. Vēja ietekme uz viļņu veidošanos

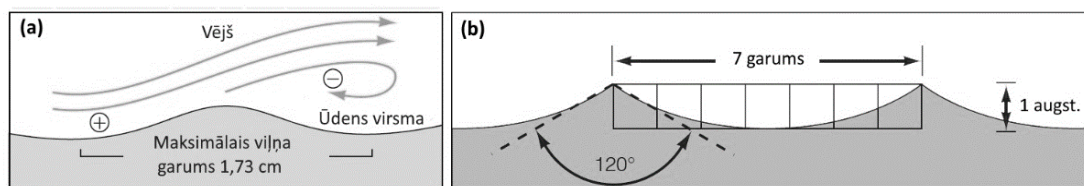
Enerģijas pārnese no vēja uz ūdens virsmu ir diezgan sarežģīta un vēl joprojām nav līdz galam izprasta, tomēr ir vairāki zināmi faktori, kas nosaka viļņu veidošanās īpašības. Viļņu izmēri ir atkarīgi galvenokārt no trīs faktoriem:

- vēja ātruma;
- vēja pūšanas ilguma;
- ūdens virsmas distances, ko ietekmē vējš.

Katrs no šiem faktoriem var būt limitējošs lielu viļņu izveidei, bet nozīmīgākais faktors ir vēja ietekmētā ūdens virsmas distance jeb ūdens ķermeņa lielums. Ja ūdens tilpne ir pārāk maza, tad, neskatoties uz to cik stipras un ilglaicīgas ir vēja brāzmas, lielu viļņu izveide nav iespējama. Kaut arī viļņu veidošanās process un to ietekmējošie faktori tiek izskaidroti samērā vienkārši, dabā šādas situācijas novērot ir diezgan grūti. Vērojot viļņus, parasti ir iespējams izdalīt vairākus viļņu veidus ar dažādiem izmēriem un virzieniem, kas rezultātā summējas un padara kopējo ainu diezgan komplicētu (Davis 2004; Garrison 2011).

Vēja radītie viļņi ir gravitācijas viļņi, kuri veidojas vēja enerģijas pārnese rezultātā uz ūdens virsmu. Vēja viļņu attīstības sākuma stadija ir kapilāro viļņu veidošanās, ko izraisa vēja frikcija jeb berze gar ūdens virsmu. Šāda ietekme izjauc gludo ūdens virsmu un veicina ūdens virsmas izstiepšanu (ūdens ripsnu veidošanos). Berzes rezultātā daļa vēja enerģijas tiek pārnesta ūdenī, taču pārējā enerģija tiek atstarota ar nelielu leņķisku nobīdi uz augšu (1.5.a attēls). Vēja plūsmā pārvietojoties pāri viļņa korei, izveidojas vēja mutulis, kas izraisa nelielu vakuumu

viļņa aizvēja pusē un spiež ūdens masu pretēji vēja pārvietošanās virzienam. Tādēļ viļņa aizvēja pusē enerģija ir daudz mazāka un tā palīdz veidot tikai viļņa formu, bet neietekmē viļņošanās virzienu. Vēja enerģijai samazinoties, viļņu kores izlīdzinās un paliek regulāras.

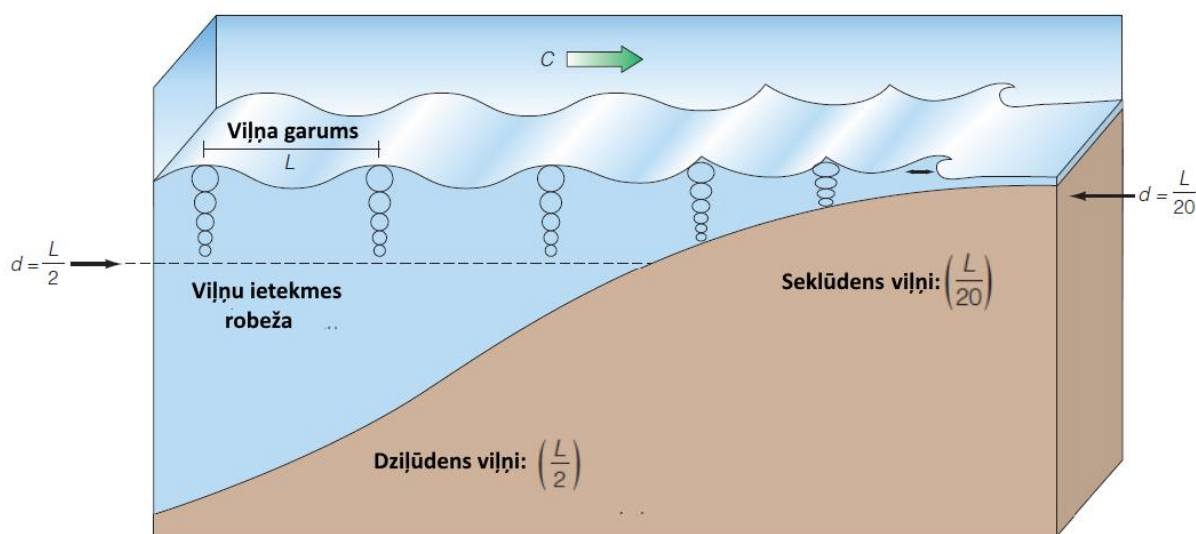


1.5. attēls. (a) Vēja kustība kapilārajos viļņos. (b) viļņu augstuma un garuma attiecība (Izstrādājis autors pēc Brooks, 2010; Garrison, 2011)

Ja kapilāro viļņu garums pārsniedz 1,74 cm, tad vilnis klasificējas kā gravitācijas vilnis. Viļņiem, kas veidojas mērena vēja apstākļos, novērojama viļņu stāvuma attiecība 1:7 starp viļņu augstumu un garumu jeb  $120^\circ$  pie viļņa kores (1.5.b attēls). Respektīvi, vilnis, kura garums ir 7 m, nepārsniegs 1 m augstumu. Ja vilnis tieksies uz augstumu, kas pārsniedz 1:7 attiecību, tad vilnis sāks lūzt un viļņa korē veidosies turbulents vēja enerģijas ekscess jeb pārmērīga vēja enerģija – veidosies baltas šļakatas un putas.

### 1.2.1.3. Ūdens dziļuma ietekme uz viļņu veidošanos un kustības dinamiku

Galvenās viļņu īpašības ir balstītas uz attiecību starp viļņa garumu un ūdens dziļumu. Viļņu ietekme nesasniedz gultni vietās, kur ūdens dziļums ir puse no viļņa garuma. Ja ūdens dziļums ir lielāks par pusi no viļņa garuma, tad šādus viļņus sauc par dziļūdens viļņiem (1.6. attēls), savukārt, ja ūdens dziļums ir mazāks par pusi no viļņa garuma, tad viļņu ātrums un garums pakāpeniski sāk samazināties (samazinoties dziļumam), novedot pie viļņu lūšanas piekrastes rajonos.



1.6. attēls. Progresīvo viļņu klasifikācija pie attiecīga ūdens dziļuma (Izstrādājis autors pēc Garrison 2011)

Par seklūdens viļņiem sauc viļņus, kur ūdens dziļums ir 1/20 daļa no attiecīgā viļņa garuma, savukārt pārejas viļņi tiek definēti kā viļņi, kas atrodas starp dziļūdēns un seklūdēns viļņiem (1.6. attēls). Vērojot viļņu fronti tuvojoties krastam no “putna lidojuma”, redzamas pienākošo viļņu virzības izmaiņas. Ja dziļūdēns zonā viļņu fronte ir samērā lineāra un virzās krasta virzienā ar noteiktu leņķi (tikai ne 90°), tad samazinoties dziļumam, šī viļņu fronte tiks izliekta tuvu perpendikulāram virzienam attiecībā pret krastu. Šo procesu sauc par viļņu refrakciju, un tas ir saistīts ar ūdens masas cirkulācijas un pārvietošanās enerģijas izmaiņām. Enerģija zūd berzes rezultātā ar gultni, tāpēc viļņa pārvietošanās ātrums samazinās un izskatās, ka viļņu fronte izliecas.

Viļņu lūšana izraisa intensīvu ūdens turbulenci, kura izraisa lielas vertikālās un horizontālās ūdens un sedimentu kustības ūdens kolonnā. Viļņu izraisītās ūdens masu kustības ir galvenais veidotājs garkrasta un šķērseniskā sanešu transportā, un atbild par vienmērīgu sanešu budžetu krasta vidē (Masselink 2003).

### 1.2.2. Straumes

Ūdens straumes ir ūdens masas, kas plūst no vienas vietas uz otru ar noteiktu virzienu, ātrumu un izcelsmi. Jūrās un okeānos novērojamas lielas straumju sistēmas, kuras transportē siltumu no siltākām pasaules vietām uz aukstākām (un otrādi) – līdzīgi kā vējš pārvieto siltās un aukstās gaisa masas. Sistēma, kas aptver praktiski visas lielākās un nozīmīgākās pasaules straumes, ir tā saucamais “lielais konveijers”, kas no tropu zonas nes siltās ūdens masas uz polu reģioniem, kur tās atdziest, nogrimst ūdens apakšējās slāņos un atgriežas atpakaļ tropos pa apakšējiem ūdens slāņiem (Broecker 1991). Šāda cirkulācijas sistēma ietekmē un nosaka klimatiskos apstākļus visā pasaulē.

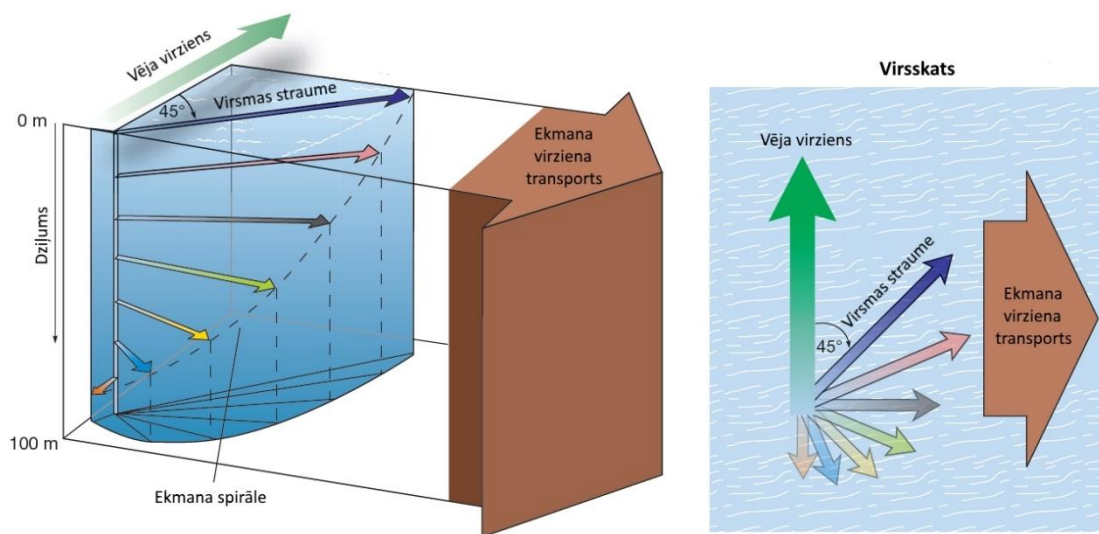
Ja atmosfērā ar vēja enerģiju tiek transportētas 2/3 no siltuma (virzienā no tropiem uz polu reģioniem), tad atlikusī 1/3 siltuma tiek transportēta ar ūdens virsmas straumēm. Kopumā iespējams izdalīt divu veidu straumes, balstoties uz to izcelsmi - vēja radītās straumes un blīvuma radītās straumes.

#### **Vēja jeb virsmas straumes**

Vēja straumes veidojas vēja ietekmē, kas izraisa ūdens masas virskārtas transportu horizontālā virzienā. Šīs straumes veidojas līdzīgi kā virsmas viļņi - vēja enerģijas berzes rezultātā ar ūdens virsmu. Kopumā tikai 2% no vēja enerģijas tiek pārnesti uz ūdens virsmu.

Objekta, kas atrodas peldošā stāvoklī, kustības virziens nav vērsts precīzi vēja pūšanas virzienā, bet gan nedaudz nobīdīts uz sāniem, ko vēsturiski secināja jūrnieki pēc peldošajiem aisbergiem. 1905. gadā somu fiziķis Vagans Valfrīgs Ekmans izveidoja okeāna cirkulācijas modeli – “Ekmana spirāli”, kas šo pārvietošanās īpatnību skaidroja ar Koriolisa spēku un berzes efektu. Ekmana spirāle raksturo ūdens masas pārvietošanās ātrumu un virzienu pie dažādiem

ūdens dziļumiem. Vārds “spirāle” šajā nosaukumā ir daļēji maldinošs, jo ūdens masa nepārvietojas virpuļa veidā, bet gan skaidro horizontālo kustību ūdens kolonnā, kur katrā slānī ūdens masa pārvietojas nedaudz savādākā leņķī (1.7. attēls).



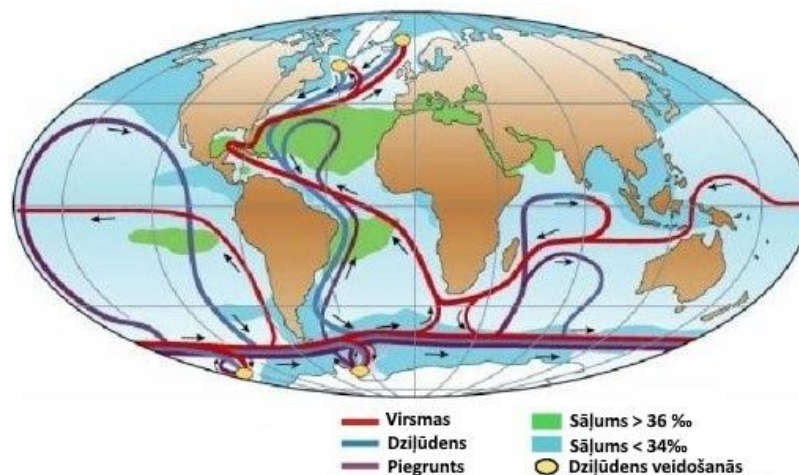
1.7. attēls. Ekmana spirāle (Izstrādājis autors pēc Trujillo et al. 2017)

Ziemeļu puslodē Koriolisa spēks virza virsmas ūdeni  $45^\circ$  pa labi no vēja virziena, bet Dienvidu puslodē - pa kreisi. Vēja iesvārstītā virsma pārnes enerģiju tālāk berzes iedarbībā, kuras rezultātā straumes ātrums samazinās, palielinoties dziļumam, un tās virziens mainās atkarībā no virsējā slāņa virziena. Dziļākos okeāna ūdeņos iespējams novērot straumes, kuras Koriolisa efekta rezultātā plūst pilnīgi pretēji vēja virzienam - šādu situāciju parasti iespējams novērot aptuveni 100 metru dziļumā. Ekmana transports raksturo vidējo straumes virzienu visai ūdens kolonnai, kas vērsts  $90^\circ$  leņķī no vēja virziena. Protams, dabā ideāli apstākļi ir reti sastopami, tāpēc šis Ekmana transporta virziens atšķiras – dziļūdens apstākļos parasti  $70^\circ$ , bet piekrastē ūdens masu nobīde no vēja virziena ir tuvu  $0^\circ$ .

### Blīvuma straumes

Globālā mērogā, blīvuma atšķirību radītais ūdens masu transports notiek gan vertikālā, gan horizontālā virzienā, un tas nosaka gan ūdens masu sajaukšanos ūdens kolonnā, gan arī ūdens masu horizontālo transportu. Ūdens virskārtas ūdeņi kļūst blīvāki, krītoties to temperatūrai vai/un palielinoties to sāļumam, kuru rezultātā tie nogrimst zemākos ūdens slāņos. Blīvās ūdens masas grimst vertikāli un izplatās lēnām zem ūdens virskārtas. Balstoties uz faktu, ka ūdens cirkulāciju izraisa temperatūras un sāļuma atšķirības un izmaiņas, to mēdz dēvēt arī par termohalīno cirkulāciju (no angļu thermohaline, thermo = siltums, haline = sāls). Lielākā daļa no dziļūdens straumēm veidojas pie augstākiem platumu grādiem (Antarktīka, Grenlande) (1.8. attēls). Tur ūdens virskārtas temperatūra ziemas periodā krītas un palielinās ūdens sāļums

(jūras ledus veidošanās rezultātā), kas rezultējas ar auksto ūdeņu grimšanu. (Davis, 2004; Garrison, 2011).



1.8. attēls. Termohalīno cirkulāciju shematisks attēlojums (Izstrādājis autors pēc Broecker 1991)

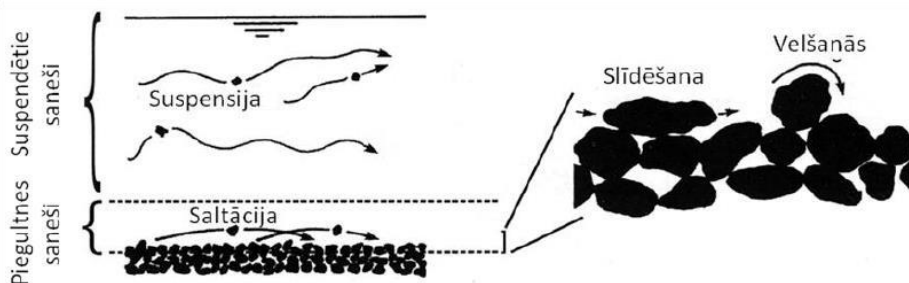
Lokālā mērogā blīvuma straumes veidojas ļoti līdzīgi. Ūdens grimšanu gravitācijas ietekmē izraisa ūdens sāļums, temperatūra. Ūdens blīvuma atšķirības bremsē ūdens masu sajaukšanos, tāpēc straume spēj pastāvēt relatīvi ilgi. Šādas straumes pārvieto piegultnes slānī, un biežāk sastopamas dziļūdens apstākļos (Garrison 2011).

### 1.2.2. Sanešu transports

Sanešu transports ir organisku vai neorganisku daļiņu pārvietošanās ūdens vidē. Saneši sevī var ietvert minerālu daļiņas, ķīmikālijas un piesārņotājielas, kā arī organisko materiālu. Sanešu pārvietošanās ūdens vidē notiek dažādu hidrodinamisku procesu mijiedarbībā, piemēram, vēja, viļņu un straumju iedarbībā. Galvenie spēki, kas noris šajā pārvietošanās procesā, ir celtspēks (nosaka sanešu iekļūšanu plūsmā), berzes spēks (ūdens un sanešu daļiņas virsma) un smaguma spēks (izgulsnēšanās). Kopumā iespējams izdalīt divus sanešu veidus - piegultnes saneši un suspendētie saneši (Masselink 2003; Van Rijn 1997).

**Piegultnes saneši** pārvietojas piegultnes daļā velšanās, slīdēšanas vai saltācijas veidā (1.9. attēls). Sanešu velšanās un slīdēšana ir ļoti lēns process, un ir atkarīgs no graudu ģeometrijas, izmēra un straumes ātruma. Šāda kustība novērojama, kad vājas straumes transportē smiltis vai arī stipras straumes transportē oļus un akmeņus. Saltācija ir novērojama pie mērena straumes ātruma, kur tiek transportētas smiltis vai pie stipras straumes, kad tiek transportēta grants un oļi. Procesā sedimenti tiek īsu brīdi suspendēti virs grunts virsmas un virzīti straumes virzienā, un pēc neilga brīža atkal nosēžas. Aptuveni 95% no sanešu kustības notiek 25 cm biezā slānī virs gultnes (Masselink, 2003).

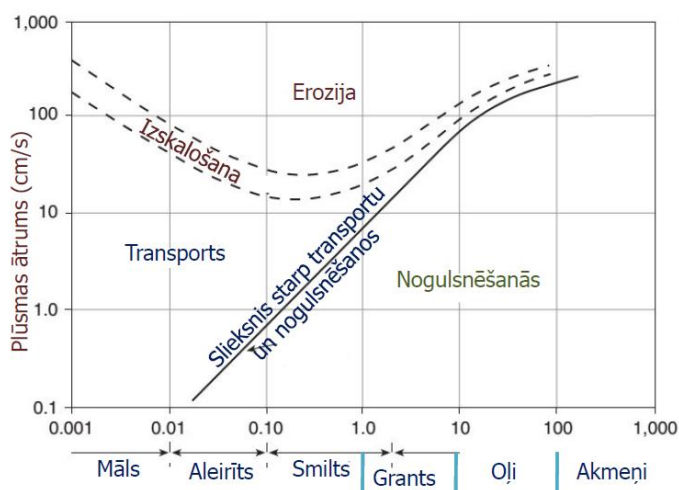
**Suspendētie saneši** pārvietojas turbulentas ūdens plūsmas ietekmē (1.9. attēls). Saneši var veidot īslaicīgu kontaktu ar grunti. Atšķirībā no piegultnes sanešu transporta, tie vairāk laika pavada suspensijā un tiem ir raksturīgs neregulārs jeb turbulents kustības virziens, kas pārsvarā transportē smalkāko materiālu (mālu vai aleirītu), bet dažkārt arī smilti pie stipras straumes.



1.9. attēls. Shematisks sanešu transporta veidu attēlojums (Izstrādājis autors pēc Masselink 2003)

Lai sanešu daļiņas atrastos nekustīgi uz gultnes, visiem spēkiem (berzes spēks, celtspēks, smaguma spēks) jābūt līdzsvarā.

Izmantojot F. Hjulstroma empīrisko nomogrammu (Hjulström, 1935), iespējams prognozēt, pie kāda straumes ātruma sedimenti tiks nogulsnēti, transportēti vai erodēti (1.10. attēls). Attiecība starp abiem šiem parametriem nav lineāra, tātad, piemēram, kohezīvām daļiņām (māls, aleirīts), kas ir cieši saistītas, ir nepieciešams daudz lielāks straumes ātrums, nekā irdenam materiālam. Transporta sektors attiecināms uz daļiņām, kas jau ir kustībā, šis straumes ātrums neiekustinās daļiņas, kas nekustās, t.i., daļiņām, kas ir miera stāvoklī, ir nepieciešams lielāks straumes ātrums, lai sāktos to kustība. Kad kustība ir sākusies, tad straume var būt lēna, lai turpinātos šo pašu daļiņu kustība. Savukārt erozijas sektorā tiek izrautas daļiņas, kuras līdz tam nebija kustībā.



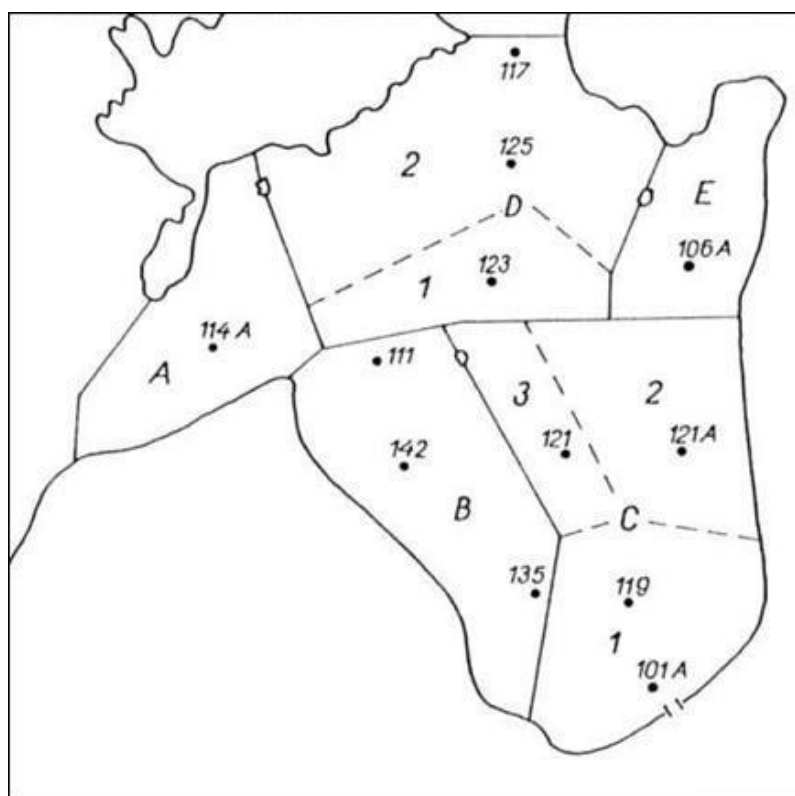
1.10. attēls. Hjulstroma līkne (Izstrādājis Krievāns S.a. pēc Hjulström)

### 1.3. Rīgas līcis

#### 1.3.1. Fiziogēogrāfiskais raksturojums

Rīgas līcis ir gandrīz regulāras formas baseins Baltijas jūras austrumu daļā, kura platība ir aptuveni 17913 km<sup>2</sup> un tilpums līdz pat 405 km<sup>3</sup> (Leppāranta and Myrberg, 2009). Ūdens apmaiņu ar atklāto Baltijas jūru nodrošina divi jūras šaurumi – Irbes šaurums līča ZR daļā (caur to noris 70-80% no visas ūdens apmaiņas (Petrovs, 1979) un Muhu šaurums līča Z daļā. Līča teritorijā atrodas piecas lielākās salas, kas ietilpst Igaunijas teritorijā – Sāremā, Muhu, Roņu, Abruka un Ķīļu sala. Rīgas līča vidējais dziļums ir 26 m, kas ir divas reizes mazāks nekā atklātā Baltijas jūrā, un ar maksimālo dziļumu – 67 m Mērsraga muldā (Estonian Academy of Sciences, 1995; Tsyrunnikov et al., 2008).

Rīgas līci iespējams sadalīt piecās hidroloģiskajās apakšgrupās un piecos subreģionos (1.11. attēls): A – Irbes šaurums, B – rietumu reģions, C – dienvidaustrumu reģions (tiek sīkāk sadalīts trīs subreģionos: 1 - dienvidu subreģions, 2 – austrumu subreģions, 3 – centrālais reģions); D – ziemeļu reģions (1 – dziļūdens zona, 2 – seklūdens zona); E – Pērnavas līcis.



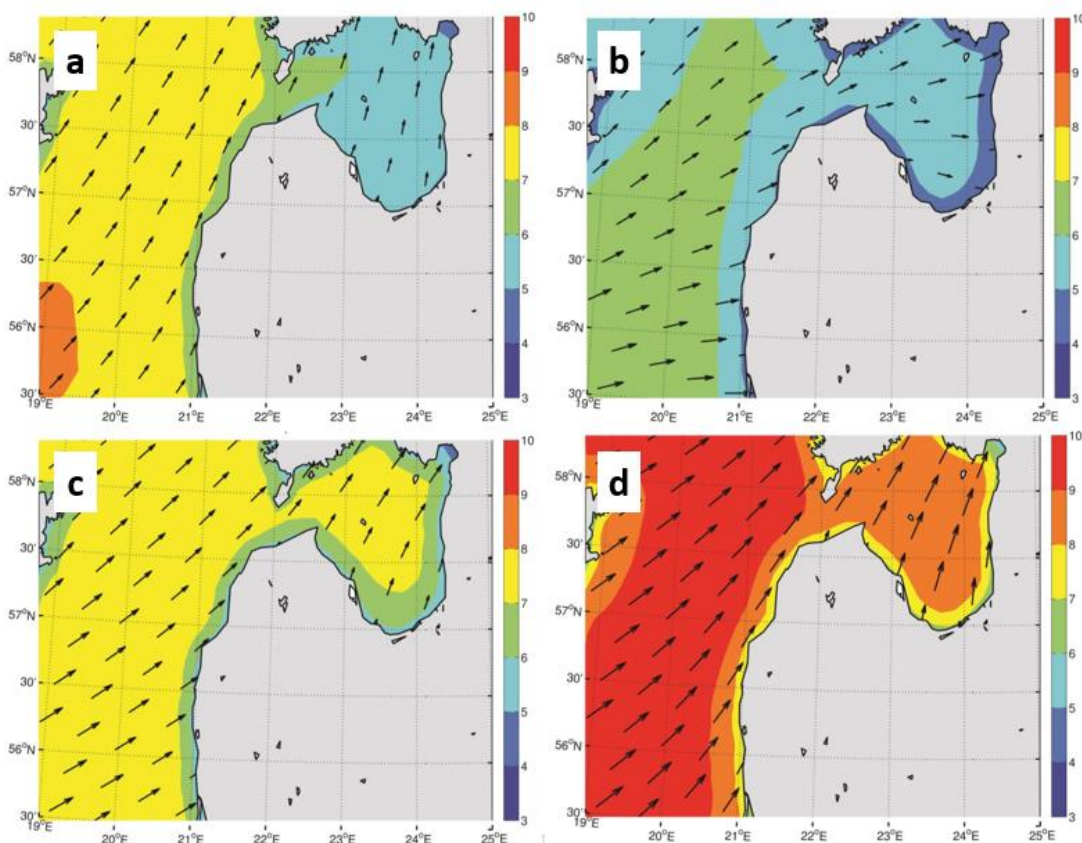
1.11. attēls. Rīgas līča hidroloģiskais iedalījums un galvenās hidroloģiskās stacijas: A – Irbes šaurums, B – rietumu reģions, C – dienvidaustrumu reģions (1 – dienvidu subreģions, 2 – austrumu subreģions, 3 – centrālais reģions), D – ziemeļu reģions (1 – dziļūdens zona, 2 – seklūdens zona), E – Pērnavas līcis (Estonian Academy of Sciences 1995)

134000 km<sup>2</sup> lielajā Rīgas līča sateces baseinā (Berzinsh, 1995) ieplūst piecas lielas upes – Daugava, Lielupe, Gauja, Pērnavas un Salaca. Balstoties uz apkopotajiem datiem par laika periodu no 1950.-2012. gadam, upju vidējā notecē Rīgas līcī ir aptuveni 1013,5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Kronsell et al., 2014). 379,4 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> pienu nokrišņi, savukārt iztvaikošanas apjoms sasniedz 297,4 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Omstedt et al., 1997). Pateicoties lielajai saldūdens ieplūdei un limitētajai ūdens apmaiņai cauri sekļajiem jūras šaurumiem, ūdens sāļums no Irbes šauruma līdz Daugavas upes grīvai mainās no aptuveni 6 līdz 2 PSU vienībām (Berzinsh, 1995; Stipa et al., 1999).

### 1.3.2. Vēja režīms

Gada griezumā Latvijā valdošie vēji ir DR, R vēji, savukārt Rīgas līča dienvidu un austrumu daļā vairāk dominē D vēji. Gada vidējais vēja ātrums ir aptuveni 5 m/s Baltijas jūras piekrastē un 3-4 m/s kontinentālajā daļā. Lielākie vidējie vēja ātrumi tiek konstatēti novembrī un janvārī (4-6 m/s piekrastes teritorijā, 3 m/s iekšzemē), savukārt mazākie vēji tiek novēroti jūlijā un augusta mēnešos (4 m/s piekrastē un 2 m/s iekšzemē), kas norāda uz izteiktu sezonālītāti (Latvijas daba 2018).

Balstoties uz novērojumu staciju, kuģu, boju meteoroloģiskajiem datiem un matemātiskajiem modeļiem, (Luhamaa et al. 2011) ir iespējams konkrētāk spriest par vēja stiprumu un virzienu Rīgas līcī. Kā redzams 1.12. attēlā, Rīgas līcis cauru gadu atrodas aizvējā, ko veido Latvijas kontinentālā daļa. Berzes spēks, ko izraisa veģetācija un reljefs kontinentālajā daļā, mazina D, DR un pat R vēju iedarbību, tāpēc vēja ātrums līcī ir mazāks nekā atklātā jūrā.



1.12. attēls. Mēneša vidējais vēja ātrums un virziens a) marts; b) jūnijs; c) septembris; d) decembris (Izstrādājis autors pēc Luhamaa et al. 2011)

Kā vēl viens svarīgs vēja ātruma parametrs ir vēja brāzmas, kas raksturo vētras maksimālos vēja ātrumus. Spēcīgākās vēja brāzmas novērotas 2005., 1969. un 1967. gadā, kad vēja brāzmas Liepājā sasniedza 48 m/s (spēcīgākās vēja brāzmas, kas fiksētas Latvijā) (Latvijas daba 2018). Līdzīgi kā ar vidējo vēja ātrumu, spēcīgākās vētras novērojamas vēlos rudens vai agras ziemas mēnešos – no oktobra līdz janvārim, bet vasarā no maija līdz augustam.

Runājot par vēju un tā dinamiku, piekrastes reģioni atšķiras no atklātās līča daļas, un šajos reģionos ierasto vēja dinamiku ietekmē sauszeme. Apskatot, piemēram, Rīgas līča austrumu krastu pie Ainažiem, gada vidējā vēja ātruma samazināšanās atkarībā no atrašanās vietas uzskatāmi attēlo berzes ietekmi uz ūdens un sauszemes virsmu (1.13. attēls).

Kontinentālajā daļā 20 km attālumā no krasta vēja ātrums ir diezgan vienmērīgs un saglabājas aptuveni 4 m/s, bet, pietuvojoties līcim, tas strauji ceļas līdz 6,5 m/s un nostabilizējas jūrā, 10 km attālumā no krasta (GORWIND 2012).

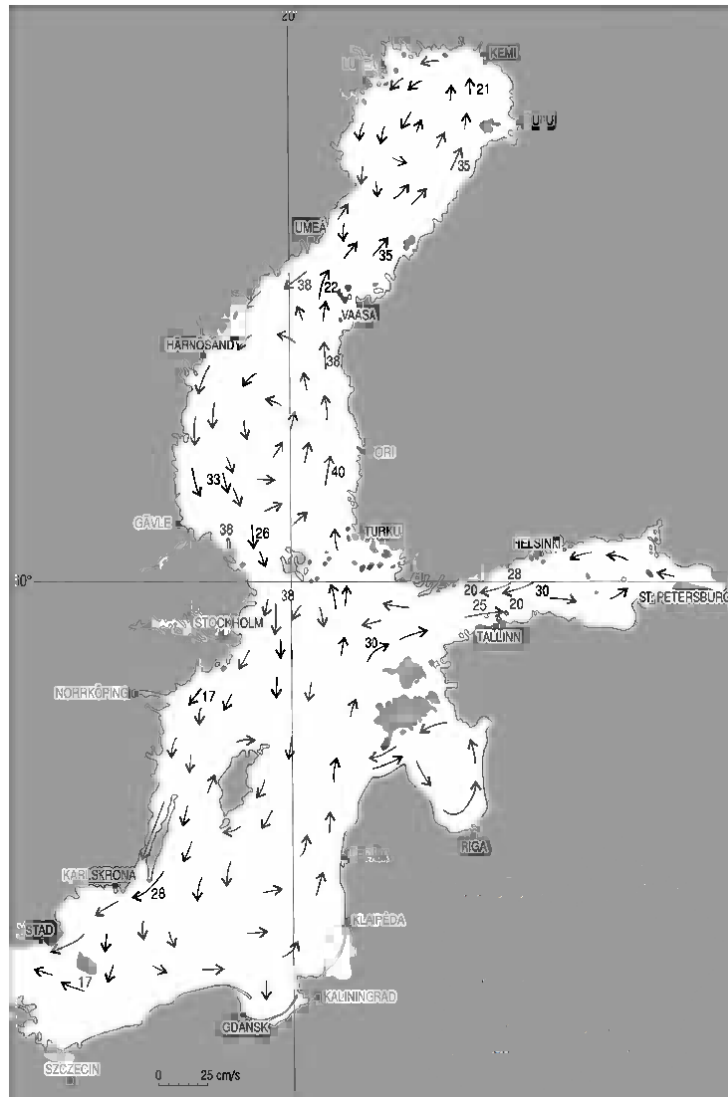


1.13. attēls. Vidējā vēja ātruma samazināšanās piekrastes pārejas zonā dienvidu – ziemeļu virzienā orientētā Rīgas līča austrumu krastā pie Ainažiem (GORWIND 2012)

Bieži vien piekrastes stacijās novērojamas cikliskas vēja virziena maiņas jeb tā saucamās brīzes – dienā vējš pūš no jūras uz sauszemi (jūras brīze), bet naktī otrādi (krasta brīze). Šādu parādību iespējams skaidrot ar gaisa temperatūru atšķirībām jūras un sauszemes apstākļos, kas izraisa atmosfēras spiediena atšķirības un gaisa masu pārvietošanos uz zemākiem spiediena apgabaliem (Sīle 2018). Latvijas piekrastē brīzes parasti ir novērojamas no aprīļa līdz septembrim, taču visbiežāk tās novērojamas no jūnija līdz jūlijam. Vidējais vēja ātrums brīzēm ir 2-4 m/s, bet reizēm tas var sasniegt vēja ātrumu līdz pat 9 m/s (Jūras locija 2018).

### 1.3.3. Straumes

Lai izprastu Rīgas līča straumes, ir jāpievērš uzmanība arī vispārējai ūdens cirkulācijai Baltijas jūrā (1.14. attēls). Balstoties uz straumju mērījumiem Baltijas jūrā, praktiski visos Baltijas jūras baseinos, t. sk. Rīgas līcī, var novērot cikloniska tipa cirkulāciju (pretēji pulksteņrādītāja virzienam) ūdens virskārtā (Leppāranta and Myrberg, 2009). Neskatoties uz to, pastāvīgas un noturīgas straumes (kā piemēram, Golfa vai Kurošio straume) Baltijas jūrai nav raksturīgas.



1.14. attēls. Vidējā ūdens virskārtas cirkulācija (cm/s) Baltijas jūrā (Leppāranta and Myrberg 2009)

Kā iepriekš minēts, Rīgas līcim piemīt cikloniska tipa cirkulācija ūdens virskārtā, taču pastāv anticikloniskas cirkulācijas pazīmes atsevišķos vasaras periodos (Lips et al., 1995). Ūdens dziļākajos slāņos situācija ir citādāka un komplicētāka, jo Rīgas līcis ir diezgan izolēts no atklātās Baltijas jūras, un dziļūdens straumes no Baltijas jūras atklātās daļas nespēj ieplūst Rīgas līcī dēļ ūdens blīvuma atšķirībām starp abiem baseiniem un seklajiem jūras šaurumiem,

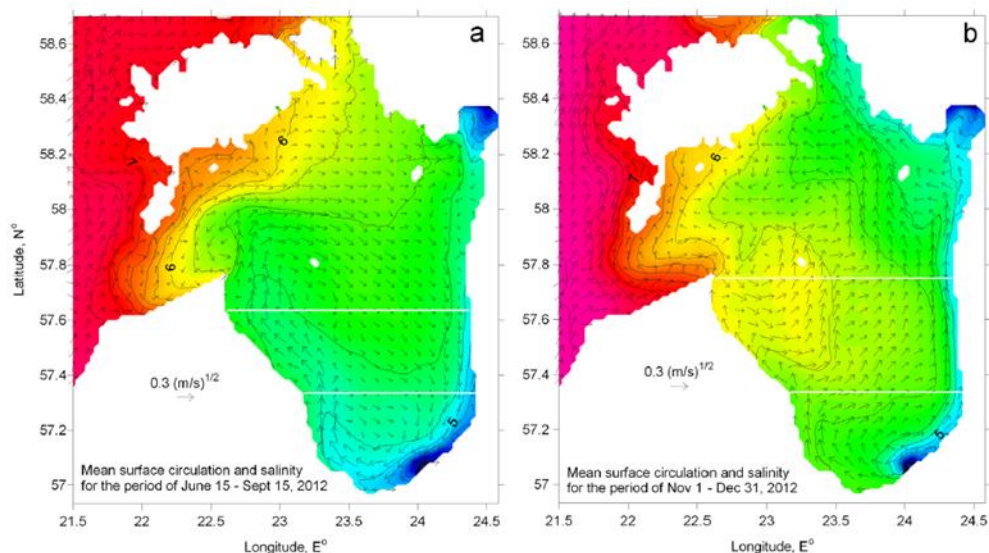
kas savieno līci ar Baltijas jūras atklāto daļu. Upju saldūdens izplūst no Rīgas līča pa virsējiem Irbes šauruma slāņiem, bet sāļās (blīvās) ūdens masas no atklātās jūras ieplūst pa Irbes šauruma apakšējiem ūdens slāņiem. Šāda tipa ūdens apmaiņa starp ūdens baseiniem ir raksturīga estuārijiem, un dažkārt Rīgas līcis tā arī tiek uztverts. Sāļās ūdens masas, kas ieplūst caur Irbes šaurumu, tālāk tiek transportētas dziļāk līča teritorijā pa ūdens dziļākajiem slāņiem gar Kurzemes rietumu piekrasti, kas atbilst cikloniska tipa cirkulācijai ūdens dziļākajos slāņos (Lilover et al. 1998).

Pašreizējie pieņēmumi par straumēm Rīgas līcī pārsvarā ir balstīti uz modelēšanas rezultātiem (piemēram, Soosaar et al., 2014; Soosaar et al., 2015; Lips et al., 2016a; Lips et al., 2016b), savukārt, tiešie straumes mērījumi (Kõuts 1995; Lips et al., 1995) veikti salīdzinoši reti, sen un parasti aptver īsu laika periodu.

Pirmie apjomīgie mērījumi veikti 1993. gadā (vasara un rudens sākums) Rīgas līča centrālajā daļā ar mērķi izpētīt piegultnes straumes. Rezultātā tika secināts, ka 2 m virs jūras gultnes tika novērotas periodiskas straumes, kuru maksimālais ātrums atsevišķos apstākļos sasniedz pat līdz 25 cm/s un virzās dienviņu virzienā, taču D vēja ietekmē maina virzienu uz pretējo pusi (Kõuts 1995; Raudsepp et al. 2001). 1995. gadā norisinājās līdzīgs pētījums, kur IRBEX-95 projekta ietvaros, 10 dienu periodā tika veikti intensīvi straumes, sāļuma, temperatūras un meteoroloģiskie mērījumi Irbes šaurumā (Lips et al., 1995). Straumes mērījumi tika veikti no stacionāra, jūras gultnē izvietota straumes mērītāja, kā arī no kuģa. Rezultātā tika secināts, ka mērījumu laikā (jūnijā) ūdens ieplūde Rīgas līcī notiek pa Irbes šauruma dienviņu daļas apakšējiem slāņiem, bet ūdens izplūde – pa šauruma ziemeļu daļas virsējo slāni.

Aplūkojot 1.15. attēlu redzams, ka gada siltajos mēnešos ūdens masām Rīgas līcī ir raksturīga anticikloniska tipa cirkulācija, bet aukstajos mēnešos situācija ir atšķirīga un diametrāli pretēja, līcī dominējot cikloniska tipa ūdens cirkulācijai (Lips et al., 2016a).

Šāda tipa ūdens cirkulācija atstāj iespaidu arī uz līča dienviņu daļā ieplūstošo saldūdeni, kurš vasaras mēnešos, eksistējot anticikloniska tipa cirkulācijai, var tikt pārnesti ziemeļu virzienā arī gar līča rietumu piekrasti (izpaužas kā samazināts sāļums līča rietumu piekrastes ūdens virsējos slāņos) pretēji ierastajai situācijai, kad saldūdens pārsvarā tiek pārnesti uz ziemeļiem gar līča austrumu piekrasti (Lips et al., 2016a).



1.15. attēls.(a) Ūdens masu cirkulācijas īpatnības un sāļuma vērtības (pēc modeļa rezultātiem) Rīgas līča virsējos slāņos, vasaras mēnešos. (b) Tas pats, tikai ziemas mēnešos (Lips et al., 2016a)

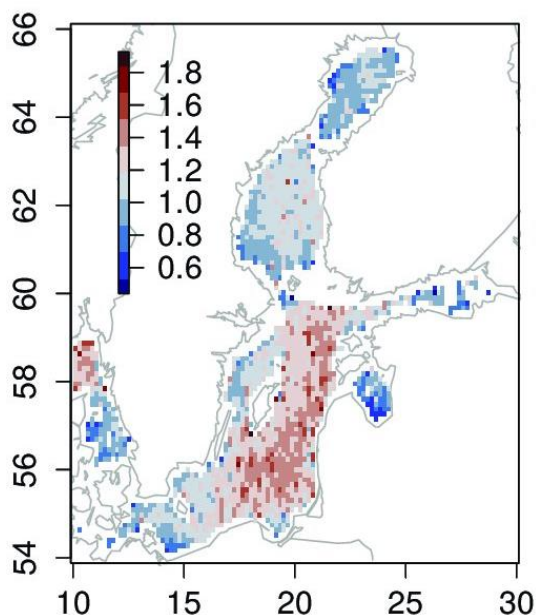
Skatoties uz straumēm, kas veidojas dziļākos ūdeņos, Rīgas līča piegultnes straumju modeļu dati rāda, ka straumēm, kuru ātrums ir lielāks par 10 cm/s (kritiskais straumes ātrums duļķainiem nogulumiem), pastāv 2-10% iespējamība pastāvēt dziļūdens daļā, 40-60% piekrastes zonā un 40-60% Irbes šaurumā (Berzinsh, 1995; Elken, 2002).

Kaut arī katrs Baltijas jūras ūdens baseins ir unikāls ar savu uzbūvi un īpatnībām, pētījumi rāda, ka arī Somu līcī ir iespējamās atkāpes no ierastajiem ūdens cirkulācijas apstākļiem (estuārija tipa cirkulācija, kad ūdens izplūst pa virsējiem ūdens slāņiem līča ziemeļu daļā, bet ieplūst pa piegultnes slāņiem līča dienvidu daļā). Ziemā pie noteiktiem atmosfēras apstākļiem ūdens apmaiņa starp Somu līci un atklāto jūru notiek pilnīgi pretēji visā ūdens kolonnā (Liblik et al. 2013; Lilovert et al. 2017). Neskatoties uz šo līdzību, jāpatur prātā fakts, ka Rīgas līča uzbūves īpatnības krietni atšķiras no tām, kas raksturīgas Somu līcim – pati galvenā atšķirība ir tā, ka ūdens apmaiņa Rīgas līcī notiek caur sekliem jūras šaurumiem (Irbes un Muhu), bet Somu līcim ir brīvs savienojums ar Baltijas jūras atklāto daļu.

### 1.3.4. Viļņi

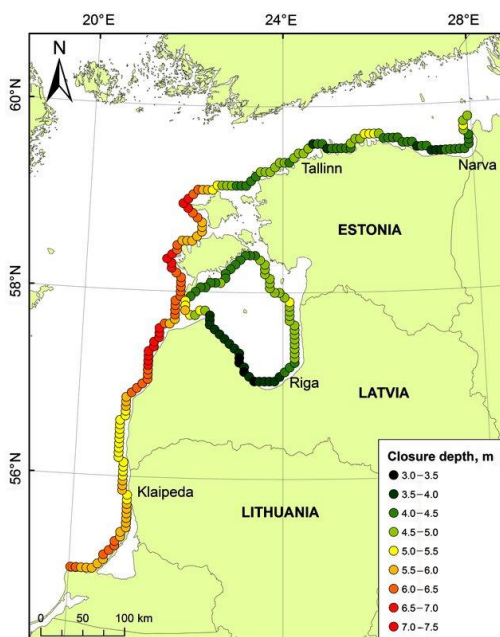
Viļņu veidošanos ietekmē ne tikai vēja ātrums, bet arī vēja un viļņu ieskrējiena ceļa garums (lielā mērā atkarīgs no ūdenstilpnes izmēriem) un ūdens dziļums. Tā kā Rīgas līcis ir daļēji izolēts no Baltijas jūras atklātās daļas un tas ir daudz seklāks, tad viļņu izmēri līcī ir daudz mazāki nekā tie, kas novērojami atklātajā Baltijas jūrā (1.16. attēls). Rudens un ziemas periodā viļņi var sasniegt 13 m augstumu Baltijas jūrā, bet Rīgas līča teritorijā lielākos viļņus veido R vēji, kas var veicināt 8 m augstus viļņus Irbes šaurumā un līča ziemeļu daļā (Pastors 1994).

Modelētais nozīmīgais viļņu augstums (1/3 no lielāko viļņu vidējā augstuma) pēc satelītu altimetrijas datiem liecina, ka viļņu augstums mainās no aptuveni 0,6 m Rīgas līča D piekrastē līdz 1,2 m līča Z piekrastē (Kudryavtseva et al. 2017).



1.16. attēls. Nozīmīgais viļņu augstums (m, krāsas skala) Baltijas jūrā no 1993-2015. gadam, izmantojot satelītu altimetrijas datus. (Kudryavtseva et al. 2017)

Viļņu lūšanas dziļums Rīgas līča krasta zonā ir mainīgs un to iespējams sagrupēt 3 galvenajos krasta posmos (1.17. attēls). Posmā no Kolkas līdz Rīgai viļņu lūšanas dziļums variē no 3-4 m, no Rīgas līdz Virtsu tas ir 4-5 m, bet posmā no Virtsu līdz Sirves (Sōrve) pussalai dziļums ir 4-4,5 m (Soomere et al. 2013).



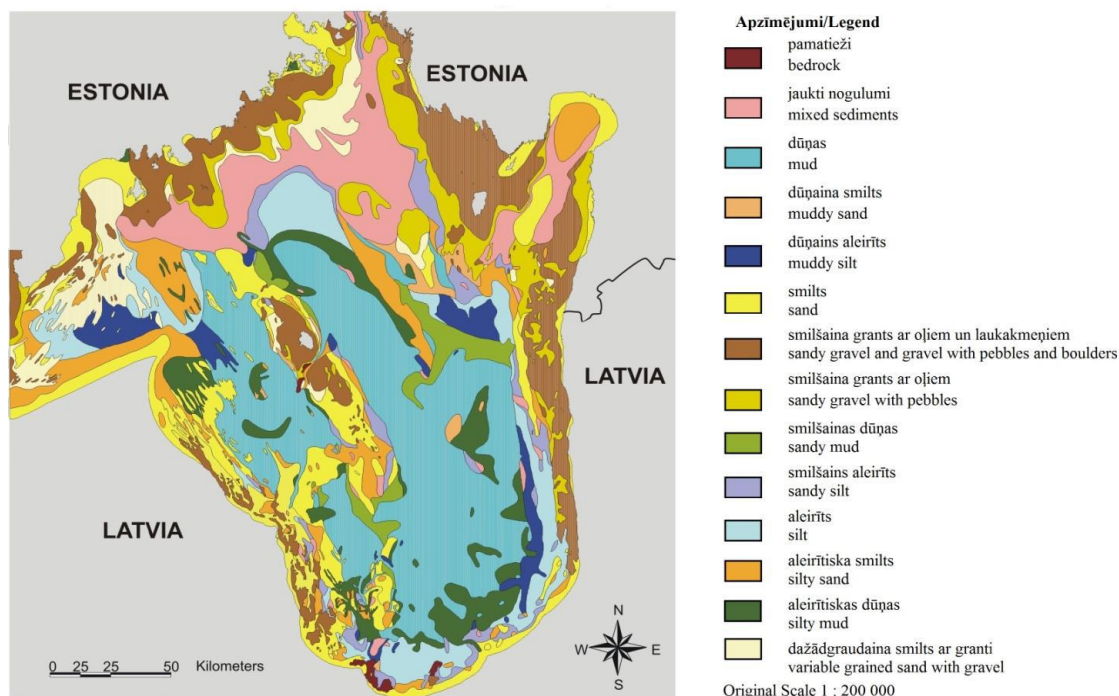
1.17. attēls. Viļņu lūšanas dziļums Baltijas valstu krastu zonā (Soomere et al. 2013)

Līdzīgi kā ar viļņu augstumu, ko ietekmē viļņu un vēja ieskrējieni, arī viļņu periods un garums palielinās pie lielākiem vēja un ūdens masu pārvietošanās ātrumiem. Rīgas līcī vētru laikā viļņu periods palielinās no 4 sekundēm aizvēja krasta zonā, līdz 9 sekundēm ārkrastē. Viļņu garums variē no dažiem desmitiem metru līdz 100 m (Eberhards 2003). Rīgas līcī pārsvarā dominē vēja viļņi, savukārt, neilgi pēc vētras novērojami arī gurdviļņi.

### 1.3.5. Nogulumi un to transports

Rīgas līcis ir daļēji slēgts estuārijs ar unikālu ekosistēmu, it īpaši tās nogulumos. Jūras dibennogulumi (ģeoloģiskā griezumā augšējais, “aktīvais” slānis, kura biezums parasti ir 20-30 cm) iesaistās mūsdienu procesos un dzīvo būtņu izplatībā, kā arī to attīstībā.

Rīgas līča gultnes morfoloģija atbilst zemkvartāra virsmas reljefam, kurā novērojamas dažādas apraktās ielejas. Jūras gultnē plaši izplatīti smilšaini vai aleirītiski reliktie nogulumi, kuru slāņu biezums variē no 1 līdz 15 cm un pārklāj periglaciālo ezeru (Baltijas ledus ezers, Joldijas jūra, Ancilus ezers) nogulumus (Stiebriņš, Vāling 1996). Līča centrālajā daļā vairāk raksturīga dūņu uzkrāšanās dziļumā no 34-36 m, savukārt aleirītisko nogulumu sedimentācijas minimālais dziļums ir 15 m, un tas norisinās tuvāk krastam (Elken 2002) (1.18.attēls). Latvijas piekrastē smilšaino nogulumu izplatības zona parasti beidzas 8-12 m, bet dažviet Vidzemes piekrastē jau pie 1,5-3,5 m dziļuma, kur nogāzi klāj izskalota morēna vai pat pamatieži (Ulsts, 1998).



1.18. attēls. Rīgas līča dibennogulumu karte (Stiebriņš et al. 1996)

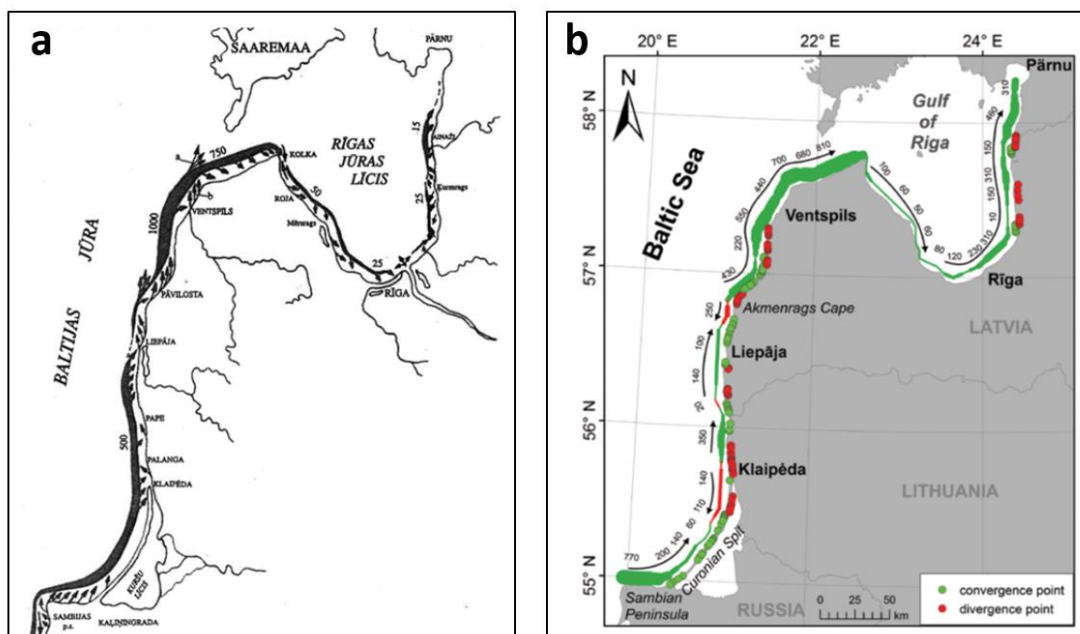
Līča rupjgraudainajos nogulumos smilšu daļiņas ir izskalotas tikai daļēji un oļu-laukakmeņu bruģis vēl nav izveidojies visos abrāzijas apgabalos. Nogulumu granulometriskais

sastāvs ir labs hidrodinamisko apstākļu indikators, un norāda uz viļņošanās un piegultnes straumju intensitāti (Stiebriņš et al. 1996; Baltijas jūras locija 2018).

Rīgas līcī vietām novērojami pamatiežu atsegumi jūras gultnē - sēkļos ap Roņu salu sastopami vidusdevona, narvas svītas atsegumi, krasta posmā no Skultes līdz Tūjai atsedzas Gaujas svītas nogulumi, bet Pļaviņu svītas nogulumi konstatēti krasta posmā netālu no Ragaciema un Jaunķemeriem (Stiebriņš et al. 1996).

Garkrasta senešu transporta pirmsākumi meklējami 10-11 tūkstošiem gadu senā pagātnē, kad bargos klimata apstākļos neizlīdzinātajā krasta zonā radās pirmās garkrasta senešu plūsmas veidotas akumulatīvas zemūdens reljefa formas, kas mūsdienās novērojamas vairāku kilometru attālumā no jūras (Veinbergs 1994). Latvijas piekrastē intensīva un vienota Austrumbaltijas senešu plūsma izveidojās Litorīnas jūras 1. stadijas otrajā pusē, un sevī aptvēra atklātās Baltijas jūras daļu, apliecot Kolkasragu un virzoties tālāk gar Rīgas līča Kurzemes piekrasti līdz Gaujai.

Mūsdienās senešu virziens ir ļoti līdzīgs un saglabā savu pirmatnējo virzienu. Kaut arī senāk pastāvēja domstarpības par garkrasta senešu plūsmas virzienu Rīgas līča austrumu krastā (1.19.a attēls), tās tika atrisinātas ar aerofoto uzņēmumu analīzi un senešu piesērējuma mērījumiem pie Ainažu ostas, kas atklāja senešu plūsmas virzienu uz dienvidiem (Eberhards 2003). Spēcīgākā senešu plūsmas jauda Rīgas līcī novērojama Kurzemes krastā, kur tā sasniedz 50 m<sup>3</sup>/gadā, posmā no Jūrmalas līdz Ķegumragam plūsmas jauda mazinās līdz 25 m<sup>3</sup>/gadā, bet pie Ainažiem tā nokrīt līdz 15 m<sup>3</sup>/gadā.



1.19. attēls. (a) Senešu plūsmas virziens (bultas) un jauda (cipari pie bultām 1000 m<sup>3</sup>)(Ulsts, 1998). (b) Simulācijas rezultējošais senešu plūsmas virziens un jauda (Viška et al. 2013)

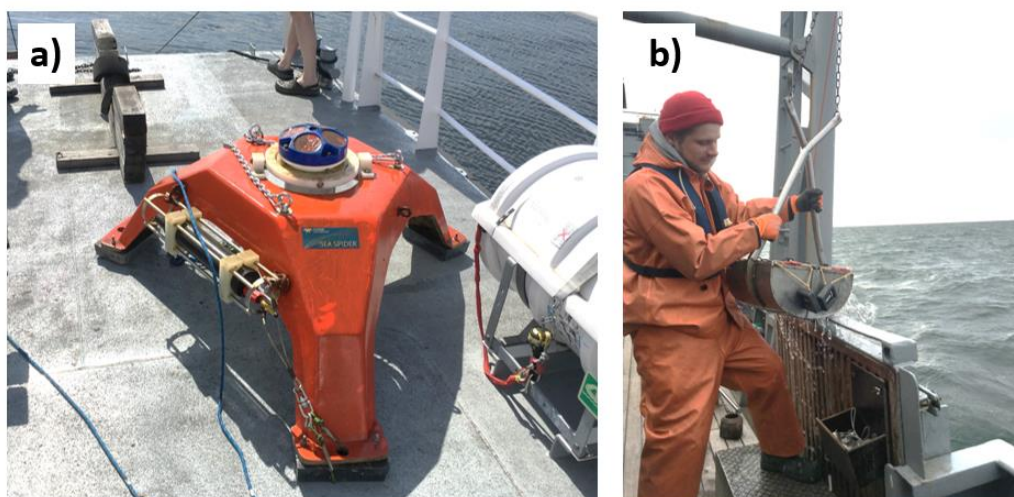
Balstoties uz viļņu modeļu rezultātiem (pētījumā nav ņemta vērā antropogēnā slodze), garkrasta sanešu plūsmas virziens var mainīties starp gadiem pie mainīga vēja režīma. Rīgas līcī stabils pretēji vērsta sanešu plūsmas nav novērotas, bet atsevišķos gados tās var rasties pie Saulkrastiem un pie Ainažiem (1.19.b attēls), kur atrodas potenciālie diverģences punkti (Viška et al. 2013).

Viļņu un straumju iedarbībā daļa no smilšu un aleirīta materiāla tiek ieskalota ārkrastē un transportēta lielākā dziļumā Rīgas līča centrālajā daļā apkārt Roņu salai. Akumulācija norisinās ūdens dziļumā, kas ir lielāks par 30 m, kur ļoti reti veidojas pietiekami stipras straumes (10 cm/s), kas var suspendēt materiālu (Elken et al. 2002). Ievērojama materiāla akumulācija novērojama arī Sāremā salas dienvidu krasta zonā, aizvēja pusē, ko iespējams skaidrot ar neizteiktu garkrasta sanešu plūsmas virzienu. Materiāls kustas no viena salas gala uz otru, tādejādi akumulējot smalko materiālu atsevišķos salas līčos (Elken et al. 2002; Stiebrins et al. 1996).

## 2. MATERIĀLI UN METODES

Maģistra darba izstrādē tika izmantots akustiskais straumes mērītājs Teledyne Workhorse Sentinel ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), kas operē ar 300 kHz frekvenci (2.1.a. attēls) un ļauj veikt kvalitatīvus mērījumus līdz 150 m dziļumam ar maksimālo izšķirtspēju 1 m. ADCP aprīkots ar četriem akustiskā devēja sensoriem un ūdens temperatūras sensoru tā virspusē. Iekārtas iekšienē atrodas horizontālās un vertikālās orientācijas sensors, baterija, un atmiņas karte, kas ļauj veikt autonomus mērījumus ilglaicīgā laika periodā.

Instrumentu fiksēšanai izmantota *Teledyne Sea Spider* platforma, kas nodrošina nemainīgu atrašanās vietu un straumes mērītāja perpendikulāru orientāciju pret ūdens virsmu pat pie nelīdzenas grunts apstākļiem. Papildus drošībai pievienots arī atsevišķs, 25 kg smags, virvē iesiets enkurs.



2.1. attēls. (a) Straumes mērītājs un zonde, izvietoti uz platformas. (b) Autors, veicot grunts paraugšanu ar “Van Veen” kausu (Autora foto).

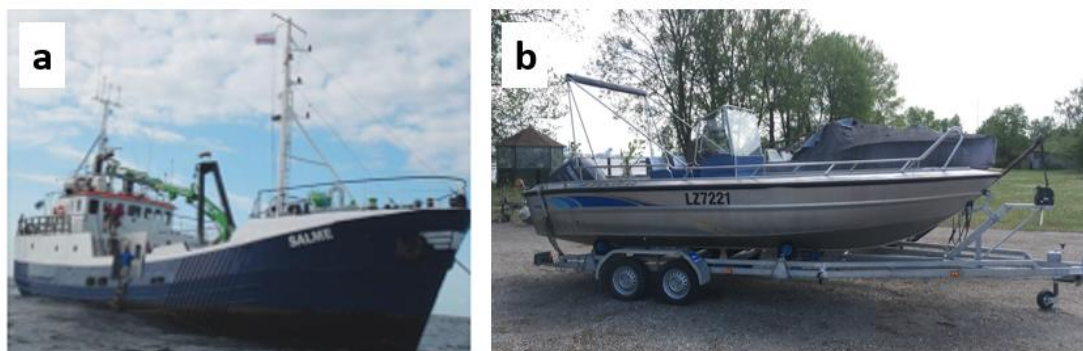
Straumes mērījumi veikti vienu jūras jūdzi no Skultes ostas, aptuveni 12 metru dziļumā. Instruments tika izvietots jūras gultnē ar skatu uz ūdens virsmu. Mērījumi tika veikti divos posmos:

- 1) rudens sezona (23.09.2018 – 21.11.2018);
- 2) pavasara sezona (29.03.2019 – 21.05.2019).

Pēc katra no mērījumu posmiem instrumentam tika veikta apkope un iegūtie dati tika ielasīti datorā.

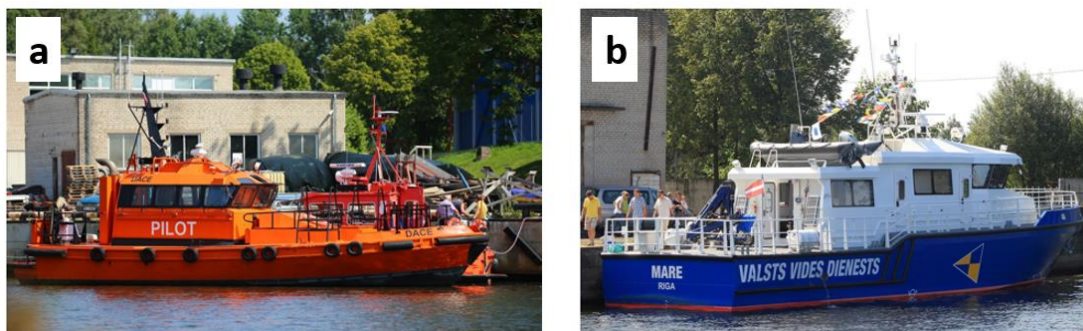
Pirmais mērījumu etaps (23.09.2018 – 21.11.2018) norisinājās 60 dienas, veicot mērījumus ik pēc 1 h. Kopumā veikti 1430 mērījumi, atrodoties koordinātās: A gar. 24°22,5576 un Z plat. 57°18,7671. Instrumenta uzstādīšana veikta ar Tallinas Tehnoloģiju universitātes

izpētes kuģi “Salme”, bet izcelšana ar Latvijas Hidroekoloģijas institūta motorlaivu “Grēvis” (skat. 2.2. att.)



2.2. attēls. (a) Kuģis “Salme” (<https://www.ttu.ee/institutes/departament-of-marine-systems/laboratories-and-services-4/research-vessel-salme-4/research-vessel-salme-5/>), (b) Motorlaiva “Grēvis” (Autora foto)

Otrais mērījumu etaps (29.03.2019 – 21.05.2019) norisinājās 53 dienas, veicot mērījumus arī ik pēc 1 h. Mērījumi veikti atkārtoti, izmantojot pirmā mērījuma etapa atrašanās vietu koordinātas. Instrumenta uzstādīšana veikta ar Skultes ostas loča kuģi “Dace”, bet izcelšana ar Valsts vides dienesta kuģi “Mare” (skat. 2.3. att.)



2.3. attēls. (a) Kuģis “Dace” (<https://skulteport.lv/wp-content/uploads/2018/09/skultes-osta-galerija-105.jpg>), (b) Kuģis “Mare” ([https://cdntest.db.lv/lvold/1100/2019/article/0044/431264/1469255\\_ORIGINAL\\_1429711409.jpg](https://cdntest.db.lv/lvold/1100/2019/article/0044/431264/1469255_ORIGINAL_1429711409.jpg))

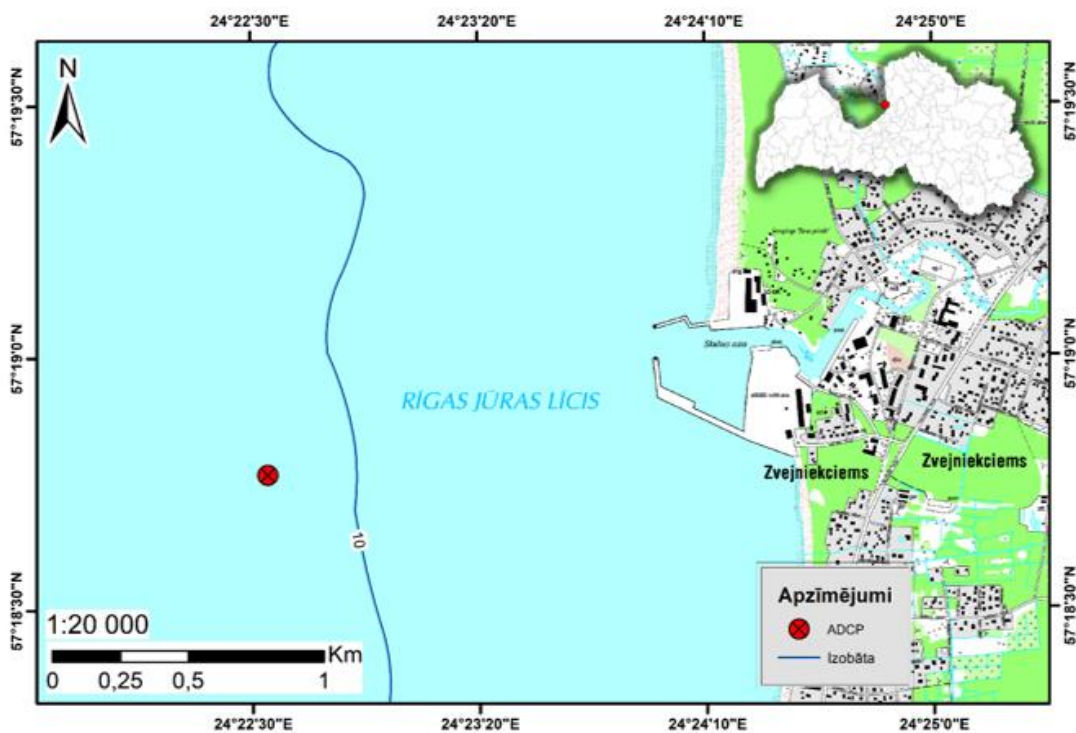
Paralēli straumes mērījumiem tika veikti ūdens konduktivitātes, temperatūras un turbiditātes (duļķainības) mērījumi piegultnes apstākļos, izmantojot Valeport Monitor CTD 500+ zondi, kas piestiprināta pie straumes mērītāja platformas.

Grunts paraugošana veikta vairākos piegājienos ar dažādiem “Van Veen” un “Petersen” tipa kausiem (2.1.b attēls), kas iegrabj grunts virsējo kārtu un sniedz reprezentatīvu virsmas paraugu. Paraugošana tika veikta 2018. gada 22. septembrī, 2019. gada 22. martā un 13. maijā.

Informācija par faktisko vēja virzienu, stiprumu un ūdens līmeni par laika periodu, kad tika veikti straumes mērījumi, tika iegūta no Latvijas Vides Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centra (LVĢMC) meteoroloģijas un hidroloģijas datubāzes Skultes novērojumu stacijā.

## 2.1. Pētāmā teritorija

Pētāmā teritorija atrodas Rīgas līča DA, aptuveni 1,5 km no Skultes ostas vārtiem, 11,8 m dziļumā (2.4. attēls). Balstoties uz Rīgas līča ainavu – ekoloģisko karti, teritorija atrodas līča zemūdens nogāzē ar jūras straumju un viļņu darbības sedimentācijas apstākļu pārsvaru, kur grunti veido ledāja nogulumu veidots viļņots abrāzijas līdzenums, pārklāts ar oļu-grants-smilts kārtu un laukakmeņiem. Pēc LVGD (Latvijas Valsts ģeoloģijas dienesta) kvartāra nogulumu kartes nogulumu atbilst augšpleistocēna glaciģēnajiem nogulumiem - morēnas mālsmilts un smilšmāls (gQ<sub>2</sub>lv) (Stiebriņš et al. 1996).

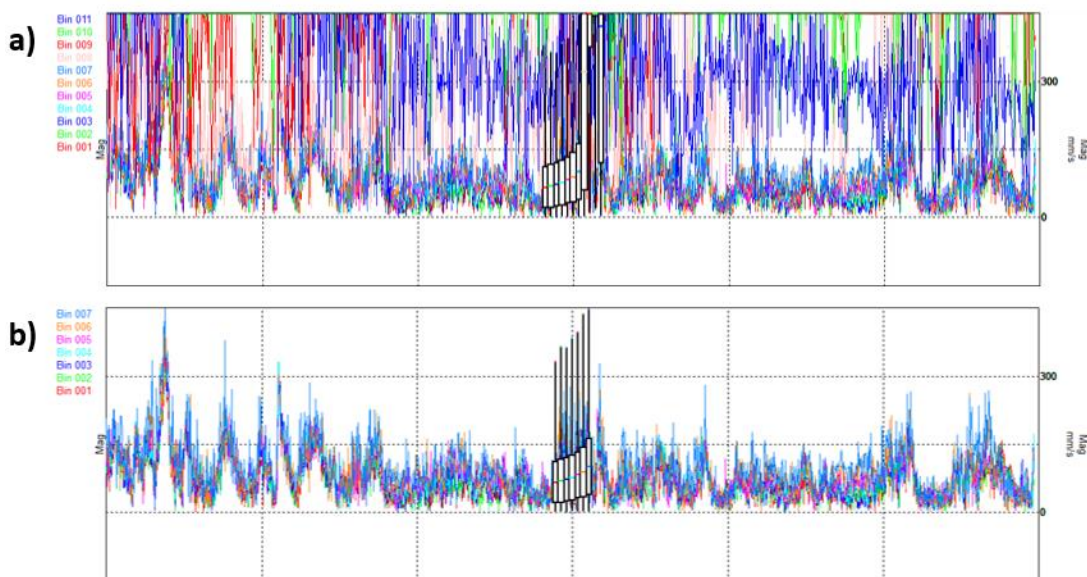


2.4. attēls. Straumes mērījumu stacijas novietojums pētāmajā teritorijā (Izstrādājis autors pēc Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras 2009)

## 2.2. Datu apstrāde

Straumes mērījumu datu apstrāde tiek veikta *WinADCP* programmatūrā, kur tiek veikta datu kvalitātes kontrole, datu pārveidošana teksta (.txt) formātā un datu (straumes ātrums, virziens, atbalss intensitāte) vizualizācija. Ūdens fizikālie, klimatiskie un straumju dati tiek apstrādāti *Microsoft Excel* vidē. Karšu izstrāde veikta ar ĢIS programmatūru ESRI Arc Map10.3.

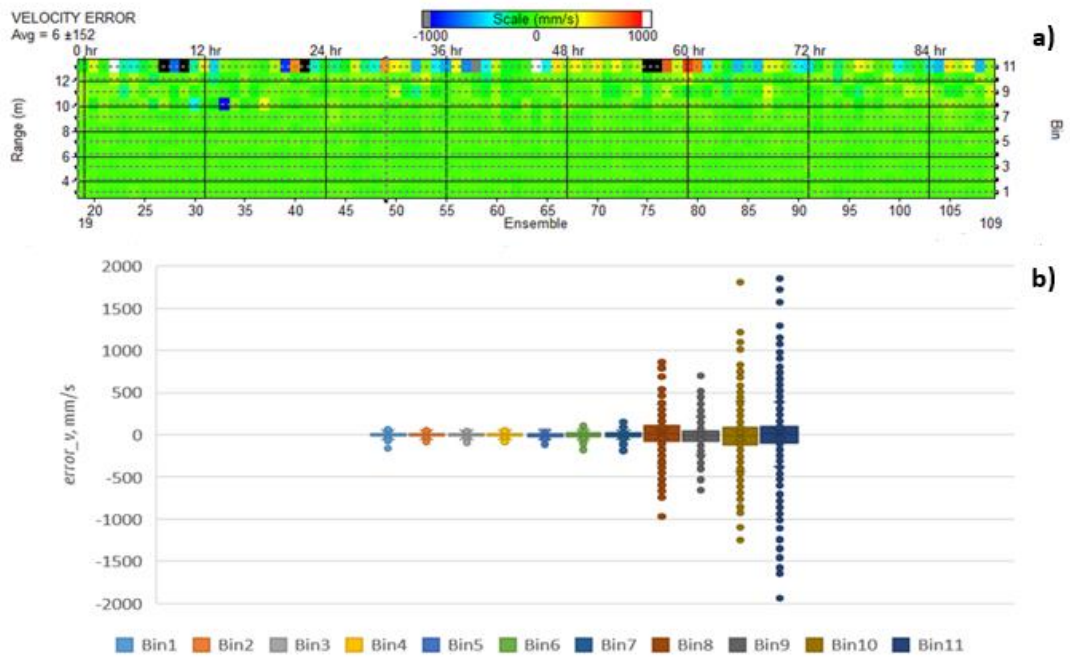
Datu kvalitātes kontrole tiek veikta, izšķirot derīgās dziļuma šūnas, kur neuzrādās neordināri augstas straumes vērtības (2.5. attēls) un vertikālā ātruma komponentes kļūdas (*Error velocity*) (2.6. attēls).



2.5. attēls. Straumes ātruma vērtības attiecīgajā dziļuma šūnā (a) pirms derīgo dziļuma šūnu atlasē un (b) pēc derīgo dziļuma šūnu atlasē (izstrādājis autors).

Ūdens virsējā slāņa mērījumus ļoti ietekmē atmosfēra un tās izraisītā viļņošana, kas nozīmē, ka ūdens virskārta nav konstanti līdzena un perturbāciju ietekmē ūdenī var novērot daudz gaisa burbuļus, kas traucē iegūt objektīvus un precīzus straumju mērījumus no virsmas slāņiem (2.5. attēls).

Kopējai datu rindai tika piemērots vertikālā ātruma komponentes kļūdas filtrs (*Error velocity*). Katrs ADCP staru pāris vienlaicīgi veic neatkarīgus vertikālā ātruma komponentes mērījumus, kuri rezultātā tiek savstarpēji salīdzināti un tiek noteikta abu mērījumu kļūda. Rezultējošie dati tiek iegūti, ņemot abu staru pāru datus un izvelkot vidējo vērtību. Datus, kur šī mērījumu kļūda ir neordināri liela un izceļas uz dziļāko šūnu fona (2.6. attēls), tā tiek uzskatīta par nederīgu un izņemta no datu kopas.



2.6. attēls. (a) Vertikālā ātruma komponentes kļūda atkarībā no dziļuma šūnas. (b) Ātruma komponentes kļūdas maksimālās, minimālās un vidējās vērtības (Izstrādājis autors)

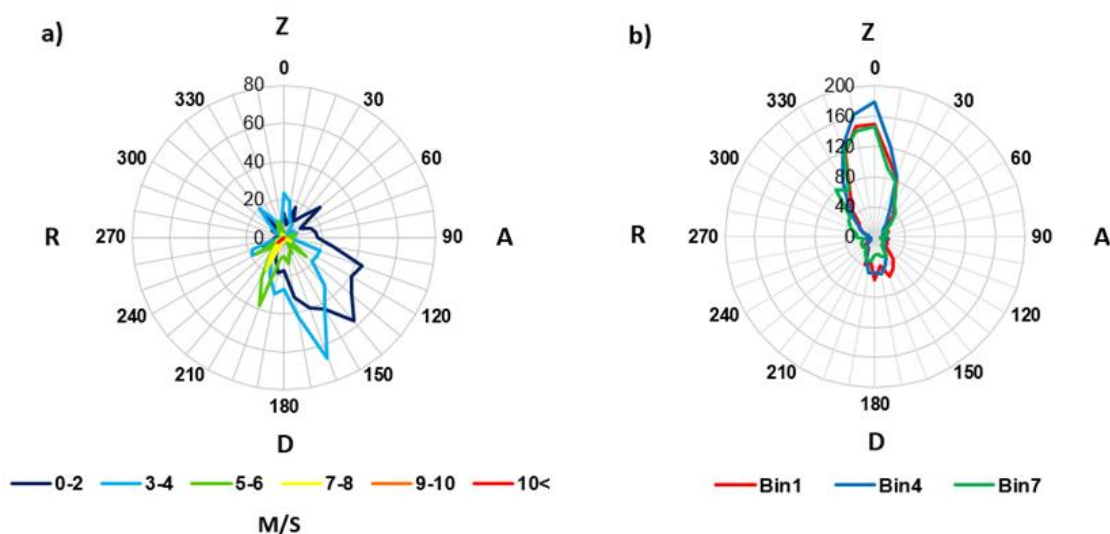
### 3. REZULTĀTI

#### 3.1. Straumes un ūdens fizikālie parametri

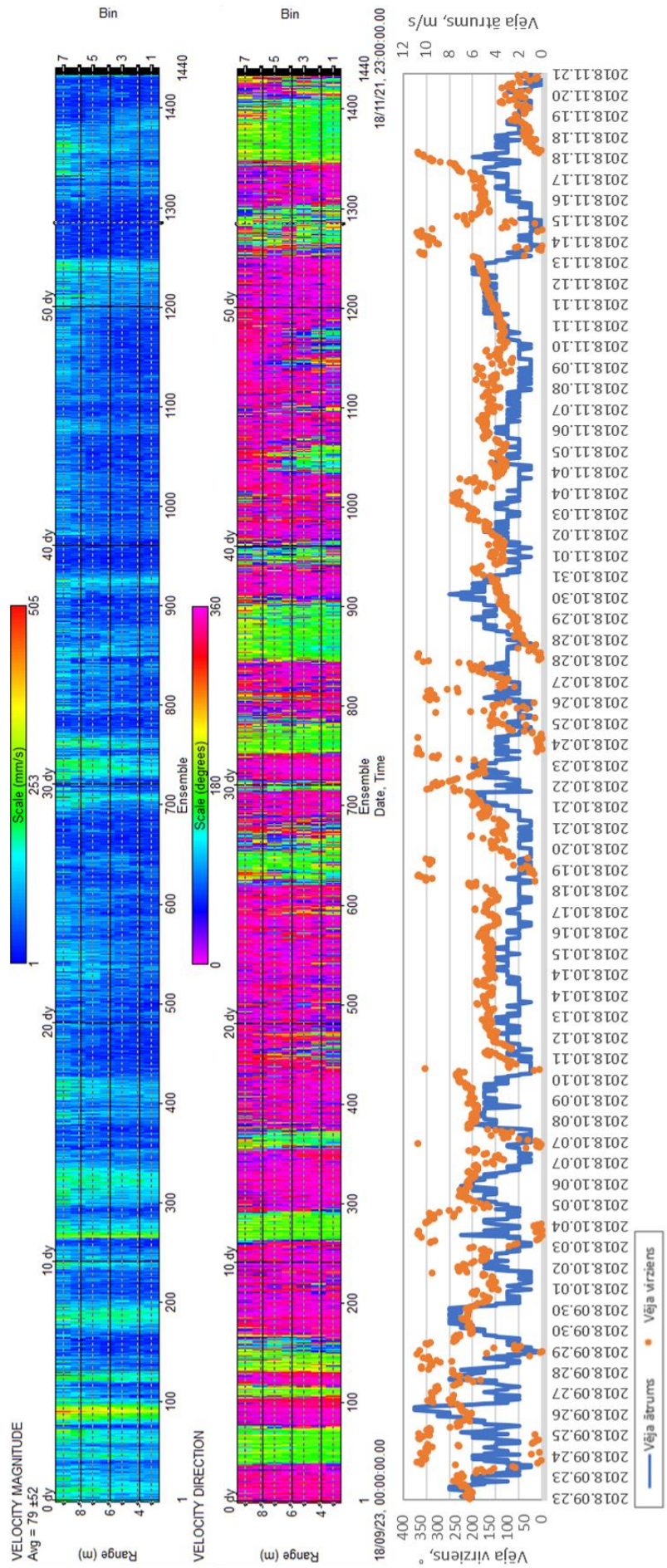
##### 3.1.1. Rudens sezona

Laika posmā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim tika veikti 1430 mērījumi, kas reprezentē straumju darbību visā laika periodā (3.2. attēls). Aptuveni 75% no mērījumu laika straumes ātrums bija no 0-10 cm/s, 23% ātrums bija 10-20 cm/s un 2% ātrums sasniedza 20-40 cm/s. Lielākoties, visam mērījumu periodam ir raksturīgs, ka straume visā ūdens kolonnā ir vērsta vienā virzienā, taču mērījumu laikā var novērot arī laika periodus, kad straumes virziens ūdens virsējā slānī un piegultnes slānī atšķiras (piemēram, 6. novembrī, kad virsējos slāņos plūstošā straume vērsta ziemeļu virzienā, un plūst ar ātrumu 10 cm/s, bet dziļākajos slāņos straume vērsta dienvidu virzienā ar ātrumu 6 cm/s). Rezultātos redzams, ka pie pastiprinātas vēja darbības parādās lielāki straumes ātrumi ūdens virskārtā, savukārt pūšot D vējam parādās Z virzienā vērstas ziemeļu straumes.

Vēja režīms laika posmā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim bijis samērā mierīgs ar vēja ātrumu, galvenokārt, robežās no 0-4 m/s ar retākiem gadījumiem, kad vēja ātrums sasniedz 5–10 m/s vai vairāk (3.1.a attēls). Lielākais reģistrētais vēja ātrums bija 11 m/s. Zemākajām vēja ātruma vērtībām (0-4 m/s) raksturīgs DDA vējš (dominējošais vēja virziens) ar atsevišķiem gadījumiem, kad vēja virziens vērsts uz citām debesu pusēm ar pūšanas ilgumu aptuveni 20-30 stundas. Aplūkojot straumju rozes diagrammu (3.1.b attēls), var redzēt, ka analizētajā laika periodā dominēja Z virzienā vērstās straumes gan ūdens virskārtā, gan piegultnes slānī. Ņemot vērā, ka aplūkotajā laika periodā visilgāk pūta D, DA virziena vēji, tad varam secināt, ka vējš bija viens no galvenajiem straumju veidojošajiem faktoriem.



3.1. attēls. (a) Vēja virziens, ātrums un tā pūšanas ilgums (h) laika periodā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim. (b) Straumju virziens un ilgums (h) no 2018. gada 23. septembra (izstrādājis autors, izmantojot LVGMC 2018 datus)



3.2. attēls. Straumes virziens (augšā), straumes ātrums (vidū), vēja ātrums un virziens (lejā) laika periodā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim . (Izstrādājis autors, izmantojot LVĢMC 2018 datus)

Aplūkojot datus dažādās dziļuma šūnās (3.1. tabula), redzama straumes ātruma pakāpeniska samazināšanās, tuvojoties jūras gultnei. Vidējās vērtības no Bin7 līdz Bin1 mainās no 10 līdz 6,6 cm/s. Lielākais fiksētais straumes ātrums ūdens virsējā slānī (50,5 cm/s, Bin 7) un piegultnes slānī (33,3 cm/s, Bin 1) tika novērots 26. septembrī (plkst.18:00). Dominējošais straumes virziens visās dziļuma šūnās ir diezgan līdzīgs un ir vērsts Z vai ZZR virzienā.

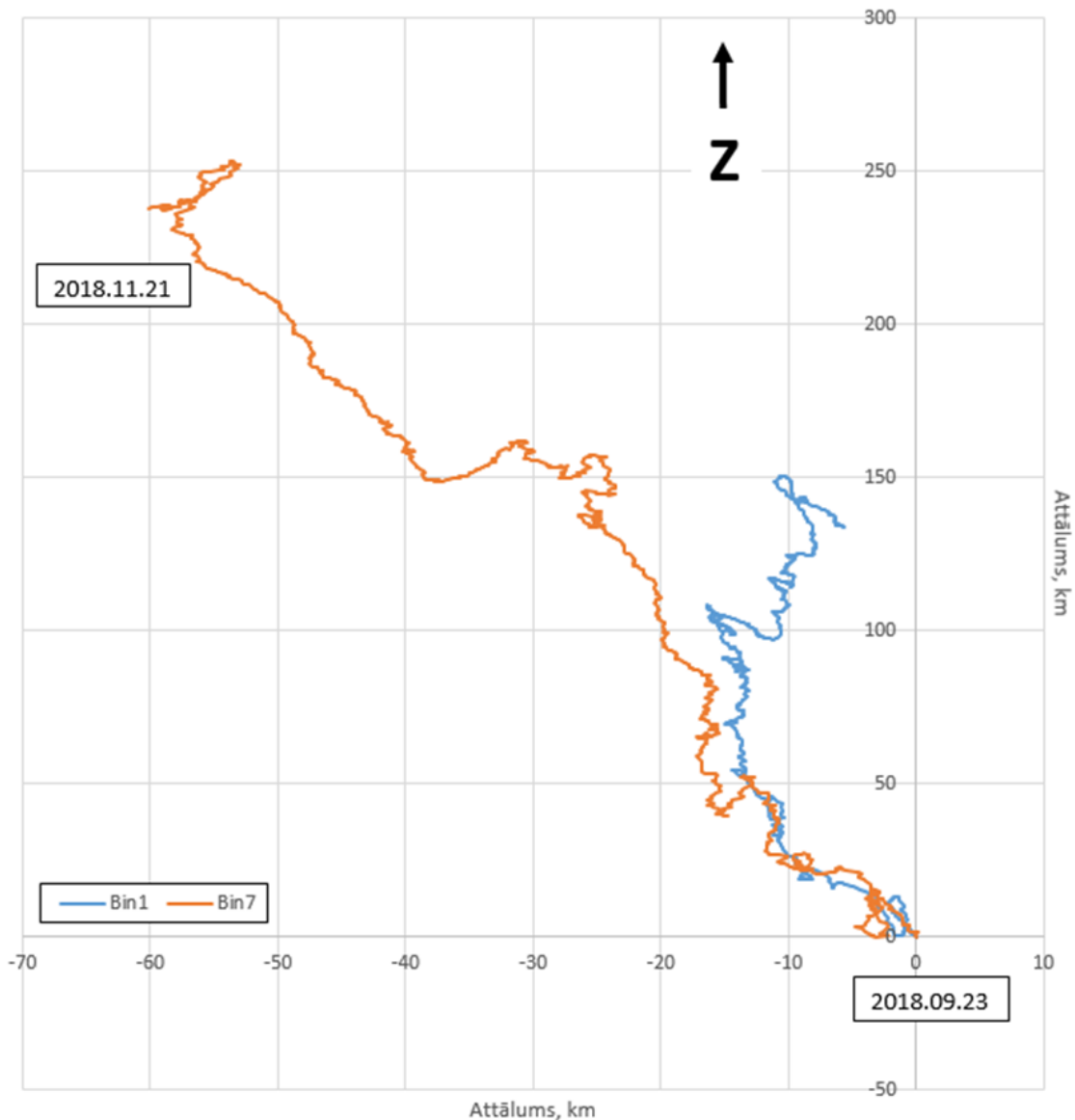
3.1. tabula

Straumes ātruma minimālās, maksimālās un vidējās vērtības un to dominējošais virziens atkarībā no ūdens dziļuma laika periodā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim

(Izstrādājis autors)

Dziļuma šūna	Augstums virs grunts, m	Straumes ātrums, cm/s			Dominējošais straumes virziens, grādi
		Minimālais	Maksimālais	Vidējais	
Bin1	3,2	0,1	33,3	6,6	ZZA
Bin2	4,2	0,1	36,7	6,8	ZZA
Bin3	5,2	0,1	36,4	7,2	ZZA
Bin4	6,2	0,1	38,6	7,6	Z
Bin5	7,2	0,1	39,8	8,2	Z
Bin6	8,2	0,1	44,0	8,8	Z
Bin7	9,2	0,1	50,5	10,0	Z

Vektoriāli attēlojot pirmā etapa mērījumus ar Bin1 un Bin7 dziļuma šūnām progresējošajā vektoru diagrammā (3.3. attēls), ir redzamas atšķirības ūdens masu transportā. Kā jau iepriekš minēts, ūdens virskārtā novērotās straumes ir daudz stiprākas, nekā straumes, kas atrodas ūdens zemākajos slāņos, tāpēc ūdens masas virskārtā tiek transportētas tālāk. Skatoties pēc ūdens masu transporta rezultējošās distancēs var redzēt, ka ūdens virsējā slāņa masas tiek transportētas ZR virzienā, aptuveni 250 km uz ziemeļiem, bet piegultnes ūdens masas vairāk tiek transportētas ZZR virzienā, 150 km attālumā no nulles punkta.

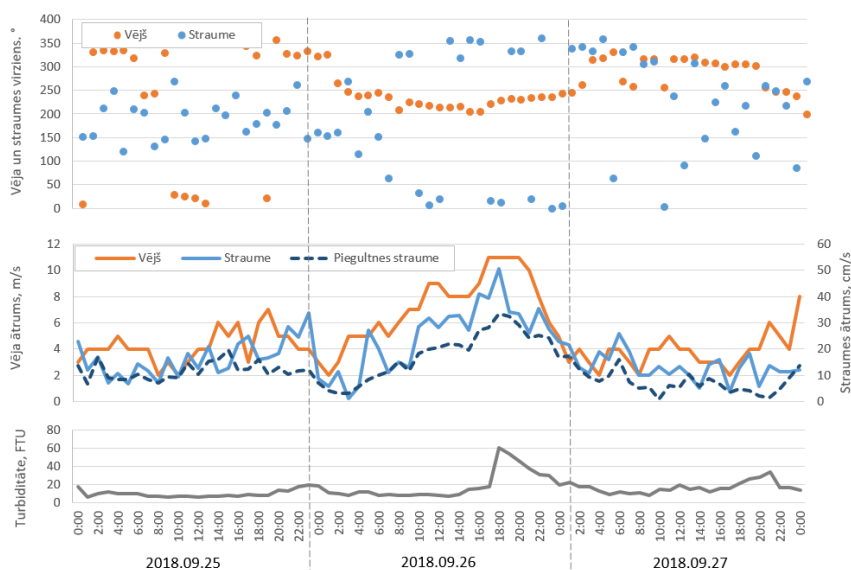


3.3. attēls. Ūdens masu pārvietošanās augšējās un piegultnes slāņos laika periodā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim (Izstrādājis autors)

Tālāk tiek apskatīts laika periods no 2018. gada 25. septembra līdz 27. septembrim (3.4. attēls) kas, balstoties uz LVĢMC datiem, izceļas ar pastiprinātu vēja režīmu.

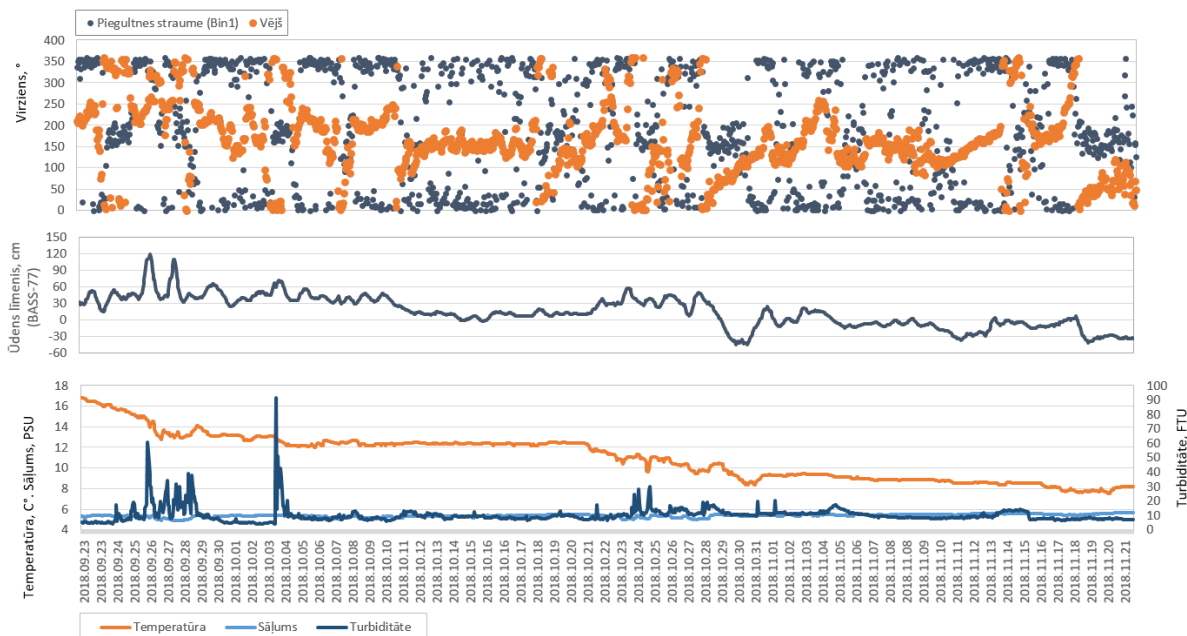
Vējš sāk celties 26. septembrī, agrā rīta pusē ap pulksten 1:00 (vēja ātrums – 2 m/s) un turpina celties līdz 17:00, kad vēja ātrums sasniedz savu maksimumu (11 m/s). Vēlāk ap 21:00 vēja ātrums sāk kristies līdz 27. septembra rītam (4:00), kad vēja ātrums jau sasniedzis 2 m/s. Mērījumu laikā var redzēt, ka, ceļoties vējam, ziemeļu vēju nomaina spēcīgas vēja plūsmas no dienvidiem, bet, vējam norimstoties, tās nomainās atpakaļ uz ziemeļu vēju. Salīdzinot vēja virzienu ar straumes virzienu, ir iespējams redzēt, ka straumes kustību stingri nosaka vējš, un tas ļoti labi sakrīt ar straumes virzienu un intensitāti. Redzams, ka pie vēja ātruma, kas ir 11 m/s, pētāmajā teritorijā ir iespējams izveidoties 50 cm/s stiprai straumei ūdens virskārtā un 33 cm/s ūdens dziļākajos slāņos. Attiecīgajā laika periodā duļķainības jeb turbiditātes mērījumi

piegultnē pieaug 6 reizes (pieaugums no 10 līdz 60 FTU vienībām) salīdzinājumā ar mierīgiem apstākļiem.



3.4. attēls. 26. septembra dati un to ietekme uz ūdens straumēm un sedimentu transportu (Izstrādājis autors, izmantojot LVĢMC 2018 datus)

Apkopojot datus par ūdens sāļumu, temperatūru, duļķainību, vēja virzienu un stiprumu, ir iespējams spriest par ūdenī notiekošajiem procesiem un to likumsakarībām ilgākā laika periodā (3.5. attēls)



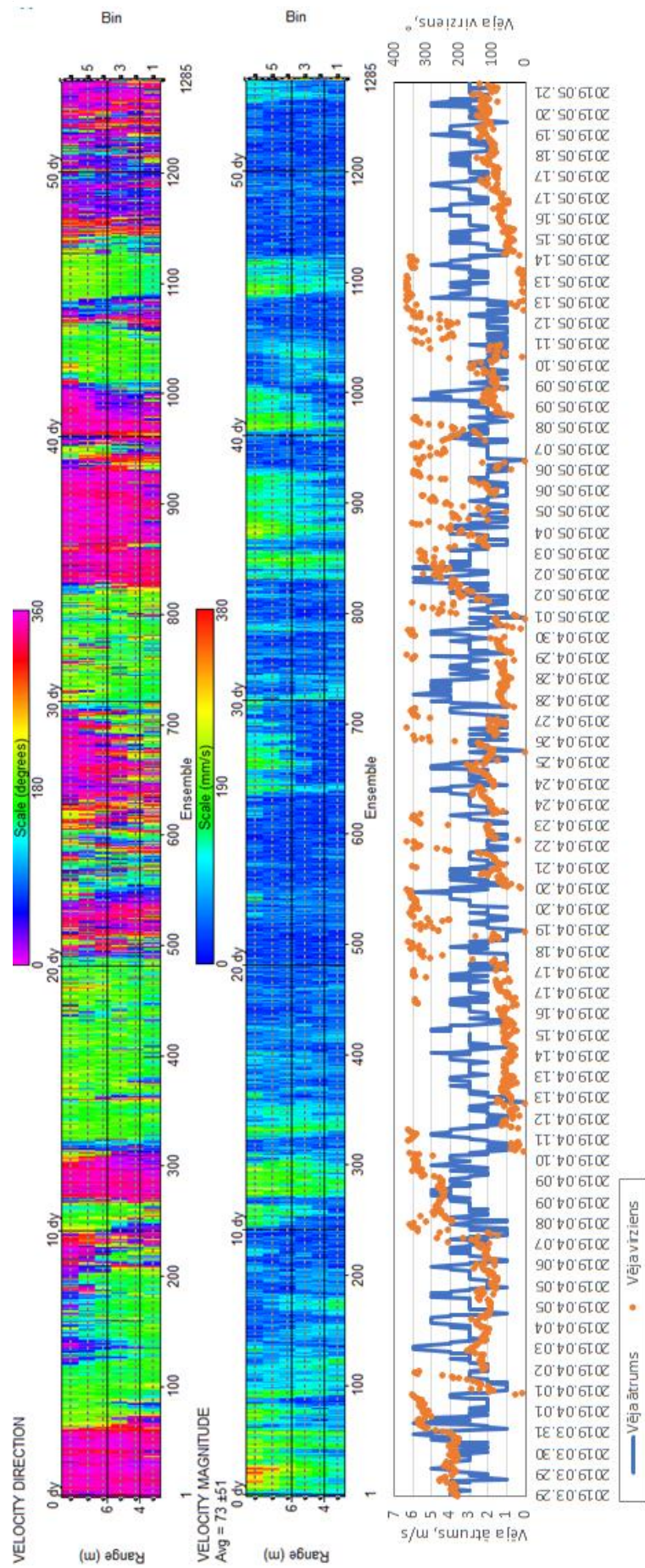
3.5. attēls. Piegultnes straumes un vēja virziens (augšā), ūdens līmenis (vidū), temperatūra, sāļums un duļķainība (lejā) laika periodā no 2018. gada 23. septembra līdz 21. novembrim (Izstrādājis autors, izmantojot LVĢMC 2018 datus)

Kopumā, izdalot trīs gadījumus (26. septembris, 4. oktobris un 24 oktobris), ar paaugstinātām duļķainības vērtībām, redzamas nelielas izmaiņas ūdens temperatūrā un ūdens līmeņa datos. 26. septembrī un 24. oktobrī ūdens līmeņa kāpums noris pūšot DR vējam, kas varētu izskaidrot paaugstinātās ūdens līmeņa vērtības, tomēr šāda sakritība nav izteikta 4 oktobrī. Mērījumu laikā novērojama pakāpeniska ūdens temperatūras pazemināšanās un duļķainības gadījumos izmaiņas ir pavisam niecīgas.

### 3.1.2. Pavasara sezona

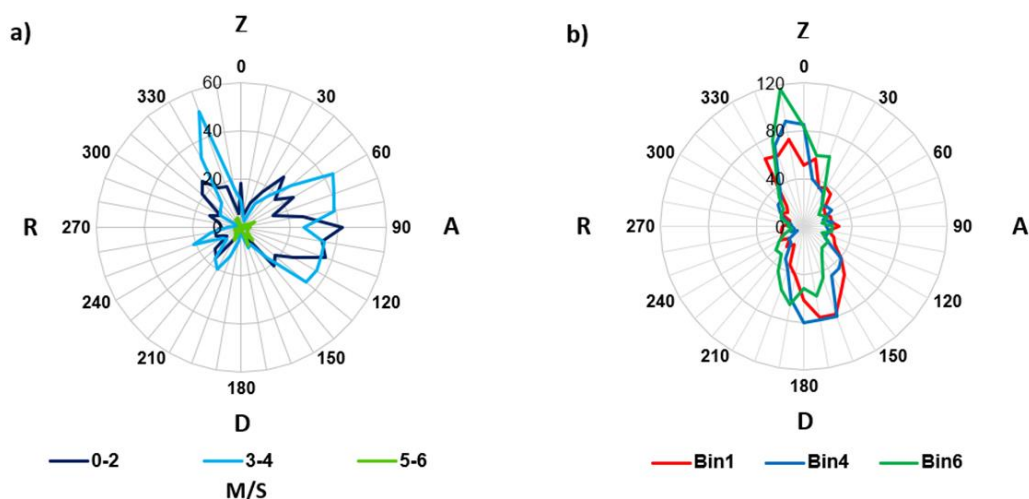
Aplūkojot iegūtos straumes mērījumu datus (3.6. attēls) laikā no 23. marta līdz 21. maijam, tika veikti 1283 mērījumi, kas veiksmīgi reprezentē straumju darbību visā laika periodā. Aptuveni 76% no mērījumu laika straumes ātrums bija no 0-10 cm/s, 22% ātrums 10–20 cm/s un 2% ātrums sasniedza 20-30 cm/s. Apskatot straumes izmaiņas ūdens kolonnā, iespējams izdalīt divus atsevišķus laika periodus (3.6. attēls), kad ūdens kolonnā vienlaicīgi pastāv divas dažādos virzienos vērstas straumes ar atšķirīgiem ātrumiem (ūdens virsējā un piegultnes slānī). Pirmajā periodā (03.-06.04.2019) straumes ātrums ir zemāks ūdens virsējos slāņos, nevis piegultnes slāņos kā ierasts. Straumes ātrums piegultnes sasniedz 14 cm/s un ir vērsts dienvidu virzienā, savukārt virsējā slānī tas ir vērsts ziemeļu virzienā, un plūst ar ātrumu 6 cm/s. Otrajā gadījumā (26.-28.04.2019) situācija ir savādāka – virsējā slānī plūstošās straumes ir vērstas ziemeļu virzienā un plūst ar ātrumu 8 cm/s, bet piegultnes slāņos straumes ir vērstas dienvidu virzienā un plūst ar ātrumu 2 cm/s.

Vēja režīms laika posmā no 2019. gada 23. marta līdz 21. maijam bijis mierīgs ar vēja ātrumu, galvenokārt, robežās no 0-4 m/s, ar retākiem gadījumiem, kad vēja ātrums sasniedz 5–6 m/s (3.7.a attēls). Lielākais reģistrētais vēja ātrums 6 m/s reģistrēts 14 reizes, kas pēc Boforta skalas klasificējas kā mērens vējš. Vējam raksturīgs ZZR vai ZAA vēja virziens.



3.6. attēls. Straumes virziens (augšā), straumes ātrums (vidū), vēja ātrums un virziens (lejā) laika periodā no 2019. gada 23. marta līdz 21. maijam. (Izstrādājis autors, izmantojot LVĢMC 2019 datus)

Aplūkojot straumju rozes diagrammu (3.7.b attēls), var redzēt, ka analizētajā laika periodā dominējušas ZZR un DDA virzienā vērstās straumes gan ūdens virskārtā, gan piegultness slānī. Salīdzinot vēja un straumes rozes diagrammas, var spriest, ka ZZA vēja ietekmē veidojas straumes, kas vērstas DDA virzienā, bet uz ZZR vērstās straumes veidojas DA, DDA vēja un citu faktoru ietekmē. Mērījumu laikā netika novērotas tik ilglaicīgas un spēcīgas DR, D vai DA vēja plūsmas, lai izveidotu ilglaicīgu Z virzienā vērstu straumi, tādejādi, norādot uz citu straumes veidojošu faktoru kopējā sistēmā.



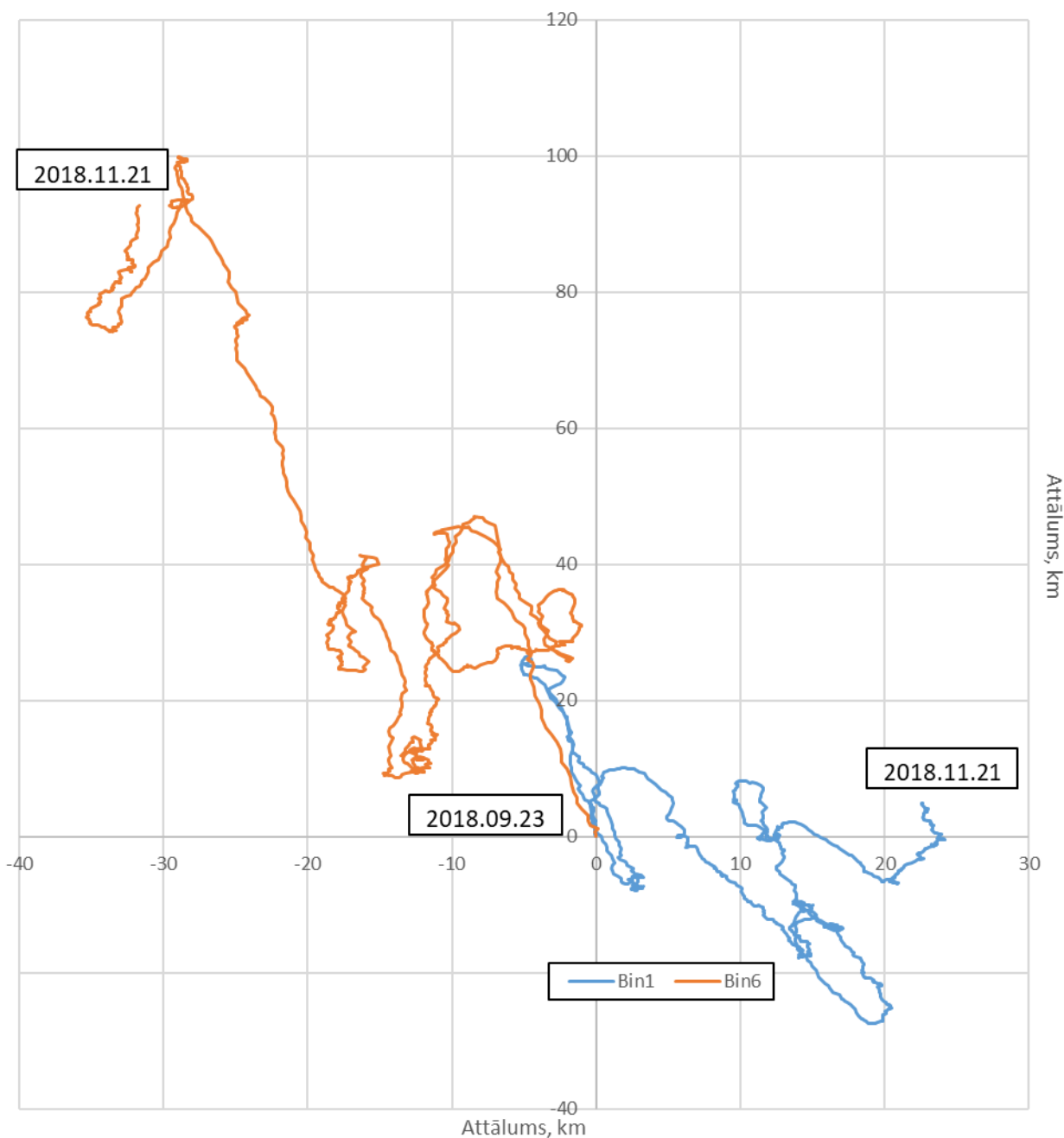
3.7. attēls. (a) Vēja virziens, ātrums un tā pūšanas ilgums (h), (b) straumju virziens un plūšanas ilgums (h) laika periodā no 2019. gada 23. marta līdz 21. maijam (Izstrādājis autors, izmantojot LVĢMC 2019 datus)

Straumes vidējās vērtības no Bin6 līdz Bin1 mainās no 8,8 līdz 6,0 cm/s. Lielākais straumes ātrums fiksēts ūdens virsējā slānī (Bin6) 38,0 cm/s, 29. martā, bet lielākais straumes ātrums dziļākajos slāņos (Bin1) sasniedz 22,6 cm/s 31. martā. Dominējošais straumes virziens visās dziļuma šūnās ir diezgan līdzīgs un ir vērsts ZZR vai DDA virzienā.

Straumes ātruma minimālās, maksimālās un vidējās vērtības un to dominējošais virziens atkarībā no ūdens dziļuma laika periodā no 2019. gada 23. marta līdz 21. maijam (Izstrādājis autors)

Dziļuma šūna	Augstums virs grunts, m	Straumes ātrums, cm/s			Dominējošais straumes virziens, grādi
		Minimālais	Maksimālais	Vidējais	
Bin1	3,2	0,1	22,6	6,0	ZZR / DDA
Bin2	4,2	0,3	21,8	6,4	ZZR / DDA
Bin3	5,2	0,2	23,1	6,8	ZZR / DDA
Bin4	6,2	0,1	27,9	7,5	ZZR / DDA
Bin5	7,2	0,1	34,7	8,0	ZZR / DDA
Bin6	8,2	0,4	38	8,8	ZZR / DDA

Vektoriāli attēlojot otrā etapa mērījumus ar Bin1 un Bin6 dziļuma šūnām progresējošajā vektoru diagrammā (3.8. attēls), ir redzamas atšķirības ūdens masu pārvietošanās virzienam un attālumam. Ūdens virskārtā esošās ūdens masas tiek pakļautas vēja iedarbībai, tāpēc vējš ir viens no noteicošajiem faktoriem, kas nosaka ūdens masu transporta virzienu un ātrumu. Dziļākajā slānī (Bin1) straumes virziens un intensitāte ir mazāk pakļauta vēja iedarbībai, tāpēc virzienu un intensitāti var ietekmēt arī citi faktori, kas šajā gadījumā izraisa pretēju straumes virzienu salīdzinājumā ar ūdens virskārtu (Bin 6).

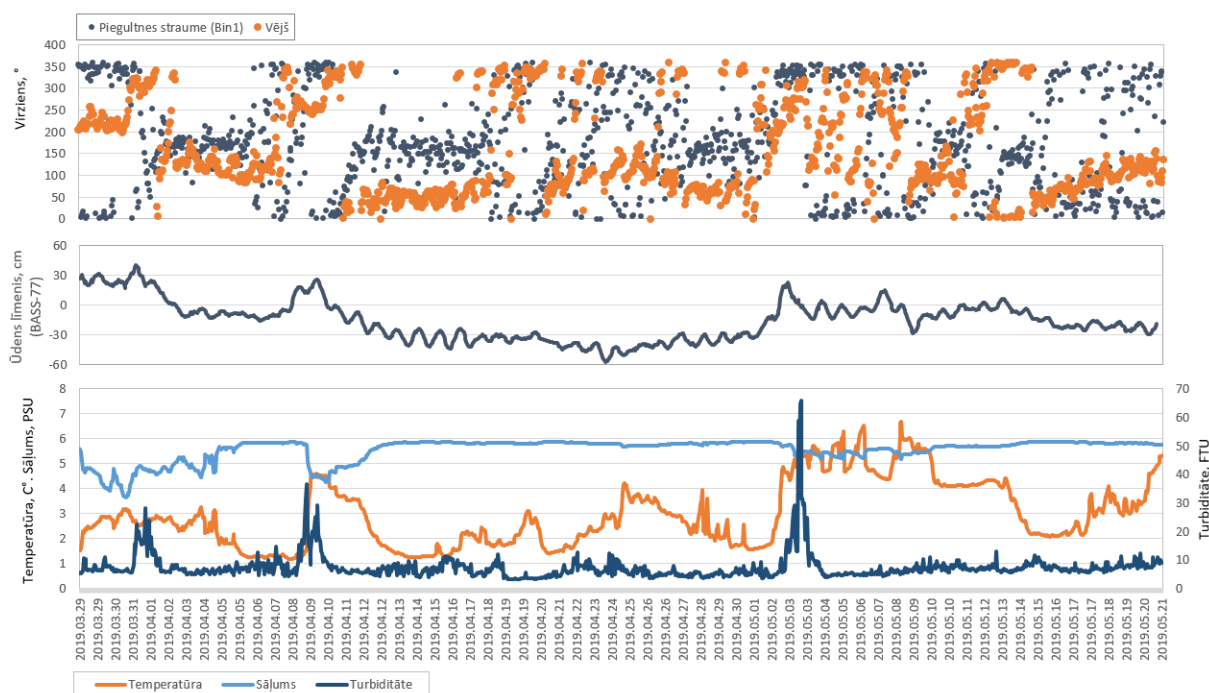


3.8. attēls. Ūdens masu pārvietošanās augšējās un piegultnes slāņos laika periodā no 2019. gada 23. marta līdz 21. maijam (Izstrādājis autors)

Ūdens masu transports ir periodisks ar dažādiem ūdens masu transporta virzieniem, kas galvenokārt vērsti ZZR un DDA virzienā, un ar atsevišķiem, īsiem cikliem, kas transportē ūdens masas R un A virzienā. Ņemot vērā, ka mērījumu laikā visos dziļumos dominēja gan ZZR un DDA straumes virziens, rezultējošais ūdens masu transportētais attālums ir salīdzinoši neliels. Dziļāko straumju pakļautajām ūdens masām (Bin1) prognozētais ūdens transports no sākuma punkta ir aptuveni 20 km DDA virzienā, bet virskārtā (Bin6) aptuveni 100 km ZZR virzienā.

Duļķainības mērījumos uzrādās trīs etapi ar paaugstinātu duļķainību (3.9. attēls). Spriežot pēc vēja virziena, ūdens sāļuma un ūdens temperatūras datiem, duļķainības paaugstināšanās

saistīta ar daunvelinga procesu līča austrumu piekrastē (vēja izraisīta ūdens virsējā slāņa nogrimšana dziļākos slāņos).



3.9. attēls. Piegultnes straumes un vēja virziens (augšā), ūdens līmenis (vidū), temperatūra, sāļums un duļķainība (lejā) laika periodā no 2019. gada 29. marta līdz 21. maijam (Izstrādājis autors, izmantojot LVĢMC 2018 datus)

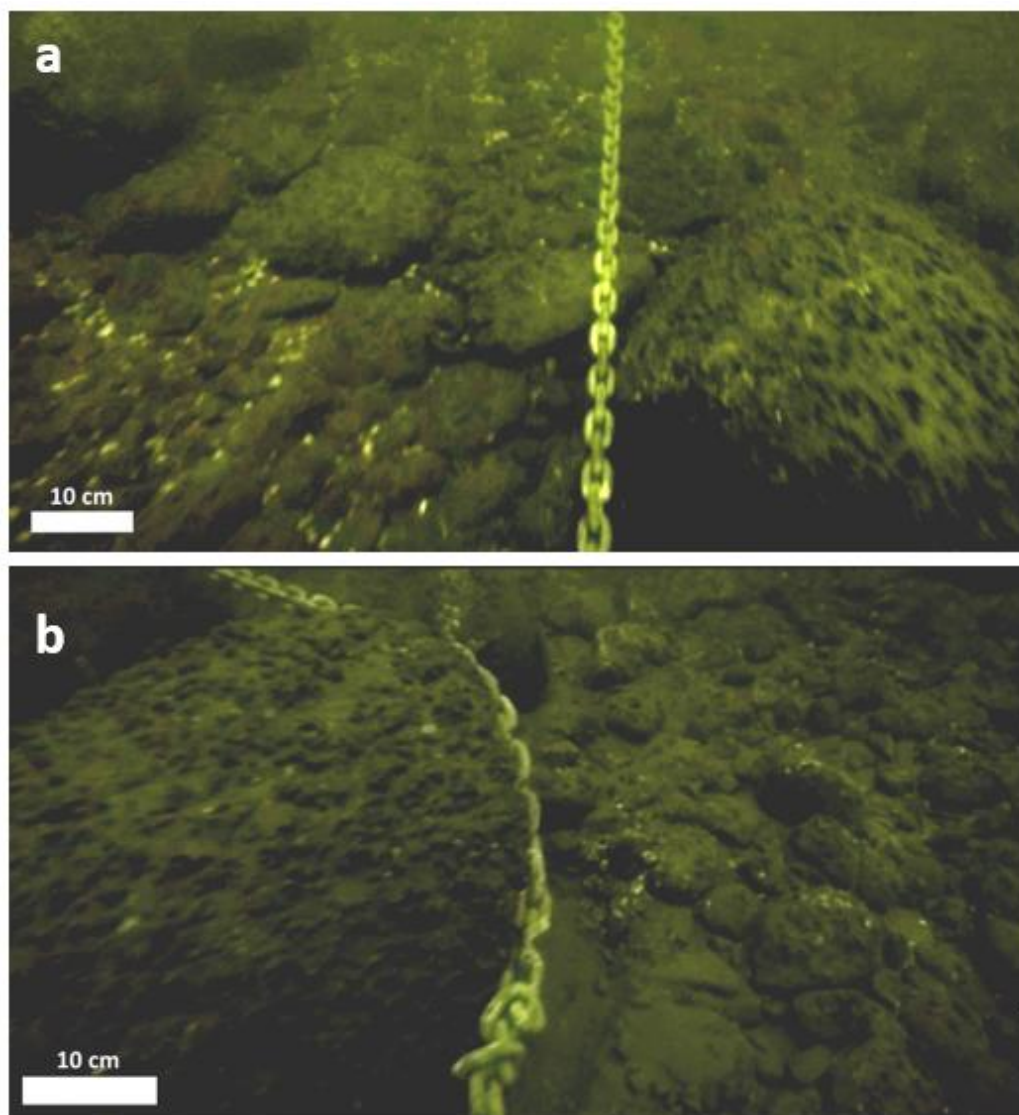
Apskatot trīs gadījumus (1. aprīlis, 9. aprīlis, 3. maijs) ar izteikti augstām duļķainības vērtībām, redzams, ka izmaiņas notiek ne tikai duļķainībā, bet arī ūdens fizikālajos parametros un ūdens līmenī. Neilgi pirms duļķainības paaugstināšanās visos gadījumos novērota ūdens līmeņa celšanās, ko, iespējams, izraisīja DR vējš, kas nes ūdens masas krasta virzienā un rezultējas ar paaugstinātu ūdens līmeni. Šajā laikā visos gadījumos novērota izteiktas ūdens sāļuma krišanās un temperatūras izmaiņas.

### 3.2. Grunts paraugošana un sedimentu transports.

Veicot grunts paraugošanu ar kausu, tika secināts, ka pētāmās teritorijas gultni veido morēnas nogulumu ar lieliem oļiem un akmeņiem, kas traucē kausa nostrādāšanas mehānismam. Pēc vairākiem mēģinājumiem tika secināts, ka grunts paraugošanas metode ar kausu nav piemērota pētāmajai teritorijai un tā vietā jāizmanto grunts filmēšanas dati.

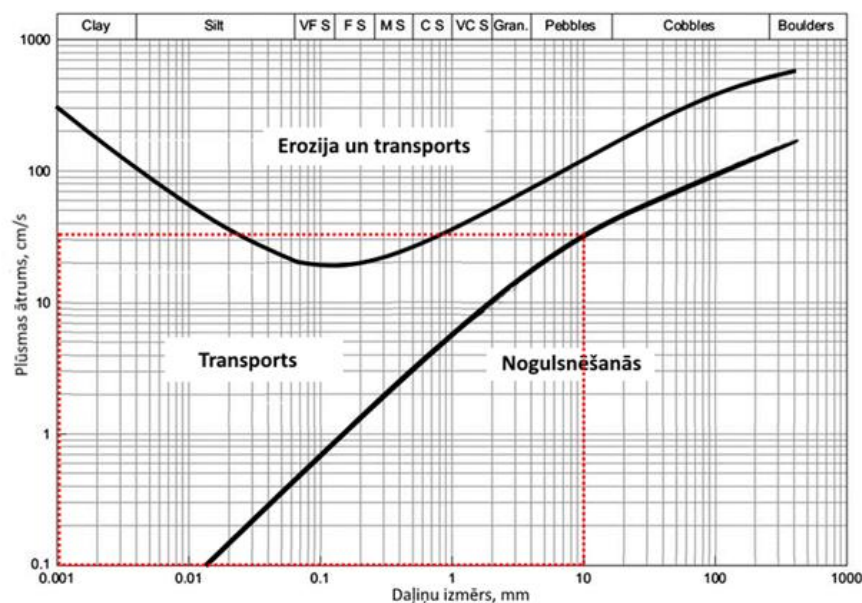
No grunts filmēšanas materiāliem var novērot, ka grunts aktīvo slāni sedz dažādi oļi un akmeņi izmērā līdz 50 cm ar noapaļotām malām (3.10.a. attēls). Aplūkojot 3.10.b. attēlu var saskatīt, ka ķēde ir izkustinājusi akmeni zem kura redzams smalks drupu materiāls (iespējams māls, aleirīts un smalka smiltis), kas liecina par hidrodinamisku vidi, kur smalkākais materiāls

ir izskalots un virskārtā paliek rupjākie nogulumi. Kopējās pazīmes liecina par pārskalotiem glaciģēnajiem nogulumiem jeb morēnu.



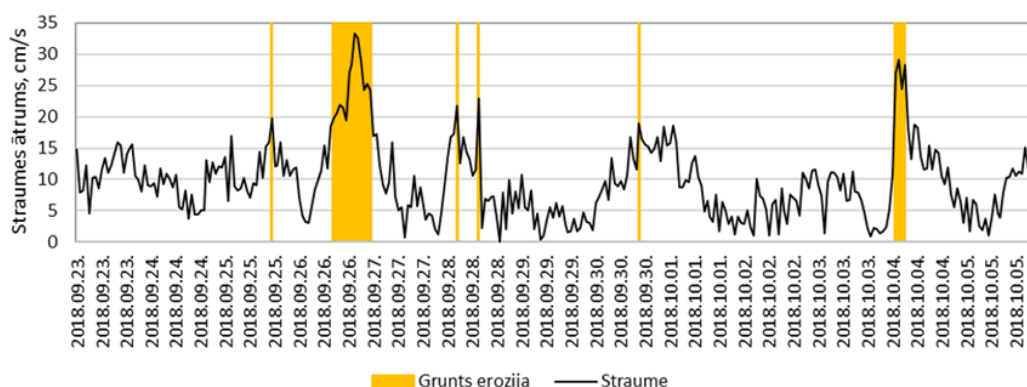
3.10. attēls. Grunts foto uzņēmumi netālu no Skultes ostas. (Foto: I. Puriņa)

Tādēļ, ka neizdevās ievākt grunts paraugus, tālākie rezultāti par sedimentu granulometrisko sastāvu tiek balstīti uz distanciāliem novērojumiem no videomateriāliem. Pēc Hjulstroma līknes (3.11. attēls) var spriest, ka daļiņu erozija sākas no straumes ātruma, kas ir lielāks par 19 cm/s un transportē smalku smilti, bet, pieaugot straumes ātrumam, tiek erodētas arī rupja smilts un rupjākās aleirīta daļiņas.



3.11. attēls. Hjulstroma līkne - 26. septembra radītās straumes ietekme uz grunts daļiņu transportu (Hjulström 1935 ar autora rediģējumu)

Pētījuma pirmajā etapā (2018.09.23 – 2018.11.21) tika fiksēts 21 mērījums (1. pielikums), kas uzrāda straumes ātrumu, kas ir vienāds vai lielāks par 19 cm/s (kritiskais straumes ātrums grunts erozijai). No visa mērījumu etapa potenciālā piegultnes straumes radītā grunts erozija tika novērota 25., 26., 27., 28., 30. septembrī, kā arī 4. oktobrī (3.12. attēls). Ilglaicīga straumes klātbūtne novērojama laika periodā no 26.-27. septembrim (augstākās straumes ātruma vērtības piegultnē) un 4. oktobrī. Straumju virziens 25. septembrī vērsts D virzienā, no 26. – 30. septembrim Z un ZR virzienā, bet 4. oktobrī atkal D virzienā. Laika periodā lielākais piegultnes (Bin1) straumes ātrums sasniedz 33 cm/s, kas ir pietiekami stiprs, lai erodētu un transportētu smilts un aleirīta frakciju.



3.12. attēls. Potenciālā piegultnes straumju radītā grunts erozija laika posmā no 2018. gada 23. septembra līdz 5. oktobrim (izstrādājis autors)

Pētījuma otrajā etapā (2019.03.29 – 2019.05.21) tika fiksēti 6 mērījumi (2. pielikums), kur tiek sasniegts kritiskais grunts erozijas straumes ātrums. Laika posmi ar optimāliem grunts erozijas apstākļiem ir novēroti 30., 31. martā, 9. un 10. aprīlī, kā arī 8. maijā ar diezgan lielu izkliedi mērījumu laikā. Piegultnes straumes ātrums variē no 19 līdz 23 cm/s un to virziens vērsts Z un ZR virzienā. Laika periodā spēcīgākā straume (23 cm/s) spēj izkustināt un transportēt smalku līdz vidējgraudainu smilti.

## 4. Diskusija

Salīdzinot abus mērījumu etapus, redzamas būtiskas atšķirības gan straumju darbībā, gan vēja režīmā. Pirmajā mērījumu etapā (rudenī) redzams, ka straumes galvenokārt vērstas ziemeļu virzienā ar atsevišķiem retiem un īslaicīgiem laika periodiem, kad virziens nomainās uz dienvidiem. Spriežot pēc intensīvās vēja darbības, ar dominējošu DDA vēju un izteiktu Z virzienā plūstošu straumi, visticamāk, ka galvenais straumes veidojošais faktors ir vējš. Galvenokārt ziemeļu virzienā vērstas straumes līča austrumu piekrastē un vēja ietekme līča reģionā atbilst arī modeļa rezultātiem par Rīgas līča straumēm ziemas sezonā (Lips et al. 2016a).

Otrajā mērījumu etapā (pavasārī) situācija ir interesantāka, jo straumju virziena sadalījums ir gandrīz vienāds (50/50) starp ziemeļu un dienvidu virzienu. Salīdzinājumā ar pirmā etapa mērījumiem, vēja virziens tikai daļēji atbilst straumes virzienam. Mērījumu laikā fiksēts mērens ZZR un A vējš (dominējošie virzieni), kas varētu izskaidrot D virzienā plūstošās straumes (ZZR vēja gadījumā), bet ne Z virziena straumes, kas liek domāt, ka otrā mērījumu etapa laikā vējš nav vienīgais straumes veidojošais faktors. Pie šāda secinājuma nonāca arī Lips et al. (2016b), kuri pierādīja, ka vasaras sezonā būtiska ietekme uz ūdens cirkulāciju Rīgas līcī (t. sk. līča austrumu piekrastē) ir stratifikācijai, kas savukārt ir viens no noteicošajiem faktoriem, kādēļ līcim raksturīga anticikloniska tipa cirkulācija vasaras sezonā. Lai gan 2. etapa mērījumu laiks tieši nesakrīt ar situāciju, kad līcim raksturīga anticikloniska ūdens cirkulācija virsējos slāņos (pēc Lips et al. 2016a), mērījumi veikti tieši starp periodiem, kuros iepriekš minētie autori norāda ūdens cirkulācijas maiņu Rīgas līcī no cikloniskas gada aukstajā periodā uz anticiklonisku ūdens cirkulāciju gada siltajā periodā. Tieši šis mērījumu laiks, iespējams, arī izskaidro kādēļ netika iegūts izteikts dominējošais straumes virziens.

Kaut arī ūdens dziļums nav liels, ūdens kolonnā atsevišķos laika posmos (1 posms pirmajā un 3 posmi otrajā etapā) iespējams vienlaicīgi novērot divas pretēji vērstas straumes (virskārtā Z virziena, piegultnes slāņos D virzienā) ūdens virsējos un piegultnes slāņos. Šāda situācija, kad straumes virziens atšķiras ūdens virsējos un piegultnes slāņos, atbilst arī modeļu rezultātiem par pētāmo teritoriju (Lips et al. 2016b).

Rīgas līča austrumu piekrastē daunvelings visizteiktāk veidojas pie DR vai R virziena vējiem, kas bija reti sastopami abos mērījumu etapos (tomēr ir dominējošie mūsu platuma grādos), tomēr pirmajā mērījumu etapā šī virziena vēji bija ar lielāko ātrumu. Kaut arī optimālākie vēja apstākļi daunvelingam tika reģistrēti pirmajā mērījumu etapā, daunvelinga pazīmes (samazināts sāļums un paaugstināta temperatūra piegultnes slāņos) šajā laika periodā ir grūti saskatīt ūdens fizikālajos parametros jo ūdens kolonnai ir raksturīga homogenitāte jeb vienmērīgums. Otrā etapa mērījumos nav tik lieli vēja ātrumi, tomēr pie DR un R vējiem ir

izteiktākas daunvelinga pazīmes. 29.-31.03.2019 un 08.-10.04.2019 identificēto daunvelingu ietekmi iespējams saskatīt ilgākā laika periodā (5-6 dienas), un šī ietekme izpaužas ar D virzienā vērstu straumi visā ūdens kolonnā.

Balstoties uz piegultnes straumes mērījumiem un Hjulstroma līknes noteikto grunts erozijas kritisko straumes ātrumu (19 cm/s), sedimentu transports pirmajā etapā norisināsies, galvenokārt Z virzienā ar atsevišķiem periodiem, kad sedimentu kustība var būt vērsta D virzienā. Otrajā etapā, saistībā ar mazākiem straumes ātrumiem piegultnes apstākļos, iespējamais sedimentu transports notiek daudz retāk un ir vērsts Z virzienā. Kopumā var secināt, ka piegrunts apstākļos lielākajiem straumes ātrumiem piemīt Z virziens, kas nosaka sedimentu transporta virzienu.

Turpmākajos pētījumos piekrastes zonā, veicot straumes mērījumus salīdzinoši seklā ūdens dziļumā, ieteicams mērījumus veikt ar ierīci, kurai ir labāka vertikālā izšķirtspēja. Šādam dziļumam piemērotāks būtu Teledyne Workhorse Sentinel ADCP, kas operē ar 1200 kHz frekvenci un ar vertikālo izšķirtspēju – 0,25 m (Teledyne RD 2016), vai 600 kHz ar 0,5 m izšķirtspēju, kas citos autora pētījumos atzīti par atbilstošiem seklākajiem ūdens dziļumiem (Yoshikawa et al. 2007; Elsäßer et al. 2016).

Grunts paraugošanas rezultātā ar kausu tika secināts, ka ierastās paraugu ņemšanas metodes ne vienmēr ir piemērotas pētāmajai teritorijai, kur grunts tipam raksturīgi lieli akmeņi un oļi virskārtā. Kausa nogremdēšanas brīdī tas vai nu atduras pret akmeņiem un aizveras, vai arī netiek iespiests pietiekami dziļi gruntī un iecērt kausa starpā akmeni, kas neļauj kausam pilnībā aizvērties. Kā alternatīva metode tika izmēģināts maza izmēra (30 cm) kauss ar līdzīgu mehānismu, taču bez panākumiem. Turpmākajos pētījumos šādā situācijā būtu ieteicams izmantot nirējus, kas mehāniski var pagrābt grunts paraugu atrodoties pie jūras gultnes vai arī spēj apsekot pētāmo teritoriju un iegūt vizuālu ainu par grunts tipu.

## Secinājumi

1. Rīgas līča austrumu piekrastē 2018. gada rudens sezonā dominēja ūdens straumes, kas vērstas ziemeļu virzienā, bet 2019. gada pavasara sezonā dominēja ziemeļu un dienvidu virziena straumes.
2. Pirmajā mērījumu etapā (rudenī) dominējošo Z virziena straumi nosaka salīdzinoši spēcīgais D vējš, savukārt otrajā etapā (pavasārī), kad vēja darbība nav tik izteikta, pastāv vēl citi straumju veidojošie faktori, par ko liecina praktiski vienlīdzīgs Z un D virzienu straumes sadalījums.
3. Ūdens fizikālie parametri ļauj izskaidrot procesus, kas saistīti ar straumju dinamiku, t.sk. identificēt daunvelingu Rīgas līča austrumu piekrastē, kas ne tikai ietekmē visu ūdens kolonnu, bet kuram ir arī nozīme dominējošo straumju dinamikā (gan virziens, gan ātrums).
4. Piegultnes apstākļos lielākajiem straumes ātrumiem, kas galvenokārt novērojami rudens sezonā, piemīt Z virziens, tādēļ sedimentu transports pārsvarā būs vērsts Z un ZZR virzienā, ar retiem pretēja virziena (D virziens) izņēmumiem.
5. Balstoties uz grunts video filmēšanas datiem, pētāmās teritorijas grunti veido glaciģēnie nogulumus (morēna) ar liela izmēra oļiem un akmeņiem.

## **Pateicība**

Autors vēlas izteikt pateicību “Latvijas Hidroekoloģijas institūts” darbiniekiem. Direktorei Andai Ikaunieci un Jurim Aigaram par motivējošo attieksmi un finansiālo problēmu risināšanu pētījuma laikā. Paldies jāsaka Atim Labucim un Ingrīdai Puriņai par piedalīšanos lauka darbos, kā arī Mārim Skudram par piedalīšanos lauka darbos, palīdzību darba plānošanā un darba labošanā.

## Literatūras saraksts

### Publicētie materiāli

- BACC author team. 2008. *Assessment of climate change for the baltic sea basin*. Berlin, Springer.
- Berzinsh, V., 1995. Hydrology. In: Ojaveer, O. (Ed.), *Ecosystem of the Gulf of Riga between 1920 and 1990*. Tallinn.
- Briede, A. 2018. *Atmosfēras spiediens un vējš. Kolektīvā monogrāfija "Latvija. Zeme. Daba. Tauta. Valsts."* Rīga, Latvijas Universitāte.
- Broecker, W.S., The great ocean conveyor. *Oceanography*, 1991. 4(2): p. 79-89.
- Daphne, L., X., D., Utomo, H., D., Kenneth, L., Z., H. 2011. Correlation between turbidity and total suspended solids in Singapore rivers, *Journal of Water Sustainability*, 1(3), 313–322.
- Davis, R., Fitzgerald, D. 2004. *Beaches and Coasts*. Oxford, Wiley - Blackwell.
- Eberhards, G., 2003. *Latvijas jūras krasti*. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Elken, J. 2002. On the current- and wave-induced sediment redistribution patterns in the Gulf of Riga. *Terra Nostra*. 4, 401–406.
- Elsäßer, B., Torrens-Spencez, H., Schmittz, P., Kregtingz, L. 2016. Comparison of Four Acoustic Doppler Current Profilers in a High Flow Tidal Environment. Asian Wave and Tidal Energy Conference. *International Conference. Book of Proceedings*. Singapore.
- Estonian Academy of Sciences. 1995. *Ecosystem of the Gulf of Riga between 1920 and 1990*. Tallinn, Estonian academy publishers.
- Garrison, T. (red.) 2011. *Essentials of Oceanography*. Sixth Edition. California, Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Healy, T. R., Stone, K., Magoon, O., Edge, B., Ewing, L., Short, A. D., ... Raney, R. K. 2005. *Encyclopedia of Coastal Science*, 846–850.
- Hjulström, F., 1935. Studies on the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyries. *Bulletin of the Geological Institute of the University of Uppsala*, 25, 221 –527.
- Yoshikawa, Y., Matsuno, T., Marubayashi, K., Fukudome, K. 2007. A surface velocity spiral observed with ADCP and HF radar in the Tsushima Strait. *Journal of Geophysical Research*, 112(6).
- Köuts, T., Håkansson, B. 1995. *Observations of water exchange, currents, sea levels and nutrients in the Gulf of Riga*. SMHIRO, 23, Norköpping, Sweden.

- Kudryavtseva, N., & Soomere, T. 2017. Satellite altimetry reveals spatial patterns of variations in the Baltic Sea wave climate. *Earth System Dynamics*, 8(3), 697–706.
- Leppäranta, M., Myrberg, K. 2009. *Physical oceanography of the Baltic Sea*. Chichester, Praxis publishing Ltd.
- Liblik, T., Laanemets, J., Raudsepp, U., Elken, J., & Suhhova, I. 2013. Estuarine circulation reversals and related rapid changes in winter near-bottom oxygen conditions in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Ocean Science*. 9(5), 917–930.
- Lilover, M.-J., Elken, J., Suhhova, I., & Liblik, T. 2017. Observed flow variability along the thalweg, and on the coastal slopes of the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 195, 23–33.
- Lilover, M.J., Lips, U., Laanearu, J., Liljebladh, B., 1998. Flow regime in the Irbe Strait. *Aquatic Sciences*, 60(3), 253-265
- Lips, U. and M.-J. Lilover, eds., 1995:IRBEX-95 Data Report. Estonian Marine Institute, Tallinn. Report Series. 2, 112.
- Lips, U., Zhurbas, V., Skudra, M., Väli, G. 2016. A numerical study of circulation in the Gulf of Riga, Baltic Sea. Part I: Whole-basin gyres and mean currents. *Continental Shelf Research*. 112(1), 1 –13.
- Lips, U., Zhurbas, V., Skudra, M., Väli, G. 2016. A numerical study of circulation in the Gulf of Riga, Baltic Sea. Part II: Mesoscale features and freshwater transport pathways. *Continental Shelf Research*. 115(1), 44 –52.
- Luhamaa, A., Kimmel, K., Mannik, A., Room. 2011. R. High resolution re-analysis for the Baltic Sea region during 1965–2005 period . *Climate Dynamics* 36(3/4), 727–738.
- Masselink, G., Hughes, M.G. 2003. *Introduction to coastal processes & geomorphology*. London, Hodder Arnold.
- Omstedt, A., Meuller, L., Nyberg, L., 1997. Interannual, seasonal and regional variations of precipitation and evaporation over the Baltic Sea. *Ambio*. 26(8), 484-492.
- Pastors, A. 1994. *Baltijas jūras Latvijas piekraste un Rīgas līcis*. Enciklopēdija, “Latvijas daba” 1. “Latvijas enciklopēdija”. Rīga.
- Raudsepp, U., Kõuts, T. 2001. Observations of near-bottom currents in the Gulf of Riga. *Aquatic Sciences*. 63(4), 385 –405.
- Reineck HE., Singh I.B. 1973. Current and Wave Ripples. In: *Depositional Sedimentary Environments*. Springer Study Edition. Springer, Berlin, Heidelberg
- Soomere, T., Viška, M., & Eelsalu, M. 2013. Spatial variations of wave loads and closure depths along the coast of the eastern Baltic Sea. *Estonian Journal of Engineering*, 19(2), 93–109.

- Soosaar, E., Maljutenko, I., Raudsepp, U., Elken, J., 2014. An investigation of anticyclonic circulation in the southern Gulf of Riga during the spring period. *Continental Shelf Research*. 78(1), 75–84.
- Stiebriņš, O., Vāling, P., 1996. Bottom Sediments of the Gulf of Riga: Explanatory Note to the Bottom Sediments Map, Scale 1 : 2 000 000. Geological Survey of Latvia and Estonia, Riga.
- Stipa, T., Tamminen, T., Seppälä, J., 1999. On the creation and maintenance of stratification in the Gulf of Riga. *Journal of Marine Systems*. 23(1-3), 27-49.
- Stow, D. A. V., Hernández-Molina, F. J., Llave, E., Sayago-Gil, M., Díaz-del Río, V., & Branson, A. 2009. Bedform-velocity matrix: The estimation of bottom current velocity from bedform observations. *Geology*, 37(4), 327-330.
- Teledyne RD Instruments a Teledyne Technologies Company. 2016. *WorkHorse Sentinel, Monitor, & Mariner Operational Manual*. S.a.
- Trujillo, A., Thurman, H., V. 2017. Essentials of Oceanography. Twelfth edition. Santa Monica, Pearson Education, Inc.
- Ulsts, V. 1998. *Baltijas jūras Latvijas krasta zona*. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests.
- Van Rijn, L.C. 1997. Sand transport and bed composition along cross-shore profile. *Coastal Engineering*. 32, 61–90.
- Veinbergs, I., Daņilāns, I., 1994. Abrāzija. *Latvijas daba, 1. Enciklopēdija "Latvija un latvieši"*. Rīga.
- Viška, M., Soomere, T. 2013. Simulated and observed reversals of wave-driven alongshore sediment transport at the eastern Baltic Sea coast. *Baltica*, 26 (2), 145–156.
- Voigt, B. 1998. Glossary for Coastal Terminology. Olympia, Washington State Department of Ecology.

### **Nepublicētie materiāli**

- Sīle, T., 2018. *Vēja plūsmas baltijas jūras kurzemes piekrastē*. Promocijas darbs. Rīga, Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Zelčs, V., S.a. Ģeomorfoloģija, *Viļņošanās process, sanešu transports un krasta zonas terminoloģija*. Lākciju materiāls. Rīga, Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

### **Sīkspiedumi**

- Rīgas jūras līcis - vēja enerģijas resurss - GORWIND projekts. 2012. (Brošūra). Jūras sistēmu institūts, Tallinas Tehnoloģiju universitāte.

### **Interneta resursi**

Carlson, G., 2005. *Total Suspended Solids from turbidity*. Technical Note 15, Technical Support, In-Situ Inc. Sk. 03.05.2019. Pieejams <https://in-situ.com/wp-content/uploads/2015/01/Total-Suspended-Solids-from-Turbidity-Tech-Note.pdf>

Wheeler, A., S.a., Seabed Sediment Sampling Techniques. Digital Resources for Common Module in Offshore Multidisciplinary Operations in Marine Science. University College Cork, School of Biological Earth & Environmental Sciences. Sk. 05.05.2019. Pieejams [http://rqmodules.weebly.com/uploads/1/9/4/8/19483873/seabed\\_sediment\\_sampling\\_techniques.pdf](http://rqmodules.weebly.com/uploads/1/9/4/8/19483873/seabed_sediment_sampling_techniques.pdf)

### **Kartogrāfiskie materiāli**

Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra (LĢIA) 2009. *LĢIA Latvijas topogrāfiskā karte mērogā 1:10000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 17.02.2019. Pieejams <https://www.geo.lu.lv/kartes/>

## **Pielikums**

## 1. pielikums

Potenciālā piegultnes straumju radītā grunts erozija laika posmā no 2019. gada 29. marta, līdz 21. maijam

Datums	Laiks	Piegultnes straume (Bin1)	
		Ātrums, cm/s	Virziens, °
2018.09.25.	15:00	20	188
2018.09.26.	11:00	20	350
2018.09.26.	12:00	21	340
2018.09.26.	13:00	22	356
2018.09.26.	14:00	21	5
2018.09.26.	15:00	20	350
2018.09.26.	16:00	27	352
2018.09.26.	17:00	28	348
2018.09.26.	18:00	33	344
2018.09.26.	19:00	33	0
2018.09.26.	20:00	29	357
2018.09.26.	21:00	24	354
2018.09.26.	22:00	25	351
2018.09.26.	23:00	24	329
2018.09.28.	3:00	22	5
2018.09.28.	10:00	23	326
2018.09.30.	14:00	19	7
2018.10.04.	1:00	27	160
2018.10.04.	2:00	29	160
2018.10.04.	3:00	25	184
2018.10.04.	4:00	28	177

## 2. pielikums

Potenciālā piegultnes straumju radītā grunts erozija laika posmā no 2019. gada 29. marta, līdz 21. maijam

Datums	Laiks	Piegultnes straume (Bin1)	
		Ātrums, cm/s	Virziens, °
2019.03.30	1:00	20	2
2019.03.31	8:00	23	346
2019.04.09	14:00	19	344
2019.04.09	16:00	21	330
2019.04.10	6:00	21	358
2019.05.08	10:00	19	351

**Maģistra darbs “Straumes un ar tām saistītās sanešu plūsmas Rīgas līča austrumu piekrastē, Skultē” izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.**

*Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.*

Autors: Miks Papirtis

\_\_\_\_\_ ./. /2019.  
paraksts datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: PhD, Māris Skudra

\_\_\_\_\_ ./. /2019.  
paraksts datums

Recenzents: Dr. geol., profesors Jānis Lapinskis

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede *Indra Baltmane* \_\_\_\_\_ ./. /2019.  
paraksts datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Maģistra darbs aizstāvēts ģeoloģijas maģistra akadēmisko studiju gala pārbaudījumu komisijas sēdē

2019. /     /     . protokola nr. .... vērtējums .....

gads, datums, mēnesis

Sekretārs

\_\_\_\_\_ ./. /2019.  
paraksts datums