

# **Sanešu pārvietošanās jūrā izpēte un laba jūras vides stāvokļa kvalitatīvā raksturlieluma “Hidrogrāfiskie apstākļi” rādītāju aprobācija**

Pasūtītājs: Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija

Izpildītājs: SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”

04-Mar-2019 Līgums IL/14/2019

Noslēguma ziņojums

Rīga, Decembris – 2019

Procesu analīzes un izpētes centrs



# Sanešu pārvietošanās jūrā izpēte un laba jūras vides stāvokļa kvalitatīvā raksturlieluma “Hidrogrāfiskie apstākļi” rādītāju aprobācija

Noslēguma ziņojums

Pasūtītājs:

Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija

Izpildītājs:

SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”

04-Mar-2019 Līgums IL/14/2019

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
Eiropas Jūrlietu un  
zivsaimniecības fonds

Sagatavots, izmantojot Eiropas Savienības Eiropas Jūrlietu un zivsaimniecības fonda (EJZF) projekta „Zināšanu uzlabošana jūras vides stāvokļa jomā” (Nr. 17-00-F06803-000001) finansējumu.

Rīga, 2019. gada decembris

## ANOTĀCIJA

Noslēguma ziņojumā apkopoti visi projekta rezultāti. Apkopoti izstrādātie sanešu pārvietošanās un ģeomorforloģisko izmaiņu ietekmes indikatori, aprakstīta matemātisko modeļu sistēmas izvēle un pamatojums. Aprakstīta hidrometeoroloģisko scenāriju izvēle šo matemātisko modeļu lietošanai un sagatavotās meteoroloģisko parametru laikrindas izpētes teritorijai, kā arī ģeotelpiskās informācijas bāze modeļu lietošanai. Sniegta izvēlēto matemātisko modeļu sistēmas izstrādes, adaptācijas, kalibrācijas un verifikācijas apraksts: garkrasta sanešu bilance modelis, hidrobūvju apkārtnes modelis un tālūras sanešu pārvietošanās modelis. Veikti modeļaprēķini ar izstrādātajiem sanešu pārvietošanās modeļiem. Aprēķināti sanešu pārvietošanos raksturojoši indikatori. Sniegtas rekomendācijas sanešu pārvietošanās negatīvo ietekmju mazināšanai izpētes teritorijā.

Ziņojums uzrakstīts latviešu valodā, tas satur 129 lappuses, 123 attēlus, 4 tabulas un 48 literatūras atsauces.

# SATURS

1. IEVADS.....	6
2. SANEŠU PĀRVIETOŠANĀS INDIKATORI.....	9
2.1. Direktīvā noteiktie raksturlielumi un kritēriji .....	9
2.2. Raksturlieluma D7 kritēriju novērtēšanas koncepts.....	9
2.3. Indikatoru aprēķina metodika.....	12
2.4. Sanešu pārvietošanās indikatori .....	13
3. MATEMĀTISKO MODEĻU SISTĒMA.....	16
3.1. Pārskats par matemātiskajiem modeļiem .....	16
3.2. Piedāvātā matemātisko modeļu sistēma un tās pamatojums.....	22
4. MODEĻU SISTĒMAS IEEJAS DATI.....	25
4.1. Hidrometeoroloģiskie dati.....	25
4.1.1. Scenāriji .....	25
4.1.2. Viļņi .....	26
4.1.3. Straumes, vējš, ūdenslīmenis, upju notece.....	30
4.2. Ģeotelpiskie dati.....	31
4.2.1. Krasta līnija un tās pārvietošanās.....	31
4.2.2. Cita ģeotelpiskā informācija .....	32
5. MODEĻU SISTĒMAS IZSTRĀDE.....	33
5.1. Tāljūras modelis .....	33
5.1.1. Modeļa uzbūve.....	33
5.1.2. Modeļa aprobācija – vidējotās plūsmas .....	35
5.1.3. Modeļa aprobācija – mainība laikā .....	39
5.2. Garkrasta pārnese modelis .....	41
5.2.1. Modeļa uzbūve.....	41
5.2.2. Krasta līnijas orientācijas noteikšana.....	42
5.2.3. Mūsdienu sanešu plūsma .....	44
5.2.4. Krasta līnijas pārvietošanās.....	45
5.3. Hidrobūvju apkārtnes modelis .....	47
6. MODEĻAPRĒĶINI.....	51
6.1. Dziļūdens sanešu pārnese .....	51
6.2. Sanešu bilances modelis .....	59
6.2.1. Sanešu plūsma un pārvietošanās intensitāte .....	59
6.2.2. Sanešu plūsmas bilance.....	62
6.2.3. Krasta līnijas pārvietošanās.....	65
6.2.4. Integrālie krasta posmu raksturojumi.....	69
6.3. Ostu apkārtnes modelis .....	72
6.3.1. Ostu ietekmes novērtējums .....	72
6.3.2. Ventpils osta .....	74
6.3.3. Liepājas osta.....	82
6.3.4. Skultes osta .....	90
6.3.5. Mērsraga osta .....	96
6.3.6. D7C2 indikatoru 4-6 aprēķins.....	102
7. ELEKTRONISKIE NODEVUMI .....	117
7.1. Hidrometeoroloģiskie dati .....	117

7.2. Modeļaprēķinu rezultāti .....	117
8. SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS .....	118
8.1. Secinājumi.....	118
8.2. Rekomendācijas .....	119
8.3. Ieteikumi tālākai izpētei.....	124
LITERATŪRA .....	125

## 1. IEVADS

Šis darbs ir 2019. gada 04. marta Līguma Nr. IL/14/2019 starp Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju (Pasūtītājs) un SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs” (Izpildītājs) noslēguma ziņojums, kas turpina darba uzsākšanas ziņojumā PAIC (2019a) un starpziņojumā PAIC (2019b) iesākto pētījumu, tai skaitā ietver PAIC (2019a, b) materiālus.

Līguma mērķis ir veikt izpēti par sanešu pārvietošanās raksturu un ģeomorfoloģiskajām izmaiņām izpētes teritorijā (Latvijas jurisdikcijā esošā jūras akvatorijas daļa), aprobējot Jūras stratēģijas pamatdirektīvā EP (2008) (turpmāk tekstā – Direktīva) noteiktā laba jūras vides stāvokļa kvalitatīvā raksturlieluma “Hidrogrāfiskie apstākļi” (D7) indikatorus.

Izpēte veikta Eiropas Savienības Eiropas Jūrlietu un zivsaimniecības fonda Rīcības programmas zivsaimniecības attīstībai 2014.-2020.gadā prioritātes “Veicināt integrētās jūrlietu politikas īstenošanu” atbalstāmā pasākuma “Zināšanu uzlabošana jūras vides stāvokļa jomā” projekta Nr.17-00-F06803-000001 “Zināšanu uzlabošana jūras vides stāvokļa jomā” ietvaros. Ziņojumā tiek lietots Direktīvas un Eiropas Komisijas Lēmumā EK (2017) 2017/848/ES noteikto kvalitatīvo raksturlielumu apzīmējums “D” (D7 “Hidrogrāfiskie apstākļi” - Hidrogrāfisko apstākļu neatgriezeniskas pārmaiņas nelabvēlīgi neietekmē jūras ekosistēmu). Izpēte tiek veikta Latvijas jūras telpiskā plānojuma ieviešanas uzraudzībai, izmantojot Direktīvā noteiktos laba jūras vides stāvokļa indikatorus un priekšlikumus metodes aprobācijai jūras piekrastes sanešu plūsmas modeļa izstrādei.

Klimata pārmaiņas ietekmē Baltijas jūras fizikālās, ķīmiskās un bioloģiskās īpašības BACC2 (2015). Daudzviet pasaulē piekrastes teritorijās jau ilgstoši tiek veikti mēģinājumi radīt un ieviest optimālu apsaimniekošanas un teritorijas plānošanas sistēmu. Krasta sistēmas izmaiņu procesi tiek uzskatīti par vienu no būtiskākajiem aspektiem, kas jāņem vērā, plānojot jūras un piekrastes teritoriju ilgtermiņa apsaimniekošanu un tās izmantošanas prioritātes. Lai varētu pielāgoties nākotnē prognozētajām klimata pārmaiņām, ir nepieciešams

- Izstrādāt sanešu pārvietošanās un ģeomorfoloģisko izmaiņu ietekmes uz apsaimniekošanas un teritorijas plānošanas aspektiem indikatorus;
- Izstrādāt sanešu pārvietošanās un ģeomorfoloģisko izmaiņu scenārijus īsam (līdz 2030), vidējam (līdz 2050) un garam (līdz 2100) laika periodiem;
- Modelēt sanešu pārvietošanos, piekrastes joslas ģeomorfoloģiskās izmaiņas, lai noteiktu to ietekmi uz saimniecisko darbību, tai skaitā atbalstītu lēmumu pieņemšanu jaunas saimnieciskās darbības jūrā plānošanai: vēja parku būvniecību, akvakultūras laukumus, smilts deponēšanas vietas, plānot biotopu aizsardzību, krastu nostiprināšanu u.c.

Lai sasniegtu Līguma mērķus, Izpildītājs ir veicis Tabulā 1 uzskaitītos uzdevumus.

Tabula 1. Līguma uzdevumi.

#	Uzdevums
1.	Izstrādāt sanešu pārvietošanās un tās izraisīto procesu ietekmes indikatoru sistēmu Projekta teritorijai. Indikatoriem ir jāraksturo sanešu pārvietošanās raksturs, intensitāte, ģeomorfoloģisko procesu raksturs un intensitāte, kā arī minēto procesu ietekmes uz saimniecisko darbību, apsaimniekošanas un teritorijas plānošanas aspektiem. Veikt Direktīvā noteikto vides stāvokļa indikatoru kartēšanu, izstrādājot raksturlieluma D7 indikatoru aprēķinu metodiku.
2.	Izvēlēties un pamatot matemātisko modeļu sistēmu, kas apraksta sanešu pārvietošanos (straumes, viļņi, ūdenslīmenis, sanešu mobilizācija, sanešu materiāla pārvietošanās, morfodinamika) un ļauj noteikt 1.uzdevuma rezultātā izveidotos indikatorus. Modeļu sistēmai ir jābūt noslēgtai, aprakstot sanešu pārvietošanos dažādos dziļumos, tai skaitā garkrasta pārnesei. Modeļu sistēmai jābūt ar iespēju noteikt sanešu bilanci, krasta erozijas un akumulācijas kvantitatīvos parametrus.
3.	Izstrādāt hidrometeoroloģiskos scenārijus, kas ietver 2.uzdevuma modeļu lietošanai nepieciešamo ieejas datu (meteoroloģiskie parametri) laikrindas izpētes teritorijai laika periodam līdz 2100.gadam. Izveidot modeļu lietošanai nepieciešamo ģeotelpiskās informācijas bāzi – dziļumu sadalījums, gultnes substrāta sadalījums, biotopu izplatība, hidrobūves, sanešu ietekmi ietekmējoši krasta un zemūdens objekti.
4.	Izstrādāt vai adaptēt 2.uzdevuma ietvaros izvēlēto matemātisko modeļu sistēmas prototipu. Veikt izstrādāto modeļu kalibrāciju un verifikāciju.
5.	Veikt matemātisko modelēšanu – 4.uzdevuma ietvaros izstrādāto modeļu pielietojumu 3.uzdevuma ietvaros izveidoto scenāriju aprēķinam, kā arī aprēķināt 1.uzdevuma ietvaros izstrādātos indikatorus (tai skaitā, ja iespējams, to telpisko sadalījumu un mainību laikā) laika posmiem līdz 2030, 2050 un 2100 gadiem.
6.	Sagatavot nodevumus – tehnisko atskaiti par 1-5 uzdevumu izpildi, un elektroniskos nodevumus – datnes ar 3 un 5 uzdevuma ietvaros sagatavotajiem datiem, tai skaitā aprēķinātajiem indikatoriem un ĢIS kartogrāfisko materiālu vektordatiem. Atskaitē iekļaut rekomendācijas izpētes teritorijas telpiskajai plānošanai un iespējamiem risinājumiem sanešu pārvietošanās negatīvo ietekmju (piemēram, krasta erozijas) mazināšanai.

Darbu uzsākšanas ziņojumā PAIC (2019a) tika sniegts pārskats par pirmo divu darba uzdevumu veikšanu, kas atspoguļots arī šajā noslēguma ziņojumā:

1. Direktīvā noteikto vides raksturlieluma D7 indikatoru aprēķinu metodika (2.nodaļa). Sadaļā 2.1 raksturoti raksturlieluma D7 kritēriji D7C1 un D7C2, sadaļā 2.2 piedāvāta pieeja (koncepts), bet sadaļā 2.3 - metodika to veidojošo indikatoru aprēķinam. Savukārt, sadaļā 2.3 piedāvāti indikatori, kas ļauj aprakstīt sanešu pārvietošanās raksturu Latvijas jurisdikcijas jūras akvatorijā.
2. Sanešu pārvietošanās matemātisko modeļu sistēmas pamatojums un funkcionālais apraksts sniegts 3.nodaļā. Sadaļā 3.1 sniegts pārskats par iespējamiem matemātiskajiem modeļiem, bet sadaļā 3.2 piedāvāta un pamatota šī pētījuma tālākajos posmos izmantojamā modeļu sistēma.

Starpziņojumā PAIC (2019b) sniegts pārskats par trešā un ceturta darba uzdevumu veikšanu, kas atspoguļots arī šajā noslēguma ziņojumā:

1. Ceturtajā nodaļā apkopoti modeļsistēmas ieejas dati. Sadaļā 4.1 izstrādāti hidrometeoroloģiskie scenāriji, kas ietver matemātisko modeļu lietošanai nepieciešamo ieejas datu (meteoroloģiskie parametri) laikrindas izpētes teritorijai laika periodam līdz 2100.gadam. Sadaļā 4.2 izveidota modeļu lietošanai nepieciešamo ģeotelpiskās informācijas bāze – dziļumu sadalījums, gultnes substrāta sadalījums, biotopu izplatība, hidrobūves, sanešu kustību ietekmējoši krasta un zemūdens objekti.
2. 5. nodaļā izstrādāts, adaptēts, kalibrēts un verificēts sanešu pārvietošanās matemātisko modeļu sistēmas prototips. Šis darbs veikts sadaļās 5.1-5.3, attiecīgi, tālūras sanešu pārvietošanās modelim, garkrasta sanešu bilances modelim un hidrobūvju apkārtnes modelim.

Noslēguma ziņojuma 6.nodaļā aprakstīti modeļaprēķini ar izveidoto matemātisko modeļu sistēmu. Sadaļās 6.1-6.3 tas veikts, attiecīgi, ar tālūras sanešu pārvietošanās modeli, garkrasta sanešu bilances modeli un hidrobūvju apkārtnes modeli. Aprēķini raksturo sanešu pārvietošanās raksturu izpētes teritorijā, ka arī ļauj aprēķināt Direktīvas raksturlieluma D7 indikatorus un mūsu piedāvātos sanešu pārvietošanās indikatorus.

Noslēguma ziņojuma 7.nodaļā aprakstīti projekta ietvaros sagatavotie elektroniskie nodevumi – datnes ar 3 un 5 uzdevuma ietvaros sagatavotajiem datiem, tai skaitā aprēķinātajiem indikatoriem un ĢIS kartogrāfisko materiālu vektordatiem.

Noslēguma ziņojuma 8.nodaļā iekļautas rekomendācijas izpētes teritorijas telpiskajai plānošanai un iespējamiem risinājumiem sanešu pārvietošanās negatīvo ietekmju (piemēram, krasta erozijas) mazināšanai.



## 2. SANEŠU PĀRVIETOŠANĀS INDIKATORI

### 2.1. *Direktīvā noteiktie raksturlielumi un kritēriji*

Direktīvas EP (2008) 9. pants uzliek dalībvalstīm pienākumu definēt laba vides stāvokļa raksturīgo iezīmju kopumu jūras ūdeņos, pamatojoties uz Direktīvas I. pielikumā uzskaitītajiem kvalitatīvajiem raksturlielumiem. Atbilstoši Līgumā noteiktajiem darba uzdevumiem, ir izstrādāta raksturlieluma “Pastāvīgas hidrogrāfisko apstākļu pārmaiņas nelabvēlīgi neietekmē jūras ekosistēmu” (D7) indikatoru aprēķina metodika.

Izstrādājot metodiku, tika ņemts vērā Eiropas Komisijas Lēmums EK (2017), kas definē novērtējumā izmantojamus kritērijus, kā arī sniedz metodisko standartu skaidrojumu. Attiecībā uz Raksturlieluma D7 novērtēšanu EK (2017) ir definēti divi kritēriji:

- ✓ D7C1 - Ar dabiskās jūras gultnes fiziskiem zudumiem saistītu jūras gultnes un vertikālā ūdens slāņa hidrogrāfisko apstākļu pastāvīgo izmaiņu (piemēram, viļņu kustības, straumju, sāļuma, temperatūras izmaiņas) telpiskais apmērs un sadalījums.
- ✓ D7C2 – Katra bentisko dzīvotņu tipa telpiskais apmērs, ko skārusi nelabvēlīga ietekme (fiziskie un hidrogrāfiskie parametri, un saistītās bioloģiskās sabiedrības) hidrogrāfisko apstākļu neatgriezenisku izmaiņu dēļ.

Ar fiziskiem zudumiem saprot 6. raksturlieluma (“Jūras gultnes integritāte ir tāda, kas nodrošina, ka ir saglabāta ekosistēmu struktūra un funkcijas, un nav nelabvēlīgas ietekmes, jo īpaši uz bentiskajām ekosistēmām”) specifikācijā minēto, proti, fiziskie zudumi ir jūras gultnes neatgriezeniskas izmaiņas, kas ilgst, vai, domājams, ilgs divus ziņošanas ciklus (12 gadus) vai ilgāk.

Novērtējums jāveic tādā pašā mērogā, kāds tiek izmantots bentisko dzīvotņu lieltipu novērtēšanai, t.i., novērtējums jāveic visos Latvijas jurisdikcijā esošajos jūras ūdeņos (teritoriālie un ekskluzīvās ekonomiskās zonas ūdeņi). Bez tam, metodiskajos standartos ir noteikts, ka kritērija D7C1 novērtēšanas rezultātus izmanto kritērija D7C2 novērtēšanā.

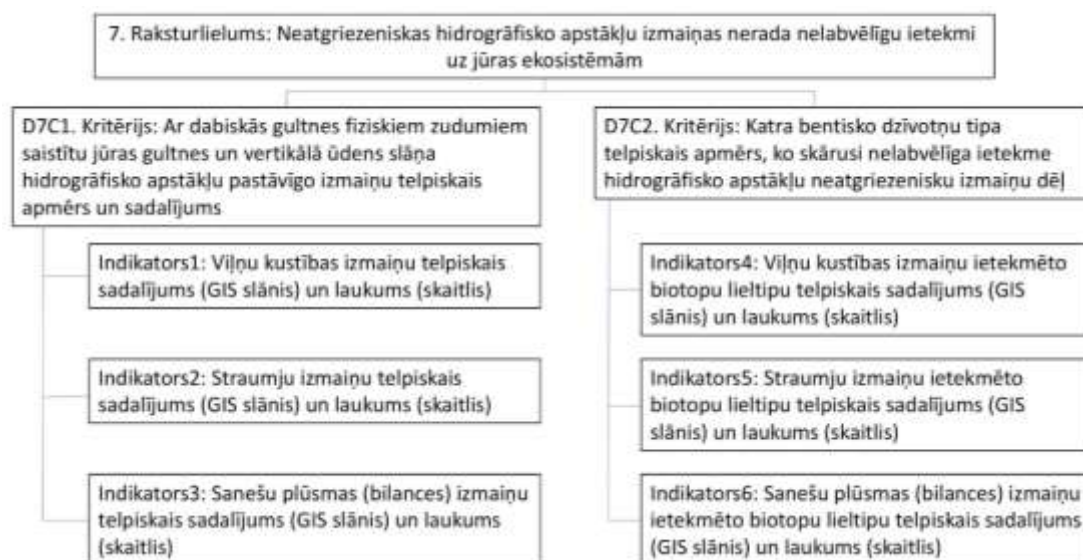
### 2.2. *Raksturlieluma D7 kritēriju novērtēšanas koncepts*

Atbilstoši EK (2017) noteiktajam, ir izveidots Raksturlieluma D7 novērtēšanas koncepts. Koncepta pamatā tiek izmantoti jau iepriekš minētie EK (2017) definētie kritēriji (D7C1 un D7C2), ar kuriem paredzēts novērtēt D7 raksturlielumu. Katram no kritērijiem piedāvājam trīs indikatorus (shēma sniegta attēlā 1), kas attiecināmi uz visiem Latvijas jurisdikcijā esošajiem jūras ūdeņiem (teritoriālie un ekskluzīvās ekonomiskās zonas ūdeņi).

Sākotnēji, veicot modelēšanu, tiks definēti references apstākļi (stāvoklis) visiem D7C1 kritērija raksturojošajiem indikatoriem. Esošā situācija un/vai tās nākotnes projekcija tiks salīdzināta ar references stāvokli un tiks novērtēts, cik ļoti esošā situācija (vai tās

nākotnes projekcija) atšķiras no references stāvokļa. Balstoties uz eksperta viedokli, pieļaujamā novirze no references stāvokļa tiek noteikta kā 15%.

Pirmais D7C1 kritērija izvēlētais indikators raksturo viļņu kustības izmaiņu telpisko sadalījumu un laukumu. Izmaiņu telpiskais sadalījums tiks attēlots GIS slānī, savukārt kopējais laukums tiks izteikts skaitliski. Otrais indikators raksturo straumju izmaiņu telpisko sadalījumu un laukumu, bet trešais – sanešu plūsmas izmaiņu telpisko sadalījumu un laukumu. Līdzīgi kā pirmajam indikatoram, izmaiņu telpiskais sadalījums tiks attēlots kā GIS slānis, bet kopējais laukums tiks izteikts kā skaitlis. Ikviens no šiem indikatoriem atbilst D7C1 kritērijam, jo katrs indikators var potenciāli ietekmēt dabiskās jūras gultni vai nu tiešā (sanešu plūsmu dinamika) vai netiešā veidā (viļņu un straumju dinamika).



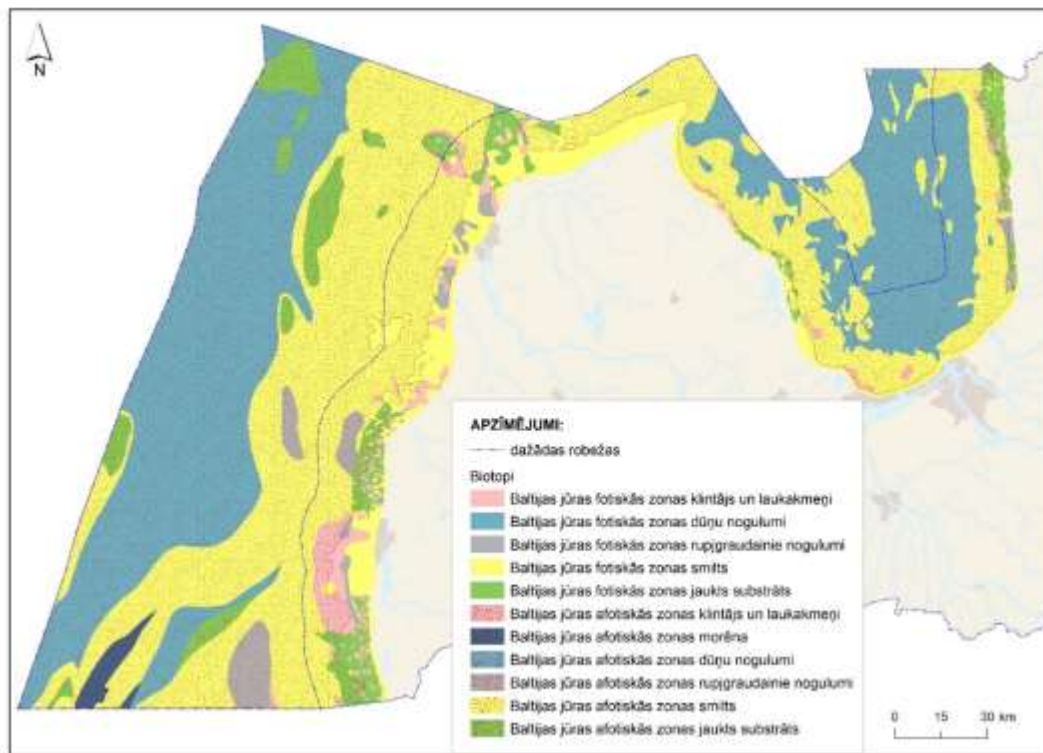
Attēls 1: Raksturlieluma D7 novērtēšanas koncepts/shēma.

D7C2 kritērija raksturošanai tiks izmantoti novērtēšanas rezultāti, kas iegūti par D7C1 kritēriju, atbilstoši tam kā noteikts metodiskajos standartos (vadoties pēc EK (2017/848). Pirmais D7C2 kritērija izvēlētais indikators raksturo viļņu kustības izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpisko sadalījumu un laukumu, otrs indikators raksturo straumju izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpisko sadalījumu un laukumu, bet trešais – sanešu plūsmas izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpisko sadalījumu un laukumu (shēma attēlā 1).

Visi trīs D7C2 kritērija izvēlētie indikatori aplūko biotopu stāvokli un tā potenciālās izmaiņas. Mainoties viļņu kustības un straumju dinamikai, kā arī sanešu plūsmas īpatnībām, līdz šim zināmais biotopu sadalījums Rīgas līcī un Baltijas jūras atklātajā daļā (2. attēls) var tikt ietekmēts un tā telpiskais sadalījums var mainīties.

Līdzšinējās zināšanas par Latvijas jurisdikcijā esošajiem jūras ūdeņu biotopiem (2. attēls, izstrādāts balstoties uz Latvijas Hidroekoloģijas institūta rīcībā esošo informāciju un datubāzi par biotopiem) liecina, ka Rīgas līča lielāko teritoriju aizņem Baltijas jūras afotiskās zonas smilts un Baltijas jūras afotiskās zonas dūņu nogulumi. Līdzīga situācija novērojama arī Baltijas jūras atklātajā daļā, taču šeit vairāk nekā līcī sastopami reģioni ar jauktu substrātu, rupjgraudainiem nogulumiem un afotiskās zonas klintāju un

laukakmeņiem (2. attēls). Seklākajiem piekrastes reģioniem Rīgas līcī un Baltijas jūras atklātajā daļā raksturīga fotiskās zonas smilts un fotiskās zonas jaukts substrāts. Retāk piekrastē sastopami fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi, kā arī fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi.



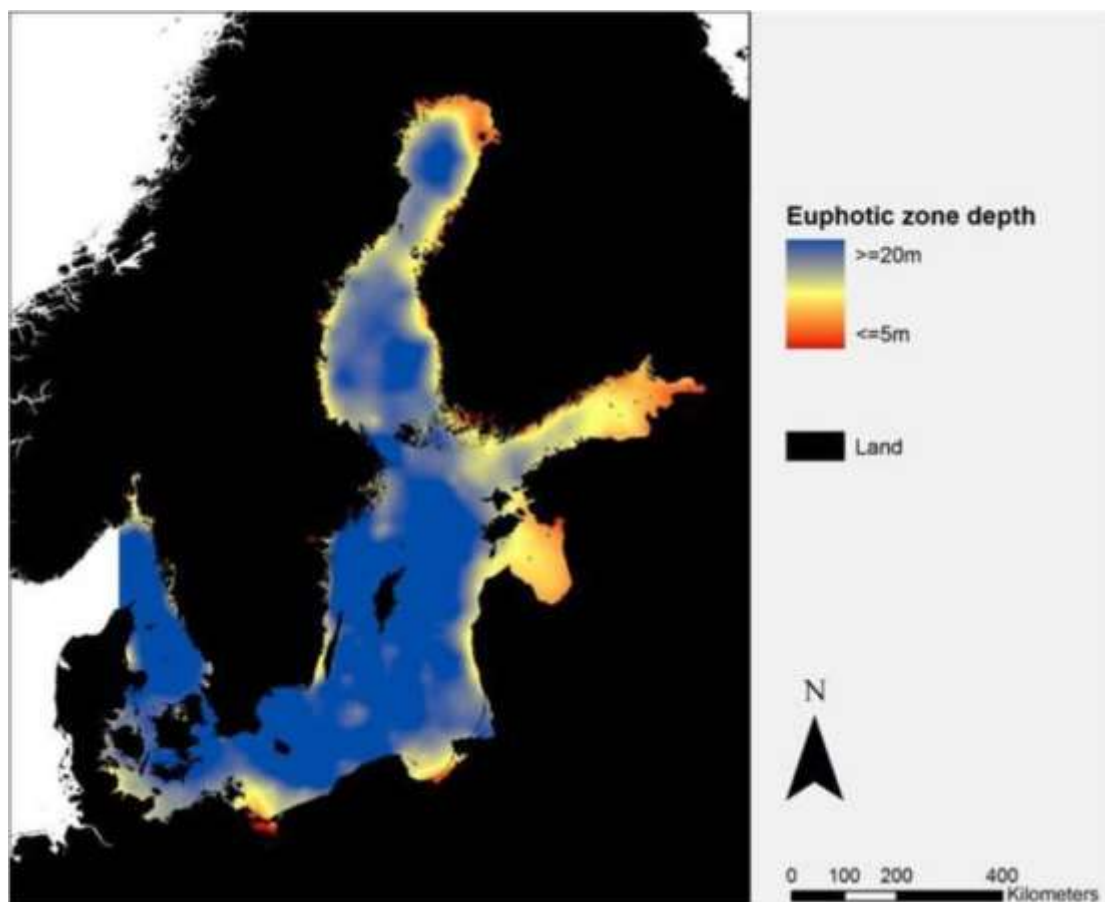
Attēls 2: Latvijas jurisdikcijā esošajos jūras ūdeņos sastopamie biotopi.

Esošais biotopu sadalījums Rīgas līcī un Baltijas jūras atklātajā daļā (2. attēls) ir atkarīgs no fotiskās un afotiskās zonas iedalījuma. Stingri noteiktas dziļuma robežvērtības starp fotisko un afotisko zonu Latvijas teritoriālajiem ūdeņiem līdz šim nav definētas, taču afotiskās zonas dziļums (atbilst dziļumam, kur beidzas fotiskā zona) atšķiras starp Rīgas līci un Baltijas jūras atklāto daļu (3. attēls), ko nosaka gan fiziogēogrāfiskās atšķirības starp abiem ūdens baseiniem, gan bioloģiskās un ķīmiskās īpatnības katrā ūdens baseinā.

Rīgas līča centrālajā daļā afotiskās zonas dziļums svārstās ap 10 m, savukārt, seklākajos piekrastes reģionos, tas ir mazāks un var sasniegt tikai 5 m (vai vēl mazāk) Pērnavas līcī (3. attēls). Baltijas jūras atklātajā daļā, seklākajos piekrastes reģionos afotiskās zonas dziļums svārstās ap 10 m, taču dziļūdens daļā afotiskās zonas dziļums ir 20 m vai vairāk.

Izmaiņas viļņu, straumju vai sanešu plūsmas dinamikā var atstāt iespaidu uz biotopu sadalījumu un to sastopamību. Piemēram, krasta erozijas rezultātā jūrā nonākušās smiltis var apbērt Baltijas jūras fotiskās zonas klintāju un laukakmeņu biotopu, kā rezultātā attiecīgajā vietā mainīsies biotopu tips. Šādas izmaiņas var izraisīt tālāku “ķēdes reakciju”, ietekmējot dzīvos organismus, kas apdzīvo šos biotopus, kalpo kā barības bāze citiem organismiem, vai pilda kādu citu nozīmīgu lomu kopējās ekosistēmas pastāvēšanā vai tautsaimniecībā kopumā. Tādejādi, indikatoru

izstrādāšanai un ieviešanai var būt arī tālākejoša, uz nākotni vērsta nozīme, lai novērtētu un paredzētu iespējamās izmaiņas biotopu sadalījumā, sastopamībā un savstarpējā mijiedarbībā.



Attēls 3: Afotiskās zonas dziļums Baltijas jūras reģionam, balstoties uz caurspīdības (Seki disks, m) mērījumiem laika posmā no 1902. – 2008. gadam, Populus et al (2017).

### ***2.3. Indikatoru aprēķina metodika***

Katru no sešiem D7C1 un D7C2 kritērija indikatoriem ir plānots izteikt divos veidos – kā telpisko sadalījumu un skaitlisku vērtību.

Telpiskā sadalījuma izmaiņu komponente ļaus izvērtēt vai konkrētais indikators (piemēram, noteikts viļņu kustības, straumju vai sanešu plūsmas virziens D7C1 kritērija gadījumā) ir pieaudzis vai samazinājies konkrētā laika periodā, savukārt skaitliskā komponente raksturo precīzu vērtību par cik šīs izmaiņas ir notikušas uz vienu vai otru pusi no references stāvokļa.

Pēc rezultātu iegūšanas par D7C1 kritērija indikatoriem, tos varēs izmantot, lai raksturotu D7C2 kritēriju. Izejot no iepriekšējā piemēra par izmaiņām noteiktu viļņu kustības, straumju vai sanešu plūsmas virzienos, tie tālāk ļaus novērtēt konkrēta biotopa potenciālās telpiskā sadalījuma izmaiņas, salīdzinot ar esošo references stāvokli (biotopu sadalījums, 2. attēls).

Skaitliskā komponente raksturo precīzu vērtību, par cik konkrētais biotops ir pieaudzis vai samazinājies. Būtiski ir atzīmēt, ka ne tikai antropogēnā darbība, bet arī klimatiskās izmaiņas un/vai svārstības rada izmaiņas sanešu plūsmās, piemēram siltās ziemas, kad neveidojas ledus jūras piekrastes zonā, pastiprina sanešu plūsmu. Tāpēc, tiks izvērtēta sanešu plūsmu dabīgā dinamika un indikatora aprēķinā tā tiks izmantota kā dabīgais fons.

## 2.4. Sanešu pārvietošanās indikatori

Papildus EP (2008) noteiktā raksturlieluma D7 kritērijus D7C1 un D7C2 raksturojošajiem indikatoriem 1-6, Līguma uzdevums ir izpētīt sanešu pārvietošanās raksturu Latvijas jurisdikcijas jūras akvatorijā. Jāatzīmē, ka raksturlieluma D7 noteikšana nedod priekšstatu par sanešu kustību, jo D7 ir atkarīgs no (1) hidrogrāfisko apstākļu izmaiņām un (2) šo izmaiņu ietekmi uz ekosistēmām. Tādēļ ir jāizveido indikatoru sistēma, kas ļautu raksturot sanešu pārvietošanos.

Lai iespējami visaptveroši, bet tai pašā laikā jēgpilni, sniegtu informāciju par sanešu pārvietošanās raksturu, jāstrukturē sanešu pārvietošanās veidi, laika un telpas mērogi.

Sanešu pārvietošanos pamatā nosaka vēja radītā enerģija (Komar (1983)), ko viļņu kustība pārnes uz piekrastes zonu; tur šī enerģija tiek izdalīta mijiedarbībā ar grunti. Viļņu enerģija mobilizē sanešus (tas ir, padara tos pārvietojamus), tai skaitā suspendējot tos ūdens kolonā, jo sevišķi viļņu lūšanas zonā. Mobilizētie saneši tiek pārvietoti (a) ar vēja straumēm, (b) viļņu radiācijas spriegumu radītām straumēm, (c) viļņu orbitālo ātrumu nesimetrijas dēļ piegrunts slānī, (d) galvenokārt – ar viļņu lūšanas zonā radītajām, pamatā krastam paralēlajām, garkrasta straumēm.

Tradicionāli sanešu pārvietošanos var sagrupēt sekojošos **veidos**:

1. **Garkrasta sanešu pārnese**, kas notiek, viļņu lūšanas zonā mobilizēto sanešu materiālu pārvietojot paralēli krastam. Pārnesi veic garkrasta straume, kas rodas viļņu kustības enerģijai pārejot ūdens virzītā kustībā. Garkrasta sanešu pārnese ir īpaši nozīmīga vētru laikā un uzskatāma par visintensīvāko no sanešu pārvietošanās veidiem.
2. **Krastam perpendikulārā sanešu pārnese**, kas veidojas viļņu kustības orbitālajiem ātrumiem mijiedarbojoties ar grunti seklūdens zonā (mazāk kā 8-10 m dziļumā). Spēcīgu vētru laikā krastam perpendikulārā sanešu pārnese notiek pamatā prom no krasta (pludmales un jūras gultnes erozija), bet mērenas viļņošanās apstākļos notiek pakāpeniska sanešu pārnese atpakaļ krasta virzienā (zemūdens profila akumulācija), Dean&Dalrymple (2002).
3. **Sanešu mijiedarbība ar hidrobūvēm** (moliem, viļņlaužiem, navigācijas kanāliem, krasta nostiprinājumiem utml) notiek divējādi: (1) garkrasta vai krastam perpendikulārai sanešu plūsmai tieši mijiedarbojoties ar būvēm vai (2) hidrobūvju ietekmes uz sanešu pārnesi nosakošajiem hidrodinamiskajiem laukiem – viļņiem un straumēm – dēļ, piemēram, Bethers&Sennikovs (1997). Šajā aspektā ir nozīmīga jebkura antropogēnā darbība – arī sanešu izbēršana zemūdens grunts izgāztuvēs, piemēram, PAIC (2007).

4. **Upju sedimentu transports** piegādā papildus materiālu jūras piekrastes zonai un var būt nozīmīgs sanešu bilancē.
5. **Dziļūdens sanešu pārnese**, kas veidojas viļņu kustības orbitālajiem ārtumiem mijiedarbojoties ar grunti dziļūdens (>10 m dziļumā) zonā.

Sanešu pārvietošanos un jūras gultnes izmaiņas (morfodinamiku) iespējams raksturot dažādos laika un telpas mērogos.

Iespējamie laika mērogi Bird (1969) ir

- ģeoloģiskais laika mērogs, kas mērāms gadsimtos un kurā tiek izmainītas liela mēroga krasta ģeomorfoloģiskās formas;
- klimatiskais laika mērogs 10-100 gadi, kuros iezīmējas sanešu pārvietošanās tendences;
- sezonālais laika mērogs 1-12 mēneši, kurā izpaužas sezonālās sanešu pārvietošanās likumsakarības;
- atsevišķu notikumu (vētru) laika periods no dažām stundām līdz nedēļai;
- īstermiņa laika mērogs no dažām sekundēm (viļņu periods) līdz stundai, kura ietvaros veidojas un mainās sanešu pārvietošanās ietekmējošie fizikālie procesi.

Savukārt, iespējamie telpas mērogi ir

- jūras mērogs, kas mūsu gadījumā būtu visa Latvijas piekraste (simti kilometru);
- noteikta dziļumu zona, un/vai krasta posms, kurā notiek šim dziļumu intervālam, vai krasta posmam raksturīgs process (desmiti kilometru);
- noteiktu objektu (dabisku vai antropogēnas izcelsmes) ietekmes zonas, kuru attālums no objekta variē no dažiem simtiem metru līdz vairākiem kilometriem;
- zemūdens ģeomorfoloģisko formu raksturīgais izmērs (no dažiem desmitiem centimetru līdz desmitiem metru);
- mikromērogs, kas samērojams ar grunts daļiņu izmēru, un kurā iespējams aprakstīt fizikālos procesus, kas nosaka šo daļiņu pārvietošanos.

Indikatoriem, kuru mērķis ir iespējami daudzpusīgi aprakstīt sanešu pārvietošanos, būtu jāietver iespējami plašāks laika un telpas mērogu loks. Tāpat, tiem būtu jāraksturo gan sanešu pārvietošanās intensitāte, gan ietekme uz jūras gultnes un pludmales ģeomorfoloģiju, kā arī mijiedarbība ar hidrobūvēm. Būtisks indikatoru izvēles kritērijs ir arī tāds, lai tie būtu jēgpilni, izmērāmi dabā un nosakāmi ar matemātisko modeļu palīdzību. Mēs piedāvājam sekojošus indikatorus:

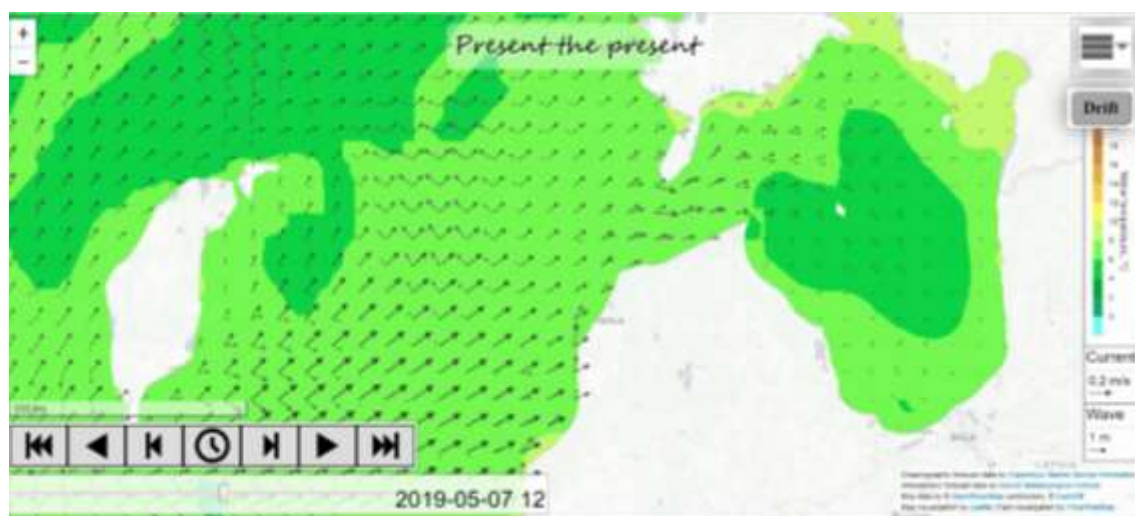
1. **S1: Sanešu bilance konkrētam apgabalam (kubikmetros laika vienībā).** Indikators raksturo, vai konkrētā apgabalā un konkrētā laika posmā ir sanešu deficīts (notiek erozijas process) vai pārpalikums (notiek materiāla akumulācija). Šo indikatoru var pielietot dažādiem laika un telpas mērogiem. Iespējamie telpas mērogi variē no dažiem kvadrātkilometriem (vai aptuveni kilometru garas krasta līnijas) līdz visai Latvijas jurisdikcijas ūdeņiem. Savukārt, iespējamie laika mērogi variē no konkrēta notikuma – vētras līdz klimatiskam laika mērogam. Sanešu bilance raksturo sedimentu pārvietošanās ietekmi uz ģeomorfoloģiju.
2. **S2: Sanešu pārvietošanās intensitāte konkrētam apgabalam (kubikmetros laika vienībā).** Šis indikators (pēc pielietojuma, kā arī aplūkojamiem telpas un laika mērogiem) ir līdzīgs bilances indikatoram, bet raksturo nevis sanešu pārvietošanās rezultējošo ietekmi un dziļumu sadalījumu, bet to, cik intensīvi ir sanešu pārvietošanās procesi. Piemēram, situācijā, kurā sanešu bilance ir neitrāla, iespējama gan ļoti liela, gan neievērojami maza sanešu kustības intensitāte. Sanešu pārvietošanās intensitāte raksturo sedimentu pārvietošanās radīto slodzi uz bentiskajam ekosistēmām.
3. **S3: Dziļumu izmaiņas trends (centimetros gadā).** Indikators raksturo sanešu bilances zemūdens komponenti un tās ietekmi uz dziļumu sadalījumu. Pēc būtības tas ir saistīts ar sanešu bilanci, taču dod iespēju raksturot tās telpisko sadalījumu, hidrobūvju un citu objektu ietekmi. Piemēram, ostas apkārtnē, kurai kopumā raksturīga sanešu akumulācija, hidrobūvēm aizturot garkrastu sanešu kustību, vienlaikus iespējamas gan zonas ar jūras gultnes piesērēšanu, gan zonas – ar jūras gultnes eroziju. Dziļumu izmaiņas trendu var noteikt laika periodos, kas pārsniedz sezonālās izmaiņas – tāpat sākot no gadiem līdz klimatiskam laikam mērogam (3-100 gadi). Savukārt telpiskais mērogs variē no dažiem metriem līdz visai Latvijas piekrastei.
4. **S4: Krasta līnijas pārvietošanās trends (metros gadā)** raksturo otru sanešu bilances ietekmi, proti, ietekmi uz virsūdens daļas materiālu. Krasta līnijas pārvietošanās erozijas gadījumā bieži ir neatgriezenisks (piemēram, stāvkrasta noskalošana). Tādēļ, atšķirībā no dziļumu izmaiņas trenda, šī indikatora laika mērogs variē no atsevišķas vētras līdz klimatiskajam laika mērogam – gadsimtam.

### 3. MATEMĀTISKO MODEĻU SISTĒMA

#### 3.1. Pārskats par matemātiskajiem modeļiem

Lai modelētu sanešu pārvietošanos un to ietekmi uz ģeomorfoloģiju, pirmkārt, nepieciešami modeļi, kas sniedz sanešu pārvietošanos veidojošo faktoru – viļņu un straumju – telpisko sadalījumu un attīstību laikā. No viļņu un hidrodinamikas modeļu rezultātiem tālāk var veidot sanešu pārvietošanās un morfodinamikas matemātiskos modeļus.

Šajā nodaļā sniegsim pārskatu par matemātiskās modelēšanas iespējām, to pielietojumu Baltijas jūrā, kā arī Izpildītāja pieredzi šādu modeļu pielietošanā.



Attēls 4: Operacionālā HBM modeļa piemērs: virsmas temperatūras, straumju un viļņu sadalījums konkrētā laika momentā. Ekrānšāviņš no operacionālās Latvijas Universitātes sistēmas “Present the present: FIMAR for WEB”<sup>1</sup>.

**Baltijas jūras mēroga hidrodinamikas** aprēķinam mūsdienās tiek izmantoti virkne trīsdimensionālu modeļu, kas apraksta ūdenslīmeņa, straumju, sāļuma, temperatūras un ledus sadalījumu. Šādu modeļu raksturīgā telpiskā izšķirtspēja ir no 1 līdz 5 km horizontālajā plaknē, bet vertikālo slāņu skaits var sasniegt ap 50. Modeļu laika izšķirtspēja ir dažas minūtes. Kā tipisku Baltijas jūras mēroga modeli var pieminēt Hiromb-BOOS (HBM) modeli Weismann et al (2014), ko kopīgi izstrādājuši Dānijas, Zviedrijas un Vācijas zinātnieki, sk. attēlu 4. Šis modelis tiek lietots operacionālajam Baltijas jūras Kopernikus jūras vides servisam CMEMS<sup>2</sup>; modeļa versiju Latvijā lieto Latvijas Universitātes zinātnieki, kas izstrādājuši reģionālu modeļa versiju LU HBM (Frišfelds et al (2016)). Operacionāls Baltijas jūras hidrodinamikas modelis pieejams [www.water.lv](http://www.water.lv), sk. arī attēlu 4.

Šāda veida modeļus var izmantot procesu pētījumiem, operacionālai darbībai, kā arī klimatiskiem aprēķiniem, piemēram, Hoirdoir et al (2019).

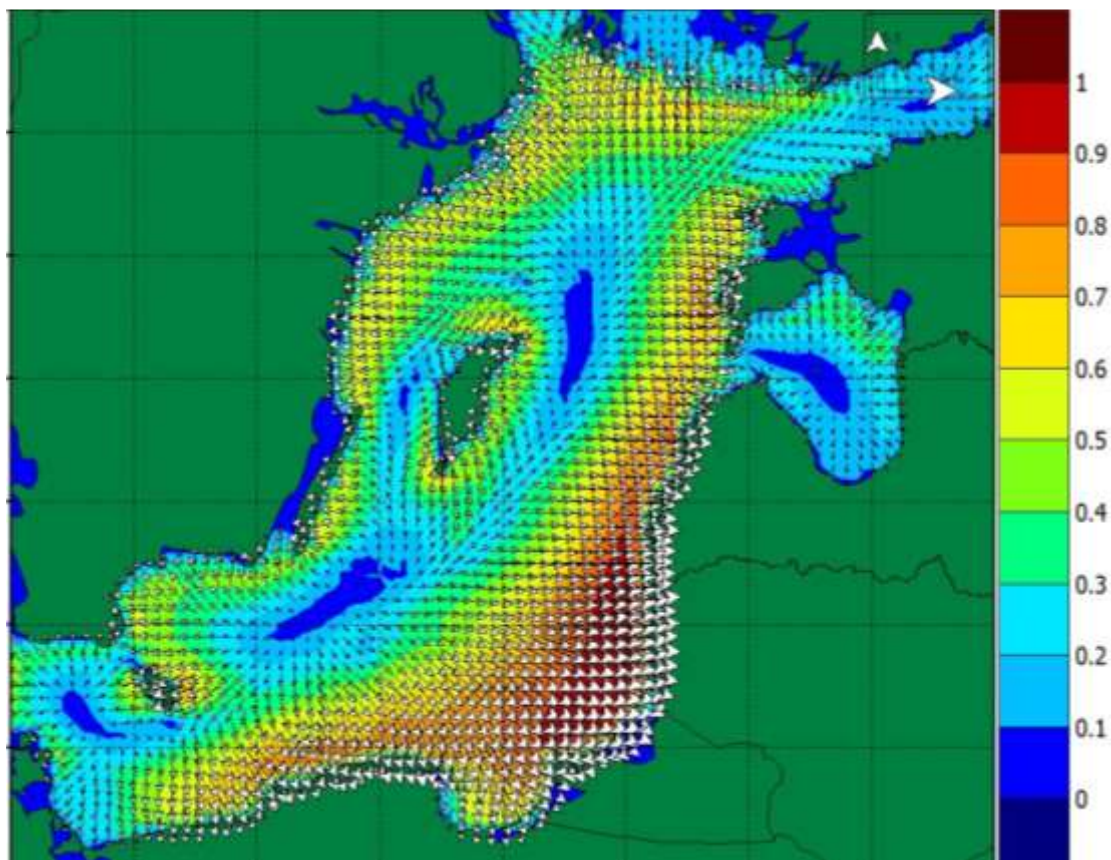
Arī **viļņu lauka** aprēķina modeļi ir plaši pieejami Baltijas jūras mērogā ar līdzīgu laika un telpisko izšķirtspēju, piemēram CMEMS (2018) spektrālais viļņu modelis. Latvijā

<sup>1</sup> [www.water.lv/fimarweb](http://www.water.lv/fimarweb)

<sup>2</sup> <http://marine.copernicus.eu/>



līdzīgi modeļi ir izstrādāti un pielietoti ne vien procesu studijām, bet arī klimatiskiem viļņu lauka aprēķiniem, Valainis et al (2016), sk. attēlu 5.

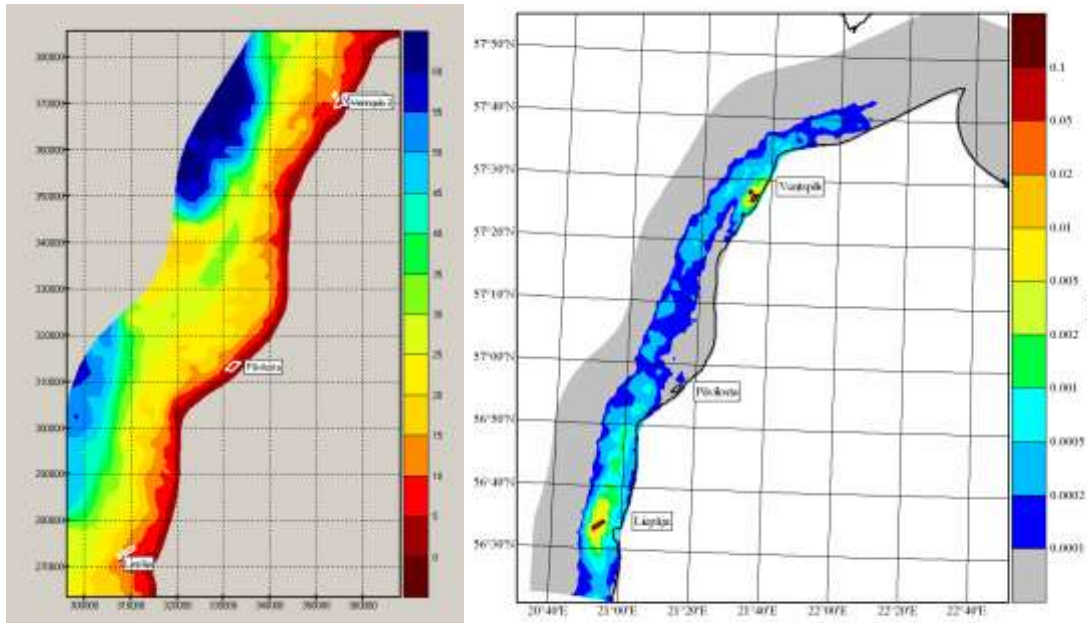


Attēls 5: Klimatiskais viļņu enerģijas transports laika periodam 2071-2100.gg.

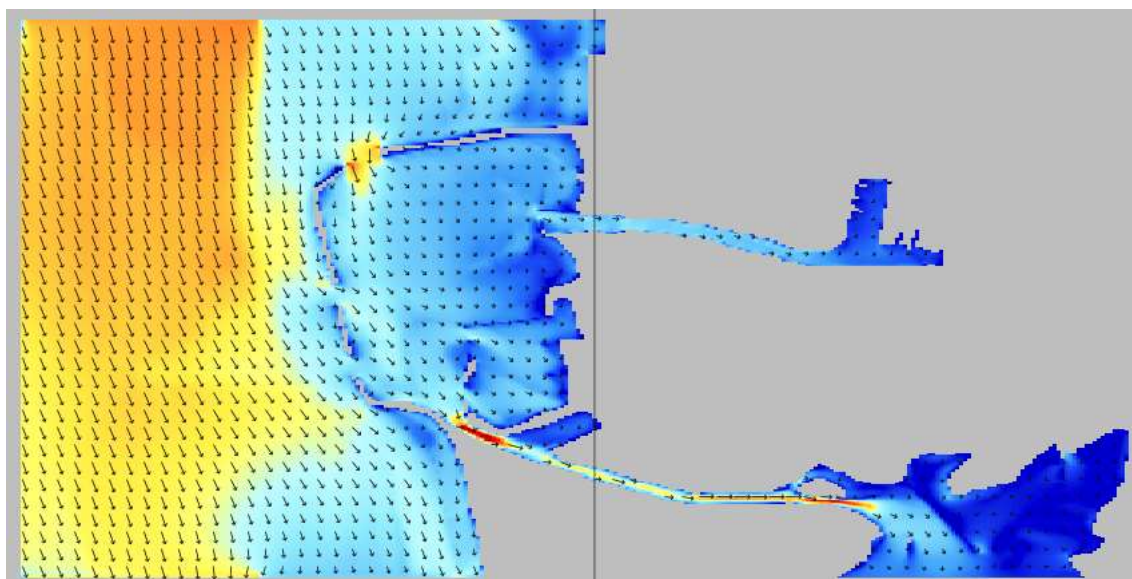
Baltijas jūras mēroga modeļu izšķirtspēja parasti ir nepietiekama, lai aprakstītu sanešu pārvietošanos. Tādā gadījumā tiek izmantota modeļu iekļaušana (*nesting*) un atsevišķi telpas apgabalu hidrodinamiskie un viļņu lauki aprēķināti jau būtiski augstākā izšķirtspējā no dažiem desmitiem līdz simtiem metru.

Šāda pieeja tiek samērā plaši lietota gan hidrodinamikas un viļņu, gan arī liela mēroga sanešu pārvēšanas uzdevumu modelēšanā. Daži piemēri no pielietojumiem Latvijā ir sekojoši:

- Vairākus desmitus kilometru platas piekrastes zonas augstas izšķirtspējas viļņu, hidrodinamiskā un sanešu pārvēšanas modeļa izveide PAIC (2007), attēls 6. Šis modelis tika izmantots, lai pētītu sanešu pārvēšanas no zemūdens izgāztuvēm. Šajā gadījumā tika pētīta nevis dabiskā sanešu pārvēšanās, bet tieši izgāztuvēs izbērtās grunts tālākais liktenis.
- Vairākkārtēja 3D hidrodinamisko modeļu iekļaušana, kas ļauj LU HBM 1 jūras jūdzes jūras modeļa izšķirtspēju palielināt līdz 30 m izšķirtspējai Liepājas ostas apkārtnē un akvatorijā Frišfelds (2019), sk. attēlu 7.

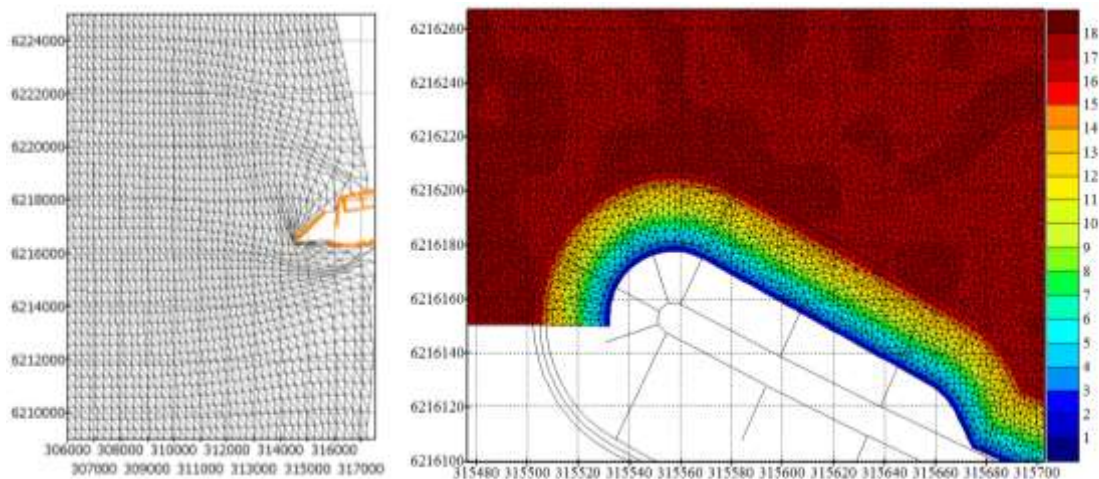


Attēls 6: Latvijas krasta zonas hidrodinamiskas, viļņu un sanešu modelis. Modeļapgabals un dziļumu sadalījums (pa kreisi). Sanešu pārvietošanās no zemūdens izgāztuvēm (pa labi).

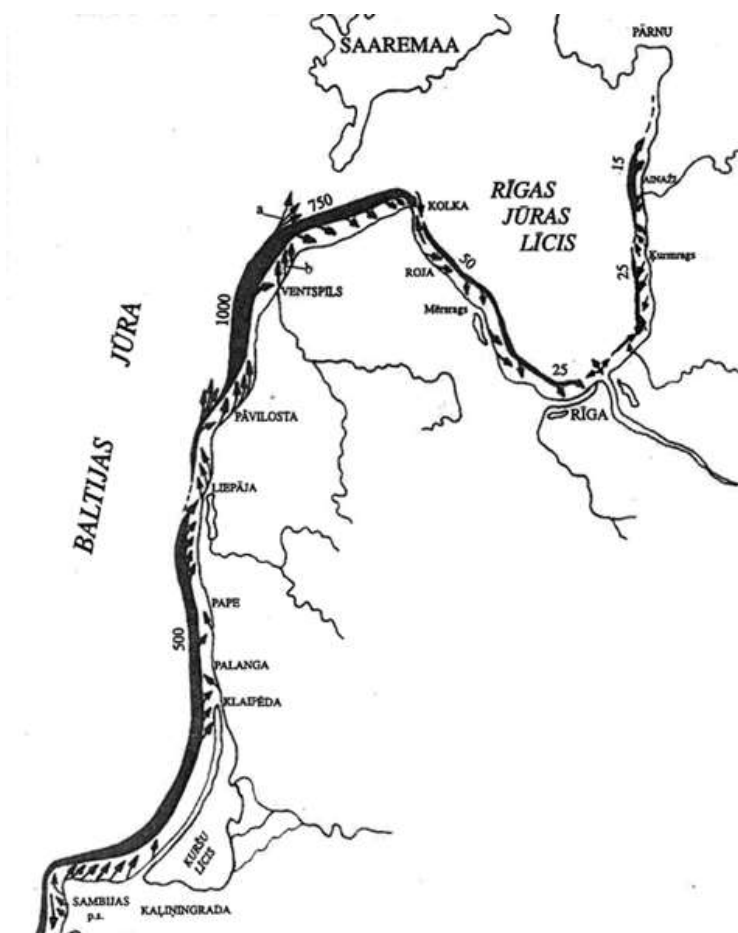


Attēls 7: Hidrodinamiskā modeļa fragments un straumju sadalījums pie Liepājas ostas. Lokālā modeļa iekļaušana (*nesting*) Baltijas jūras modelī.

- Daudzkārtēja spektrālo viļņu modeļu telpiskās izšķirtspējas palielināšana. Tā, attēlā 8 pa kreisi parādīts tāljūras viļņu aprēķinu režģis, bet pa labi – detalizēts augstas izšķirtspēja viļņu lauka aprēķina režģis pie Būtiņģes projektētās ostas aizsargbūvēm, PAIC (2011b).



Attēls 8: Daudzkārtēja spektrālā viļņu modeļa telpiskās izšķirtspējas palielināšana. Būtiņģes ostas projekta piemērs.

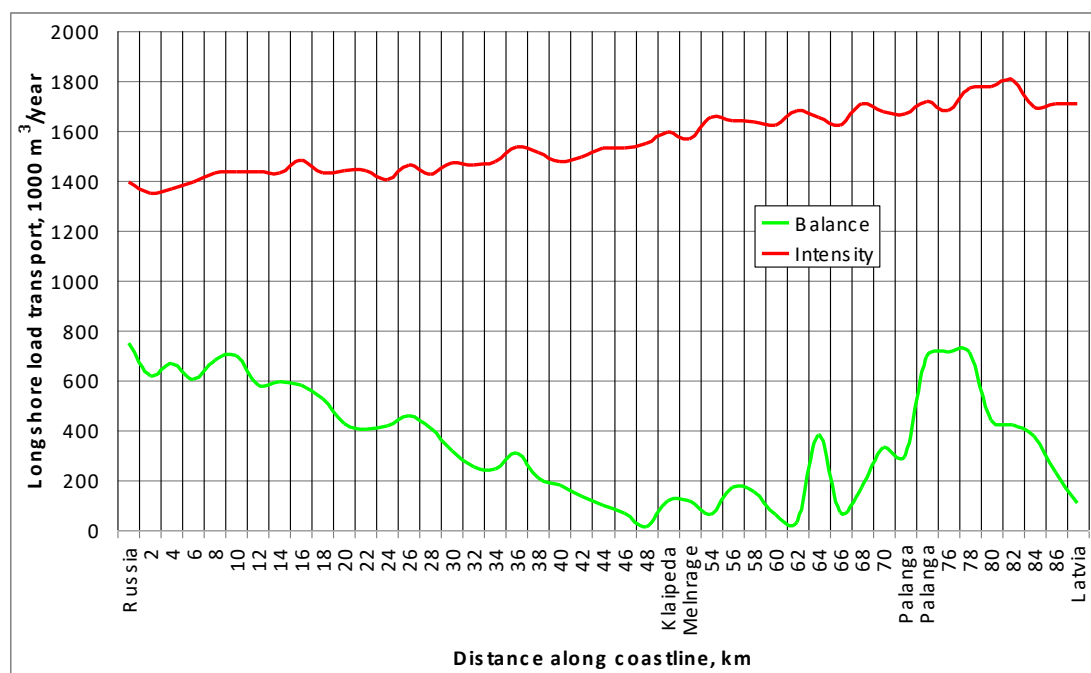


Attēls 9: Integrālā ikgadējā sanešu pārnese Latvijas piekrastei no Knaps (1965).

Sanešu pārvietošanās modelēšanas teorētiskās iespējas un modeļi detalizēti apkopoti van Rijn (2007a, b). Jebkurā gadījumā, modelējot sedimentus, nav iespējams “izsekot” katras atsevišķas sedimentu daļiņas pārvietojumiem, un ūdens kustības – sedimentu mijiedarbība tiek aprakstīta ar empīriskām formulām; sedimentu pārnese tiek aprakstīta kā to vilkšana gar grunti (“*bed load*”), vai suspensijas pārnese ūdens kolonā

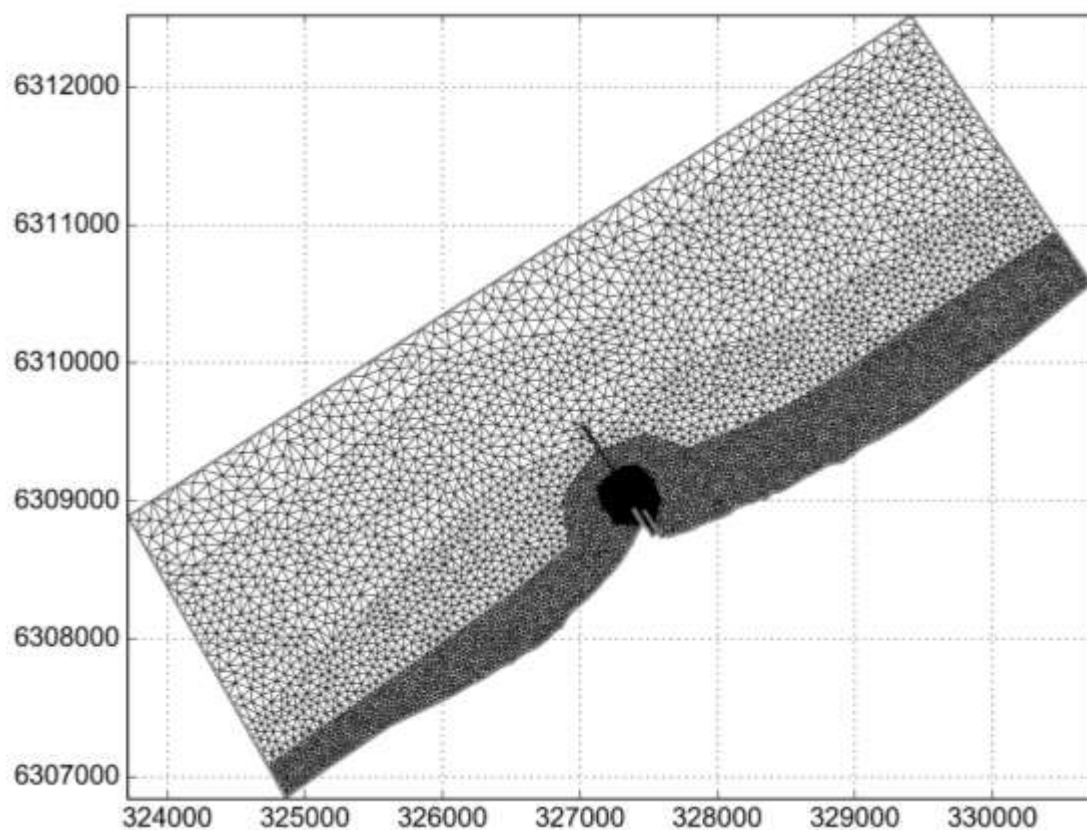
(“suspended load”). Pieņemot, ka mūsu rīcība ir nepieciešamā informācija par straumēm un viļņiem, sedimentu pārnese modeļu pielietošanai jāizvēlas telpas mērogs, kas atbilst risināmā uzdevuma specifikai:

- Enerģētiskie sedimentu modeļi, no kuriem visplašāk pazīstama tā saucamā CERC formula CERC (1984). Latvijas piekrastei šādi modeļi pielietoti jau Knaps (1938, 1965), attīstīti Uļsts (1998) un Viška&Soomere (2013), Soomere&Viška (2014), attēls 9. Arī Izpildītājs ir plaši lietojis enerģētisko sanešu modelēšanas pieeju, piemēram, PAIC (2011a) Lietuvas piekrastei, attēls 10.

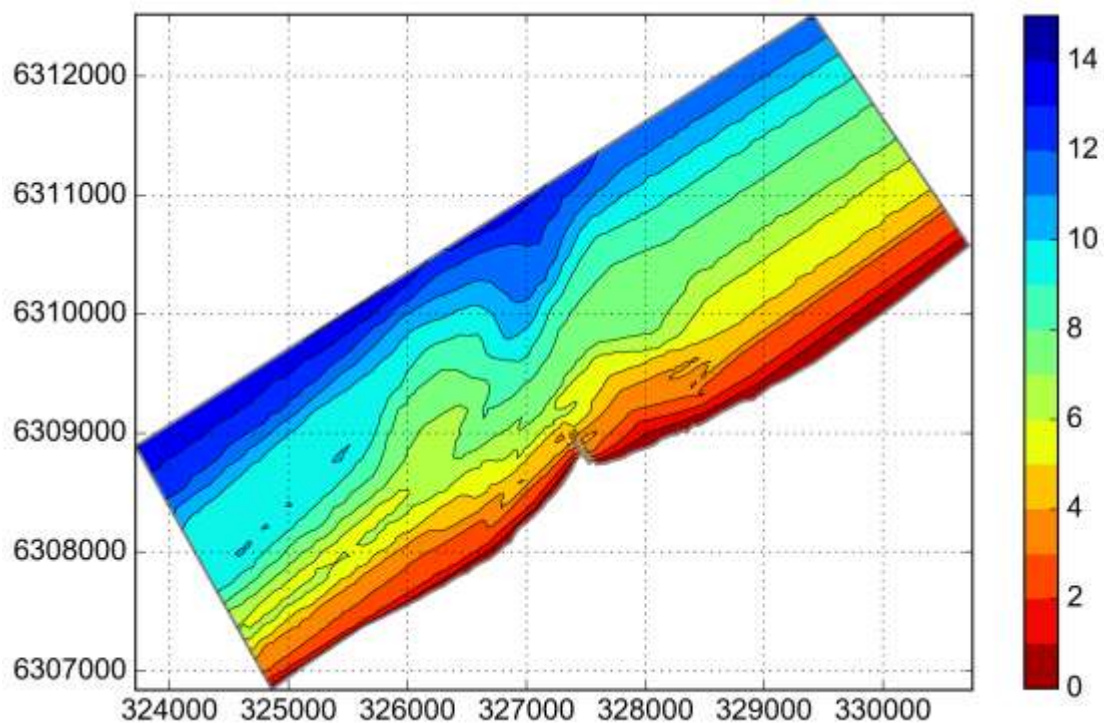


Attēls 10: Garkrasta sanešu pārnese balance un intensitāte, PAIC (2011a).

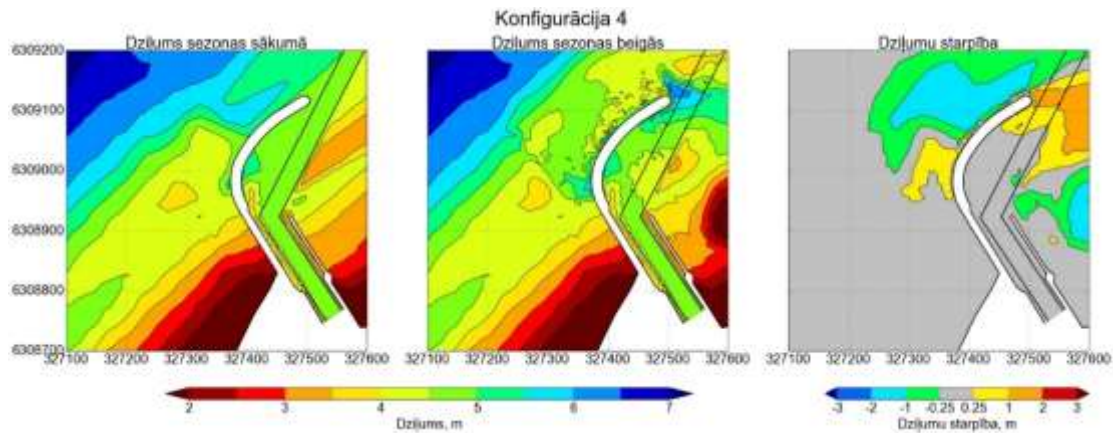
- Sedimentu dziļjūras potenciālās pārnese modeļi, kas raksturo viļņu kustības un straumju radīto sanešu nestspēju; šāda modeļa piemērs ir iepriekš pieminētais PAIC (2007), attēls 6.
- Deterministiskie piekrastes zonas modeļi ir visbiežāk pielietotie sanešu pārnese modeļi konkrētu objektu (piemēram, ostu) apkārtnē. Šādi modeļi veic augstas izšķirtspējas hidrodinamikas un viļņu lauka aprēķinus nelielai (orientējoši 5-20 km garai) piekrastes zonai, kas jūras pusē ir ierobežota ar aptuveni 20 m izobātu. Pēc viļņu un straumju aprēķina tiek veikta nestacionāra sanešu pārvietošanās modelēšana, bet atsevišķos gadījumos – arī dziļumu izmaiņu modelēšana, kurai ir atgriezeniska ietekme uz straumju un viļņu lauku. Modelējot dziļumu izmaiņas (morfodinamiku), modeļu telpiskā izšķirtspēja tiek palielināta līdz dažiem metriem kritiskajās zonās - tipiski pie hidrobūvēm, navigācijas kanāliem utml. Šāda veida modeļus Izpildītājs ir veidojis un pielietojis laika posmā kopš 1996. gada, tai skaitā Klaipēdas, Šventoji, Būtiņģes, Liepājas, Pāvilostas, Ventspils, Mērsraga, Engures, Jūrmalas, Skultes, Salacgrīvas, Ainažu un Kuivižu ostu apkārtnēm.



Attēls 11: Galīgo elementu režģis modeļapgabalā pie Pāvilostas ostas.



Attēls 12: Dziļumu sadalījums modeļapgabalā pie Pāvilostas ostas.



Attēls 13: Dziļums raksturīgās vētru sezonas sākumā, beigās un dziļumu starpība. Pāvilostas ostas projekta alternatīva.

Deterministiska lokāla piekrastes modeļa pielietojums ilustrēta attēlos 11-13 no PAIC (2016), kurā pētīts sanešu pārvietošanās raksturs un Pāvilostas ostas molu alternatīvu ietekme uz hidro- un morfodinamiku ostas apkārtnē. Attēlā 11 raksturota mainīgā modeļa telpiskā izšķirtspēja – no vairākiem simtiem metru modeļa perifērijā, desmiti metru viļņu transformācijas zonā, daži metri viļņu lūšanas un tiešas hidrobūvju ietekmes zonā. Attēlā 12 parādīts dziļumu sadalījums un modeļapgabala novietojums; tas izvēlēts tā, lai pilnībā ietvertu ostas hidrobūvju iespējamās ietekmes. Attēlā 13 parādīts viens no modeļaprēķinu rezultātiem – tipiskās dziļumu izmaiņas vienas vētru sezonas laikā.

### 3.2. *Piedāvātā matemātisko modeļu sistēma un tās pamatojums*

Šī projekta ietvaros piedāvājam izveidot, kalibrēt un veikt aprēķinus ar sekojošu, sadaļā 3.2 aprakstītu, modeļu sistēmu; atbilstoši tehniskajam uzdevumam sniedzam modeļu funkcionālo aprakstu. Modeļu izvēli pamato to realizācijas iespējas, ieejas datu esamība un spēja aprēķināt 2. nodaļā izvirzītos indikatorus, kā arī indikatoru detalizētas ģeotelpiskās reprezentācijas iespēja. Turpmāk šajā sadaļā atsauksimies uz indikatoriem kā D7C1-1, D7C1-2, D7C1-3, D7C2-4, D7C2-5, D7C2-6, S1, S2, S3, S4.

#### 1. **Enerģētiskais sanešu pārvietošanās un bilances modelis.** Modeļa izveide aprakstīta sadaļā 5.2, bet modeļaprēķini – sadaļā 6.2.

- a. Modelēšanas princips – noteikt sanešu pārvietošanos, konstruējot materiāla bilanci krasta līnijas posmiem, ko raksturo ar krastam perpendikulāriem profiliem.
- b. Sanešu bilancē iekļautās komponentes: sanešu pārnese caur modeļapgabala robežām, sanešu apmaiņa ar dziļūdens zonu, sanešu apmaiņa ar pludmali (stāvkrastu), upju sedimentu plūsma.
- c. Mijiedarbība ar hidrobūvēm tiek ņemta vērā.
- d. Telpiskā diskretizācija (izšķirtspēja) – attālums starp profiliem 1-10 km.
- e. Modeļapgabals – visa Latvijas krasta līnija.

- f. Laika izšķirtspēja – 1-6 stundas
- g. Laika mērogs – klimatiskais: modeļaprēķini tiek veikti klimatiskam pagātnes periodam un nākotnes klimata projekcijām ar iespēju aprēķināt arī desmitgadu, ikgadējos, sezonālos un atsevišķu vētru indikatorus.
- h. Nosakāmie indikatori – S1, S2, S4, D7C1-3, D7C2-6.

**2. Dziļūdens sanešu pārvietošanās modelis.** Modeļa izveide aprakstīta sadaļā 5.1, bet modeļaprēķini – sadaļā 6.1.

- a. Modelēšanas princips – deterministisks Baltijas jūras hidrodinamiskais un viļņu modelis, kas dod iespēju aprēķināt viļņu un straumju mijiedarbību ar grunti.
- b. Mijiedarbība ar hidrobūvēm netiek ņemta vērā (izņemot zemūdens grunts izgāztuves, vēja parkus un tamlīdzīgi).
- c. Telpiskā diskretizācija (izšķirtspēja) – starppunktu attālums no 300 līdz 1500 m.
- d. Modeļapgabals – viss Latvijas jurisdikcijas jūras akvatorijs.
- e. Laika izšķirtspēja – modeļaprēķiniem ap 1 minūti, rezultāti tiek integrēti 1-24 stundu intervālos.
- f. Laika mērogs – subklimatiskais: modeļaprēķini tiek veikti orientējoši 10-20 gadus garam laika periodam ar iespēju aprēķināt arī ikgadējos, sezonālos un atsevišķu vētru indikatorus.
- g. Nosakāmie indikatori – S1, S2, S3, D7C1-1, D7C1-2, D7C1-3, D7C2-4, D7C2-5, D7C2-6.

**3. Ostu apkārtnes detalizēts sanešu pārvietošanās pārvietošanās modelis.** Modeļa izveide aprakstīta sadaļā 5.3, bet modeļaprēķini – sadaļā 6.3.

- a. Modelēšanas princips – deterministisks piekrastes zonas hidrodinamiskais, viļņu un sanešu pārvietošanās modelis, kas dod iespēju aprēķināt viļņu, straumju un sanešu pārvietošanos laikā.
- b. Mijiedarbība ar hidrobūvēm (moliem, viļņlaužiem, krasta nostiprinājumiem, navigācijas kanāliem, sanešu uztvērējiem utml.) tiek ņemta vērā.
- c. Telpiskā diskretizācija (izšķirtspēja) – starppunktu attālums 1 līdz 100 m.
- d. Modeļapgabals – vairāki modeļapgabali, 5-15 km garas zonas līdz 10-30 m izobātai, kas ietver konkrētas ostas ietekmes zonu.

- e. Laika izšķirtspēja – modeļaprēķiniem ap 1 minūti, rezultāti tiek integrēti 1-24 stundu intervālos.
- f. Laika mērogs – subklimatiskais: modeļaprēķini tiek veikti orientējoši 10-20 gadus garam laika periodam ar iespēju aprēķināt arī ikgadējos, sezonālos un atsevišķu vētru indikatorus.
- g. Nosakāmie indikatori – S1, S2, S3, S4, D7C1-1, D7C1-2, D7C1-3, D7C2-4, D7C2-5, D7C2-6.

Modeļu ieejas dati pamatā ir meteoroloģisko datu (vēja ātruma) datu rindas, vai vēja telpiskā sadalījuma laika slāņi. Izveidotie modeļi tiks kalibrēti ar (a) secīgām krasta līnijas novietojuma kartēm, (b) padziļināto apgabalu – ostu navigācijas kanālu un sanešu uztvērēju – piesērēšanas apjoma laika rindām.



## 4. MODEĻU SISTĒMAS IEEJAS DATI

### 4.1. Hidrometeoroloģiskie dati

#### 4.1.1. Scenāriji

Darba uzdevumi ietver hidrometeoroloģisko scenāriju izstrādi, tai skaitā modeļu sistēmas lietošanai nepieciešamo ieejas datu (meteoroloģiskie parametri) laika rindu sagatavošanu izpētes teritorijai laika periodam līdz 2100.gadam.

Šajā sadaļā 4.1.1 aplūkosim vispārīgos scenāriju veidošanās principus izvēlētajiem modeļiem; turpmākajās sadaļās 4.1.2-4.1.3 tiks aprakstīta datu mobilizācija (vai sagatavošana). Atbilstošie elektroniskie nodevumi aprakstīti sadaļā 7.1.

**Enerģētiskais sanešu pārvietošanās un bilances modelis.** Šim modelim nepieciešamie ieejas dati ietver:

1. Krasta posmiem atbilstošās tālējūras viļņu laika sērijas (katram no aplūkotajiem krastam posmiem). Viļņu lauku ieejas datu sagatavošana apkopota sadaļā 4.1.2. Nepieciešamības gadījumā viļņu lauka parametrus var iegūt ar vēja ieskrējiena modeli – tādā gadījumā nepieciešamas katram no krasta posmiem atbilstošās vēja laika rindas, sadaļa 4.1.4.
2. Upju iznestais sanešu apjoms, ko iespējams saistīt ar upju noteci, sadaļa 4.1.3.

Enerģētiskais sanešu pārvietošanās modelis ir pielietojams ilgtermiņa – tātad klimatiska laika mēroga – aprēķiniem. Balstoties uz pieejamiem datu avotiem (sk. turpmākās nodaļas), izvēlēti sekojoši laika periodi:

- a. Klimatiskais laika periods no 1951-2100 (150 gadi), kas izmantojams ilgtermiņa sanešu pārvietošanās novērtējumiem un tendencēm. Šis periods izvēlēts, jo tam Valsts pētījumu programmas EVIDENT “Latvijas ekosistēmu vērtība un tās dinamika klimata ietekmē” ietvaros veikta viļņu lauka reanalīze Baltijas jūrai Valainis et al (2016).
- b. Patreizējais laika periods 2005-2018 (14 gadi), kas izmantojams patreizējo procesu novērtējumam. Šis periods izvēlēts, jo tam pieejami augstas izšķirtspējas Dānijas meteoroloģijas institūta operacionālās okeanogrāfijas un viļņu modeļi, kas integrēti Latvijas nacionālajā operacionālās okeanogrāfijas un meteoroloģijas informācijas sistēmā FIMAR, Cepīte-Frišfelde et al (2019).

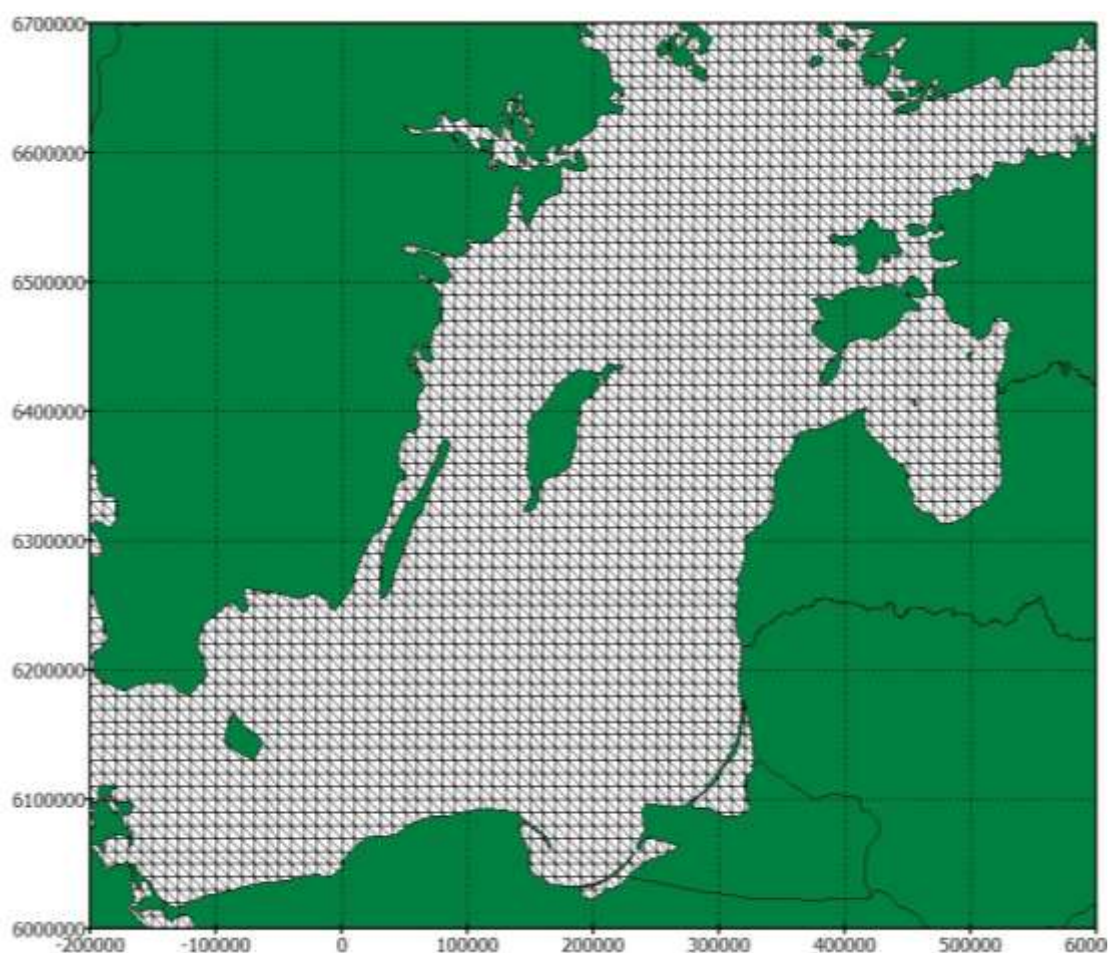
Tāljūras **dzilūdens sanešu pārvietošanās modelis.** Šim modelim nepieciešamie ieejas dati ir straumju un viļņu sadalījuma laika rindas Baltijas jūrā. Augstas izšķirtspējas (1 jūras jūdze) modeļaprēķini Baltijas jūrai pieejami relatīvi neilgam laika periodam – 2014-2019.gg, Frišfelds et al (2019a, b), kam arī sagatavoti modeļu ieejas dati šajā ziņojumā. Atzīmēsim, ka Baltijas jūrai eksistē virkne klimatisko okeanogrāfisko reanalīžu, tomēr to telpiskā izšķirtspēja (3.7-12.8 km) ir zemāka, kā arī modeļaprēķinu rezultāti nav brīvi pieejami.

**Ostu apkārtnes detalizēts sanešu pārvietošanās pārvietošanās modelis.** Šī modeļa ieejas dati ir ūdenslīmenis, vēja un viļņu parametru laika rindas vienā tālējūras punktā,

kas būtu piekārtojams atbilstošās ostas apkārtnē, vai citam piekrastes apgabalam. Arī šie dati sagatavoti patreizējam laika periodam 2005-2018 (14 gadi), kuram pieejami augstas izšķirtspējas okeanogrāfijas un viļņu modeļaprēķini no informācijas sistēmas FIMAR,

#### 4.1.2. Viļņi

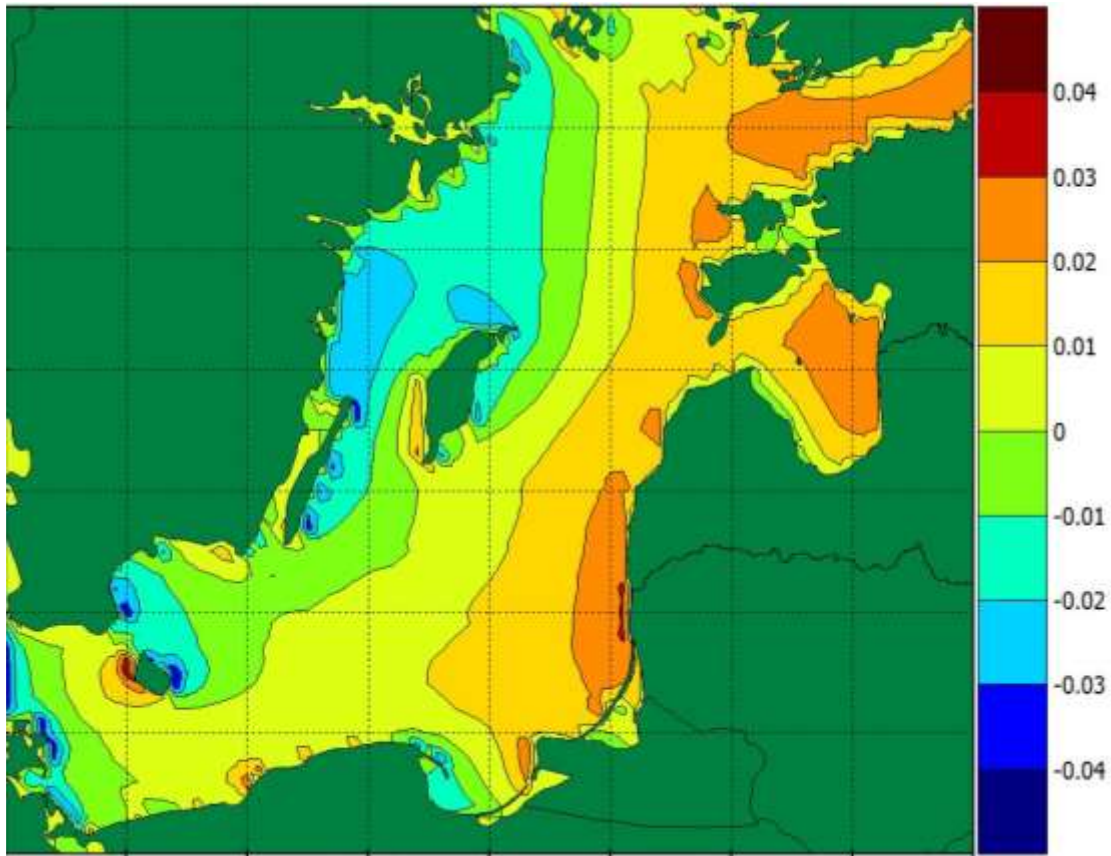
Viļņu lauka sadalījums no Valainis et al (2016) aprēķināts ar brīvpieejas SWAN III paaudzes viļņu modeli<sup>3</sup>, versija 41.01, The SWAN Team (2019). Aprēķini veikti laika periodam no 01-Jan-1951 līdz 31-Dec-2100. Aprēķinu laika solis 20 min, rezultējošās datu rindas satur viļņu augstumu un virzienu ar laika soli 3h. Aprēķini veikti uz 10 km režģa, sk attēlu 14. Aprēķiniem izmantota Baltijas jūras dziļumu datubāze BSHC (2013). Viļņu modeļa ieejas dati ir klimatiska vēja modeļaprēķins no ENSEMBLES projekta Linden&Mitchell (2009): ETHZ CLM reģionālais klimata modelis ar HadCM3Q0 globālā cirkulācijas modeļa robežnosacījumiem.



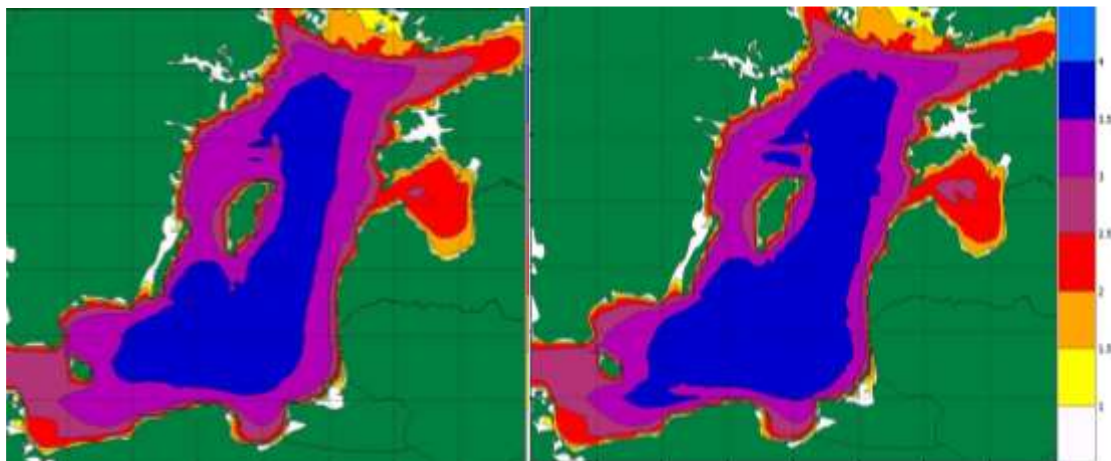
Attēls 14: Klimatiska SWAN viļņu lauka aprēķina režģis.

Klimatiskais viļņu lauka aprēķins parāda nebūtisku viļņu augstuma pieaugumu gadsimta beigās, salīdzinājuma ar mūsdienām – sk. attēlus 15-16.

<sup>3</sup> <http://swanmodel.sourceforge.net/>



Attēls 15: Vidējā viļņu augstuma starpība starp laika periodiem 2071-2100 un 1981-2010.

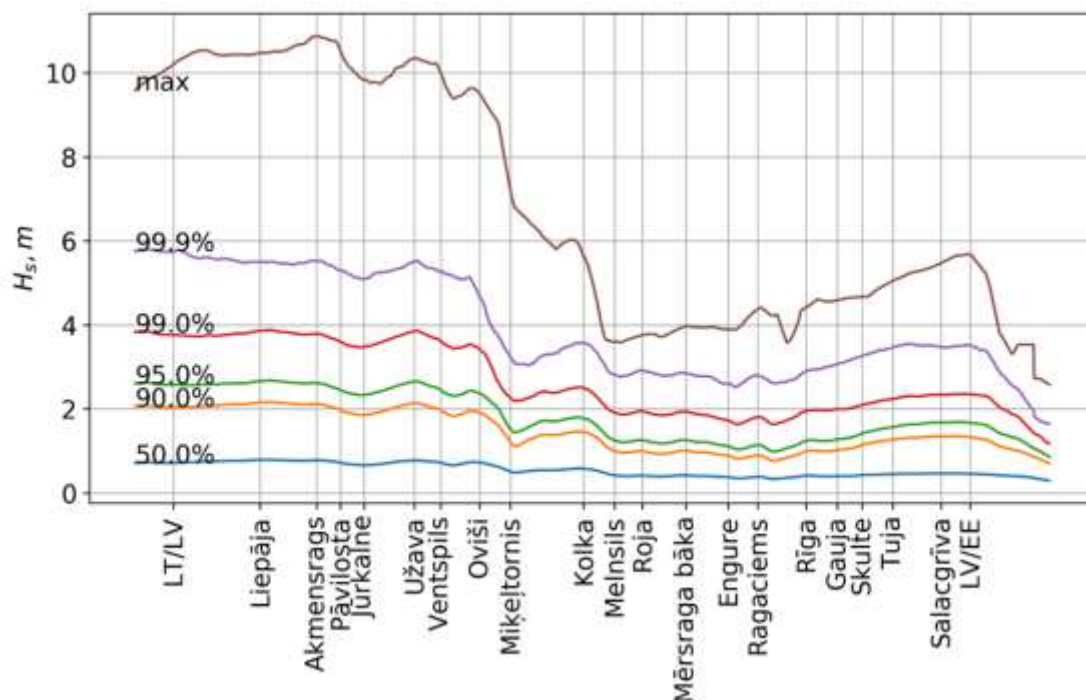


Attēls 16: Viļņu augstuma ar 1% pārsniegšanas varbūtību sadalījums laika periodā 1981-2010 (pa kreisi) un 2071-2100 (pa labi).

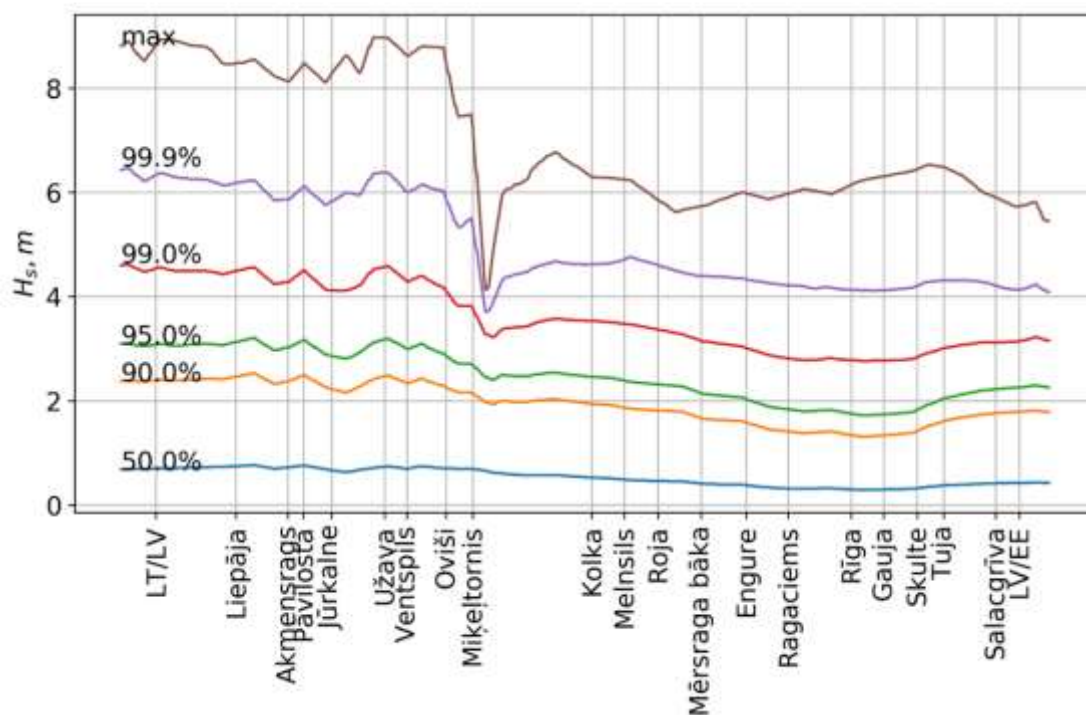
Viļņu augstums un virziens no klimatiskajiem modeļiem apkopoti uz sadaļā 4.2.1 definēto krastam perpendikulāro profilu galapunktiem.

Dānijas meteoroloģijas institūta operacionālās viļņu modeļa WAM, kas integrēts Latvijas nacionālajā operacionālās okeanogrāfijas un meteoroloģijas informācijas sistēmā FIMAR, Cepīte-Frišfelde et al (2019), dati apkopoti laika periodam no 2005-

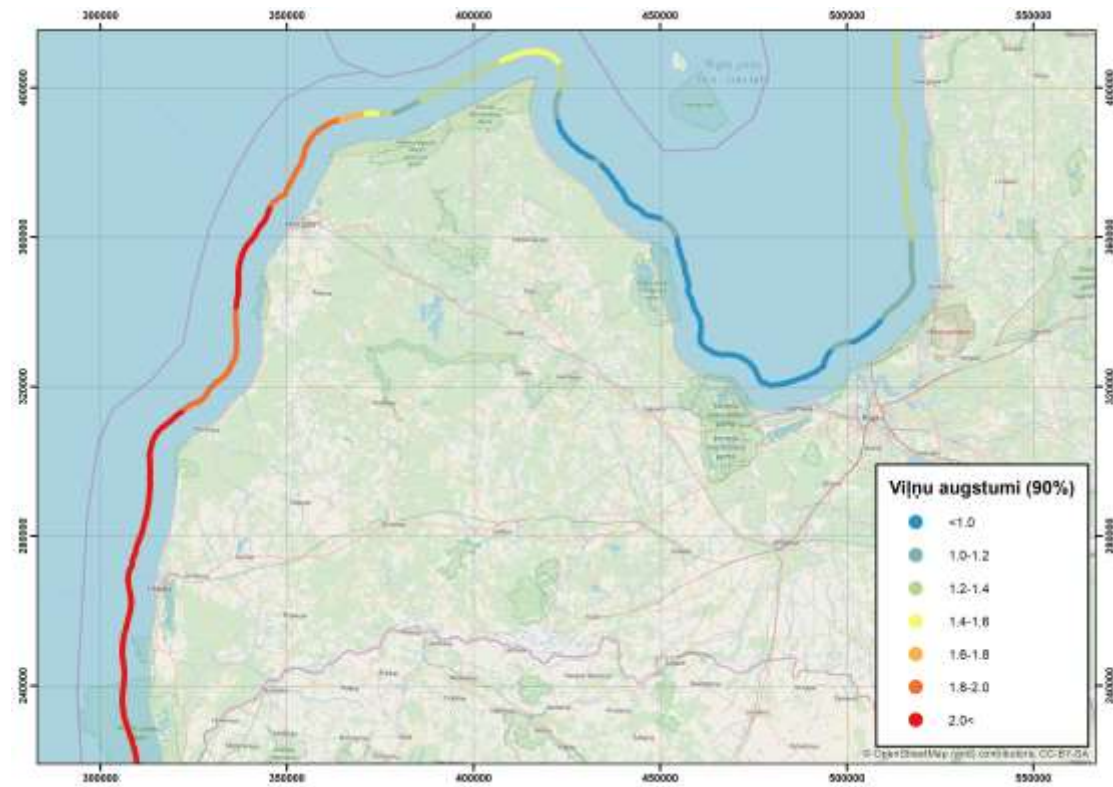
2018(9) trijās datu kopās (sk. Tabulu 2): uz krastam perpendikulāro profilu tālākajiem punktiem (sk. sadaļu 4.2.1); uz krastam paralēlas tālējuras līnijas (sk. sadaļu 4.2.1, šie dati sagatavoti arī *shape* failu formātā); uz divdimensionāla dziļūdens sanešu pārvietošanās modeļa režģa (sk. sadaļu 5.1).



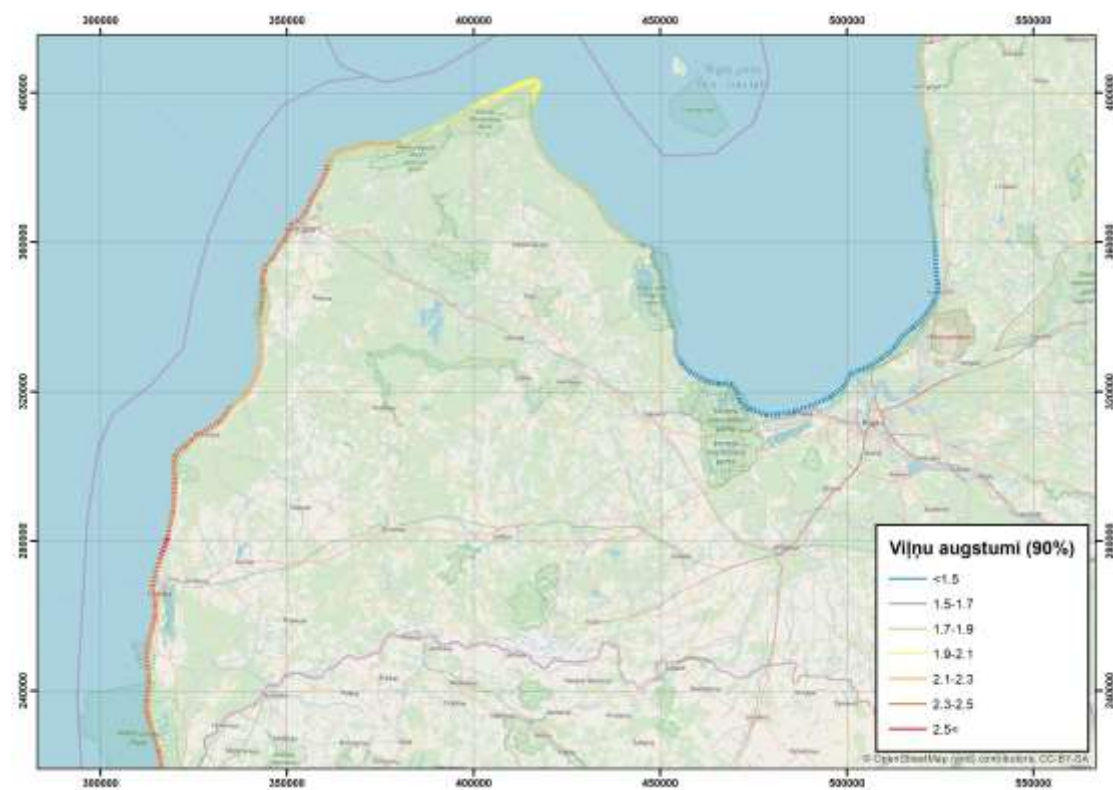
Attēls 17: Viļņu augstuma statistika uz krastam paralēlas tālējuras līnijas. DMI WAM dati 2005-2018.gg.



Attēls 18: Viļņu augstuma statistika uz krastam perpendikulāriem profiliem. Klimatiskie SWAN aprēķini 1951-2100.gg.



Attēls 19: 90% percentiles viļņu augstuma sadalījums gar krastam paralēlu līniju. Baltijas jūras piekraste. DMI WAM dati 2005-2018.gg.

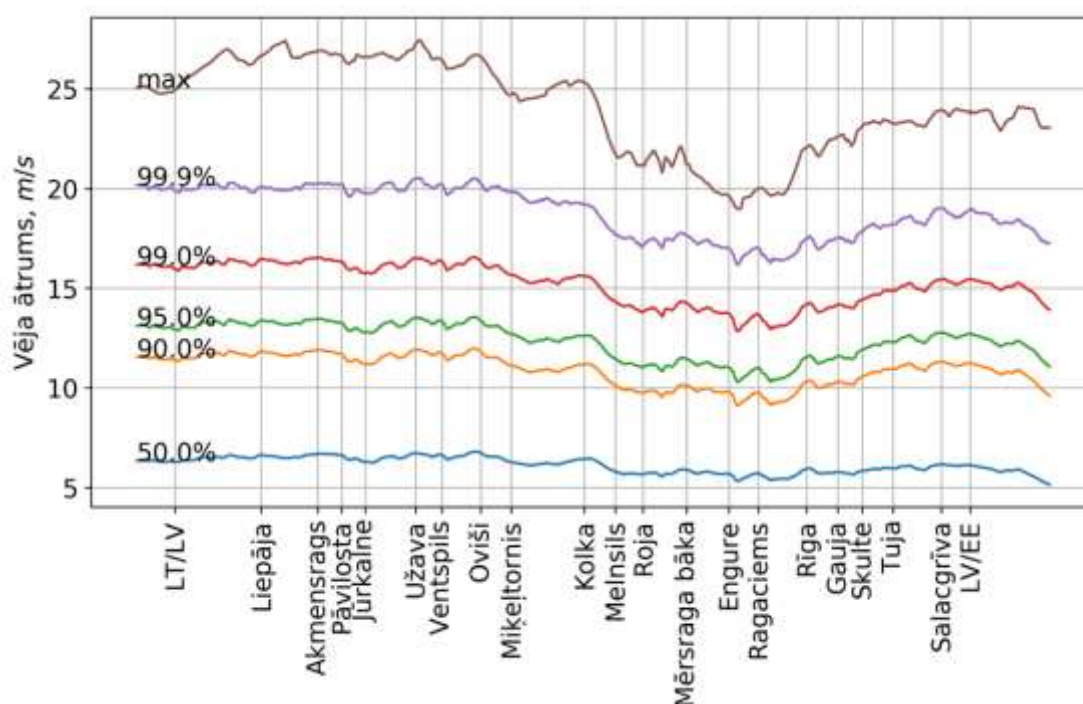


Attēls 20: 90% percentiles viļņu augstuma sadalījums uz krastam perpendikulāriem profiliem. Klimatiskie SWAN aprēķini 1951-2100.gg.

Viļņu augstuma statistika – viļņu augstuma mediāna, viļņu augstumi, par kuriem viļņu ir mazāki 90%, 95%, 99%, 99.9% no laika un maksimālie viļņu augstumi – uz krastam paralēlās tāljūras līnijas mūsdienu klimatam (no DMI WAM) attēlota attēlos 17 un 19. Viļņu augstums ir lielāks Baltijas jūras krastā tas nedaudz mainās uz būtiskām krasta līnijas orientācijas izmaiņām (Akmeņrags, Užava utml). Viļņu augstums ir zemāks Irbes šaurumā, kur tas vienmērīgi pieaug Kolkas raga virzienā. Rīgas jūras līcī vilņošana Vidzemes piekrastē ir spēcīgāka nekā Kurzemes piekrastē. Klimatiska 150 gadu viļņu statistika attēlota attēlos 18 un 20. Viļņu sadalījuma raksturs un dažādo procentiļu vērtības nebūtiski atšķiras garākam viļņu periodam. Tomēr krasta konfigurācijas izmaiņas ir mazāk pamanāmas klimatiskajam aprēķinam, kuram ir zemāka telpiskā izšķirtspēja. Abas viļņu lauka ieejas datu kopas ir ar līdzīgu raksturu kā Soomere&Eelsalu (2014).

#### 4.1.3. Straumes, vējš, ūdenslīmenis, upju notece

Straumju dati nepieciešami kā ieejas informācija tāljūras (dziļūdens) sanešu pārvietošanās modelim. Augstas izšķirtspējas (1 jūras jūdze) modeļaprēķini Baltijas jūrai laika periodam 2014-2019.gg. no Frišfelds et al (2019a, b) sagatavoti kopā ar viļņu lauku ieejas datiem.



Attēls 21: Vēja ātruma statistika uz krastam paralēlas tāljūras līnijas. FIMAR sistēmas dati (DMI) 2005-2018.gg.

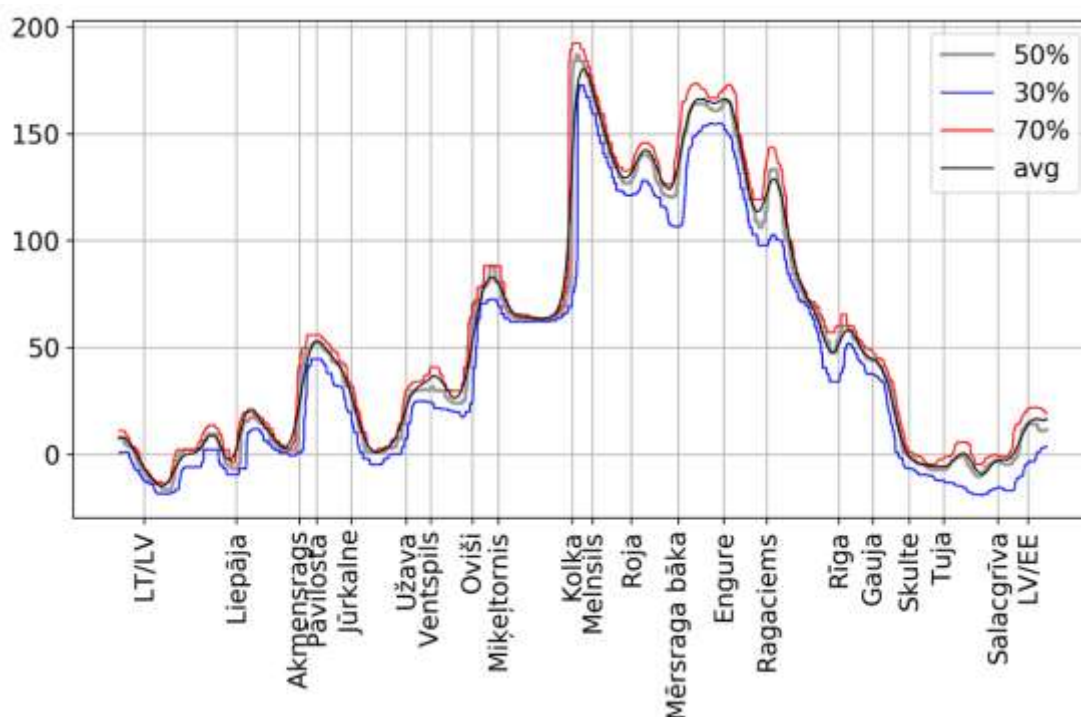
Vēja un ūdenslīmeņa dati nepieciešami ostu (vai citu hidrobūvju) apkārtnes divdimensionālajam modelim. Šie dati sagatavoti uz krastam paralēlas tāljūras līnijas; šīs līnijas punktos apkopotas datu rindas pielietojamas konkrēta piekrastes apgabala modelēšanai. Vēja ātruma statistika – mediāna un percentiles (vēja ātrumi par kuriem vējš ir mazāks 90%, 95%, 99%, 99.9% no laika) un maksimālie vēja ātrumi – uz krastam paralēlās tāljūras līnijas mūsdienu klimatam (no FIMAR informācijas sistēmas Cepīte-Frišfelde et al (2019)) attēlota attēlā 21.

Upju noteces dati nepieciešami, lai novērtētu sanešu piensumu krasta zonai no upēm. Mēs šajā atskaitē izmantosim SMHY HYPE modeļa klimatiskos upju noteces datus<sup>4</sup> Berg et al (2018).

## 4.2. Ģeotelpiskie dati

### 4.2.1. Krasta līnija un tās pārvietošanās

Krasta līnijas un, jo sevišķi, tās virziena noteikšana ir atsevišķa problēma. Klasiski sanešu pārnesi aprēķina caur krastam perpendikulāriem profiliem, CERC (1984); Baltijas jūras piekrastei zināmākie darbi ir Knaps (1965) un Soomere&Viška (2014). Šāda pieeja veikta arī šajā starpziņojumā, izveidojot krastam perpendikulāru profilu kopu ar starpprofilu attālumu aptuveni 1 km.



Attēls 22: Krasta līnijas virziena maiņa gar Latvijas piekrasti.

Sadaļā 5.2 veikta viendimensionālā sanešu bilances modeļa aprobācija, kurā konstatēta nozīmīga sanešu transporta jutība pret krastam perpendikulārā virziena izvēli. Tādēļ šajā darba izstrādāta robusta metode krasta līnijas orientācijas noteikšanai. Kā ieejas dati izvēlēta brīvpieejas krasta līnija no Open street map<sup>5</sup>. Krasta līnija tika sadalīta 50 m garos posmos. Krasta līnijas virziens  $i$ -jam punktam uz šīs līnijas tika noteikts, nogludinot virzienus 20 km garā krasta posmā pēc formulas

$$\bar{\alpha}_i = \frac{1}{Z} \sum_{j=[-200,200]} \alpha_{i+j} \exp\left(-\left(\frac{50j}{\sigma}\right)^2\right)$$

$$Z = \sum_{j=[-200,200]} \exp\left(-\left(\frac{50j}{\sigma}\right)^2\right)$$

<sup>4</sup> <https://hypeweb.smhi.se/explore-water/historical-data/europe-time-series/>

<sup>5</sup> <https://lv.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>

Attēlā 22 parādīta šādas krasta līnijas orientācijas maiņa gar Latvijas krastu; pati līnija kā arī tās attēlojums 7 km no krasta redzams attēlā 19.

Krasta līnijas pārvietošanās apkopota EMODNET ģeoloģijas brīvpieejas kartē<sup>6</sup>; šie dati izmantoti modeļrezultātu verifikācijai.

#### **4.2.2. Cita ģeotelpiskā informācija**

Šajā atskaite izmantota sekojoša ģeotelpiskā informācija:

1. Dziļumu sadalījums no EMODNET<sup>7</sup>, sk. attēlu 24.
2. Gultnes substrāta sadalījums un biotopu telpiskais sadalījums no Latvijas Hidroekoloģijas institūta rīcībā esošās informācijas un datubāzes par biotopiem, sk. attēlus 2-3 un sadaļu 2.2.

---

<sup>6</sup> [https://www.emodnet-geology.eu/map-viewer/?p=coastal\\_behavior](https://www.emodnet-geology.eu/map-viewer/?p=coastal_behavior)

<sup>7</sup> <https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>



## 5. MODELU SISTĒMAS IZSTRĀDE

### 5.1. *Tāljūras modelis*

#### 5.1.1. Modeļa uzbūve

Kaut arī nozīmīgākā sedimentu pārnese notiek piekrastē, viļņu lūšanas zonā, tomēr, lai saprastu kopējo smilšu plūsmas budžetu, ir nepieciešams apskatīt arī sedimentu plūsmu dziļjūrā, tas ir, ārpus viļņu lūšanas zonas. Dziļjūrā sanešu pārnese virzienu pamatā nosaka straumes. Tomēr straumes ātrums jūrā parasti nepārsniedz 0.5 m/s, līdz ar to tās nevar izraisīt intensīvu smilšu uzputināšanu, lai ūdens kolonā būtu mobilizēts pietiekošs smilšu daudzums. Lielāko smilšu uzputināšanu veic viļņi. Ievērojama smilšu pārnese notiek tikai vētru laikā, pārējā laikā sedimentu pārnese dziļjūrā ir nenozīmīga.

Tātad, lai pētītu sanešu pārnese dziļjūrā, ir nepieciešami straumju un viļņu trīsdimensionālie dati ilgākam laika periodam (vairāki gadi). Okeanogrāfisko modeļaprēķinu rezultāti jūrā parasti ir pieejami ar laika izšķirtspēju viena stunda, kas ir pietiekoši mazs intervāls, lai izšķirtu vēja režīma maiņas (2-24 stundas), inerciālās oscilācijas (ap 13 stundas Baltijas jūrā), paisumus (12-25 stundas), u.c. faktorus. Mazākās ūdenstilpnēs un to sistēmās (piemēram, ezeros, ostās) būtu nepieciešams īsāks laika intervāls, jo tur var veidoties daudz īsāka laika mēroga pašsvārstības jeb seišas. Lai aprēķinātu straumes Latvijas jurisdikcijas ūdeņos, nepieciešams modelī iekļaut visu Baltijas jūru, vai vismaz Baltijas jūras atklāto daļu un Rīgas jūras līci. Tāpēc ierobežotie skaitļošanas resursi nosaka, cik smalku izšķirtspēju straumju modelī var izmantot. Parasti labākajos modeļos tiek izmantota 1-3 nm (*nautical mile*, jūras jūdzes) horizontālā izšķirtspēja un līdz 2-4 m vertikālā izšķirtspēja visai jūrai. Mēs izmantosim laika sērijas no 3 straumju modeļiem:

1. Frišfelds et al (2019a, b) Latvijas Universitātes nestētais modelis LU\_HBM ar 1 nm izšķirtspēju Latvijas jurisdikcijas ūdeņos laika posmā no 1-jūl-2014 līdz 19-aug-2019.
2. LU\_HBM nestētais modelis ar 1 jūdzes izšķirtspēju Latvijas jurisdikcijas ūdeņos laika posmā no 5-feb-2017 līdz 19-aug-2019. Šajā modelī jau ņemti vērā jaunākie (2018.gada) EMODnet batimetrijas dati<sup>8</sup> Baltijas jūrā kurā ir ievērojami uzlabojumi, it sevišķi Latvijas piekrastē.
3. DMI (Dānijas meteoroloģiskā institūta) modelis Baltijas jūrai laika posmā no 01-jūl-2014 līdz 29-aug-2019.

Tāpat kā straumēm, arī viļņiem dziļjūrā ir nepieciešams modelis, kas ietver visu Baltijas jūru. Šādiem modeļiem izšķirtspēja parasti ir zemāka par 1 nm. Izmantosim DMI WAM viļņu modeli<sup>9</sup>, Gunther et al (1992). Laika posmā no 2014. gada līdz 2016. gada beigām tam bija izšķirtspēja ap 5 nm, bet pēc tam izšķirtspēja tika uzlabota līdz 2.5 nm. Skaidrs, ka šāds viļņu modelis nav izmantojams viļņu lūšanas zonai, tāpēc sedimentu pārnesei dziļjūrā apskatīsim tikai dziļumus virs 6 m.

<sup>8</sup> <https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>

<sup>9</sup> <http://ocean.dmi.dk/models/wam.uk.php>

Līdz ar to, straumju un viļņu modelis sanešu pārnesei modelēšanai tālējūras apgabalā tiks aplūkoti kā ārēji modeļi, izmantojot šos modeļaprēķinus kā mūsu sanešu pārvietošanās modeļu ieejas datus.

Teorētiski, lai izskaitļotu sanešu pārnesei, būtu nepieciešams to darīt 3 dimensijās, kur tiek aprēķināta sedimentu telpiskās koncentrācijas izmaiņa laikā. Vislabāk to var izdarīt, ja straumju modelis un sedimentu pārnese modelis ir saistīti kā darbā Gayer et al (2006). Šajā darbā tika izmantot vecākās paaudzes HBM<sup>10</sup> modelis ar papildus izstrādātu moduli sedimentu transportam. Diemžēl šāds risinājums prasa pārrēķināt visas straumes no 2014. gada virknei daļiņu izmēru, pie tam modelī iepriekš jau būtu jāiebūvē grunts granulometriskā sastāva sadalījums katrai aprēķinu šūnai un jāievada sedimentu pārnese pa upēm. Šādi gultnes substrāta dati neeksistē. Tādēļ praktiskiem mērķiem – noskaidrot dziļjūras sedimentu pārnesei raksturu – labāk ir izmantot 2 dimensiju pieeju, neinteresējoties par daļiņu vertikālo sadalījumu katrā konkrētā punktā.

Divdimensiju sanešu pārvietošanās modelis aplūko 3 sanešu pārnesei mehānismus:

1. Piegrunts sanešu pārnese, kur smilšu graudiņi tiek vilkti un “ripi” gar grunti. Šādi parasti netiek pārnests liels sanešu daudzums, tomēr aktivācijas enerģija šādai pārnesei ir mazāka, un tā notiek jau pie samērā nelielām straumēm un viļņiem. Pārnese gar jūras gultni ir nozīmīgāka lielāka izmēra daļiņām, kuras straume un viļņi nevar uzputināt uz augstākiem slāņiem.
2. Suspēdētā sanešu plūsma, kurai smilšu graudiņi tiek no grunts uzputināti ar straumju un viļņu palīdzību un suspēdēti ūdens kolonā. Šī ir nozīmīgākā pārnese dziļūdenī gar Latvijas krastiem, bet tā notiek tikai stipru vētru gadījumā.
3. Pārnese gar ūdens virsmu. Tā kā sedimentu pārnesei pārsvarā veido smilšu graudiņi ar blīvumu ap 2.6 kg/l, tad šo pārnesei varam neapskatīt.

Pirmie divi mehānismi sanešu pārnesei divās dimensijās ir aprakstīti CERC(2002). Holandiešu sedimentu pārnesei pētījumu grupa Leo van Rijna vadībā ir sistematizējusi sanešu pārnesei modelēšanas metodiku. Van Rijn (2007a) ir formulēta piegrunts sanešu pārnese, bet van Rijn (2007b) – suspēdēto sanešu pārnese. Abi mehānismi apkopoti darbā van Rijn (2007c). Secinājumi no šiem darbiem:

- a. Tā kā tiek apskatīta tikai dziļjūra ārpus viļņu lūšanas zonas, tad sedimentu pārnese notiek tikai straumju kustības virzienā,
- b. Sedimentu pārnese notiek tikai tad, ja efektīvais straumju un viļņu izraisītais kopējais maksimālais ātrums pārsniedz kritisko ātrumu.
- c. Kritiskais ātrums ir atkarīgs no:
  - a) vidējā daļiņu izmēra,
  - b) daļiņu izmēra sadalījuma,
  - c) dziļuma,
  - d) straumju un viļņu proporcijas,

---

<sup>10</sup> HIROMB-BOOS model

- e) viļņu perioda,
  - f) fizikālajām īpašībām: smilšu blīvums, ūdens blīvums, ūdens viskozitāte.
- d. Kā straumes vektoru vertikālajā profilā var izmantot vidējo straumes ātrumu pa dziļumu.
- e. Kā viļņu izraisīto efektīvo ātrumu vertikālajā profilā var izmantot viļņu orbitālo ātrumu, kuru iegūst no viļņu nozīmīgā augstuma, viļņu perioda, viļņu virziena un dziļuma konkrētajā punktā.
- f. Tā kā raksturīgās straumes Baltijas jūrā ir nelielas, tad sedimentu uzputināšanu pamatā nodrošina viļņi.

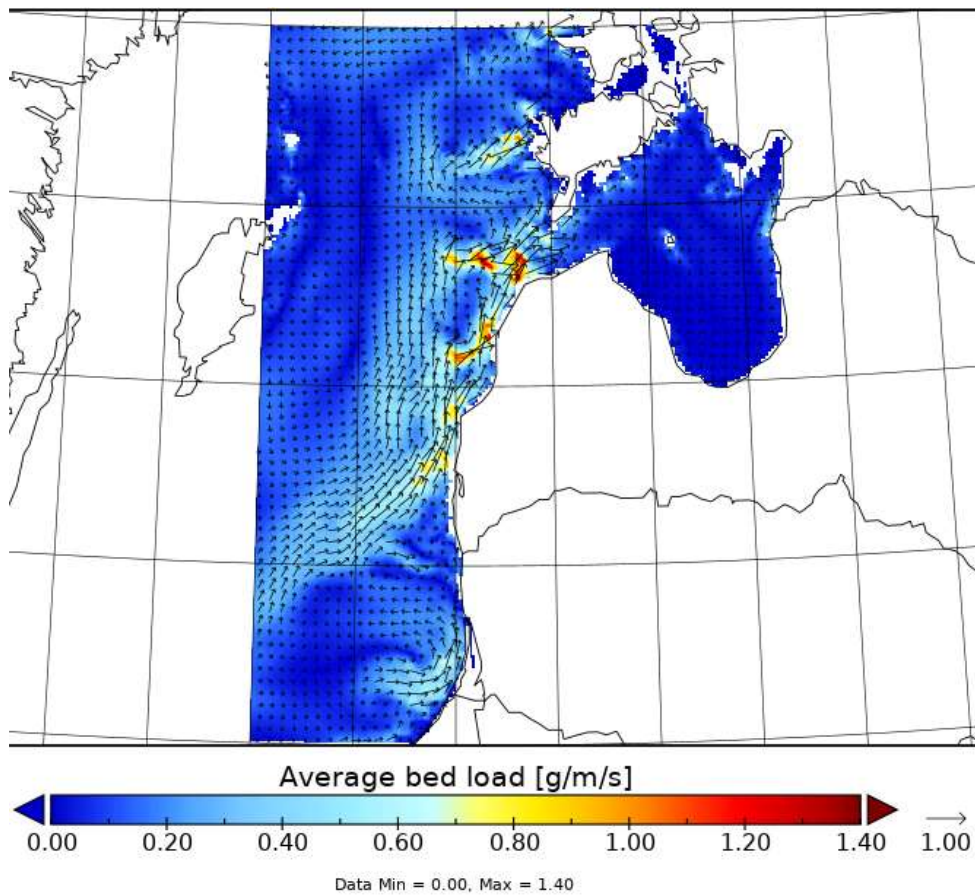
Lai modelētu dziļjūras sedimentu pārnesei van Rijn (2007c) metodika tika realizēta oriģināli izstrādātā Fortran rīkā, kurš (a) ielasa straumju un viļņu modeļaprēķinu datus, kas uzdoti meteoroloģijā parasti izmantotajā GRIB failu formātā un (b) aprēķina katram modeļapgabala punktam un laika momentam atbilstošo sedimentu plūsmu.

### 5.1.2. Modeļa aprobācija – vidējotās plūsmas

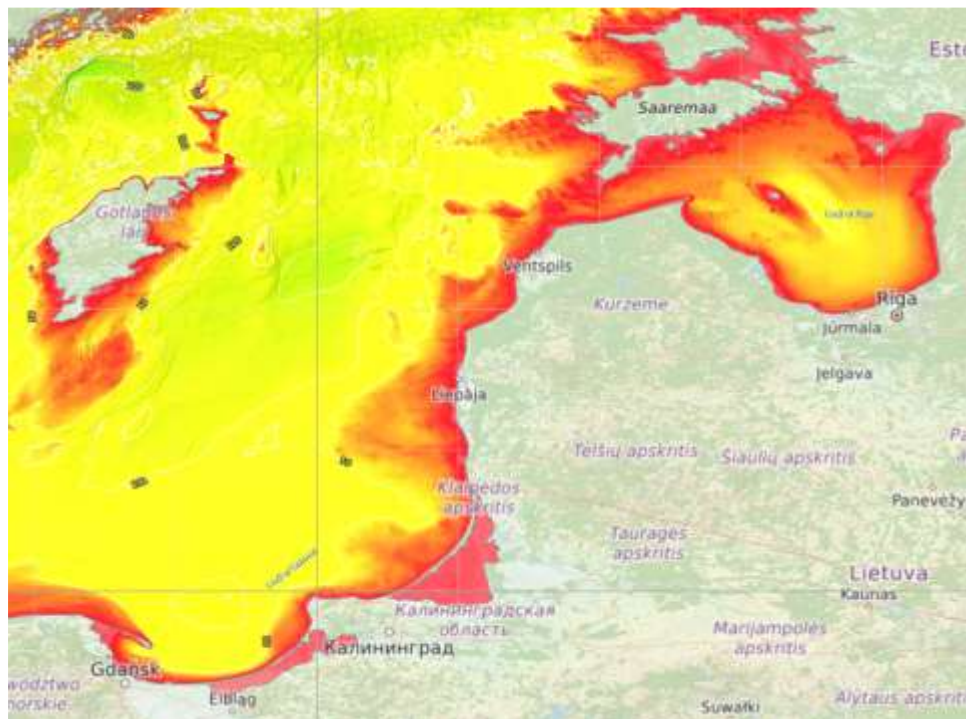
Modeļa aprobācijai veikti vidējotās sedimentu plūsmas aprēķini 4 daļiņu izmēriem  $d_{50}$ : 0.1, 0.17, 0.2, 0.4 mm. Lai nevajadzētu uzdot pilnu daļiņu izmēru sadalījumu, tad tiek pieņemts, ka  $d_{90}=2*d_{50}$ , tas ir 10 % no daļiņām ir lielāks izmērs nekā vidējais daļiņu izmērs  $d_{50}$ . Attēlā 23 parādītas raksturīgās piegrunts sedimentu plūsmas mērvienībās (g/m/s) laika posmā no 01-Jūl-2014 līdz 19-Aug-2019 daļiņu izmēram 0.17 mm. Pieaugot daļiņu izmēram, nedaudz pieaug piegrunts sedimentu plūsma, jo palielinās piegrunts berze, bet kvalitatīvi piegrunts sanešu plūsmas sadalījums ir līdzīgs attēlam 23. Gar Kurzemes rietumkrastu ir vērojama uz ziemeļiem vērsta sanešu pārnese dziļjūras modelī. Maksimumi pie Irbes šauruma ir saistīti ar batimetrijas īpašībām – sēkļiem uz kuriem ir lielāka viļņu iedarbība uz grunti un ātrākas strāmes. Uz dienvidiem no Bernātiem jūras piekrastes dziļums ir mazāks (skat. attēlu 24), tāpēc tur sedimentu pārnese virziens nesakrīt ar krasta līniju, bet pamatā vērsts gar izobātām. Rīgas jūras līcī raksturīgās dziļūdens sedimentu pārnese vidējās vērtības ir par kārtu mazākas. Rīgas jūras līcī Latvijas jurisdikcijas ūdeņos lielākās plūsmas ir pie Ainažiem kur arī novērojama uz ziemeļiem vērsta sedimentu pārnese.

Attēlā 25 parādītas vidējā suspendēto daļiņu plūsmas tai pašā laika posmā no 01-Jūl-2014 līdz 19-Aug-2019 daļiņu izmēram  $d_{50} = 0.17$  mm. Suspendēto daļiņu plūsma kvalitatīvi ir līdzīga piegrunts sanešu pārnesei, bet kvantitatīvi par kārtu pārsniedz piegrunts daļiņu plūsmu, jo pārnests mazāku izmēru daļiņas vieglāk suspendēt ūdens kolonā.

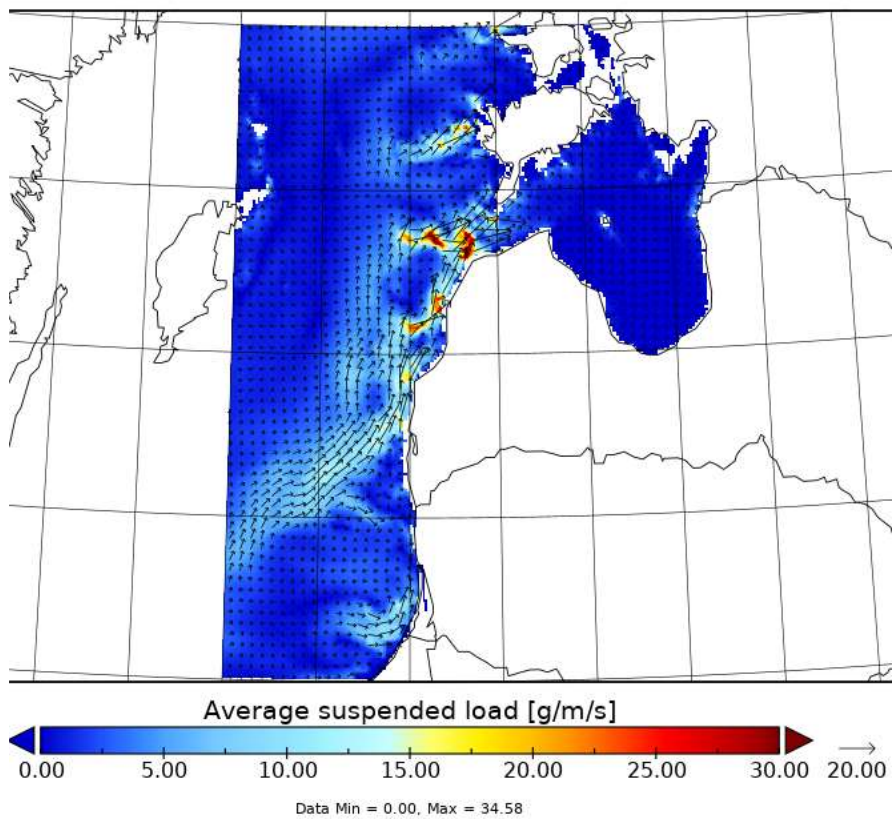
Apskatīsim sanešu pārnesei citā periodā – 05-Feb-2017 līdz 19-Aug-2019, kurā pieejams labāks straumju modelis ar labāku izšķirtspēju un uzlabotu EMODnet batimetriju. Suspendēto daļiņu plūsma šajā periodā attēlota attēlā 26. Pēdējo 2 gadu periodā raksturīgā suspendēto daļiņu pārnese ir gandrīz 2 reizes mazāka nekā 5 gadu periodā, jo pēdējās 2 ziemas aizvadītas bez lielām vētrām.



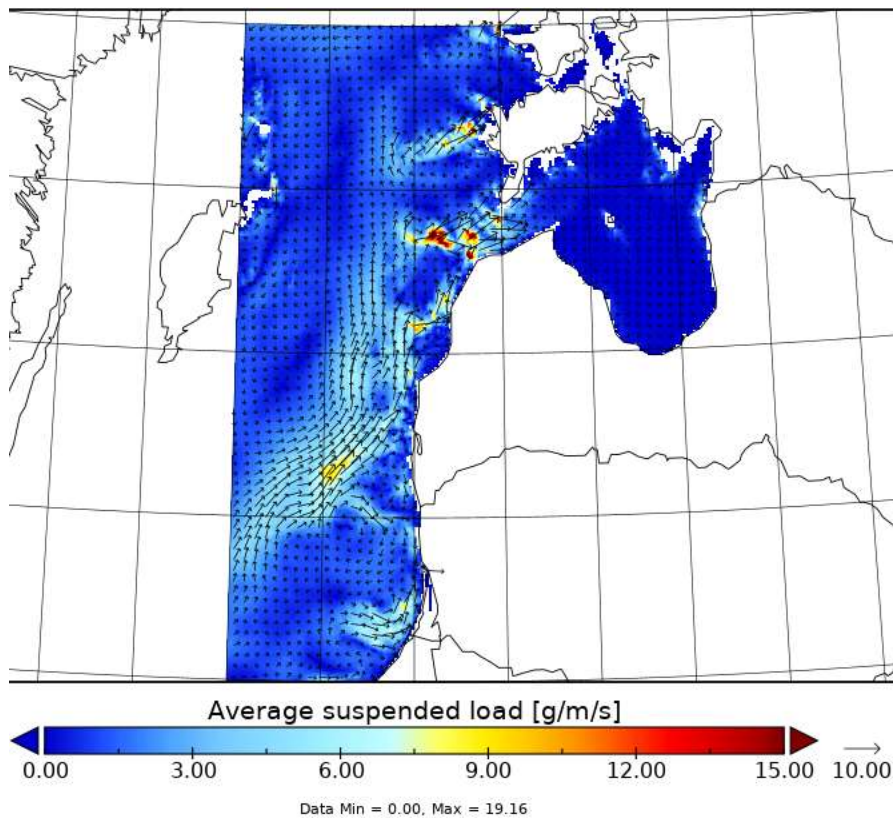
Attēls 23. Vidējās piegrunts sanešu plūsmas [g/m/s] periodā 2014.07.01-2019.08.19. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50} = 0.17$  mm. Attēlots modeļapgabals ar dziļumu virs 6 m.



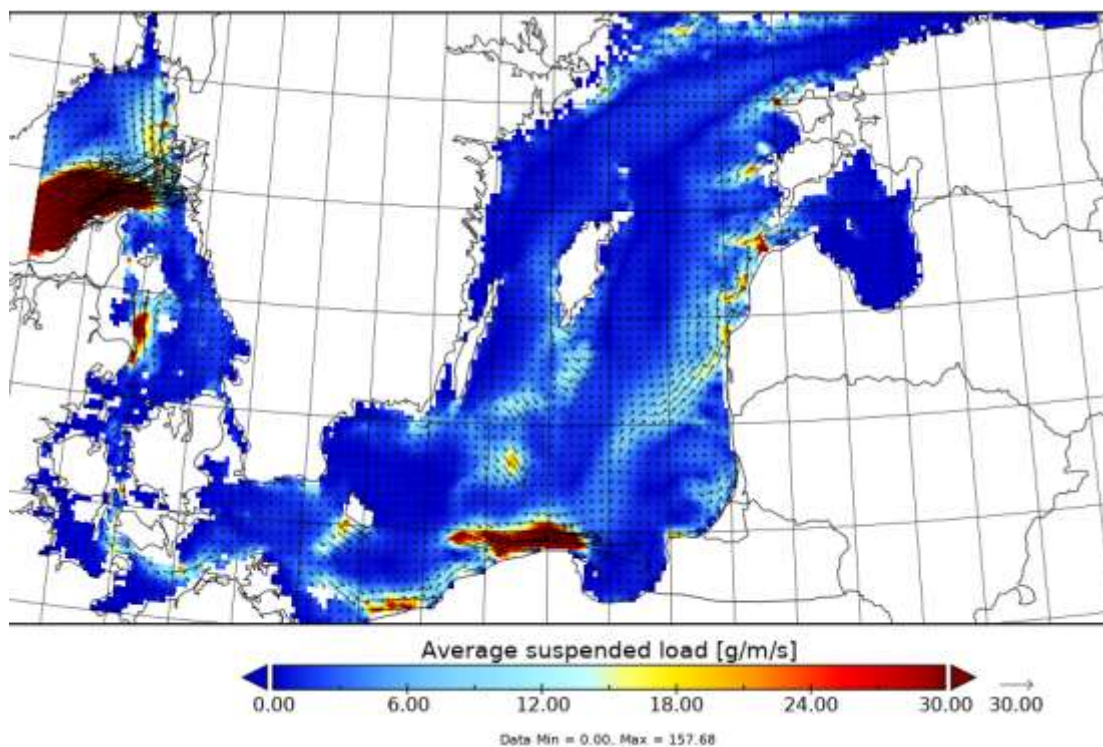
Attēls 24: Baltijas jūras batimetrija no EMODnet, 2018. gada versija.



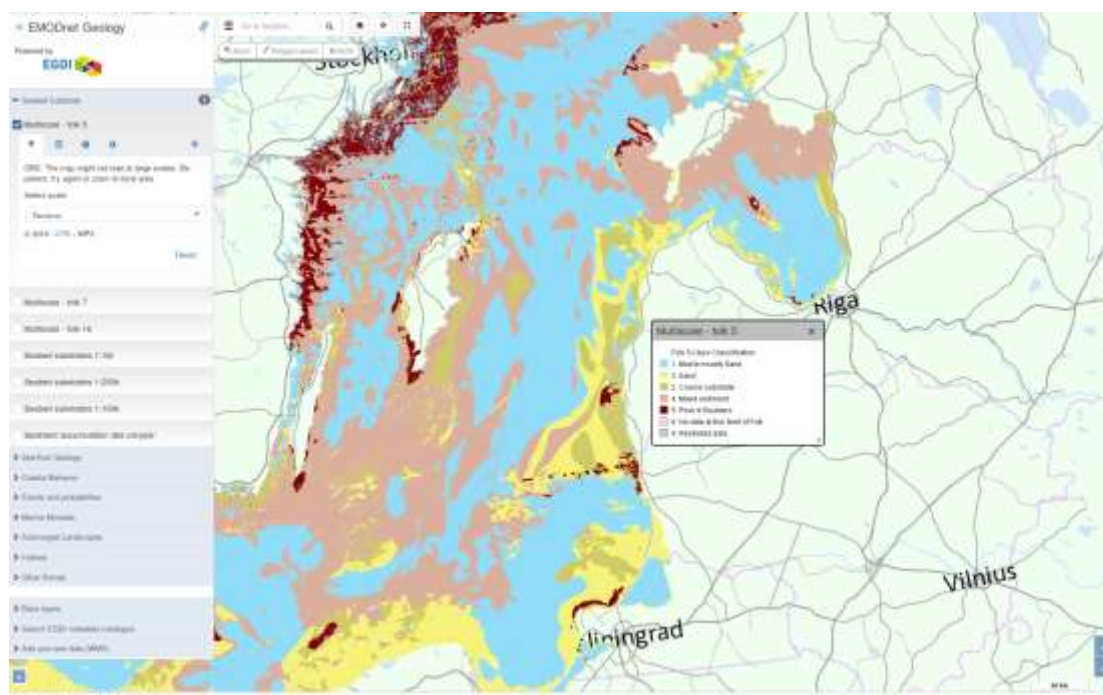
Attēls 25. Vidējās suspendēto sāņu plūsmas [g/m/s] periodā 2014.07.01-2019.08.19. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50} = 0.17$  mm. Attēloti tikai punkti ar dziļumu virs 6 m.



Attēls 26: Vidējā suspendēto sāņu plūsma [g/m/s] periodā 2017.02.05-2019.08.19. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50}=0.17$  mm. Attēloti tikai punkti ar dziļumu virs 6 m.



Attēls 27: Vidējās suspendēto sanešu plūsmas [g/m/s] periodā 2014.07.01-2019.08.29 visai Baltijas jūrai.  $d_{50} = 0.17$  mm. Attēloti tikai punkti ar dziļumu virs 10 m.



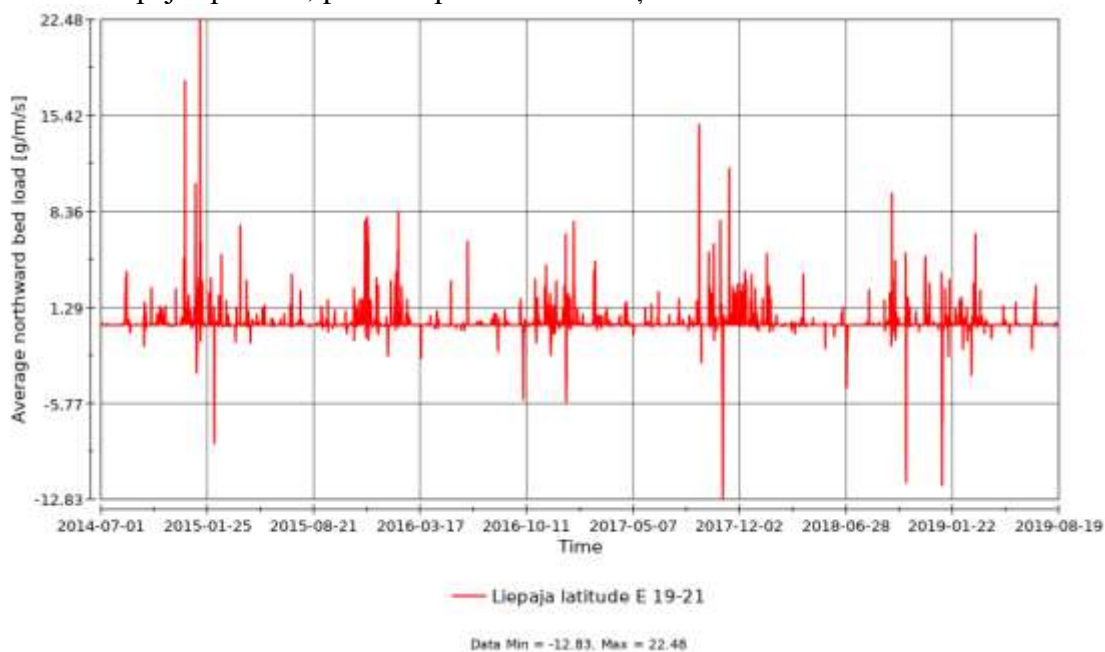
Attēls 28: Piegrunts ģeoloģiskā struktūra Baltijas jūrai no EMODnet-Geology.

Aplūkosim sanešu pārnesi Baltijas jūras mērogā, t.i. arī Latvijas jurisdikcijas ūdeņiem. Vidējā sanešu pārnesē periodā no 01-Jūl-2014 līdz 29-Aug-2019 parādīta attēlā 27 daļiņu izmēram  $d_{50} = 0.17$  mm. Redzams, ka smiltis Kurzemes rietumu dziļūdens

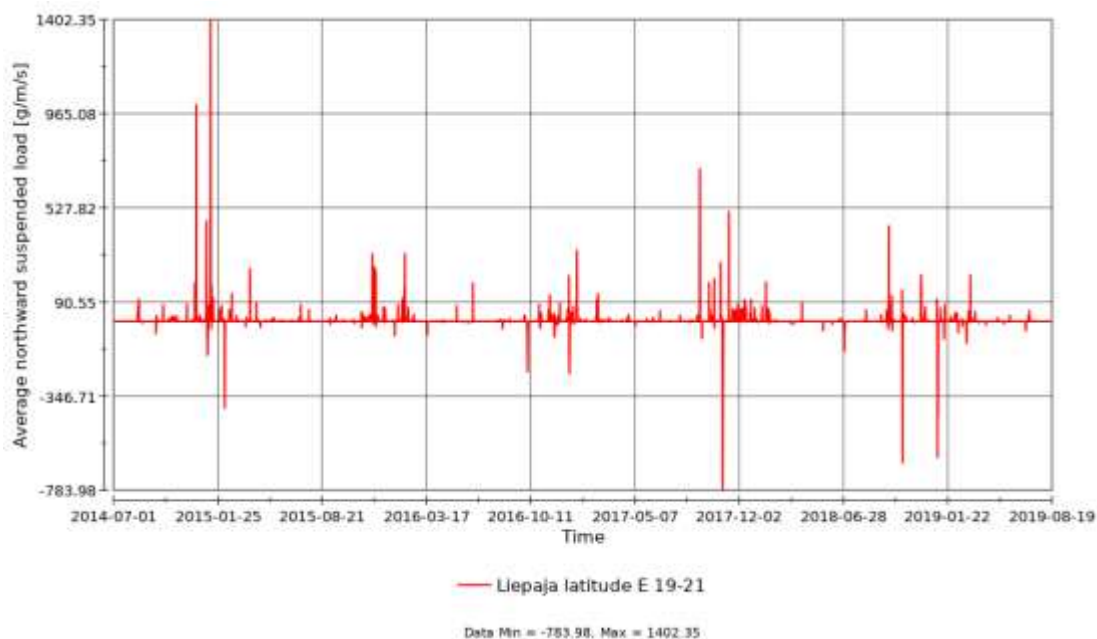
piekrastē pamatā nāk no Polijas teritoriāliem ūdeņiem, apejot Krieviju un Lietuvu, un tālāk tiek pārvirzītas uz Igaunijas salām. Raksturīgais smilšu izplatības virziens no Polijas uz Kurzemes rietumu piekrasti ir labi redzams arī grunts nogulumu struktūrā attēlā 28.

### 5.1.3. Modeļa aprobācija – mainība laikā

Lai aplūkotu sedimentu pārvietošanās laika mainību, analizēsim sedimentu plūsmas dinamiku caur Liepājas paralēli N56.51° starp E19° un E21° meridiāniem. Attēlos 29 un 30 parādītas, attiecīgi, grunts un suspendēto daļiņu plūsmas (6h vidējās vērtības) caur šo Liepājas paralēli, pozitīva plūsma – ziemeļu virzienā.



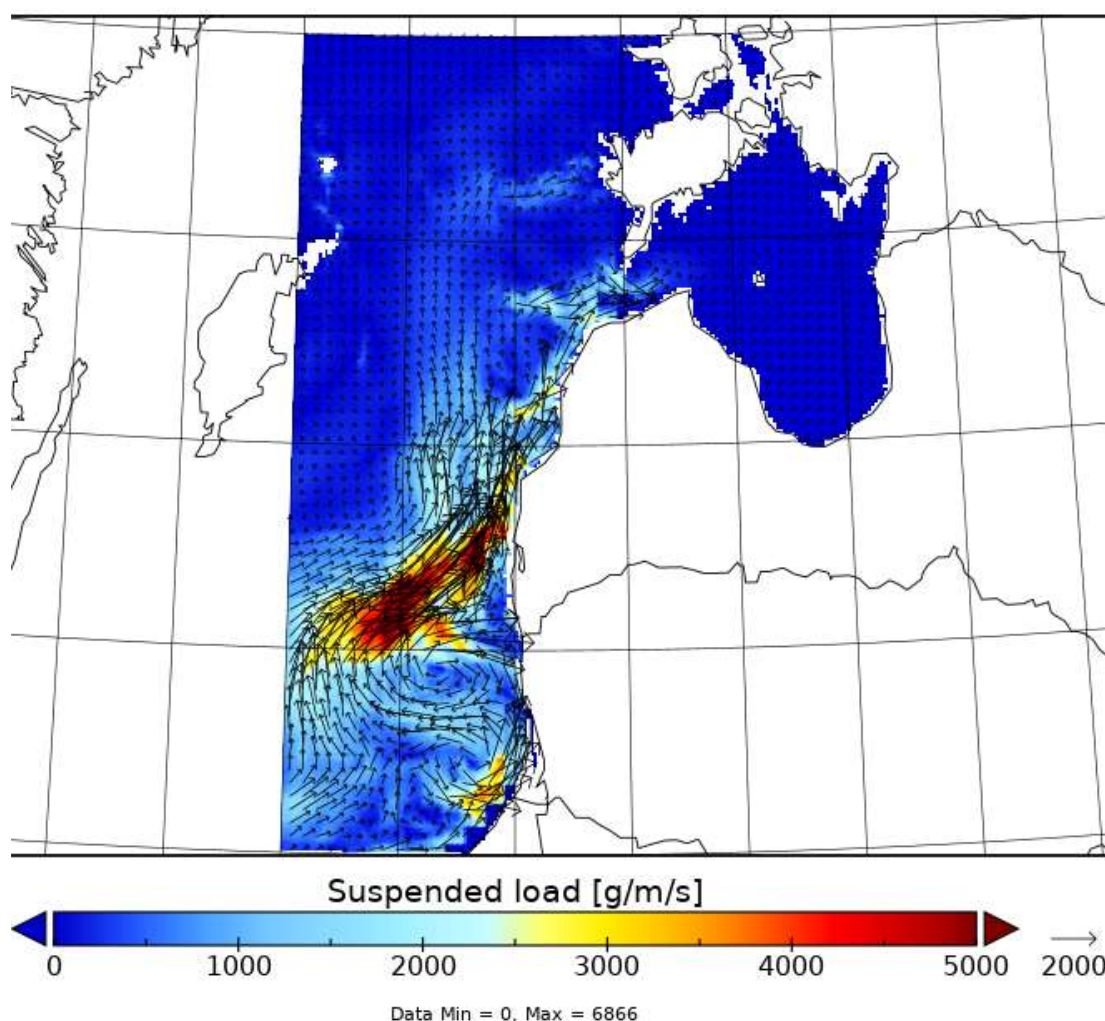
Attēls 29: Vidējā piegrunts sanešu pārnese [g/m/s] caur Liepājas paralēli N56.51° starp E19° un E21° meridiāniem. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50} = 0.17$  mm.



Attēls 30: Vidējā suspendēto sanešu pārnese [g/m/s] caur Liepājas paralēli N56.51° starp E19° un E21° meridiāniem. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50} = 0.17$  mm.

Nozīmīga sedimentu plūsma pamatā notiek tikai vētru laikā. Attēlā 29 viegli var saskatīt 5 ziemas, kurās ir daudz intensīvāka grunts sanešu pārnese nekā vasarās. Plūsma ir pamatā vērsta uz ziemeļiem. Visspēcīgākā pārnese šajā laika posmā notika 2014-2015. gada ziemā, ciklona Fēlikss laikā 2015. gada 11. janvārī. Interesanta aina novērojama 2017-2018. gada ziemā, ko raksturoja liels nokrišņu daudzumu, zems ūdenslīmenis oktobrī un spēcīga Z sektora vētra ar sedimentu transportu pretējā virzienā. Attēlā 30 redzams, ka nozīmīga suspendēto daļiņu pārnese notiek retāk, bet ar daudz lielāku intensitāti.

2015.01.11 UTC 00:00-06:00



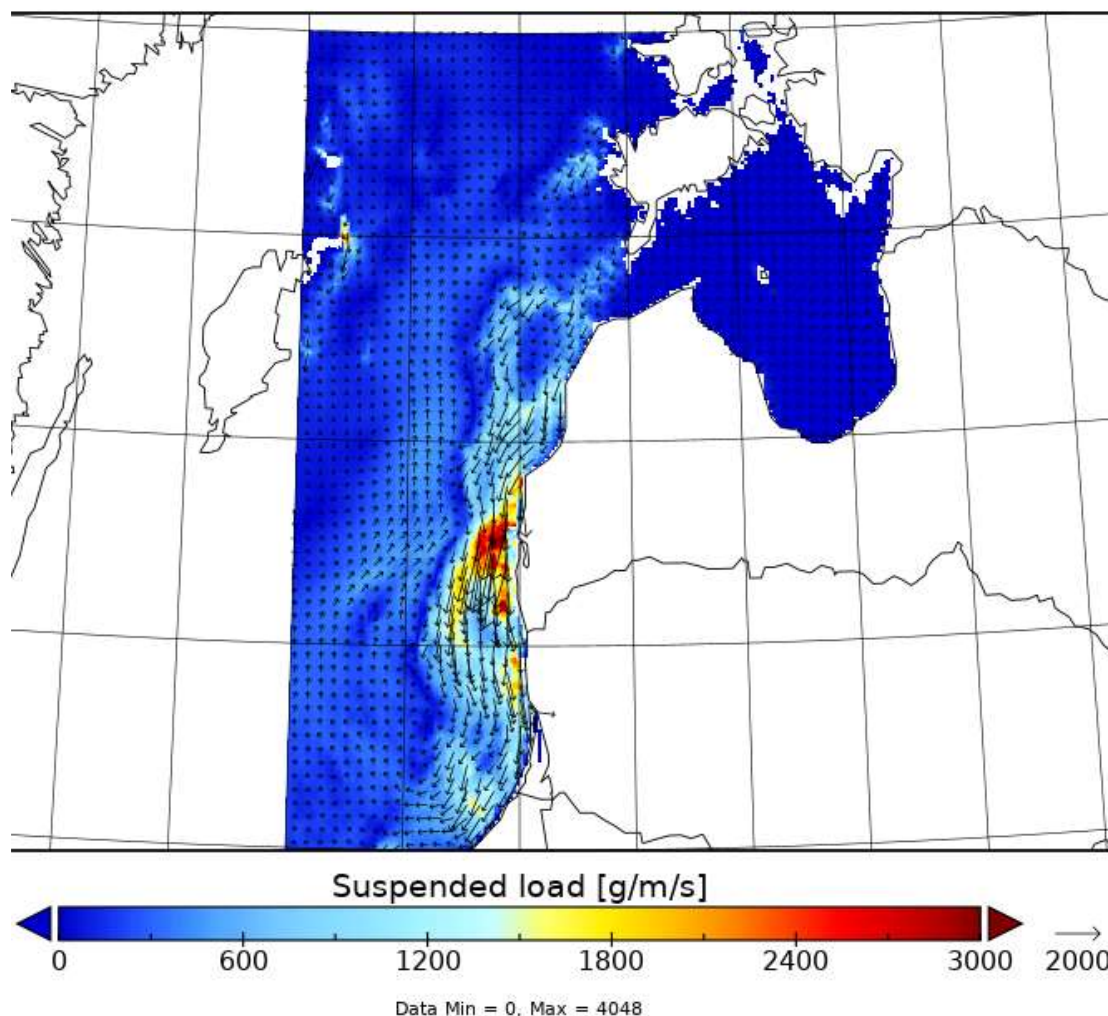
Attēls 31: Suspendēto daļiņu plūsma [g/m/s] 6 h intervālā 11-Jan-2015 vētrā. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50} = 0.17$  mm. Attēloti tikai punkti ar dziļumu virs 6 m.

Aplūkosim 2 vētras ar maksimālo uz ziemeļiem un uz dienvidiem vērsto sedimentu plūsmu. Spēcīgs ciklons “Felix” bija 2015. gada 11. janvārī, kad naktī nozīmīgais viļņu augstums Kurzemes piekrastē pārsniedza 7 m, skat. attēlu 31. Sedimentu plūsma 6 stundu intervālā pārsniedza pat 6 kg/m/s (jeb 110 m<sup>3</sup>/m/gadā). Savukārt, visspēcīgākā uz dienvidiem vērsta sanešu plūsma notika 2017. gada 30. oktobrī, kad sedimentu plūsma 6 stundu intervālā pārsniedza 4 kg/m/s (jeb 70 m<sup>3</sup>/m/gadā), sk. attēlu 32. Arī



pēdējā rudenī-ziemā 2018-2019. gadā Z vēju ietekmē bija 2 ļoti intensīvas uz dienvidiem vērstas sanešu plūsmas 2018. gada 24. oktobrī un 2019. gada 2. janvārī, kuras pēc intensitātes pārsniedza uz ziemeļiem vērstās sanešu plūsmas attiecīgajā ziemā.

2017.10.30 UTC 00:00-06:00



Attēls 32: Suspēdēto daļiņu plūsma [g/m/s] 6 h intervālā 30-Okt-2017 vētrā. Daļiņu vidējais izmērs  $d_{50} = 0.17$  mm. Attēloti tikai punkti ar dziļumu virs 6 m.

## 5.2. *Garkrasta pārneses modelis*

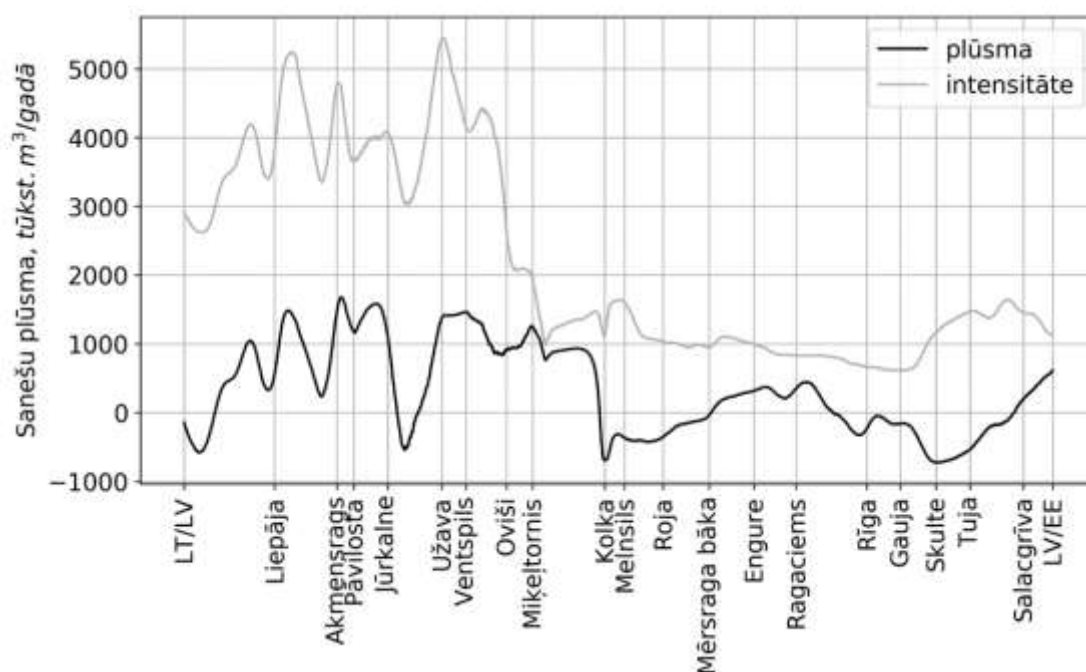
### 5.2.1. Modeļa uzbūve

Sanešu garkrasta pārneses modelim izmantota CERC (1984) formula; tās pielietošanai izveidota oriģināla programmatūra. Matemātiskais modelis aprēķina sanešu pārvietošanās laika rindas no tāljūras viļņu augstuma laika rindām. Sanešu pārvietošanās tiek aprēķināta caur krastam perpendikulāru profilu, jeb paralēli krasta posmam. Visos aprēķinos izmantots smilšu graudiņu izmērs  $d_{50}=0.17$  mm.

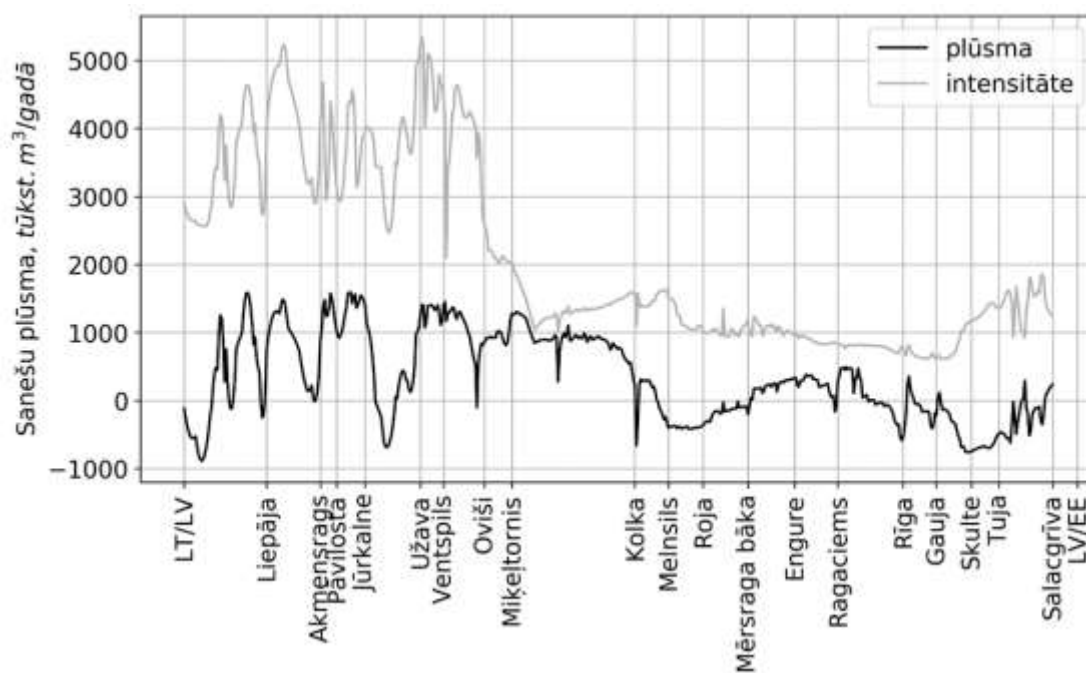
Aprēķini veikti vai nu klimatiskam laika periodam (1950-2100.gg), vai mūsdienu laika periodam (2005-2018.gg).

## 5.2.2. Krasta līnijas orientācijas noteikšana

Klimatiskie aprēķini 150 gadu periodam tika veikti gan uz krastam perpendikulāriem profiliem, gan krastam paralēlas līnijas (sk. attēlus 19-20). Aprēķinu rezultāti kā vidējā ikgadējā sanešu plūsma (indikators S1) un sanešu pārvietošanās intensitāte (indikators S2) attēloti attēlos 33-34.



Attēls 33: Sanešu plūsma un tās intensitāte gar krastam paralēlu līniju. Klimatiskais aprēķins 1951-2100.gg.



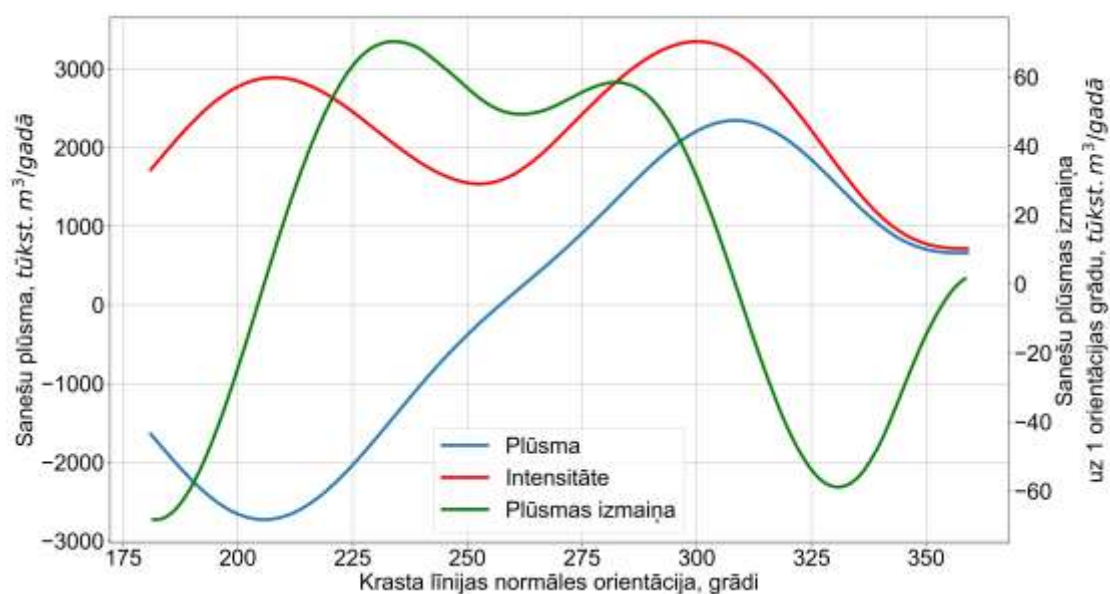
Attēls 34: Sanešu plūsma un tās intensitāte caur krastam perpendikulāriem profiliem. Klimatiskais aprēķins 1951-2100.gg.

Šajos un turpmākajos attēlos pozitīvs sanešu pārvietošanās virziens pieņemts gar Latvijas krasta robežu virzienā no Lietuvas robežas uz Igaunijas robežu – t.i. uz Ziemeļiem gar Baltijas jūras krastu un Rīgas jūras līča Vidzemes piekrasti un uz Dienvidiem gar Rīgas jūras līča Kurzemes piekrasti.

Kopumā aprēķinu rezultāti ir tuvi Knaps (1965) un Soomere&Viška (2014) rezultātiem. Sanešu pārvietošanās dominējošais virziens gar Baltijas jūras piekrasti pamatā ir vērsts uz Ziemeļiem, ja neskaita nebūtiskas zonas pie Bernātiem un starp Užavu un Jūrkalni. Sanešu plūsma ir ap miljoniem kubikmetru gadā, vietām sasniedzot 1.5 milj. m<sup>3</sup>/gadā. Kolkas raga virzienā saneši pārvietojas arī Irbes jūras šaurumā, raksturīgā pārnese ap miljoniem kubikmetriem. Rīgas jūras līča Kurzemes krastā saneši pārvietojas Kolkas virzienā posmā no Kolkas līdz Mērsragam, bet Rīgas virzienā – posmā no Mērsraga līdz Jūrmalai. Savukārt Vidzemes krastā saneši pārvietojas Rīgas virzienā no Rīgas līdz Salacgrīvai.

Sanešu intensitāte Baltijas jūras piekrastē variē no 3 līdz 5 miljoniem kubikmetru gadā. Tā samazinās līdz 1.5 miljoniem kubikmetru Irbes šaurumā un tālāk līdz miljoniem kubikmetru Rīgas jūras līcī, kur intensīvāka sanešu pārvietošanās ir viļņiem vairāk atsegtajā Vidzemes piekrastē.

Salīdzinot attēlus 33-34, var redzēt, ka izmantojot “profilu” pieeju, novērojama būtiska sanešu plūsmas variācija blakus esošajos profilos. Šāda problēma konstatēta arī Soomere&Viška (2014). Iemesls ir meklējams sanešu plūsmas aprēķina jutīgumā pret krastam perpendikulārā profila orientāciju. Attēlā 35 parādīta krastam paralēlas plūsmas vērtības nejaūši izvēlētam profilam pie Bernātiem. Redzams, ka mainot krasta līnijas orientāciju par 1 grādu, ikgadējā sanešu pārnese mainās par 50000 kubikmetru (vai 6%); tas nozīmē, ka 10-12 grādu “kļūda” krasta līnijas orientācijā var mainīt pret ikgadējo garkrasta pārnese virzienu. Lai novērstu šo problēmu, turpmāk veikti aprēķini uz krastam paralēlas nogludinātas līnijas, sk. sadaļu 4.2.1.



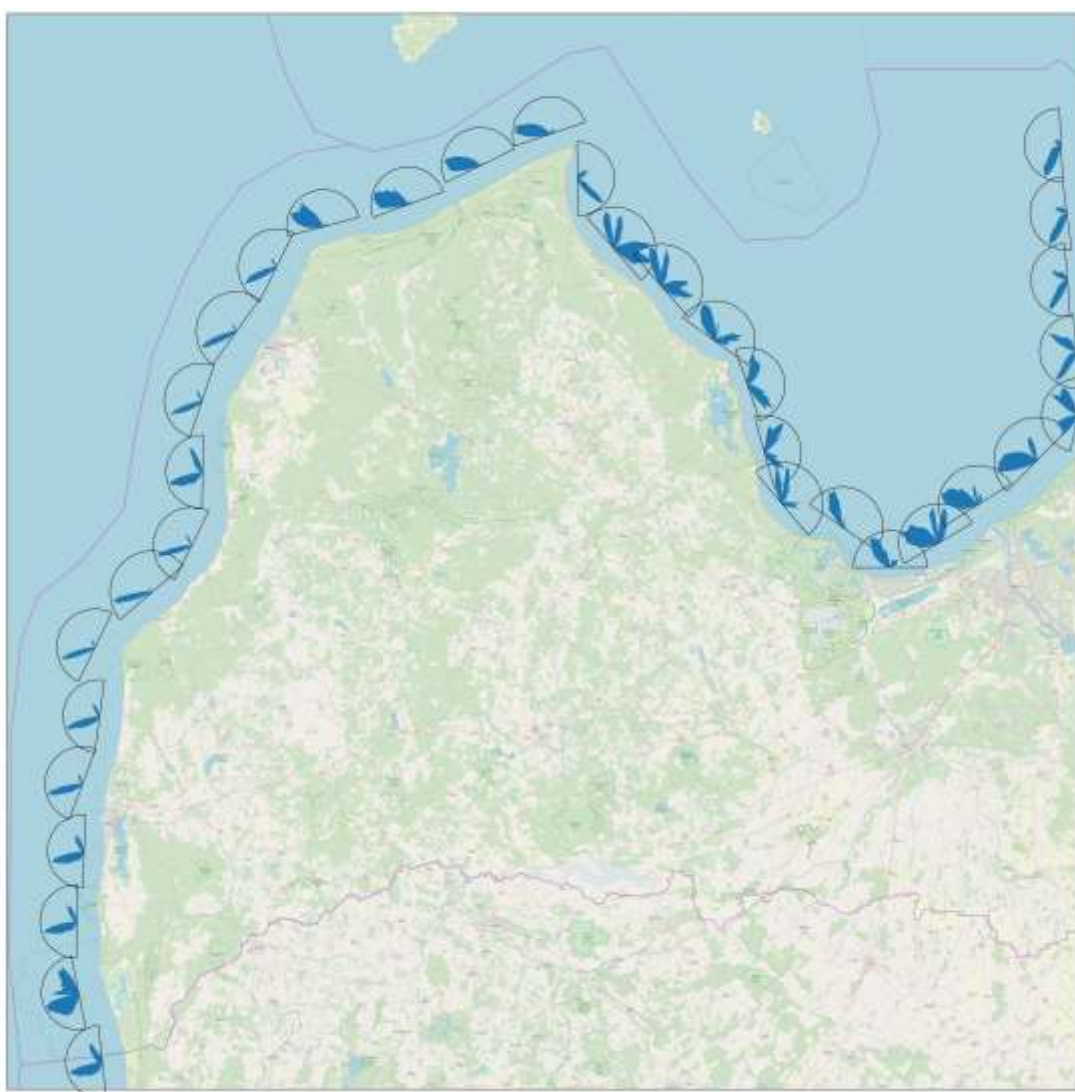
Attēls 35: Sanešu plūsma caur krastam perpendikulāru profilu pie Bernātiem kā funkcija no profila orientācijas.

### 5.2.3. Mūsdienu sanešu plūsma

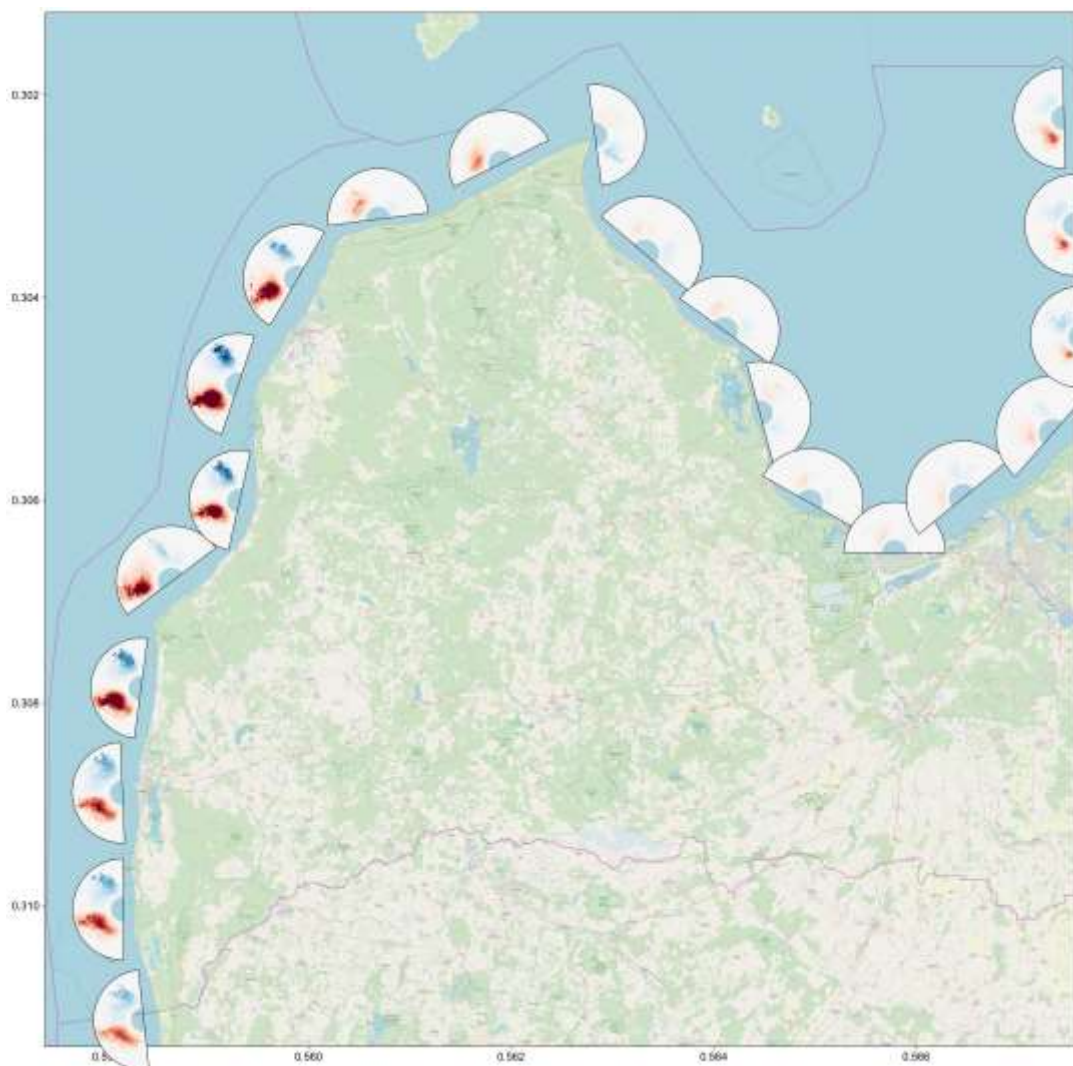
Mūsdienu (2005-2018) sanešu plūsma un tās intensitāte uz krastam paralēlas līnijas analizēta modeļaprēķinu sadaļā 6.2.

Aplūkosim to ietekmējošos faktoros. Attēlā 36 vizualizēts dažāda virziena viļņu īpatsvars sanešu pārvietošanās intensitātē. Baltijas jūras piekrastē par sanešu pārvietošanos pamatā ir atbildīgi RDR viļņi, vietām arī ZR sektora viļņi. Irbes šaurumā noteicošie ir RZR viļņi, bet Rīgas jūras līcī, kur dominējošais plūsmas virziens nav tik izteikts, ieguldījumu dod praktiski visu jūras sektoru viļņi.

Attēlā 37 vizualizēts dažāda virziena un augstuma (no 0 līdz 5 m) viļņu īpatsvars sanešu pārvietošanās intensitātē. Redzams, ka būtisku daļu sanešu pārnēsē sastāda ne vien ļoti stipras vētras, bet tieši viļņu augstumi 2-3 m robežās.



Attēls 36: Sanešu pārvietošanās intensitāte gar krastam paralēlu līniju. 2005-2018.gg. Dažāda virziena viļņu īpatsvars.



Attēls 37: Sanešu pārvietošanās intensitāte gar krastam paralēlu līniju. 2005-2018.gg. Dažāda virziena un augstuma viļņu īpatsvars.

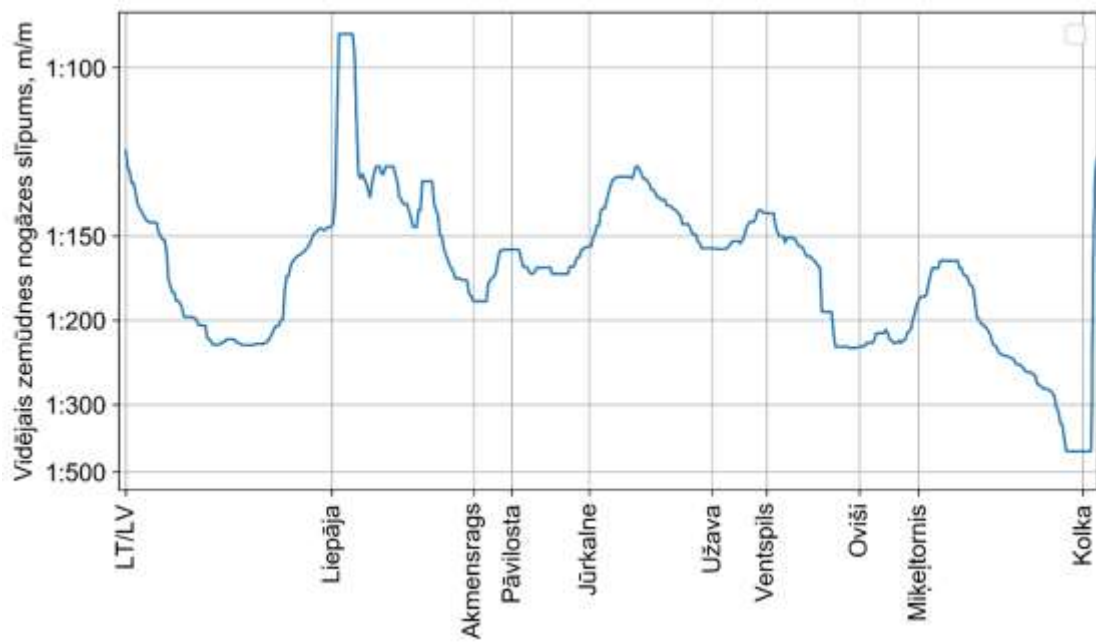
#### 5.2.4. Krasta līnijas pārvietošanās

Krasta erozijas novērtējumam izmantots Kamphuis (1987) modelis. Ar tā palīdzību var aprēķināt gultnes un stāvkrasta summārās erozijas ātrumu  $E$  (metri/gadā) ar sekojošas formulas palīdzību:

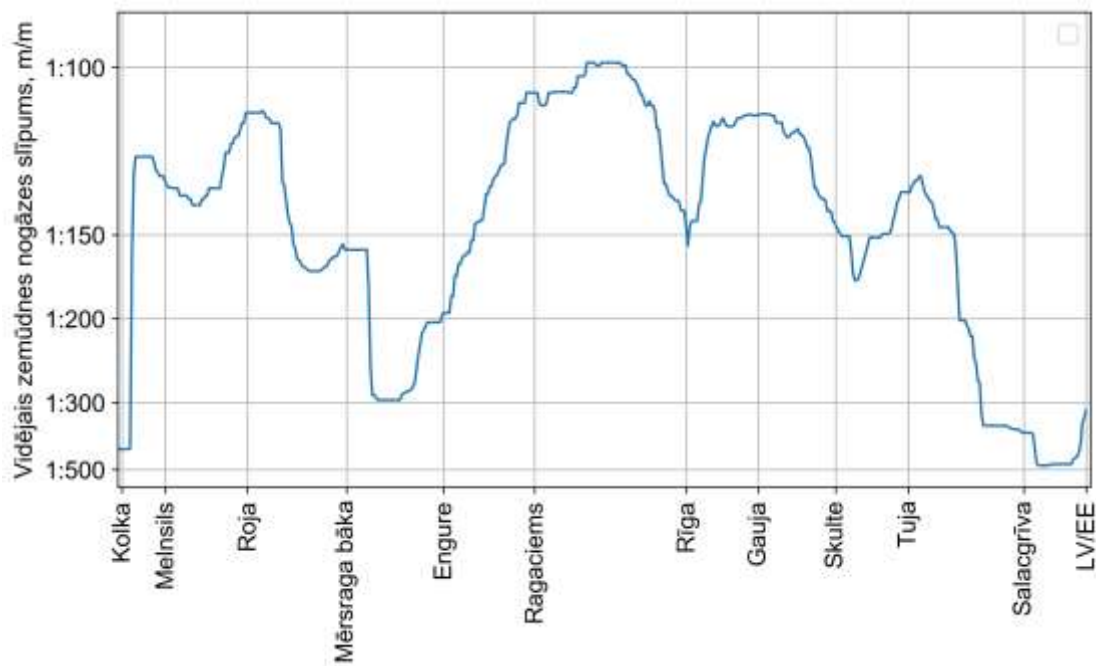
$$E = H_b^{13/4} T^{3/2} \frac{tg\alpha}{R}$$

Šeit  $H_b$  ir nozīmīgais viļņu augstums viļņu lūšanas zonā,  $T$  ir viļņu periods,  $tg\alpha$  ir efektīvais zemūdens profila slīpums.  $R$  ir kalibrācijas gaitā iegūstams parametrs - empīriskā materiāla stiprība ( $R=2.0 \cdot 10^6$ ). Šāda formula pielietota katram piekrastes profilam katrā laika momentā. Viļņu augstums viļņu lūšanas zonā noteikts analogi CERC formulā lietojamajam. Efektīvais zemūdens profila slīpums noteikts no Baltijas jūras batimetrijas datiem, aprēķinot to no 5 m izobātas attāluma no krasta.

Krasta erozijas aprēķins analizēts sadaļā 6.2, bet zemūdens profila slīpums attēlots attēlos 38-39.



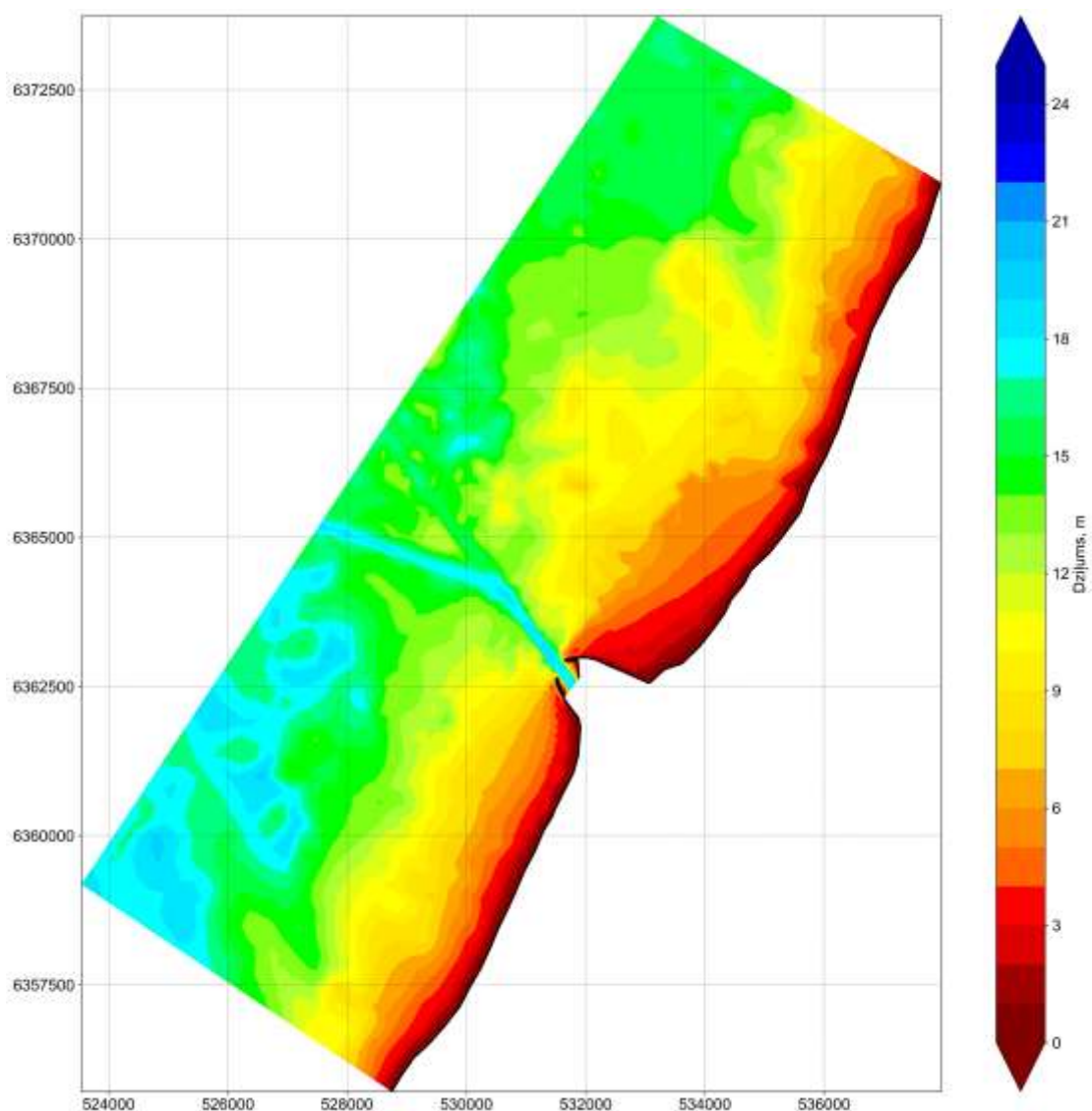
Attēls 38: Zemūdens profila slīpums Baltijas jūras piekrastē.



Attēls 39: Zemūdens profila slīpums Rīgas jūras līča piekrastē.

### 5.3. Hidrobūvju apkārtnes modelis

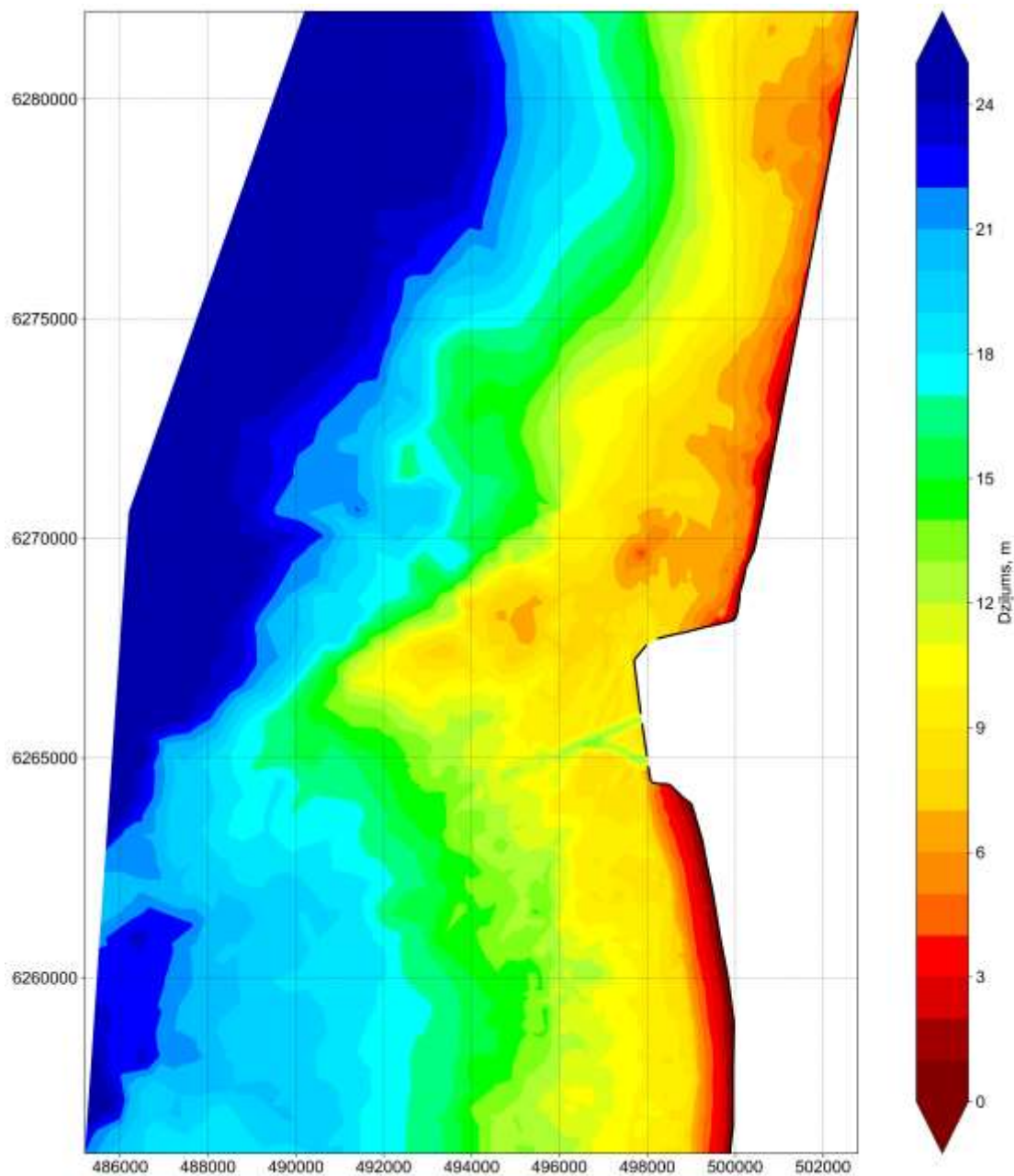
Hidrobūvju apkārtnēm tika izstrādāts uz PAIC (2003) programmatūras SwEvolver bāzēts viļņu lauka, hidrodinamikas un sanešu pārnese modelis. Tika izstrādāta sekojoša formāla shēma modeļa lietošanai:



Attēls 40: Dziļumu sadalījums Ventspils ostas apkārtnē.

1. Dziļumu sadalījuma un galīgo elementu režģa izveide modeļapgabalam, kas ietver visu hidrobūvju potenciālās ietekmes zonu – modeļapgabals tipiski ietver 10-20 km garkrasta zonu ap hidrobūvēm (ostu), bet jūras pusē sniedzas līdz 15-20 m izobātai.
2. Stacionāro aprēķinu matricas papildīšanu – stacionāru modeļaprēķinu veikšanu noteiktu viļņu augstuma/vēja ātruma/ūdenslīmeņu un viļņu/vēja virzienu notikumiem. Mēs izmantojam aprēķinu matricu
  - a. Virzieniem ik pa 5 grādiem jūras sektoriem;
  - b. Viļņu augstumus no 0.5 m līdz 5 m ar 0.25 m soli.

3. Jebkuru laika periodu rekonstrukcija kā superpozīcija no šajos laika periodos esošajiem hidrometeoroloģiskajiem apstākļiem. Tai skaitā, katrā modeļapgabala punktā tiek aprēķināti
  - a. Vidējais viļņu augstums;
  - b. Vidējais straumes ātruma vektors;
  - c. Sanešu pārvietošanās intensitāte ( $\text{m}^3/\text{gadā}/\text{m}$ );
  - d. Sanešu plūsma ( $\text{m}^3/\text{gadā}/\text{m}$ ).



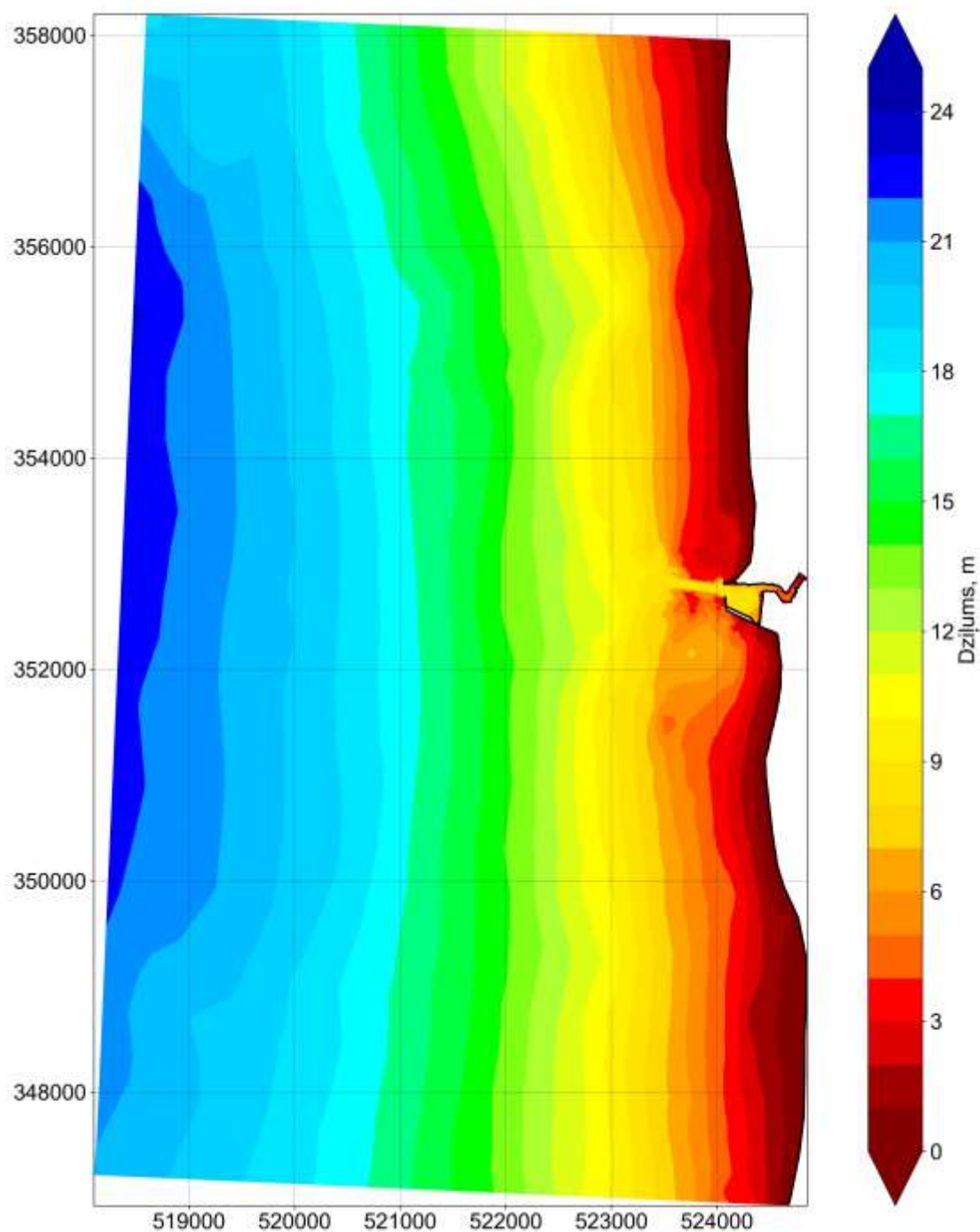
Attēls 41: Dziļumu sadalījums Liepājas ostas apkārtnē.

Šajā ziņojumā aplūkotas Ventspils, Liepājas, Skultes un Mērsraga ostu apkārtnes mūsdienu laika periodam 2005-2018. gg.



Ventspils ostas apkārtnē izmantots PAIC (2001) modeļapgabals, kurā pārjaunots dziļumu sadalījums ostas navigācijas kanālā, sk attēlu 40.

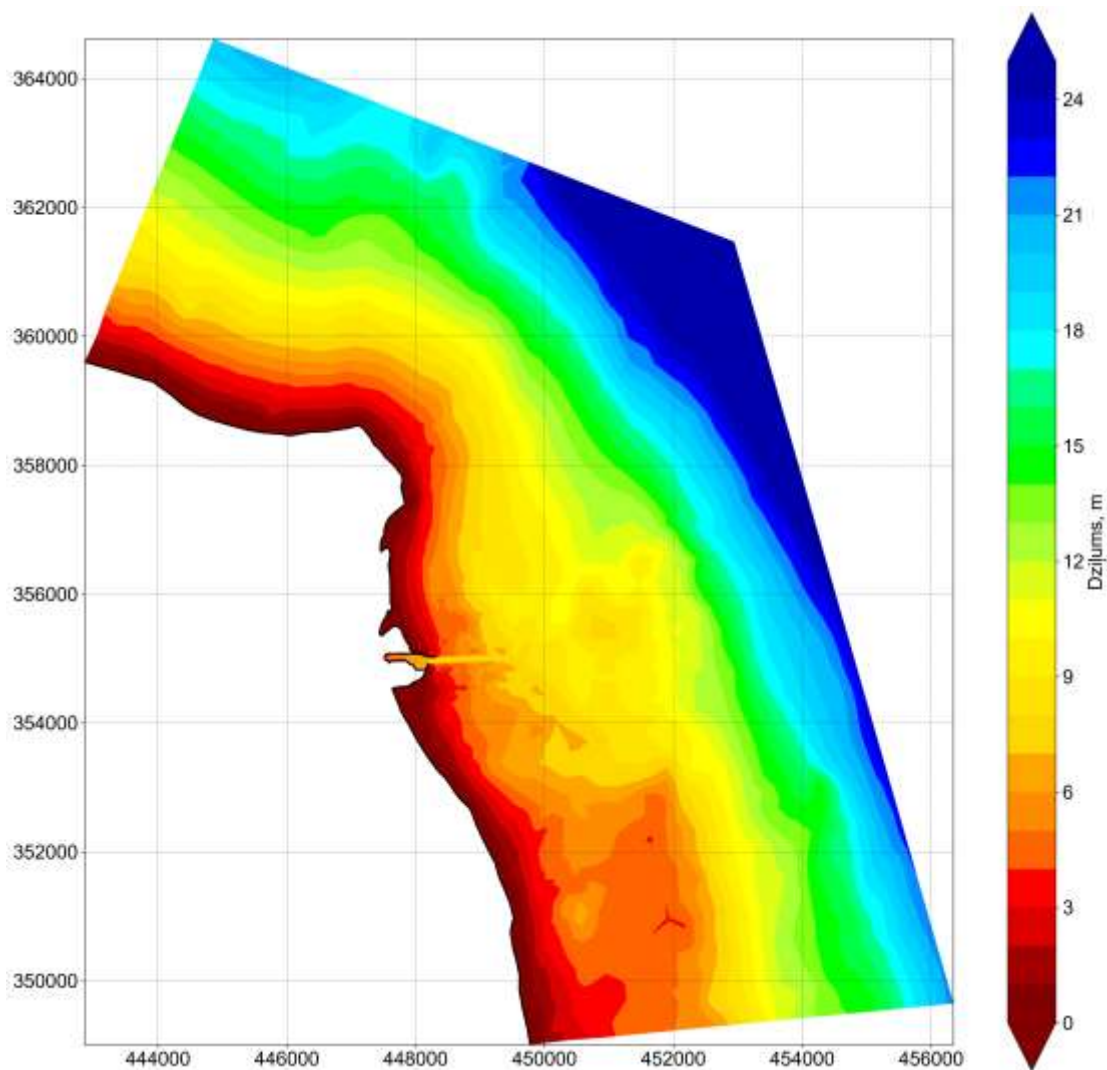
Liepājas ostas apkārtnē izmantots PAIC (1999) modeļapgabals, kurā pārjaunots dziļumu sadalījums ostas navigācijas kanālā, sk attēlu 41. Atšķirībā no Ventspils ostas, piekrastē pie Liepājas ostas vērojamas būtiskas dziļumu nevienmērības uz ZR no ostas, ko nosaka pamatklintāja atsegumi jūras gultnē.



Attēls 42: Dziļumu sadalījums Skultes ostas apkārtnē.

Skultes ostas apkārtnē izmantots PAIC (2004) modeļapgabals, kurā pārjaunots dziļumu sadalījums ostas navigācijas kanālā un ostas hidrobūvju aktuālā konfigurācija, sk. attēlu 42. Skultes ostas apkārtnē raksturīgs relatīvi vienmērīgs dziļumu sadalījums.

Mērsraga ostas apkārtnē izmantots PAIC (2006) modeļapgabals, kurā pārjaunots dziļumu sadalījums ostas navigācijas kanālā un ostas hidrobūvju aktuālā konfigurācija, sk. attēlu 43. Mērsraga ostas apkārtnes dziļumu sadalījums, tai skaitā zemūdens nogāzes slīpums ir izteikti nevienmērīgs; tā, uz Z no Mērsraga 5 m dziļums tiek sasniegts aptuveni kilometru no krasta, bet uz D no ostas – tikai vairāk kā 2 km no krasta.



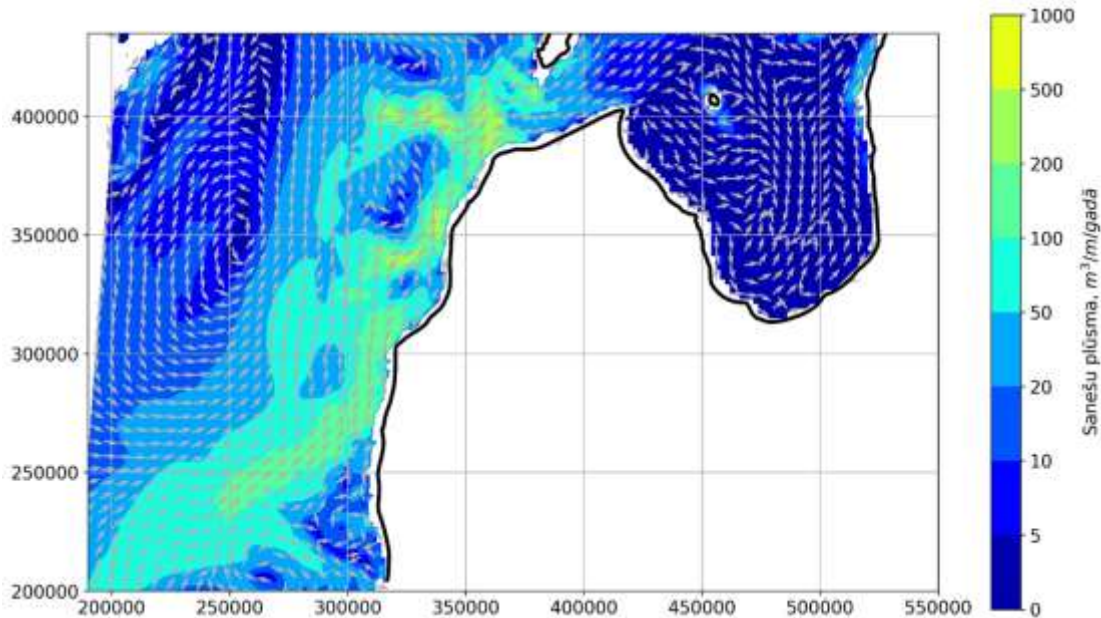
Attēls 43: Dziļumu sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē.

Hidrotehnisko būvju apkārtnes modelēšanas rezultāti, tai skaitā PAIC (2019b) ietvertie, analizēti sadaļā 6.3.

## 6. MODELĀPRĒKINI

### 6.1. Dziļūdens sanešu pārnese

Aplūkosim dziļūdens sanešu pārvietošanās modeļaprēķin mūsdienu periodam 2014.-2018.gg. ar raksturīgo daļiņu izmēru  $d_{50}=0.17$  mm, atbilstoši sadaļā 5.1 izveidotajam modelim.



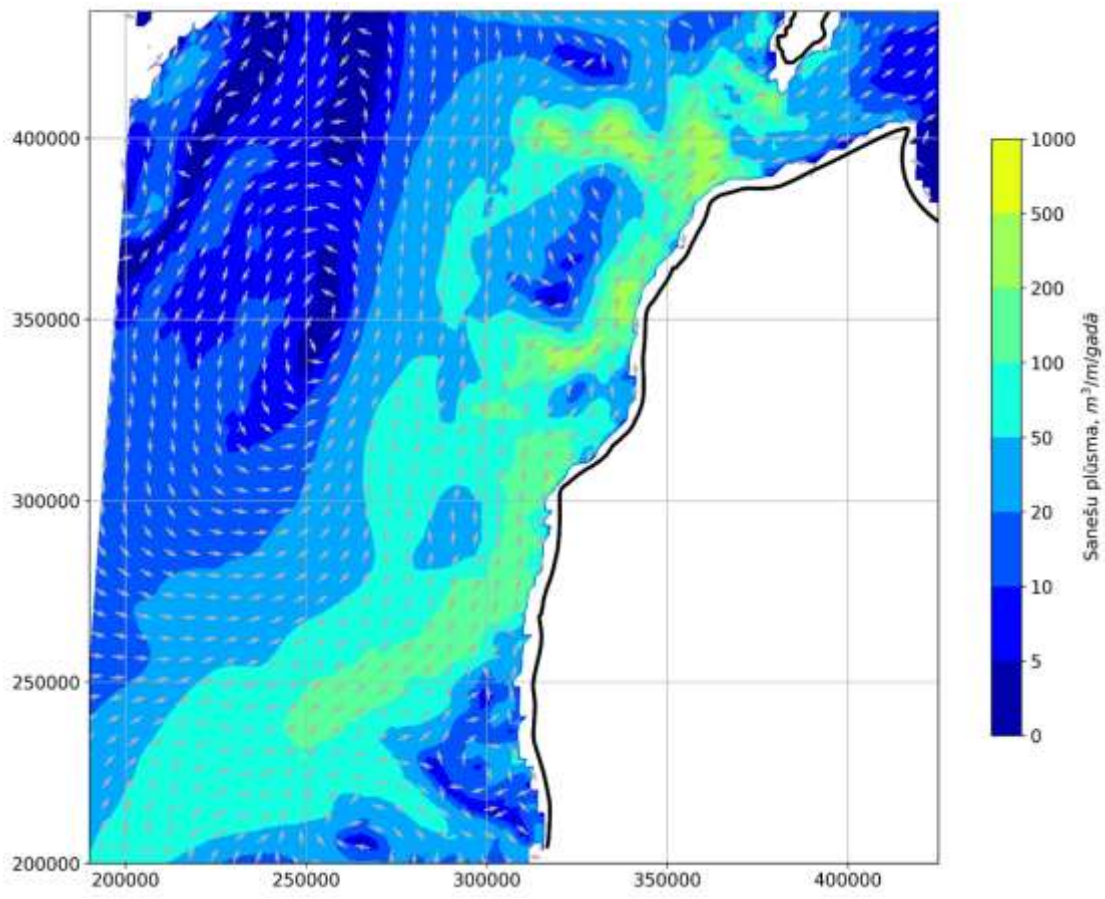
Attēls 44: Dziļūdens sanešu plūsma projekta teritorijā.

Attēlā 44 parādīts vidējās sanešu plūsmas (kubikmetri uz plūsmai perpendikulāru metru gadā) un tās virziena sadalījums visā projekta teritorijā, bet attēlos 45-46 – šo aprēķinu detalizācija atsevišķi projekta teritorijas Baltijas jūras un Rīgas jūras līča daļām.

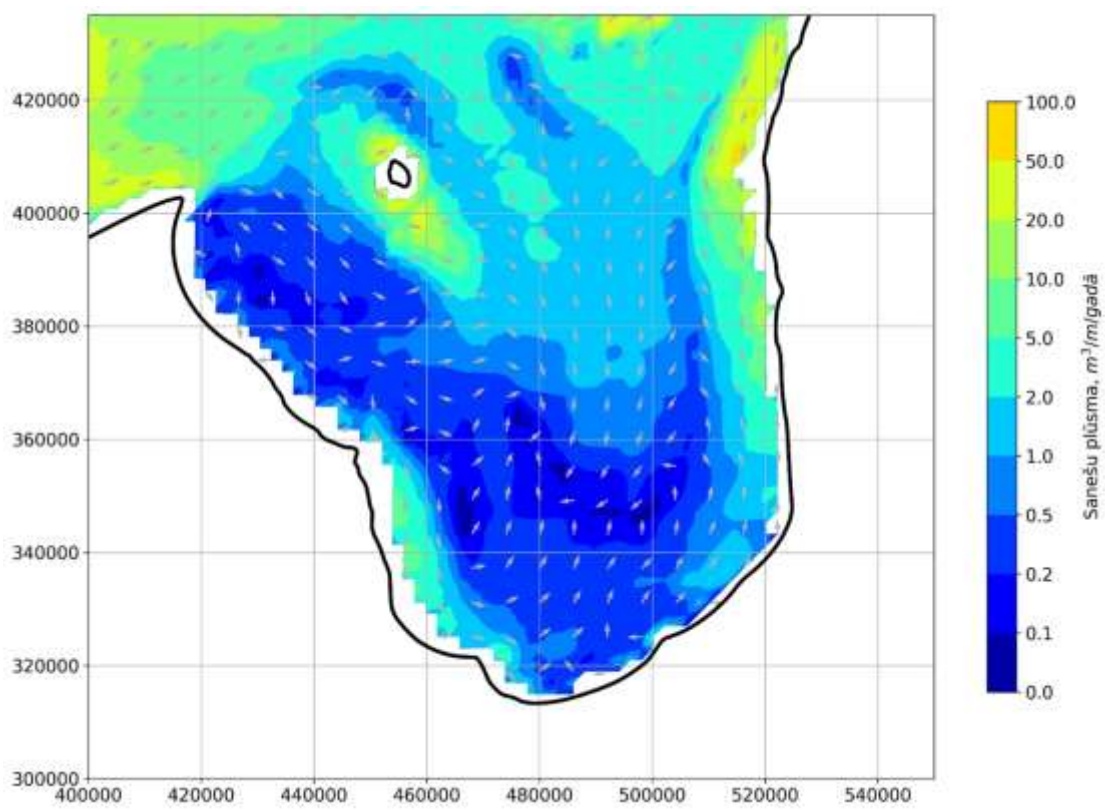
Baltijas jūrā raksturīga no dienvidrietumiem uz ziemeļiem vērsta, krastam orientējoši paralēla dziļūdens sanešu pārnese. Plūsma nonāk projekta teritorijā no Polijas krasta zonas (apejot Krievijas un Lietuvas krasta zonas). Orientējoši 50 km platā joslā šīs plūsmas intensitāte pārsniedz  $50 \text{ m}^3/\text{m}/\text{gadā}$ , bet 10-15 km plata joslā –  $100 \text{ m}^3/\text{m}/\text{gadā}$ . Aiz Miķeļtorņa plūsma noliecas Irbes šauruma virzienā un zaudē intensitāti.

Rīgas jūras līča ziemeļdaļā dziļūdens sanešu plūsma konverģē uz zonu starp Roņu salu un Ainažiem. Savukārt, gar Latvijas piekrasti plūsma ir kopumā vērsta pretēji puksteņa rādītāja virzienam – Kolka-Rīga-Ainaži. Rīgas jūras līcī sanešu plūsma ir 10 reizes mazāka nekā Baltijas jūrā – tā sasniedz, attiecīgi, 5 un  $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{gadā}$  gar Kurzemes un Vidzemes piekrastēm.

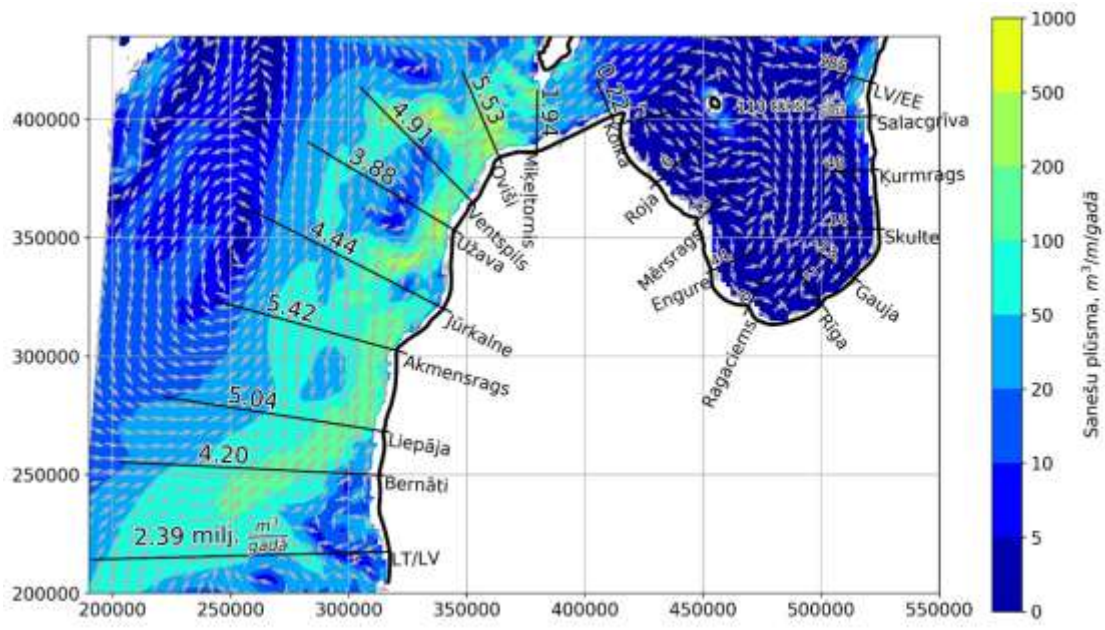
Attēlā 47 parādīts vidējās sanešu plūsmas (kubikmetri uz plūsmai perpendikulāru metru gadā) un tās virziena sadalījums visā projekta teritorijā kopā ar izvēlētiem profiliem un caur tiek ikgadēji izejošo smilšu apjomu  $\text{m}^3/\text{gadā}$ . Attēlos 48-49 sniegta šo aprēķinu detalizācija atsevišķi projekta teritorijas Baltijas jūras un Rīgas jūras līča daļām, bet attēlos 50-52 – viendimensionālie caur izvēlētajiem profiliem izplūstošo sanešu grafiki, attiecīgi, visai projekta teritorijai un tās Baltijas jūras un Rīgas jūras līča daļām.



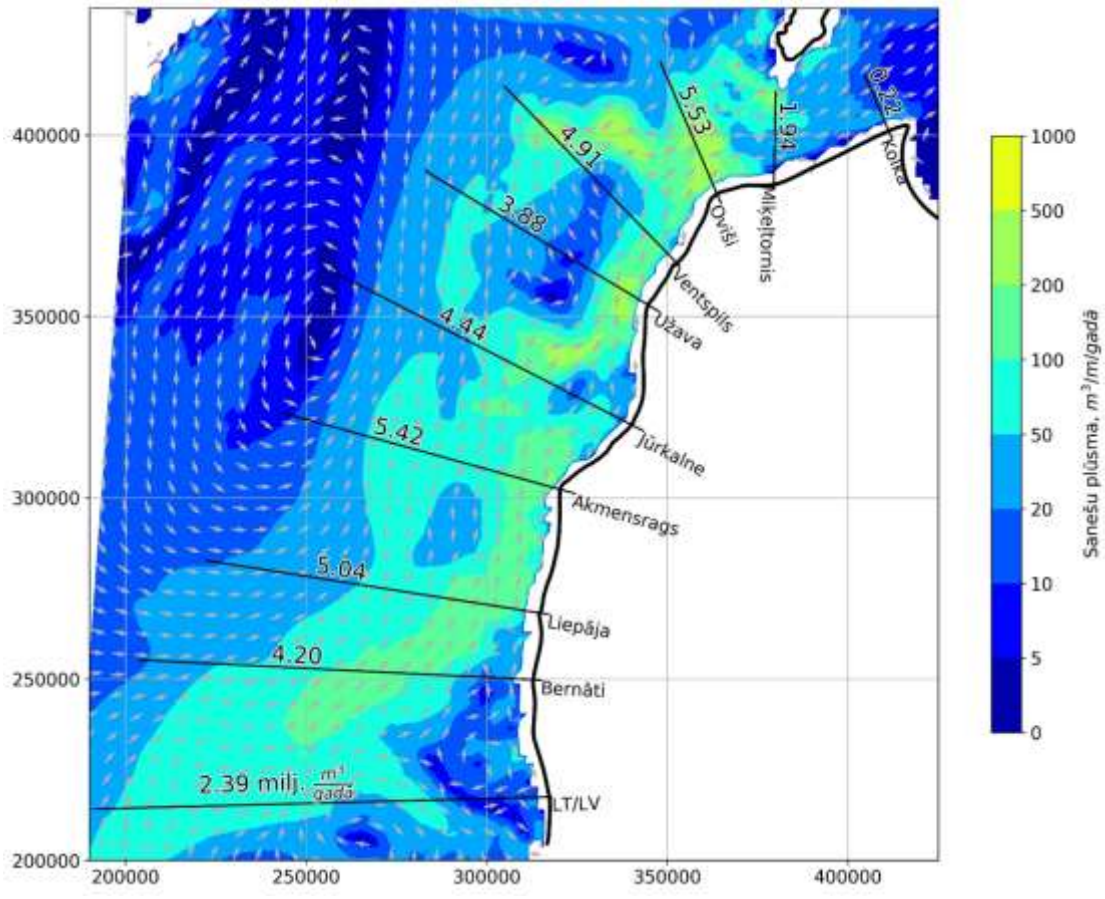
Attēls 45: Dziļūdens sanešu plūsma projekta teritorijas Baltijas jūras daļā.



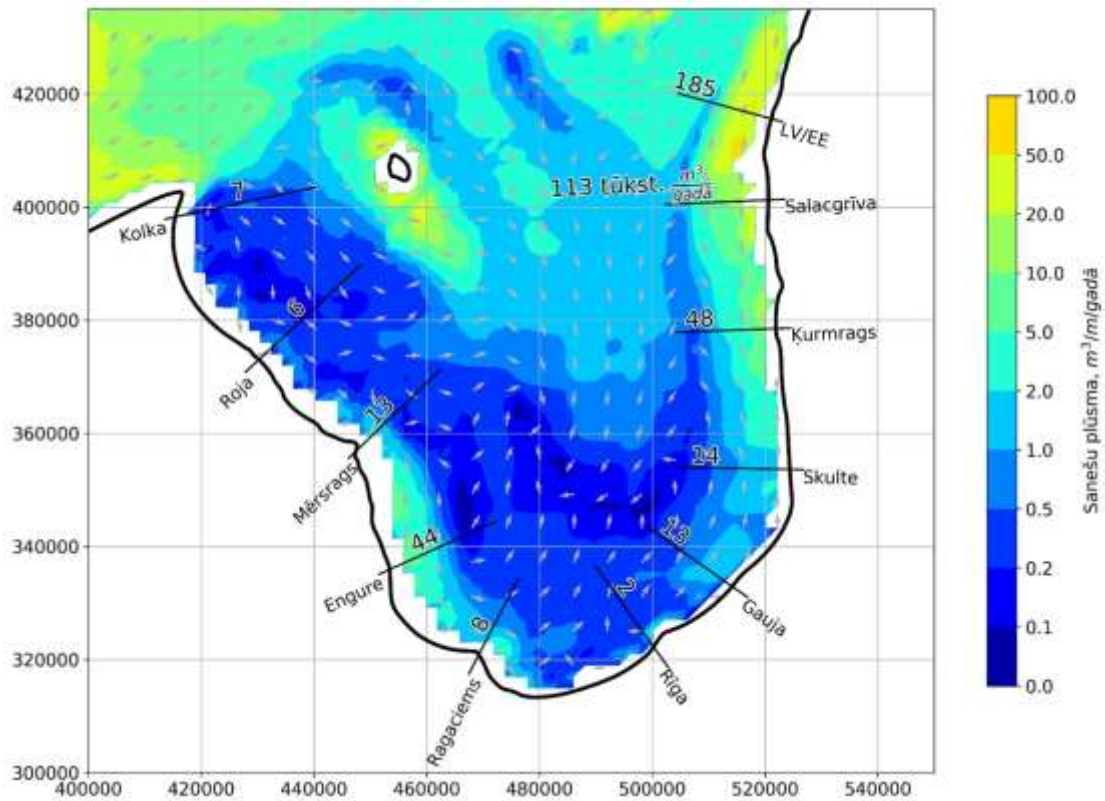
Attēls 46: Dziļūdens sanešu plūsma projekta teritorijas Rīgas jūras līča daļā.



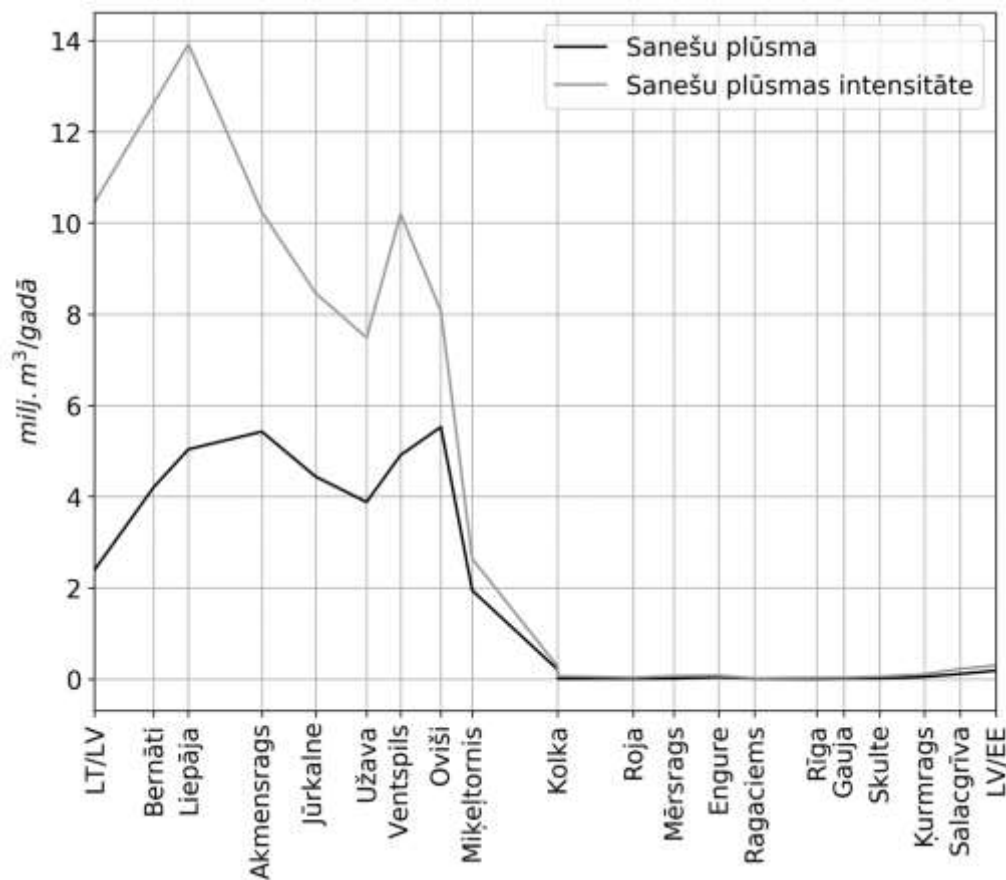
Attēls 47: Dziļūdens sanešu plūsma projekta teritorijā un aplūkotie šķēsgriezumi.



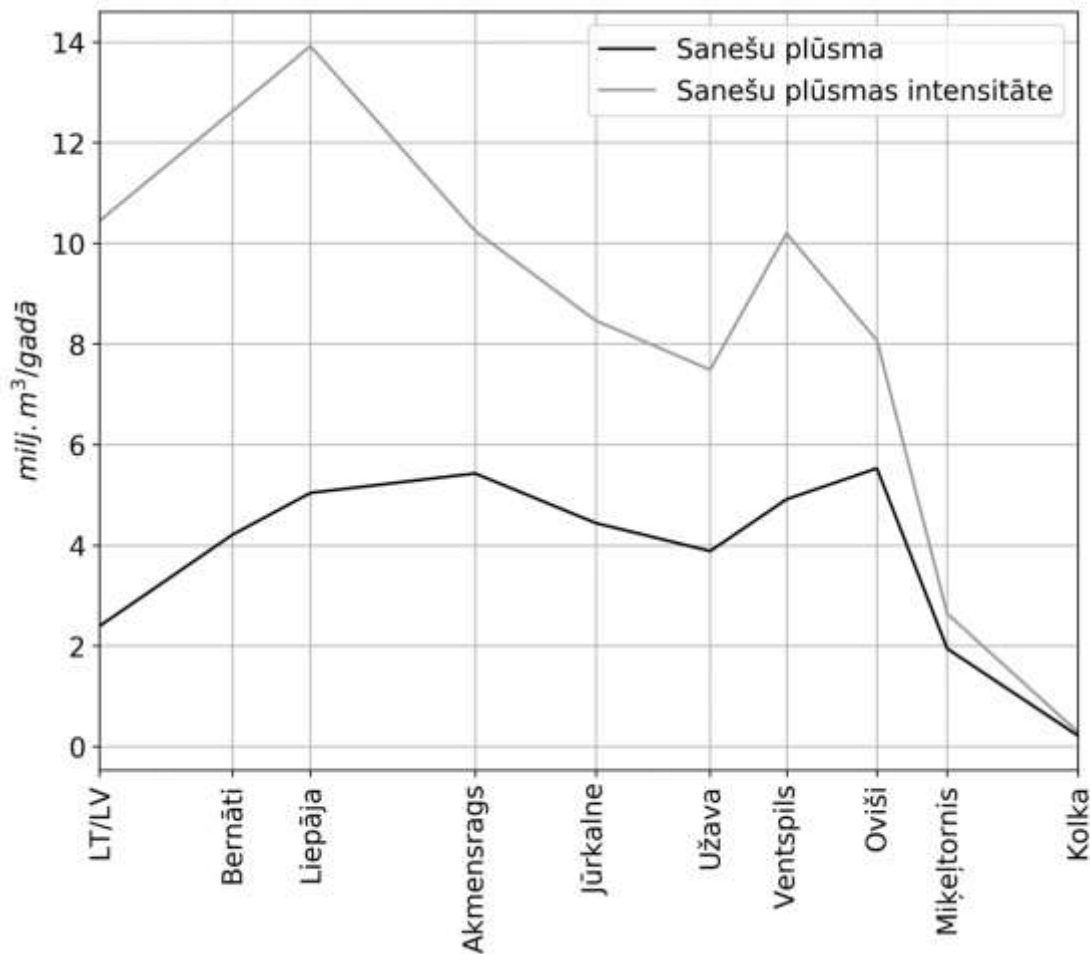
Attēls 48: Dziļūdens sanešu plūsma caur šķēsgriezumiem projekta teritorijas Baltijas jūras daļā.



Attēls 49: Dziļūdens sanešu plūsma caur šķērsriezumiem projekta teritorijas Rīgas jūras līča daļā.



Attēls 50: Dziļūdens sanešu plūsma un sanešu pārvietošanās intensitāte projekta teritorijā caur aplūkotajiem šķērsriezumiem.



Attēls 51: Dziļūdens sanešu plūsma un sanešu pārvietošanās intensitāte projekta teritorijas Baltijas jūras daļā caur aplūkotajiem šķērsriezumiem.

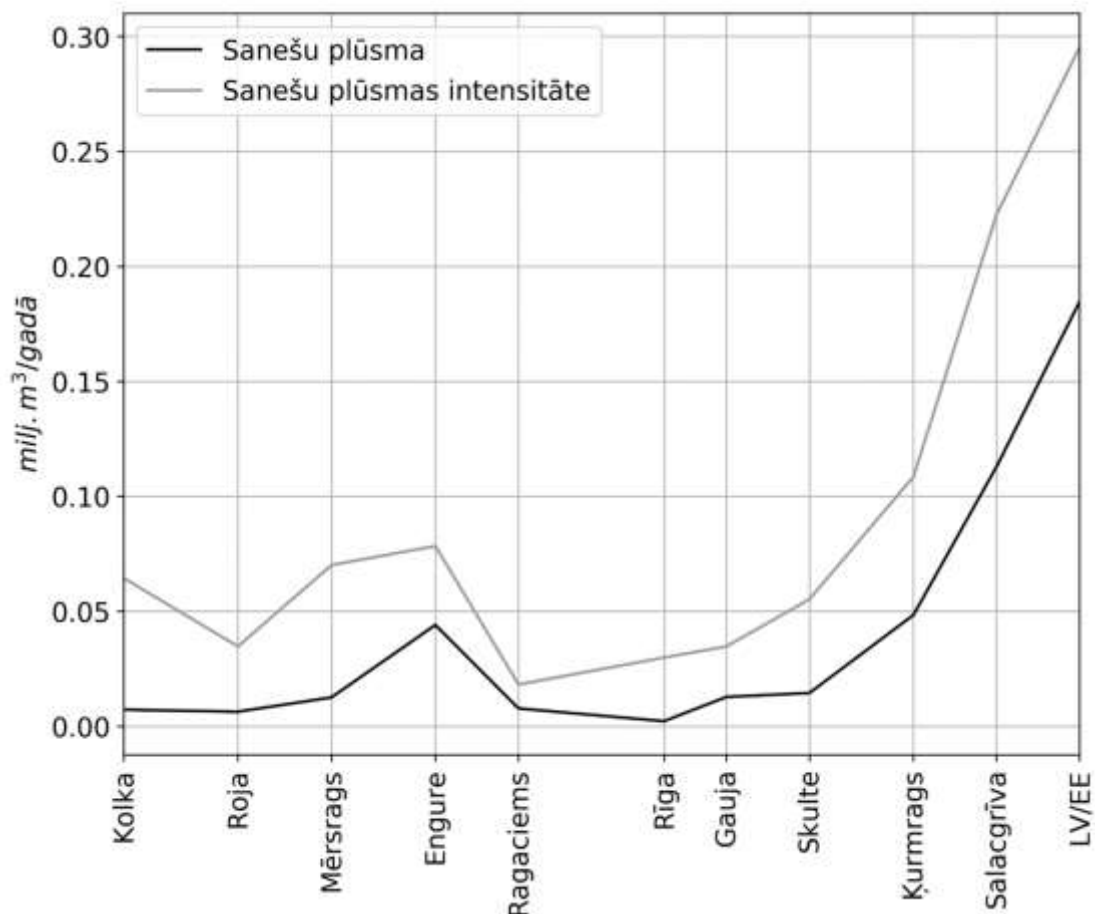
Baltijas jūras dziļūdens zonā projekta teritorijā ieplūst ap 2.5 miljoni kubikmetru sanešu gadā. Plūsma pieaug līdz 5 miljoni kubikmetru pie Liepājas un tālāk līdz Ovīšragam svārstas 4-5.5 miljonu kubikmetru robežās. No šīs plūsmas mazāk kā 2 miljoni kubikmetru nonāk Irbes šaurumā, bet pārējie saneši vai nu deponējas (sk.attēlu 28 smilšu nogulumu izvietojumu) Irbes šauruma ieejas zonā vai tiek pārnesti tālāk uz dienvidiem. Tātad mēs varam izdarīt secinājumu, ka dziļūdens sanešu bilance (**indikators S1**) projekta teritorijas zonā no Latvijas ekonomiskās zonas robežai līdz Ovīšragam ir negatīva – šajā zonā tiek kopumā ienesti 2.5, bet no tās iznesti 5.5 miljoni kubikmetru smilšu gadā. Šāda bilance nosaka arī iespējamo smilšu deficītu garkrasta plūsmā, kas aplūkota sadaļā 6.2.3.

Rīgas jūras līcī dziļūdens sanešu pārvietošanās ir virzienā no Kolkas uz Rīgu Kurzemes piekrastē, un no Rīgas uz Ainažiem Vidzemes piekrastē. Kopumā sanešu plūsma ir būtiski mazāka Kurzemes piekrastē, izņemot zonu Engures apkārtnē. Vidzemes piekrastē tā būtiski pieaug uz Ziemeļiem no Ķurmraga.

Aplūkojot dziļūdens sanešu pārvietošanās intensitāti (indikators S1) redzams, ka pie LV ekonomiskās zonas robežas tā 4-5 reizes pārsniedz virzīto sanešu plūsmu. Pie Liepājas, kur ir dziļūdens sanešu pārvietošanās intensitātes šis pārsniegums ir vairs tikai 3 reizes. Sanešu kustības intensitāte tālāk turpina samazināties, savukārt uz ziemeļiem

vērstās plūsmas dominance pastiprinās – pie Ovīšraga sanešu pārvietošanās intensitāte vairs tikai 1.5 reiz pārsniedz virzīto sanešu plūsmu.

Rīgas jūras līcī dziļūdens sanešu pārvietošanās intensitāte būtiski (vairāk kā 3 reizes) pārsniedz virzīto sanešu plūsmu Kurzemes piekrastē, tā ir aptuveni 2 reizes lielāka par virzīto sanešu plūsmu Vidzemes piekrastē.

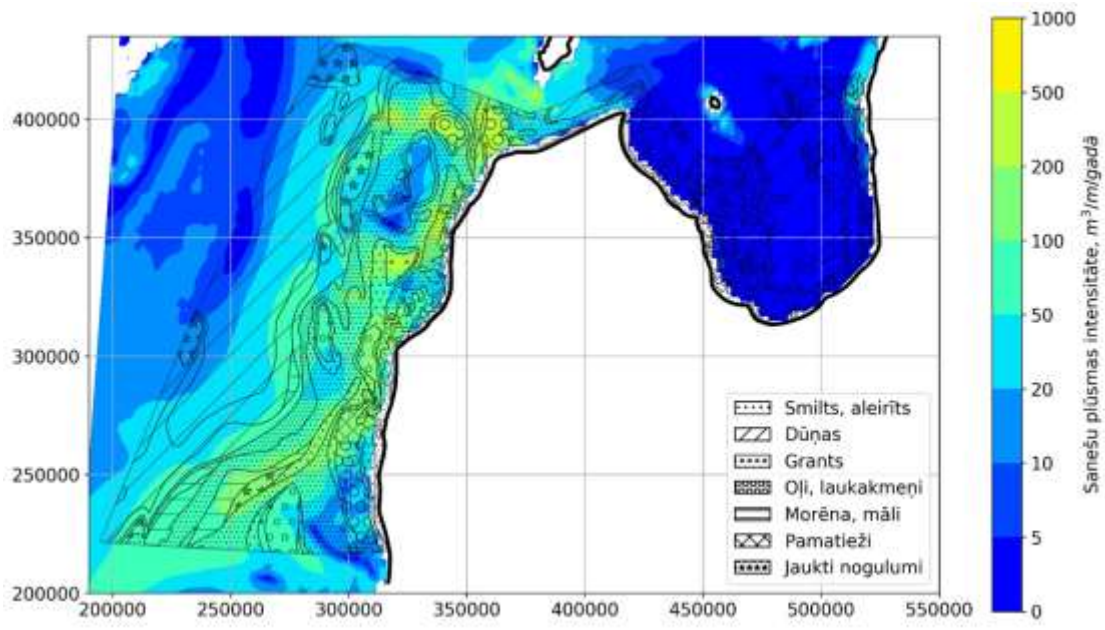


Attēls 52: Dziļūdens sanešu plūsma un sanešu pārvietošanās intensitāte projekta teritorijas Rīgas jūras līča daļā caur aplūkotajiem šķērsgriezumiem.

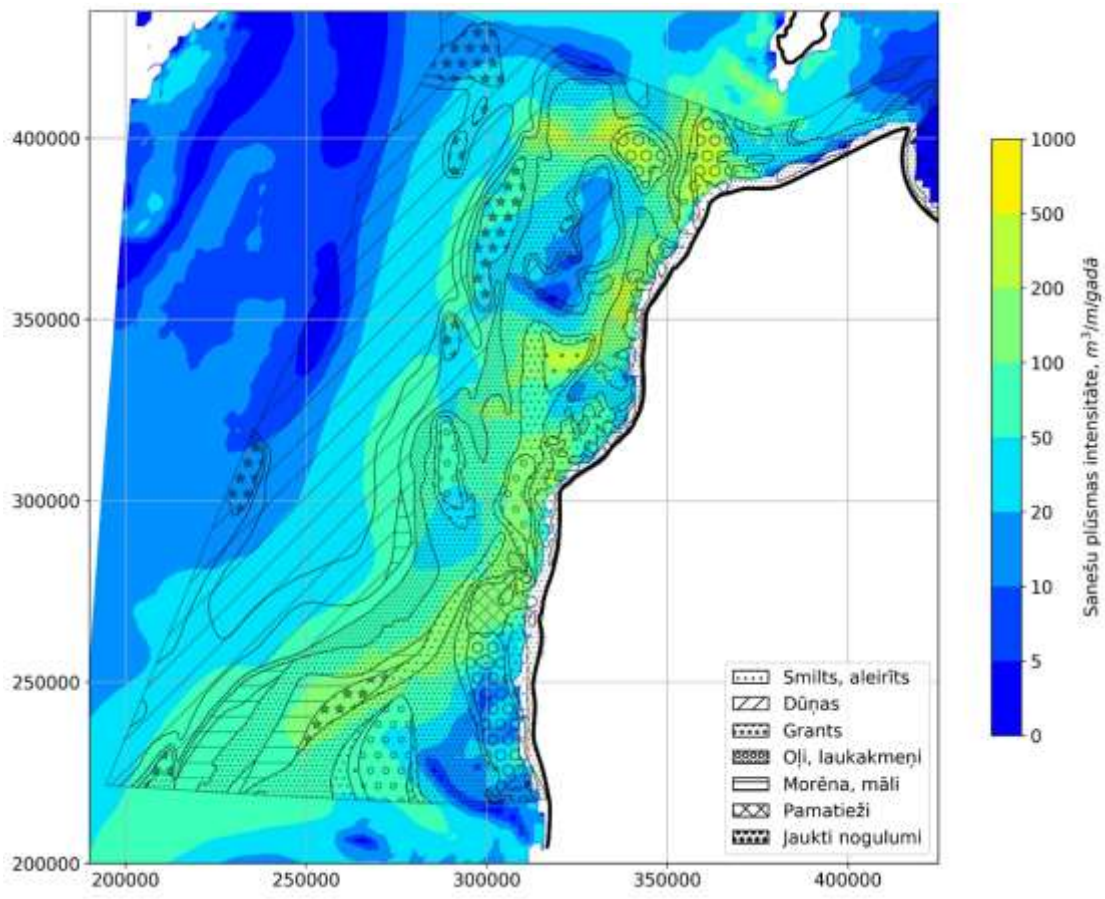
Dziļjūras sanešu pārvietošanās intensitātes (**indikatora S2**) Latvijas piekrastē superpozīcija ar gultnes substrāta telpisko sadalījumu parādīta attēlā 53 visai projekta teritorijai, bet atsevišķi tā Baltijas jūras u Rīgas jūras līča daļai, attiecīgi, attēlos 54-55.

Attēlā 54 var uzskatāmi redzēt, ka zonās ar lielāku sanešu pārvietošanās intensitāti Baltijas jūrā ir vērojama grunts abrazīcija un, attiecīgi rupjāki dībennogulumi. Izņēmumi ir akumulācija Irbes šaurumā uz smilšu uzkrājumi konverģences zonā uz ZR no Ovīšraga..

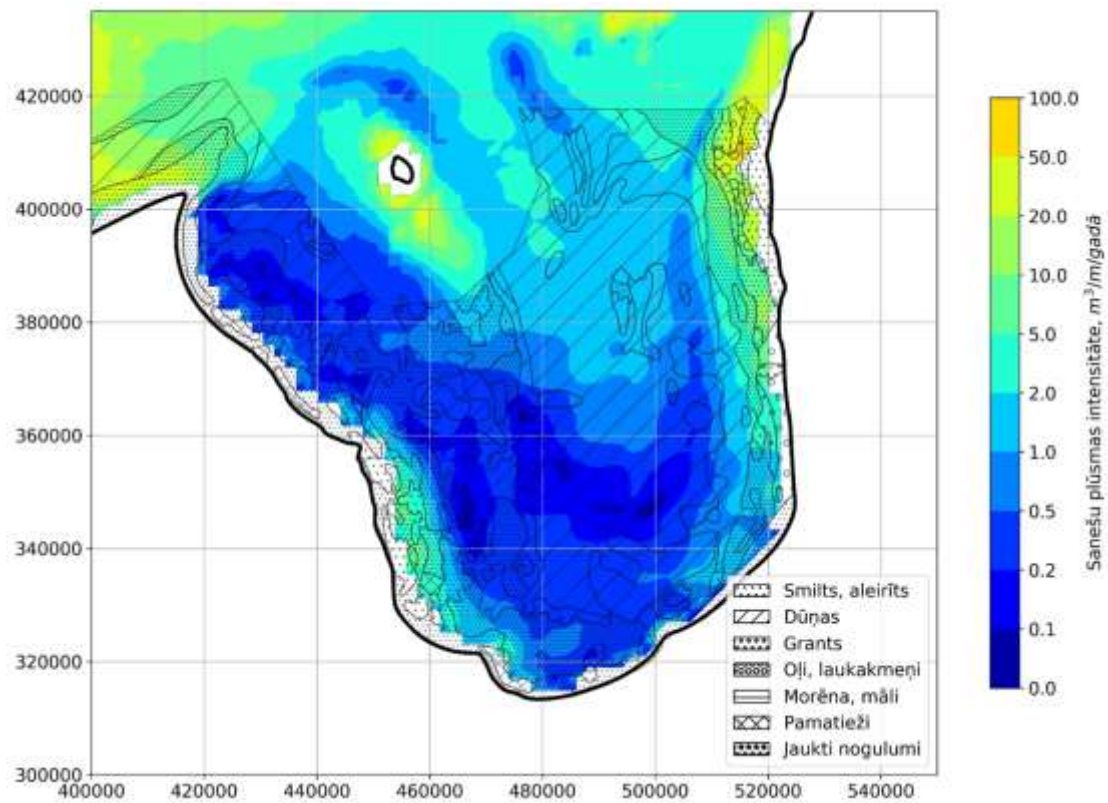




Attēls 53: Dziļjūras sanešu pārvietošanās intensitātes Latvijas piekrastē superpozīcija ar gultnes substrāta telpisko sadalījumu.



Attēls 54: Dziļjūras sanešu pārvietošanās intensitātes Latvijas piekrastes Baltijas jūras daļā superpozīcija ar gultnes substrāta telpisko sadalījumu.

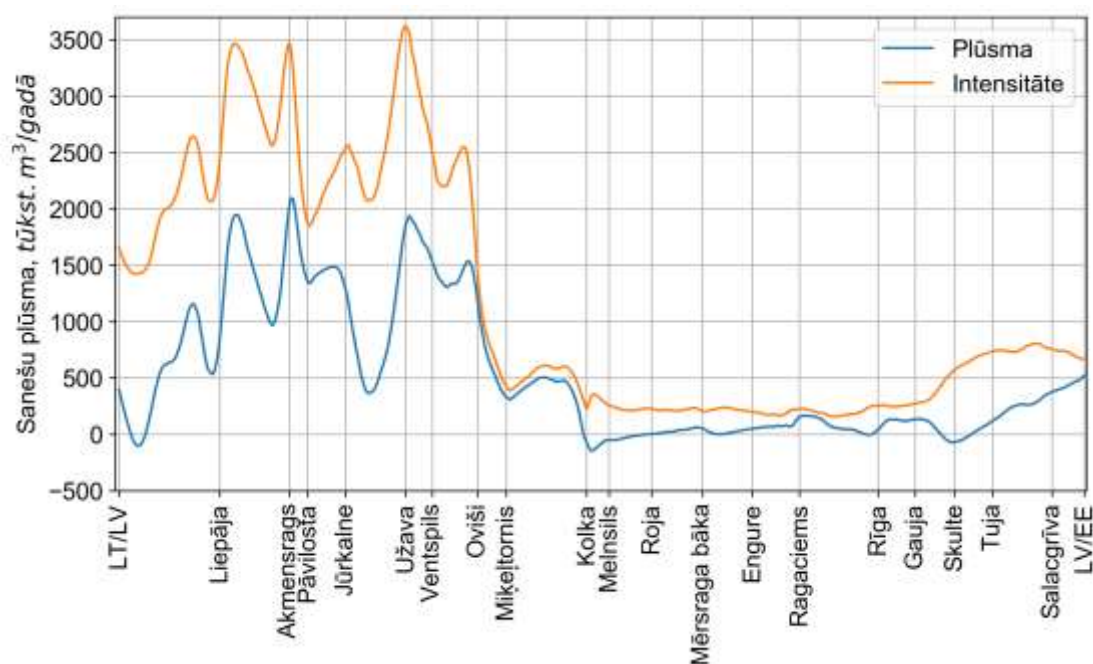


Attēls 55: Dziļjūras sanešu pārvietošanās intensitātes Latvijas piekrastes Baltijas jūras daļā superpozīcija ar gultnes substrāta telpisko sadalījumu.

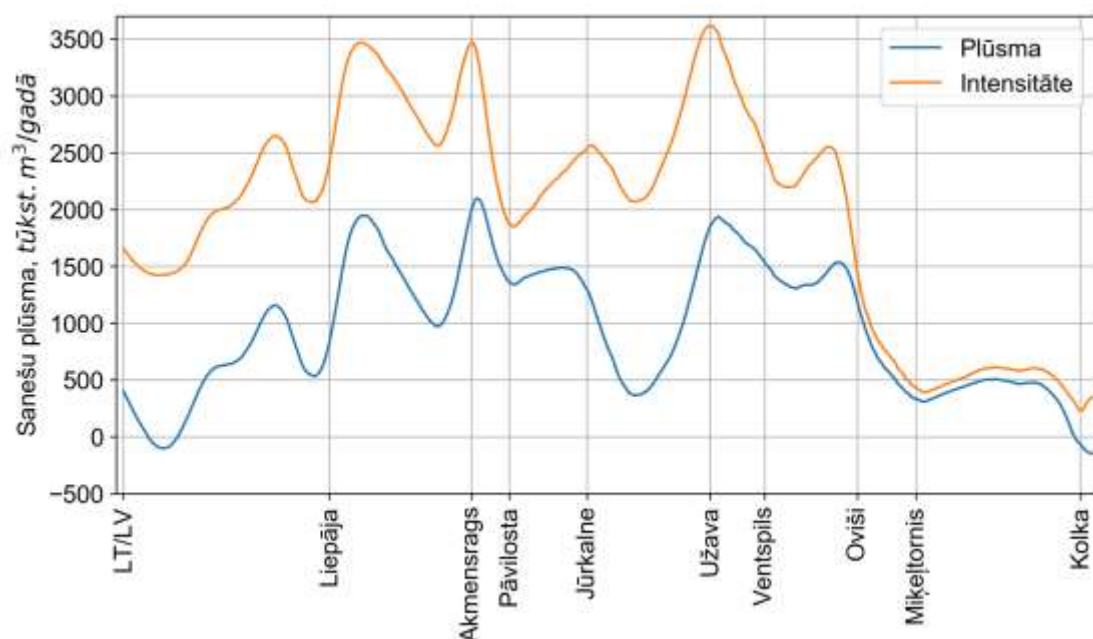
## 6.2. Sanešu bilances modelis

### 6.2.1. Sanešu plūsma un pārvietošanās intensitāte

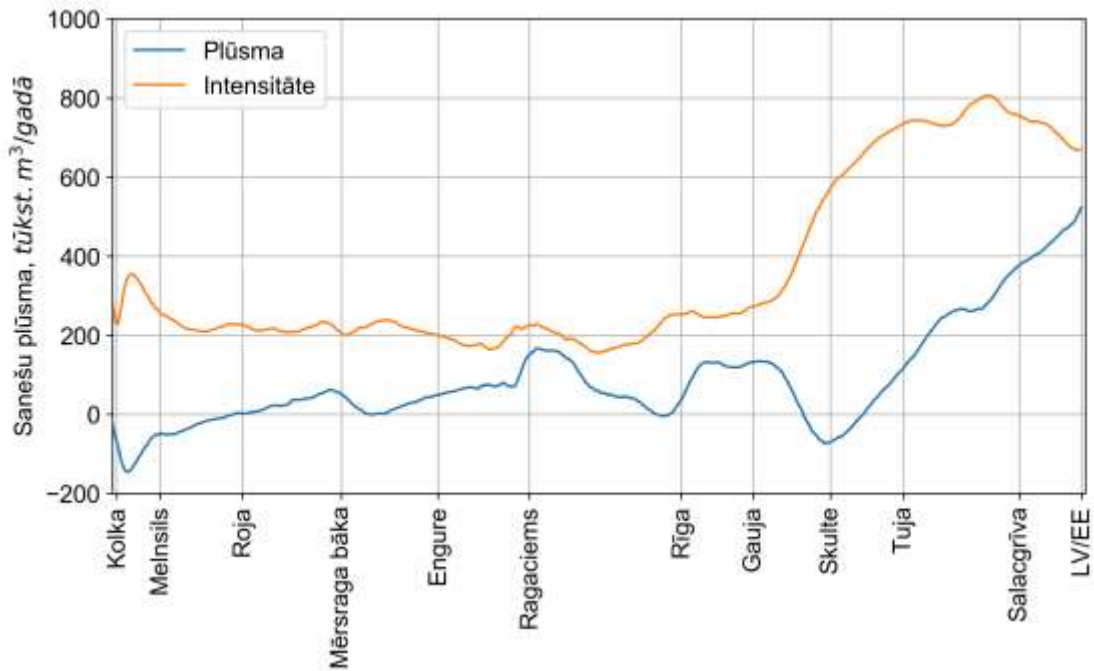
Mūsdienu (2005-2018) sanešu plūsma un tās intensitāte (indikators S2) uz krastam paralēlas līnijas attēlota attēlā 56 visai Latvijas piekrastei, bet attēlos 57-58, attiecīgi, Baltijas jūras un Rīgas jūras līča piekrastei. Sanešu plūsma (sārtā krāsā attēlota plūsma no LT uz EE, bet zilā – plūsma no EE uz LT) vizualizēta uz kartes attēlos 59-60, bet sanešu intensitāte – attēlos 61-62.



Attēls 56: Sanešu plūsma un tās intensitāte gar krastam paralēlu līniju visai Latvijas piekrastei. 2005-2018.gg.



Attēls 57: Sanešu plūsma un tās intensitāte gar krastam paralēlu līniju Latvijas piekrastes Baltijas jūras daļai. 2005-2018.gg.



Attēls 58: Sanešu plūsma un tās intensitāte gar krastam paralēlu līniju Latvijas piekrastes Rīgas jūras līča daļai. 2005-2018.gg.

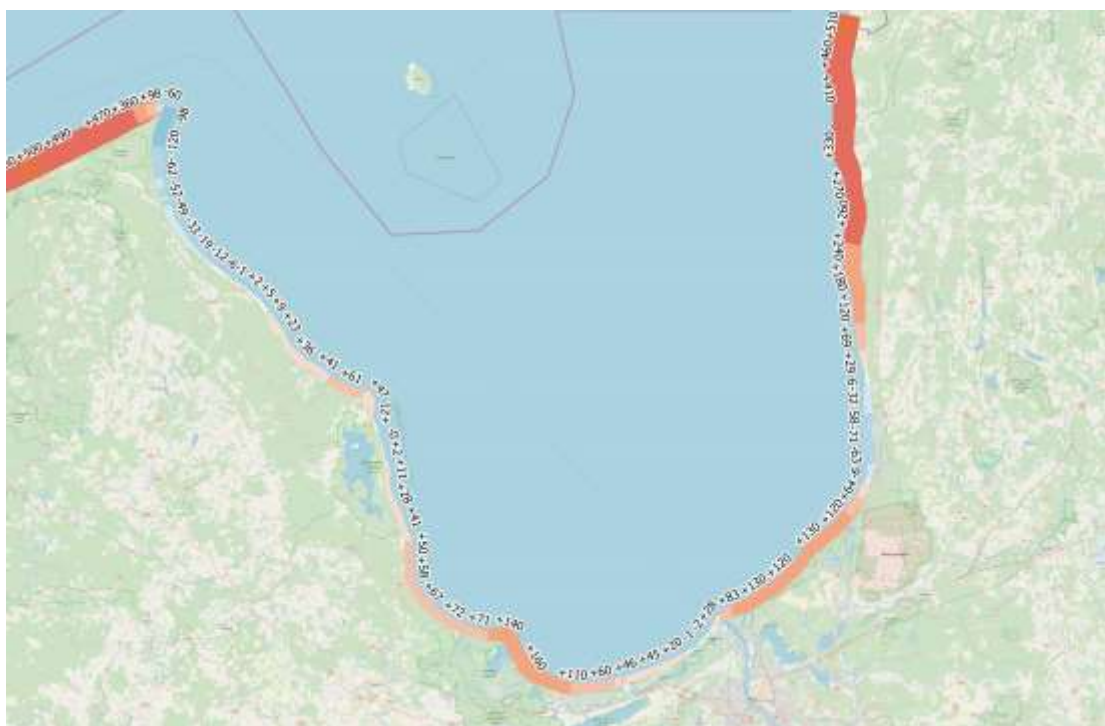


Attēls 59: Garkrasta sanešu plūsma visai Latvijas piekrastei. 2005-2018.gg.

Sanešu plūsma ir vērsta gar krasta līniju virzienā no LT uz EE, izņemot nelielus posmus pie Bernātiem, starp Kolku un Roju un pie Skultes. Gan sanešu plūsma, gan intensitāte izteikti mainās uz nozīmīgām krasta līnijas orientācijas maiņām:

- Nozīmīgs sanešu plūsmas samazinājums uz D pirms Liepājas ostas un maksimums uz Z aiz tās.
- Nozīmīgi plūsmas maksimumi uz Akmeņraga, Užavas raga un pirms Ovīšraga.

- Sanešu plūsmas pārrāvums Kolkasragā.



Attēls 60: Garkrasta sanešu plūsma Rīgas jūras līcim. 2005-2018.gg.



Attēls 61: Garkrasta sanešu plūsmas intensitāte visai Latvijas piekrastei. 2005-2018.gg.

Sanešu plūsma pieaug virzienā uz Z no LT robežas, sasniedzot miljonu kubikmetru gadā pirms Liepājas; tālāk uz Z līdz Ovīšragam tā variē 1-2 miljonu m<sup>3</sup>/gadā, samazinoties līdz 500000 m<sup>3</sup>/g Irbes šaurumā. Ikgadējā sanešu plūsma garkrasta

straumē (līdz aptuveni 6 m izobātai) ir aptuveni tikai 3 reizes mazāka kā kopējā dziļūdens sanešu plūsma caur 50-100 km gariem profiliem (sadaļā 6.1). Arī garkrasta sanešu plūsmas bilance (indikators S1) ir negatīva Latvijas Baltijas jūras piekrastei – caur LT/LV robežpunktam perpendikulāru profilu mūsu piekrastē ik gadus nonāk mazāk smilšu, nekā pie Ovīšraga tiek ienesti dziļjūrā. Šis ikgadējais krasta zonas sanešu deficīts posmam “LV/LT robeža – Ovīšrags” ir aptuveni 1 miljons kubikmetru smilšu.



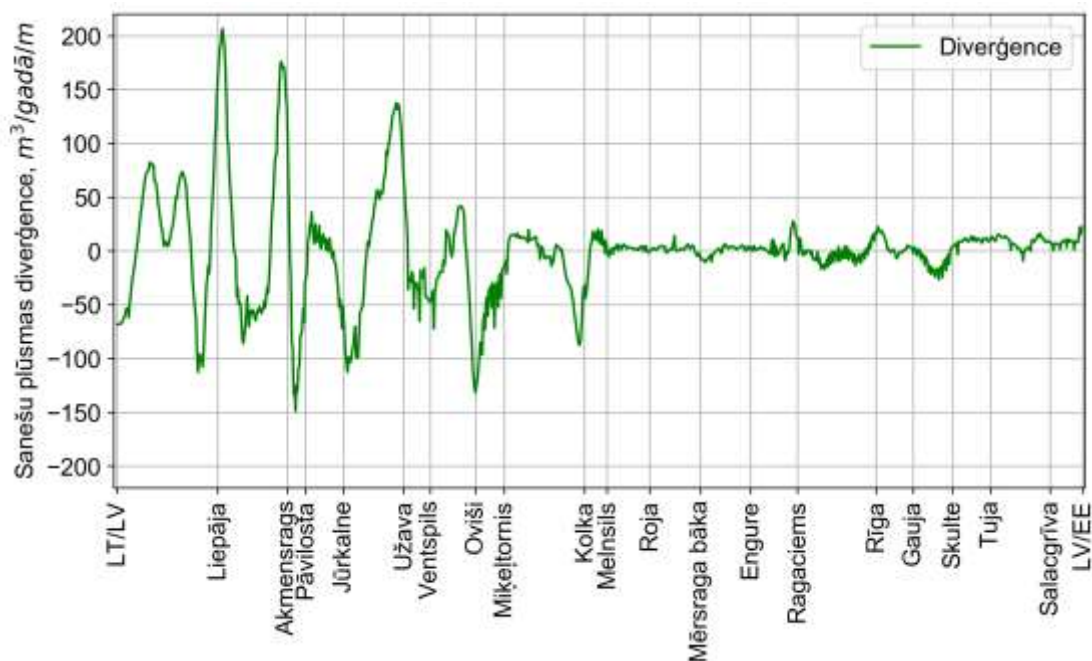
Attēls 62: Garkrasta sanešu plūsmas intensitāte Rīgas jūras līcim. 2005-2018.gg.

Sanešu pārvietošanās intensitāte (indikators S2), kas Baltijas jūras piekrastē variē ap 2,5 milj  $m^3$ /gadā, Irbes šaurumā samazinās līdz 500000  $m^3$ /gadā. Rīgas jūras līča piekrastē no Kolkas līdz Gaujas ietekai sanešu pārvietošanās intensitāte variē 200000  $m^3$ /gadā līmenī. Tā atkal pieaug Z virzienā gar Vidzemes jūrmalu līdz 750000  $m^3$ /gadā līmenim.

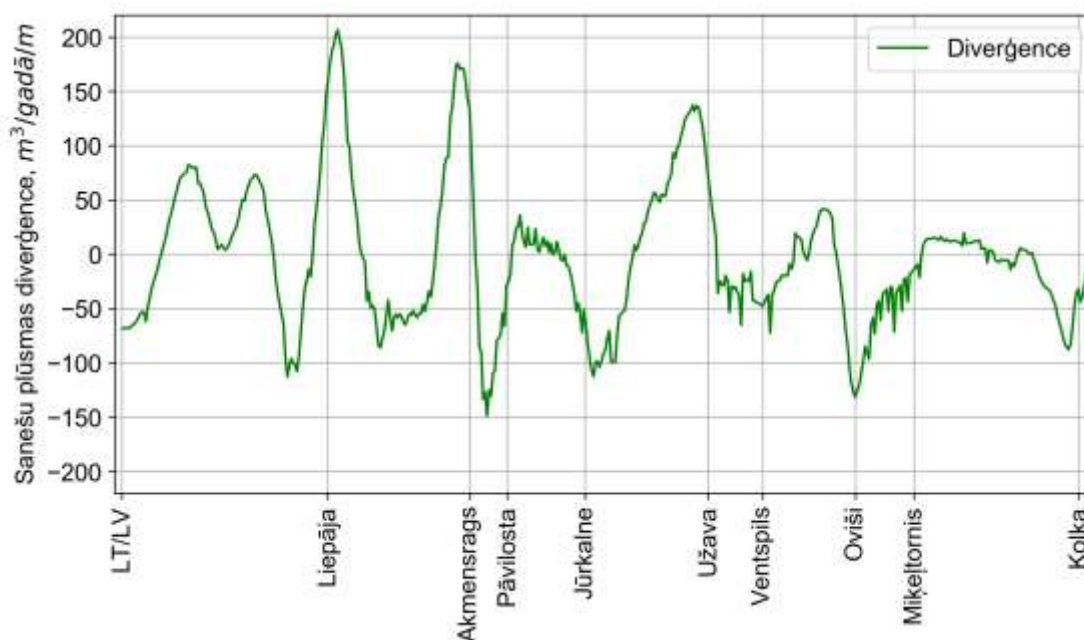
Attiecība starp sanešu pārvietošanās intensitāti un sanešu plūsmu ir ap 3 pie LV/LT robežas un tā kopuma samazinās virzienā uz ziemeļiem līdz 1.5 pirms Ovīšraga. Posmā no Ovīšraga līdz Kolkasragam dominē viena virziena sanešu pārnese garkrasta straumē. Rīgas jūras līcī nav tik izteikta viena virziena sanešu plūsma, izņemot posmu uz Z no Tūjas, kur dominē Z virzienā vērsta sanešu pārnese.

### 6.2.2. Sanešu plūsmas bilance

Garkrasta sanešu apjoma izmaiņas to pārvietošanās zonā, jeb sanešu bilanci (indikators S1) nosaka sanešu plūsmas diverģence – starpība starp sanešu plūsmu gar krastam paralēlo līniju. Tā tieši var ietekmēt arī dziļuma izmaiņas trendu (indikators S3) un krasta līnijas pārvietošanos (indikators S4, vairak skatīt sadaļu 6.2.3). Pozitīva diverģence norāda uz sanešu deficītu (kas tālāk var novest pie dziļumu palielināšanās un krasta erozijas), bet negatīva – uz sanešu proficītu – materiāla akumulāciju (kas tālāk var novest pie dziļuma samazināšanās un krasta pieauguma).



Attēls 63: Sanešu plūsmas diverģence gar krastam paralēlu līniju visai Latvijas piekrastei. 2005-2018.gg.

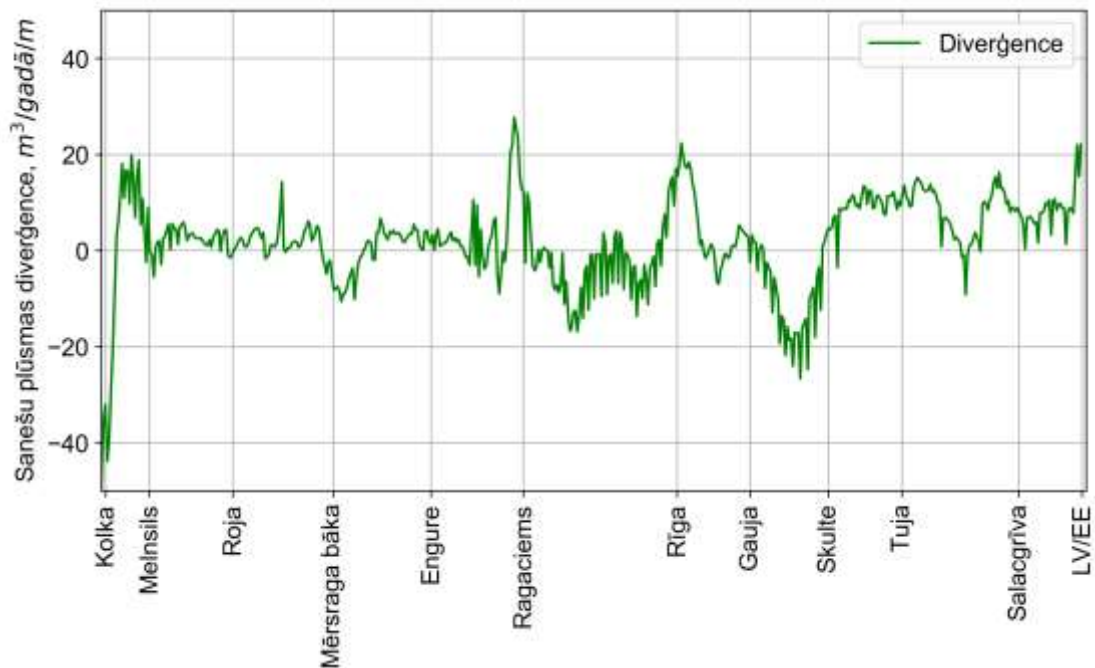


Attēls 64: Sanešu plūsmas diverģence gar krastam paralēlu līniju Baltijas jūras piekrastei. 2005-2018.gg.

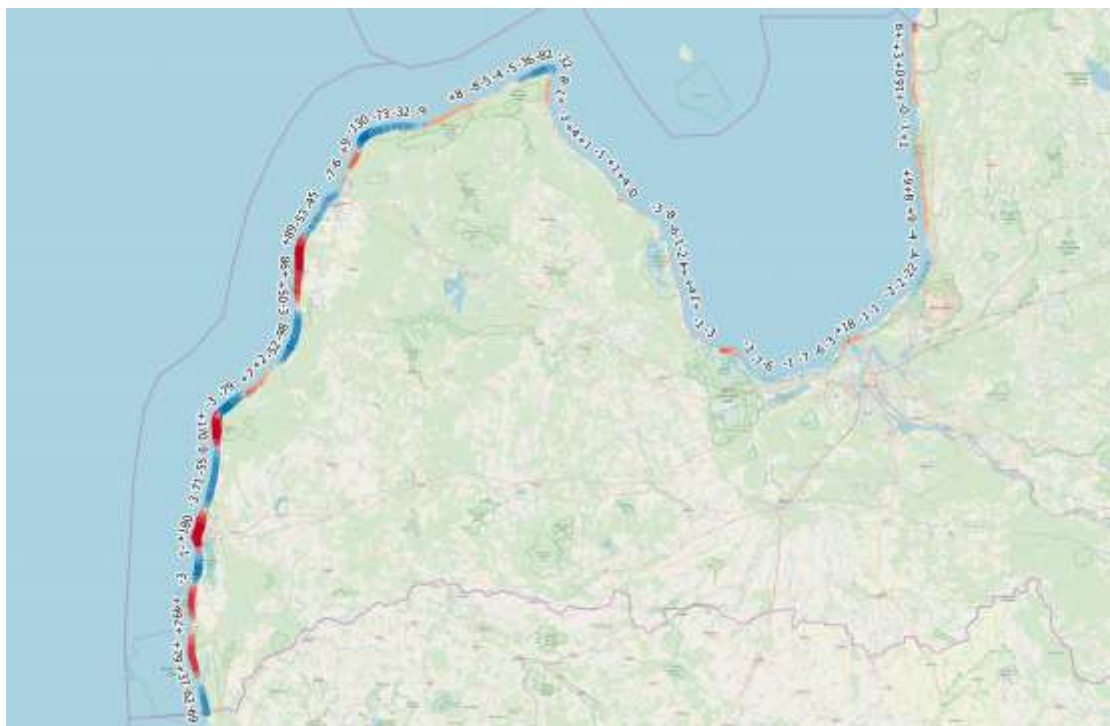
Sanešu plūsmas diverģence gar Latvijas krasta līniju uz krastam paralēlas līnijas attēlota attēlā 63 visai Latvijas piekrastei, bet attēlos 64-65, attiecīgi, Baltijas jūras un Rīgas jūras līča piekrastei. Sanešu deficīts (sārtā krāsā) un proficīts (zilā krāsā) vizualizēti uz kartes attēlos 66 (visai Latvijas piekrastei) un 67 (Rīgas jūras līcim).

Garkrasta sanešu plūsmas diverģences mainība Baltijas jūras piekrastē ir aptuveni desmitkārt lielāka (variē no -150 līdz 200 kubikmetriem uz piekrastes metru gadā) nekā

Rīgas jūras līča piekrastē (variē no -20 līdz +20 kubikmetriem uz piekrastes metru gadā).



Attēls 65: Sanešu plūsmas diverģence gar krastam paralēlu līniju Rīgas jūras līča piekrastei. 2005-2018.gg.



Attēls 66: Sanešu deficīts (sarkans) un proficīts (zils) gar Latvijas piekrasti. 2005-2018.gg.

Nozīmīgākās garkrasta sanešu pārpalikuma zonas Baltijas jūras piekrastē ir krasta posmi uz D no Liepājas ostas, starp Akmeņragu un Pāvilstu, uz ziemeļiem no



Jūrkalnes, starp Užavu un Ventspili, Ovīšragā un pirms Kolkas raga. Rīgas jūras līcī tādas ir posmā starp Ragaciemu un Jūrmalu, kā arī Saulkrastos.

Savukārt nozīmīgās garkrasta sanešu deficīta zonas Baltijas jūras piekrastē ir uz Z no Liepājas ostas, uz Dienvidiem no Akmeņraga, Užavas un Ovišiem. Rīgas jūras līcī sanešu deficīts ir uz dienvidiem no Kolkasraga, uz rietumiem no Ragaciema, Daugavas grīvas rajonā un uz ziemeļiem no Skultes.



Attēls 67: Sanešu deficīts (sarkans) un proficīts (zils) gar Latvijas piekrasti. 2005-2018.gg.

### 6.2.3. Krasta līnijas pārvietošanās

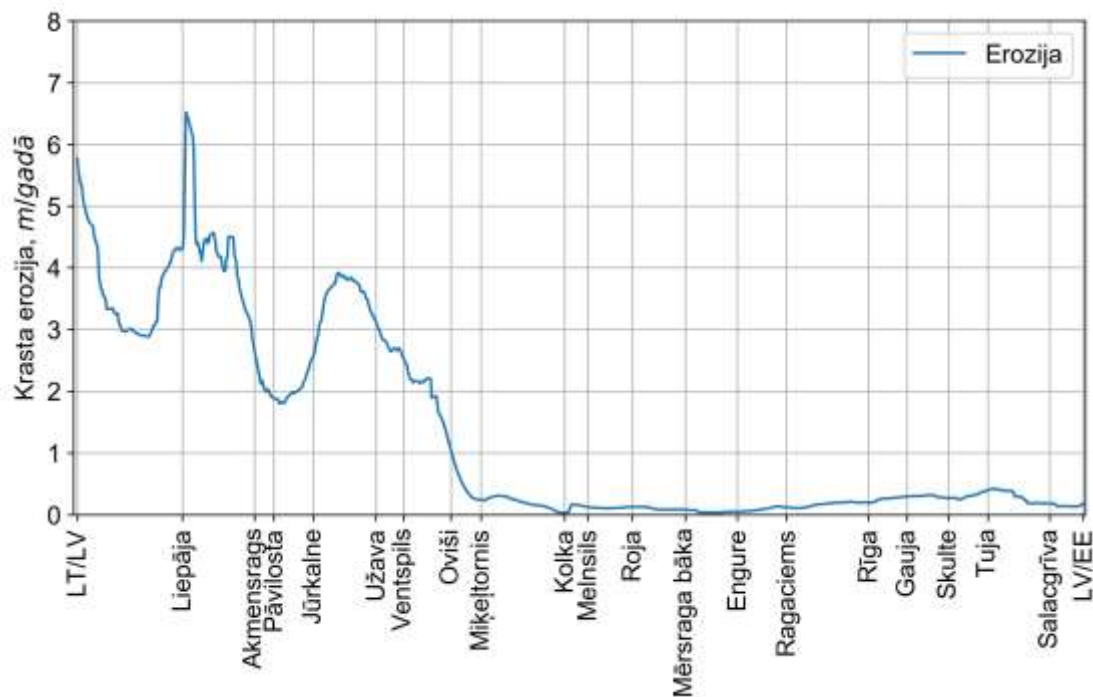
Tālējūras sanešu bilance izraisa jūras gultnes dziļuma izmaiņas (līdz izskalošanas iespējamības robežai) un materiāla pārneši no/uz garkrasta sanešu pārvietošanās zonu. Garkrasta sanešu bilance, savukārt, nosaka dziļumu izmaiņas un krasta līnijas pārvietošanos (indikatora S4).

Krasta erozijas fizikālais mehānisms ir viļņu iedarbība uz krasta materiālu paaugstināta ūdenslīmeņa apstākļos. Līdz ar to krasta līnijas pārvietošanās nav viennozīmīgi nosakāma no sanešu pārvietošanās raksturlielumiem, tomēr ilgākos laika periodos saistība ir 2 faktorus: (a) negatīva sanešu bilance (sanešu iztrūkums zemūdens nogāzē) palielina zemūdens nogāzes slīpumu un sekmē viļņu iedarbību uz krasta materiālu; (b) no krasta noskalotais materiāls papildina transportējamo sanešu apjomu.

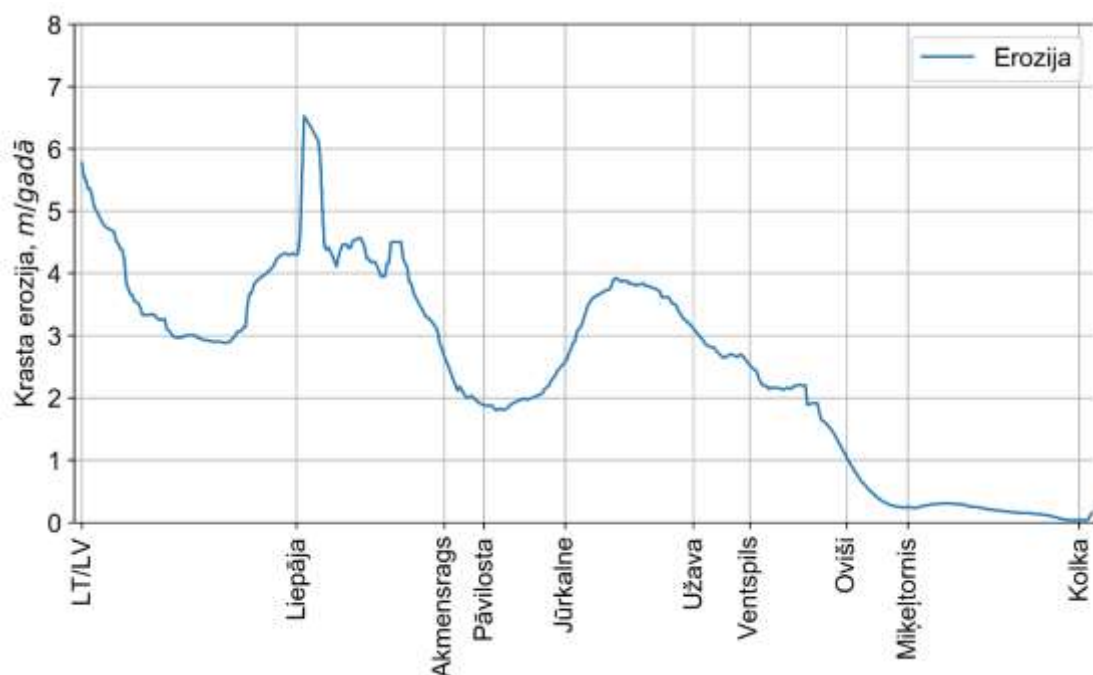
Aplūkosim divas krasta līnijas pārvietošanās noteikšanas metodes:

1. Sadaļā 5.2.4 aprakstīto Kamphuis (1987) modeli kuru pielietosim laika periodam 2005-2018.gg. Krasta erozija metros gadā gar Latvijas krasta līniju uz krastam paralēlas līnijas attēlota attēlā 68 visai Latvijas piekrastei, bet attēlos

69-70, attiecīgi, Baltijas jūras un Rīgas jūras līča piekrastei. Atzīmēsim, ka šis modelis apraksta tikai viļņu izraisīto krasta materiāla noskalošanu.



Attēls 68: Krasta erozija gar krastam paralēlu līniju visai Latvijas piekrastei. 2005-2018.gg. Kamphuis (1987) modelis.

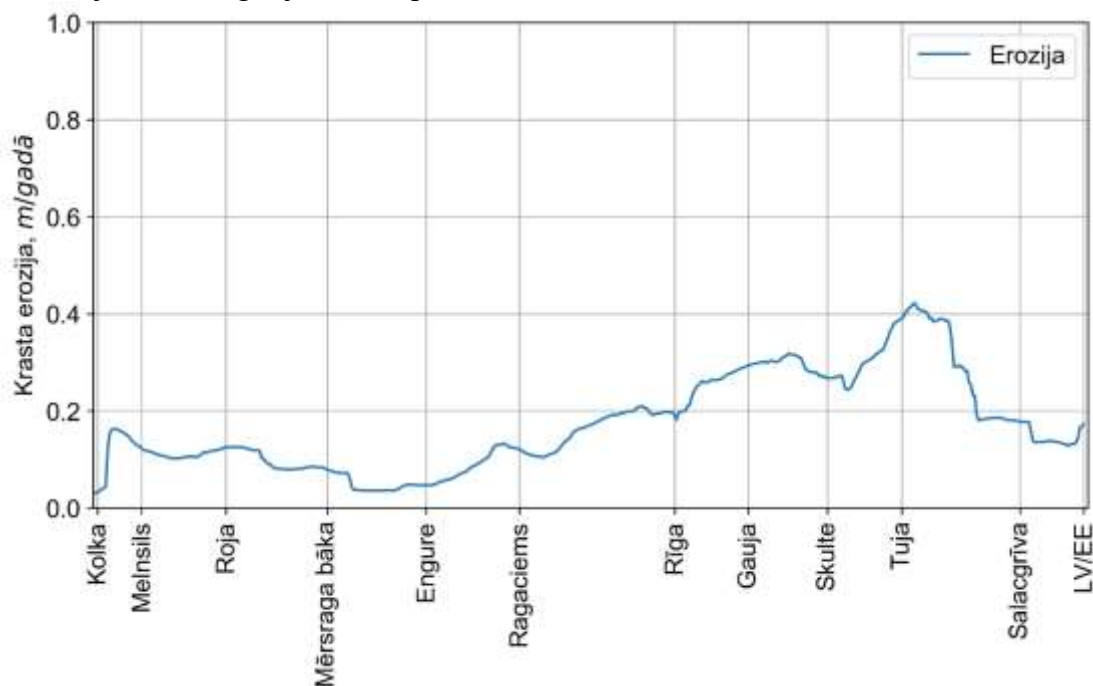


Attēls 69: Krasta erozija gar krastam paralēlu līniju Baltijas jūras piekrastei. 2005-2018.gg. Kamphuis (1987) modelis.

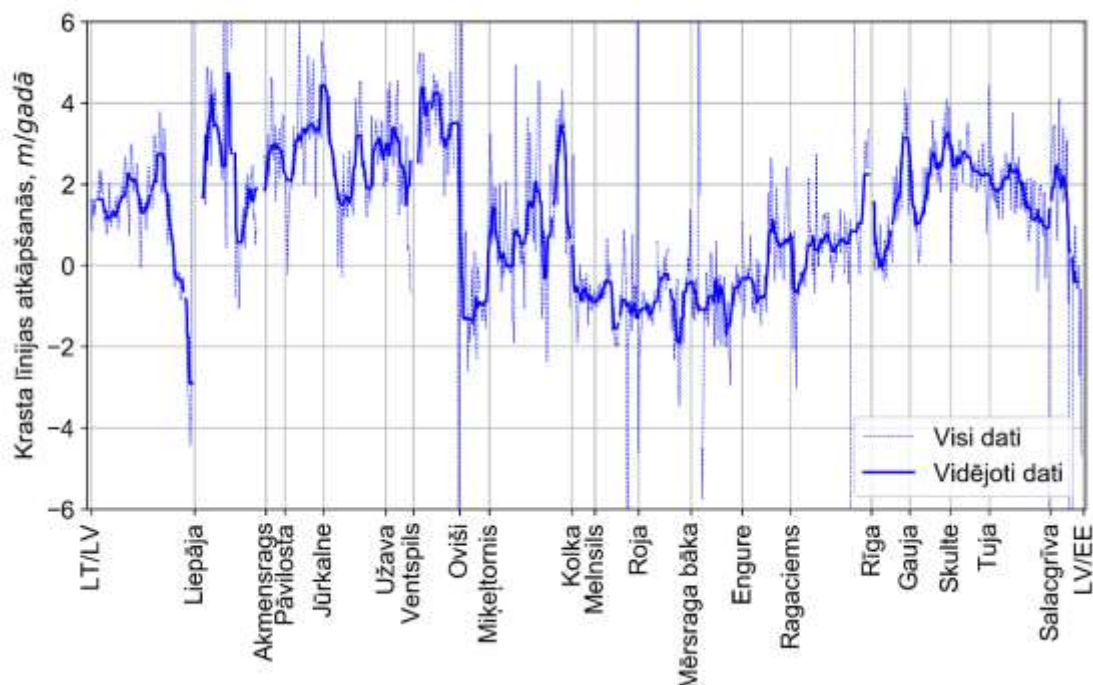
2. EMODNET krasta pārvietošanās satelītproduktu<sup>11</sup>, kurš nosaka krasta līnijas pārvietošanos (metros gadā) no secīgiem satelītattēliem, vairāk informācijas

<sup>11</sup> [https://www.emodnet-geology.eu/map-viewer/?p=coastal\\_behavior](https://www.emodnet-geology.eu/map-viewer/?p=coastal_behavior)

šeit<sup>12</sup>. Krasta līnijas pārvietošanās (pozitīva – erozija, negatīva – krasta pieaugums) metros gadā gar Latvijas krasta līniju uz krastam paralēlas līniju attēlota attēlā 71 visai Latvijas piekrastei, bet attēlos 72-73, attiecīgi, Baltijas jūras un Rīgas jūras līča piekrastei.

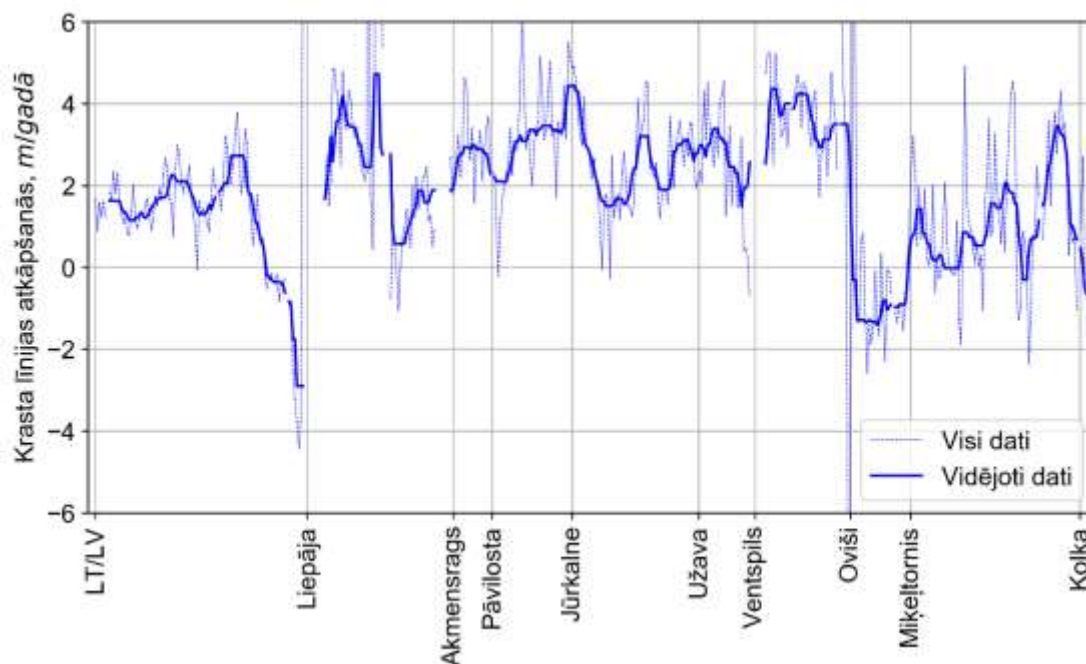


Attēls 70: Krasta erozija gar krastam paralēlu līniju Rīgas jūras līča piekrastei. 2005-2018.gg. Kamphuis (1987) modelis.

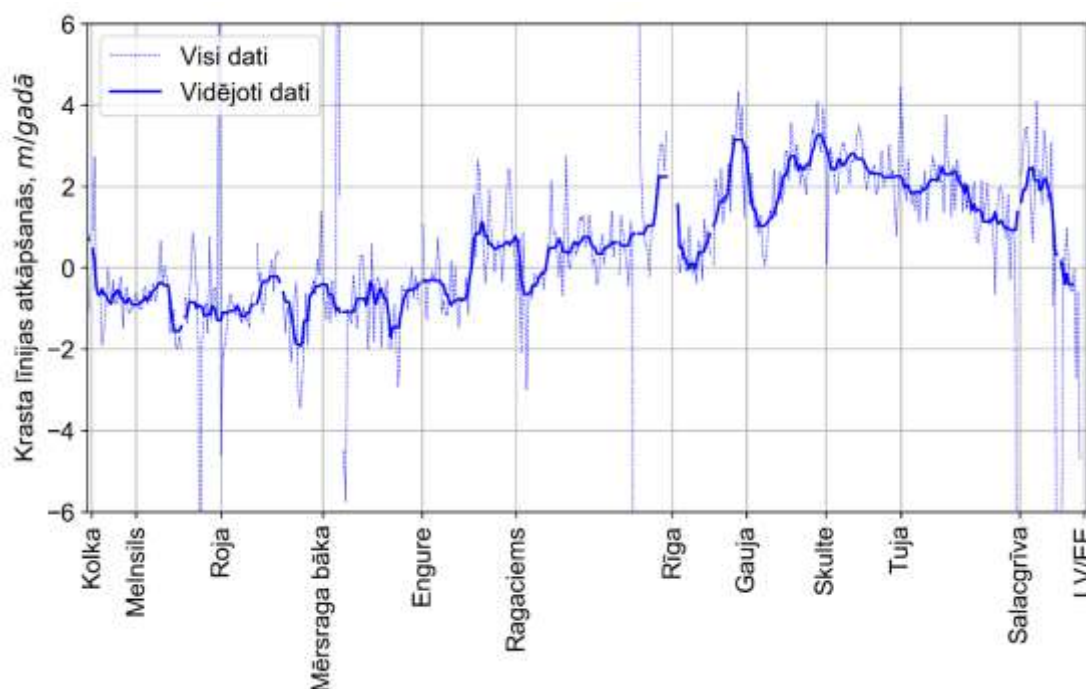


Attēls 71: Krasta līnijas pārvietošanās gar krastam paralēlu līniju visai Latvijas piekrastei. EMODNET modelis.

<sup>12</sup> <http://www.emodnet.eu/map-month-coastline-erosion>



Attēls 72: Krasta līnijas pārvietošanās gar krastam paralēlu līniju Baltijas jūras piekrastei. EMODNET modelis.



Attēls 73: Krasta līnijas pārvietošanās gar krastam paralēlu līniju Rīgas jūras līča piekrastei. EMODNET modelis.

Atbilstoši viļņu iedarbības uz krasta līniju modelim erozija Baltijas jūras piekrastē ir būtiski (divdesmitkārt) lielāki nekā Rīgas jūras līcī – 2-6 m/gadā pretstatā 5-40 cm/gadā. Krasta erozijas maksimumi pēc enerģētiskā viļņu modeļa ir pie LV/LT robežas, uz Z aiz Liepājās ostas (līdz 6 m gadā) un uz Z no Jūrkalnes (līdz 4 m gadā). Krasta erozijas minimums (2 m gadā) ir Akmeņraga aizsegā pie Pāvilostas. Krasta erozija samazinās uz Z no Sārnates. Rīgas jūras līcī nozīmīgāka ir erozija Vidzemes

piekrastē (20-40 cm gadā, kamēr maigāks viļņu klimats Kurzemes piekrastē nosaka 5-20 cm ikgadējo eroziju.

“Novērotā” EMODNET krasta līnijas pārvietošanās Baltijas jūras krastā ir samērojama ar modeļaprēķinu eroziju. Zona no LT/LV robežas līdz Bernātiem krasta erozija ir ap 2 m gadā; tālāk tā samazinās un pirms Liepājas ostas krasts pieaug līdz par 3 m gadā. Tālāk uz ziemeļiem līdz Ovīšiem krasta erozija svārstās 2-4 m/gadā robežās, ar maksimumiem virs 4 m/gadā uzreiz aiz Liepājas ostas, pie Jūrkalnes un uz ZR no Ventspils ostas. Krasts pieaug posmā no Ovīšiem līdz Miķeļtornim.

Atšķirībā no enerģētiskā viļņu modeļa, EMODNET krasta līnijas pārvietošanās Rīgas līcī ir tikai nedaudz mazāka nekā Baltijas jūrā. Pie tam no Kolkas līdz Apšuciemam dominē mērens krasta pieaugums (ap metru gadā), līdz Carnikavai krasta erozija ir ap metru gadā, bet tālāk uz ziemeļiem Vidzemes jūrmala – ap 2 m gadā.

Kopumā var teikt, ka krasta līnijas pārvietošanās nav tieši kvantitatīvi saistīta ar garkrasta sanešu plūsmas diverģenci, kas norāda, ka ir pamatoti to izdalīt kā atsevišķu indikatoru (S4).

#### **6.2.4. Integrālie krasta posmu raksturojumi**

Lielāku piekrastes posmu raksturojuma kopsavilkums, atbilstoši sanešu bilances modelim sniegts tabulā 2, kura apkopotī zīmīgie piekrastes posmi, katram norādot krasta līnijas atkāpšanos (pēc EMODNET produkta un krasta erozijas modeļa), sanešu plūsmas vidējā intensitāte posmā (indikatora S2), vidējā sanešu plūsma posmā (pozitīva plūsma virziena no LT uz EE robežu) posmā ienākošā un izejošā sanešu plūsma, posma bilance garkrasta sanešu plūsmai un posma bilance kopā ar papildus sanešu zudumiem (indikatora S1).

Aprēķinot ienākošo sanešu plūsmu izdarīti sekojoši papildus pieņēmumi: (1) posmos aiz Liepājas ostas, Kolkas raga un Mērsraga ienākošā sanešu plūsma ir 0; (2) posmos aiz nozīmīgiem krasta līnijas izmaiņu punktiem – Akmeņraga, Užavas raga, Ragaciema un Ķurmraga ienākošā sanešu plūsma ir par 25% mazāka kā sanešu plūsma pirms konkrētā raga.

Savukārt, kā papildus zudumi ievērtēti smilšu apjoms, kas ik gadus tiek izsmelts no Liepājas (533 tūkst. m<sup>3</sup>) un Ventspils (800 tūkst. m<sup>3</sup>) navigācijas kanāliem un deponēti dziļūdens zonās.

Pie šādiem apsvērumiem, var izdarīt sekojošus novērtējumus un secinājumus.

1. Aktīvās garkrasta sanešu zonas ikgadējā sanešu bilance – indikators S1 (ienākošā plūsma mīnus pārnese uz dziļūdens zonu mīnus padziļināšanas darbi mīnus izejošā plūsma) ir negatīva gan Baltijas jūras piekrastei (2.82 miljoni m<sup>3</sup>) gan Rīgas jūras līcim (0.71 miljons m<sup>3</sup>).
2. Sanešu deficīts tiek kompensēts no diviem avotiem – piekrastes zemūdens profila padziļināšanās (indikatora S3) un krasta līnijas pārvietošanās (indikatora S4). Piekrastes zemūdens daļas atkārtotu uzmērījumu trūkums neļauj novērtēt S3.

Tabula 2: Garkrasta sanešu bilances elementu kopsavilkums piekrastes posmiem.

Posms	EMODNET krasta atkāpšanās, m/gadā	Erozijas modelis, m/g	Vidējā sanešu plūsmas intensitāte, tūkst. m <sup>3</sup> /g	Vidējā sanešu plūsma, tūkst. m <sup>3</sup> /g	Ienākošie saneši, tūkst. m <sup>3</sup> /gadā	Izejošie saneši, tūkst. m <sup>3</sup> /gadā	Posma bilance, tūkst. m <sup>3</sup> /gadā
Lietuvas robeža – Liepāja	1.4	3.7	1944	507	397	533	-135
Liepāja – Akmeņrags	2.4	4.0	3044	1451	0	1891	-1891
Akmeņrags – Užava	2.7	2.9	2381	1102	1418	1732	-314
Užava - Ventspils	2.8	2.7	3107	1796	1299	1670	-371
Ventspils – Ovīši	3.7	1.9	2327	1397	870	1397	-527
Ovīši - Kolka (Irbes šaurums)	0.4	0.3	569	459	792	375	417
<b>Baltijas jūra kopā</b>	<b>2.2</b>	<b>2.6</b>					<b>-2821</b>
Kolka - Mērsrags	-0.9	0.1	232	-9	-127	61	-188
Mērsrags - Ragaciems	-0.4	0.1	202	45	5	97	-92
Ragaciems – Rīga	0.6	0.2	194	72	73	16	57
Rīga - Ķurmragi	2.0	0.3	450	61	54	144	-90
Ķurmragi - Igaunijas robeža	1.5	0.2	748	346	108	505	-397
<b>Rīgas jūras līcis kopā</b>	<b>0.5</b>	<b>0.2</b>					<b>-711</b>

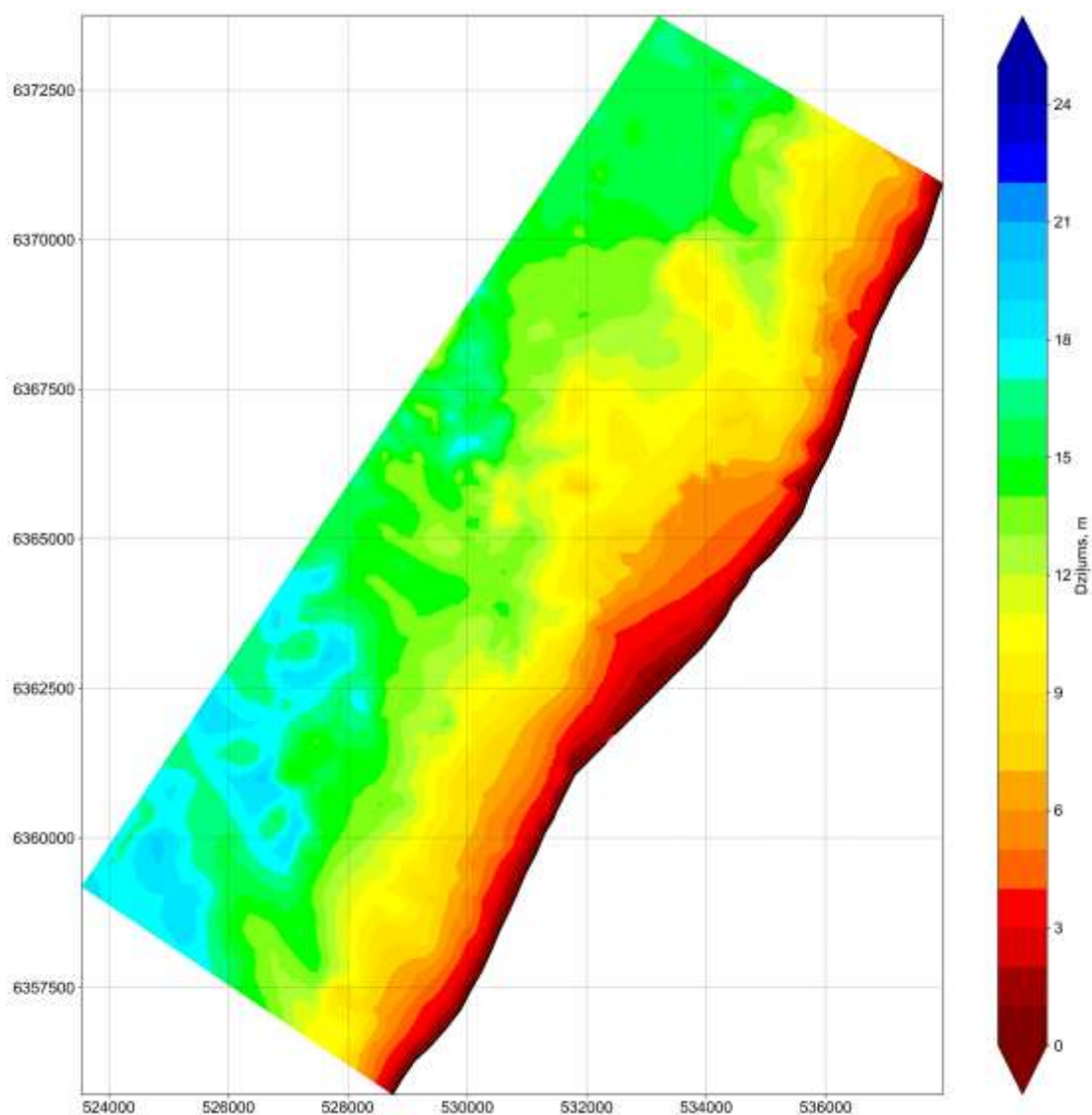
3. Aplūkosim, vai mūsu novērtējums par garkrasta sanešu plūsmas deficītu ir samērojams ar krasta eroziju.
  - a. Baltijas jūras un Irbes šauruma krasta līnijas kopgarums ir 247 km; ikgadējais sanešu deficīta novērtējums līdz ar to ir aptuveni 11.4 m<sup>3</sup> uz metru. Pie vidējās EMODNET krasta erozijas 2.2 m/gadā, tas nozīmē, ka noskalotā krasta augstums ir aptuveni 5.2 metri.
  - b. Rīgas jūras līča krasta līnijas kopgarums ir 267 km; ikgadējais sanešu deficīta novērtējums līdz ar to ir aptuveni 2,7 m<sup>3</sup> uz metru. Pie vidējās EMODNET krasta erozijas 0.5 m/gadā, tas nozīmē, ka noskalotā krasta augstums ir aptuveni 5.4 metri.

- c. Kopumā var teikt, ka vidējais noskalotā krasta augstums (novērtējums izdarīts no augšas, jo mēs neievērojam sanešu deficīta izraisīto jūras gultnes padziļināšanos) vērtējams kā ticams.
4. Atzīmēsim, ka garkrasta sanešu plūsmas deficīts Baltijas jūras piekrastē – ikgadējie 2.8 miljoni kubikmetru nonāk dziļūdens zonā. Šis rezultāts ir nepretrunīgs (pārsteidzoši labi sakrīt) ar sadaļā 6.1 novērtēto dziļūdens sanešu plūsmas deficītu 3 miljoni kubikmetru gadā.

### 6.3. Ostu apkārtnes modelis

#### 6.3.1. Ostu ietekmes novērtējums

Tieši hidrobūvju apkārtnu modelis dod iespēju noteikt raksturlieluma D7 kritērijus atbilstoši sadaļā 2.2 izstrādātajai metodikai. Lai to izdarītu, mēs veicām sekojošu sadaļā 5.3 izveidoto modeļu pielietojumu:

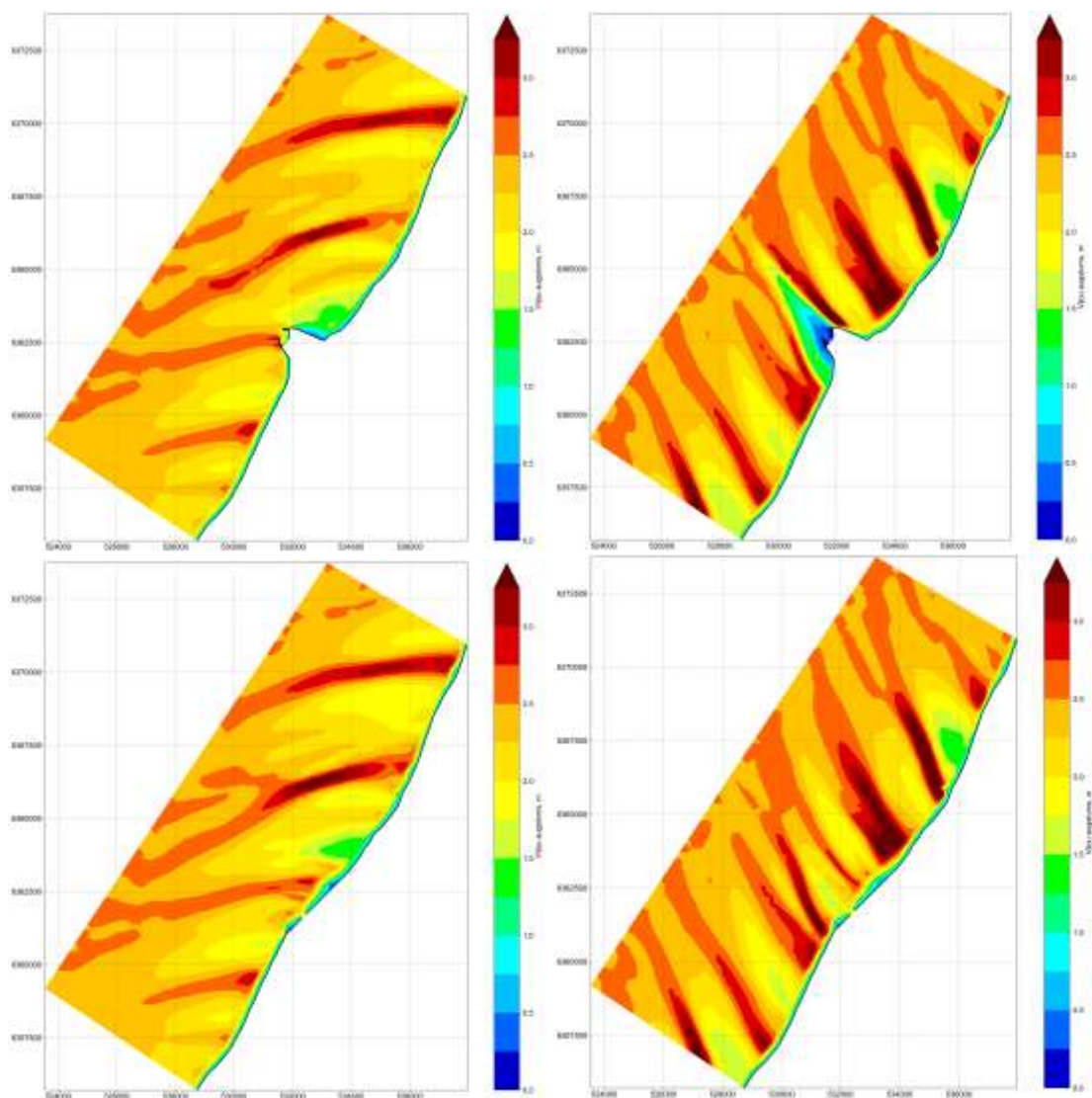


Attēls 74: Dziļumu sadalījums Ventspils ostas apkārtnē bez hidrobūvēm.

1. Katram no 5.3 modeļapgabaliem (Ventspils, Liepāja, Skulte, Mērsrags) modificējam patreizējo dziļumu sadalījumu, izveidojot situāciju “bez hidrobūvēm”. Tas ietvēra ostas hidrobūvju “demontāžu”, pseido dabīga dziļuma sadalījumu izveidi hidrobūvju ietvertajā apgabalā, navigācijas kanālu aizpildīšanu ar raksturīgo dabīgo dziļumu sadalījumu.
2. Stacionāro aprēķinu matricas piepildīšanu – stacionāru modeļaprēķinu veikšanu noteiktu viļņu augstuma/vēja ātruma/ūdenslīmeņu un viļņu/vēja virzienu notikumiem modeļkonfigurācijām bez ostām, līdzīgi kā sadaļā 5.3.1.



3. Laika perioda 2005-2018.gg. rekonstrukciju konfigurācijām bez ostām kā superpozīciju no šajā laikā esošajiem hidrometeoroloģiskajiem apstākļiem. Līdzīgi sadaļai 5.3, katrā modeļapgabala punktā tika aprēķināti
  - a. Vidējais nozīmīgo viļņu augstums;
  - b. Vidējais straumes ātruma vektors;
  - c. Sanešu pārvietošanās intensitāte ( $\text{m}^3/\text{gadā}/\text{m}$ );
  - d. Sanešu plūsma ( $\text{m}^3/\text{gadā}/\text{m}$ ).



Attēls 75: Nozīmīgo viļņu augstums Ventspils ostas apkārtnē RDR un ZZR vētrām ar tālējūras viļņu augstumu 2.5 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

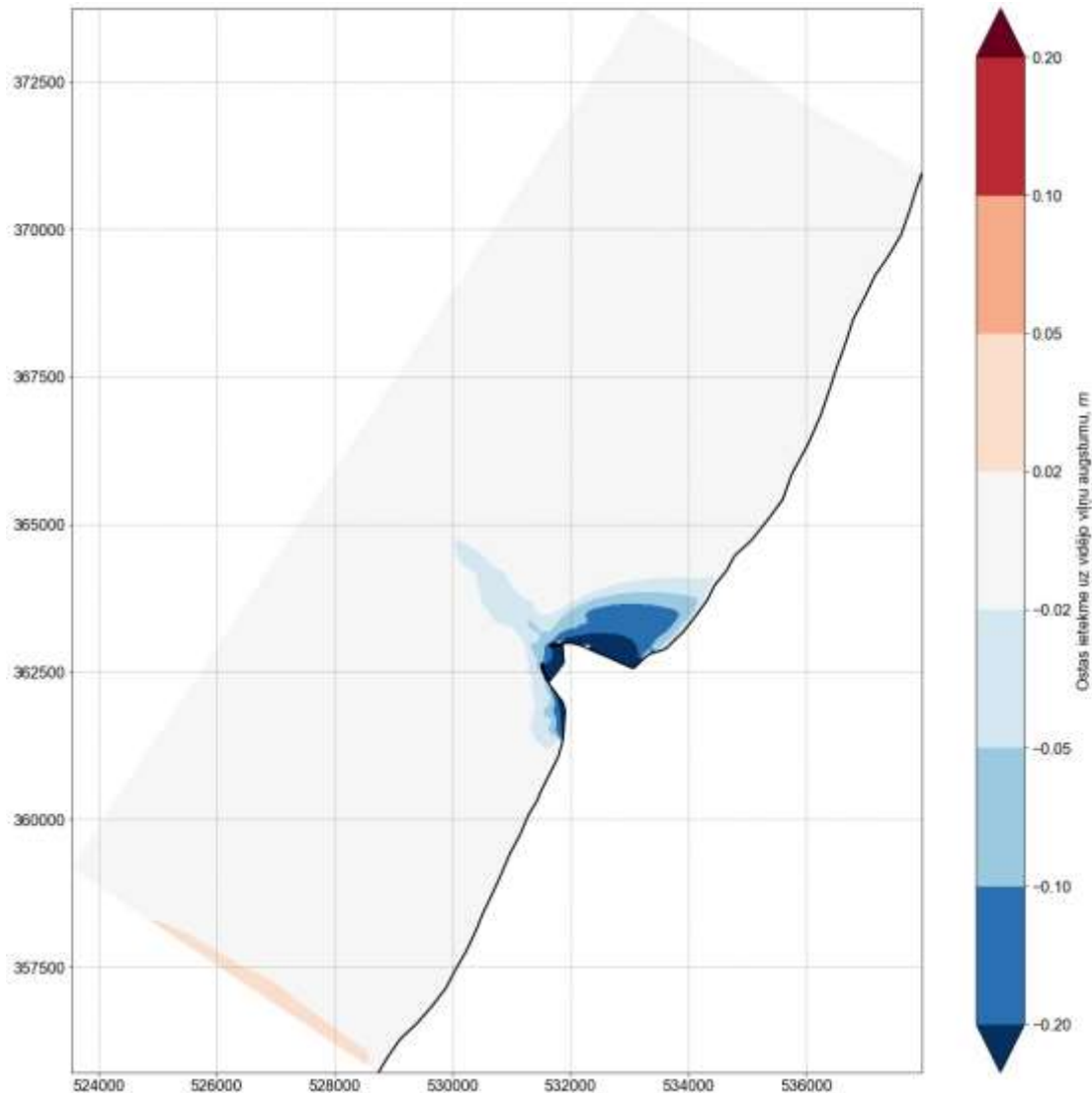
4. Katrā no modeļapgabala punktiem ir iespējams tieši aprēķināt raksturlieluma D7 kritērija D7C1 indikatorus 1-2:
  - a. Indikatoru 1 kā starpību starp viļņu augstumu situācijā ar ostām un bez ostām, sk. sadaļas 6.3.2-6.3.5.
  - b. Indikatoru 2 kā starpību starp straumju ātrumu situācijā ar ostām un bez ostām sk. sadaļas 6.3.2-6.3.5.
  - c. Indikatoru 3 kā starpību starp sanešu plūsmu sadalījumu situācijā ar ostām un bez ostām sk. sadaļas 6.3.2-6.3.5.

- d. Indikatorus 4-6, veidojot superpozīciju starp indikatoriem 1-3 un biotopu izplatību, sk sadaļu 6.3.6.

Šī ziņojuma turpmākajās sadaļās aplūkosim secīgi Ventspils, Liepājas, Skultes un Mērsraga ostu apkārtnes.

### 6.3.2. Ventspils osta

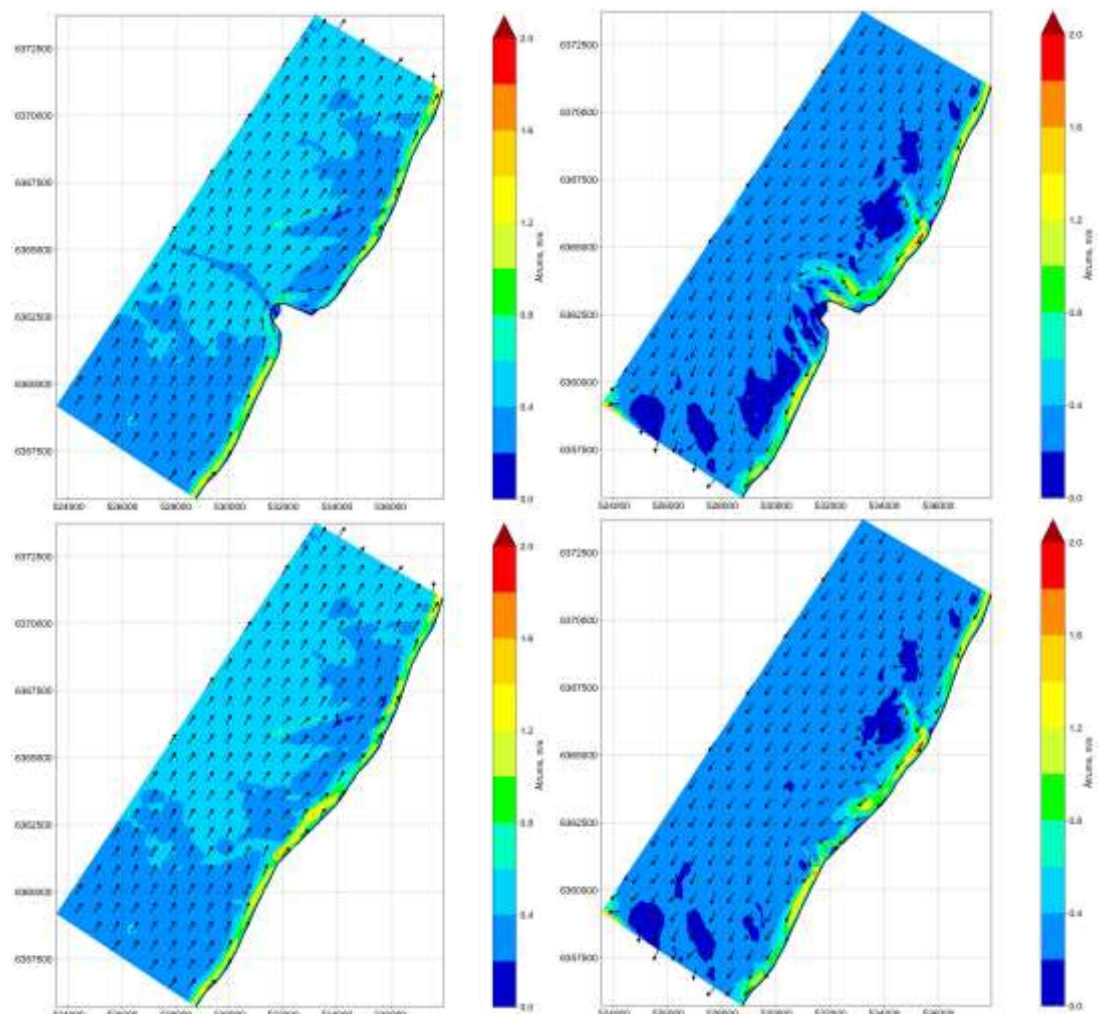
Ventspils ostas apkārtnes modeļapgabalā bez ostas hidrobūvēm un dziļumu sadalījumu tajā sk. attēlā 74.



Attēls 76. Viļņu lauka augstuma izmaiņas Ventspils ostas hidrobūvju dēļ.

Attēlā 75 parādīts nozīmīgo viļņu augstums Ventspils ostas apkārtnē RDR un ZZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m ar un bez hidrobūvēm. Viļņu laukam raksturīgs nevienmērīgums, ko izraisa viļņu fokusēšanās uz sēkliem. Tāpat saskatāma viļņu defokusēšanās uz ostas navigācijas kanāla, kā arī viļņu lauka ēnas zonas hidrobūvju aizsegā. Atšķirībā no situācijas ar hidrobūvēm, modeļaprēķinos bez hidrobūvēm nav viļņu defokusēšanās uz ostas navigācijas kanāla, kā arī viļņu lauka ēnas zonas

hidrobūvju aizsegā; viļņu maksimumi, atkarībā no navigācijas kanāla esamības, nonāk lūšanas zonā dažādās vietās.



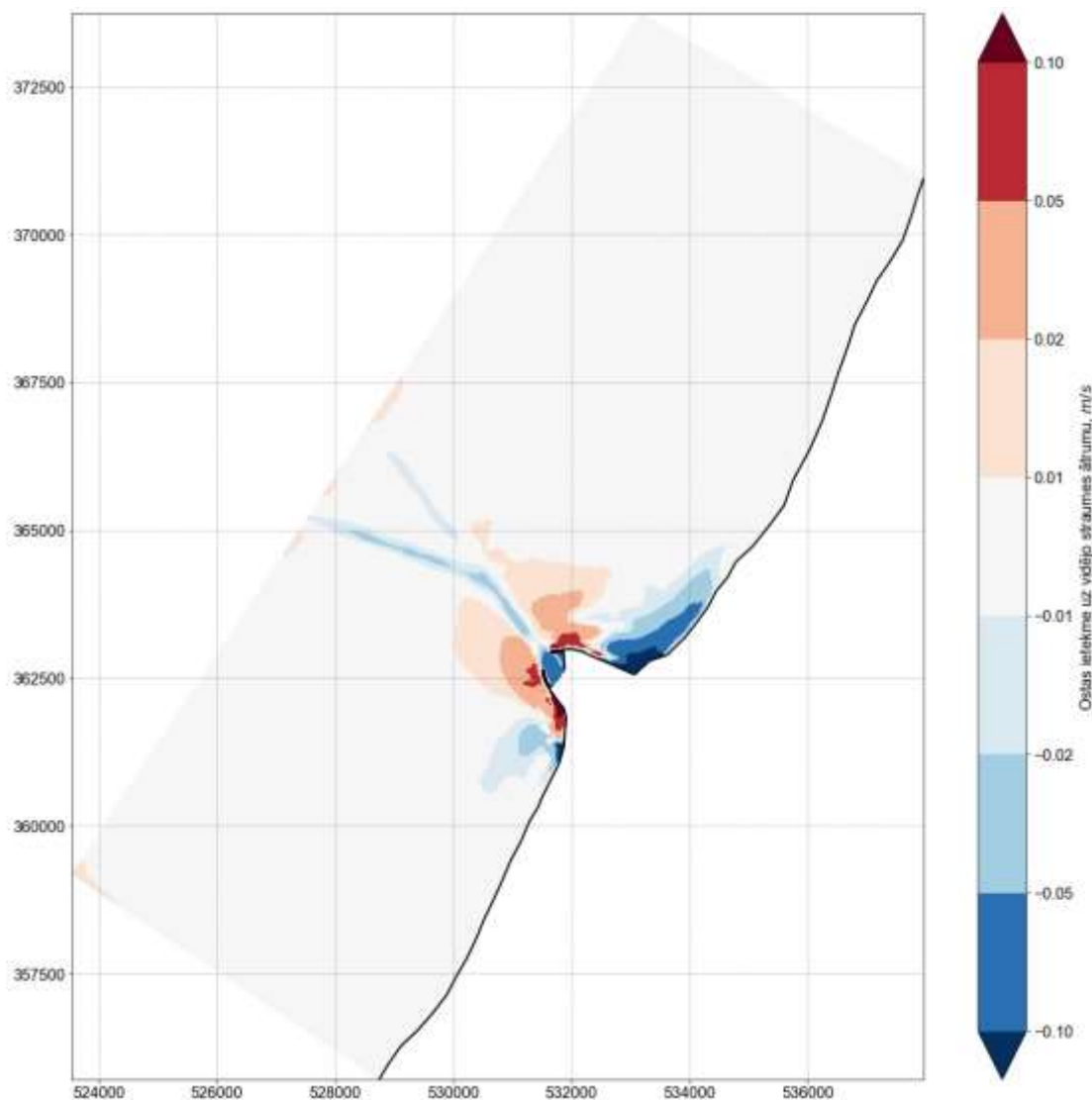
Attēls 77: Straumju sadalījums Ventspils ostas apkārtnē RDR un ZZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Starpība starp laikā vidēdotām viļņu augstuma vērtībām pie Ventspils ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 76. **Šī nozīmīgā viļņu augstuma starpība ir kritērija D7C1 pirmā indikatora telpiskais sadalījums.** Hidrobūvju izveides dēļ viļņu augstums tikai samazinās:

1. Veidojas ēnas zonas abpus ostai; lielāka ēnas zona ir uz Z no ostas, jo valdošais viļņu virziens ir no DR/R sektoriem.
2. Nedaudz samazinās viļņu augstums navigācijas kanālā, jo tā esamība defokusē viļņu lauku.

Attēlā 77 parādīts straumju sadalījums Ventspils ostas apkārtnē RDR un ZZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m. Modeļapgabalā raksturīga krastam paralēla tāljūras straume ar ātrumu, kas nepārsniedz 50 cm/s. Savukārt garkrasta straume viļņu lūšanas zonā šādās vētrās var sasniegt 1.5 m/s. Pirms hidrobūvēm straume palēninās un noliecas jūras virzienā, bet aizvēja puse atjaunojas, izejot no viļņu ēnas zonas. Iespējamās viļņu radiācijas spriegumu izraisītas plūsmas ap viļņu enerģijas gradientiem, tai skaitā

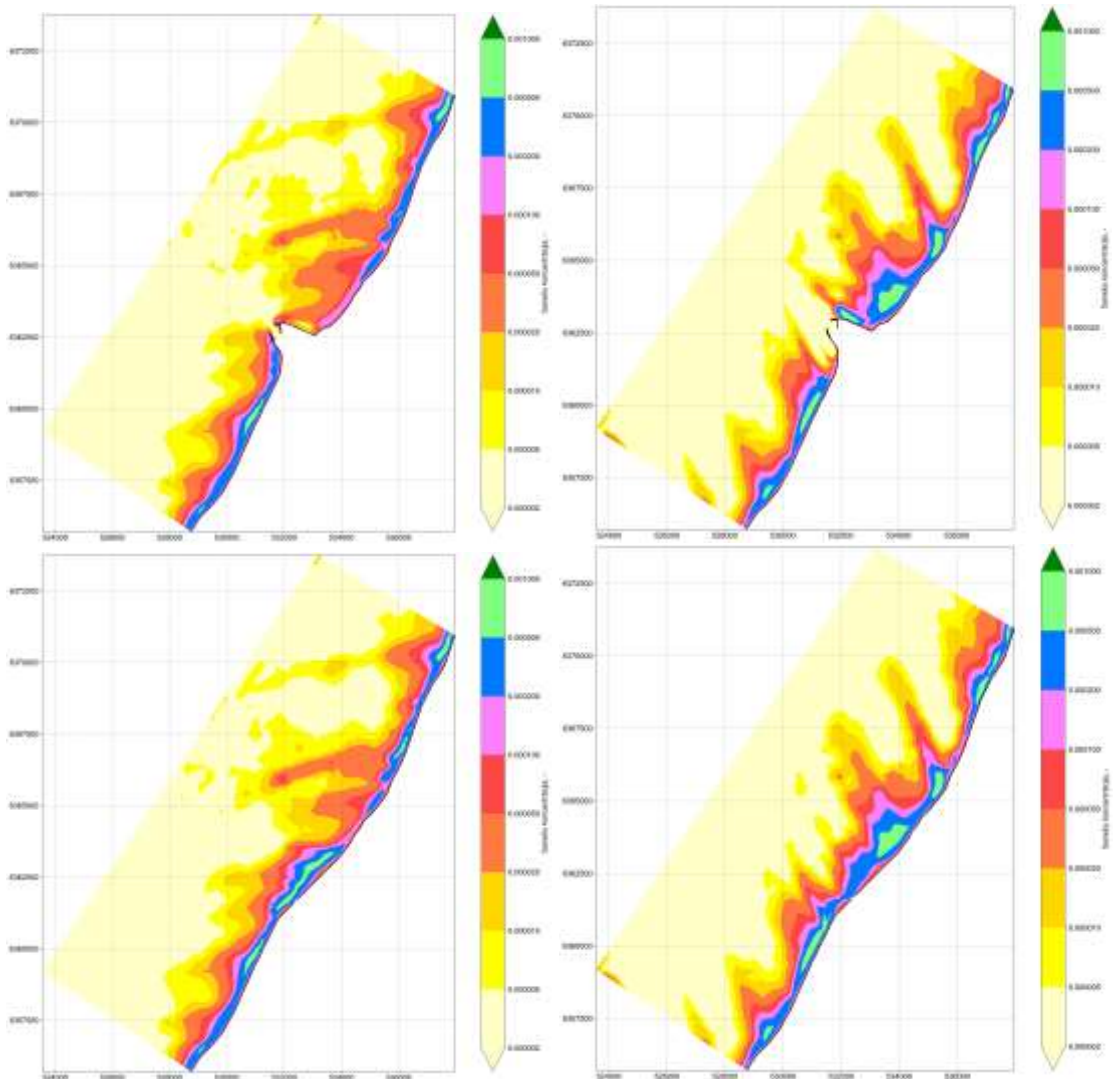
hidrobūvju tuvumā. Situācijā bez hidrobūvēm nav efektu, kas saistās ar to aptecēšanu, kā arī straumes palēninājuma šķērsojot padziļināto navigācijas kanālu.



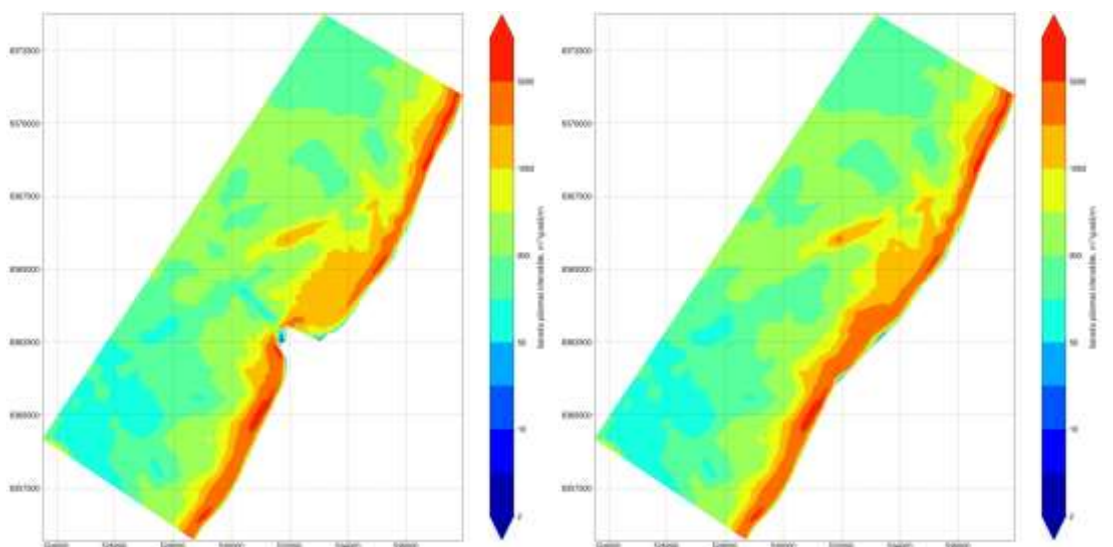
Attēls 78. Vidējā straumes ātruma izmaiņas Ventspils ostas hidrobūvju dēļ.

Starpība starp laikā vidēdotām straumes ātruma vērtībām pie Ventspils ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 78. **Šī straumes ātruma starpība ir kritērija D7C1 otrā indikatora telpiskais sadalījums.** Kopumā apgabals, kurā mainās vidējie straumes ātrumi ir lielāks nekā apgabals, kurā mainās viļņu augstums.

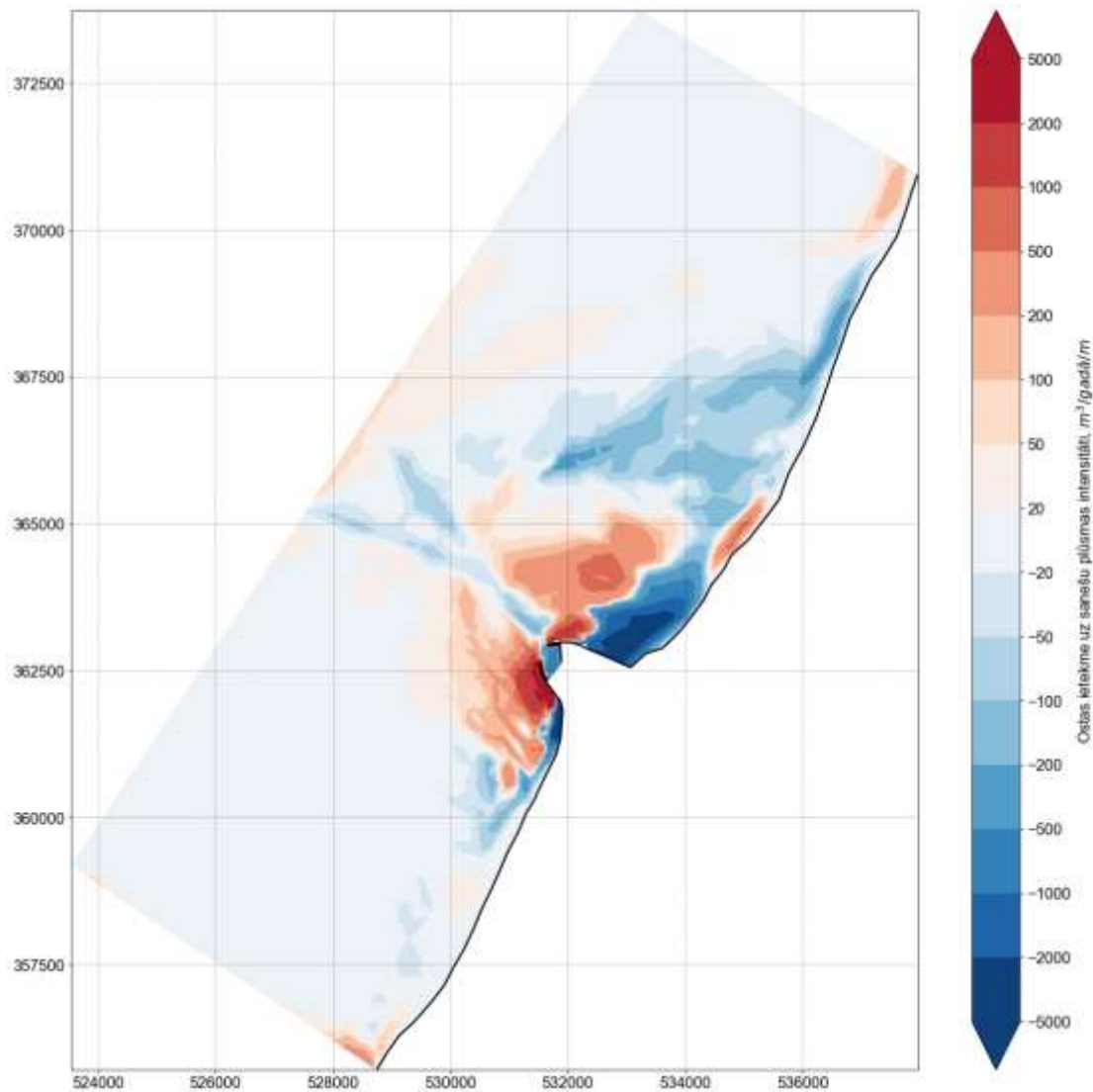
1. Hidrobūvju izveides dēļ straumes ātrums samazinās:
  - a. Piekrastes zonās, kur viļņu aizēnojuma un hidrobūvju esamības dēļ neveidojas garkrasta straume, vai arī tā noliecas gar hidrobūvēm.
  - b. Navigācijas kanāla šķērsojumā.
2. Straumes ātrums palielinās:
  - a. Zonā gar hidrobūvēm, kur viļņi, lūstot pret būvēm rada tām paralēlas straumes.
  - b. Zonā, kur garkrasta straume atvirzās jūras virzienā, lai apliektu hidrobūves.



Attēls 79: Suspēdēto sanešu koncentrācijas sadalījums Ventspils ostas apkārtnē RDR un ZZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.



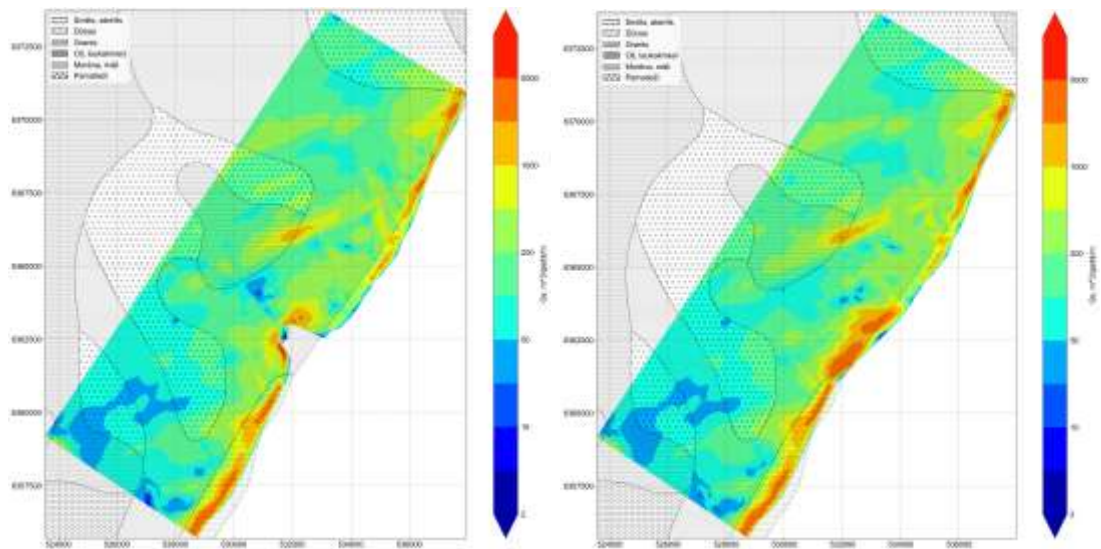
Attēls 80: Sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījums Ventspils ostas apkārtnē 2005-2018.gg. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.



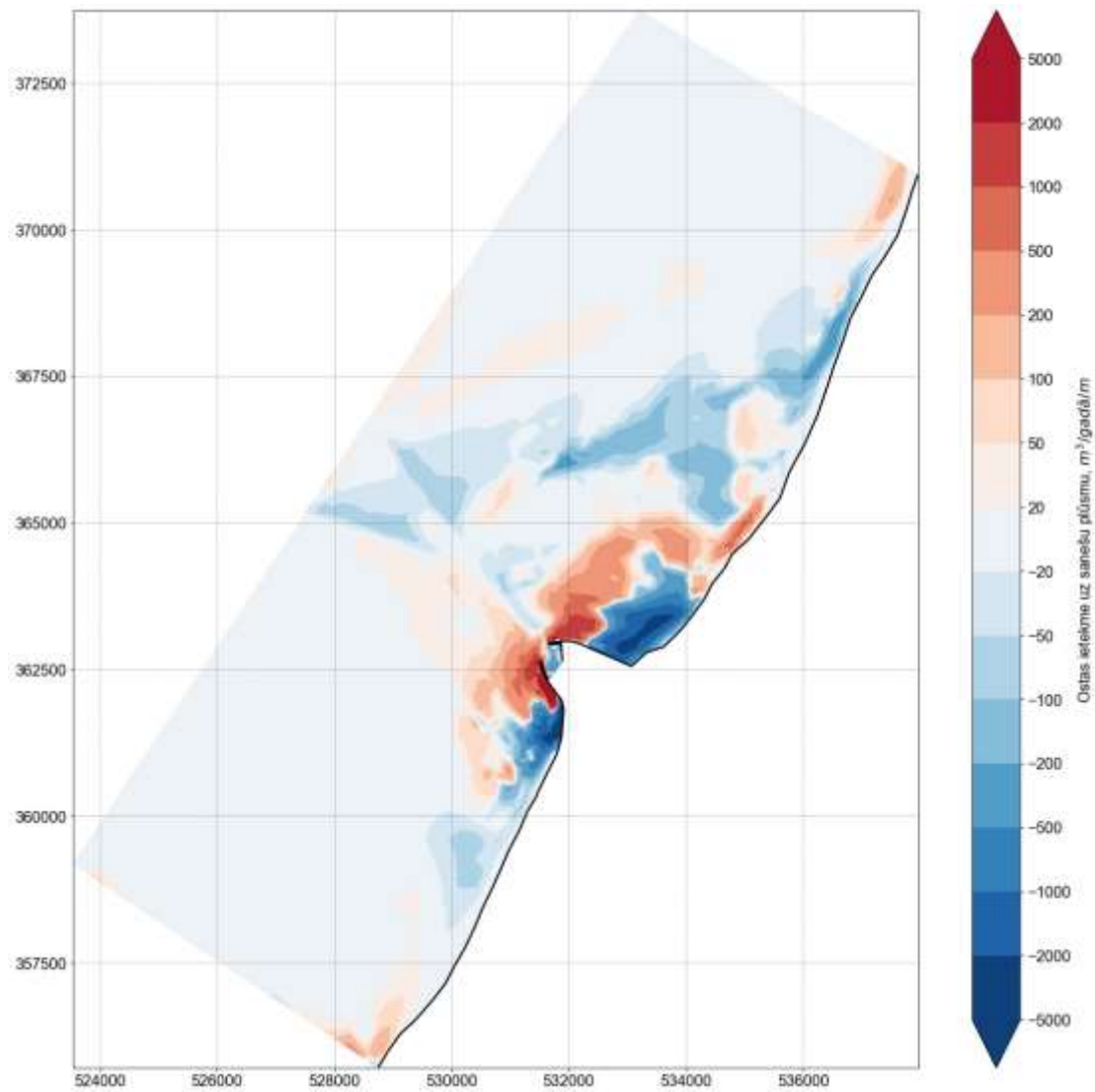
Attēls 81. Vidējās sanešu pārvietošanās intensitātes izmaiņas Ventspils ostas hidrobūvju dēļ.

Attēlā 79 parādīts suspendēto sanešu koncentrācijas sadalījums Ventspils ostas apkārtnē RDR un ZZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m konfigurācijā ar un bez hidrobūvēm. Lielākās sanešu koncentrācijas ir viļņu lūšanas zonā, kas pamatā sakrīt arī ar garkrasta straumes maksimumu. Paaugstinātas sanešu koncentrācijas ir arī viļņu enerģijas maksimuma zonās. Situācijā ar hidrobūvēm zemāka sanešu koncentrācija ir viļņu ēnas zonās – atkarībā no vētras virziena, vienā vai otrā pusē no ostas.

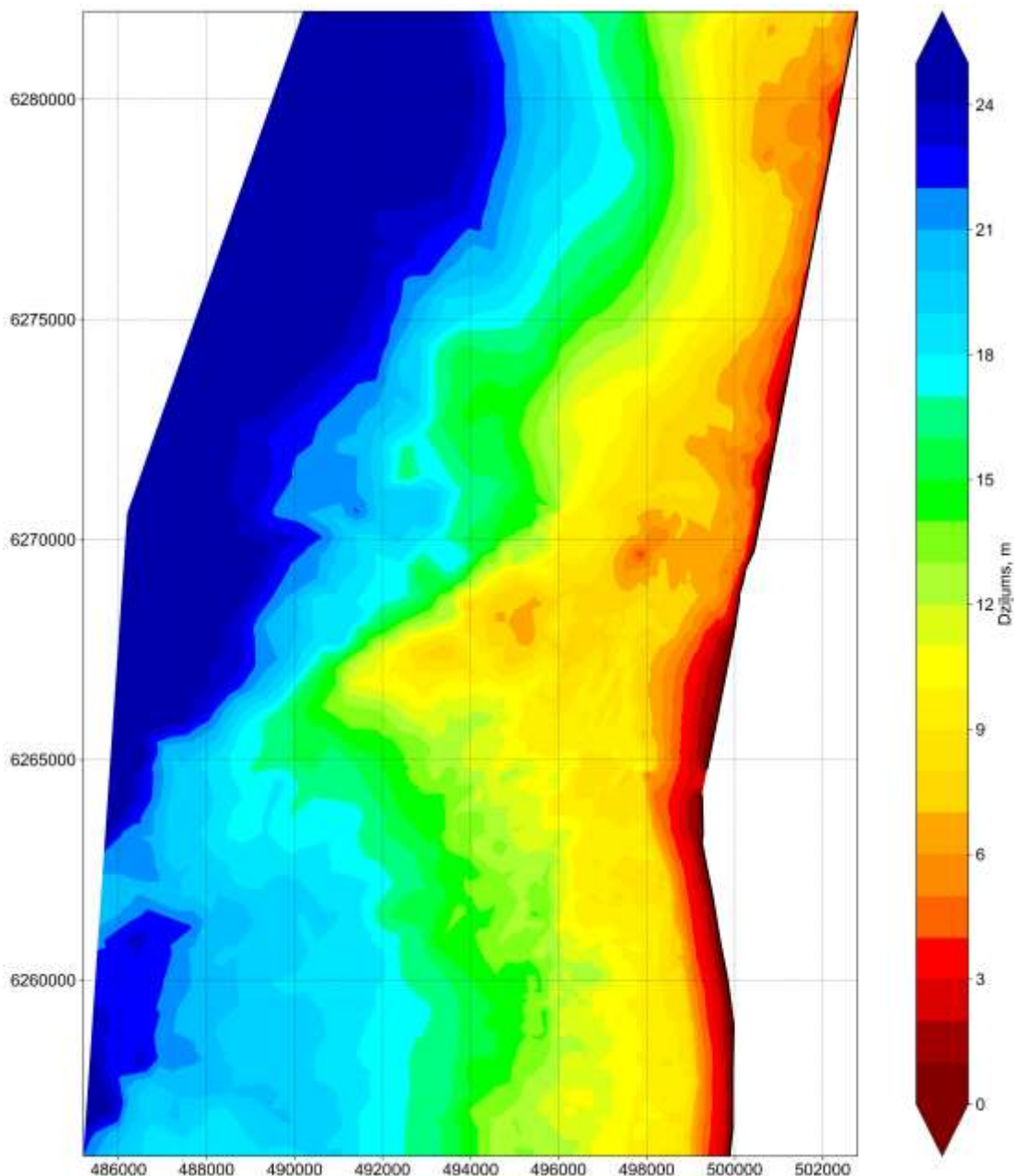
Attēlā 80 parādīts vidējais ikgadējais sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījums Ventspils ostas apkārtnē 14 gadu periodam no 2005 līdz 2018 gadam situācijā ar un bez hidrobūvēm. Kopumā lielākā sanešu pārvietošanās intensitāte raksturīga viļņu lūšanas zonai – šī zona ilggadēji ir platāka kā konkrētu vētru gadījumā attēlos 79, jo dažādās vētras viļņu lūšana notiek atšķirīgos dziļumos. Uz D no ostas hidrobūvju ietekme ir mazāka, savukārt uz Z no ostas novērojama samērā plaša ēnas zona. Uz Z no ostas novērojama viļņu un hidrodinamisko lauku ietekmes izraisīta paaugstināta sanešu pārvietošanās intensitāte arī ārpus viļņu lūšanas zonas. Jāatzīmē arī augstāka sanešu pārvietošanās intensitāte uz sēkļiem, tai skaitā zemūdens grunts atbērtne.



Attēls 82. Sanešu plūsmas un gultnes substrāta sadalījums Ventspils ostas apkārtnē 2005-2018.gg. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.



Attēls 83. Vidējās sanešu plūsmas izmaiņas Ventspils ostas hidrobūvju dēļ.



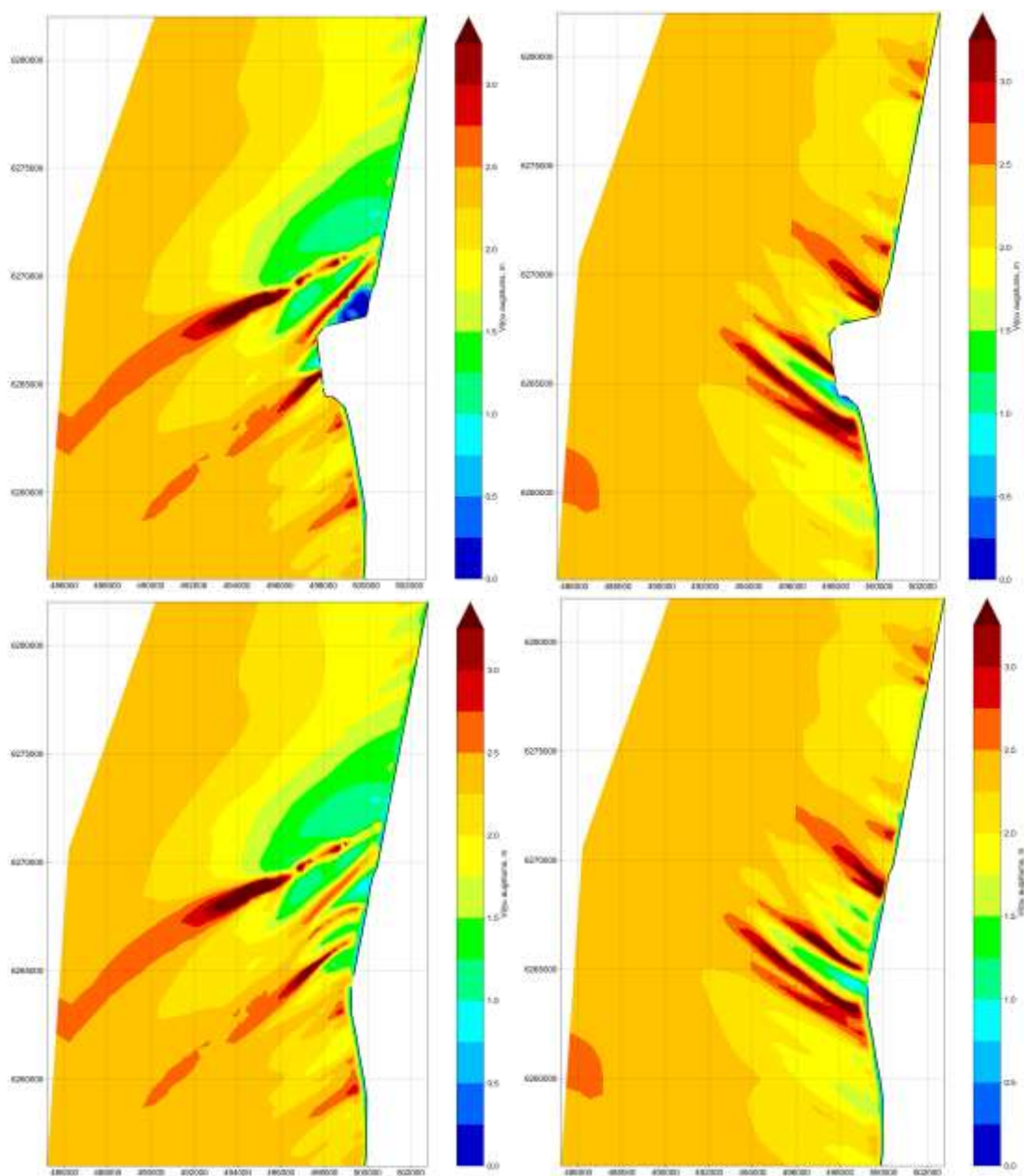
Attēls 84: Dziļumu sadalījums Liepājas ostas apkārtnē. Situācija bez hidrobūvēm.

Starpība starp laikā vidējoto sanešu pārvietošanās intensitāti pie Ventspils ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 81. **Šī sanešu pārvietošanās intensitātes starpība ir kritērija D7C1 trešā indikatora telpiskais sadalījums.** Kopumā apgabals, kurā mainās sanešu pārvietošanās intensitāte, ir lielāks nekā apgabali, kurā mainās vidējie viļņu augstums un straumes ātrums. Var teikt, ka tieši hidrobūvju tuvumā sanešu pārvietošanās intensitāte pārbīdās jūras virzienā.

1. Hidrobūvju izveides dēļ sanešu pārvietošanās intensitāte samazinās:
  - a. Piekrastes zonās, kur viļņu aizēnojuma un hidrobūvju esamības dēļ neveidojas garkrasta straume, vai arī tā noliecas jūras virzienā gar hidrobūvēm. Šāda zona ir plašāka uz Z no ostas.
  - b. Navigācijas kanāla šķērsojumā.

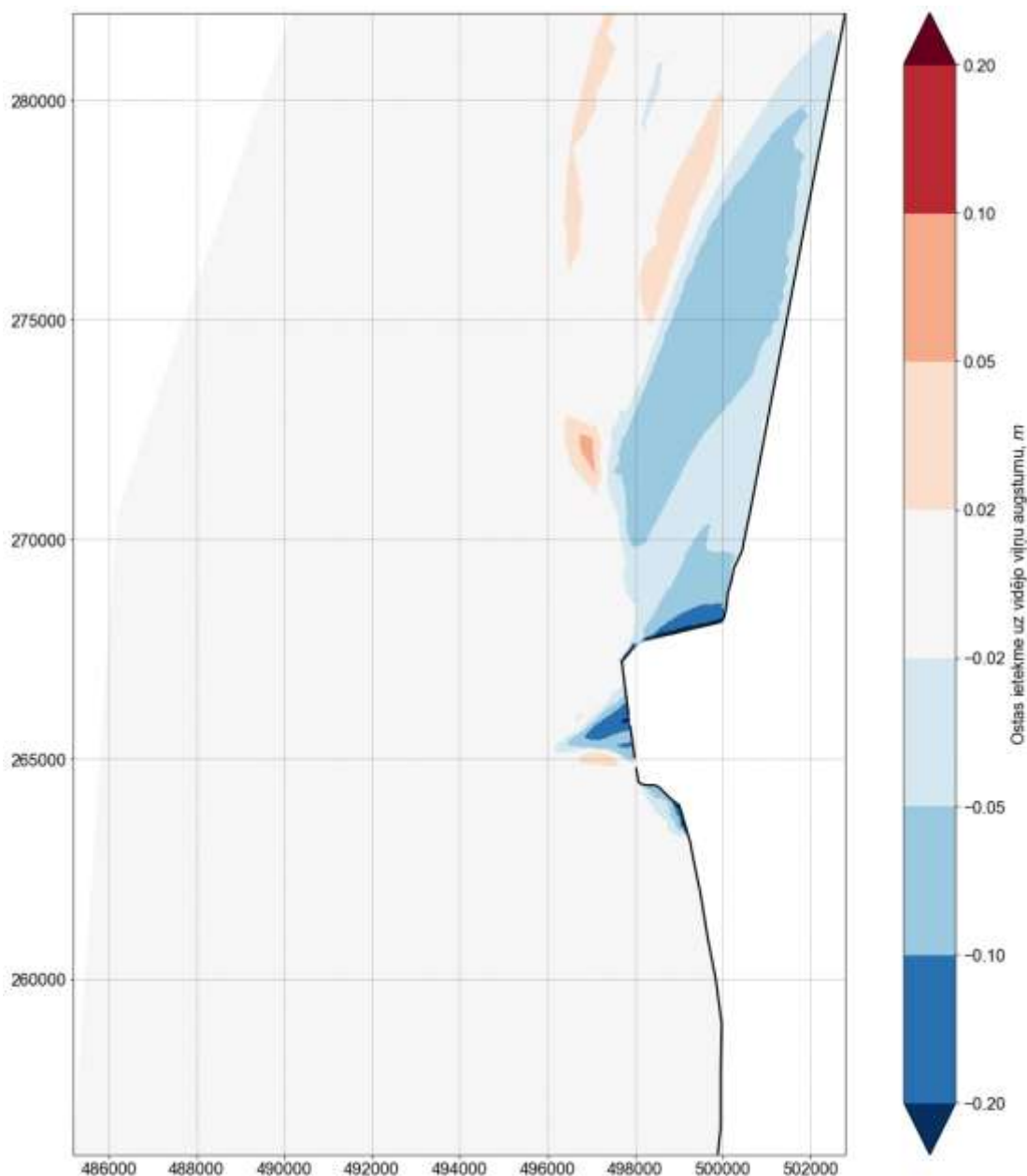


- c. Relatīvi plašā vidēju dziļumu zonā uz Z no ostas, kur, atsevišķās vētrās samazinās viļņu augstums refrakcijas uz navigācijas kanāla dēļ.
2. Sanešu pārvietošanās intensitāte palielinās:
- a. Zonā gar hidrobūvēm, kur viļņi, lūstot pret būvēm rada tām paralēlas, ar sanešiem piesātinātas, straumes.
  - b. Zonā, kur garkrasta straume no viļņu lūšanas zonas atvirzās jūras virzienā, lai apliektu hidrobūves.
  - c. Atsevišķās piekrastes un vidēja dziļuma zonās, kur refrakcija uz navigācijas kanāla atsevišķās vētrās izraisa viļņu augstuma palielināšanos.



Attēls 85: Nozīmīgo viļņu augstums Liepājas ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Attēlā 82 sanešu plūsmas sadalījums Ventspils ostas apkārtnē 2005-2018.gg. parādīts uz gultnes substrāta sadalījuma fona. Sanešu plūsmas telpiskais sadalījums atšķiras no sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījuma; pamatā dominē pārnese no DR uz ZA. Sanešu plūsmas sadalījumā vērojama būtiskāka hidrobūvju ietekme uz ZA no ostas, jo tā atjaunojas tikai 5-10 km attāluma no Z mola pamatnes. Attēlā 83 parādīta starpība starp vidējo sanešu plūsmu situācijām ar un bez hidrobūvēm. Hidrobūvju ietekme gan uz sanešu plūsmu, gan intensitāti ir samērā līdzīga.



Attēls 86. Viļņu lauka augstuma izmaiņas Liepājas ostas hidrobūvju dēļ.

### 6.3.3. Liepājas osta

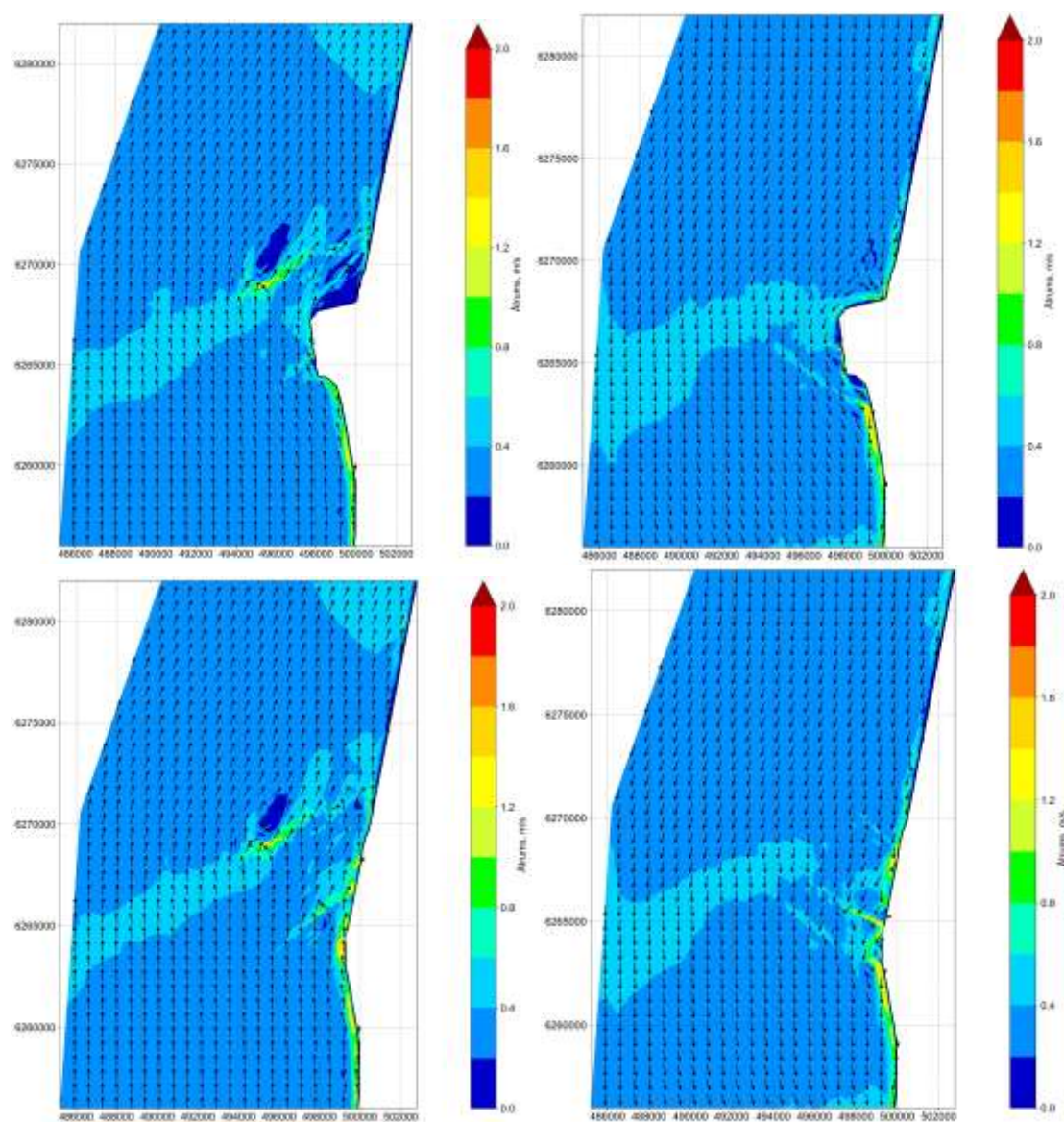
Liepājas ostas apkārtnes modeļapgabalu bez ostas hidrobūvēm un dziļumu sadalījumu tajā sk. attēlā 84.

Attēlā 85 parādīts nozīmīgo viļņu augstums Liepājas ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tālējūras viļņu augstumu 2.5 m situācijām ar un bez hidrobūvēm. Viļņu lauka

maksimumus nosaka viļņu fokusēšanās uz sēkļiem, jo īpaši uz panatklintāja atseguma ZR no ostas. Atšķirībā no Ventspils viļņu defokusēšanās uz ostas navigācijas kanāla ir mazāk pamanāma, jo dabīgo apstākļu radītā viļņu lauka nevienmērība ir lielāka. Hidrobūvju aizsegā veidojas izteiktas viļņu ēnas zonas.

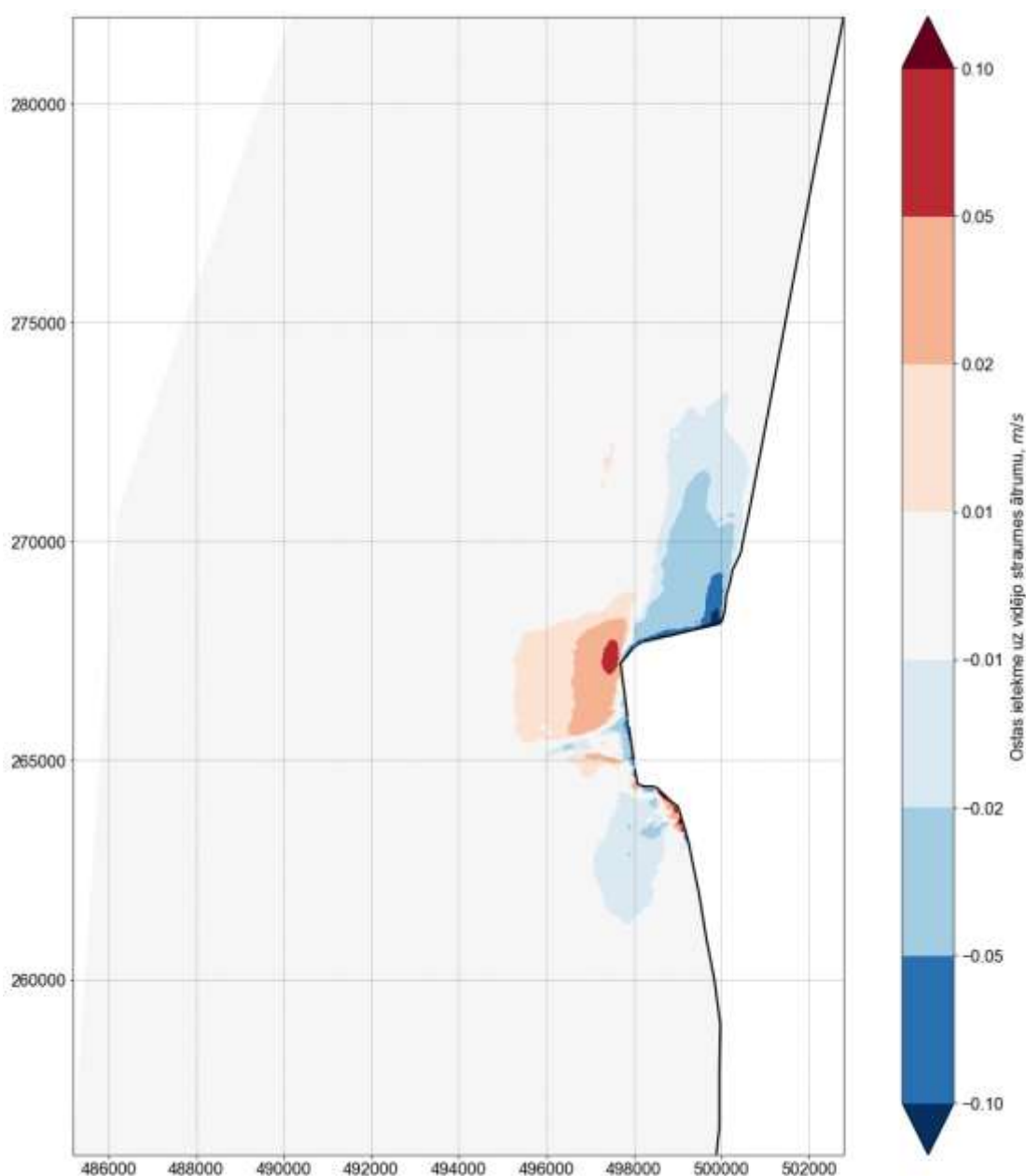
Starpība starp laikā vidējotām viļņu augstuma vērtībām pie Liepājas ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 86. **Šī nozīmīgā viļņu augstuma starpība ir kritērija D7C1 pirmā indikatora telpiskais sadalījums.** Hidrobūvju izveides dēļ viļņu augstums tikai samazinās visur, izņemot nelielas zonas, kur tā palielinājumu izskaidro navigācijas kanāla neesamība:

1. Veidojas ēnas zonas abpus ostai; daudz lielāka - līdz pat 12 km – ēnas zona ir uz Z no ostas, jo valdošais viļņu virziens ir no D/DR sektoriem.
2. Samazinās viļņu augstums centrālo vārtu navigācijas kanālā, jo tā esamība defokusē viļņu lauku.



Attēls 87: Straumju sadalījums Liepājas ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

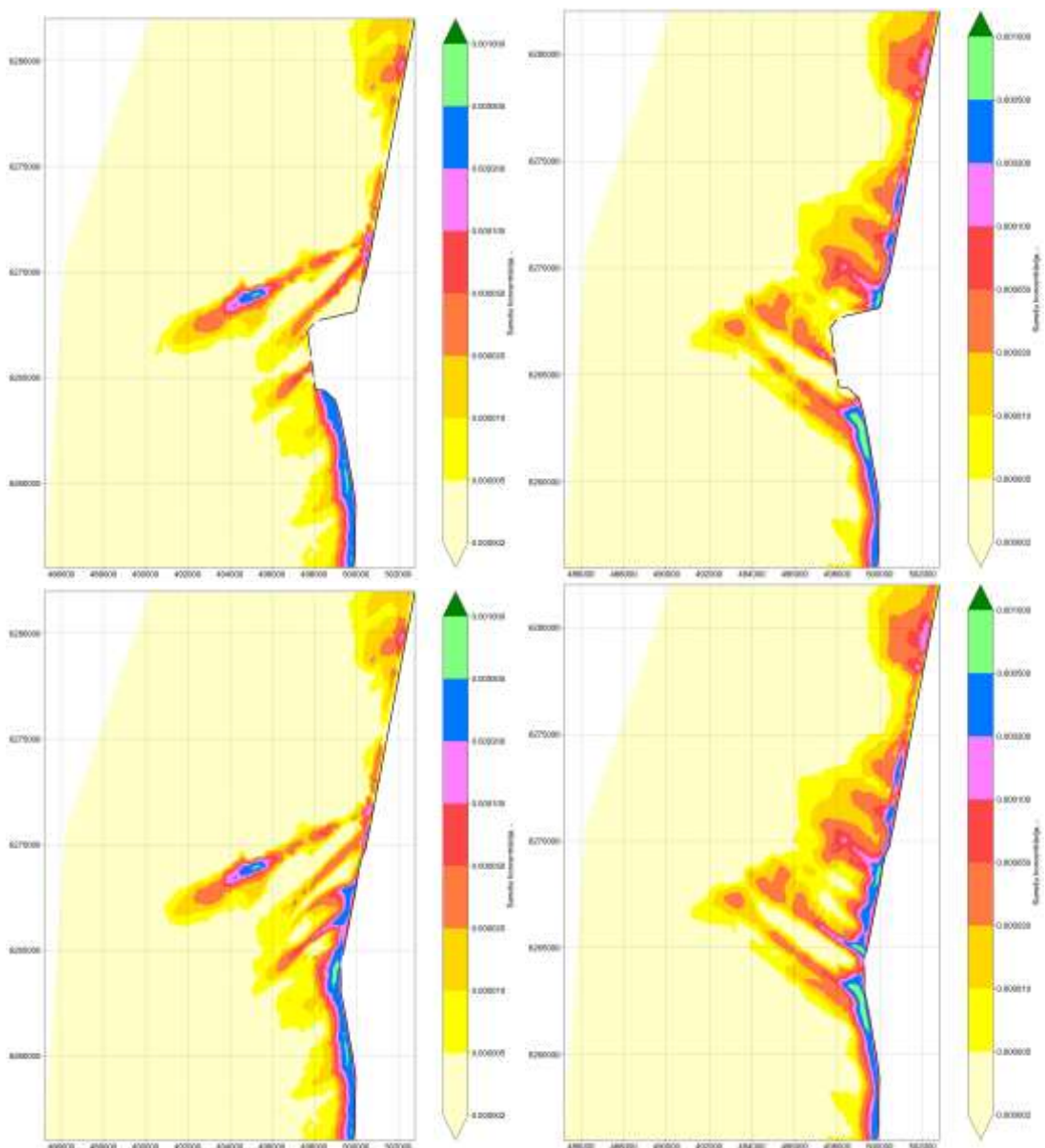
Attēlā 87 parādīts straumju sadalījums Liepājas ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tālējūras viļņu augstumu 2.5 m. Uz dienvidiem no ostas vērojama klasiska garkrasta straume, kuras ātrums var pārsniegt 1.2 m/s. Uz ziemeļiem no ostas garkrasta straume nav tik izteikta – straumju lauka nevienmērīgumu šeit pamatā nosaka viļņu lauka radiācijas spriegumi – pamatiežu atseguma radītās viļņu maksimumu un ēnas zonas. Līdz ar to varētu būt samērā grūti atdalīt hidrobūvju ietekmi uz straumju lauku no dabisko ģeoloģisko faktoru ietekmes. Atzīmēsim ka DR vētru gadījumā arī situācijā bez hidrobūvēm garkrasta straume neatjaunojas uz Z no patreizējās hidrobūvju vietas.



Attēls 88. Vidējā strāves ātruma izmaiņas Liepājas ostas hidrobūvju dēļ.

Starpība starp laikā vidēdotām strāves ātruma vērtībām pie Liepājas ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 88. **Šī strāves ātruma starpība ir kritērija D7C1 otrā indikatora telpiskais sadalījums.**

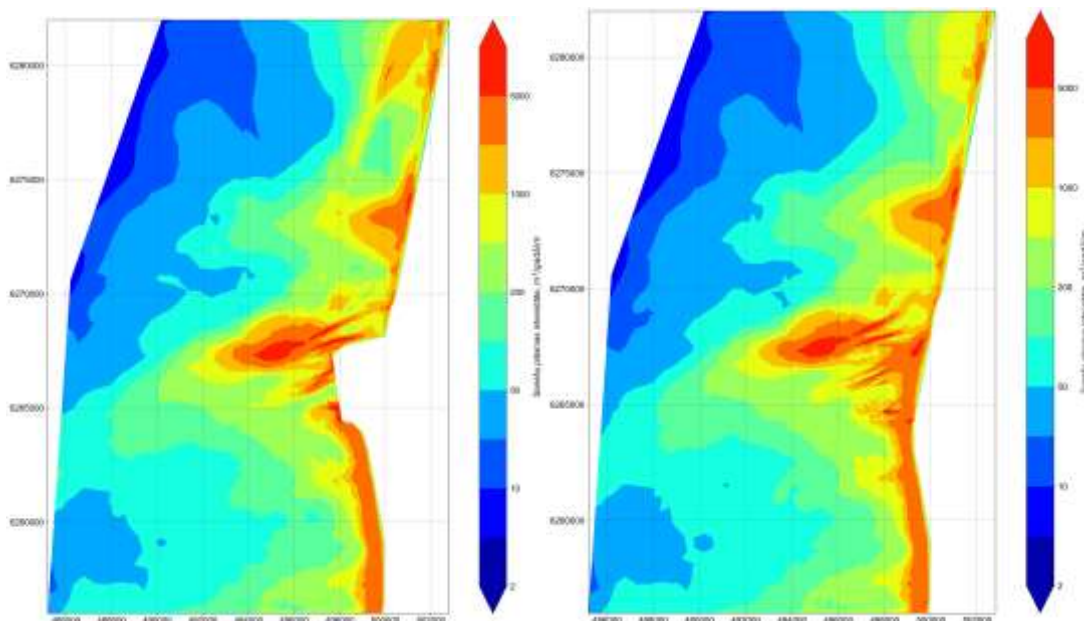
1. Hidrobūvju izveides dēļ straumes ātrums samazinās:
  - a. Uz Ziemeļiem no ostas, kur viļņu lauka ēnas zonā neatjaunojas garkrasta straume.
  - b. Uz D no ostas, kur hidrobūves sabremzē garkrasta straumi valdošo E-DR vēju situācijās.
  - c. Navigācijas kanāla šķērsojumā.
2. Straumes ātrums palielinās:
  - a. Zonā gar D molu, lūstot pret kuru, viļņi rada tam paralēlas straumes.
  - b. Zonā, kur garkrasta straume atvirzās jūras virzienā, plūstot gar krastam paralēlo viļņlauzi.



Attēls 89: Suspendēto sanešu koncentrācijas sadalījums Liepājas ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2.5 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Attēlā 89 parādīts suspendēto sanešu koncentrācijas sadalījums Liepājas ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tālējuras viļņu augstumu 2.5 m. Uz D no ostas lielākās sanešu koncentrācijas ir viļņu lūšanas zonā pie pludmales, kas pamatā sakrīt arī ar garkrasta straumes maksimumu. Paaugstinātas sanešu koncentrācijas uz Z-ZR no ostas ir saistāmas ar viļņu enerģijas maksimumiem un to izraisītajām radiācijas straumēm. Pirmšķietami nav saskatāmas būtiskas sanešu koncentrācijas izmaiņas hidrobūvju izveides dēļ, taču tālākā analīze parādīs, ka tās tomēr ir nozīmīgas.

Attēlā 90 parādīts vidējais ikgadējais sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījums Liepājas ostas apkārtnē 14 gadu periodam no 2005 līdz 2018 gadam. Uz dienvidiem no ostas lielākā sanešu pārvietošanās intensitāte raksturīga viļņu lūšanas zonai, dažādās vētrās viļņiem lūstot atšķirīgos dziļumos. Uz D no ostas hidrobūvju ietekme praktiski nav saskatāma. Uz ZR-Z no ostas lielākā sanešu intensitāte ir pamatiežu atsegumā, kurš nozīmīgi perturbē viļņu lauku un rada gan viļņu enerģijas maksimumu/minimumu zonas, gan būtiskas radiācijas straumes. Sanešu pārvietošanās intensitāte piekrastē uz Z no ostas ir mazāk izteikta. Jāatzīmē, ka sanešu pārvietošanās intensitāte ostas ziemeļpusē hidrobūvju izveides gadījumā pieaug attālināti (2-4 km) no krasta – zonā, kur pieaug arī vidējais viļņu augstums.

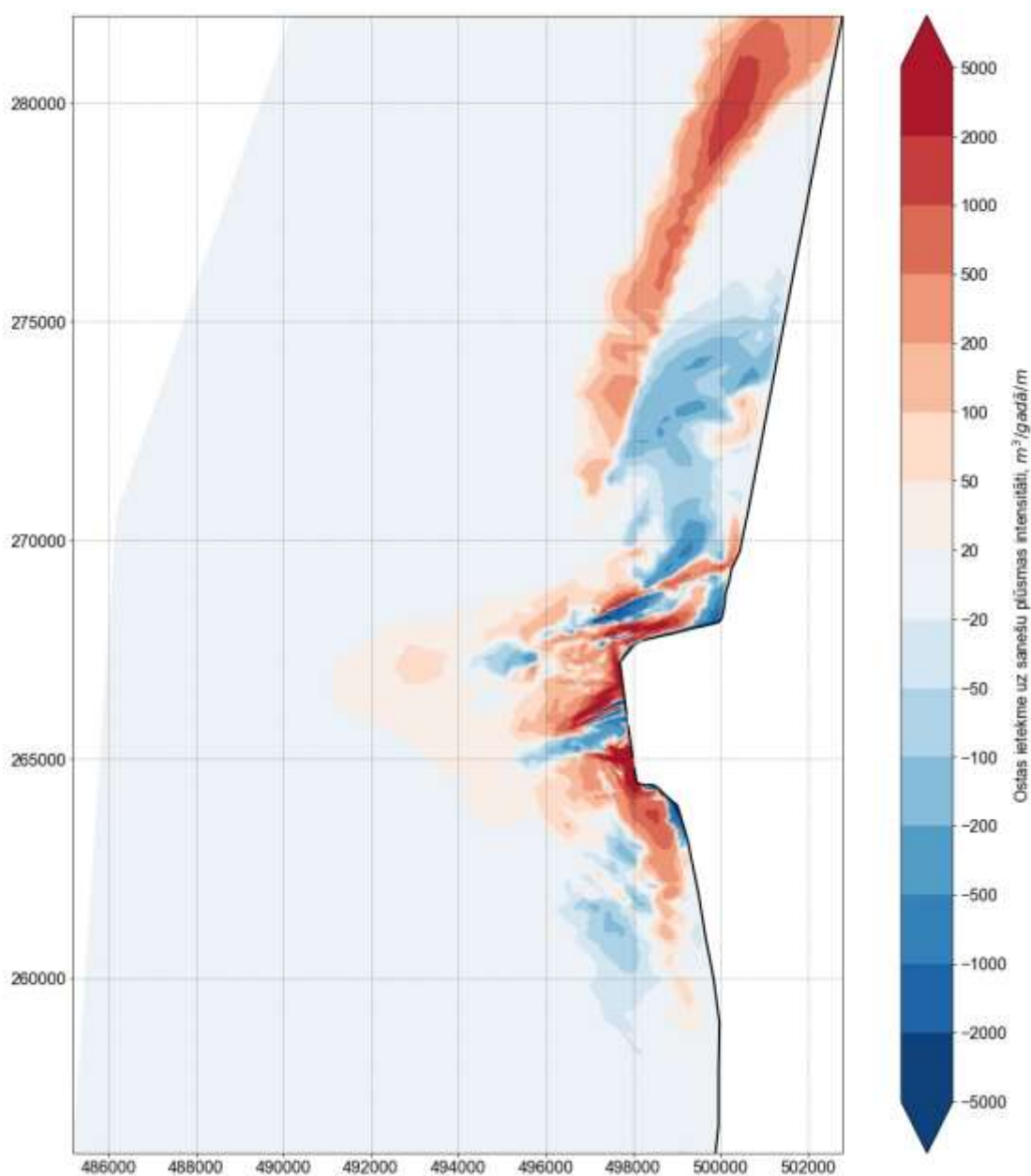


Attēls 90: Sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījums Liepājas ostas apkārtnē 2005-2018.gg. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

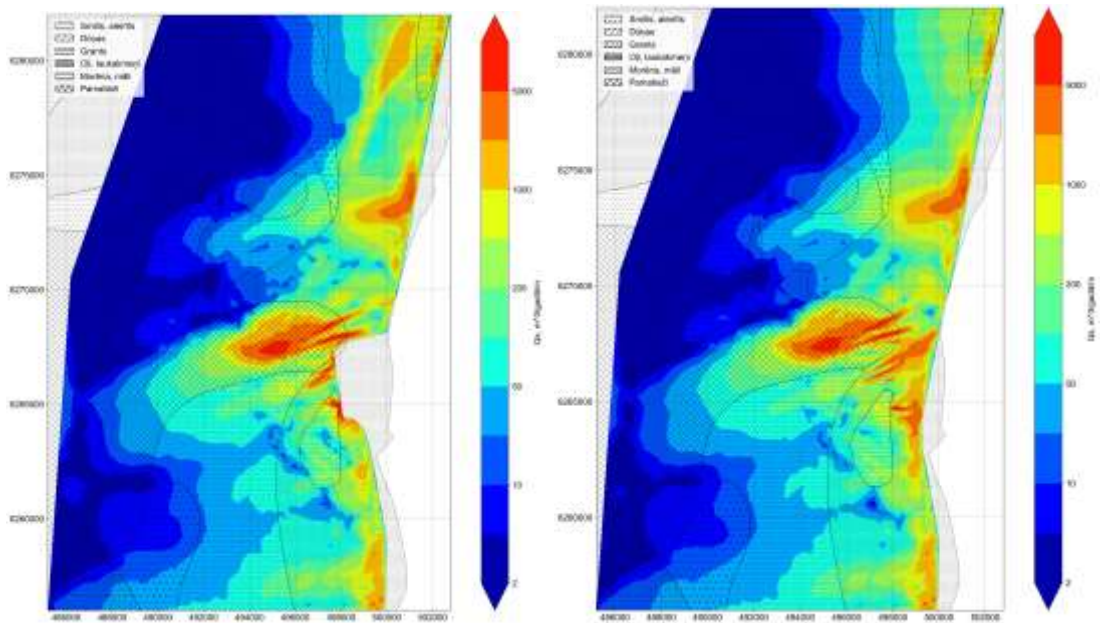
Starpība starp laikā vidējoto sanešu pārvietošanās intensitāti pie Liepājas ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 91. **Šī sanešu pārvietošanās intensitātes starpība ir kritērija D7C1 trešā indikatora telpiskais sadalījums.** Kopumā apgabals, kurā mainās sanešu pārvietošanās intensitāte ir lielāks nekā apgabali, kurā mainās vidējais viļņu augstums un straumes ātrums

1. Uz Dienvidiem no ostas sanešu pārvietošanās intensitāte pārbīdas jūras virzienā, uz kurieni noliecas garkrasta straume. Tomēr, tālāk (līdz 2 km no krasta) jūrā sanešu pārvietošanās intensitāte ir mazāka nekā situācijā bez hidrobūvēm, jo hidrobūves aizsedz šo zonu pret Z virziena viļņiem.

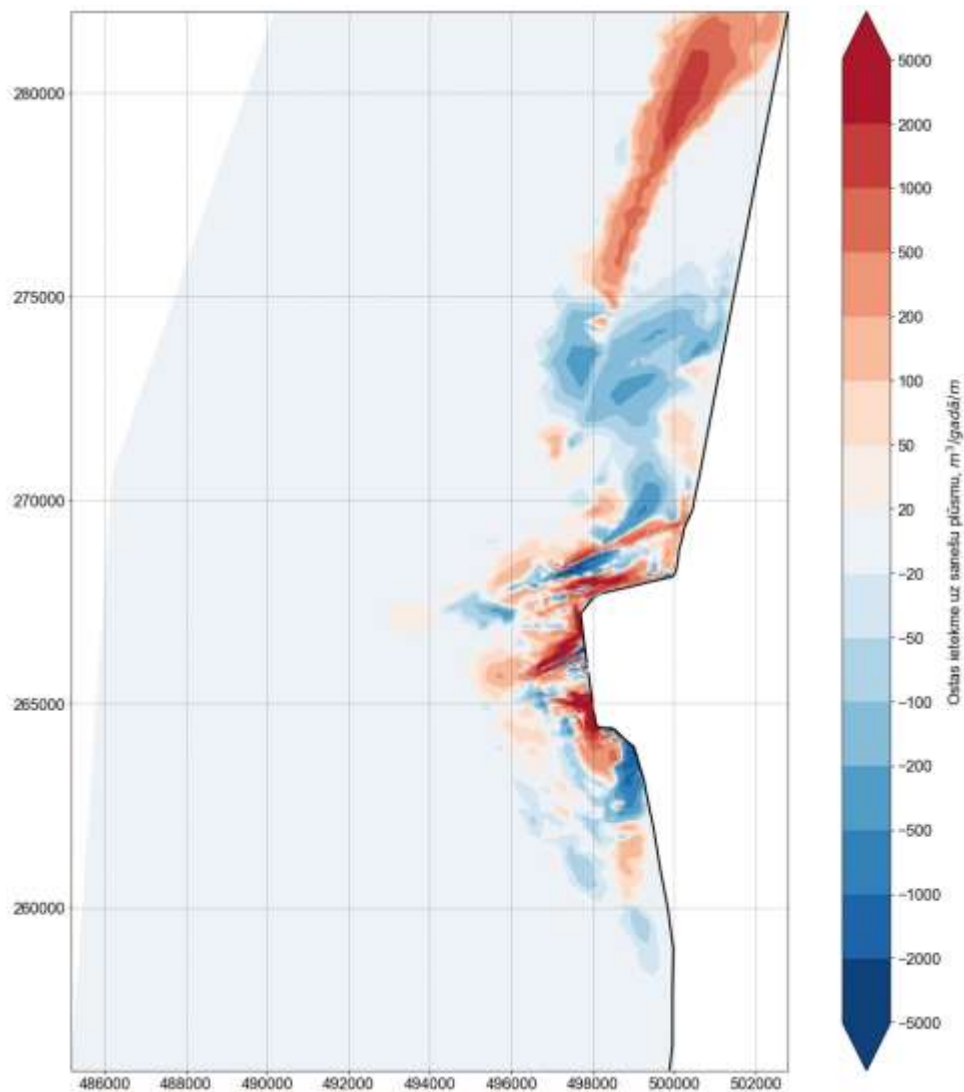
2. Uz jūras pusi no krastam paralēlā centrālā ostas viļņlauža sanešu pārvietošanās intensitāte kopumā ir lielāka – to nosaka straumes ātruma pieaugums šajā zonā, jo jebkuru vētru gadījumā straumei ir jāaplīec hidrobūves. Tomēr ir vairākas zonas, kur sanešu pārvietošanās intensitāte ir zemāka – tas izskaidrojams ar navigācijas kanālu ietekmi uz viļņu enerģijas koncentrācijas zonu pārbīdi.
3. Uz ziemeļiem no ostas ir vislielākās sanešu pārvietošanās intensitātes izmaiņas:
  - a. Tieši aiz Z mola minimumu un maksimumu pārbīdi nosaka navigācijas kanālu ietekme uz viļņu enerģijas koncentrācijas zonu izvietojumu.
  - b. Tālāk uz ziemeļiem samazinās sanešu pārvietošanās intensitāte piekrastē, kura atrodas hidrobūvju ēnas zonā. Savukārt tālāk no krasta sanesu pārvietošanās intensitāte pieaug.



Attēls 91. Vidējās sanešu pārvietošanās intensitātes izmaiņas Liepājas ostas hidrobūvju dēļ.

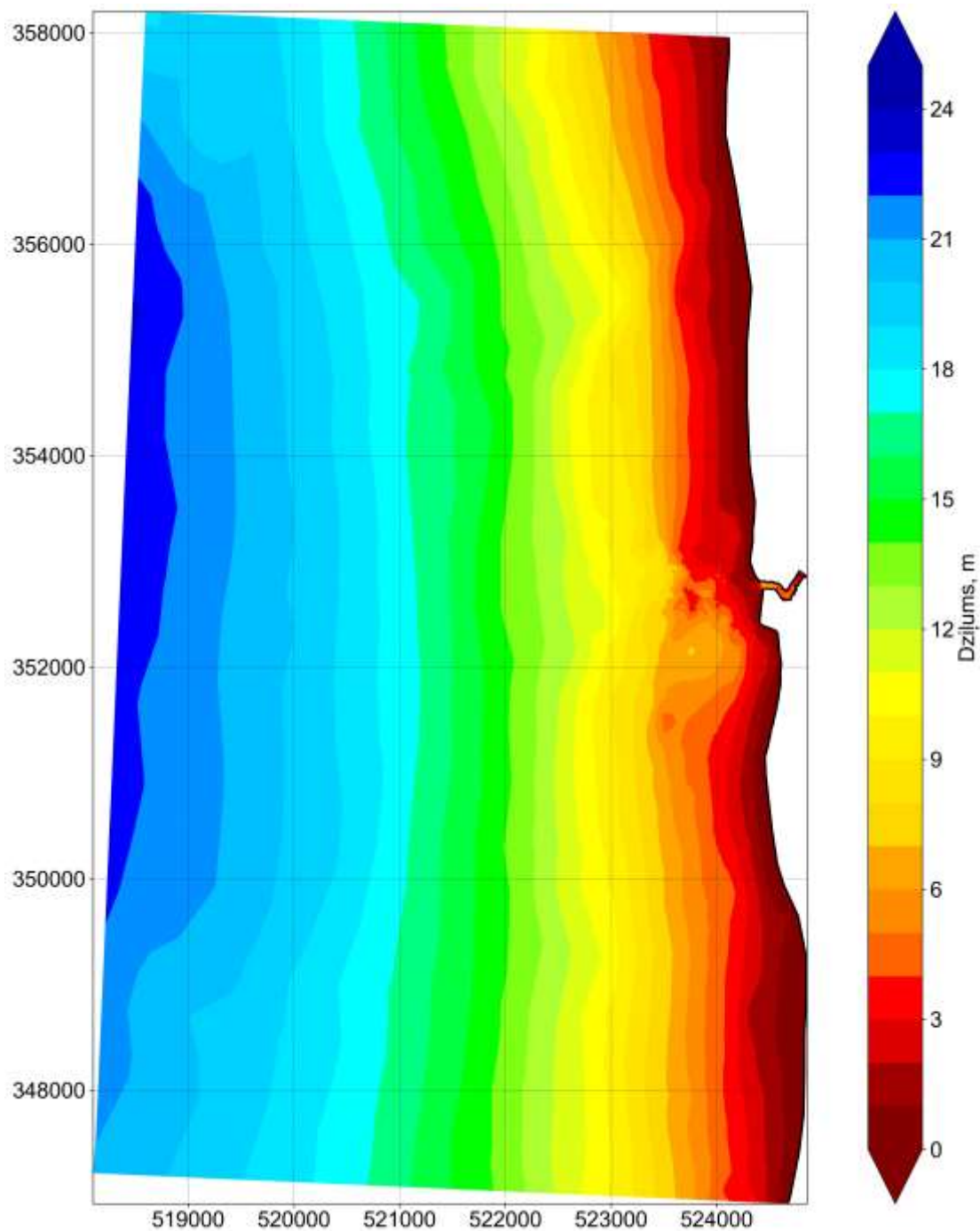


Attēls 92: Sanešu plūsmas un gultnes substrāta sadalījums Liepājas ostas apkārtnē 2005-2018.gg. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.



Attēls 93. Vidējās sanešu plūsmas izmaiņas Liepājas ostas hidrobūvju dēļ.





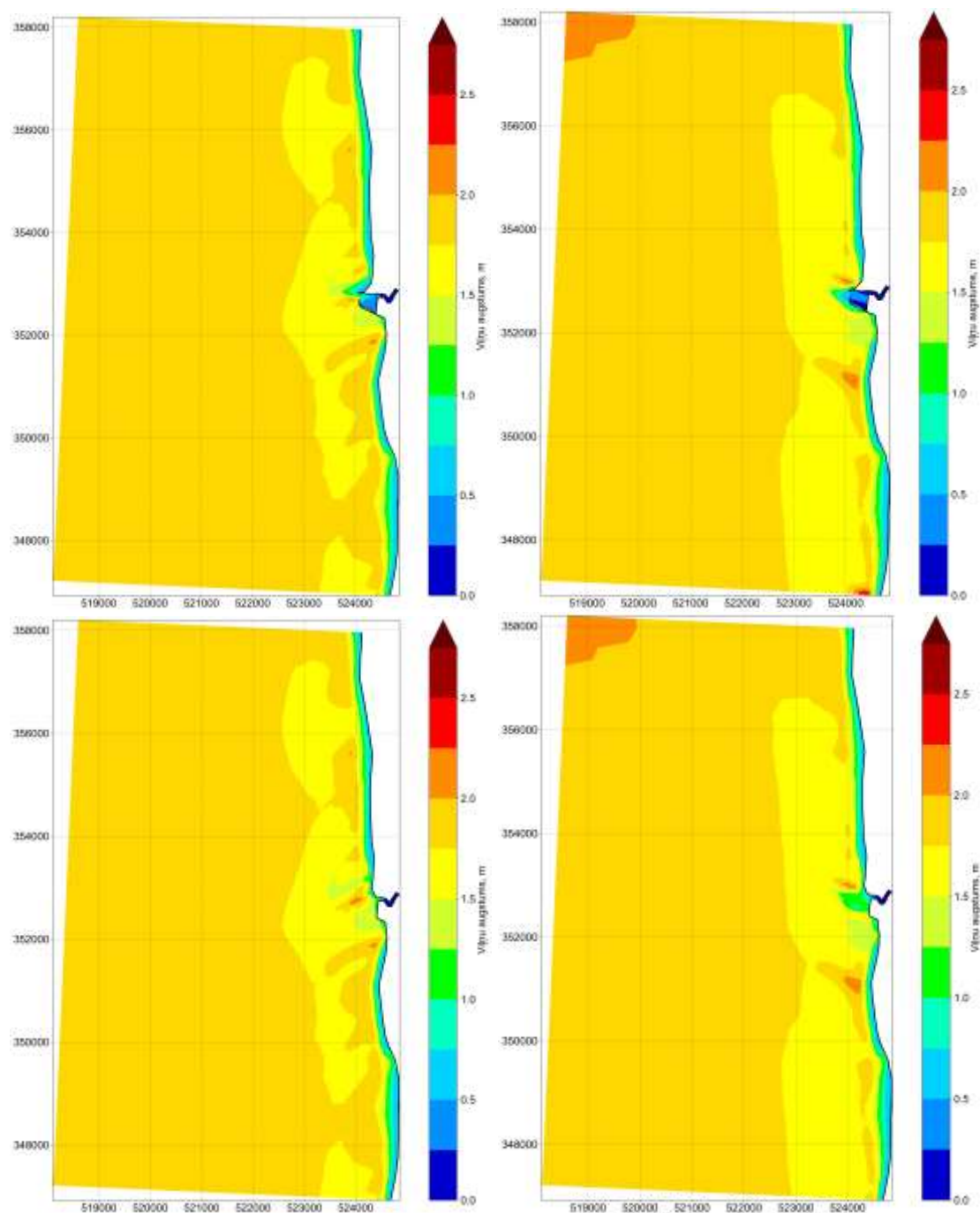
Attēls 94: Dziļumu sadalījums Skultes ostas apkārtnē. Situācija bez hidrobūvēm.

Attēlā 92 sanešu plūsmas sadalījums Liepājas ostas apkārtnē 2005-2018.gg. parādīts uz gultnes substrāta sadalījuma fona. Sanešu plūsmas telpiskais sadalījums nebūtiski atšķiras no sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījuma. Dominē pārnesē ziemeļu virzienā. Sanešu plūsmas kopējā sadalījumā hidrobūvju ietekme ir mazāka nekā dziļumu sadalījuma – pamatiežu atseguma ietekme.

Attēlā 93 parādīta starpība starp vidējo sanešu plūsmu situācijām ar un bez hidrobūvēm. Var redzēt, ka uz Z no ostas hidrobūvju ietekmes zona pārsniedz 15 km.

### 6.3.4. Skultes osta

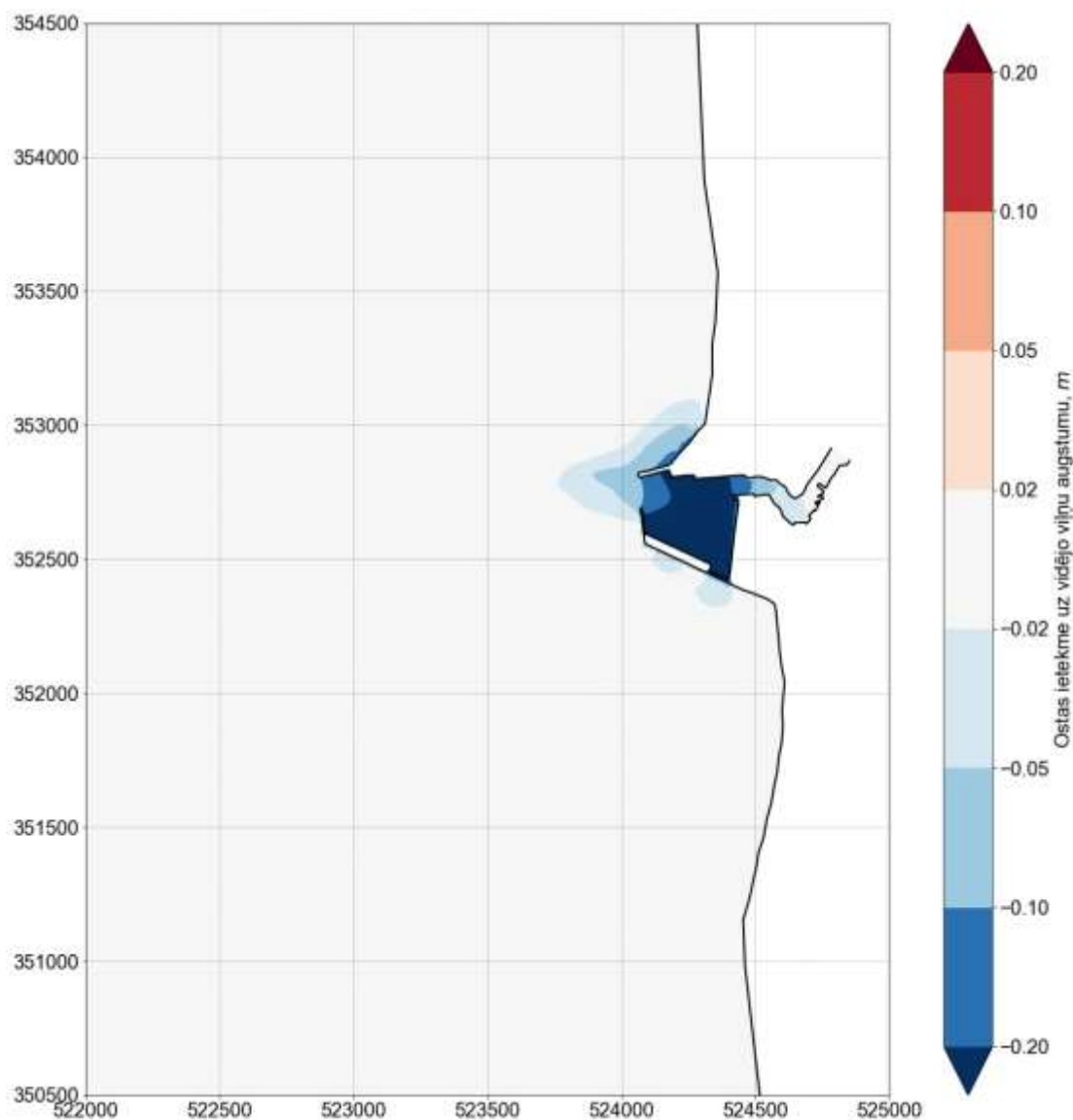
Skultes ostas apkārtnes modeļapgabalu bez ostas hidrobūvēm un dziļumu sadalījumu tajā sk. attēlā 94.



Attēls 95: Nozīmīgo viļņu augstums Skultes ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Attēlā 95 parādīts nozīmīgo viļņu augstums Skultes ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m situācijās ar un bez hidrobūvēm. Viļņu augstums nedaudz palielinās pirms lūšanas zonas. Tieša hidrobūvju ietekme vērojama kā viļņu lauka ēnas zonas aiz hidrobūvēm un viļņu defokusēšanās uz ostas navigācijas kanāla.

Kopumā – arī situācijā bez hidrobūvēm – dziļumu sadalījums nosaka nedaudz zemāku viļņošanas Aģes upes grīvā.



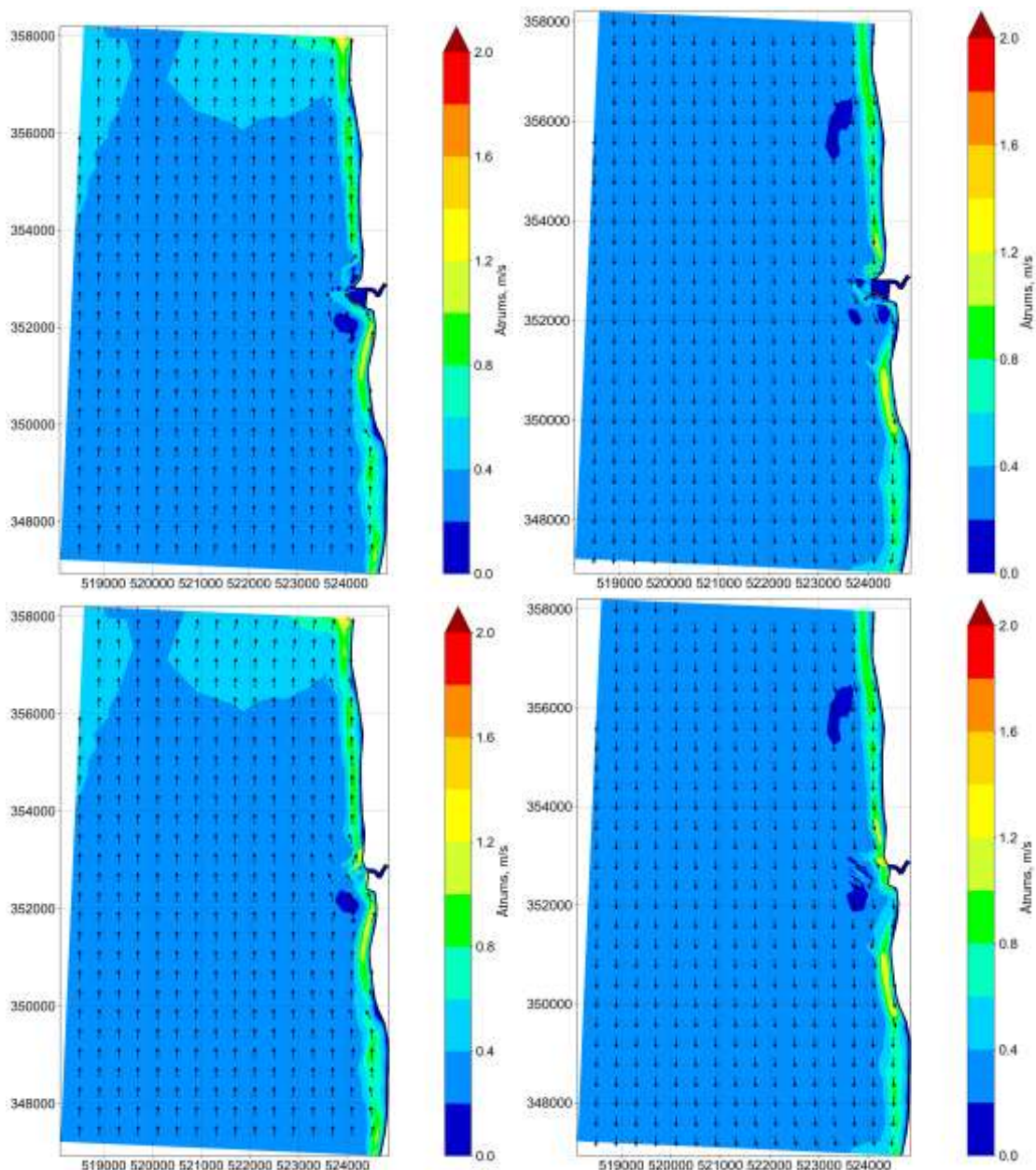
Attēls 96. Viļņu lauka augstuma izmaiņas Skultes ostas hidrobūvju dēļ.

Starpība starp laikā vidējotām viļņu augstuma vērtībām pie Skultes ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 96. **Šī nozīmīgā viļņu augstuma starpība ir kritērija D7C1 pirmā indikatora telpiskais sadalījums.** Hidrobūvju izveides dēļ viļņu augstums tikai samazinās:

1. Veidojas ēnas zonas aiz hidrobūvēm, pamatā uz Z no ostas, kur būves aizsedz valdošā DR sektora viļņus.
2. Samazinās viļņu augstums navigācijas kanālā pie ostas vārtiem, jo padziļinātais kanāls defokusē viļņu lauku.

Attēlā 97 parādīts straumju sadalījums Skultes ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tālējūras viļņu augstumu 2 m situācijām ar un bez hidrobūvēm. Modeļapgalā straumes

vērstas, attiecīgi, Z vai D virzienā, to tālējuras ātrums nepārsniedz 40-50 cm/s, bet garkrasta straume viļņu lūšanas zonā var sasniegt 1.2 m/s. Straumes apliec hidrobūves, bez nozīmīgu virpuļu veidošanas. Garkrasta straumes atjaunojas aptuveni 500 m aiz hidrobūvēm. Arī situācijā bez hidrobūvēm nevienmērīgā viļņu lauka radīto radiācijas spriegumu dēļ Aģes upes grīvā veidojas garkrasta straumes perturbācijas un neliels recirkulācijas virpulis.

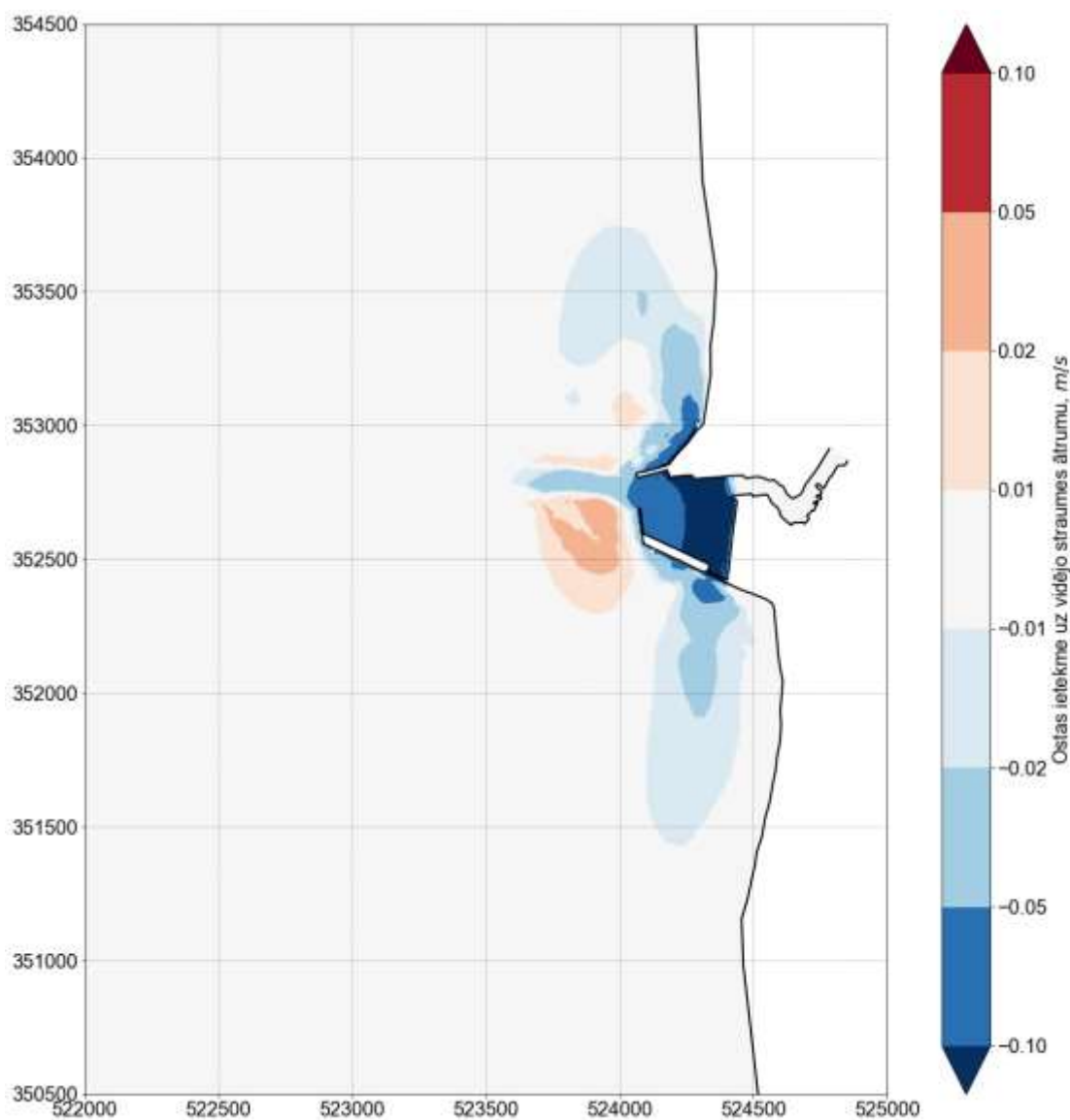


Attēls 97: Straumju sadalījums Skultes ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tālējuras viļņu augstumu 2 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Starpība starp laikā vidēdotām straumes ātruma vērtībām pie Skultes ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 98. Šī straumes ātruma starpība ir kritērija D7C1 otrā indikatora telpiskais sadalījums.

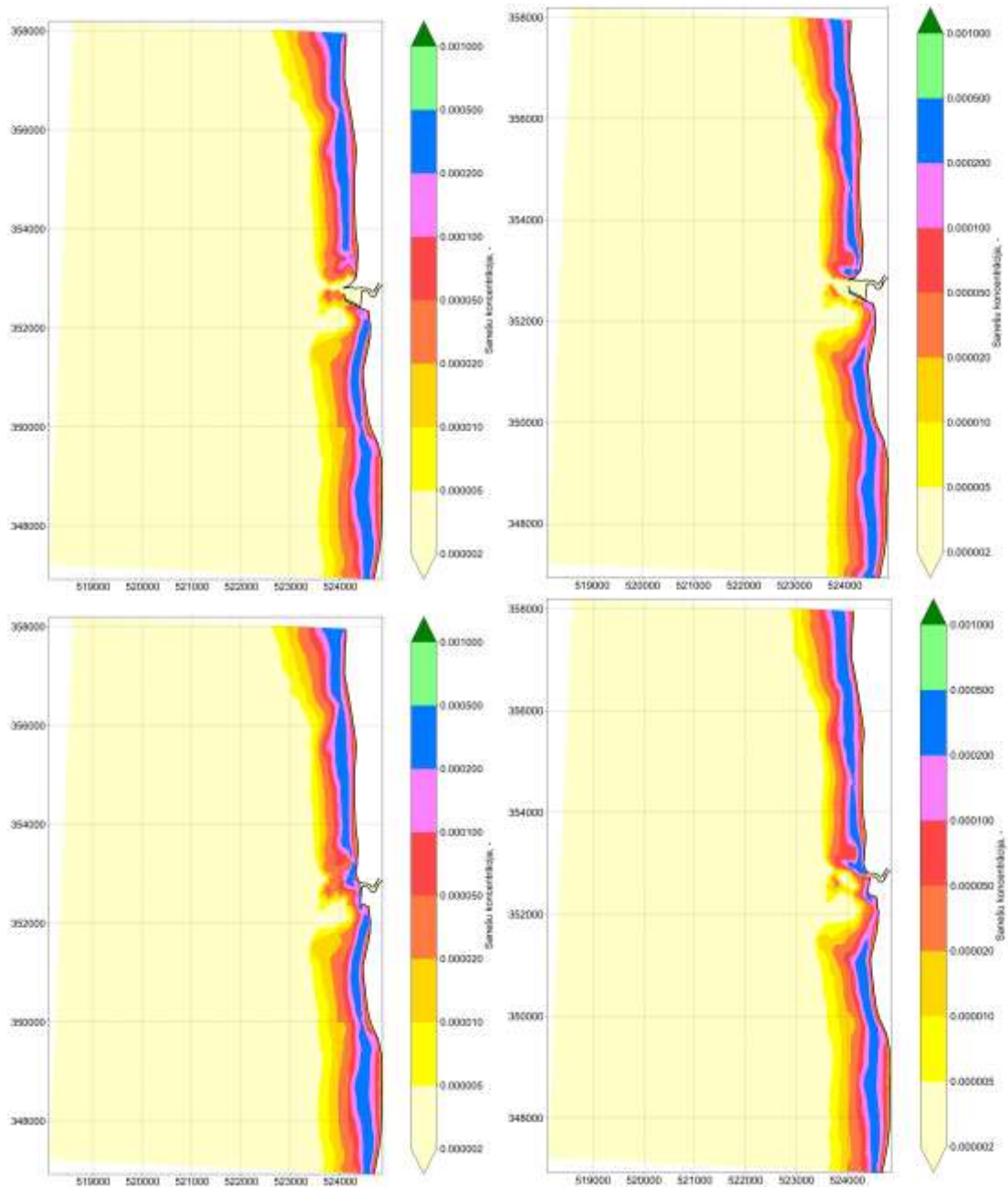
1. Hidrobūvju izveides dēļ straumes ātrums samazinās:

- a. Viļņu lūšanas zonā abpus ostai, kur moli sabremzē garkrasta straumi, noliecot to jūras virzienā.
  - b. Navigācijas kanāla šķērsojumā, kur palielinās ūdens kolonas dziļums
2. Straumes ātrums palielinās uz jūras pusi no moliem. Tā ir zonā, kur garkrasta straume atvirzās jūras virzienā. Šis straumes ātruma pieaugums ir lielāks uz D no navigācijas kanāla, jo kanāla ziemeļu puse ir izveidotas sanešus uztverošas kompensācijas kabatas.



Attēls 98: Vidējā straumes ātruma izmaiņas Skultes ostas hidrobūvju dēļ.

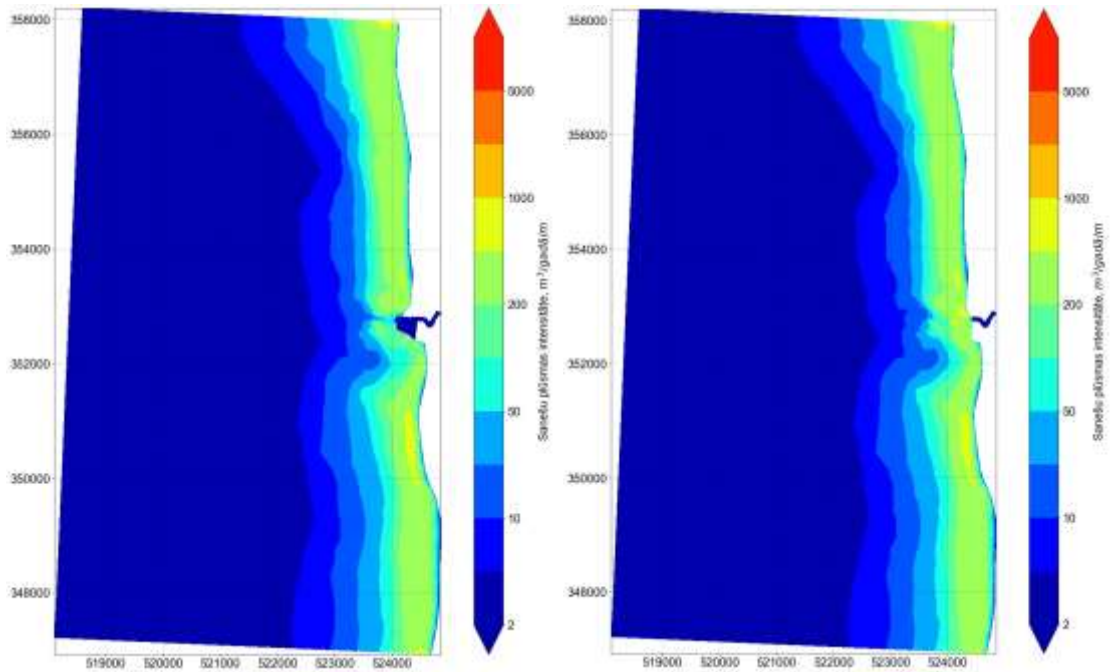
Attēlā 99 parādīts suspendēto sanešu koncentrācijas sadalījums Skultes ostas apkārtnē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m situācijām ar un bez hidrobūvēm. Lielākās sanešu koncentrācijas ir viļņu lūšanas un garkrasta straumes zonās pie pludmales. Sanešu koncentrācijas sadalījums ir samērā līdzīgs abu sektoru vētrām; tas atšķiras tikai hidrobūvju, vai variantam bez hidrobūvēm – Aģes grīvas tiešā apkārtnē.



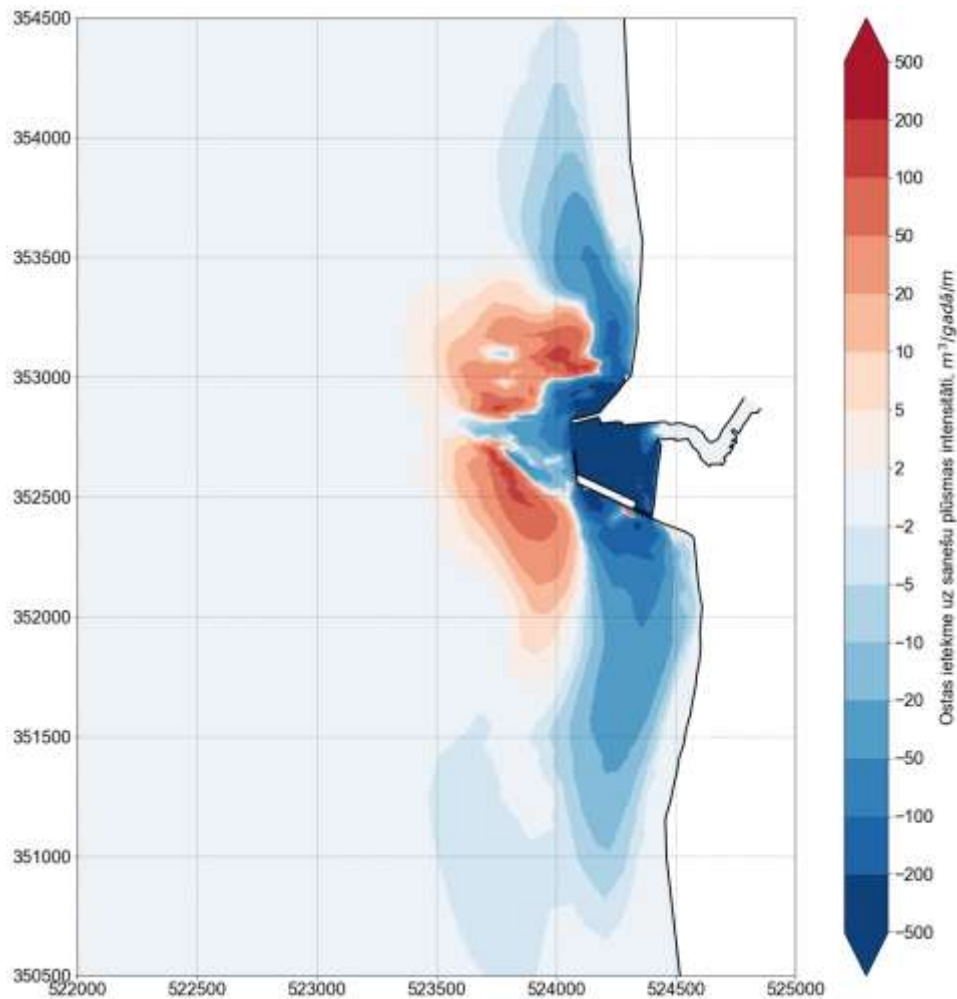
Attēls 99: Suspēdēto sanešu koncentrācijas sadalījums Skultes ostas apkārtņē DR un ZR vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Attēlā 100 sanešu plūsmas vidējās intensitātes sadalījums Skultes ostas apkārtņē 2005-2018.gg. parādīts konfigurācijām ar un bez hidrobūvēm. Pārsvarā uz dienvidiem plūstošo sanešu pārvietošanās plūsmas intensitātes attēlā 100 pamanāmi atšķiras tikai navigācijas kanāla šķērsojumā.

Starpība starp laikā vidējoto sanešu pārvietošanās intensitāti pie Skultes ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlotā attēlā 101. **Šī sanešu pārvietošanās intensitātes starpība ir kritērija D7C1 trešā indikatora telpiskais sadalījums.** Kopumā apgabals, kurā mainās sanešu pārvietošanās intensitāte ir lielāks nekā apgabali, kurā mainās vidējie viļņu augstums un straumes ātrums.



Attēls 100: Sanešu plūsmas intensitātes sadalījums Skultes ostas apkārtnē 2005-2018.gg. situācijas ar un bez hidrobūvēm.

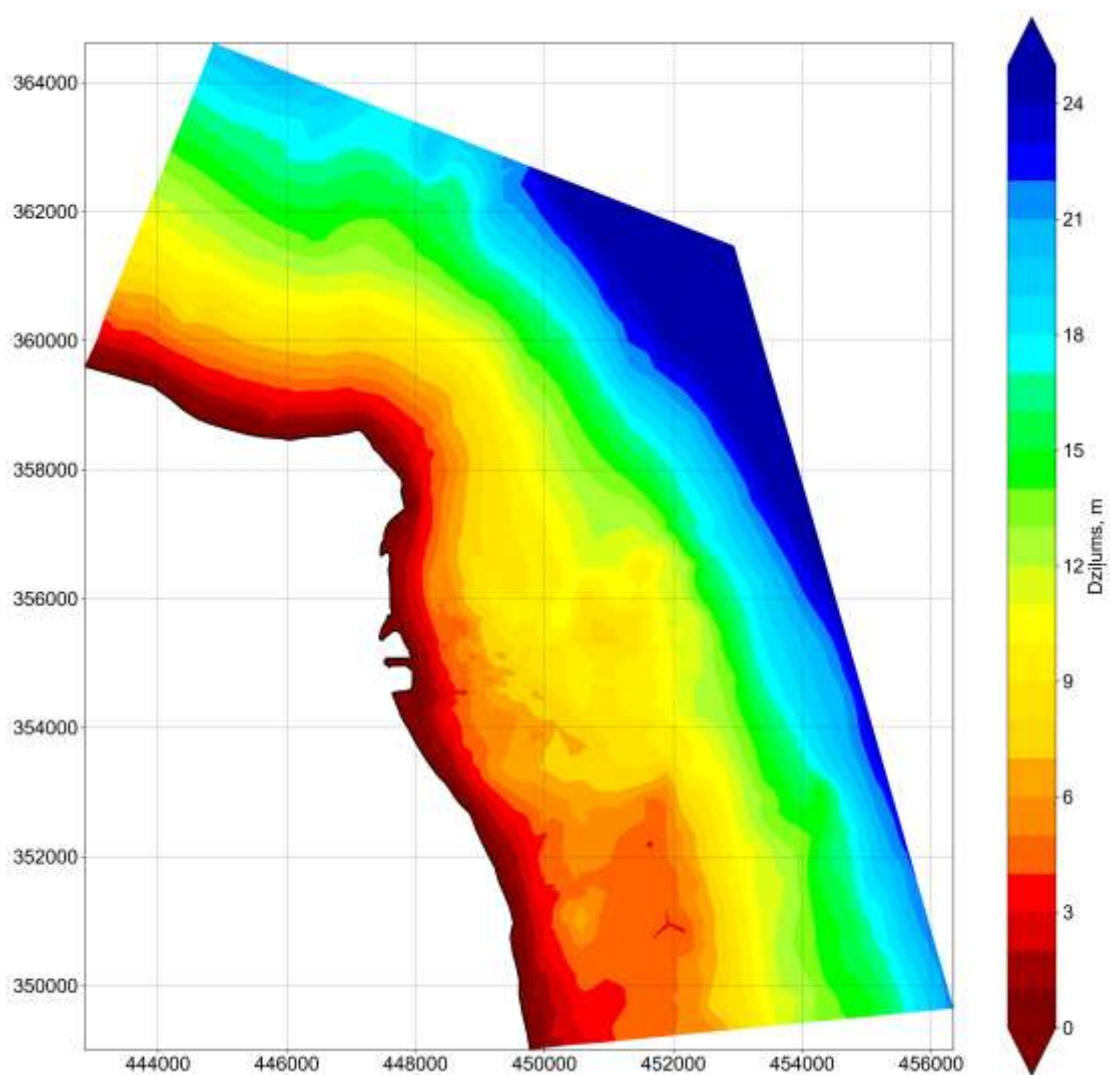


Attēls 101. Vidējās sanešu pārvietošanās intensitātes izmaiņas Skultes ostas hidrobūvju dēļ.

1. Sanešu pārvietošanās vidējā intensitāte samazinās 1.5-2 km abpus ostai krasta zonā; šis ir apgabals, kurā jūtama hidrobūvju radītā garkrasta straumes samazināšanās. Tajā pat laikā sanešu pārvietošanās intensitāte samazinās arī padziļinātajā apgabalā ārpus ostas vārtiem dziļumu pieauguma dēļ – navigācijas kanālā, sanešu uztvērējos, kā arī tiem piegulošajās viļņu lauka samazinājuma zonās, kas rodas navigācijas kanālam defokusējot ostai pienākošos viļņus.
2. Sanešu pārvietošanās intensitāte pieaug uz jūras pusi no ostas abpus navigācijas kanālam. Šī ir zona, kurā smiltis pārnesošā garkrasta straume apliec hidrobūves.

### 6.3.5. Mērsraga osta

Mērsraga ostas apkārtnes dziļumu sadalījums konfigurācijai bez ostas hidrobūvēm parādīts attēlā 102.

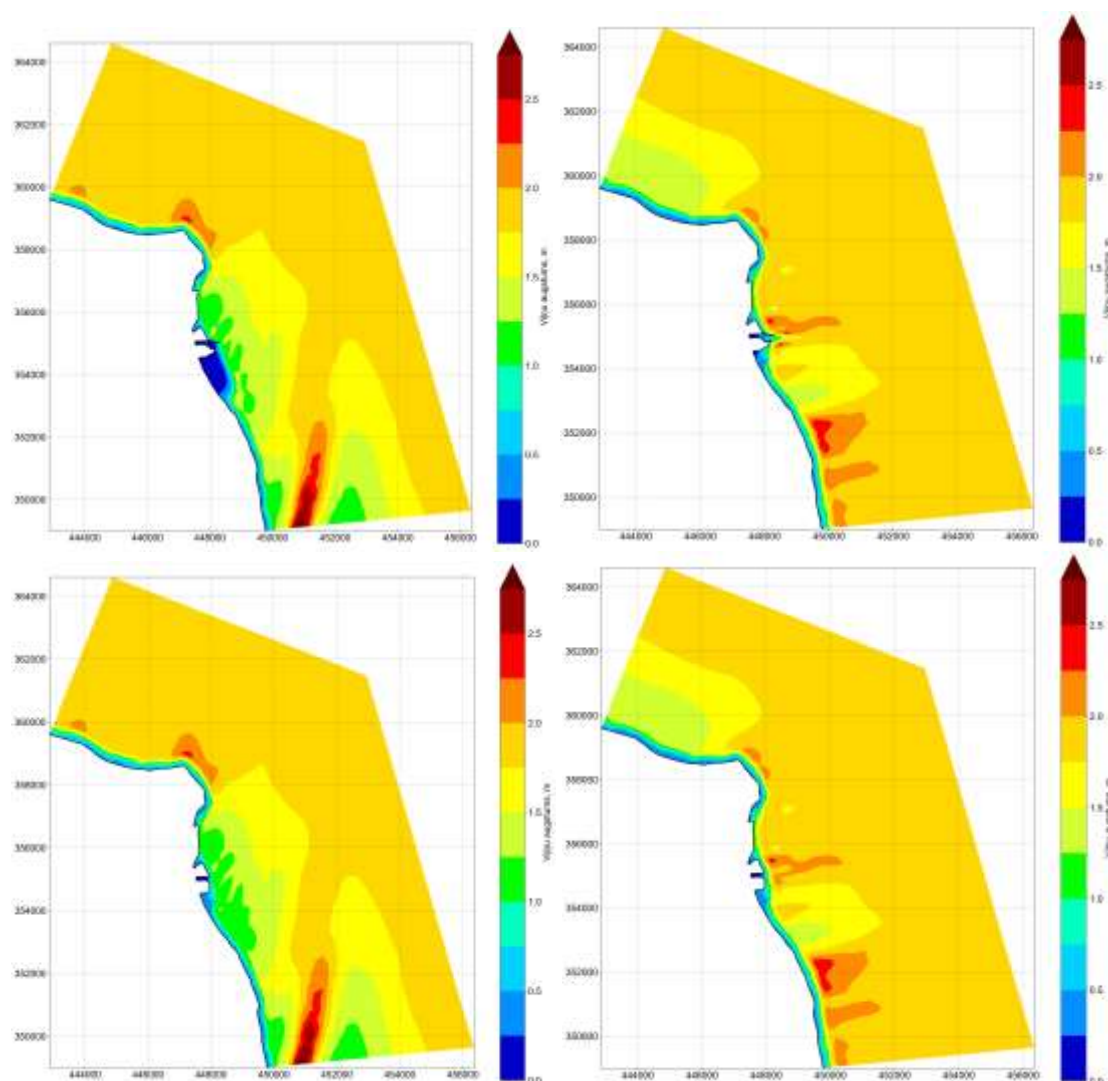


Attēls 102: Dziļumu sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē bez ostas hidrobūvēm.

Attēlā 103 parādīts nozīmīgo viļņu augstums Mērsraga ostas apkārtnē Z un A vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m situācijām ar un bez ostas hidrobūvēm. Mērsrags veido dabisku aizsegu abu virzienu viļņiem. Viļņu lauka nevienmērīgums ir izteiktāks uz D no ostas, kur to nosaka dziļumu sadalījums. Hidrobūvju neesamība rada ēnas zonu uz



D no ostas ziemeļu vētras gadījumā, kamēr austrumu vētras situācijā vērojama vien neliela viļņu lauka atšķirība, tiem defokusējoties uz ostas navigācijas kanāla.

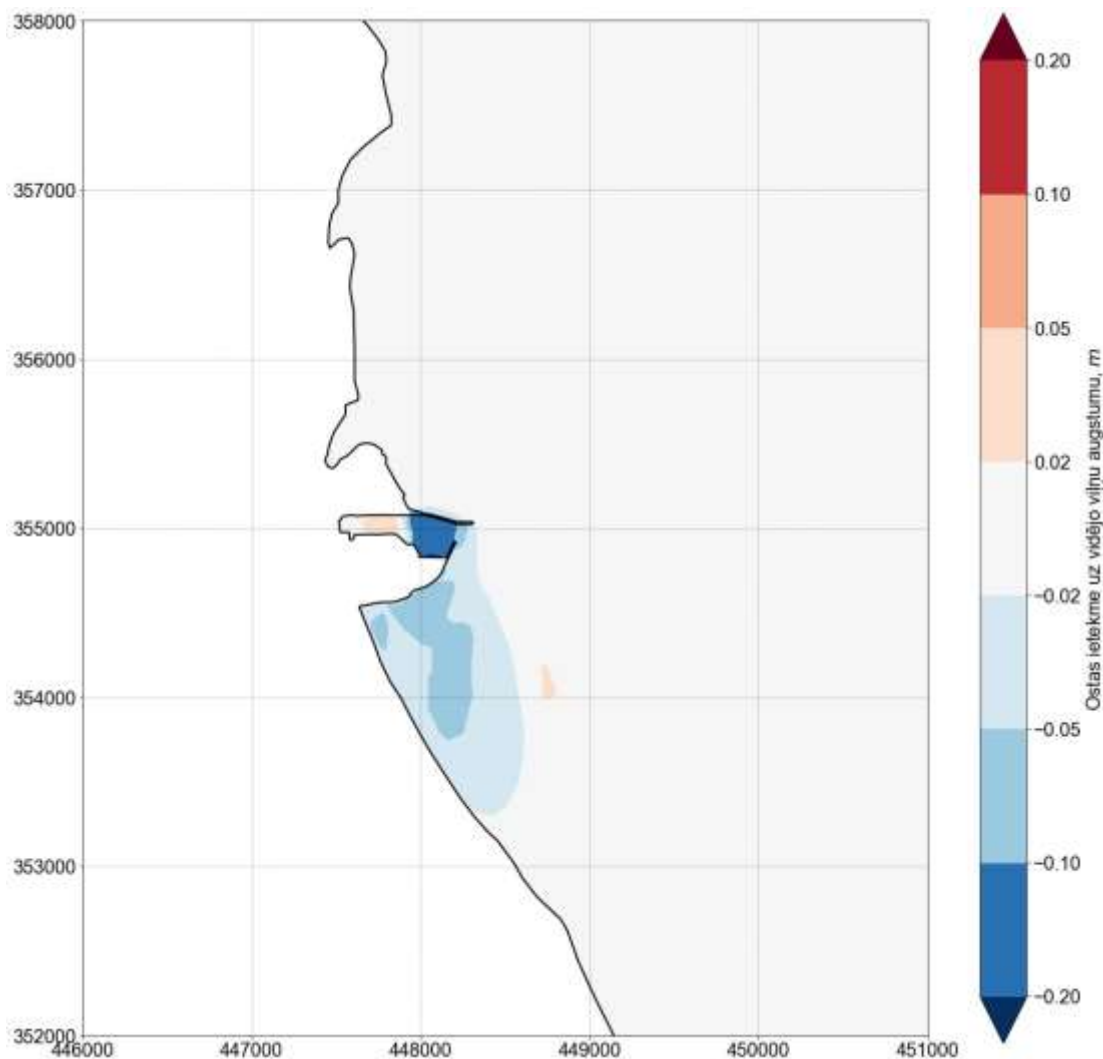


Attēls 103: Nozīmīgo viļņu augstums Mērsraga ostas apkārtnē Z un A vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Starpība starp laikā vidēdotām viļņu augstuma vērtībām pie Mērsraga ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 104. **Šī nozīmīgā viļņu augstuma starpība ir kritērija D7C1 pirmā indikatora telpiskais sadalījums.** Hidrobūvju izveides dēļ viļņu augstums tikai samazinās, veidojoties līdz 1 km garai ēnas zonai uz dienvidiem no ostas.

Attēlā 105 parādīts straumju sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē Z un A vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m situācijām ar un bez ostas hidrobūvēm. Z vētru gadījumā viscaur modeļapgabalā garkrasta straumes vērsta D virzienā, tās maksimums ir apliecot Mērsraga ragu. Hidrobūvju dēļ garkrasta straume atjaunojas aptuveni kilometru tālāk uz dienvidiem, nekā situācijā bez hidrobūvēm. Savukārt, A vētru situācijā garkrasta straume vērsta Kolkas raga virzienā tikai uz ZR no Mērsraga, bet uz D no raga piekrastē veidojas cirkulācijas šūnas, kuru konfigurāciju krastam perpendikulāri pienākošu viļņu gadījuma nosaka viļņu enerģijas sadalījums.

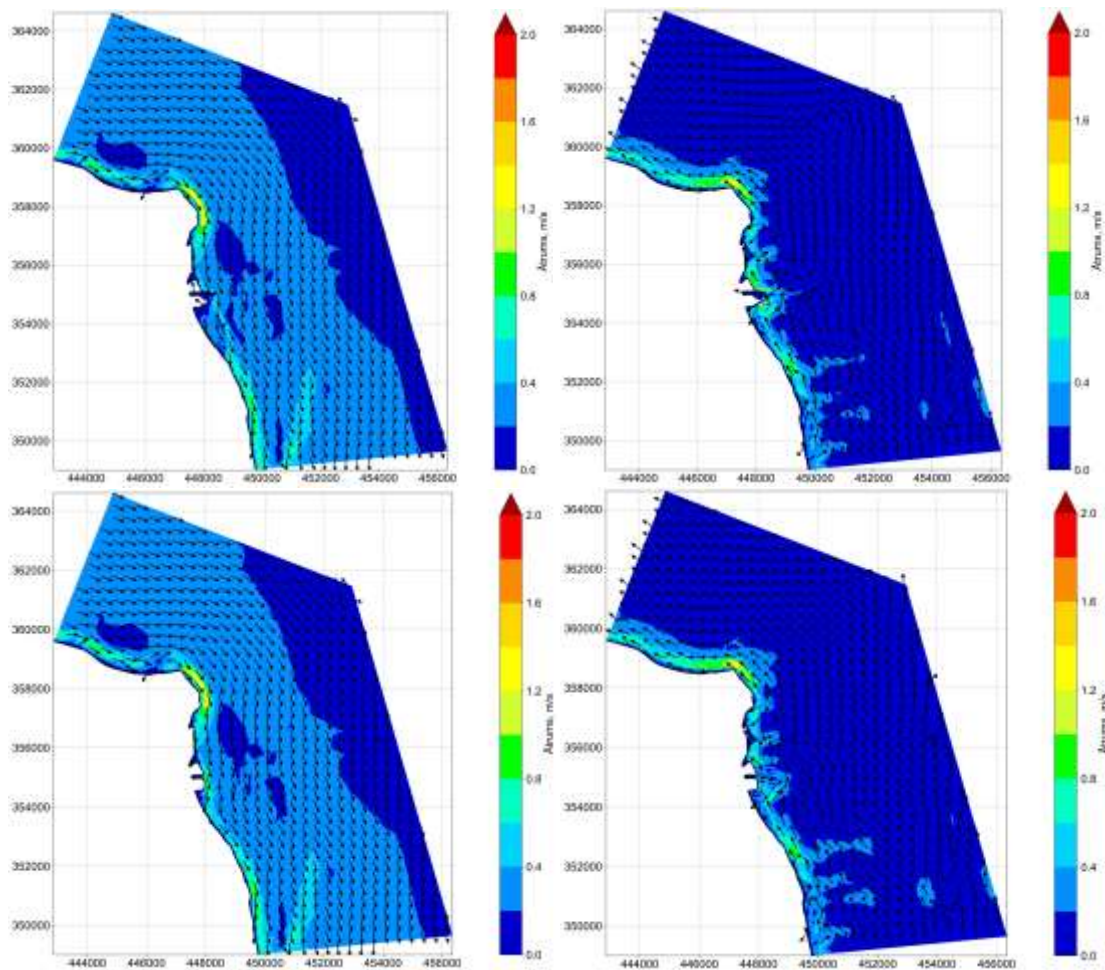
Hidrobūvju apkārtnē veidojas sarežģīta straumju struktūra, tai skaitā krasta līnijas konfigurācijas dēļ.



Attēls 104. Viļņu lauka augstuma izmaiņas Mērsraga ostas hidrobūvju dēļ.

Starpība starp laikā vidējotām straumes ātruma vērtībām pie Mērsraga ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 106. **Šī straumes ātruma starpība ir kritērija D7C1 otrā indikatora telpiskais sadalījums.**

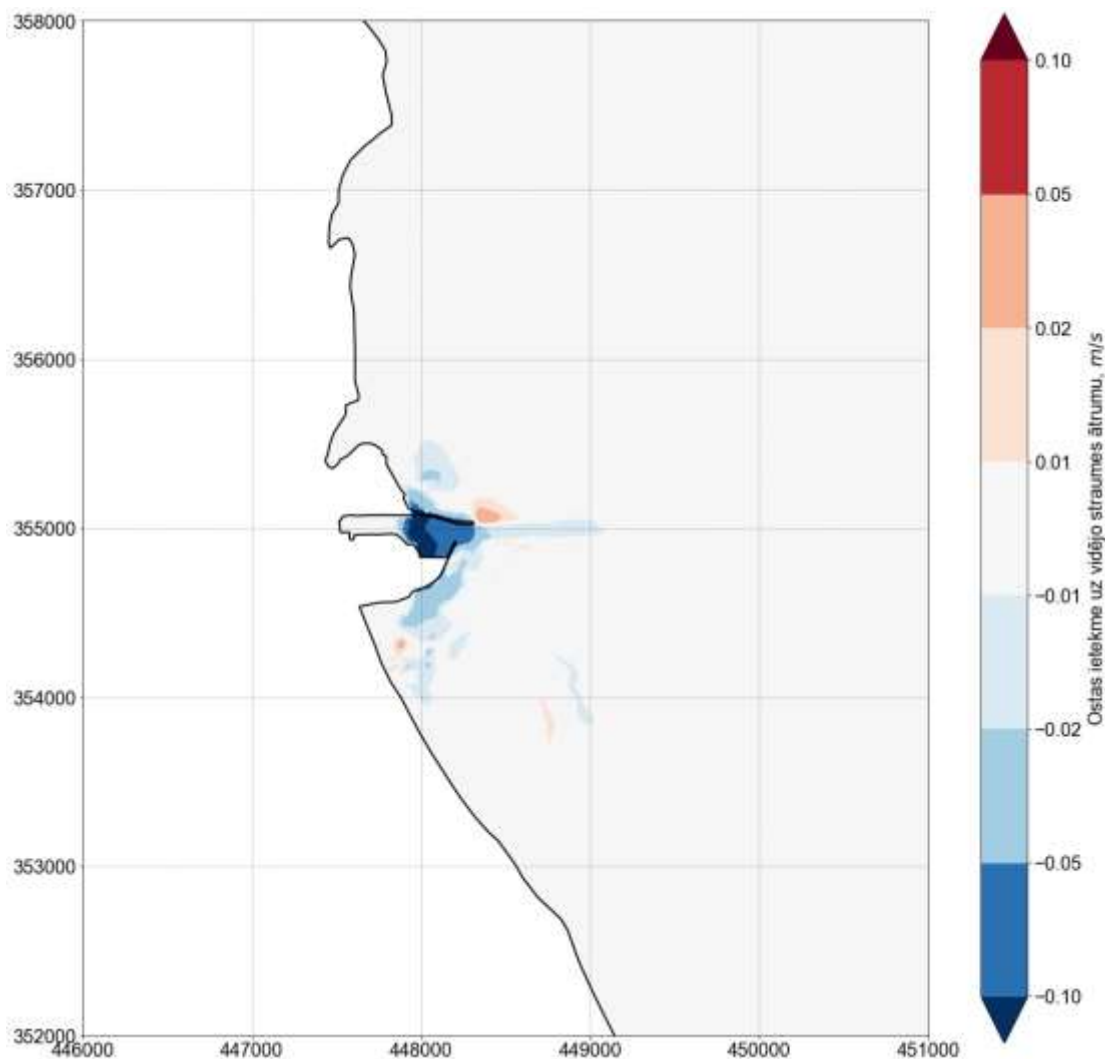
1. Hidrobūvju izveides dēļ straumes ātrums samazinās:
  - a. Viļņu lūšanas zonā abpus ostai, kur moli sabremzē garkrasta straumi, noliecot to jūras virzienā; šī zona sakrīt arī ar ēnas zonu no pretējās puses pienākošajiem viļņiem.
  - b. Navigācijas kanāla šķērsojumā, kur palielinās ūdens kolonas dziļums
2. Straumes ātrums palielinās uz jūras pusi no Z mola. Tā ir zonā, kur garkrasta straume Z-ZR vētru gadījumā atvirzās jūras virzienā. Šādas zonas nav uz DA no ostas.



Attēls 105: Straumju sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē Z un A vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.

Attēlā 107 parādīts suspendēto sanešu koncentrācijas sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē Z un A vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m situācijām ar un bez ostas hidrobūvēm. Lielākās sanešu koncentrācijas ir viļņu lūšanas un garkrasta straumes zonās, kā arī apgabalos ar lielāku viļņu enerģiju. Ostas izveides rezultātā parādās (1) nozīmīgs suspendēto sanešu koncentrācijas minimums ēnas zonā uz D no ostas Z virziena vētru situācijā un (2) samazināta sanešu koncentrācija padziļinātajā navigācijas kanālā A vētru situācijā.

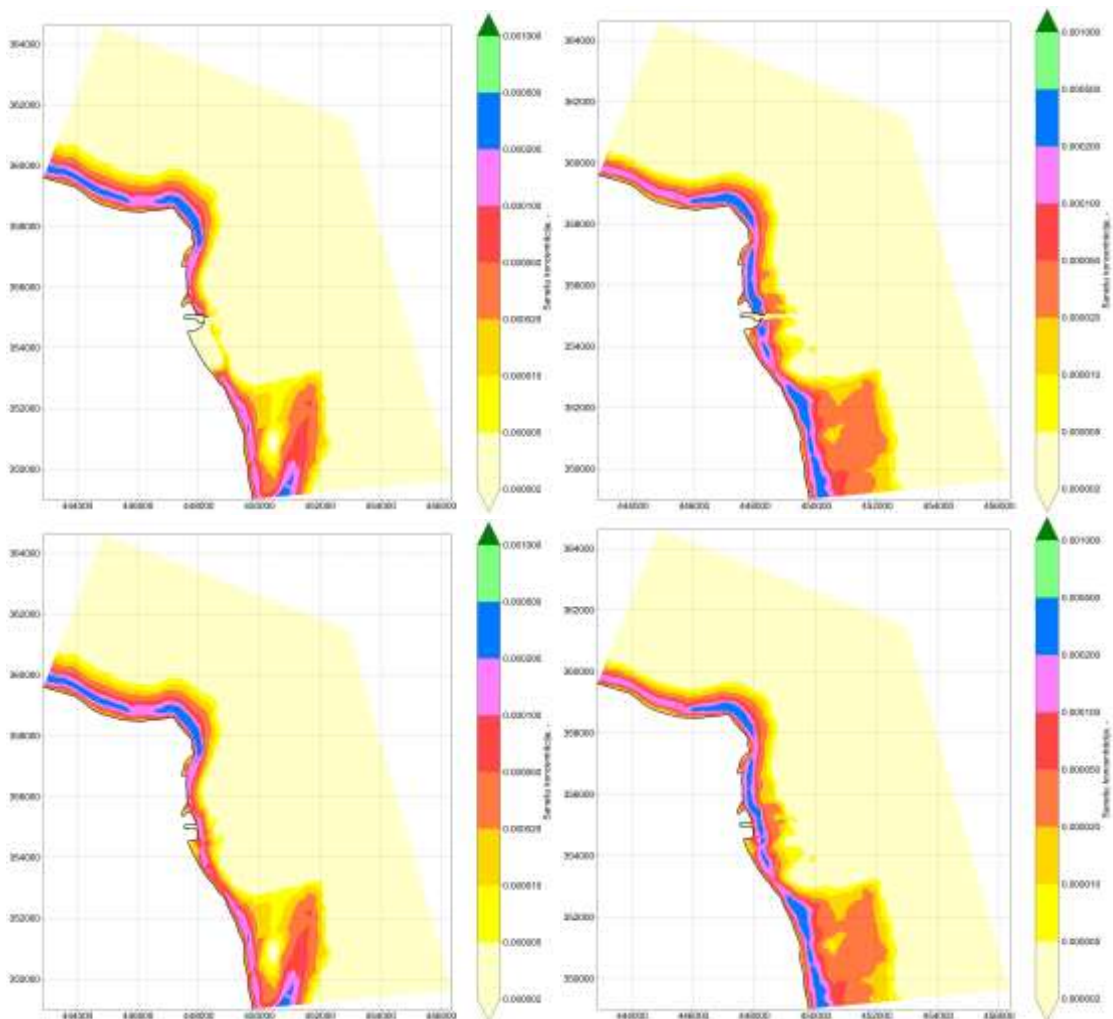
Attēlā 108 ilggadīgais vidējais sanešu plūsmas sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē 2005-2018.gg. parādīts situācijām ar un bez ostas hidrobūvēm. Mērsrags ir garkrasta sanešu plūsmas diverģences zona – uz Z no tā saneši pārvietojas Kolkas, bet uz D no tā – Engures virzienos.



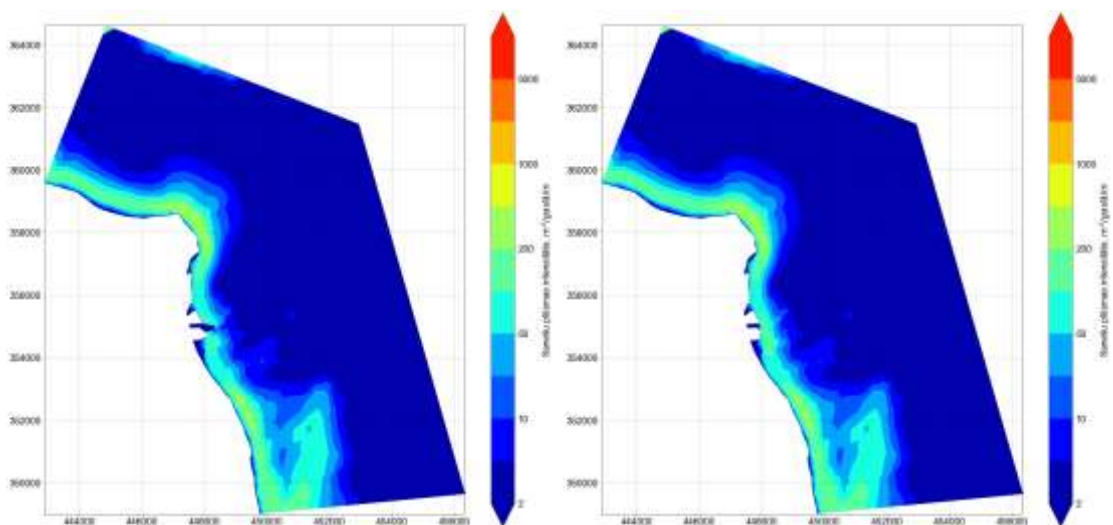
Attēls 106. Vidējā straumes ātruma izmaiņas Mērsraga ostas hidrobūvju dēļ.

Starpība starp laikā vidējoto sanešu pārvietošanās intensitāti pie Mērsraga ostas situācijām ar un bez hidrobūvēm attēlota attēlā 109. **Šī sanešu pārvietošanās intensitātes starpība ir kritērija D7C1 trešā indikatora telpiskais sadalījums.** Kopumā apgabals, kurā mainās sanešu pārvietošanās intensitāte ir lielāks nekā apgabali, kurā mainās vidējie viļņu augstums un straumes ātrums.

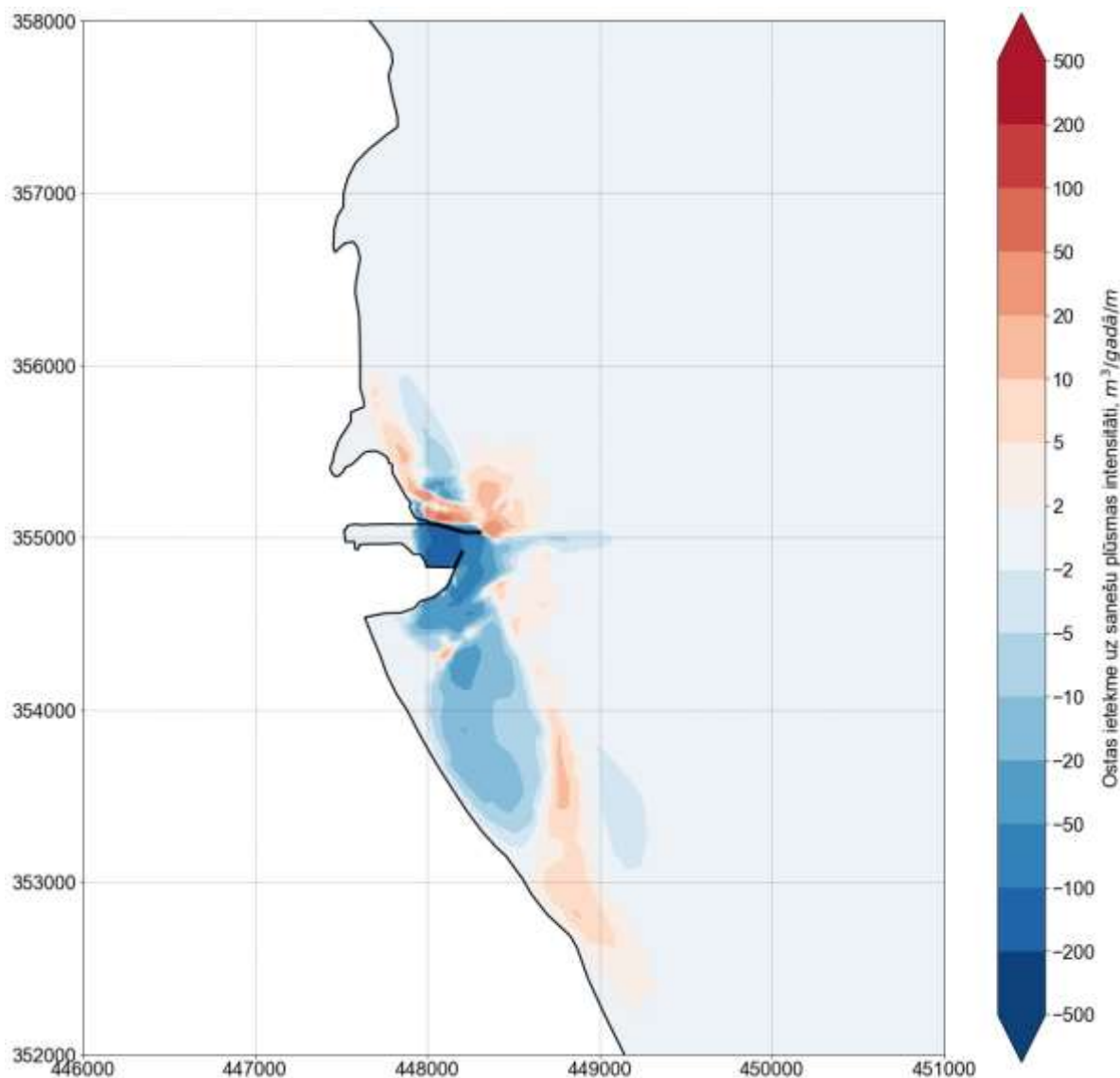
1. Sanešu pārvietošanās vidējā intensitāte samazinās
  - a. 1.5 posmā uz D no ostas krasta zonā; šīs Z-ZA vētru situācijām ir viļņu ēnas zonas apgabals, kurā neatjaunojas uz D vērsta garkrasta straume.
  - b. Padziļinātajā navigācijas kanālā dziļumu pieauguma dēļ.
  - c. Pārejas zonā uz Z no ostas, kur navigācijas kanālam defokusējot ostai pienākošos viļņus samazinās to iedarbība uz grunti.
2. Sanešu pārvietošanās intensitāte pieaug
  - a. Piekrastē uz Z no ostas un pie ostas Z mola, kur viļņiem lūstot pret hidrobūvēm veidojas tam paralēla straume.
  - b. Zonā uz Z no navigācijas kanāla. Šī ir zona, kurā smiltis pārnesošā garkrasta straume apliec hidrobūves.



Attēls 107: Suspendēto sanešu koncentrācijas sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē Z un A vētrām ar tāljūras viļņu augstumu 2 m. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.



Attēls 108: Sanešu pārvietošanās intensitātes sadalījums Mērsraga ostas apkārtnē 2005-2018.gg. Situācijas ar un bez hidrobūvēm.



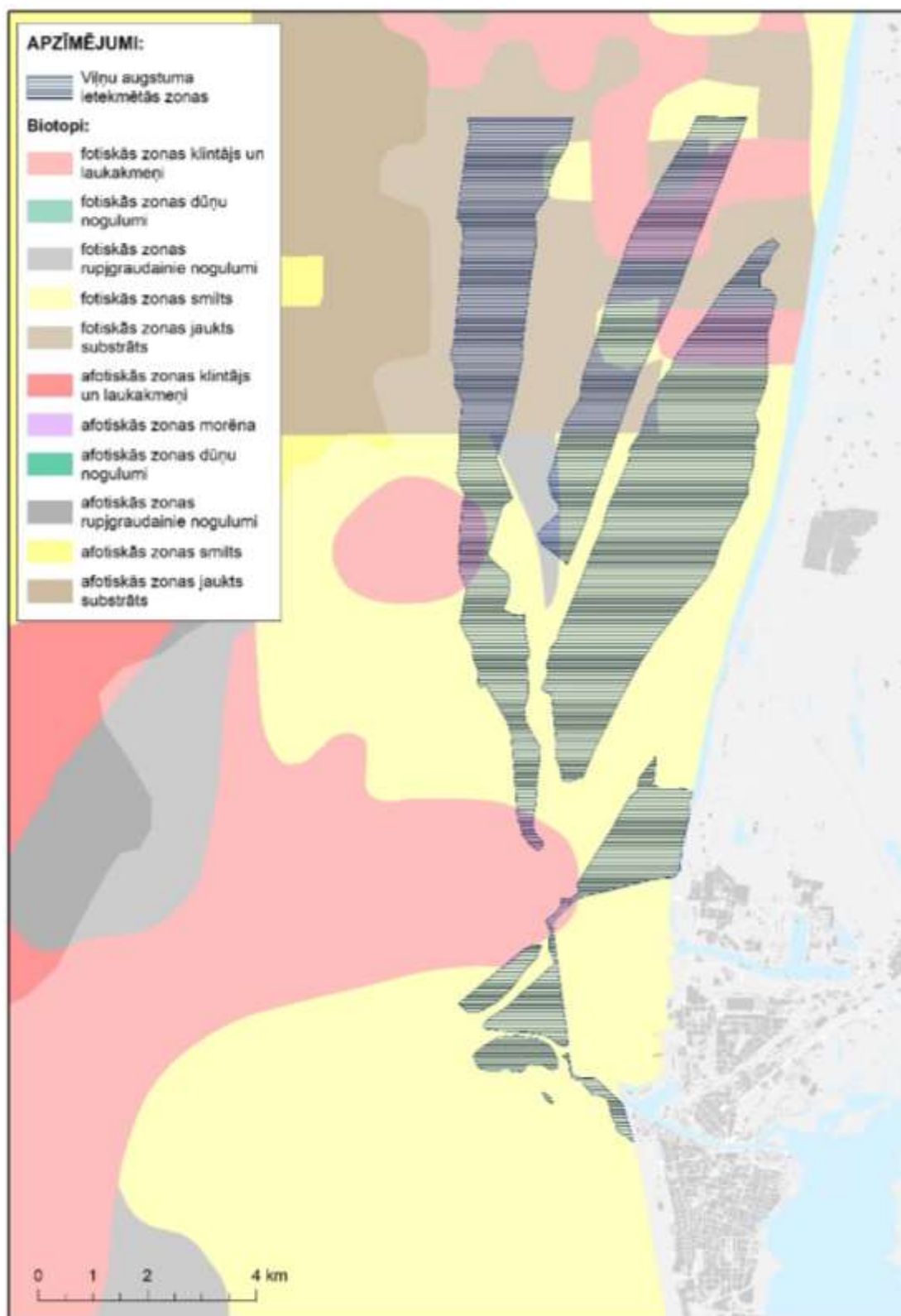
Attēls 109. Vidējās sanešu pārvietošanās intensitātes izmaiņas Mērsraga ostas hidrobūvju dēļ.

### 6.3.6. D7C2 indikatoru 4-6 aprēķins

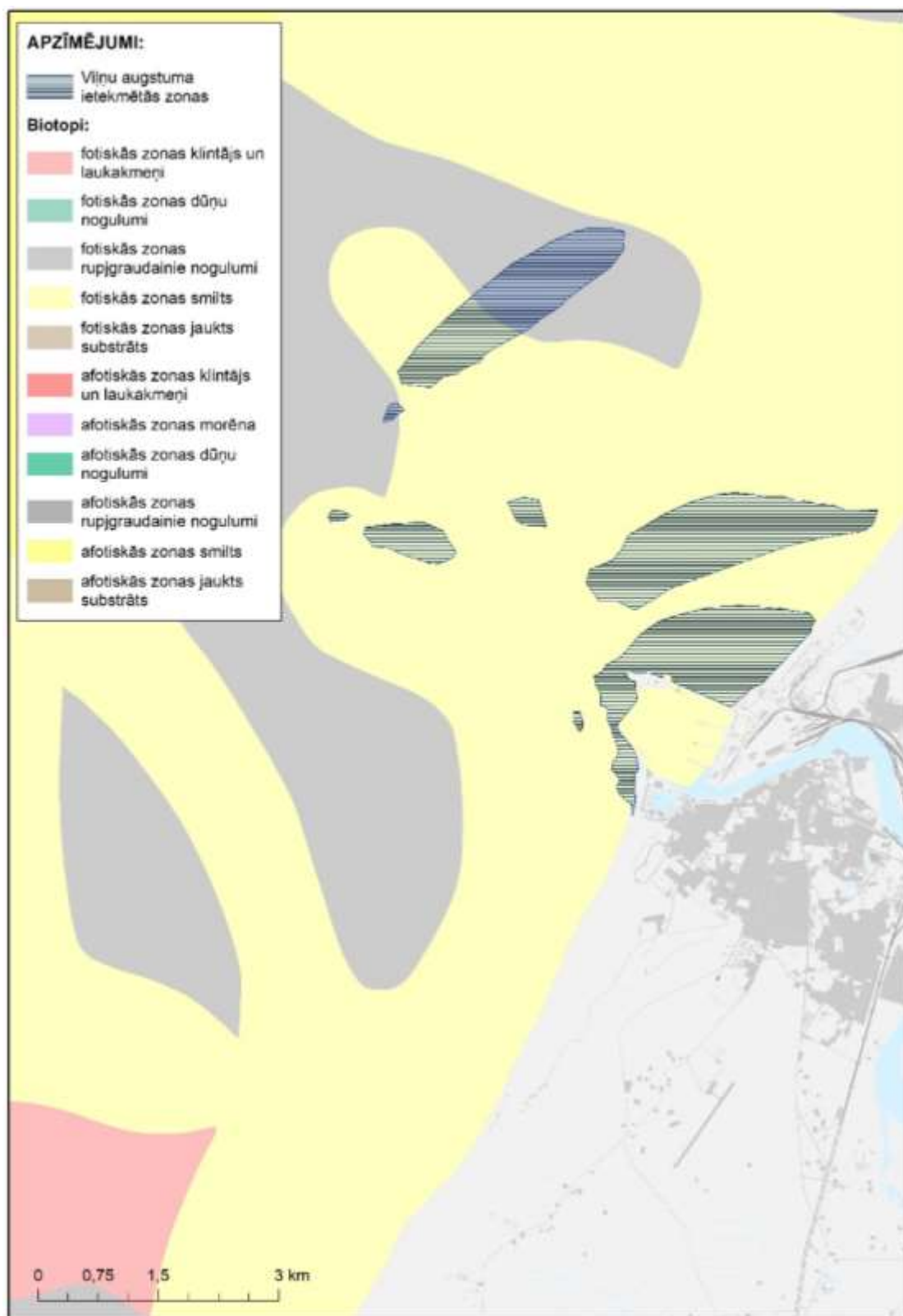
Visi trīs D7C2 kritērija izvēlētie indikatori aplūko biotopu stāvokli un tā potenciālās izmaiņas, ņemot vērā sadaļās 6.3.2- 6.3.5 iegūtos rezultātus par D7C1 kritērija indikatoriem 1-3. Pirmais D7C2 kritērija izvēlētais indikators raksturo viļņu kustības izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpisko sadalījumu un laukumu, otrais indikators raksturo straumju izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpisko sadalījumu un laukumu, bet trešais – sanešu plūsmas izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpisko sadalījumu un laukumu.

Lai noskaidrotu cik lielas platības no biotopu teritorijas ietekmē katrs indikators, vispirms no modeļaprēķiniem par ostu radīto ietekmi uz aplūkoto teritoriju (ietekme izteikta kā starpība starp stāvokli ar ostu un bez ostas), 10% no mazākajām ietekmes vērtībām (aprēķināti balstoties uz lielāko ietekmes vērtību) netika ņemti vērā. Pārējā

ostu radītā ietekme tika ņemta vērā, lai tālāk aprēķinātu kādu platību no katra konkrēta biotopa ietekmē katrs no D7C2 kritērija indikatoriem attiecīgajā ostā (3. tabula).



Attēls 110: Biotopu klasifikācija un viļņu kustības izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Liepājas ostas reģionā.

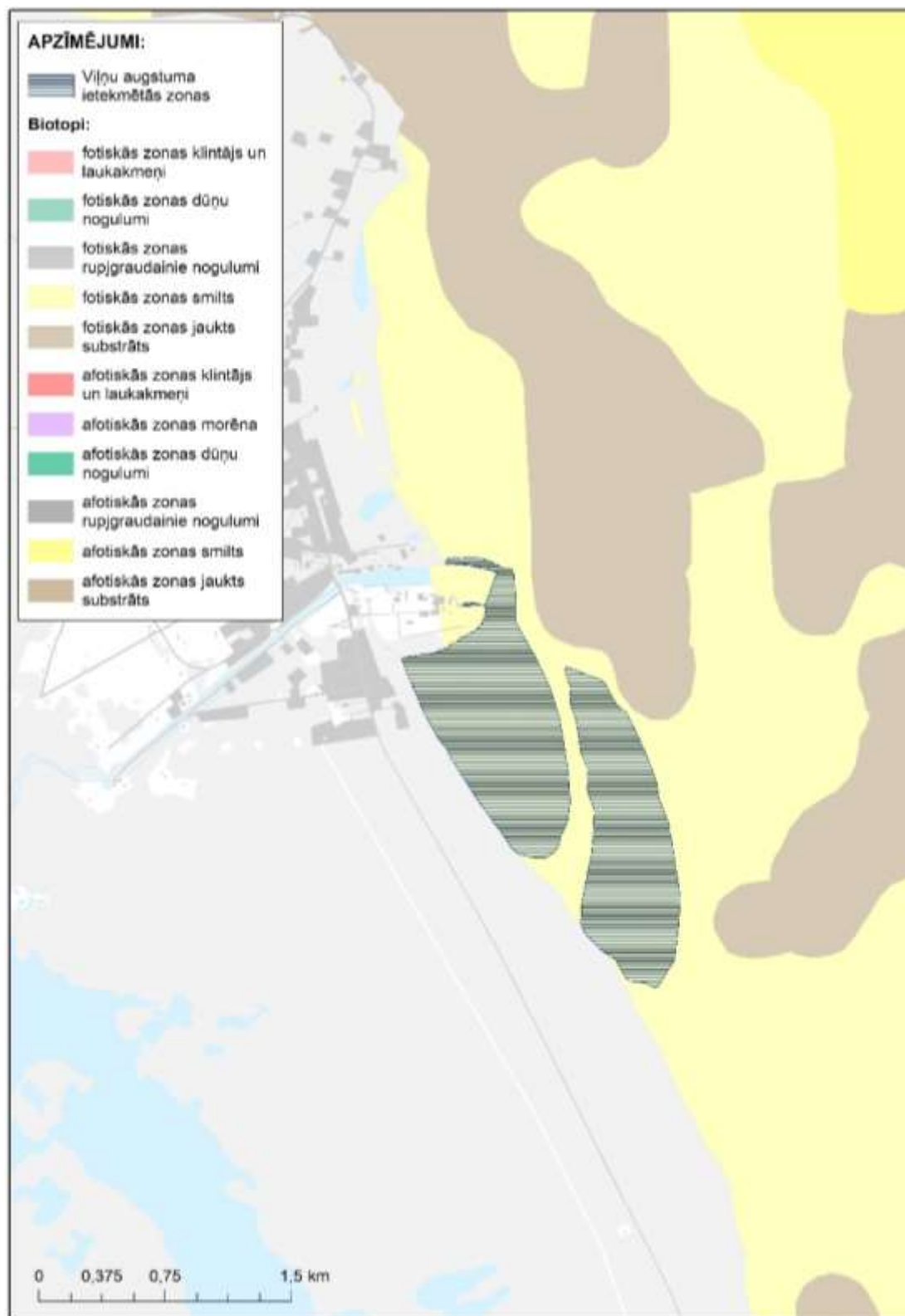


Attēls 111: Biotopu klasifikācija un viļņu kustības izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Ventspils ostas reģionā.

Attēlos 110-113 aplūkojams viļņu kustības izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpiskais sadalījums un laukums (indikatora 4) attiecīgi Liepājas, Ventspils, Mērsraga un Skultes ostā. No visām četrām ostām Liepājas ostas reģionā ir vislielākā viļņu



kustības izmaiņu ietekme uz biotopiem. Ietekmētā teritorija aptver četrus biotopu tipus (3. tabula) un kopējā ietekmētā platība ir aptuveni 4293 hektāri (ha).



Attēls 112: Biotopu klasifikācija un viļņu kustības izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Mērsraga ostas reģionā.

Vislielākā ietekme (2679 ha) ir uz Baltijas jūras fotiskās zonas smilts biotopu, kas veido aptuveni 19% no kopējās šī biotopa platības aplūkotajā reģionā. Platības ziņā mazāka ietekme (1146 ha) ir uz Baltijas jūras fotiskās zonas jaukta substrāta biotopu, taču šī ietekme ir aptuveni 43% no kopējās šī biotopa platības aplūkotajā reģionā. Atlikušajos divos biotopos (Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi un Baltijas jūras fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi) viļņu kustības izmaiņu ietekme ir salīdzinoši neliela, un tā veido attiecīgi aptuveni 6% un 1% no kopējā attiecīgā biotopa aplūkotajā reģionā.

Tabula 1: Aprēķinātās D7C2 kritērija indikatoru ietekmētās biotopu platības.

Osta	Biotops	Ietekmētā biotopa platība (ha)				% no kopējās biotopa platības				Kopējā biotopa platība (ha)
		straumes ātrums	saneļu plūsma	saneļu intensitāte	viļņu augstums	straumes ātrums	saneļu plūsma	saneļu intensitāte	viļņu augstums	
Liepāja	Baltijas jūras fotiskās zonas smilts	234.4	35.4	17.7	2679.3	1.7	0.1	0.1	19.0	14120.8
	Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi	214.3	1.1	0.4	431.6	2.8	0.01	0.01	5.5	7784.7
	Baltijas jūras fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi				36.2				1.4	2516.9
	Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts				1145.6				42.7	2682.7
Ventspils	Baltijas jūras fotiskās zonas smilts	95.9	194.9	224.2	616.7	1.3	2.6	3.0	8.2	7494.0
	Baltijas jūras fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi				127.5				5.6	2268.0
Mērsraga	Baltijas jūras fotiskās zonas smilts	49.6	49.3	54.3	167.0	2.2	2.1	2.4	7.2	2305.4
	Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts	11.4	1.3	0.8		0.7	0.1	0.1		1570.7
	Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts	68.1	50.6	24.9	41.8	6.7	5.0	2.4	4.1	1017.9
Skulte	Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi	6.7	2.9	8.9	22.1	5.1	2.2	6.7	16.8	131.3
	Baltijas jūras fotiskās zonas smilts	7.6	5.2	6.4	6.3	4.3	2.9	3.6	3.6	177.6
	Baltijas jūras fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi		0.00092				0.01			8.9

Ventspils ostas reģionā viļņu kustības izmaiņu ietekme aptver aptuveni 744 ha lielu platību, kas ir aptuveni 5,5 reizes mazāk nekā Liepājas ostas reģionā. Ietekmēti tiek 2 biotopu tipi - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (617 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi (127 ha), un ietekmēto biotopu platība attiecīgi veido aptuveni 8% un 6% no kopējās šo biotopu platības reģionā (3. tabula).

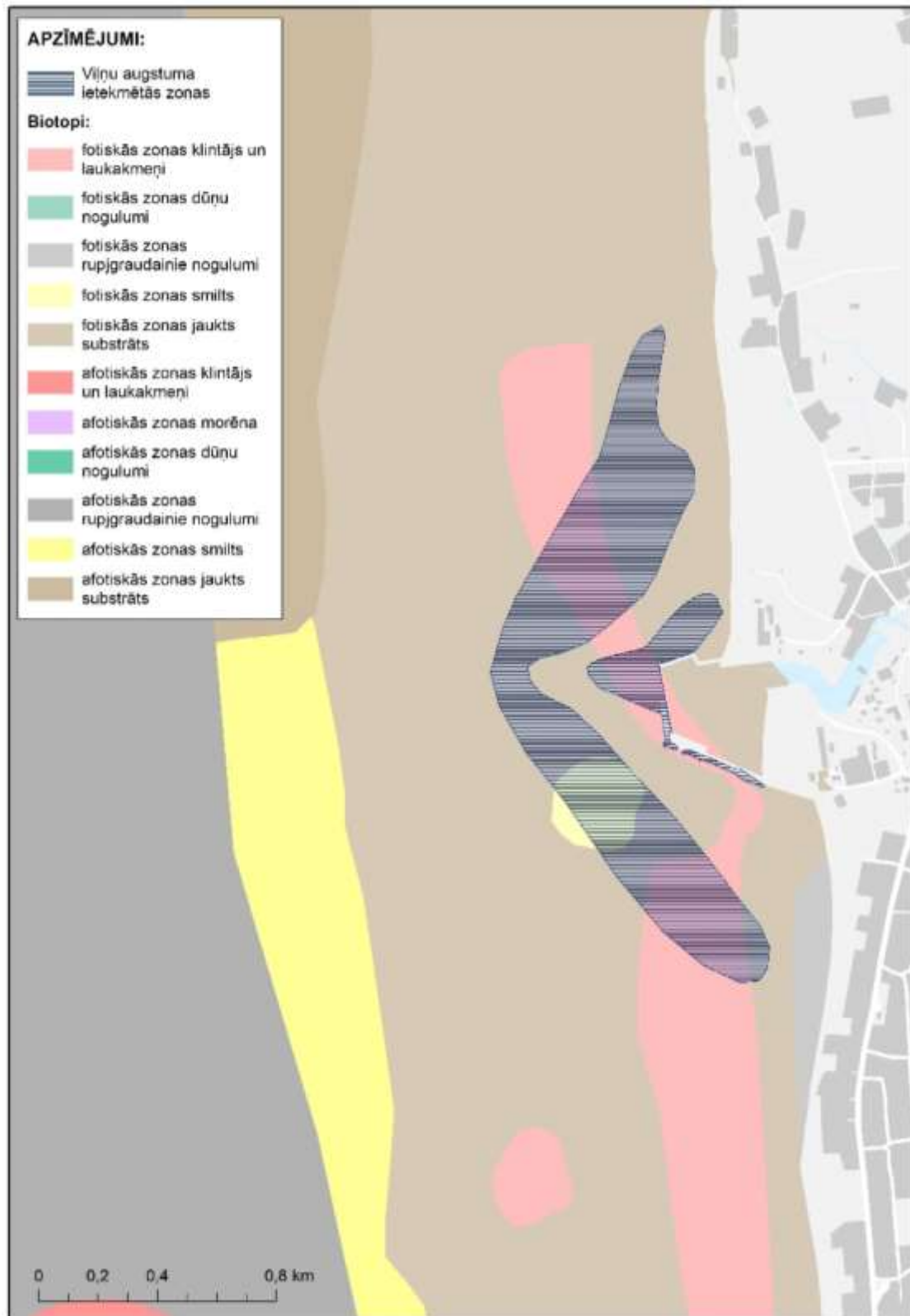
Rīgas līcī viļņu kustības izmaiņu ietekme ir mazāka nekā Liepājas un Ventspils ostu reģionos. Mērsraga ostas reģionā viļņu kustības izmaiņu ietekme aptver aptuveni 167 ha lielu platību, turklāt, ietekmēts tiek tikai 1 biotops - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts. Ietekmētā platība ir aptuveni 7% no kopējā attiecīgā biotopa aplūkotajā reģionā. Savukārt Skultes ostas reģionā viļņu kustības izmaiņu ietekme aptver tikai aptuveni 70 ha lielu platību. Ietekmēti tiek 3 biotopu tipi - Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts (42 ha), Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi (22 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (6 ha). Ietekmēto biotopu platība attiecīgi veido aptuveni 4%, 17% un 4% no kopējās šo biotopu platības reģionā (3. tabula).

Attēlos 114-117 aplūkojams straumes ātruma izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpiskais sadalījums un laukums (indikatora 5) attiecīgi Liepājas, Ventspils, Mērsraga un Skultes ostā.

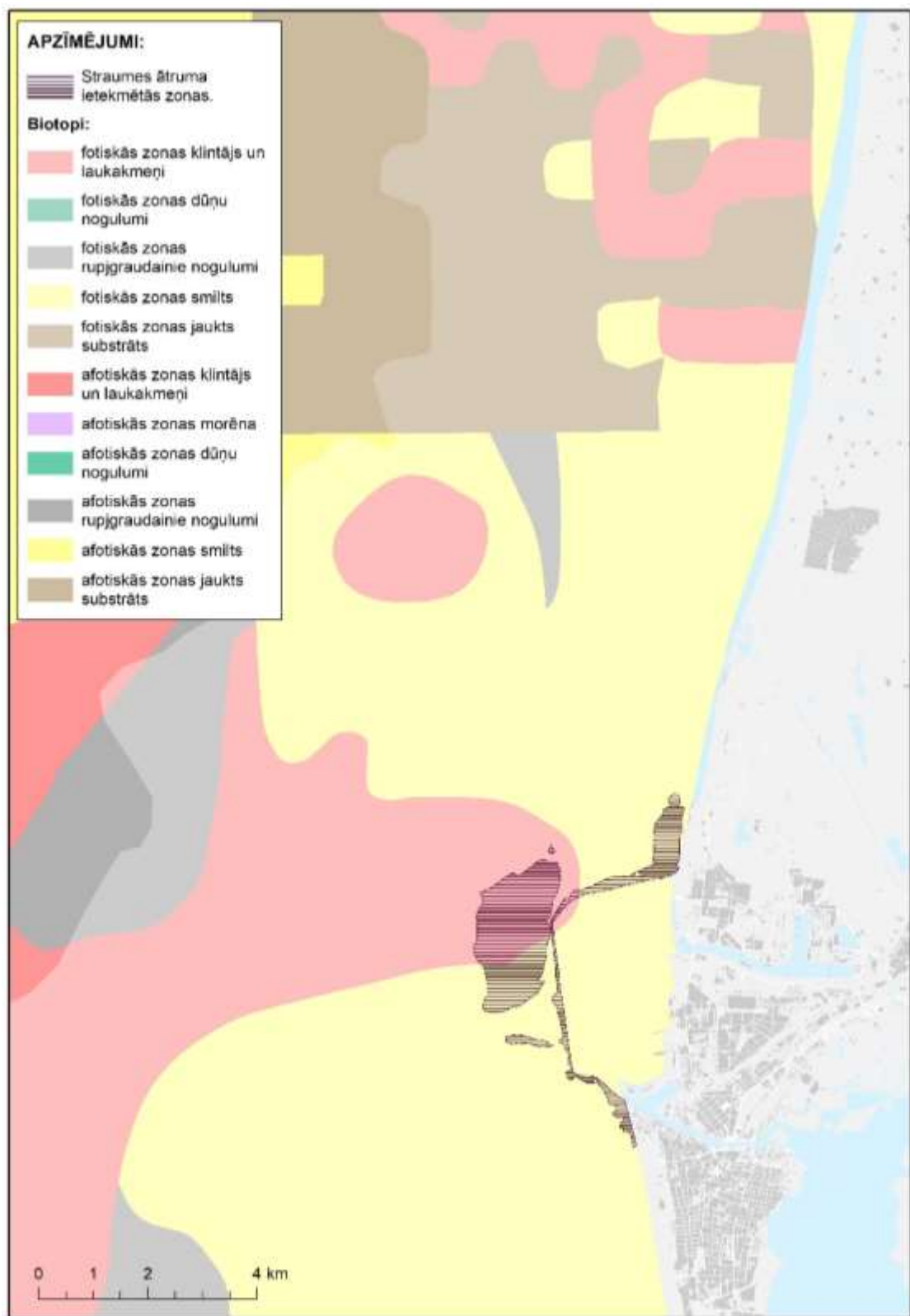
Līdzīgi kā ar viļņu kustības izmaiņu ietekmētajām platībām, arī vislielākās straumes ātruma izmaiņu ietekmētās platības ir novērojamas Liepājas ostas reģionā – aptuveni 449 ha (3. tabula). Ietekmēti tiek 2 biotopu tipi - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (235 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi (214 ha). Ietekmēto biotopu platība attiecīgi veido aptuveni 2% un 3% no kopējās šo biotopu platības reģionā.

Ventspils ostas reģionā straumes ātruma izmaiņu ietekme aptver aptuveni 96 ha lielu platību, kas ir aptuveni 4,5 reizes mazāk nekā Liepājas ostas reģionā. Ietekmēts tiek

tikai 1 biotopu tips - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (96 ha) un ietekmētā biotopa platība attiecīgi veido aptuveni 1% no kopējās šī biotopa platības reģionā (1. tabula).



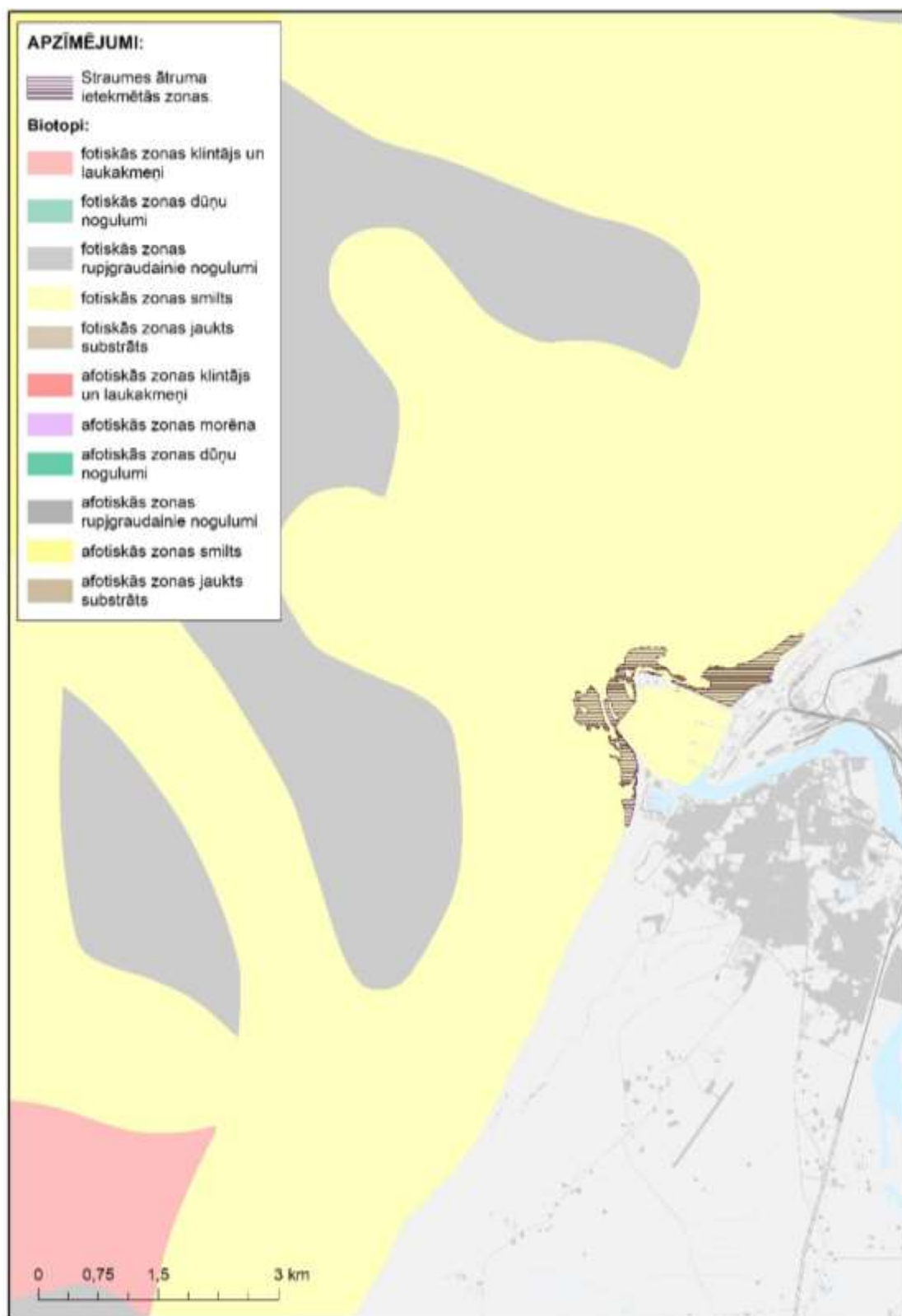
Attēls 113: Biotopu klasifikācija un viļņu kustības izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Skultes ostas reģionā.



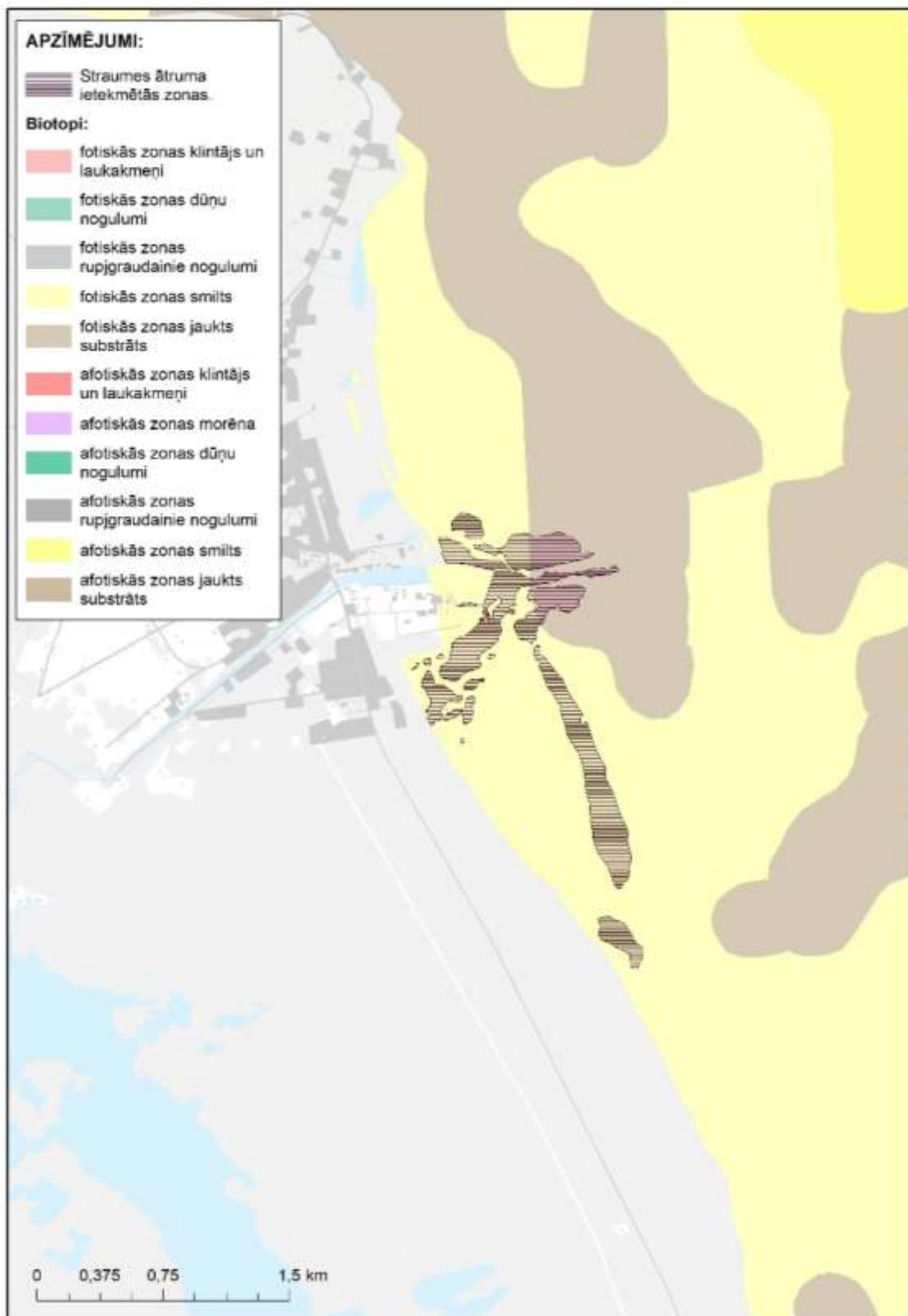
Attēls 114: Biotopu klasifikācija un straumes ātruma izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Liepājas ostas reģionā.

Rīgas līcī straumes ātruma izmaiņu ietekme ir līdzīga tai kāda novērota Ventspils ostas reģionā, taču nedaudz mazāka. Mērsraga ostas reģionā straumes ātruma izmaiņu ietekme aptver aptuveni 61 ha lielu platību. Ietekmēti tiek 2 biotopi - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (50 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts (11 ha).

Ietekmētās platības ir attiecīgi aptuveni 2% un 1% no kopējā attiecīgā biotopa aplūkotajā reģionā.



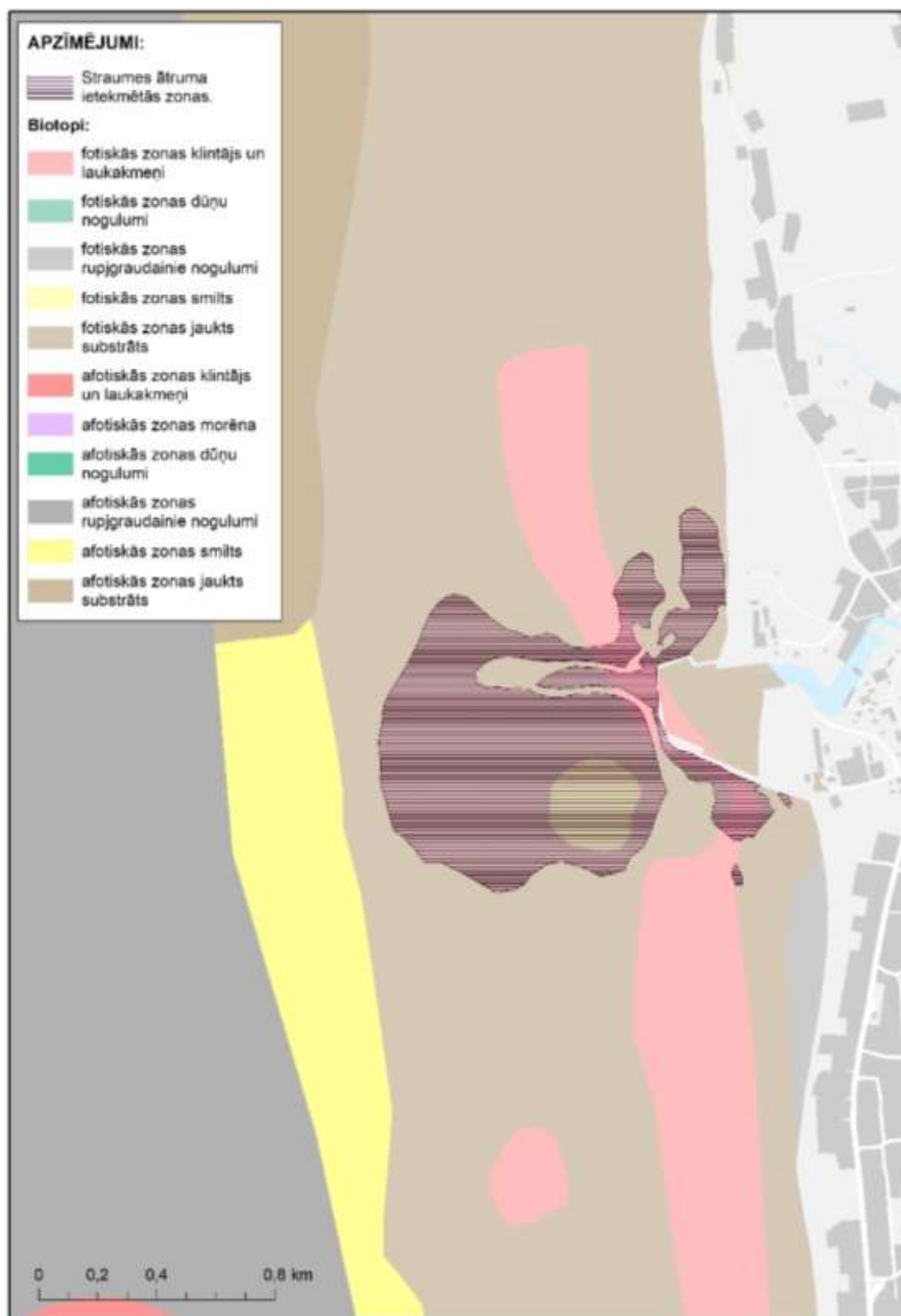
Attēls 115: Biotopu klasifikācija un straumes ātruma izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Ventspils ostas reģionā.



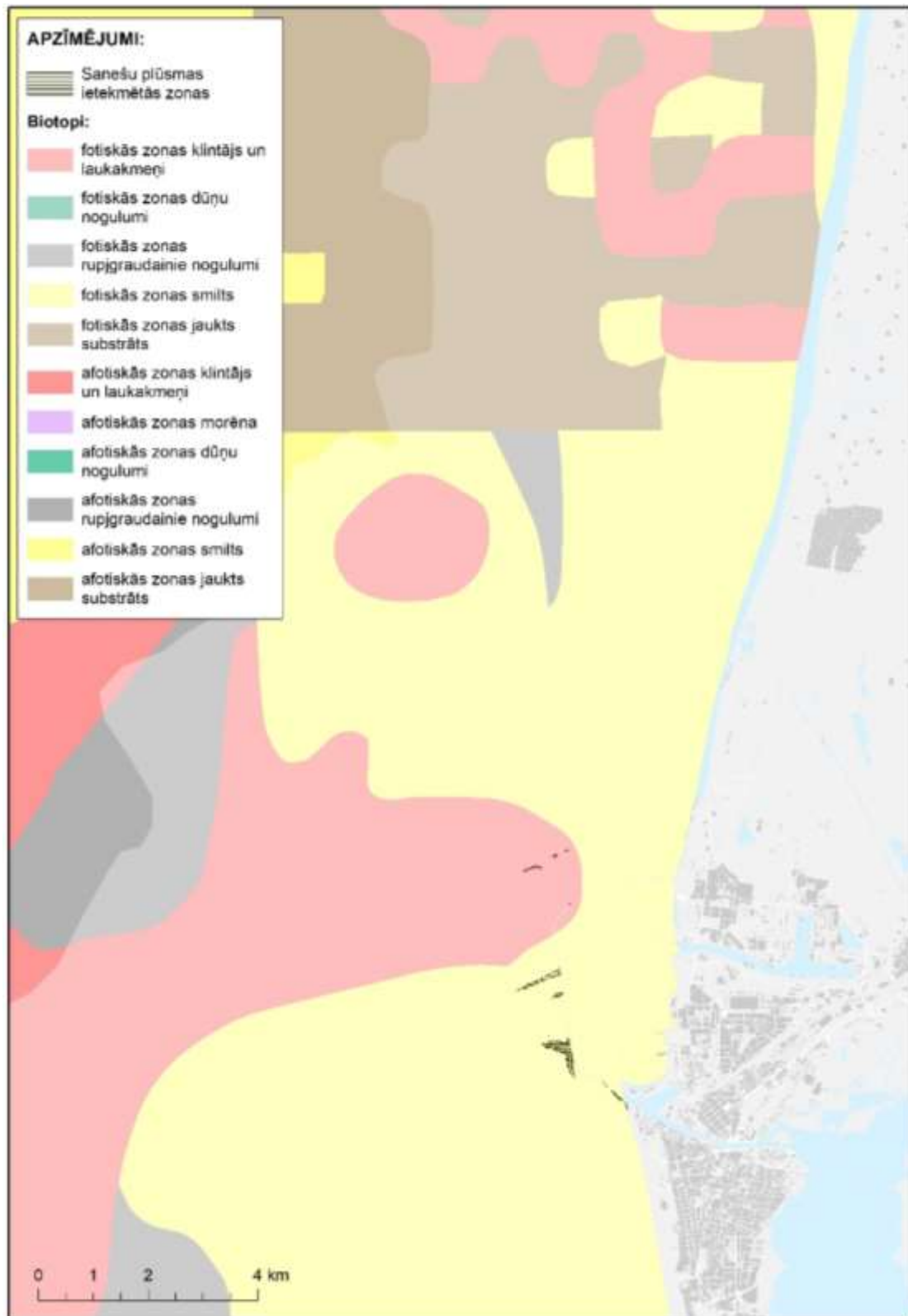
Attēls 116: Biotopu klasifikācija un straumes ātruma izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Mērsraga ostas reģionā.

Savukārt Skultes ostas reģionā straumes ātruma izmaiņu ietekme aptver aptuveni 82 ha lielu platību. Ietekmēti tiek 3 biotopu tipi - Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts (68 ha), Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi (7 ha) un Baltijas jūras

fotiskās zonas smilts (7 ha). Ietekmēto biotopu platība attiecīgi veido aptuveni 7%, 5% un 4% no kopējās šo biotopu platības reģionā (3. tabula).



Attēls 117: Biotopu klasifikācija un straumes ātruma izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Skultes ostas reģionā.

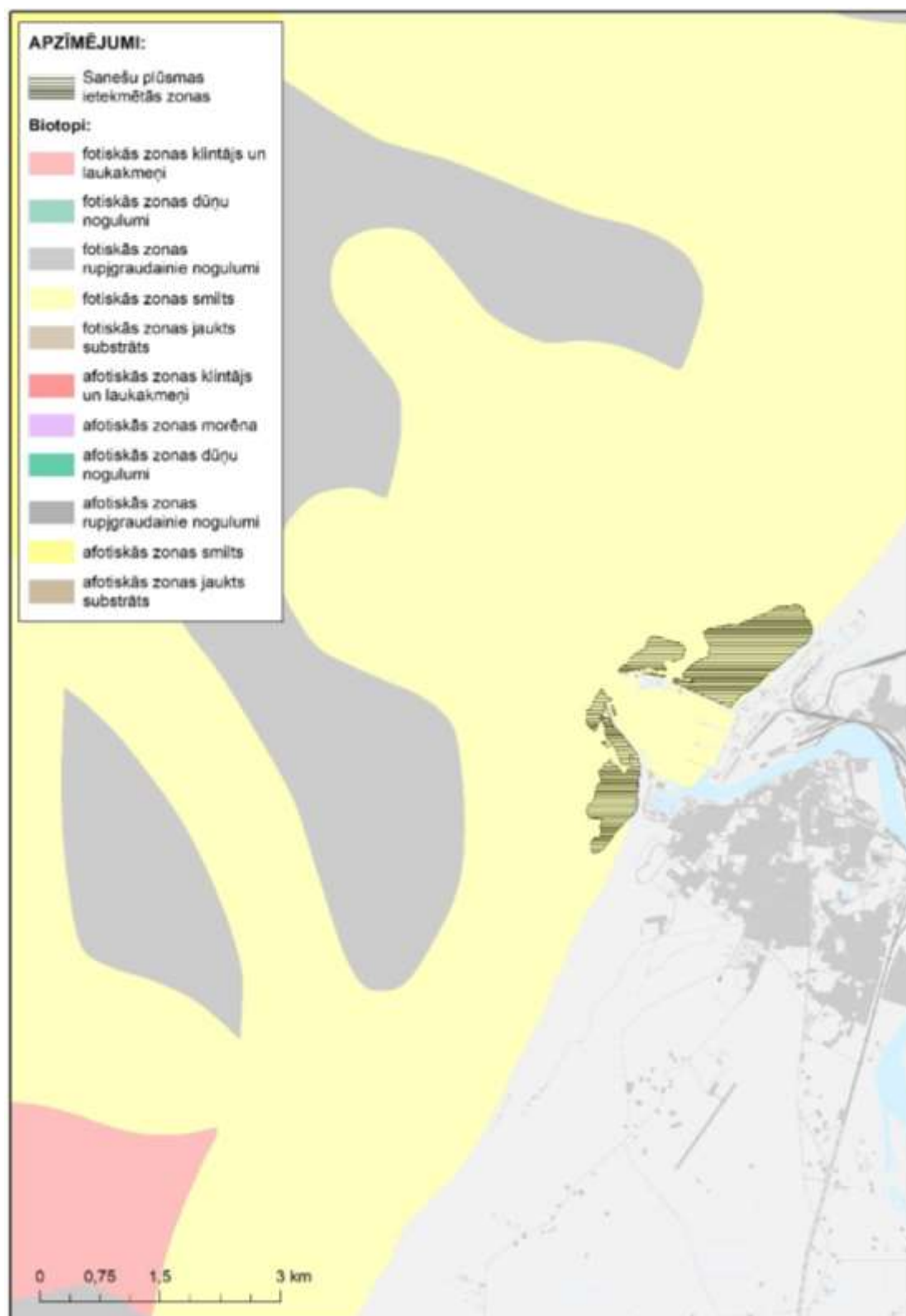


Attēls 118: Biotopu klasifikācija un sanešu plūsmas izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Liepājas ostas reģionā.

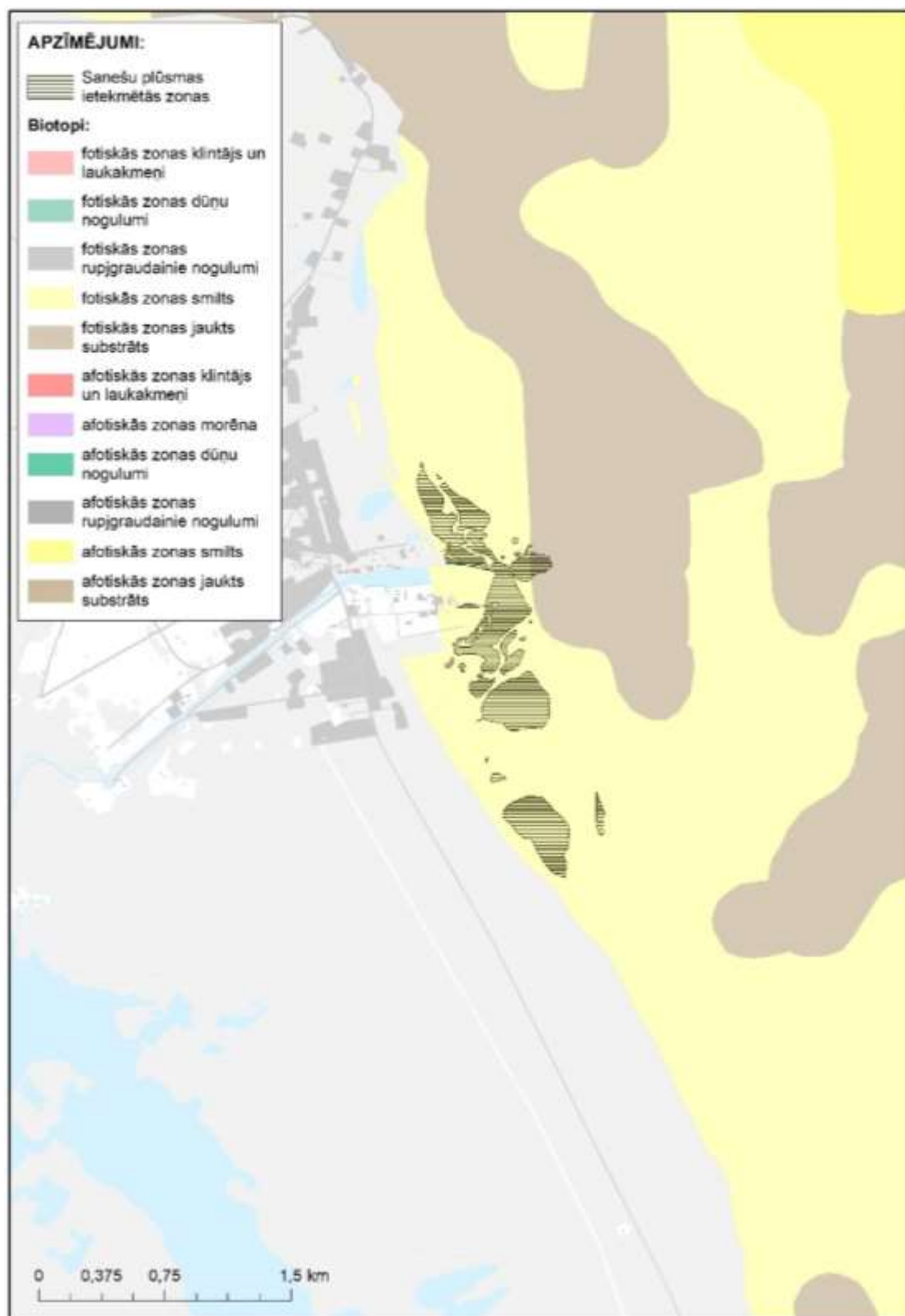
118-121 attēlos aplūkojams sanešu plūsmas izmaiņu ietekmēto biotopu lieltipu telpiskais sadalījums un laukums (indikators 6), attiecīgi, Liepājas, Ventspils, Mērsraga un Skultes ostā. Atšķirībā no viļņu kustību izmaiņu un straumju izmaiņu ietekmes, sanešu plūsmas izmaiņu ietekmētās platības Liepājas ostas reģionā ir vismazākās no



visām ostām – aptuveni 16 ha (3. tabula). Ietekmēti tiek 2 biotopu tipi - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (15 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi (1 ha). Ietekmēto biotopu platība attiecīgi veido aptuveni 0.1% un 0.01% no kopējās šo biotopu platības reģionā.

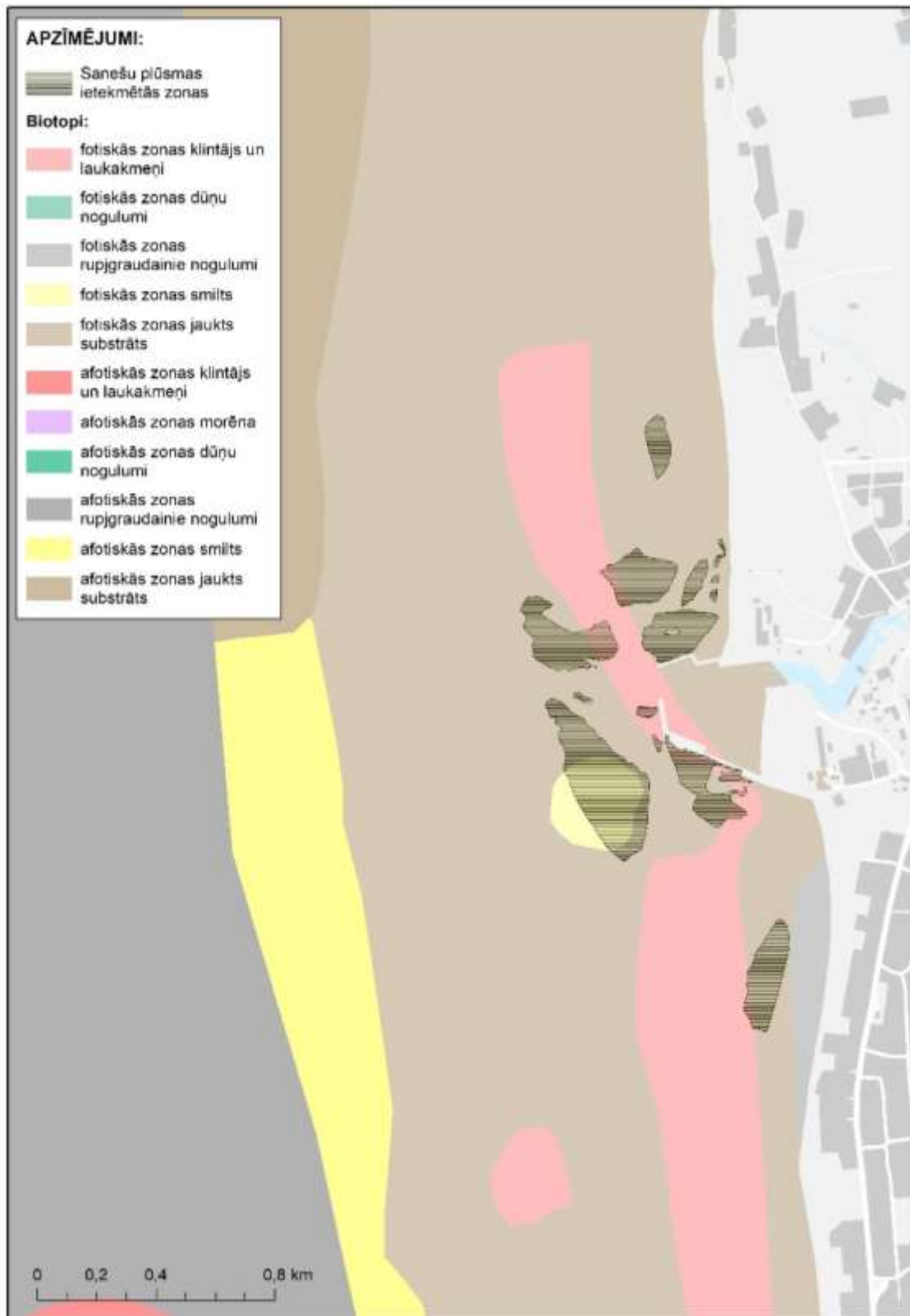


Attēls 119: Biotopu klasifikācija un sanešu plūsmas izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Ventspils ostas reģionā.



Attēls 120: Biotopu klasifikācija un sanešu plūsmas izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Mērsraga ostas reģionā.

Ventspils ostas reģionā sanešu plūsmas izmaiņu ietekme aptver aptuveni 195 ha lielu platību, kas ir aptuveni 12 reizes vairāk nekā Liepājas ostas reģionā. Ietekmēti tiek tikai 1 biotopu tips - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (195 ha) un ietekmētā biotopa platība attiecīgi veido aptuveni 3% no kopējās šī biotopa platības reģionā (3. tabula).



Attēls 121: Biotopu klasifikācija un sanešu plūsmas izmaiņu ietekmētie reģioni (tumši svītrotie laukumi) Skultes ostas reģionā.

Rīgas līcī sanešu plūsmas izmaiņu ietekme ir nedaudz lielāka kā Liepājā novērotā, taču aptuveni 3,5 reizes mazāka nekā tā novērota Ventspils ostas reģionā. Mērsraga ostas reģionā sanešu plūsmas izmaiņu ietekme aptver aptuveni 51 ha lielu platību. Ietekmēti

tiek 2 biotopi - Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (50 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts (1 ha). Ietekmētās platības ir attiecīgi aptuveni 2% un 0.1% no kopējā attiecīgā biotopa aplūkotajā reģionā. Savukārt Skultes ostas reģionā sanešu plūsmas izmaiņu ietekme aptver aptuveni 59 ha lielu platību. Ietekmēti tiek 4 biotopu tipi - Baltijas jūras fotiskās zonas jaukts substrāts (51 ha), Baltijas jūras fotiskās zonas klintājs un laukakmeņi (3 ha), Baltijas jūras fotiskās zonas smilts (5 ha) un Baltijas jūras fotiskās zonas rupjgraudainie nogulumi (0.001 ha). Ietekmēto biotopu platība attiecīgi veido aptuveni 5%, 2%, 3% un 0.01% no kopējās šo biotopu platības reģionā (3. tabula).

Aplūkojot visu izvēlēto indikatoru ietekmi uz biotopiem attiecīgajos ostu reģionos (110.-121. attēls), varam redzēt, ka indikatoru ietekmētā biotopu platība atšķiras gan starp izvēlētajiem indikatoriem, gan no konkrētās vietas jeb ostas, kas tiek aplūkota. Platības ziņā vislielākā ietekme uz biotopiem bija viļņu kustības izmaiņām (indikators 3), it īpaši Liepājas un Ventpils ostu reģionos (3. tabula). Straumes ātruma izmaiņu (indikators 4) un sanešu plūsmas izmaiņu (indikators 5) ietekmētie biotopi platības ziņā bija mazāki nekā viļņu kustības izmaiņām. Neskatoties uz to, visu iepriekš minēto indikatoru ietekme uz biotopu platību ir salīdzinoši neliela, ja šīs ietekmētās biotopu platības salīdzinām ar kopējo biotopu platībām aplūkotajos ostu reģionos (3. tabula). Tikai dažviet viļņu kustības izmaiņu ietekmētā biotopu platība ir lielāka par 8% no kopējās šo biotopu platības aplūkotajā reģionā (Baltijas jūras fotiskās zonas smilts un Baltijas jūras fotiskās zonas jaukta substrāta biotipi Liepājā – attiecīgi 19% un 43% no kopējā; Baltijas jūras fotiskās zonas klintāja un laukakmeņu biotips Skultē, ap 17% no kopējā). Straumes ātruma izmaiņu ietekmētie biotopi veido 0.7-6.7% no kopējām attiecīgo biotopu platībām visās aplūkotajās ostās, savukārt sanešu plūsmas izmaiņu ietekmētie biotopi veido 0.01-5.0% no kopējām attiecīgo biotopu platībām visās aplūkotajās ostās (3. tabula).

## 7. ELEKTRONISKIE NODEVUMI

### 7.1. Hidrometeoroloģiskie dati

Kopā ar starpziņojumu PAIC (2019b) tika sagatavoti un iesniegti hidrometeoroloģiskie dati – matemātisko modeļu ieejas datu kopas, sk. to apkopojumu tabulā 4.

Tabula 4: Ieejas hidrometeoroloģisko datu kopas, kas sagatavotas kā elektroniskie nodevumi.

Nr	Datu kopa	Laika periods	Fails, formāts
1	Klimatiskie viļņu dati profilu galapunktos	01-Jan-1951/31-Dec-2100	ascii
2	DMI WAM dati (viļņi, straumes, ūdenslīmenis) modeļapgabalā	01-Jūl-2014/29-Aug-2019	GRIB
3	DMI WAM dati (viļņi) profilu galapunktos	01-Jan-2005/31-Dec-2018	Shape, ascii
4	DMI WAM dati (viļņi, vējš, ūdenslīmenis) uz krastam paralēlas tālējūras līnijas	01-Jan-2005/31-Dec-2018	Shape, ascii

### 7.2. Modeļaprēķinu rezultāti

Modeļaprēķinu rezultāti iesniegti ĢIS kartogrāfiskos materiālu vektordatu datņu formātā.

Tai skaitā uz krastam paralēlas līnijas apkopoti sekojoši dati

- Garkrasta sanešu pārvietošanās intensitāte kubikmetros gadā (Sanešu pārvietošanās indikators S1)
- Garkrasta sanešu plūsma kubikmetros gadā
- Garkrasta sanešu plūsmas bilance (divergence - sanešu pārvietošanās indikators S2)
- Krasta līnijas pārvietošanās pēc EMODNET (sanešu pārvietošanās indikators S4).
- Krasta līnijas pārvietošanās pēc KAmphuis (1987) (sanešu pārvietošanās indikators S4).

Četru ostu (Liepāja, Ventspils, Skulte, Mērsrags) apkārtnēm iesniegti raksturlieluma D7 kritēriju D7C1 u D7C2 indikatoru divdimensionālie sadalījumi ka ĢIS vektordati:

- Viļņu lauku izmaiņas.
- Straumes izmaiņas.
- Sanešu koncentrācijas izmaiņas.
- Viļņu lauku izmaiņu ietekmētie biotopi.
- Straumes izmaiņu ietekmētie biotopi.
- Sanešu koncentrācijas izmaiņu ietekmētie biotopi.

## 8. SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

### 8.1. Secinājumi

Darbā ir piedāvāti raksturlieluma D7 “Pastāvīgas hidrogrāfisko apstākļu pārmaiņas nelabvēlīgi neietekmē jūras ekosistēmu” kritēriju D7C1 un D7C2 indikatori (pavisam seši, pa trim katram kritērijam) un to aprēķina metodika. Indikatoru aprēķins saistīts ar antropogēno iedarbību; tās novērtēšanai izveidota modelēšanas pieeja, kas ļauj aprēķināt katras hidrobūves ietekmi kā šo sešu indikatoru telpiskos sadalījumus un skaitliskas vērtības.

Izlases veidā veikts aprēķins Liepājas, Ventspils, Skulte un Mērsraga ostām, konstatējot, ka **šo ostu izraisītās pastāvīgās hidrogrāfisko apstākļu pārmaiņas nerada būtiskas nelabvēlīgas ietekmes uz jūras ekosistēmu.**

Otra darba sadaļa bija saistīta ar sanešu pārvietošanās rakstura izpēti projekta teritorijā. Darbā tika izveidoti un pielietoti trīs modeļi: (1) dziļūdens (dziļums virs 6 m) hidrodinamiskais un sanešu pārvietošanās trīsdimensionālais modelis visai projekta teritorijai; (2) garkrasta sanešu plūsmas modelis visai Latvijas piekrastei un (3) ostu apkārtnes hidrodinamikas modelis.

No veiktajiem modeļaprēķiniem var izdarīt sekojošus secinājumus:

1. Projekta teritorijas dziļūdens daļā sanešu pārvietošanās ir vērsta uz ziemeļiem Baltijas jūras atklātajā daļā, Rīgas jūras līča virziena Irbes šaurumā, Rīgas virzienā gar Rīgas jūras līča rietumdaļā un Ainažu virzienā Rīgas jūras līča austrumdaļā.
2. Dziļūdens saneši nonāk projekta teritorijā pamatā no Polijas teritoriālajiem ūdeņiem, apejot Lietuvas teritoriālos ūdeņus.
3. Dziļūdens sanešu ikgadējā bilance projekta teritorijas Baltijas jūras daļā ir negatīva – tajā vidēji ieplūst 2.5 miljoni kubikmetru smilšu gada, bet izplūst – 5.5 miljoni kubikmetru, veidojot ikgadējo sanešu deficītu ap 3 miljoniem kubikmetru.
4. Dziļūdens sanešu iespējamās akumulācijas vietas ir teritorija uz ZR no Ovīšu raga un Irbes šauruma R ieeja.
5. Garkrasta sanešu plūsma un tās intensitāte piekrastē (viļņu lūšanas zonā) pēc skaitliskajām vērtībām ir samērojamas ar dziļūdens sanešu plūsmu un tās intensitāti.
6. Garkrasta sanešu plūsma praktiski visā Latvijas piekrastē (ar atsevišķiem izņēmumiem starp Melsilu un Kolku, un pie Skultes) ir vērsta virzienā no Lietuvas/Latvijas robežas uz Latvijas/Igaunijas robežu.
7. Garkrasta sanešu plūsmas skaitliskās ikgadējās vērtības var pārsniegt miljonu kubikmetru Baltijas jūras krastā, tā ir ap 500 tūkstošiem kubikmetru Irbes

šaurumā un nepārsniedz 200 tūkstošus kubikmetru Rīgas jūras līcī (izņemot posmu uz Z no Tūjas).

8. Garkrasta sanešu pārvietošanās intensitāte var divkārt pārsniegt sanešu plūsmas vērtības. Tā ir ap 2.5 miljoni m<sup>3</sup>/g Baltijas jūras piekrastē, 200000 m<sup>3</sup>/g Rīgas jūras līča Kurzemes krastā un 500000 m<sup>3</sup>/g Rīgas jūras līča Vidzemes krastā un Irbes šaurumā.
9. Garkrasta sanešu bilance konkrētā krasta posmā nav tieši saistīta ar krasta eroziju vai materiāla akumulāciju krastā, ko pamatā nosaka viļņu iedarbība uz konkrēto krasta posmu.
10. Garkrasta sanešu plūsmai kritiskas vietas ir (1) krasta izvirzījumi (ragi), kur sanesu plūsma tiek novirzīta jūrā, (2) hidrobūves, kas pilnībā vai daļēji bloķē garkrasta plūsmu. Ostu gadījumā papildus ietekmējošs faktors ir navigācija kanālu padziļināšana, kas lielo ostu (Liepāja, Ventspils) nozīmē arī seklūdens sanešu pārvietošanu uz dziļūdens zonu.
11. Aprēķinātais garkrasta sanešu plūsmas deficīts – sanešu pārvietošanās no seklūdens uz dziļūdens zonu Baltijas jūras atklātajai daļai ir 2,8 miljoni kubikmetru gadā (tas labi sakrīt ar punktā 3 novērtēto dziļūdens sanešu bilanci), bet Rīgas jūras līcim – 0,7 miljoni kubikmetru.
12. Šī pētījuma ietvaros neizdevas noskaidrot, cik daudz no punkta 11 sanesu plūsmas deficīta tiek kompensēts ar dziļuma palielināšanos seklūdens zonā, bet cik daudz ar krasta eroziju, galvenokārt krasta zonas zemūdens daļas uzmērījumu trūkuma dēļ.
13. Integrāli (bet ne atsevišķiem krasta posmiem) punkta 11 bilance labi sakrīt ar EMODNET Latvijas krasta līnijas pārvietošanās novērtējumu. Baltijas jūras krastam tas ir 2.2 m/gadā (lai iegūtu 2.8 miljonus kubikmetru, jānoskalo 5.2 m augsts krasts), bet Rīgas jūras līcim 0.5 m/gadā (lai iegūtu 0.7 miljonus kubikmetru, jānoskalo 5.4 m augsts krasts).

## **8.2. Rekomendācijas**

Runājot par piekrastes aizsardzības pasākumiem, jāņem vērā trīs nozīmīgas pasākumu grupas – vētru izraisīto postījumu samazināšana, krasta erozijas samazināšana un ekosistēmas atjaunošana (mākslīgo rifu, koraļļu rifu izbūve, gliemeņu audzēšana, makrofītu ieviešana u.c.).

Piekrastes vētru izraisītie postījumi parasti ir saistīti ar applūdušām teritorijām vai arī zaudējumiem, kurus izraisa viļņi un to enerģija.

Krasta erozijas samazināšanas pasākumu iedalījums atšķiras vairākos literatūras avotos, taču pārsvarā visi izšķir piecus galvenos veidus, kā cīnīties ar piekrastes eroziju vai reaģēt uz to:

- a) Krastu nostiprināšana (atbangošanas sienas);

- b) Konstruktijas ietekmes uz krastu mazināšanai (krastam paralēli virs vai zemūdens viļņu lauzēji, moli/būnas, rīfi, mitrāji u.c.);
- c) Piekrastes jeb pludmales atjaunošana (darbības ar sedimentiem jeb sanešiem);
- d) Adaptācija jeb pielāgošanās situācijai;
- e) Neko nedarīt pieeja.



Attēls 122: Moli jeb būnas (tumšas, krastam perpendikulāras līnijas) Polijā, Gdaņskas līcī, pie Kalupi apdzīvotās vietas.

Līdzīgi krasta erozijas samazināšanas pasākumi ir definēti arī Igaunijas–Latvijas pārrobežu sadarbības programmas 2007.–2013. gadam līdzfinansētā projekta EU43084 “Piekrastes un jūras telpiskā plānošana Pērnavas līča teritorijā Igaunijā un Latvijas piekrastes pašvaldībās” ietvaros tapušajā metodiskajā materiālā “Vadlīnijas jūras krasta erozijas seku mazināšanai”<sup>13</sup>, kura atskaitē LU(2014) konkrēti izdalīti krasta preterozijas risinājumu pamattipi, kas būtu izmantojami Latvijā. Šie pamattipi ir:

- a) Neiejaukšanās;
- b) Neinvazīvi vai mazinvasīvi preterozijas pasākumi, “zaļie” pasākumi;
- c) Bezkonstrukciju risinājumi jeb manipulācijas ar sanešu materiālu;
- d) Invazīvi (agresīvi) preterozijas pasākumi (masīvas hidrotehniskas būves).

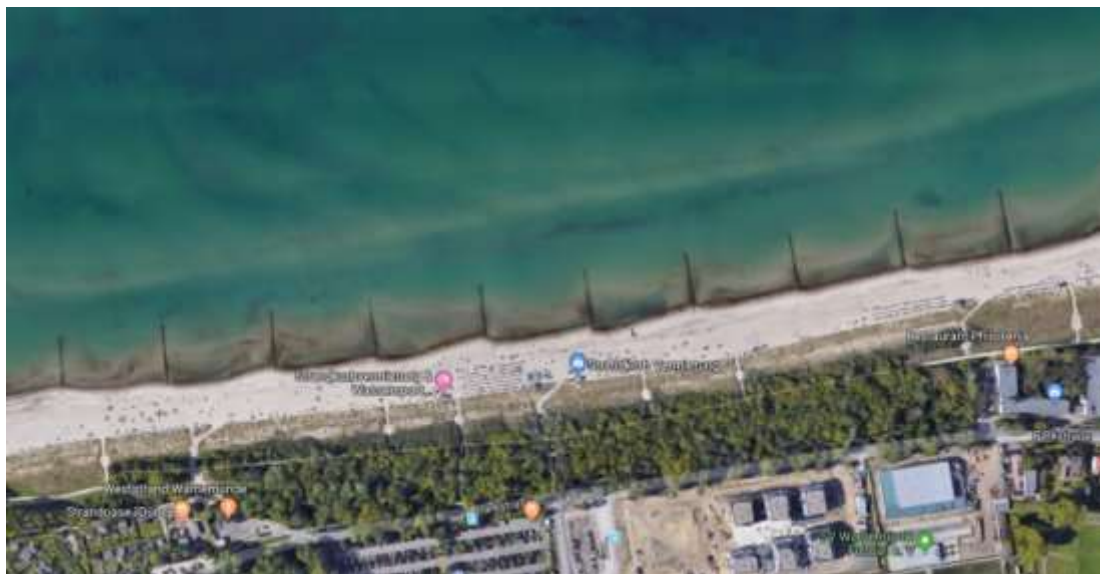
Praksē visbiežāk tiek būvētas hidrotehniskās būves jeb konstrukcijas. Globāli visizplatītākie un, iespējams, visefektīvākie šādi konstrukciju veidi kā cīnīties ar krasta eroziju, ir viļņu lauzēji un moli (būnas), kas izvietoti attiecīgi paralēli vai perpendikulāri krasta līnijai. Šādi veidojumi piekrastes zonā samazina viļņu enerģiju, tādējādi samazinot arī ietekmi uz krastu.

Baltijas jūras reģionā šādas konstrukcijas ir izbūvētas, piemēram, Polijā, Gdaņskas līcī, kur izbūvētas būnas posmā starp Vladislavovo un Kalupi (*Chalupy*) apdzīvotajām vietām piekrastes teritorijā, kas labi redzams arī satelītdatos kā krastam perpendikulāras konstrukcijas ūdenī (attēls 122). Līdzīgas būnu konstrukcijas ir izbūvētas arī Vācijā,

<sup>13</sup> <http://www.varam.gov.lv/lat/publ/met/?doc=18713>



posmā no Kīlungsbornas līdz Varnemundei (attēls 123), kur šādas konstrukcijas ar nelieliem pārtraukumiem stiepjas apmēram 30 km garumā.



Attēls 123: Moli jeb būnas (tumšas, krastam perpendikulāras līnijas) Vācijā, Varnemundes pilsētas piekrastē.

Mūsdienās gan jāņem vērā, ka klasiskie viļņu lauzēji, kas parasti veidoti no betona vai akmeņiem, rada diezgan ievērojamas vizuālās pārmaiņas ierastajā piekrastes ainavā, tādējādi izjaucot ierasto piekrastes ainavu un balansu starp dabu un cilvēka aktivitātēm. Šāda veida viļņu lauzēji ne vienmēr saņems vietējās kopienas vai sabiedrības atbalstu to izbūvei. Šādos gadījumos kā iespējamais risinājums var kalpot tādu viļņu lauzēju izvēle, kas ir draudzīgi videi un nerada diskomfortu ar apkārtējo ainavu. Jau šobrīd ir risinājumi, kur kā viļņu lauzēji kalpo niedres (vai kāds cits augs), kas atrodas mākslīgi izbūvētos stiprinājumos vai uz “peldošām salām”. Tāpat, kā alternatīva betonam vai akmeņiem, var tikt lietotas arī koka konstrukcijas, kas labāk iekļaujas dabiskajā ainavā un piekrastes dinamikā.

Neskaitot viļņu lauzējus un molus, ir arī citas hidrotehniskās būves, kuru mērķis ir cīnīties ar krasta eroziju. Pie pasīvajiem risinājumiem (mazina vai novērš eroziju, nepieļaujot viļņu iedarbību uz pamatkrastu) tiek pieskaitītas atbangošanas sienas, gultnes pārklājumi, gabioni un banketes, savukārt pie aktīvajiem risinājumiem (veicina sanešu uzkrāšanos mērķa teritorijā un mazina viļņošanās ietekmi uz pamatkrastu), pieskaitāmi jau minētie viļņu lauzēji un moli. Vispiemērotākais hidrotehniskās būves veids ir atkarīgs no vairākiem faktoriem – erozijas skartās piekrastes uzbūve un dinamika, izbūves un uzturēšanas izmaksas, iekļaušanās kopējā ainavā u.c.

Kā alternatīva viļņu lauzējiem (vai jebkurai citai hidrotehniskai būvei) var tikt izmantota arī esošās veģetācijas saglabāšana piekrastes zonās, ierobežojot antropogēnos traucējumus, vai arī speciāla sanešu eolo (vēja) akumulāciju veicinošu stādījumu ierīkošana. Šādi pasākumi ir izteikti videi draudzīgi, tie ir salīdzinoši vienkāršāki un lētāki. Lai arī šāda veģetācijas ierīkošana galvenokārt pilda vēja nesto smilšu akumulācijas un viļņu un vēja eroziju ierobežojošu funkciju, tā ir uzskatāma par efektīvu tikai piekrastes teritorijās, kur ir ievērojami smilšaino sanešu krājumi, kā arī gadījumos, kad erozijas epizodes atkārtojas ļoti reti.

Visbeidzot, krasta erozijas negatīvās sekas var ietekmēt veicot manipulācijas ar pašu sanešu materiālu. Šādas manipulācijas jeb darbības var būt kompensējošas, kad tiek nodrošināta krasta procesu nepārtrauktība, novēršot mākslīgi radušos traucējumus (piemēram, pie ostām) vai arī pārveidojošas, kad tiek izmainīts krasta sistēmā esošais sanešu apjoms, papildinot to no ārējiem avotiem.

Galvenā šādu darbību (bezkonstrukciju risinājumi) funkcija parasti ir mākslīgi papildināt sanešu apjomu tā deficīta zonās (kompensēt mākslīgi radušos deficītu), tādējādi pārtraucot krasta eroziju un tā atkāpšanos. Neskatoties uz to, šāds risinājums atstāj lielāku iespaidu uz piekrastes ekosistēmām, un, lai nodrošinātu šādas darbības efektivitāti, ir vajadzīga nepārtraukta situācijas kontrole, kas savukārt prasa lielāku resursu ieguldījumu. No otras puses, šādām darbībām parasti ietekme uz vides estētiskajiem aspektiem ir īslaicīga un nebūtiska, nav negatīvu izmaiņu sanešu bilanci, kā arī ir iespējama erozijas mazināšanās ārpus mērķa teritorijas.

Sanešu plūsmas un to dinamika ir nozīmīgs faktors ne tikai krasta erozijas procesos, bet šādām plūsmām ir lokāla nozīme arī ostu teritorijās. Veicot ostu padziļināšanas darbus un izvēloties piemērotāko deponēšanas vietu, ir jāņem vērā sanešu plūsmas dinamika konkrētajā reģionā, lai šādas saimnieciski nozīmīgas aktivitātes būtu efektīvas. Pretējā gadījumā sanešu plūsmas var negatīvi ietekmēt ostu saimniecību – piemēram, ja deponēšanas vieta ir izvēlēta nepareizi, tad deponētais materiāls var salīdzinoši ātri tikt transportēts atpakaļ uz tā izcelsmes vietu, un aktivitātes būs jāsāk no sākuma. Ostu tuvumā kā ilgtspējīgs un efektīvs risinājums var kalpot deponētā materiāla transportēšana uz sanešu deficīta zonām, tādējādi aizkavējot krasta erozijas procesu konkrētās vietās.

Jau iepriekš minētajā metodiskajā materiālā “Vadlīnijas jūras krasta erozijas seku mazināšanai” LU (2014) rekomendācijas tiek strukturētas atbilstoši erozijas riska klašu dalījumam. Saistībā tieši ar ostu teritorijām tiek rekomendēts, ka krasta iecirkņos, kur erozija pastiprinājusies galvenokārt pateicoties ostu ārējo hidrotehnisko būvju radītajiem traucējumiem, par viennozīmīgi piemērotāko risinājumu no krasta procesu nepārtrauktības nodrošināšanas viedokļa ir uzskatāma ostas un kuģu ceļa uzturēšanas darbos iegūtās nepiesārņotās grunts izmantošana piebarošanā.

Ņemot vērā sadaļas 6.3.6 analīzi par raksturlieluma D7 kritērija D7C2 indikatoriem, varam secināt, ka **straumes ātruma un sanešu plūsmas izmaiņu ietekme uz biotopiem ir maznozīmīga**, savukārt viļņu kustības izmaiņu ietekme vien dažās vietās un biotopos pārsniedz 8% no kopējās attiecīgā biotopa platības. Šāda veida un apjoma indikatoru izmaiņu ietekme (viļņu kustība, straumes ātrums, sanešu plūsma) nav uzskatāma par būtisku, kas nozīmē, ka **jebkādi speciāli telpiskās plānošanas risinājumi dotajām teritorijām nav nepieciešami** un, izmantojot šeit definētos raksturlieluma D7 kritērija D7C2 indikatorus, aplūkotajās teritorijās ir sasniegts vai pastāv labs vides stāvoklis.

Aplūkosim rekomendācijas, kādas no pētījuma rezultātiem var izteikt saistībā MK (2019) “Jūras plānojuma 2030”<sup>14</sup>:

---

<sup>14</sup> <https://drive.google.com/file/d/1eyQK7cVi9LIQVqJf2-pxFyTf960C8z2c/view>

1. Lai gan esošā pētījuma laikā tika parādīts, ka definēto indikatoru izmaiņu ietekme ir maznozīmīga, šī informācija (gan par indikatoriem, gan par ietekmēto biotopu platību) tāpat būtu iekļaujama MK (2019) “**Jūras plānojuma 2030 pasākumā 2.5** (6. tabula, SM2 sadaļa) “Izveidot jūras datu informācijas sistēmu, lai nodrošinātu efektīvu un savlaicīgu datu apmaiņu par jūras ekosistēmu”. Līdzīgi pētījumi un izvērtējums par citām ostām un to ietekmi uz sanešu plūsmām arī būtu darbības, kas nodrošinātu kvalitatīvu un aktualizētu jūras datu sistēmas esamību. Papildus tam, lielu ieguldījumu šī pasākuma (2.5) sasniegšanā dotu arī MK (2016) “Piekrastes plānojuma” uzdevuma Nr. 3.4. "Nodrošināt mūsdienu ģeoloģisko procesu monitoringu un novērtēt jūras krasta erozijas procesu intensitāti" realizēšana.
2. Saistībā ar klimata pārmaiņām un **Jūras plānojuma 2030 pasākumu 3.2** (6. tabula, SM3 sadaļa) “Plānojot un investējot ostu attīstībā, ņem vērā klimata pārmaiņu radītos riskus un nepieciešamību pielāgot infrastruktūru vai ostas darbības klimata pārmaiņu radīto risku mazināšanai vai pielāgojoties jaunajiem apstākļiem, kā arī izvērtē iespējas uzlabot energoefektivitāti, veidot infrastruktūru un inovatīvus risinājumus, kas mazina SEG emisijas”, ir jāņem vērā, ka klimata pārmaiņas Latvijas teritorijā ir salīdzinoši maz pētītas, it sevišķi šī pētījuma ietvaros aplūkoto indikatoru (viļņu kustības, straumju un sanešu plūsmas izmaiņas) kontekstā. Lai ņemtu vērā klimata pārmaiņu radītos riskus, ir jābūt konkrētai informācijai par ostas attīstības ietvaros plānotajiem pasākumiem, to tehnoloģisko risinājumu alternatīvām. Tikai zinot šo informāciju, ir iespējams izvērtēt vai plānotie pasākumi ietekmēs/neietekmēs sanešu plūsmas.
3. **Jūras plānojuma 2030 pasākuma 3.3** (6. tabula, SM3 sadaļa) “Izveidot modeli saimniecisko darbību ietekmes noteikšanai uz garkrasta sanešu plūsmu, izvērtējot krasta erozijas un akumulācijas procesu” realizācijai noderīga būtu jau iepriekš pieminētā Piekrastes plānojuma uzdevuma Nr. 3.4. "Nodrošināt mūsdienu ģeoloģisko procesu monitoringu un novērtēt jūras krasta erozijas procesu intensitāti" realizēšana praksē (tai skaitā realizējot arī krasta nogāzes zemūdens daļas izmaiņu regulāru fiksāciju), kas sniegtu vispusīgu informāciju par krasta erozijas procesiem Latvijas piekrastē, kā arī ļautu validēt izstrādātos modeļus.
4. Lai sekmīgi realizētu **Jūras plānojuma 2030 pasākumu 3.4** (6. tabula, SM3 sadaļa) “Sagatavot telpiskus risinājumus (pasākumus) erozijas mazināšanai, t.sk. norādot vietas jūrā, kur būtu pieļaujama smilts iegūšana pludmales piebarošanas darbiem, kā arī vietas, kur būtu veicama pludmales piebarošana, neradot apdraudējumu jūras ekosistēmai” ir konstatēts, ka:
  - Apskatītajā piekrastes zonā piemērotas smilšu iegūšanas vietas nav identificētas. Iespējams, ka šādas vietas ir atrodamas jūrā tālāk no krasta, bet šī brīža ģeoloģiskās informācijas izšķirtspēja nedod iespēju tās identificēt.
  - Alternatīvi smilšu iegūšanai jūrā, pludmales piebarošanai izmantojamās smiltis ir iegūstamas no ostu akvatoriju regulārās tīrīšanas darbiem, t.i., izņemtā smiltis ir nevis vienkārši deponējama jūrā (izgāztuvē), bet ir izmantojama pludmaļu piebarošanai.

- Rajoni, kur vislabāk ir/būtu izmantot smiltis pludmales piebarošanai būtu vislabāk identificējami sekojot materiālā LU (2014) “Vadlīnijas jūras krasta erozijas seku mazināšanai” sniegtajai rekomendācijai. Ņemot vērā Latvijas piekrastē novērojamo jūras biotopu telpisko sadalījumu, nav sagaidāms, ka pludmaļu piebarošana (vietās, kur tas nepieciešams) atstās negatīvu ietekmi uz pret apbēšanu ar smiltīm jūtīgiem biotopiem. Katrā konkrētā gadījumā tomēr ir ieteicams veikt padziļinātāku ietekmes uz vidi novērtējumu atbilstoši Latvijā spēkā esošajam normatīvajam regulējumam.

### **8.3. Ieteikumi tālākai izpētei**

Pētījuma rezultāti iezīmēja tālākās izpētes iespējas.

1. Detalizēta augstas izšķirtspējas modeļa izveide šajā darbā neaplūkoto ostu apkārtnē. Šāds pētījums nebūtu tieši rekomendējams, jo nav sagaidāms, ka pārējo ostu apkārtnē sagaidāmi no 4 aplūkotajām ostām atšķirīgi secinājumi.
2. Divdimensionāla garkrasta modeļa izveide visai Latvijas piekrastei. Šāda modeļa izveide ļautu noteikt sanešu bilanci seklūdēns zonai, detalizējot šī pētījuma rezultātus. Pie tam būtu iespējams noskaidrot seklūdēns zonas dziļuma izmaiņu tendenci, precizēt sanešu apjomu, kas no seklūdēns zonas tiek pārnesti uz dziļūdēns zonu krasta līnijas orientācijas maiņas vietās.
3. Saistīt punkta 2 modeli ar krasta erozijas pētījumiem (piemēram LU(2014)), kas bija ārpus šī pētījuma ietvariem.
4. Veikt Latvijas piekrastes seklūdēns zonas dziļumu uzmērījumu (0-5 m dziļumu zonā), ieplānojot to atkārtot pēc 5-10 gadiem.
5. Pielietot izstrādātos modeļus vai to pilnveidojumus konkrētu sanešu pārvietošanos iespaidojošu rīcību ietekmju izvērtēšanai.

## LITERATŪRA

**BACC2 (2015).** Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. BACC Author team (eds). Springer Verlag, 2015.

<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-16006-1>

**Berg, P.; Donnelly, C.; Gustafsson, D. (2018)** Near-real-time adjusted reanalysis forcing data for hydrology. Hydrology and Earth System Sciences, Copernicus GmbH, 2018, 22, 989-1000, <http://dx.doi.org/10.5194/hess-22-989-2018>.

**Bethers, U., Sennikovs, J. (1997).** Mathematical modeling of longshore load transport near Latvian harbour Ventspils // Proceedings of International Conference on Computer Modelling of Seas and Coastal Regions, COASTAL 1997, Pages 33-42.

**Bird, E. C. F. (1969).** Coasts. An Introduction to Systematic Geomorphology., Cambridge, Mass.,: M.I.T. Press, 1969.

**BSHC (2013).** Baltic Sea Bathymetry Database version 0.9.3. Baltic Sea Hydrographic Commission. Downloaded from <http://data.bshc.pro/>

**Daiga Cepite-Frisfelde, Uldis Bethers, Juris Sennikovs, Andrejs Timuhins, and Aigars Valainis (2019).** Copernicus Marine Environment Monitoring Service demonstration for the Baltic Sea region - Present the present. Geophysical Research Abstracts, Vol. 21, EGU2019-13450, 2019, EGU General Assembly 2019.

**CERC (1984).** Shore Protection Manual. Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, USA.

**CERC (2002).** Coastal engineering manual. Chapter 6. US Army Corps of Engineers. Vicksburg, 2002.

**CMEMS Product Team (2018).** PRODUCT USER MANUAL For Baltic Sea Wave Analysis and Forecasting Product BALTICSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_WAV\_003\_010.

**Dean, Robert G., and Robert A. Dalrymple (2002).** Coastal Processes : With Engineering Applications. Cambridge, UK New York: Cambridge University Press, 2002.

**EK (2017).** EIROPAS KOMISIJAS LĒMUMS (ES) 2017/848 (2017. gada 17. maijs), ar ko nosaka laba jūras ūdeņu vides stāvokļa kritērijus un metodiskos standartus un monitoringa un novērtēšanas specifikācijas un standartizētas metodes un atceļ Lēmumu 2010/477/ES. Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis, L 125/43, 18-Mai-2017.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017D0848&from=EN>

**EP (2008).** EIROPAS PARLAMENTA UN PADOMES DIREKTĪVA 2008/56/EK (2008. gada 17. jūnijs), ar ko izveido sistēmu Kopienas rīcībai jūras vides politikas jomā (Jūras stratēģijas pamatdirektīva). Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis, L 164/19, 25-Jūn-2008.

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj/?locale=LV>

**Vilnis Frishfelds**, Uldis Bethers and Juris Sennikovs (2016). Tracer studies of water exchange in Gulf of Riga, winter 2015-2016. Proceedings 1st Baltic Earth Conference Multiple drivers for Earth system changes in the Baltic Sea region, Nida, Curonian Spit, Lithuania, June 2016. International Baltic Earth Secretariat Publication No. 9, June 2016.

**Vilnis Frishfelds**, Juris Sennikovs, and Uldis Bethers (2019a). Operational modelling of Baltic Sea - port of Liepaja - Liepaja lake system. Geophysical Research Abstracts Vol. 21, EGU2019-3128-1, 2019, EGU General Assembly 2019.

**Vilnis Frishfelds**, Juris Sennikovs, and Uldis Bethers (2019b). Pollution transport in coastal Baltic sea - Liepaja port – Liepaja lake system. Baltic Sea Science Congress, Abstracts, August-2019.

**G. Gayer**, S. Dick, A. Pleskachevsky, W. Rosenthal (2006). Numerical modeling of suspended matter transport in the North Sea. *Ocean Dynamics* (2006) 56: 62–77

**Günther, H.**, S. Hasselmann, and P. A. E. M. Janssen (1992): The WAM Model cycle 4.0. User manual. Deutsches Klimarechenzentrum Hamburg, technical report no. 4.

**Robinson Hordoier**, Lars Axell, Anders Höglund, Christian Dieterich, Filippa Fransner, Matthias Gröger, Ye Liu, Per Pemberton, Semjon Schimanke, Helen Andersson, Patrik Ljungemyr, Petter Nygren, Saeed Falahat, Adam Nord, Anette Jönsson, Iréne Lake, Kristofer Döös, Magnus Hieronymus, Heiner Dietze, Ulrike Löptien, Ivan Kuznetsov, Antti Westerlund, Laura Tuomi, and Jari Haapala (2019). Nemo-Nordic 1.0: a NEMO-based ocean model for the Baltic and North seas – research and operational applications. *Geosci. Model Dev.*, 12, 363-386, 2019.  
<https://doi.org/10.5194/gmd-12-363-2019>

**Kamphuis, J.**, (1987). Recession rates of glacial till bluffs. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 113 (1), 60–73.

**Knaps, R.**, (1938). Prüfung der Formel von prof. Munch-Petersen über Materialwanderung an der lettischen Küste. VI Baltische Hydrologische Konferenz, Bericht, Berlin, 60–103.

**Knaps, R.** (1965). Перемещение наносов у берегов восточной Балтики [Sediment transport along the eastern Baltic Sea coasts]. Latgidroprom, Riga, 57 pp.

**Komar, Paul D. (1983)**. Crc Handbook of Coastal Processes and Erosion. Crc Series in Marine Science. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 1983.

**van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.) (2009)**: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160p

**LU (2014).** Metodiskais materiāls „Vadlīnijas jūras krasta erozijas seku mazināšanai” (identifikācijas Nr.: KPR 2013/12/EU43084). Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte. Rīga, 2014.

**MK (2016).** Valsts ilgtermiņa tematiskais plānojums Baltijas jūras piekrastes publiskās infrastruktūras attīstībai. Ministru kabineta 2016. gada 17. novembra rīkojums Nr. 692.

**MK (2019).** JŪRAS PLĀNOJUMS 2030. Jūras plānojums Latvijas Republikas iekšējiem jūras ūdeņiem, teritoriālajai jūrai un ekskluzīvās ekonomiskās zonas ūdeņiem. Nacionāla līmeņa ilgtermiņa teritorijas attīstības plānošanas dokuments. Ministru kabineta 2019. gada 21. maija rīkojums Nr. 232.

**PAIC (1999).** HIDRO- UN MORFODINAMISKO PROCESU MATEMĀTISKĀ MODELĒŠANA LIEPĀJAS OSTAS APKĀRTNĒ. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga, 1999.

**PAIC (2001).** PRE-FEASIBILITY STUDY OF THE HYDRO- AND MORPHODYNAMIC IMPACT OF THE VENTSPILS FREEPORT PERSPECTIVE DEVELOPMENT. STAGE 3: BUILDING OF A MORPHODYNAMIC MODEL Technical report. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga, Marts-2001.

**PAIC (2003).** SwEvolver v.3.2 for Windows. Lietotāja rokasgrāmata. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga.

**PAIC (2004).** Skultes ostas apkārtnes hidro- un morfodinamisko procesu modelēšana Dienvidu mola rekonstrukcijas ietekmes uz vidi novērtējumam. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga, Februāris-2004.

**PAIC (2006).** MĒRSRAGA OSTAS JŪRAS KANĀLA PIESĒRĒJUMA APRĒĶINS DAŽĀDIEM OSTAS HIDROBŪVJU ATTĪSTĪBAS VARIANTIEM. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga, Aprīlis-2006.

**PAIC (2007).** Jūras izgāztuvēs izgāzto sedimentu plūsmas modelēšana. 31-Jūl-2006 Līguma #12 (0706/1-b) noslēguma atskaite. Pasūtītājs: Valsts Vides dienesta Jūras un iekšējo ūdeņu pārvalde. SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”, 2007.

**PAIC (2011a).** Modelling for feasibility study of Klaipeda external port development. Progress report . Contract # 10/AK/26-01 (0111/1-b), Client: SIA „Estonian, Latvian and Lithuanian Environment”. SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”, Mai-2011.

**PAIC (2011b).** Calculation of waves for the proposed extension of Klaipeda seaport (BUTINGE location). Pasūtītājs: Inros Lackner AG – ELLE – Ernst&Young Lithuania. SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”, Nov-2011.

**PAIC (2016).** Hidro un morfodinamiskā modelēšana Pāvilostas molu rekonstrukcijai. 29-Mar-2016 Līguma Nr. 0316/1-b (298-T16) Noslēguma atskaite. Pasūtītājs: SIA Inženieru birojs “Kurbada tilti”. SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”, 2016.

**PAIC (2019a).** Sanešu pārvietošanās jūrā izpēte un laba jūras vides stāvokļa kvalitatīvā raksturlieluma “Hidrogrāfiskie apstākļi” rādītāju aprobācija. Darbu uzsākšanas ziņojums. Pasūtītājs: Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija. SIA

“Procesu analīzes un izpētes centrs”, 04-Mar-2019 Līgums IL/14/2019, Rīga, Maijs-2019.

**PAIC (2019b).** Sanešu pārvietošanās jūrā izpēte un laba jūras vides stāvokļa kvalitatīvā raksturlieluma “Hidrogrāfiskie apstākļi” rādītāju aprobācija. Starpzīņojums. Pasūtītājs: Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija. SIA “Procesu analīzes un izpētes centrs”, 04-Mar-2019 Līgums IL/14/2019, Rīga, Maijs-2019.

**Populus Jacques,** Vasquez Mickael, Albrecht James, Manca Eleonora, Agnesi Sabrina, Al Hamdani Ziyad, Andersen Jesper, Annunziatellis Aldo, Bekkby Trine, Bruschi Antonello, Doncheva Valentina, Drakopoulou Vivi, Duncan Graeme, Inghilesi Roberto, Kyriakidou Chara, Lalli Francesco, Lillis Helen, Mo Giulia, Muresan Mihaela, Salomidi Maria, Sakellariou Dimitris, Simboura Mika, Teaca Adrian, Tezcan Devrim, Todorova Valentina, Tunesi Leonardo (2017). EUSeaMap. A European broad-scale seabed habitat map. EUSeaMap Technical Appendix No. 1, Light data and thresholds.

<https://www.emodnet-seabedhabitats.eu/media/1094/euseamap-technical-appendix-i.pdf>

**van Rijn, L.C., (2007a).** Unified view of sediment transport by currents and waves. I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. *J. Hydraulic Eng.* 133(6), 649—667.

**van Rijn, L.C., (2007b).** Unified view of sediment transport by currents and waves. II: Suspended transport. *J. Hydraulic Eng.* 133(6), 668—689.

**van Rijn, L.C., (2007c).** SIMPLE GENERAL FORMULAE FOR SAND TRANSPORT IN RIVERS, ESTUARIES AND COASTAL WATERS.

<https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Formulaesandtransport.pdf>

**Tarmo Soomere, Maris Eelsalu (2014).** On the wave energy potential along the eastern Baltic Sea coast. *Renewable Energy* 71:221–233, DOI: 10.1016/j.renene.2014.05.025

**Soomere, T., Viška, M. (2014).** Simulated wave-driven sediment transport along the eastern coast of the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems* Volume 129, January 2014, Pages 96–105.

**The SWAN team (2019).** SWAN. USER MANUAL. SWAN Cycle III version 41.31. Delft University of Technology. Faculty of Civil Engineering and Geosciences.

**Ulsts, V. (1998).** Latvian coastal zone of the Baltic Sea. Riga, 96 pp.

**Aigars Valainis,** U. Bethers, J. Sennikovs (2016). Climatic wave modeling in Baltic Proper and Gulf of Riga using SWAN. Proceedings 1st Baltic Earth Conference Multiple drivers for Earth system changes in the Baltic Sea region, Nida, Curonian Spit, Lithuania, June 2016. International Baltic Earth Secretariat Publication No. 9, June 2016.



**Maija Viška, Tarmo Soomere (2013).** Simulated and observed reversals of wave-driven alongshore sediment transport at the eastern Baltic Sea coast. 145. *BALTICA* Volume 26 Number 2 December 2013 : 145–156. doi:10.5200/baltica.2013.26.15

**Weismann Poulsen, J., Berg, P., and Karthik, R. (2014).** Better Concurrency and SIMD On The HIROMB-BOOS MODEL (HBM) 3D Ocean Code. In: J. Jeffers and J. Reinders (eds.). *High Performance Parallelism Pearls: Multicore and Many-core Programming Approaches*. Morgan Kaufmann Publishing.