

CENTRINIO KLAIPĖDOS TERMINALO STATYBŲ SUKELIAMAS POVANDENINIS TRIUKŠMAS IR JO POVEIKIS ŽUVIMS

Donatas Bagočius

Klaipėdos universitetas

Įvadas

Akustinė energija vandenyje – tai molekulinės vibracijos, sklindančios garso greičiu ir vadinamos išilginėmis bangomis. Garsas sklinda penkis kartus greičiau vandenyje nei atmosferoje dėl terpės tankio skirtumo (garso greitis vandenyje lygus apytikriai 1500 m/s). Be kita ko, garso lygių skirtumas šiose terpėse yra apie 62 dB, pavyzdžiui, 90 dBA lygio garsas atmosferoje teoriškai yra lygus 152 dB @1μPa lygio garsui vandenyje (Au ir Hastings, 2008).

Povandeninis triukšmas – tai nepageidaujamas povandeninis garsas, kurį vandens telkiniuose, t. y. jūrose, vandenynuose, estuarijose, generuoja žmogaus atliekama veikla. Prie triukšmingiausių veiklų šiuose vandens telkiniuose galima priskirti seisminius dugno ir kitus mokslinius tyrimus, karinės paskirties sonarų naudojimą, komercinę laivybą ir kt. Dažnai šių veiklų keliamas triukšmas tampa kliūtimi gyvūnų gyvybinėms funkcijoms užtikrinti. Vandens gyvūnai skleidžia povandeninius garsus norėdami atpažinti vienas kitą ir plėšrūnus, ieškodami grobio, orientuodamiesi erdvėje, poruodamiesi. Žmogaus veiklos generuojamo triukšmo poveikis vandens gyvūnams gali būti fiziniai sužeidimai, fiziologinė disfunkcija (laikinas arba nuolatinis klausos praradimas), gyvūnų elgsenos pokyčiai (gyvūnų maitinimosi vietovių ar buveinių kitimas), biologiskai svarbių gyvūnams garsų maskavimas, t. y. gyvūnų gebėjimo girdėti biologiskai svarbius garsus sumažėjimas, padidėjus aplinkos triukšmui (Au ir Hastings, 2008).

2012 m. Klaipėdos sąsiauryje buvo įgyvendinamas Centrinio Klaipėdos terminalo statybų projektas. Šio objekto statybų metu, naudojant vibracinę kūrį, į Klaipėdos sąsiaurio dugną konstrukcijų atramai įtvirtinti buvo įleidžiami plieniniai poliai. Šių veiklų generuojamas povandeninis triukšmas buvo išmatuotas 2012 m. gegužės 28 d. ir įvertintas jo ekologinis poveikis migruojančioms žuvims.

Tikslas – ištirti Centrinio Klaipėdos terminalo statybų metu keliamo povandeninio triukšmo galimus ekologinius poveikius sąsiauriu migruojančioms žuvims.

Uždaviniai: 1) išmatuoti povandeninio triukšmo lygius, kalant polius į sąsiaurio dugną; 2) atlikti triukšmo sklidimo modeliavimą ir kartografavimą;

3) nustatyti galimą triukšmo poveikį sąsiauriu migruojančioms žuvims.

1. Tyrimo metodai

1.1. Vietovė

Akustiniai matavimai buvo atlikti Centrinio Klaipėdos terminalo teritorijoje. Polio vietovė: LKS X-508823.762, Y-6170975.119 rytinėje Kuršių marių pakrantėje, Klaipėdoje, Centrinio Klaipėdos terminalo teritorijoje.

1.2. Foninis povandeninis triukšmas

Foninį povandeninį garsą Klaipėdos sąsiauryje formuoja natūralūs garsai, vėjo garsas (vandens raibuliavimo garsas), lietaus garsas, biologiniai garsai (pavyzdžiui, žuvų poravimosi metu), kitų antropogeninių veiklų, tokių kaip laivyba, triukšmas (Zakarauskas, 1996; Urick, 1984). Vėjo greitis matavimų metu nesiekė 5 m/s greičio; tyrimo metu bendras, t. y. aplinkos garsinis fonas, po vandeniu neviršijo 85,7 dB @ 1μPa (Bagočius, 2013).

1.3. Techniniai polių kalimo parametrai

Centriniame Klaipėdos terminale, atliekant triukšmo matavimus, buvo išmatuotas dviejų polių – apvalaus 1 400 mm diametro ir dvitėjinio 500 x 500 mm diametro – įleidimo triukšmas. Kadangi dvitėjinio polio kalimo bendras triukšmo lygis viršijo apvalaus diametro 1 400 mm polio triukšmą apytikriai 1,8 dB, šiame darbe detalčiau analizuojamas dvitėjinio polio kalimo į sąsiaurio dugną triukšmas. Poliai į Klaipėdos sąsiaurį buvo kalami naudojant vibracinę kūrį *Muller MS-62-HFV*, kurio kalimo jėga lygi 88,5 tonoms (*ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH*, 2011).

1.4. Triukšmo fiksavimo įranga ir signalų apdorojimas

Povandeninis triukšmas buvo išmatuotas 2012 m. gegužės 28 d., 13 val. 35 min. Triukšmui fiksuoti panaudotas nešiojamasis akustinės įrangos komplektas (hidrofonas) *ZOOMH1H2A*, fiksuojan-

tis garsą 0,02–48 KHz dažnių intervale. Hidrofono komplektas buvo sukalibruotas (nustatytas savasis mechanizmų triukšmas) Gamtos tyrimų centro Hidrobiontų ekologijos ir fiziologijos laboratorijoje. Savasis įrenginio triukšmas buvo žemesnio lygio nei teorinis [0] nulinio bangavimo seklios jūros gamtinis fonas (Carey ir Evans, 2001). Triukšmo lygiai užfiksuoti naudojant 16 bitų signalo kvantavimą ir 48 KHz diskretizacijos dažnį. Signalams apdoroti pasitelkta

$$GSL_{pla} = [GST_{vid} + 10 * \text{Log}(\Delta f_{pla})] \oplus GL_{tonas\#1} \oplus GL_{tonas\#2} \oplus \dots \quad (1),$$

kur GSL_{pla} – plačiajuostis garso slėgio lygis, GST_{vid} – galios spektrinio tankio vidurkis, Δf_{pla} – triukšmo dažnių juosta, $GL_{tonas\#i}$ – kiekvieno tono, kurio vertė viršija galios spektrinio tankio vidurkį, loginė suma (USNA, 2014). Atkirtos dažnis (vertė, žemiau kurios tokio dažnio garsas nesklinda dėl per seklaus gylio, angl. *cut-off frequency*) apskaičiuotas naudojant formulę:

$$F_c = \frac{C_w / 4D}{\sqrt{1 - C_w^2 / C_s^2}} \quad (2),$$

kur F_c – atkirtos dažnis sekliame vandenyje, C_w – garso greitis vandenyje, C_s – garso greitis dugno nuosėdose, D – vandens gylis (Au ir Hastings, 2008).

1.5. Triukšmo sklidimo modeliavimas ir kartografavimas

Modeliuojant triukšmo sklidimą, buvo pasirinkta programinė įranga *Actup v2.2L* (Maggi ir Duncan, 2005), naudojamas KRAKEN algoritmas (*Normal Mode algorithm Porter*, 2001). Naudojantis šiuo algoritmu, apskaičiuoti triukšmo sklidimo nuostoliai dažnių spektre – 32 azimutinės kryptys erdvėje, naudojant 2DxN metodą, neapimančią horizontalaus garso bangų lūžio skaičiavimo (Jensen ir kt., 2011). Atlikti kiekvienos azimutinės krypties skaičiavimai, naudojant aplinkos parametrus: garso greitis vandenyje – 1 448,8 m/s (Bagočius, 2013); vandens storumės gylis – 10 m; dugno tipas – smėlis; garso greitis smėlyje – 1 749 m/s (Jensen ir kt., 2011). Atliekant skaičiavimus pasirinkta plokščia dugno batimetrija. Metodas nėra naujas, jis gali būti palyginamas su kitais analogiškais triukšmo sklidimo modeliais: NEMO, SAIC ar kt. (Warzok ir kt., 2012). Atliekant triukšmo

programinę įrangą *Wavelab 7* (pirminė amplitudinė triukšmo analizė) ir programinę įrangą *Raven Professional 1.4*, naudojanti *Discrete Fourier transform* algoritmą, imant 512 ėminių, 35 Hz bangos pločio 3 dB filtrą, panaudojant *Hano* lango funkciją (Charif ir kt., 2010). Siekiant tikslesnio apdorojimo, signalo parametrai buvo pakeisti į 24 bitų signalo kvantavimą. Bendras plačiajuostis garso slėgio lygis gautas naudojant integralinę formulę:

pasiskirstymo kartografavimą, sudarytas atskirų taškų triukšmo lygių tinklelis (taškų skaičius $n = 529$, atstumai tarp taškų – 20 metrų). Naudojant programinės įrangos paketą *ArcGIS* su *Geostatistical analyst* priedu, atlikta šių taškų erdvinė krigingo interpoliacija.

1.6. Triukšmo poveikio gyvūnams vertinimas

Keliami triukšmo poveikiai gyvūnams buvo įvertinti naudojant generalizuotus kokybinius kriterijus, pasiūlytus Nedwell ir kt. (2007), kurie nustatyti JAV atliekant elgsenos (atsako į triukšmą) eksperimentus su gyvūnais.

2. Tyrimo rezultatai

2.1. Triukšmo lygiai ir jų pasiskirstymas vandens telkinyje kalant polį

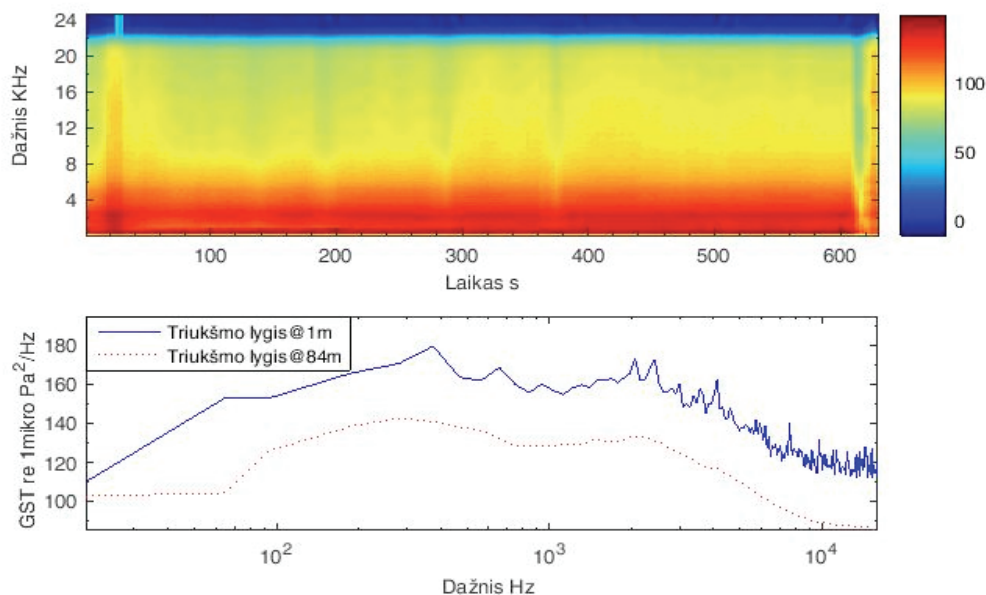
Atliekant matavimus Centriniam Klaipėdos terminale, povandeninio triukšmo lygis prie polio (1 metro atstumu) siekė 202,6 dB @1μPa. Kalant dvitėjinį polį į marių dugną, užfiksuotas triukšmas, turintis impulsinio triukšmo požymių (garsinės analizės metu galima buvo atskirti nestiprius garso svyravimus, t. y. pliūpsnius, kuriuos galima susieti su vibracinio kūjo skleidžiamu virpesiu), kurio parametrai pateikti 1 lentelėje. Maksimali garso galia – 375 Hz, kai bendras bangos plotis sudarė 2 344 Hz, o centrinis dažnis buvo 469 Hz. Šie parametrai nusako, jog pagrindinė triukšmo galia susikoncentravo į žemą ~20–2 000 ciklų per sekundę dažnį. Atlikus skaičiavimus, panaudojant 2 formulę, buvo nustatytas atkirtos dažnis, nurodantis vertę hercais, žemiau kurios triukšmas sekliame vandenyje nesklinda arba sklinda labai sunkiai (esant ženkliai triukšmo sklidimo nuostoliui). Šiuo atveju atkirtos dažnio apskaičiuota vertė siekė 65 Hz. Tiro triukšmo įvykio parametrai aprašyti 1 lentelėje.

1 lentelė. *Tirto triukšmo parametrai, nustatyti matuojant triukšmą ir apskaičiuojant teorines reikšmes*

Parametras	Rezultatas
Foninis plačiajuostis garso slėgio lygis	85,7 dB @1μPa
Didžiausias galios spektrinis tankis 1 m atstumu (375 Hz)	179,6 dB @1μPa ² /Hz
Didžiausias galios spektrinis tankis 84 m atstumu (281 Hz)	142,7 dB @1μPa ² /Hz
Plačiajuostis garso slėgio lygis 1 m atstumu	202,6 dB @1μPa
Plačiajuostis garso slėgio lygis 84 m atstumu	168,7 dB @1μPa
Liekamasis garsas (1 s nustojus virpėti šaltiniui)	148,6 dB @1μPa
Centrinis dažnis	469 Hz
Bangos plotis	2 344 Hz
Tiriamo garso signalo trukmė	618 s
Atkirtos dažnis	65 Hz

Atliekant dvitėjinio polio įleidimo į Kuršių marių dugną triukšmo spektrinę analizę, buvo galima stebėti, jog triukšmas dažnių spektre pasiskirstė nevienodai (žr. 1 pav.): 20–2 000 Hz intervale užfiksuota didžiausia triukšmo galia, o, pasiekus aukštesnį dažnį, triukšmo lygis mažėjo 68,6 dB per dekadą. Pirmame

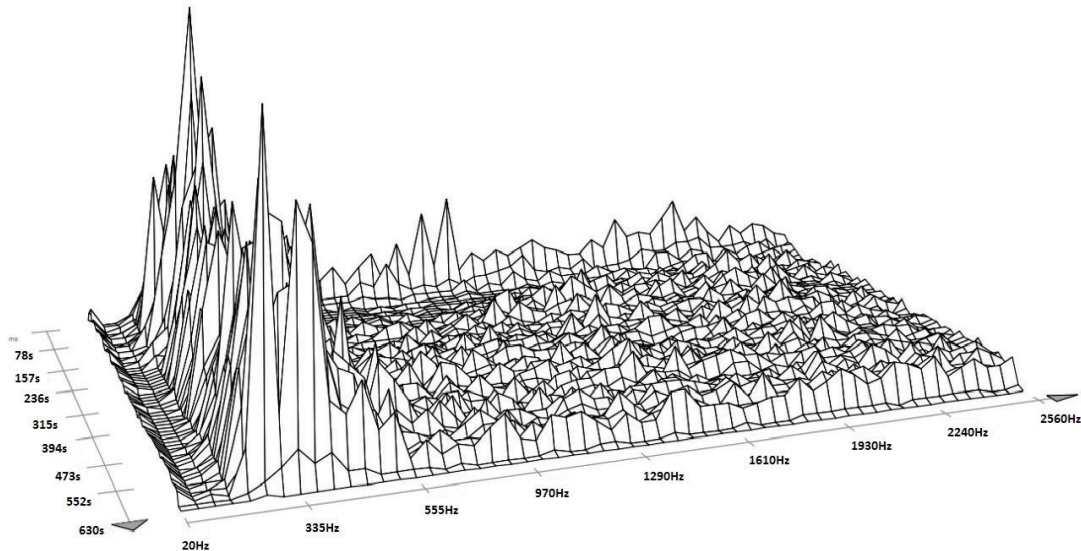
paveiksle pavaizduotos šio triukšmo šaltinio spektrinės charakteristikos 1 m ir 84 m atstumu. Triukšmo bangoms tostant nuo triukšmo šaltinio, ne tik jų slėgio lygis silpo, bet ir jų spektrinės charakteristikos keitėsi netiesiniu būdu dėl vandens terpės ir garso bangų fizinių savybių (Medvin ir Clay, 1998).



1 pav. Spektrinė polio kalimo triukšmo analizė. Viršutiniame paveiksle pavaizduotas triukšmo spektras, apatiniame – triukšmo lygių ir dažnių priklausomybės; vienetai – garso galios spektrinis tankis dB @ 1μPa²/Hz

Buvo atlikta trimatė (3D) spektrinė polio kalimo triukšmo analizė. Šios analizės rezultatai pateikiami 2 paveiksle, kur X ašis nurodo dažnį hercais, Z ašis – laiką sekundėmis, Y ašis – garso signalo amplitudę (santykinis dydis). Grafike galima pastebėti, jog pirmomis sekundėmis triukšmo lygis pasiskirstė

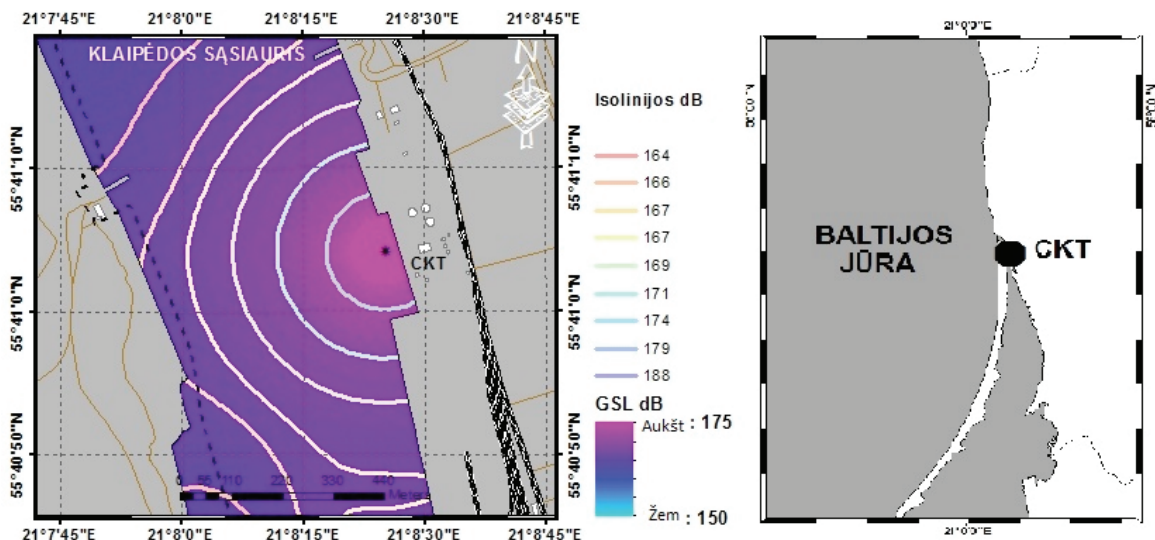
visame dažnių spektre galbūt dėl dugno plutos mechaninių savybių (kalamo polio triukšmo lygis siekia aukščiausias vertes, kai polio pasipriešinimas kalimui yra didžiausias) (Rodkin ir kt., 2012), o vėlesniu laiko tarpsniu maksimali triukšmo galia koncentravosi žemame 200–400 Hz dažnių intervale.



2 pav. 3D spektrinė triukšmo analizė. X ašis – hercai, Z ašis – sekundės, Y ašis – amplitudė (santykinis dydis)

Vertinant triukšmo erdvinį pasiskirstymą Klaipėdos sąsiauryje, Centrinio Klaipėdos terminalo priegose, atliktas triukšmo sklidimo modeliavimas 32 azimutinėmis kryptimis (kas 11,25° padengiant 360). Triukšmo sklidimo nuostoliai pasiskirstė netolygiai, t. y. tolstant nuo polio 1–20 m atstumu, triukšmo lygis silpnėjo labiausiai, o didesniais atstumais (20–1 000 m) triukšmo lygis silpnėjo pamažu dėl vadinamojo bangonešio efekto. Povandeninis triukšmas, sklindantis sekliuose vandenyse, pakliūva į bangonešį; dėl to žemo dažnio ~200–800 Hz garso bangos (dažnis priklauso nuo vandens telkinio gylio) tam tikrą atstumą sklinda be nuostolių arba su minimaliais garso sklidimo nuostoliais (Jensen ir kt., 2011). Triukšmo pasiskirstymo žemėlapis atvaizduotas 3 paveiksle. Jame matomas aukščiausias triukšmo lygis šalia polio 1 m atstumu; be to, matoma, kaip triukšmas sklido iki priešingo Kuršių marių kranto, kur pa-

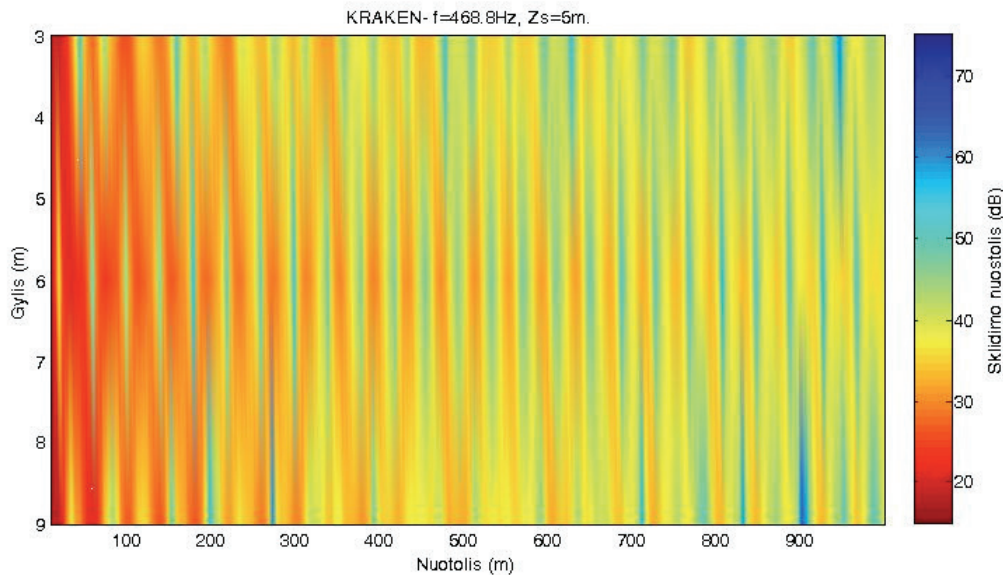
siekė 164 dB @1μPa triukšmo lygį. Triukšmo šaltinio artimajame lauke (20–200 m atstumu) triukšmo lygis siekė santykinai aukštą 180–170 dB @1μPa garso slėgio lygį. Šie tyrimų rezultatai gali būti palyginti su kitose šalyse atliktais tyrimais. Pavyzdžiui, JAV atliekant akustinius tyrimus nustatyta, jog, kalant 508 mm skersmens apskrito diametro poli, garso slėgio lygis siekė 189 dB @1μPa 1 metro atstumu nuo triukšmo šaltinio. Kalant 914 mm skersmens poli buvo užfiksuotas 201 dB @1μPa garso slėgio lygis 1 metro atstumu nuo triukšmo šaltinio (Nedwell ir Howell, 2004). Taigi triukšmo lygiai, išmatuoti JAV, nežymiai skiriasi nuo matavimų, atliktų Klaipėdos sąsiauryje. Šiuos skirtumus gali paveikti nemažai veiksnių, pavyzdžiui, polio ilgis, vandens gylis, vandens fizikinės savybės, dugno sedimentų sandara, kūjo galia polių kalimo metu.



3 pav. Polio kalimo į marių dugną triukšmo pasiskirstymo žemėlapis (Centrinis Klaipėdos terminalas). Žemėlapyje triukšmo lygiai pateikti dB garso slėgio lygii vienetais @1μPa (rms)

Papildomai buvo atlikta triukšmo pasiskirstymo vandens storumėje analizė, t. y. buvo modeliuojama triukšmo pasiskirstymo priklausomybė nuo gylio ir atstumo. Triukšmas pasiskirstė pakankamai tolygiai tiek vandens storumės paviršiuje, tiek priedugninėje

zonoje (žr. 4 pav.). Šiame paveiksle galima įžvelgti garso bangų konvergencijos ir divergencijos zonas, kur triukšmo lygis dėl šių zonų padidėja arba sumažėja (FAS, 2014).

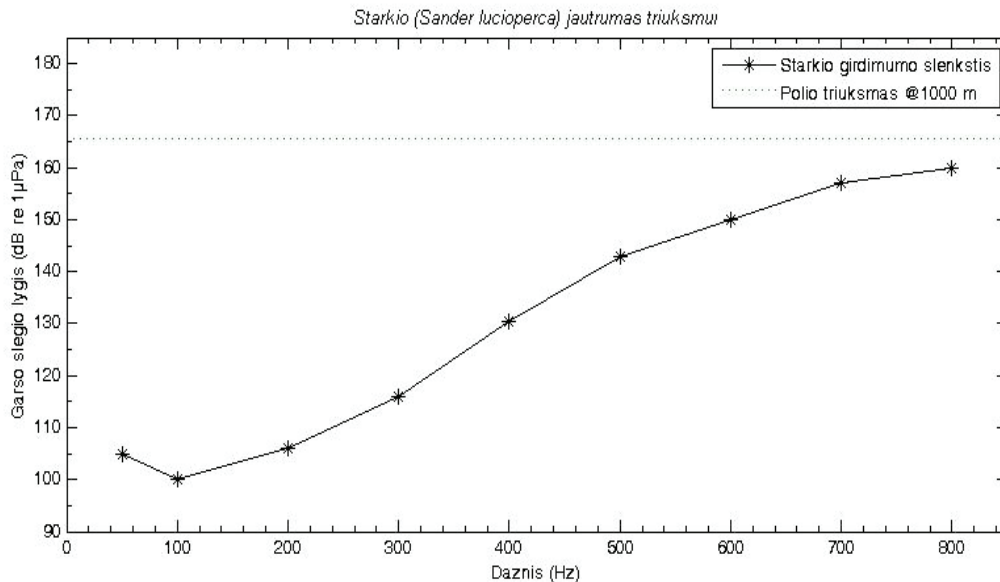


4 pav. Triukšmo pasiskirstymas vandens storumėje polio kalimo metu (0 metrų žyma žymi polio kalimo vietą). Vienetai – dB @1μPa

2.2. Triukšmo poveikis gyvūnams

Klaipėdos sąsiauryje aptinkamos apytikriai 38 migruojančių žuvų rūšys, dažniau arba rečiau aptinkamos maždaug 25 žuvų rūšys (Repečka, 2003; Lapinskienė ir kt., 2002; Ložys, 2012, asm. konsult.). Iš šių 25 žuvų rūšių 18 rūšių yra jautrios arba tikėtina jautrios povandeniniam triukšmui (kitų rūšių jautrumas nenustatytas arba duomenys neprieinami). Remiantis duomenimis, septynioms iš šių dažniau aptinkamų rūšių yra atliktos audiogramos (psichoakustikos arba neurofiziologiniai tyrimai). Šių žuvų rūšių žemiausias girdimumo slenkstis svyruoja nuo 70 iki 113 dB @1μPa. Jautriausios Klaipėdos sąsiauryje aptinkamos rūšys – perpelė (*Alosa falax falax*) ir strimelė (*Clupea harengus membras*) (Gregory ir kt., 2007; Nedwell ir kt., 2004; Ronald Fricke, 2015, asm. konsult.). Jautriausios žuvų rūšys, būdamos triukšmingoje teritorijoje, triukšmo yra paveikiamos dideliu atstumu, matuojant nuo triukšmo šaltinio: Klaipėdos sąsiauryje kalamo polio atveju – iki ~1 000 m atstumu ir daugiau (žr. Popper ir kt., 2014). Yra tikimybė, jog šios žuvų

rūšys gali patirti klausos ir kitų susijusių organų traumų: galimas neurosensorinis apkurtimas dėl klausos organų sensorinių plaukuotųjų ląstelių pažeidimų ir sensorinis prikurtimas (diskutuotina, ne visoms rūšims būdinga), galimos audinių patologijos, plaukimo pūslės pažeidimai (diskutuotina, ne visoms rūšims būdinga) (Webb ir kt., 2008). Triukšmo poveikį šios žuvys gali jausti visame Klaipėdos sąsiaurio plote (žr. 3 pav.). Mažiau jautrios rūšys, tokios kaip šlakiai (*Salmo trutta*) arba starkiai (*Sander lucioperca*), būdamos triukšmingoje teritorijoje, yra išbaidomos didesniu nei ~1 000 m atstumu, o klausos organų fizinių traumų tikimybė padidėja tik žuvims, esančioms šalia kalamo polio. Paveiksle (žr. 5 pav.) atvaizduota starkio audiograma (girdimumo slenkstis) ir kalamo polio triukšmo lygio palyginimas. Grafiko kreivė, rodanti starkio girdimumo slenkstį, reiškia, jog triukšmo lygio vertės, esančios žemiau kreivės, nėra girdimos. Šiame paveiksle matyti, jog net ir 1 000 m atstumu nuo polio triukšmo lygis buvo pasiekęs lygį, viršijantį žemiausią starkio girdimumo dažnio slenkstį (100 Hz dažnis) 65,5 decibelais.



5 pav. Starkio girdimumo audiograma. Vienetai – dB garso slėgio lygis @1 μPa (rms)

Esant tokiam triukšmo lygiui, tikėtinas didžiosios daugumos individų išbaidymas iš triukšmingos teritorijos. Be to, esant tokioms aplinkos sąlygoms, gali pasireikšti individų pripratimas prie triukšmo, t. y. jų habituacija (angl. *habituation*) (Nedwell ir kt., 2007), arba sensitizacija (angl. *sensitization*) – elgsena, kai gyvūnai iš anksto atpažįsta nemalonų garsą ir vengia triukšmingos teritorijos (Bejder ir kt., 2009). Kalant polį į sąsiaurio dugną, triukšmo poveikis kitoms rūšims, kurios yra povandeniniam triukšmui jautresnės ir kurių girdimumo slenkstis yra žemesnis, lyginant su starkiu, yra stipresnis.

3. Tyrimo rezultatų aptarimas

Garso sklaidimą vandenyje sudaro garso slėgis ir dalelių, pernešančių garso stiprumą, svyravimai. Atliekant povandeninio triukšmo poveikio vertinimą žuvisms, atkreiptinas dėmesys į tai, jog šie gyvūnai turi ypatingą sensorinį (jutiminį) mechanizmą, pritaikytą pajusti povandeninio garso ir vandens dalelių judėjimą. Sensorinis (jutiminis) mechanizmas yra sudarytas iš keleto organų, kurių buvimas arba nebuvimas priklauso nuo žuvų rūšies. Pažymėtina ir tai, jog žuvis per sensorinį (jutiminį) mechanizmą galbūt suvokia trimatę aplinką (Webb ir kt., 2008). Šiuo atveju žuvis pagal jų klausos – sensorinių mechanizmų – adaptaciją dažnai yra skirstomos į žuvis – klausos generalistes, neturinčias specialiųjų klausos adaptacijos mechanizmų, kurių girdimumas siekia garsą vidutiniškai iki 1 000 Hz dažnio, pavyzdžiui, starkis (*Sander lucioperca*) (Popper, 2003), ir žuvis – klausos specialistes, turinčias specialias klausos adaptacijos priemones, kurių girdimumas siekia dažnių diapazoną vidutiniškai iki 3 000 Hz, pavyzdžiui, perpelės (*Alosa falax falax*) (Gregory ir kt., 2007; Webb ir kt., 2008).

Žuvis – klausos generalistės turi vidinę ausį, šoninėje linijoje ir galvos dalyje išdėstytus neurosensorius (neuromastus). Žuvis – klausos specialistės dažniausiai turi papildomų klausos organų, t. y. su vidine ausimi sujungtas plaukimo pūsles (klausos pagerinimo mechanizmai priklauso nuo žuvų rūšies). Dėl plaukimo pūslės susitraukimų, reaguojant į slėgio pokyčius, garso signalai perduodami tiesiogiai į galutinius klausos organus. Manoma, kad žuvis – klausos generalistės tiesiogiai reaguoja į vandens dalelių svyravimus, o žuvis – klausos specialistės jaučia garso slėgio lygį, nors šis teiginys yra diskutuotinas, nes vienareikšmiškai teigti, jog žuvis reaguoja atskirai į vieną ar kitą stimulą, nėra tikslu (Webb ir kt., 2008). Žuvis – klausos specialistės papildomai skirstomos pagal klausos adaptacijos pobūdį į: a) žuvis, kurių plūdrumo pūslės neturi tiesioginės jungties su vidine ausimi (kai kurios žuvų rūšys (taip pat ir klausos generalistės) turi plūdrumo pūsles, pavyzdžiui, lašišos), b) žuvis, kurių plūdrumo pūslės turi tiesioginę jungtį su vidine ausimi, c) žuvis, kurių plūdrumo pūslės sujungtos su vidine ausimi kaulinė jungtimi (Weberio svirtelėmis), d) žuvis, kurios turi papildomą dujinį organą (pūslelę) šalia vidinės ausies (pavyzdžiui, silkiažuvės). Ši adaptacija įgalina kai kurias silkinių žuvų rūšis girdėti net ultrasoninius garsus, siekiančius 200 kHz dažnį (Popper, 2011; Popper ir kt., 2014).

Centriniame Klaipėdos terminale, kalant polių, žuvis – klausos generalistės sukeliama triukšmą jautė ~1 000 m atstumu (akustinės traumos tikimybė šios rūšies žuvisms buvo mažiau nei 20 metrų atstumu), kur didesnė dalis gyvūnų būtų tiesiog išbaidoma (Nedwell ir kt., 2007). Pažymėtina, kad įvairios žuvų rūšys, veikiant jas triukšmu, patiria stresą, t. y. jų kraujyje aptinkamas padidėjęs kortizolio kiekis (Wysocki ir kt., 2006; Santully ir kt., 1999; Spiga ir

kt., 2012). Centrinio terminalo statybų prieigose (žr. 3 pav.) kalant poliūs, didelė tikimybė, kad žuvis, patekusios į triukšmingą teritoriją (įskaitant mažiausiai jautrias žuvų rūšis), bus išbaidytos ir patirs stresą. Ekologinio poveikio vertinimas žuvisms atliktas hipotetiškai, t. y. neatliekant psichoakustinių tyrimų su gyvomis žuvimis laboratorijoje ar jas perkeltiant šalia polio į Centrinį Klaipėdos terminalą, todėl vertinimas nėra visiškai tikslus. Žuvų tyrimai gamtoje yra sudėtingi dėl jų stebėjimo sudėtingumo (Mueller-Blenkle ir kt., 2012), be to, yra brangūs. Netikslumų gali atsirasti ir dėl triukšmo sklaidos kartografavimo. Triukšmo sklaidos žemėlapiui sudaryti buvo panaudotas *ArcGis Geostatistical analyst* programinės įrangos priedas; atlikta triukšmo verčių prognozė, naudojant krigingo metodą (ordinarus krigingas), kuris turi paklaidą – standartinis nuokrypis ~3,25 dB. Netikslumų atsiranda dėl vietovės ypatybių: sąsiaurio krantinė ties Centrinio Klaipėdos terminalu yra betoninė, todėl čia susidaro aido efektas (angl. *reverberation*) (Eckart, 1946).

Išvados

Nors duomenų apie ilgalaikius povandeninio triukšmo poveikio padarinius žuvų populiacijoms yra labai nedaug, galima teigti, jog polių kalimas turi ekologinį poveikį normaliam žuvų gyvavimo ciklui. Centrinio Klaipėdos terminalo statybose tirtu triukšmo lygiai siekė 202,6 dB @1μPa (*rms*) 1 metro atstumu nuo triukšmo šaltinio. Šis žalingas triukšmas kėlė riziką migruojančių žuvų normaliam gyvavimo ciklui. Didžiausias neigiamas triukšmo poveikis buvo šalia kalamo polio ir tolėliau nuo jo. Jautrios žuvų rūšys, pavyzdžiui, perpelės (*Alosa falax falax*) ir strimelės (*Clupea harengus membras*), patekusios į triukšmingą teritoriją, būtų paveiktos triukšmo itin stipriai. Polio kalimo metu kylantis triukšmas šias žuvų rūšis paveikė net daugiau nei 1 000 m atstumu nutolusias nuo triukšmo šaltinio visomis azimutinėmis kryptimis. Mažiau jautrios žuvų rūšys, pavyzdžiui, starkis (*Sander lucioperca*), patekusios į triukšmingą teritoriją, yra išbaidomos. Tikėtina, jog migruojančios žuvis patyrė stresą (dėl padidėjusio kortizolio kiekio kraujyje), kurio ilgalaikis poveikis gali pabloginti populiacijų būklę. Norint nustatyti tikslesnį poveikį atskiroms žuvų rūšims, reikia atlikti laboratorinius tyrimus su per Klaipėdos sąsiaurį migruojančiomis žuvų rūšimis.

Literatūra

1. Au W. L., Hastings C. M., 2008, Principles of marine bioacoustics. *Springer Science+Business media*.
2. Bagočius D., 2013, Underwater noise level in Klaipėda Strait, Lithuania. *Baltica*. 26 (1). P. 45–50.
3. Bejder L., Samuels A., Whitehead H., Finn H., Allen S., 2009, Impact assessment research: use and misuse of habituation, sensitisation and tolerance in describing wildlife responses to anthropogenic stimuli. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 395. P. 177–185.
4. Charif R. A., Waack A. M., Strickman L. M., 2010, Raven Pro 1.4 naudojimosi instrukcija. *Cornell Lab of Ornithology*. Ithaca, NY.
5. Eckart C., 1946, Principles of underwater sound. *National Research Council*.
6. Federalinė JAV mokslininkų sąjunga (FAS), 2014. *Principles of underwater sound*. Nr. 8. Prieiga per internetą: <<https://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/fun/part08.htm>>.
7. Gregory J., Lewis M., Hateley J., 2007, The sensitivity of clupeids to a high resolution imaging SONAR: Acoustic monitoring of shad just got harder. *American Fisheries Society, 137th Annual Meeting San Francisco*, September 2–6. PPT presentation 22 pp.
8. Jensen B. F., Kuperman A. W., Porter B. M., Schmidt H., 2011, Computational Ocean acoustics. *Springer*, Second edition.
9. Lapinskienė A., Pustelnikovas O., Želvytė D., 2002, *Subalansuota Klaipėdos uosto plėtra*. Klaipėdos universitetas.
10. Maggi L. A., Duncan J. A., 2005, Acoustic Toolbox, User interface and post processor. Installation and user guide. *Center For Marine Science And Technology*. Actup v2.2L^a.
11. Medvin H., Clay S. C., 1998, Fundamentals of Acoustical Oceanography. *Academic Press*.
12. Mueller-Blenkle C., Gill A. B., McGregor P. K., Andersson M. H., Sigray P., Bendall V., Metcalfe J., Thomsen F., 2012, A Novel Field Study Setup to Investigate the Behaviour of Fish Related to Sound. [Iš: A. N. Popper, & A. Hawkins (eds.), The effects of noise on aquatic life, advances in experimental medicine and biology 730. *Springer Science+Business Media*].
13. Nedwell J. R., Turnpenny A. W. H., Edwards B., Gordon J., 2004, Fish and Marine mammal audiograms: A summary of available information. *Science report (Subacustech)*. Nr. 534R0214.
14. Nedwell J. R., Howell D., 2004, *A Review of offshore windfarm related underwater noise sources*. No. 544R0308.
15. Nedwell J. R., Turnpenny A. W. H., Lovell J., Parvin S. J., Workman R., Spinks J. A. L., Howell D., 2007, A validation of the dB_{ht} as a measure of the behavioural and auditory effects of underwater noise. *Science Report (Subacustech)*. Nr. 534R1231.
16. Popper A. N., 2003, Effects of anthropogenic sounds on fishes. *Fisheries* (2011). 28.10. P. 24–31.
17. Popper A. N., 2011, Auditory System Morphology. In: Farrell A. P., (ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*. Vol. 1. P. 252–261. San Diego: Academic Press.
18. Popper A. N., Hawkins A. D., Fay R. R., Mann D. A., Bartol S., Carlson T. J., Coombs S., Ellison W. T., Gentry R. L., Halvorsen M. B., Løkkeborg S., Rogers P. H., Southall B. L., Zeddies D. G., Tavalga W. N., 2014, Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI.

19. Porter B., 2001, The Kraken Normal Mode Program. *Saclnad Undersea Research Center*.
20. Repečka R., 2003, The species composition of the ichthiofauna in the Lithuanian economic zone of the Baltic Sea and the Curonian Lagoon and its changes in recent years. *Acta Zoologica*. 13.2. P. 149–157.
21. Rodkin R., Pommerenck K., Reyff J., 2012, Interim criteria for injury to fish from pile-driving activities: recent experiences. [Iš: A. N. Popper & A. Hawkins (eds.), *The effects of noise on aquatic life, advances in experimental medicine and biology 730. Springer Science+Business Media*].
22. Santulli A., Modica A., Messina C., Ceffa L., Curatolo A., Rivas G., Fabi G., D'amelio V., 1999, Biochemical responses of European Sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) to the stress induced by offshore experimental seismic prospecting. *Marine Pollution Bulletin*. P. 38–42.
23. Spiga I., Fox J., Benson R., 2012, Effects of short and long term exposure to boat noise on cortisol levels in juvenile fish. [Iš: A. N. Popper, & A. Hawkins (eds.), *The effects of noise on aquatic life, advances in experimental medicine and biology 730. Springer Science+Business Media*].
24. ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH, 2011. MÜLLER-vibrators. The ideal solution for driving and extracting [Prezentacija].
25. USNA (JAV jūrų akademija), 2014, *Spectrum level and band level*. Prieiga per internetą: <<http://www.usna.edu/Users/physics/ejtuchol/documents/SP411/Chapter8.pdf>>.
26. Urlick R. J., 1984, *Ambient noise in the Sea*. Undersea warfare technology office naval sea systems command department of the Navy Washington.
27. Wartzok D., Erbe C., Getz V. M., and Thomas J., 2012, Marine Mammal Acoustics Exposure Analysis Models Used in US Navy Environmental Impact Statements. [Iš: A. N. Popper and A. Hawkins (eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life*, 551 *Advances in Experimental Medicine and Biology*].
28. Webb J. F., Fay R., & Popper A., 2008, Fish bioacoustics. *Springer*.
29. Wysocky E., Dittami J., Ladich F., 2006, Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. *Biological Conservation*. 128. P. 501–508.
30. Zakarauskas P., 1996, Ambient noise in shallow water: A literature review. *Canadian Acoustics* (1986) 14.3. P. 3–17.

Summary

UNDERWATER NOISE DURING THE CONSTRUCTION WORKS OF THE CENTRAL TERMINAL IN KLAIPĖDA AND ITS IMPACT ON FISH

D. Bagočius

Human activities regularly carried out in the Baltic Sea area vary from the the construction of a terminal in the Klaipėda Strait to the removal of ordnance and ammunition from the seabed of the Baltic Sea. The construction works of the Central Klaipėda Terminal lasted from the spring to the summer of 2012. Steel piles that support the terminal structure were ramed into the bottom of the Strait using a vibro hammer. The level of noise during the construction works was measured and analysed. The highest level, 202.6 dB re 1 μ Pa at 1 metre, was recorded when a double T pile was driven into the bottom. That had an ecological impact on fish migrating through the Klaipėda Strait. Fish, are sensitive to noise, they, have a complex sensory system, their hearing organs allow them to detect underwater sounds. Acoustic survey showed that the level of noise caused by vibro techniques was high and raised risk for fish migrating trough the Klaipėda Strait being affected.

Keywords: acoustics, underwater noise, pile driving, fish.

Santrauka**CENTRINIO KLAIPĖDOS TERMINALO STATYBŲ SUKELIAMAS POVANDENINIS TRIUKŠMAS IR JO POVEIKIS ŽUVIMS*****D. Bagočius***

Lietuvos Baltijos jūros dalyje ir Klaipėdos sąsiauryje dažnai vyksta antropogeninė veikla. Šios veiklos spektras platus: nuo statybų Klaipėdos sąsiauryje iki išminavimo darbų Lietuvos Respublikos Baltijos jūros teritoriniuose ir kituose vandenyse. Viena iš veiklos rūšių – Centrinio Klaipėdos terminalo statybos – buvo atliekama 2012 metais Klaipėdos sąsiauryje. Šio objekto statybų metu, naudojant vibracinį kūjį, į Klaipėdos sąsiaurio dugną buvo kalami (įgręžiami vibruojant) konstrukcijų atramoms reikalingi plieniniai poliai. Išmatuotas šių veiklų generuojamo triukšmo lygis buvo aukštas, t. y. siekė 202,6 dB @1μPa pastovaus plačiajuosčio garso slėgio lygį 1 metro atstumu prie dvitėjinio polio. Be jokios abejonės, toks aukštas triukšmo lygis turėjo ekologinį poveikį Klaipėdos sąsiauriu migruojančioms žuvims. Žuvis – vandens gyvūnai, jautrūs povandeniniam triukšmui. Žuvų sensoriniai (jutiminiai) klausos organai leidžia joms suvokti aplinką ir prisitaikyti prie jos. Šio tyrimo metu nustatyta, jog, žuvis migruojant sąsiauriu, jos gali būti išbaidomos, t. y. galimas žuvų elgsenos pokytis. Žuvis, atsidūrusios arti polio, gali patirti klausos organų traumų, t. y. galimas neurosensorinis apkurtimas dėl sensorinių plaukuotųjų ląstelių pažeidimų ir galimas sensorinis prikurtimas, audinių patologijos ir plaukimo pūslės pažeidimų atsiradimas.

Prasminiai žodžiai: akustika, povandeninis triukšmas, statybos, žuvis.

Įteikta 2016-01-20
Priimta 2016-02-26